

DB4201

武汉市地方标准

DB4201/T 693—2024

建筑与市政工程软弱地基基础技术规程

2024-04-23 发布

2024-05-23 实施

武汉市市场监督管理局 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号	3
5 基本规定	4
6 工程勘察	5
6.1 一般规定	5
6.2 软弱土类别	6
6.3 勘察要点	7
6.4 天然地基承载力	14
7 天然地基基础	16
7.1 一般规定	16
7.2 承载力计算	16
7.3 变形计算	18
7.4 控制建筑物沉降和不均匀沉降的措施	18
7.5 建筑物施工及使用期间的注意事项	18
7.6 地面沉降防治	19
8 地基处理	19
8.1 一般规定	19
8.2 换填垫层	21
8.3 抛石挤淤	25
8.4 预压地基	25
8.5 复合地基	28
8.6 既有建筑地基基础加固	38
8.7 道路排水工程地基处理要点	41
9 桩基础	48
9.1 一般规定	48
9.2 桩基构造要求	49
9.3 单桩承载力确定	49
9.4 桩基沉降计算	50
9.5 减沉复合疏桩基础	50
10 市政工程地基基础设计	51
10.1 一般规定	51
10.2 道路工程	51
10.3 给排水管涵工程	56
10.4 桥梁工程	57
10.5 隧道工程	60
10.6 管廊工程	61
10.7 城市明渠工程	62

11	地基基础抗震设计要点	63
11.1	地震动参数	63
11.2	建筑场地	63
11.3	建筑地基基础抗震设计要求	63
11.4	市政工程地基基础抗震设计要求	63
12	基坑与边坡	63
12.1	基坑工程	63
12.2	边坡工程	67
13	地基基础工程施工	68
13.1	一般规定	68
13.2	土方开挖	69
13.3	预制桩施工	69
13.4	钻孔灌注桩施工	70
13.5	地下连续墙施工	71
13.6	市政工程施工	73
14	检验与监测	74
14.1	一般规定	74
14.2	检验	74
14.3	监测	76
附录 A (资料性)	武汉市软土分布图	78
附录 B (资料性)	软土物理力学性质指标统计表	81
附录 C (资料性)	软土路基沉降计算	83
附录 D (规范性)	浅层平板载荷试验要点	85
附录 E (规范性)	深层平板载荷试验要点	86
附录 F (规范性)	竖向增强体静载荷试验要点	87

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由武汉市城乡建设局提出并归口。

本文件起草单位：武汉市政工程设计研究院有限责任公司、中南建筑设计院股份有限公司、湖北中南岩土工程有限公司等。

本文件主要起草人：陈建斌、黄银燊、王泽希、胡喜、邢沛霖等。

本文件实施应用中的疑问，可咨询武汉市建设工程设计审查和消防验收中心，电话：027-85799917。在执行过程中如有意见和建议，请反馈至武汉市政工程设计研究院有限责任公司，地址：湖北省武汉市江汉区常青路40号，电话：027-85603515，邮箱270636201@qq.com，邮编430023。

引 言

为使武汉市建筑与市政工程的软弱地基基础技术做到安全可靠、技术先进、经济合理、节约资源、保护环境，规范软弱地基基础的勘察、设计、施工、检测与监测全过程，制定本文件。

以下单位和人员在本文件编制过程中做了大量的工作，并提出了宝贵的意见和建议，特此感谢！

参与编制单位：中信建筑设计研究总院有限公司、武汉勘察设计协会技术咨询服务部、中冶集团武汉勘察研究院有限公司、中铁大桥勘测设计院集团有限公司、中机三勘岩土工程有限公司、中国科学院武汉岩土力学研究所、武汉大学、武汉市勘察设计有限公司、湖北省神龙地质工程勘察院有限公司、武汉地质工程勘察院有限公司、湖北地矿建设勘察有限公司、中南勘察基础工程有限公司、武汉正洪岩土工程有限公司、武汉华中岩土工程有限责任公司、天圆工程有限公司、武汉市建设工程设计审查和消防验收中心等。

参与编制人员：刘亚洲、马郢、吴立鹏、陈焰周、蔡桦、梅新咏、代昂、丁洪元、许水潮、孔令伟、高睿、孙卫林、王建军、欧阳继胜、陈卫华、危正平、郭建波、庞建成、贺翔、武豫东、陈清潮、姚小波、左其平、杨明、夏水江、郑艳、邱远喜、余颂、卢方伟、徐树斌、叶昆荣、黄守国、陈律、熊伟光、赵鹏飞、马昌慧、朱佳、王高峰、张宁、郭开、付佩、吴晓云、熊慧萍、张利斌。

本文件主要审查人员：袁内镇、王萍、宋榜慈、张彩萍、华波。

建筑与市政工程软弱地基基础技术规程

1 范围

本文件规定了建筑与市政工程软弱地基基础的工程勘察、设计、施工、检测及监测等内容。

本文件适用于武汉市（含主城区和远城区）范围内建筑与市政工程的软弱地基基础工程。

软弱地基基础的工程勘察、设计、施工、检测及监测，除执行本文件，尚应符合国家、行业、湖北省及武汉市现行有关标准、规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50046 工业建筑防腐蚀设计规范
- GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收标准
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
- GB 50290 土工合成材料应用技术规范
- GB 50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB 55003 建筑与市政地基基础通用规范
- GB 55017 工程勘察通用规范
- GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准
- GB/T 51130 沉井与气压沉箱施工规范
- GB/T 51275 软土地基路基监控标准
- GB/T 51295 钢围堰工程技术标准
- CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范
- CJJ 11 城市桥梁设计规范
- CJJ 56 市政工程勘察规范
- CJJ 166 城市桥梁抗震设计规范
- CJJ 194 城市道路路基设计规范
- CJJ/T 177 气泡混合轻质土填筑工程技术规程
- JGJ 79 建筑地基处理技术规范
- JGJ 83 软土地区岩土工程勘察规程
- JGJ 94 建筑桩基技术规范
- JGJ 123 既有建筑地基基础加固技术规范
- JGJ/T 87 建筑工程地质勘探与取样技术规程

JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
JTG 3430 公路土工试验规程
JTG B02 公路工程抗震规范
JTG C20 公路工程地质勘察规范
JTG D30 公路路基设计规范
JTG D60 公路桥涵设计通用规范
JTG/T 2231-01 公路桥梁抗震设计规范
JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
JTG/T D31-02 公路软土地基路堤设计与施工技术细则
DB42/242 建筑地基基础技术规范
DB42/489 预应力混凝土管桩基础技术规程
DB42/T 159 基坑工程技术规程
DB42/T 169 岩土工程勘察规程
DB42/T 831 钻孔灌注桩施工技术规程
DB42/T 1710 工程勘察钻探封孔技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

软弱地基 weak ground

压缩层主要由淤泥、淤泥质土、软塑或流塑黏性土、以软塑或流塑状黏性土为主的互层土、松散状态人工填土或其他高压缩性土构成的地基。软弱地基承载力特征值一般不超过70kPa。

3.2

工程周边环境 surroundings environment of engineering project或environment around engineering

工程设计、施工及运营影响范围内的各类建（构）筑物、地下设施、城市道路、城市桥梁、既有城市轨道交通、既有铁路、岩土体和地表水体等环境对象的统称。

[来源：GB 50307-2012，2.1.2，有修改]

3.3

地面沉降防控区 ground subsidence control area

在自重或建（构）筑物荷载作用下会发生显著沉降、需采取一定防治、处理措施的深厚填土、软土分布区域。包括地面沉降重点防控区和地面沉降一般防控区。

3.4

地基处理 ground treatment, ground improvement

用排水、换料、掺合料、化学剂、电热等方法或机械手段提高地基承载力，改善地基土的强度、变形特性或渗透性而采取的技术措施。

[来源：GB/T 50279-2014，6.1.1]

3.5

复合地基 composite ground, composite foundation

部分土体被增强或被置换形成增强体，由增强体和周围地基土共同承担荷载的人工地基。

[来源：GB/T 50279-2014, 6.1.8]

3.6

桩网复合地基 pile-reinforced earth composite foundation

在刚性桩复合地基上铺设加筋垫层形成的“桩-网-土”协同工作、桩和土共同承担荷载的人工地基。

[来源：GB/T 50783-2012, 2.1.17, 有修改]

3.7

负摩阻力 negative skin friction, negative shaft resistance

桩身周围土由于自重固结、自重湿陷、地面荷载作用等原因而产生大于基桩的沉降所引起的对桩侧表面的向下摩阻力。

[来源：GB/T 50279-2014, 7.4.23]

3.8

地基承载力特征值 characteristic value of subsoil bearing capacity

由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值，其最大值为比例界限值。

[来源：GB/T 50279-2014, 5.2.49]

3.9

沉井基础 open caisson foundation

上、下敞口并带刃脚的空心井筒状结构，通过井内部取土或配以助沉措施沉入地基中，经封底、封顶所形成的基础。

[来源：JTG 3363-2019, 2.1.15]

3.10

建筑变形测量 deformation measurement of building and structure

对建筑物或构筑物的场地、地基、基础、上部结构及周边环境受荷载作用而产生的形状或位置变化进行观测，并对观测结果进行处理、表达和分析的工作。

[来源：JGJ 8-2016, 2.1.2]

3.11

容许工后沉降 permissible post-construction settlement

在上部设计荷载作用下，地基从路面竣工之日至路面设计使用年限末容许产生的沉降。

[来源：JTG/T D31-02-2013, 2.1.10]

4 符号

下列符号适用于本文件。

4.1 岩土强度参数

C_1 ——十字板抗剪强度；
 C_1^* ——重塑土十字板抗剪强度；
 q_1 ——无侧限抗压强度；
 q_1^* ——重塑土的无侧限抗压强度；
 P_c ——先期固结压力；
 S ——灵敏度。

4.2 岩土变形参数

σ ——压缩系数；
 C_c ——压缩指数；
 C_e ——再压缩指数；
 C_s ——回弹指数；
 C_h ——水平固结系数；
 C_v ——垂直固结系数；
 E_0 ——变形模量；
 E_s ——压缩模量。

4.3 作用和作用效应

F_k ——相应于作用的标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力；
 G_k ——基础自重和基础上的土重；
 M ——相应于作用的标准组合时，作用于基础底面的力矩或截面的弯矩；
 P_k ——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力；
 P_{z0} ——相应于作用的准永久组合时，基础底面处的平均附加压力；
 Q ——相应于作用的基本组合时，单桩竖向力设计值。

4.4 抗力和材料性能

f_a ——修正后的地基承载力特征值或由土的抗剪强度指标确定的地基承载力特征值；
 f_{ak} ——地基承载力特征值；
 f_{spk} ——复合地基承载力特征值；
 R ——单桩竖向承载力特征值。

4.5 几何参数

A ——基础底面面积；单桩承担的地基处理面积；
 A_p ——桩身截面面积；
 b ——基础底面宽度（最小边长）或力矩作用方向的基础底面边长；
 d ——基础埋置深度或桩身直径；
 s ——沉降量。

4.6 计算系数

m ——面积置换率，为单桩横截面面积与单桩所处理的地基单元面积之比；
 ψ_s ——沉降计算经验系数。

5 基本规定

5.1 为在武汉市软弱地基基础的工程勘察、设计、施工、检测及监测工作中贯彻执行国家有关技术经济政策，做到安全可靠、技术先进、经济合理、确保质量、绿色环保，制定本文件。

5.2 软弱地基基础设计前应进行岩土工程勘察，岩土工程勘察成果应满足地基基础设计、施工及验收要求。勘察人员应根据不同的勘察阶段、工程重要性、场地和地基复杂程度、周边环境及设计要求制定勘察纲要，针对软弱土和软弱地基特点，采用综合勘察方法，注重原位测试手段，重点查明软弱土的工程地质条件，进行岩土工程分析评价，提供设计、施工所需的岩土参数，提出岩土治理、环境保护以及工程监测等建议。

5.3 软弱地基基础设计，应坚持因地制宜、就地取材、保护环境和节约资源的原则；根据岩土工程勘察资料，充分了解场地软弱地基特点，综合考虑结构类型、材料情况、施工与使用条件、周边环境等因素，注重概念设计，合理选择地基基础型式，考虑软土灵敏度、蠕变等不利因素，进行地基承载力、变形及稳定性验算，控制地基基础沉降、地基基础稳定性等满足规范要求。

5.4 当地基压缩层主要由淤泥、淤泥质土、软塑或流塑黏性土、以软塑或流塑状黏性土为主的互层土、松散状态人工填土或其他高压缩性土层等软弱土层构成时应按软弱地基进行设计；在建筑地基的局部范围内有高压缩性土层时，应按局部软弱土层处理。

5.5 地基处理、基础施工，应根据软弱地基特点编制施工方案，严格按设计图纸、施工规范要求进行，施工过程中加强检验、监测。

5.6 地基基槽（坑）开挖到设计标高后，应进行基槽（坑）检验。

5.7 软弱地基上的建筑与市政工程均应按变形控制进行设计和监测。建设单位应委托具备相应资质的第三方对建（构）筑物及周边环境实施现场监测，监测工作应符合相关规范、规定。

6 工程勘察

6.1 一般规定

6.1.1 软弱地基工程勘察应包括搜集资料、工程地质调绘和环境调查、勘探、取样、原位测试、室内试验、统计分析、岩土工程评价及报告编制等工作。

6.1.2 软弱地基勘察应采用调查与测绘、勘探与取样、原位测试、室内试验等多种手段相结合的综合勘察方法，勘察方案应根据工程性质、设计要求、区域地质特点和场地条件等确定。

勘探孔以取土孔、取土测试孔和原位测试孔为主。充分采用原位测试手段，选用一种或多种原位测试方法，综合确定软弱土层的力学指标。

6.1.3 软弱地基宜分阶段开展相应勘察工作。对基本了解工程地质情况和具有较成熟工程经验的场地，或工程地质条件简单的一般民用建筑物、中小型市政工程，当其建筑性质和总平面位置已经确定时，经与有关单位协商后，可合并勘察阶段或直接进行详细勘察。

道路、隧道、渠道、大型管涵（廊）等线性大型市政工程及有特殊要求的工程，工程需要时宜进行前期勘察工作。

6.1.4 软弱地基勘察除满足常规要求外，尚应重点进行以下工作：

1 查明软土的成因类型、分布规律、地层结构、砂土夹层分布和均匀性；硬壳层的分布与厚度、下伏硬土层或基岩的埋深和起伏；查明软土的强度与变形特征，固结情况和土体结构扰动对强度和变形的影响，以及软土的有机质含量、有害气体等；

2 根据原始地形图，调查原始地貌、填土来源和堆填方式；查明填土的类型、成分、分布、厚度和堆填年代，以及密实度、压缩性、湿陷性等；

3 收集邻近地区软弱地基改良和加固经验；

4 岩土工程评价内容：

1) 软弱土的地基承载力与变形参数；当填土作为持力层时，提供填土地基承载力与变形参数，判定地基均匀性；

2) 判定地基产生失稳和不均匀变形的可能性；当地面有大面积堆载时应分析其对相邻建（构）筑物的不利影响；有大面积填土时应对场地下沉及其可能引发的工程问题作出评估；

3) 地震效应评价；

4) 提出地基处理或基础形式的建议；

5) 工程设计、施工及运营期间可能发生的岩土工程问题的预测，并提出相应的监控和预防措施。

6.1.5 工程勘察应进行环境调查，调查范围包括工程场地内及周边一定影响范围。调查可包括以下内容：

- 1 建（构）筑物分布位置、层数、结构类型、基础形式与埋置深度以及使用年限和完好程度等；
- 2 各种地下管线（包括给排水、电力、通讯、燃气等）及地下工程的位置及其规模、埋置深度、结构类型和构筑年代、使用现状情况等；
- 3 既有轨道交通、铁路、道路位置及宽度等；
- 4 湖泊、水塘等地表水体和暗塘、暗沟的位置、范围、规模、水深（埋深）以及与地下水的联系等；
- 5 环境复杂且与拟建工程相互影响大时，建设单位应委托专业单位进行专项调查，专项调查的要求可参照《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307执行。

6.1.6 勘探工作完成后，除需要水位观测等特殊要求的钻孔、探井、探槽、探洞外，应按照《工程勘察钻探封孔技术规程》DB42/T 1710规定进行有效封孔处理。需保留的钻孔、探井、探槽、探洞，应设置防护装置。

6.2 软弱土类别

6.2.1 武汉市软弱土包括淤泥、淤泥质土、软塑或流塑黏性土、以软塑或流塑状黏性土为主的互层土、松散状态人工填土、其他高压缩性土层等。

6.2.2 武汉市软土成因包括内陆湖盆沉积（湖相沉积、丘陵谷地相沉积）和河滩沉积（河漫滩相沉积、牛轭湖相沉积）。武汉市主城区淤泥、淤泥质土主要分布在长江、汉江I级阶地及II、III级阶地的冲沟（湖塘）地段、湖泊堆积区，其主要特征是天然含水量高（天然含水量 $\omega > \omega_L$ ）、孔隙比高（孔隙比 ≥ 1.0 ）、压缩性高（压缩系数 $a_{1-2} > 0.5 \text{MPa}^{-1}$ ）、强度低（不排水抗剪强度 $< 30 \text{kPa}$ ）和具有结构灵敏性（灵敏度 $S \geq 4$ ）。

6.2.3 软土采用室内无侧限抗压强度或现场十字板剪切的试验方法测定强度，按公式（1）、公式（2）计算其灵敏度（ S ），并按表1进行结构灵敏性分类。

- 1 黏性土灵敏度为原状黏性土试样与含水率不变时该土的重塑试样的无侧限抗压强度的比值。

$$s_t = \frac{q_u}{q_u'} \quad (1)$$

式中：

q_u ——原状土试样的无侧限抗压强度；

q_u' ——重塑土试样的无侧限抗压强度。

- 2 采用现场十字板剪切试验时，土的灵敏度按式（2）计算：

$$s_t = \frac{c_u}{c_u'} \quad (2)$$

式中：

c_u ——原状土不排水抗剪强度（kPa）；

c_u' ——重塑土不排水抗剪强度（kPa）。

表 1 黏性土的结构灵敏性划分

灵敏度	$S_t \leq 2$	$2 < S_t \leq 4$	$4 < S_t \leq 8$	$8 < S_t \leq 16$	$S_t > 16$
结构灵敏性分类	低灵敏	中灵敏性	高灵敏性	极灵敏性	流性

注：无侧限抗压强度室内试验的软土土样，土试样质量等级应为I级。

6.2.4 软土的固结状态除按室内试验的土的先期固结压力 P_c 与土的有效自重压力 P_v 的比值确定外，亦可采用现场十字板剪切试验的 $S_t \sim d$ 关系曲线确定。

6.2.5 人工填土系指由于人类活动而堆积的土，根据物质组成和堆填方式可分为杂填土、素填土、冲填土及压实填土等。各种填土特征如下：

- 杂填土：不同成分和性质各异的多种土经随机堆积而形成的填土，通常含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物；
- 素填土：由碎石土、砂土、粉土和黏性土等一种或几种组成的填土，不含或含少量杂质。当填料以碎石、砂土、粉土为主时，定名时前面宜冠以主要成分，如碎石素填土、粉砂或细砂素填土、粉土素填土等；
- 冲填土：由水力将泥砂冲填到预定地点堆积形成的土，又称吹填土；
- 压实填土：按一定标准控制材料成分、密度、含水量，分层压实或夯实而成的填土。道路路基层由碎石、黏性土、砂土等间夹组成，虽涉及多种填料，但成层分布，性质较为均匀，宜统一命名为压实填土。

6.2.6 新近沉积黏性土为第四纪全新世中近期（文化期以来）沉积的黏性土。新近沉积黏性土在河漫滩、I级阶地及湖、塘、沟、谷广泛堆积，其现场鉴别方法见《岩土工程勘察规程》DB42/T 169，并结合物理力学性质、原位测试结果综合确定。承载力低于70kPa的高压缩性新近沉积黏性土应按软弱土考虑，并按照本文件要求进行勘察设计。

6.2.7 对同一土层中相间呈韵律沉积，土层定名应综合其层理、厚度比及韵律变化，分别描述为互层、夹层和夹薄层等，在定名时应把厚的土层写在前面。定名要求如下：

- 若薄层与厚层的厚度比大于1/3时，宜定为“互层”；
- 若厚度比为1/10~1/3时，宜定为“夹层”；
- 若厚度比小于1/10的土层，且多次出现时，宜定为“夹薄层”；
- 当土层厚度大于0.5m且对工程影响较大时，宜单独分层。

6.2.8 工程勘察应充分利用长期积累的历史成果数据和地区经验。武汉市软土分布见附录A，软土物理力学性质指标统计值见附录B。

6.3 勘察要点

6.3.1 软弱地基勘察根据工程性质、勘察阶段、规范及设计要求等开展勘察工作，布置勘察工作量。

6.3.2 软弱地基勘察，当场地范围内软弱土对工程影响较大时，在微地貌和地层变化较大、浅层土质不均匀或暗沟、暗塘等地段，探查软弱土的勘探点宜加密。

市政线路工程加密勘察的勘探点最小间距初步勘察可为50m~100m，详细勘察阶段可为20m~40m。加密勘探点深度宜钻穿表层软弱土。

6.3.3 查明表层填土、软土范围可采用浅层勘探，勘探手段包括小螺纹、洛阳铲钻孔，工程需要时亦可采用轻型动力触探孔、静力触探孔、探槽和浅层物探等。

6.3.4 控制性勘探孔深度应满足场地和地基稳定性分析、变形计算的要求；一般性勘探孔深度应满足承载力评价的要求。

深厚软弱土分布区，当桩周土沉降可能引起桩侧负摩阻力时，桩基础和沉井基础勘探孔深度应满足计入负摩阻力下拉荷载后的单桩承载力要求。

6.3.5 城市道路工程

6.3.5.1 调查沿线场地周边环境，地形地貌变化较大时宜搜集原始地形图；收集地下管涵、建（构）筑物（地铁、隧道）等埋设情况，现状道路下勘探应逐点探测复核地下障碍物情况并有效避让。

6.3.5.2 综合采用钻探及原位测试方法。充分利用本地区经验，在软弱土勘察中优先采用原位测试手段特别是静力触探试验、十字板剪切试验。

采用螺纹钻、静力触探、轻型动力触探、钎探、洛阳铲、探槽等手段加密查明对工程影响较大的局部沟渠、湖塘淤泥以及低洼区填土分布情况。

6.3.5.3 新建道路工程的详细勘察应符合下列要求：

1 勘探点布置：

1) 道路勘探点宜沿道路中线布置；当路基宽度大于30m或路幅范围内地形、地质变化较大时，布置横断面或在道路两侧交错布置勘探点，横断面间距可为道路中线勘探点间距的2倍~4倍，每条横断面

上勘探点不宜少于3个；设计范围内新建预留道口布置勘探点；孔距可按《市政工程勘察规范》CJJ 56-2012表5.4.2取低值；

2) 道路与桥梁过渡段引道、路堤段为挡土墙结构时，沿挡土墙轴线布孔；引道、路堤宽度较窄时，亦可在其中心布孔，或两侧交叉布置勘探点；孔距20m~30m；

3) 广场、体育场及停车场按方格网布置勘探点，勘探点间距50m~70m；

2 勘探孔深度应满足地基处理要求，一般路基的孔深达到原地面以下5m，在挖方地段达到路面设计标高以下不少于5m，并揭穿软弱土层；

3 原位测试：大面积分布的有一定厚度的软土进行静力触探试验，深厚软土区地基处理需要时可进行孔压静力触探试验、扁铲侧胀试验，提供相关设计计算所需岩土参数；

4 土工试验：除满足常规试验要求外，软土根据设计需要进行有机质含量、先期固结压力、不排水抗剪强度、灵敏度、回弹指数、渗透系数、固结系数等的试验；

5 分区、分段进行软弱地基基础评价，提出地基处理建议。

6.3.5.4 既有道路改建工程及病害治理勘察，应调查现状道路路面结构类型以及路面的开裂、翻浆、隆陷等病害情况，查明路基持力层，初步分析病害原因，提出防治措施建议，为道路改造及病害处理提供设计依据。现状道路质量状况调查与评价，建设单位委托专业检测机构完成。

6.3.5.5 扩建部分按新建道路进行勘察，并评价新建道路与现状道路的沉降差异影响。

6.3.5.6 道路下有管涵时，勘察工作应同时满足管涵地基处理及沟槽支护设计、施工等要求。

6.3.6 桥涵工程的勘察应符合下列要求：

1 可行性研究阶段以搜集资料、工程地质调查和测绘为主，必要时布置少量的勘探工作量，勘探孔间距宜为300m~500m，在特大桥、大桥的主要墩台部位宜进行适当的勘探工作；

2 桥梁工程初步勘察满足下列要求：勘探点宜结合桥梁墩位布置，勘探孔间距宜为100m~200m。跨越江、河、渠或干道、铁路、公路等大跨度特大桥、大桥的主桥，每个墩台勘探点不宜少于1个；其它桥梁可隔3个~5个墩台交叉布置，桩（墩）位稳定、地质条件复杂时亦可按墩台或隔墩台交叉布置勘探点；

3 桥涵工程详细勘察满足下列要求：

1) 勘探点结合墩台位置，按照《市政工程勘察规范》CJJ 56要求布置；

2) 人行天桥、城市涵洞和人行地下通道，若孔深满足要求，可采用部分静力触探孔；

4 涵洞（箱涵）勘察采用地质调绘、钻探、探槽、静力触探试验等手段，并满足下列要求：

1) 根据场地地形地质条件、路基填筑高度等确定勘探测试点的数量和位置；

2) 详细勘察阶段，每座涵洞勘探测试点的数量不宜少于1个；地质条件复杂，涵洞长度较长时，宜沿涵洞轴线布置勘探断面，每条勘探断面上的勘探点数量不宜少于2个；

3) 勘探孔深度：满足涵洞（箱涵）基础设计要求，勘探深度一般按8m~10m确定，且宜穿过软弱土至硬土层不少于1.0m；

5 根据《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363进行桩基础设计时，按该文件要求提供桩基础设计所需岩土参数并按相应公式进行估算。

6.3.7 城市室外管道（室外给排水管道、综合管廊、输油输气管道、热力管道等）工程的详细勘察应符合下列要求：

1 室外给排水管道、输油输气管道、热力管道等明挖管道勘探点沿管道中线布置，管道走向转角处宜布置勘探点；勘探点间距宜为30m~50m；勘探孔深度应满足地基处理、基坑支护等要求，且达到管底设计高程以下不少于5m，宜穿过软弱土层。

顶管、盾构及定向钻施工方法的勘探点沿管道外侧交叉布置，勘探点间距宜为20m~30m，勘探孔深度满足地基处理、基坑支护等要求，且达到管底设计高程以下不少于5m~10m，宜穿过软弱土层；

2 顶管、盾构工作井勘探点在工作井中心、角点或沿周边布置；当边长或直径大于等于10m时，工作井勘探孔数量不宜少于2个；

3 综合管廊可按轴线投影布置，勘探孔间距（轴线投影距）根据管廊类别、埋置深度及施工方法确定：埋深较浅、明挖施工的缆线管廊参照常规管道布孔，勘探点间距宜为30m~50m；干线综合管廊、支线综合管廊以及非开挖方式施工的缆线管廊，勘探点间距宜为20m~35m；当宽度大于20m时，宜沿结构两侧边线外侧分别布置勘探孔。勘探孔深度应满足地基变形、地基处理、基坑支护等设计要求；

管廊开挖深度较大、周边环境风险等级一级~二级地段，勘探工作量布置同时满足基坑支护设计及施工需要；

4 评价软弱土、孤石、地下水、岩溶等对沉井、顶管、拖拉管的施工不利影响，说明工程施工对周边环境可能造成的危害及注意事项等。

6.3.8 城市堤岸（河流、湖泊、渠道等）工程的勘察，根据结构类型、场地及岩土条件复杂程度、勘察阶段及工程设计方案布置勘察工作量，并应符合下列要求：

1 详细勘察沿堤岸轴线或在基础轮廓线以内、平行堤岸轴线布置勘探点，堤岸走向转折及结构型式变化处宜布置勘探点，勘探点间距宜为30m~50m；

拟采用排桩或挡土墙支护结构时，沿支护结构轴线布孔，孔距宜为20m~30m；

每隔2倍~4倍孔距布置一条垂直于堤岸或支护结构轴线的横剖面勘探线，横剖面的勘探点不宜少于3个，孔距不宜大于30m；横剖面长度宜覆盖边坡影响范围；

2 城市堤岸勘探孔深度穿过软土，同时满足稳定性验算、变形验算、抗冲刷验算、渗流稳定性分析及支护结构设计等要求。

6.3.9 城市轨道交通工程的勘察应符合下列要求：

1 陆地区间隧道勘探点宜在隧道结构外侧3m~5m的位置交错布置，水域段区间隧道的勘探点宜在隧道外侧6m~10m交错布置。钻探完毕应回填封孔；

2 可行性研究勘察应符合下列规定：

1) 充分搜集并利用工程沿线已有勘察资料，利用勘探孔与拟建隧道的距离不宜大于50m；

2) 勘探孔间距宜为300m~500m，且沿线每一地貌单元或工程地质单元不应少于1个勘探孔，每个车站不宜少于2孔；

3) 控制线路方案的江、河、湖等地表水体及不良地质作用和特殊性岩土地段布置勘探点；

4) 勘探孔满足场地稳定性、适宜性评价和线路方案设计、工法选择的需要，深度不宜小于50m，且穿越软土层进入中低压缩性土层；预定深度内遇较硬岩、坚硬岩可适当减少。

3 初步勘察应符合下列规定：

地下车站勘探点按结构轮廓线布置，每个车站勘探点数量不宜少于4个，勘探点间距50m~100m。

地下区间勘探点间距宜为100m~200m，在地貌、地质单元交接部位、地层变化较大地段以及不良地质作用和特殊性岩土发育地段应加密勘探点。区间联络通道、工作井、风井平面位置确定时，勘探点不少于1个；联络通道处钻孔不应进入隧道开挖范围。

勘探孔深度：钻穿软弱土并满足地基基础设计需要，且不宜小于50m。

4 地铁隧道详细勘察：

1) 勘探点间距根据场地的复杂程度、地下工程类别及地下工程的埋深、断面尺寸等综合确定，具体参照《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307；

2) 当上行、下行隧道内净距离大于等于15m时，或当上行、下行隧道外边线总宽度大于等于40m时，宜按单线分别布置勘探孔；

3) 车站端头部位应布置横断面，且不宜少于2个勘探孔；

4) 联络通道位置应单独布置横剖面且不宜少于2个勘探孔，孔间距不宜大于30m；左右线距离较近时，左右线中间不宜布孔。

6.3.10 沉井基础（或采用钢围堰施工的基础）的详细勘察遵照《公路工程地质勘察规范》JTG C20、《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130、《钢围堰工程技术标准》GB/T 51295等规定，并满足下列要求：

1 勘探工作量根据沉井尺寸和地质条件确定：

1) 勘探点布置: 基础面积小于 100m^2 的小、中型沉井基础的详细勘察勘探点沿基础对角或中心布置1个~2个勘探点; 基础面积不大于 200m^2 的大型沉井, 沿沉井轮廓线、中心布置于2个~4个勘探点; 基础面积大于 200m^2 的大型沉井, 形状为矩形时, 在四个角点各布置1个勘探点; 形状为圆形时, 在两个相互垂直的直径端点各布置一个勘探点; 宽度或直径超过30m时, 在基础中心应布置勘探点。特大沉井可根据设计要求增加勘探点;

2) 勘探点间距: 勘探点间距20m~30m, 当基岩面起伏较大或遇流砂、大漂石、树干、老桥基等情况时, 应在基础周围加密钻孔, 确定基岩顶面、沉井或钢围堰埋置深度;

3) 勘探孔深度: 宜进入刃脚以下(0.5~1)倍沉井直径(宽度), 钻穿软土且进入持力层不少于5m。持力层下有软弱下卧层分布时, 钻孔深度应加深。围堰勘探孔深度满足钢围堰设计要求。

2 沉井井壁与土体间的极限侧阻力标准值应根据工程地质条件, 通过试验或对比类似工程经验确定。当无试验或可靠资料时, 可按表2选用。

表 2 井壁与土体间的极限侧阻力标准值

土 名		极限侧阻力标准值 f_k (kPa)
软土		10~12
流塑黏性土		10~15
可塑、软塑黏性土		10~25
硬塑黏性土		25~50
砂土		25~45
砂砾石		30~50
卵石		40~60
助沉方法	灌砂	7~10
	泥浆套	3~5
	空气幕	2~5

注: 灌砂助沉适用于阶梯型井壁外侧。

3 沉井地基基础评价:

1) 提供井壁与土体间的摩阻力、沉井设计、施工和沉井基础稳定性验算的相关岩土参数; 评价软弱土层对沉井施工影响和沉井施工条件及其对环境的影响;

2) 地层中有孤石、树干或老桥基等难于清除的障碍物时, 或岩层表面倾斜较大及施工过程中可能出现流砂时, 不宜采用沉井基础。必需采用时, 应分析沉井设计、施工中的地质风险, 并提出应对措施及建议。

6.3.11 基坑与边坡勘察

6.3.11.1 基坑工程勘察, 除满足《基坑工程技术规程》DB42/T 159有关规定外, 尚应符合下列要求:

1 勘察的平面范围, 宜超过基坑边缘以外2倍~3倍基坑开挖深度, 深厚软土地段有条件时尚应适当扩大平面范围。当红线外或影响范围无法布置勘探点时, 应通过调查取得相应资料;

2 勘察手段: 软土基坑以静力触探、钻探为主要勘察手段, 工程需要时尚应进行现场十字板剪切试验、扁铲侧胀试验等;

3 勘探孔深度: 勘探孔深度不宜小于基坑开挖深度的2.5倍, 且满足基坑工程稳定性验算、地下水控制等要求。当2.5倍基坑开挖深度范围内遇稳定砂层或老黏性土层时, 勘探孔深度可适当减小, 但不宜小于2倍基坑开挖深度; 遇较完整基岩时, 孔深满足支护结构嵌岩深度的要求;

采用落底式帷幕防渗的基坑工程的勘探孔深度进入中风化基岩或隔水层2.0m以上;

4 地层分层时, 根据物质成分和状态对基坑影响深度内软弱土、夹层细分;

5 土工试验项目除包括常规试验外,软土尚应增加先期固结压力、有机质含量、无侧限抗压强度及灵敏度等试验内容,必要时提供土的静止侧压力系数等指标。基坑开挖较深、坑底有较厚软土,需预估基坑回弹量时,勘察根据设计要求提供基底下土层回弹指数及再压缩系数等参数。

6.3.11.2 边坡工程勘察,除满足《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《岩土工程勘察规程》DB42/T 169有关规定外,尚应满足下列要求:

1 根据边坡高度、软弱土特点、周边环境情况及可能的边坡破坏模式、潜在安全影响区域等,扩大现场调查范围;

2 勘探范围包括坡面区域和坡面外围一定的区域:对于可能按土体内部圆弧滑动的土质边坡,勘探范围不应小于1.5倍坡高;对可能沿岩土界面滑动的土质边坡,后部应大于可能的后缘边界,前缘应大于可能的剪出口位置。当影响范围无法布置勘探点时,应通过调查取得相应资料;

边坡横断面布置满足不同地层、分区段设计及施工要求,每个横剖面上勘探点不宜少于3个;

拟设置支挡结构时,沿支挡结构平面位置布置纵剖面并垂直布置横剖面;

当周边遇暗浜、暗塘,软弱土厚度变化或基岩面起伏很大时,宜加密勘探点;

3 勘察手段:软土边坡静力触探、钻探为主要勘探手段,工程需要时尚应进行现场十字板剪切试验;

4 地层分层时,根据物质成分和状态对边坡影响深度内软弱土、夹层细分。

6.3.11.3 邻近有河湖、池塘、洼地、河岸、边坡时,或地基受力范围内有起伏、倾斜的基岩、硬土层时,应分析软土侧向塑性挤出或产生滑移的危险程度,并提出工程处理措施建议。

6.3.12 不良地质作用与地质灾害

6.3.12.1 地面沉降防控区的勘察应符合下列要求:

1 大面积区域或场地内存在厚度较大的软弱土层时,按照表3进行沉降防控区分类;

表 3 地面沉降防控区分类

阶地类型	填土、软土及含软黏性土互层土厚度	沉降防控区分类	备注
I级阶地	大于或等于8m	地面沉降重点防控区	简称重点防控区
I级阶地	大于5m、小于8m	地面沉降一般防控区	简称一般防控区
高阶地湖积区	大于5m		

注:分类以软弱土厚度为主要判据,同时考虑软弱土性质、现场调查的历史数据、沉降估算结果以及对工程影响。

武汉市地面沉降防控区划参见附录A.3。

2 沉降防控区勘察,除对主要建(构)筑物进行勘察外,尚应结合主体结构对场区内道路、室外管线、广场、体育场、围墙等红线内的公共设施进行勘察;

3 沉降防控区勘察成果报告除符合现行有关规范要求外,尚应包括下列内容:

1) 确定场地的地面沉降防控区的划分;

2) 对公共设施的场地的地基进行分析和评价,并提供建议措施及相应设计参数;

3) 在填土、软土分布深厚地段,当存在大面积堆载或降水时,分析填土、软土沉降对桩基产生的负摩阻力;

4) 分析钻孔灌注桩等非挤土桩施工过程的桩周土缩颈问题,挤土桩施工过程中对周边环境的影响;

5) 预估地面沉降量,分析地面沉降对工程影响,并提出相应的措施建议。

6.3.12.2 地面塌陷的勘察应符合下列要求:

1 采用现场勘察及物探手段,调查、探测塌陷范围、深度,查明地层结构,分析塌陷原因,提出处理建议。

2 塌陷原因分析时考虑下列因素:

1) 填土、软土或粉土、砂土层在管道渗漏或地下水渗流等作用下,部分颗粒物被带走形成疏松区或空洞,逐步发展延伸到地表,造成局部地面塌陷;

2) I级阶地可溶岩区,当软土、砂土直接覆盖在可溶岩上时,在地下水渗流等作用下,颗粒物被从岩溶通道带走,砂土流失逐步发展延伸到地表形成岩溶地面塌陷;

3) 基础施工、抽取地下水等人类活动导致地面塌陷等。

6.3.12.3 滑坡的勘察应符合下列要求:

1 通过现场调查测量、取样及原位测试(静力触探试验、十字板剪切试验)、室内试验等手段,调查地表水、地质条件及周边荷载等情况,查明滑坡时间、规模、范围,分析滑坡原因、推算滑坡体参数,反演滑动面位置及抗剪强度指标,评价滑坡稳定性及其影响,提出处理措施建议;

2 根据滑坡规模、复杂程度及工程重要性布置勘探点,每条主勘探线上的勘探点不宜少于3个,勘探线、点间距宜按30m~60m控制。勘探孔深度应穿过最下一层滑面进入稳定地层,控制性孔进入稳定地层3m~5m,且满足滑坡治理设计要求;

3 滑坡治理需设置支护结构时,宜沿支护结构走向轴线布置勘探点并间隔1个~2个孔垂直走向轴线布置横断面,勘探点间距宜为15m~30m;孔深满足支护结构设计要求。

6.3.12.4 岸坡崩塌的勘察应符合下列要求:

临近湖塘、江河场地的建筑与市政工程,应通过现场调查、勘探取样及原位测试,查明地表水、地质条件,崩塌时间、规模、范围,分析发展趋势及影响,提出岩土参数及处理措施建议。岸坡崩塌影响范围内,提出避让或岸坡防护、加固措施建议。

6.3.13 勘探、取样和测试

6.3.13.1 采取岩土试样和原位测试除应符合《工程勘察通用规范》GB 55017、《岩土工程勘察规范》GB 50021和《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87等规定外,尚应满足下列要求:

1 钻探取样孔的数量不少于勘探孔总数的1/3,采取试样和原位测试(动力触探、静力触探试验、标准贯入试验或十字板剪切试验等)的勘探孔数量不少于勘探孔总数的1/2;地面沉降防控区,动力触探、静力触探试验或十字板剪切试验等原位测试孔数量不少于勘探孔总数的1/2;

当勘探点总数少于3个时,每个勘探孔均应取样试验、原位测试;

大型建筑群的单个建筑的基础规模较大时,单个建筑的每一主要岩土层的取样试验及原位测试宜满足上述要求。

2 江河I级、II级阶地及湖泊堆积区的软土、软塑~流塑状黏性土、以软塑或流塑状黏性土为主的互层土等高压缩性土勘察,应布置静力触探原位测试孔。静力触探试验孔数量宜满足下列要求:

1) 房屋建筑工程的静探孔数量除符合现行规范的规定外,每单栋建筑静力触探孔数量不宜少于4个;深厚软土区静力触探孔数量不宜少于勘探孔总数的1/3,地层复杂时应增加静力触探孔数;

2) 市政工程的静力触探孔数量宜占勘探孔总数的1/3~1/2,且不少于3个;

3) 基坑与边坡的静力触探孔的数量宜占勘探孔总数的1/2~2/3;

4) 静力触探孔深不满足设计要求时,宜根据工程性质及软弱土特点在代表性地段布置少量静力触探试验对比孔;对比孔与勘探孔间距不宜大于2.0m,并先实施静力触探试验,再进行其他勘探、试验;

5) 当深厚软土区上覆填土影响测试时,可对上覆填土成孔护壁后,对下伏软土改用静力触探试验;

3 土试样的质量等级符合工程需要、试验要求。流塑~软塑状黏性土的I级原状样采用薄壁取土器或探坑中采取,封存、运输和制备过程防止土样扰动。

6.3.13.2 填土应通过搜集资料与调查,查明填土的堆积年限以及填土的性质与填筑方式,根据填土的物质组成划分填土类型,当工程需要时采用钻探与原位测试方法查明填土的均匀性及密实程度,并评价对工程的影响。填土勘察可按下列方法进行:

1 填土勘探方法根据填土性质确定。对由粉土或黏性土组成的素填土,可采用钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法;对含较多粗粒成分的素填土和杂填土宜采用动力触探、钻探及井探;冲填土宜采用静力触探、标准贯入试验,并辅以室内试验。对大面积填土,可结合地球物理勘探方法查明填土的分布;

2 确定暗埋的塘、浜、坑、沟的范围时，勘察应在本文件规定的基础上加密勘探点，勘探孔的深度应穿透填土层。加密勘探孔数不包括在《工程勘察通用规范》GB 55017的3.2.2条中的控制性勘探孔和一般性勘探孔中；

3 填土的工程特性指标宜采用下列测试方法确定：

- 1) 填土的均匀性和密实度采用触探法，并辅以室内试验；
- 2) 填土的压缩性、湿陷性采用室内固结试验或现场载荷试验；
- 3) 杂填土的密度试验采用大容积法；
- 4) 填土的承载力采用原位测试方法结合当地经验确定，必要时进行现场载荷试验；

4 填土均匀性评价：统计原位测试数据(p_s 、 M_{10} 、 $N_{63.5}$ 或 M_{20})，根据变异系数按表4评价填土的均匀性。

表 4 填土均匀性评价

变异系数 δ	$\delta \leq 0.10$	$0.10 < \delta \leq 0.20$	$0.20 < \delta \leq 0.30$	$0.30 < \delta \leq 0.40$	$\delta > 0.40$
均匀性程度	均匀	比较均匀	不甚均匀	不均匀	很不均匀

6.3.13.3 原位测试的试验项目、测定参数、主要试验目的，根据工程需要按表5选用。

表 5 软弱土勘察原位测试方法

土性	试验项目	测定参数	试验目的及应用
软土、 饱和软塑~ 流塑黏性土	静力触探试验(包括单桥、双桥和孔压)	单桥比贯入阻力(P_s)、双桥锥尖阻力(q_c)、侧壁摩擦力(f_s)、摩阻比(R_f)、孔压静力触探的孔隙水压力(u)	1划分土层，判定黏性土状态、土层均匀性； 2估算地基土承载力和压缩模量； 3孔压消散试验估算土的固结系数； 4检验地基加固效果。
	十字板剪切试验	不排水抗剪强度(C_u)和残余强度(C_u')	1测定原位应力条件下软黏性土的不排水抗剪强度； 2估算软黏性土的灵敏度； 3估算地基土承载力； 4判定软黏性土的固结历史； 5验算软黏性土边坡的稳定性。
	扁铲侧胀试验	侧胀模量(E_b)、侧胀土性指数(I_b)、侧胀水平应力指数(K_b)、侧胀孔压指数(U_b)	1划分土层、判定土类； 2计算土的静止侧压力系数和侧向基床系数。
冲填土、松散的粉性土、砂土	静力触探试验	单桥比贯入阻力(P_s)	1划分土层；判定粉土、砂土密实度及土层均匀性； 2估算地基土承载力和压缩模量； 3判别场地地基液化； 4检验地基加固效果。
	标准贯入试验	标准贯入击数(N)	1划分土层，判定粉土、砂土密实度及土层均匀性； 2估算地基土承载力和压缩模量，砂土的内摩擦角； 3判别场地地基液化。
素填土(黏性土、粉土、砂土)	静力触探试验	单桥比贯入阻力(P_s)	1划分土层，判定粉土、砂土密实度及土层均匀性； 2估算地基土承载力和压缩模量； 3判别场地地基液化； 4检验地基加固效果。
	轻型动探(适用于地表以下4m范围内黏性土素填土)	动探击数(M_{10})	1评价填土均匀性； 2估算填土承载力； 3检验地基加固效果。
杂填土	重型动探	动探击数($N_{63.5}$)	1评价填土均匀性； 2估算填土承载力； 3检验地基加固效果。
	物探	波速(V)、视电阻率(ρ)	1查明大面积填土分布

表 5 软弱土勘察原位测试方法（续）

土性	试验项目	测定参数	试验目的及应用
各种软弱土	静载荷试验(平板载荷试验和螺旋板载荷试验)	比例界限压力(P_0)、极限压力(P_L)、压力与变形关系	1确定地基土承载力; 2估算地基土的变形模量; 3估算地基土的竖向基床系数。
	波速测试	压缩波速(v_p)、剪切波速(v_s)	1划分场地土类型、场地类别; 2提供地震反应分析所需的地基土动力参数(动剪切模量、动弹性模量、动泊松比、场地卓越周期等)。

6.3.13.4 软弱土的力学参数宜采用室内试验、原位测试结合当地经验确定。有条件时,可根据堆载试验、原型监测反分析确定。

室内土工试验类别、试验项目、测定参数及其工程应用可参见《岩土工程勘察规程》DB42/T 169表M.1。

抗剪强度指标室内宜采用直接快剪、固结快剪或三轴试验,原位测试宜采用十字板剪切试验。压缩系数宜采用含小压力的常规固结试验确定,并提供有代表性、含小压力的完整 $e\sim p$ 压缩曲线;先期固结压力、压缩指数、回弹指数、固结系数,宜采用高压固结试验确定。

6.4 天然地基承载力

6.4.1 天然地基的地基承载力特征值,应根据工程性质、设计要求和地基土特性,采用可靠方法及土性参数确定。

对设计等级为甲级的建筑物应采用载荷试验、理论公式计算、其它原位测试、室内试验及地方经验综合确定;对设计等级为乙级、丙级建筑物可采用理论公式、其它原位测试、室内试验及地方经验综合确定。

当采用不同方法所得结果有较大差异时,应综合分析加以选定。

6.4.2 利用原位测试、室内试验等确定地基承载力的地方经验可按《岩土工程勘察规程》DB42/T 169附录K执行。

6.4.3 根据静力触探比贯入阻力 p_s 标准值、十字板剪切强度 c_u 标准值、含水量 w 平均值可按表6~表9确定黏性土承载力特征值、压缩模量、无侧限抗压强度和排水抗剪强度的标准值。

表 6 淤泥质土、一般黏性土承载力特征值 f_{ak} 、压缩模量 E_{s1-2}

静力触探比贯入阻力 p_s (MPa)	承载力特征值 f_{ak} (kPa)	压缩模量 E_{s1-2} (MPa)
0.2	30	1.3
0.3	40	2.0
0.5	60	2.8
0.7	80	3.6
0.9	100	4.3
1.2	120	5.4
1.5	150	6.5
1.8	180	7.7
2.1	210	8.9
2.4	240	10.1
2.7	270	11.4
2.9	290	12

表 6 淤泥质土、一般黏性土承载力特征值 f_{ak} 、压缩模量 E_{s1-2} (续)

静力触探比贯入阻力 p_s (MPa)	承载力特征值 f_{ak} (kPa)	压缩模量 E_{s1-2} (MPa)
注: 1 以粉质黏土为主的粉质黏土与粉土、粉砂互层的 f_{ak} 值应按下式取值: $f_{ak} = \frac{f_{ak}(\min) + f_{ak}(\text{avg})}{2}$ 式中: $f_{ak}(\min)$ 为三者 f_{ak} 的最小值; $f_{ak}(\text{avg})$ 为三者 f_{ak} 的平均值。 2 f_{ak} 、 E_{s1-2} 分别与 p_s 建立关系; p_s 为0.2MPa时的承载力通过十字板抗剪强度及直快抗剪强度指标计算。		

表 7 黏性土无侧限抗压强度、不排水抗剪强度标准值

p_s (MPa)	q_u (kPa)	C_u (kPa)	p_s (MPa)	q_u (kPa)	C_u (kPa)
0.2	15.9	12.2	0.7	55.6	42.7
0.3	23.8	18.3	0.8	63.5	48.8
0.4	31.8	24.4	0.9	71.5	54.9
0.5	39.7	30.5	1.0	79.4	61.0
0.6	47.6	36.6	1.1	87.3	67.1

注1: 表中 q_u 、 C_u 是分别与与 p_s 建立关系。

表 8 淤泥和淤泥质土、黏性土承载力特征值

十字板试验不排水抗剪强度 C_u (kPa)	承载力特征值 f_{ak} (kPa)	
	淤泥和淤泥质土	饱和黏性土
5	20	22
10	30	35
15	40	47
20	50	60
25	65	72
30	75	85
40	/	110

表 9 淤泥和淤泥质土承载力特征值

天然含水量 W (%)	承载力特征值 f_{ak} (kPa)
36	70
40	65
45	60
50	55
55	50
65	40
≥ 75	≤ 30

6.4.4 填土受物质组成、堆填方式、堆积年代等因素影响，均匀性差，承载力变化大。填土承载力取值应符合下列要求：

- 1 以静载荷试验检测结果为主要依据，且检测数量应满足均匀性要求，试验点位具有代表性；
- 2 填筑土承载力及压缩模量可参照本文件表14结合现场勘察情况确定；
- 3 冲填时间超过5年的冲填土承载力可根据静探比贯入阻力按公式（3）估算：

$$f_{ak}=20+0.040p_s \quad (3)$$

式中：

p_s ——静探比贯入阻力平均值（kPa）， $p_s > 1000$ kPa取1000kPa。

7 天然地基基础

7.1 一般规定

7.1.1 地基设计应满足《建筑地基基础技术规范》DB42/242的要求，并符合下列规定：

- 1 地基满足承载力计算的要求；
- 2 进行地基变形设计；
- 3 对主要承受水平荷载作用或位于斜坡及边坡附近的工程结构，进行地基稳定性验算；
- 4 有地下建（构）筑物时进行抗浮设计。

7.1.2 软弱地基基础设计宜考虑上部结构和地基的共同作用；根据不同上部结构型式和地质条件，选用合理的基础方案，选用方案应符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242软弱地基章节相关规定。

7.1.3 软弱地基的承载力、变形和稳定能满足低层、多层建筑与市政工程的地基基础设计要求时，可采用天然地基；否则，应采用地基处理或桩基等其他方案。

填土层不应作为多层建筑地基，经处理后的填土层可作为低层建筑地基；当验算满足地基稳定和变形要求，或对软弱下卧层进行适当处理后，多层建筑可利用软弱地基表层较好土层（硬壳层）作为地基。

经处理后的填土层可作为对承载力及变形要求不高的一般路基、管涵等市政工程的基础持力层。

7.1.4 带有轨道行吊的轻钢厂房，采用天然地基应按有关规定进行变形验算，变形验算应考虑动荷载作用下软土流变的不利影响；当吊车起吊重量大于20t或吊车工作级别高于A5时，宜采用桩基础。

7.1.5 在满足地基稳定和变形要求的前提下，基础应尽量浅埋但埋深不宜小于0.5m。基底有较大水平力时，基础埋置深度应适当加大；对临近边坡坡肩的建筑物，基础埋深应通过边坡稳定性分析确定；基底应进入地基持力层深度不小于300mm。

7.1.6 新建建筑物基础埋深不宜大于原有建筑物基础埋深；当埋深大于原有建筑物基础时，两基础之间应保持一定净距，相邻基础之间埋深的最大高差不宜大于两基础之间净距的二分之一；必要时应对相邻建筑物采取加固或可靠的隔离保护措施。

7.1.7 在软弱地基建筑场地上，若需大面积填土，则宜优先采用先填土后施工基础的方案，填土应有压实措施。

当建筑场地为填方整平地区，且场地填土在施工前完成时，采用天然地基用于深度修正的基础埋置深度可自填土地面标高算起；但填土在上部结构施工后完成时，应从天然地面标高算起。

7.1.8 抗浮稳定性验算和结构构件（底板、地下室外墙、抗拔桩、抗浮锚杆等）承载力计算时设防水位应取建筑物设计工作年限内（包括施工期间）的最高水位；对结构构件（底板、地下室外墙、抗拔桩等）进行裂缝宽度、变形大小验算时水位可适当降低，可采用常年稳定水位，但不应低于潜水位。计算外墙裂缝宽度时可考虑竖向荷载的有利影响。

7.1.9 在腐蚀环境中基础混凝土构件的防腐蚀设计应符合《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046的规定。

7.2 承载力计算

7.2.1 当按地基承载力计算基础面积时，对不均匀沉降要求严格的建筑物，在作用的准永久组合下，

基础底面处的附加压力值不宜大于0.75倍地基承载力特征值 f_{ak} 。

7.2.2 基础底面形心与结构竖向永久荷载中心宜重合，当不能重合时，在作用的准永久组合下，偏心距应符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242的相关条款规定。当地基受力层范围内有软弱下卧层时，应按公式（4）验算：

$$p_z + p_{oz} \leq f_{az} \quad (4)$$

式中：

p_z ——相应于作用的标准组合时软弱下卧层顶面处的附加压力值（kPa）；

p_{oz} ——软弱下卧层顶面处土的自重压力值（kPa）；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处按抗剪强度指标计算或修正后的地基承载力特征值（kPa）。

对条形和矩形基础， p_z 值可按公式（5）、（6）计算：

条形基础

$$p_z = \frac{b(p_k - p_0)}{b + 2z \tan \theta} \quad (5)$$

矩形基础

$$p_z = \frac{lb(p_k - p_0)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (6)$$

式中：

b ——条形基础或矩形基础底边的宽度（m）；

l ——矩形基础底边的长度（m）；

p_0 ——基础底面处土的自重压力值（kPa）；

z ——基础底面至软弱下卧层顶面的距离（m）；

θ ——地基压力扩散线与铅直线的夹角（压力扩散角，°），按表10取值。

表 10 压力扩散角 θ 值

基础宽度 b 、持力层厚度 z 和 z/b	扩散角 θ 值	
$b \leq 12m$	$z/b \geq 1$ 或 $z \geq 3m$	18°
	$z/b < 1$ 且 $z \leq 1m$	0°
$b > 12m$	$z/b \geq 1/4$	18°
	$z \leq 2m$	0°

注：表中可内插确定 θ 值。

7.2.3 对于独立基础或条形基础间距较密的基础，验算软弱下卧层强度和地基变形时，必须考虑地基压力扩散重叠的影响。

7.2.4 当基础宽度大于3m或埋置深度大于0.5m，天然地基承载力可进行宽度或深度修正；修正后的地基承载力特征值应按《建筑地基基础技术规范》DB42/242的相关条款计算。

7.2.5 建筑物基础在满足地基承载力条件下，有条件时宜设计为条形或筏型基础。当按地基承载力计算条形基础面积时，应复核条形基础重叠面积修正基础宽度，必须满足基底压力不大于修正后的地基承载力特征值 f_a 的要求。

7.2.6 钢筋混凝土柱下独立基础、条形基础和筏型基础的最小配筋率应符合《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003、《建筑地基基础设计规范》GB 50007和《建筑地基基础技术规范》DB42/242的相关规定。钢筋混凝土两柱或多柱联合基础底面和顶面最小配筋率应分别不小于0.15%。

7.2.7 对于柱底轴力较小、但柱底弯矩很大、未控制零应力区的钢筋混凝土独立基础，以及承受上拔

力的钢筋混凝土独立基础，基础上表面应配筋，悬臂式挡土墙或高度较大顶端有约束的钢筋混凝土挡土墙条形基础，其顶面亦应配筋，最小配筋率应不小于0.15%。

7.2.8 对于柱下独立基础加防水板的设计，防水板可按四角支承在独立基础的双向板计算，或按以独立基础为柱帽的无梁楼板计算；防水板最小配筋率为0.15%，独立基础应考虑防水板的影响。

7.3 变形计算

7.3.1 软弱地基上的天然基础地基变形设计：砌体承重结构应主要由局部倾斜值控制；框架结构和单层排架结构应主要由相邻柱基的沉降差控制；多层建筑应主要由倾斜值控制。建筑物基础中心计算沉降量不应大于200mm。

7.3.2 墙下筏板基础，当结构竖向荷载重心与基础底平面形心的偏心距小于或等于0.01倍基础底面宽度时，可将建筑物的总荷载标准值均匀分布在筏板基础外包面积上进行变形计算。

7.3.3 基础最终沉降量可采用分层总和法计算，计算应符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242的相关规定。

7.3.4 软弱地基计算附加应力时应考虑相邻基础的影响，其值可按应力叠加原理，采用角点法计算。对于独立基础，当基础的净距大于相邻基础宽度时，可按集中荷载计算；对于条形基础，当基础的净距大于4倍相邻基础宽度时，可按线荷载计算。在一般情况下相邻基础净距大于10m时，可忽略其影响。

7.3.5 软弱地基设计时，应考虑大面积填土荷载引起软弱土层的固结变形影响。

7.4 控制建筑物沉降和不均匀沉降的措施

7.4.1 应充分利用软弱地基表层较好土层作为持力层。新建建筑规划阶段建筑总平面布置宜根据工程地质初步勘察资料，将主要建筑物布置在较好土层区域或土质均匀地段。

7.4.2 在满足使用和其他要求前提下，建筑体型应力求简单。当建筑体型比较复杂时，宜根据其平面形状和荷载差异情况，在适当部位设置沉降缝将其划分成若干个刚度较好的结构单元。

沉降缝的设置位置及构造措施参见《建筑地基基础技术规范》DB42/242软弱地基章节。

7.4.3 应采取建筑和结构措施减少建筑物沉降和不均匀沉降；不同类型结构有关措施参见《建筑地基基础技术规范》DB42/242软弱地基章节。

7.4.4 对于下列情况之一的独立基础宜设基础联系梁；独立基础联系梁高度不宜小于跨度的1/20~1/15，宽度不宜小于250mm。

- 1 框架结构；
- 2 基础埋置深度较深或基础埋置深度差别较大；
- 3 单层厂房中设有柱间支撑的相邻独立基础之间。

7.4.5 相邻建筑物均采用天然地基时，建筑物基础间的净距应符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242的软弱地基章节的规定。当不能满足规定要求以及当沉降缝设置在建筑物中部时，应采取措施以减少相邻建筑物的沉降影响。

7.4.6 当建筑物范围内有地面荷载的轻钢厂房、车间和仓库的设计，应考虑由于地面荷载所产生的地基不均匀变形及其对上部结构的不利影响。具体方法应符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242软弱地基章节的相关条款。

7.5 建筑物施工及使用期间的注意事项

7.5.1 基础施工前，应做好施工组织设计工作，具体施工应对措施应符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242软弱地基章节的规定。

7.5.2 当新建筑物基坑邻近原建筑物基础，应采取可靠的施工、围护措施，亦可采用加固原有建筑物地基的方法进行处理。

7.5.3 基坑降水系统的布置和施工，应减少保护对象下地下水位的变化，或设置隔水帷幕降低降水对邻近设施的影响；对于深基坑，应考虑挖土卸载所引起的坑底回弹和边坡稳定问题。

7.5.4 邻近浅埋基础的给排水管网，应采取防止水管渗漏加剧基础不均匀沉降的措施。

7.5.5 活荷载较大的建筑物，使用初期应根据固结沉降情况合理地控制加荷速率、加荷顺序和加荷间隔时间。

7.5.6 软弱地基上较厚的大面积填土，宜在基础施工前三个月完成，并做好下列工作：

- 1 设立稳固的沉降及水平位移观测点，对场地进行长期的沉降及水平位移观测；
- 2 软弱土层下如有表面坡度较大的稳定岩土体，应进行软弱土层的稳定性分析。

7.6 地面沉降防治

7.6.1 位于地面沉降重点防控区内的建筑物及地面沉降一般防控区内的住宅建筑，当未设置地下室时，一层室内地面应采用结构楼板，楼板应支撑于主体结构之上，住宅建筑一层阳台、造型墙体应采用悬挑结构及其他可靠措施；有管线进出的厨房、卫生间、楼梯间等部位需降板，降板范围可用轻质材料回填。

7.6.2 未设置地下室的大型公共建筑的室内地面宜设置结构板，或采取适宜的地基处理措施控制地面沉降；中、大型设备机房的室内地面宜设置结构板，同时应考虑设备振动对结构的不利影响。

7.6.3 住宅入口台阶宜以悬挑方式与主体结构连为一体；大型公共建筑入口大台阶按楼梯设计，并控制与主体结构之间的差异沉降量。

7.6.4 进入地下停车库的汽车坡道宜与主体结构连为一体，否则应考虑差异沉降影响。

7.6.5 建筑物周边散水、台阶、坡道的地基，室外主要道路、连接建筑物进出口的道路、广场、室外停车场等硬质铺地的地基，室外管线及地下水池、化粪池、储油罐等构筑物的地基均应设置在经过地基处理的基层之上或采取有效的结构措施；其地基处理范围应超出自身边缘不少于300mm；平台、坡道、建筑散水与建筑主体之间可采用柔性连接；并符合各专业设计要求。

7.6.6 场地整平回填不应采用耕土、淤泥、生活垃圾、有机质土等。回填土应分层压（夯）实，细粒土分层填筑厚度不宜超过400mm；池塘内的塘泥应清除或挤出。

7.6.7 基坑开挖后，肥槽回填土区域内的阳台、大堂、门廊、广场、道路等对沉降变形敏感的建筑部位宜采用做成结构的方式处理；如必须采用回填方法时，应严格控制填料和碾压施工质量进行，并及时现场取样检测，保证回填土施工满足设计要求。

7.6.8 回填土沉降的处理措施，应基于经济合理、安全可靠原则综合考虑。

8 地基处理

8.1 一般规定

8.1.1 选择地基处理方法前，应完成下列工作：

- 1 具备拟建建（构）筑物的详细岩土工程勘察资料、上部结构及基础设计资料等；
- 2 根据工程的要求和采用天然地基存在的主要问题，确定地基处理的目的、处理范围和处理后要求达到的各项技术经济指标等；
- 3 结合工程情况，了解当地地基处理经验和施工条件，对于有特殊要求的工程，尚应了解其他地区相似场地上同类工程的地基处理经验和使用情况等；
- 4 具备建筑场地的环境情况等资料；调查邻近建筑、地下工程和有关管线等情况。

8.1.2 选择地基处理方案时，应考虑上部结构、基础和地基的共同作用，并经过技术经济比较，选用地基处理或加强上部结构和地基处理相结合的方案。

8.1.3 地基处理方法的确定宜按下列步骤进行：

1 根据结构类型、荷载大小及使用要求，结合地形、地貌、工程地质条件、水文地质条件、环境情况和对邻近建（构）筑物的影响等因素进行综合分析，初步选出几种可供考虑的地基处理方案，包括选择两种或多种地基处理方法组合的综合处理方案；

2 对初步选出的各种地基处理方案，分别从加固原理、适用范围、预期处理效果、耗用材料、施工机械、工期要求和对环境的影响等方面进行技术经济分析和对比，选择最佳的地基处理方法；

3 对已选定的地基处理方法，宜按建（构）筑物地基基础设计等级和场地复杂程度，在有代表性的场地上进行相应的现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求时，应查明原因，修改设计参数或调整地基处理方法；

4 保证安全施工，施工中应重视环境效应，并遵循信息化施工的原则；在施工过程中应进行监测，当监测结果未达到设计要求时，及时查明原因，并修改设计或采用其他必要措施。

8.1.4 经处理后的地基，当按地基承载力确定基础底面积及埋深而需要对本文件确定的地基承载力特征值进行修正时，应符合下列规定：

1 大面积压实填土地基，基础宽度的地基承载力修正系数应取零；基础埋深的地基承载力修正系数，对于压实系数大于0.95、黏粒含量 $\rho_c \geq 10\%$ 的粉土可取1.5，对于干密度大于 2.1t/m^3 的级配砂石可取2.0；

2 其他处理地基，基础宽度的地基承载力修正系数应取零，基础埋深的地基承载力修正系数取1.0。

8.1.5 处理后的地基应满足建（构）筑物地基承载力、变形和稳定性要求，地基处理的设计尚应符合下列规定：

1 经处理后的地基，当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时，进行下卧层的地基承载力验算；

2 按《建筑地基基础技术规范》DB42/242的规定应进行地基变形计算且需进行地基处理的建筑物或构筑物，对处理后的地基进行变形验算；对工后沉降控制较严的复合地基按照沉降控制的原则进行设计；

3 对建造在处理后的地基上受较大水平荷载或位于斜坡上的建（构）筑物，进行稳定性验算；

4 处理后的地基进行处理范围和有效加固深度内地基均匀性评价，以及复合地基增强体的成体质量和承载力评价；

5 处理后的地基承载力验算，同时满足轴心荷载作用和偏心荷载作用要求；

6 处理后的地基整体稳定分析可采用圆弧滑动法，其稳定安全系数不应小于1.30。采用多种地基处理方法综合使用的地基处理工程验收检验时，处理地基的综合安全系数不应小于2.0；

7 刚度差异较大的整体大面积基础地基处理，宜考虑上部结构、基础、地基共同作用进行地基承载力和变形验算；当采用刚性桩复合地基时，可考虑采用变刚度调平设计方。

8.1.6 地基处理采用的材料，应根据场地环境类别选用并符合有关标准对耐久性的要求。

8.1.7 采用多种方法处理的地基承载力检验，宜采用将每一种方法都包含在内的大尺寸承压板进行载荷试验，最大加载量不应小于承载力特征值的2.0倍。

8.1.8 处理后地基载荷试验、复合地基载荷试验、复合地基增强体单桩载荷试验应分别按《建筑地基处理技术规范》JGJ 79及本文件附录F的规定执行。

8.1.9 对于《建筑地基基础设计规范》GB 50007与《建筑地基基础技术规范》DB42/242规定需要进行地基变形计算的建筑物或构筑物，经地基处理后，应进行沉降观测，直至沉降达到稳定标准为止。

8.1.10 软弱地基常用处理方法、适用范围及优缺点见表11，根据工程需要选用。

表 11 软弱地基常用处理方法及适用范围一览表

处理层位	处理方法	适用范围	优缺点
地面上处理	垫层	软弱土地基表层处理	施工简便、速度快
	堆载预压(包括等载预压、超载预压和欠载预压)	有足够预压期的软土地基处理	优点：施工简便，造价较低 缺点：预压期长，需要两次调运预压土方
	反压护道	施工期间路堤失稳的应急处理和修复	增加工程占地
地面下浅层处理	粒料垫层	换填处理厚度不大于3.0m	施工工艺简便，处理深度浅
	灰土垫层	换填处理厚度不大于3.0m	施工工艺简便，处理深度浅
	抛石挤淤	含水率大，厚度不大于3.0m的软土	施工工艺简便，处理深度浅

表 11 软弱地基常用处理方法及适用范围一览表（续）

处理层位	处理方法		适用范围	优缺点
地地下深 层处理	动力挤 密与置 换	强夯和强夯置换	强夯法适用于处理碎石土、砂土、杂填土、低饱和度的粉土与黏性土等地基；强夯置换法适用于处理高饱和度的粉土与软黏土地基上变形要求不严格的工程	施工工艺简单，施工速度快，工期短，但对周围地基及环境影响大
	排水 固结	袋装砂井、塑料排水板	各种软土地基	施工简便，周期长
		真空预压	含水率大、软土性质差的地基	施工工艺要求高，工期较长，需要专用设备
		真空—堆载联合预压		
	复合地 基	无粘结材料桩	振冲置换法成桩时软土的十字板抗剪强度不小于 15kPa，振动沉管法成桩时软土的十字板抗剪强度不小于20kPa	施工工艺较复杂，能够缩短预压期
		水泥土搅拌桩（粉喷桩、浆喷桩）	软土的十字板抗剪强度不小于10kPa，有机质含量不大于10%	
		旋喷桩	软土、黏性土（流塑~可塑）、粉土、砂土、素填土等地基	
		刚性桩（钢筋混凝土桩、素混凝土桩、预应力管桩、CFG桩）	软土的十字板抗剪强度不小于20kPa	
	桩网	先张法预应力混凝土薄壁管桩	适合于深厚软土地基结构物两端和高路堤段、堆场、机场跑道、桥头路基等	施工速度快，桩体强度高，工后沉降小，质量易控制；但工艺复杂、造价偏高
		现浇混凝土灌注桩		
其它	路堤地基隔离墙		适用于相邻路堤、新老路堤之间出现干扰情况下的隔离	施工工艺较复杂

8.2 换填垫层

8.2.1 一般规定

8.2.1.1 换填垫层适用于浅层软弱土层或不均匀土层的地基处理。

8.2.1.2 对于工程量较大的换填垫层，应按所选用的施工机械、换填材料及场地的土质条件进行现场试验，确定换填垫层压实效果和施工质量控制标准。

8.2.1.3 换填垫层厚度应根据置换软弱土的深度以及下卧土层的承载力确定，厚度宜为0.5m~3.0m。

8.2.1.4 当在基坑中进行换填施工时，基坑支护设计与计算应考虑超挖换填的情况。

8.2.2 设计

8.2.2.1 垫层材料的选用应符合下列要求：

1 砂石。宜选用碎石、卵石、角砾、圆砾、砾砂、粗砂、中砂或石屑，并应级配良好，不含植物残体、垃圾等杂质。当使用粉细砂或石粉时，掺入不少于总重量30%的碎石或卵石。砂石的最大粒径不宜大于50mm；

2 粉质黏土。土料中有机质含量不得超过5%，且不得含有膨胀土。当含有碎石时，其最大粒径不宜大于50mm；

3 灰土。体积配合比宜为2:8或3:7。石灰宜选用新鲜的消石灰，其最大粒径不得大于5mm。土料宜选用粉质黏土，不宜使用块状黏土，且不得含有松软杂质，土料应过筛且最大粒径不得大于15mm；

4 粉煤灰。选用的粉煤灰满足相关标准对腐蚀性和放射性的要求。粉煤灰垫层上宜覆土0.3m~0.5m。粉煤灰垫层中采用掺加剂时，通过试验确定其性能及适用条件。粉煤灰垫层中的金属构件、管网采取防腐措施。大量填筑粉煤灰时，经场地地下水及土壤环境的不良影响评价合格后方可使用；

5 矿渣。宜选用分级矿渣、混合矿渣及原状矿渣等高炉重矿渣。矿渣的松散重度不应小于11kN/m³，有机质及含泥总量不得超过5%。垫层设计、施工前对所选用的矿渣进行试验，确认性能稳定并满足腐蚀性和放射性安全要求。对易受酸、碱影响的基础或地下管网不得采用矿渣垫层。大量填筑矿渣时，经场地地下水及土壤环境的不良影响评价合格后方可使用。严禁使用含有膨胀性物质的矿渣；

6 其他工业废渣。在有充分依据或成功经验时，可采用质地坚硬、性能稳定、透水性强、无腐蚀性和无放射性危害的其他工业废渣材料，但应经过现场试验证明其经济技术效果良好且施工措施完善后方可使用；

7 土工合成材料加筋垫层。所选用土工合成材料的品种与性能及填料，应根据工程特性和地基土质条件，按照《土工合成材料应用技术规范》GB50290的要求，通过设计计算并进行现场试验后确定。土工合成材料应采用抗拉强度较高、耐久性好、抗腐蚀的土工带、土工格栅、土工格室、土工垫或土工织物等土工合成材料。垫层填料宜用碎石、角砾、砾砂、粗砂、中砂等材料，且不宜含氯化钙、碳酸钠、硫化物等化学物质。当工程要求垫层具有排水功能时，垫层材料应具有良好的透水性。在软弱地基上使用加筋垫层时，应保证建筑物稳定并满足允许变形的要求。

8.2.2.2 垫层厚度应根据垫层底部土层承载力及变形确定，按本文件7.2.2条规定进行计算，垫层扩散角宜通过试验确定。无试验资料时，可按表12采用。

表 12 土和砂石材料压力扩散角 θ (°)

z/b	换 填 材 料		
	中砂、粗砂、砾砂、圆砾、角砾、石屑、碎石、矿渣	粉质黏土、粉煤灰	灰土
0.25	20	6	28
≥ 0.50	30	23	28

注：1 当 $z/b < 0.25$ 时，除灰土取 $\theta = 28^\circ$ 外，其他材料均取 $\theta = 0^\circ$ ，必要时宜由试验确定；
 2 当 $0.25 < z/b < 0.5$ 时， θ 值可以内插；
 3 土工合成材料加筋垫层其压力扩散角宜由现场静载荷试验确定；
 4 同一建筑物下垫层厚度不同时，垫层顶面标高应相同，应在厚度变化处的底面挖成台阶搭接。

8.2.2.3 垫层底面的宽度应符合下列规定：

- 1 垫层底面宽度满足基础底面应力扩散的要求，并按公式（7）确定：

$$b' = b + 2z \tan \theta \tag{7}$$

式中：

b' ——垫层底面宽度（m）；

Z ——基础底面下垫层的厚度（m）；

θ ——压力扩散角，按表12取值；当 $z/b < 0.25$ 时，按表12中 $z/b = 0.25$ 取值；

2 垫层顶面每边超出基础底边缘不应小于300mm，且从垫层底面两侧向上放坡；

3 整片垫层底面的宽度可根据施工的要求适当加宽。

8.2.2.4 垫层的压实标准可按表13选用。矿渣垫层的压实系数可根据满足承载力设计要求的试验结果，按最后两遍压实的压陷差确定。

表 13 各种垫层的压实标准

施工方法	换填材料类型	压实系数 λ 。
碾压 振密 或夯实	碎石、卵石	≥ 0.97
	砂夹石（其中碎石、卵石占全重的30%~50%）	
	土夹石（其中碎石、卵石占全重的30%~50%）	
	中砂、粗砂、砾砂、砾石、石屑	

表 13 各种垫层的压实标准（续）

施工方法	换填材料类型	压实系数 λ_c
碾压 振密 或夯实	粉质黏土	≥ 0.97
	灰土	≥ 0.95
	粉煤灰	≥ 0.95

注：1 压实系数 λ_c 为土的控制干密度 ρ_d 与最大干密度 ρ_{dmax} 的比值；土的最大干密度宜采用击实试验确定；碎石或卵石的最大干密度可取 $2.1\text{t/m}^3 \sim 2.2\text{t/m}^3$ 。
2 表中压实系数 λ_c 系使用轻型击实试验测定土的最大干密度 ρ_{dmax} 时给出的压实控制标准。采用重型击实试验时，对粉质黏土、灰土、粉煤灰及其他材料压实标准应为压实系数 $\lambda_c \geq 0.94$ 。

8.2.2.5 换填垫层的承载力及压缩模量、变形模量宜通过现场静载荷试验确定。当无试验资料时，在满足设计密实度要求后，初步设计可按表14选用。

表 14 垫层的承载力及变形参数

换填材料类型	承载力特征值 f_{ak} (kPa)	压缩模量 E_s (MPa)	变形模量 E_0 (MPa)
碎石、卵石	200~300	30~50	
砂夹石（其中碎石、卵石占全重的30%~50%）	200~250		
土夹石（其中碎石、卵石占全重的30%~50%）	150~200		
中砂、粗砂、砾砂、砾石	150~200	20~30	
粉质黏土	130~180		
石屑	120~150		
灰土	200~250		
粉煤灰	120~150	8~20	
矿渣	200~300		35~70

注：1 压实系数小的垫层，承载力特征值取低值，反之取高值；原状矿渣垫层取低值，分级矿渣或混合矿渣垫层取高值。
2 压实矿渣的 E_0/E_s 比值可按1.5~3.0取用。

8.2.2.6 对于垫层下存在软弱下卧层的建筑，在进行地基变形计算时应考虑邻近建筑物基础荷载对软弱下卧层顶部应力叠加的影响。当超出原地面标高的垫层或换填材料的重度高于天然土层重度时，应及时换填，并应考虑其附加荷载的不利影响。

8.2.2.7 垫层地基的变形由垫层自身变形和下卧层变形组成。换填垫层在满足本文件第8.2.2.2条~8.2.2.4条的条件下，垫层地基的变形可仅考虑其下卧层的变形。对地基沉降有严格限制的建筑，应计算垫层自身的变形。垫层下卧层的变形量可按《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑地基基础技术规范》DB42/242的规定计算。

8.2.2.8 加筋土垫层所选用的土工合成材料尚应按公式（8）进行材料强度验算：

$$T_p \leq T_a \quad (8)$$

式中：

T_a ——土工合成材料在允许延伸率下的抗拉强度（kN/m）；

T_p ——相应于作用的标准组合时，单位宽度的土工合成材料的最大拉力（kN/m），对于筋材可按公式（9）确定：

$$T_p = p_z f_s / m_c \quad (9)$$

式中：

f_s ——筋带的似摩擦系数，由试验确定；

m_c ——土工合成材料筋材综合影响系数，宜控制在3~8之间，一般取4~6。

8.2.2.9 加筋土垫层的加筋体设置应符合下列规定：

- 1 一层加筋时，设置在垫层的中部；
- 2 多层加筋时，首层筋材距垫层顶面的距离宜取30%垫层厚度，筋材层间距宜取30%~50%的垫层厚度，且不应小于200mm；
- 3 加筋线密度宜为0.15~0.35。无经验时，单层加筋宜取高值，多层加筋宜取低值。垫层的边缘应有足够的锚固长度。

8.2.3 施工

8.2.3.1 垫层施工应根据不同的换填材料选择施工机械。粉质黏土、灰土垫层宜采用平碾、振动碾或羊足碾，以及蛙式夯、柴油夯。砂石垫层等宜用振动碾。粉煤灰垫层宜采用平碾、振动碾、平板振动器、蛙式夯。矿渣垫层宜采用平板振动器或平碾，亦可采用振动碾。

8.2.3.2 垫层的施工方法、分层铺填厚度、每层压实遍数宜通过现场试验确定。除接触下卧软土层的垫层底部应根据施工机械设备及下卧层土质条件确定厚度外，其他垫层的分层铺填厚度宜为200mm~300mm。为保证分层压实质量，应控制机械碾压速度。

8.2.3.3 粉质黏土和灰土垫层土料的施工含水量宜控制在 $\omega_{op} \pm 2\%$ 的范围内，粉煤灰垫层的施工含水量宜控制在 $\omega_{op} \pm 4\%$ 的范围内。最优含水量 ω_{op} 可通过击实试验确定。

8.2.3.4 当垫层底部存在古井、古墓、洞穴、旧基础、暗塘时，应根据建筑物对不均匀沉降的控制要求予以处理，并经检验合格后方可铺填垫层。

8.2.3.5 基坑开挖时应避免坑底土层受扰动，可保留180mm~220mm厚的土层暂不挖去，待铺填垫层前再由人工挖至设计标高。严禁扰动垫层下的软弱土层，防止软弱土层被践踏、受冻或受水浸泡。在碎石或卵石垫层底部宜设置厚度为0.15m~0.3m的砂垫层或铺一层土工织物，并应防止基坑边坡塌土混入垫层中。

8.2.3.6 换填垫层施工时，应采取有效的排水与支护措施。

8.2.3.7 垫层底面标高不同时，应按先深后浅的顺序进行垫层施工，搭接处应夯压密实。

8.2.3.8 粉质黏土、灰土垫层及粉煤灰垫层施工，应符合下列规定：

- 1 粉质黏土及灰土垫层分段施工时，不得在柱基、墙角及承重窗间墙下接缝；
- 2 垫层上下两层的缝距不得小于500mm，且接缝处应夯压密实；
- 3 灰土拌合均匀后，当日铺填夯压；灰土夯压密实后，3d内不得受水浸泡；
- 4 粉煤灰垫层铺填后，宜当日压实，每层验收后及时铺填上层或封层，并禁止车辆碾压通行；
- 5 垫层施工竣工验收合格后，及时进行基础施工与基坑回填。

8.2.3.9 土工合成材料施工，应符合下列要求：

- 1 下铺地基层面平整；
- 2 土工合成材料铺设顺序先纵向后横向，且土工合成材料张拉平整、绷紧，严禁有皱折；
- 3 土工合成材料的连接宜采用搭接法、缝接法或胶接法，接缝强度不应低于原材料抗拉强度，端部采用有效方法固定，防止筋材拉出；
- 4 避免土工合成材料暴晒或裸露，阳光暴晒时间不应大于8h。

8.2.4 质量检验

8.2.4.1 对粉质黏土、灰土、砂石、粉煤灰垫层的施工质量可选用环刀取样、静力触探、轻型动力触探或标准贯入试验等方法进行检验；对碎石、矿渣垫层的施工质量可采用重型动力触探试验等进行检验。压实系数可采用灌砂法、灌水法或其他方法进行检验。

8.2.4.2 换填垫层的施工质量检验应分层进行，并应在每层的压实系数符合设计要求后铺填上层。

8.2.4.3 采用环刀法检验垫层的施工质量时，取样点应选择位于每层垫层厚度的2/3深度处。检验点数量，条形基础下垫层每10m~20m不应少于1个点，独立柱基、单个基础下垫层不应少于1个点，其他基础

下垫层每 $50\text{m}^2\sim 100\text{m}^2$ 不应少于1个点。采用标准贯入试验或动力触探法检验垫层的施工质量时，每分层平面上检验点的间距不应大于4m。

8.2.4.4 竣工验收应采用静载荷试验检验垫层承载力，且每个单体工程不宜少于3个点；对于大型工程应按单体工程的数量或工程划分的面积确定检验点数。

8.2.4.5 加筋垫层中土工合成材料的检验应符合下列要求：

- 1 土工合成材料质量符合设计要求，外观无破损、无老化、无污染；
- 2 土工合成材料可张拉、无皱折、紧贴下承层，锚固端锚固牢靠；
- 3 上下层土工合成材料搭接缝交替错开，搭接强度满足设计要求。

8.3 抛石挤淤

8.3.1 对于市政道路、管道、小型构筑物等荷载较小且变形要求不高的建（构）筑物基础下的软土可采用抛石挤淤法处理。抛石挤淤法适用于表层软土厚度小于3m的浅层软弱地基处理。

8.3.2 抛石挤淤设计应符合以下规定：

- 1 采用抛石挤淤方法处理地基需进行地基的沉降、承载力和整体稳定性验算；
- 2 抛石挤淤的抛石高度高出软土、淤泥层顶及地表水位不小于0.5m，宽出路基或构筑物基础两侧不小于1m；抛石顶面采用粒径小于10cm的碎石或级配碎石填平、碾压密实；
- 3 抛石石料宜采用粒径较大的石料，石料厚度或直径不宜小于30cm，其中30cm粒径以下的石料含量不宜大于20%；
- 4 抛石石料选择质地坚硬、不易风化的块石，岩块天然饱和单轴抗压强度不宜小于30MPa，软化系数不小于0.8。膨胀性岩石、易溶性岩石、崩解性岩石和盐化岩石不得直接用于填筑；
- 5 爆破抛石挤淤通过现场试验确定施工参数。

8.3.3 施工

1 抛石挤淤施工应符合以下规定：

- 1) 当下卧地层平坦时，沿道路中线向前呈三角形抛填，再渐次向两旁展开，将淤泥挤向两侧；
- 2) 当下卧地层具有明显横向坡度时，从下卧层高的一侧向低的一侧扩展，并在低侧边部多抛投不少于2m宽，形成平台顶面；
- 2 每抛填一层石料采用碎石充填空隙，宜采用锤击压实块石，分层厚度不大于80cm。石料抛填出软土面（或水面）后，用较小石块填塞垫平，并碾压密实。道路路基抛填至水面以上后可用重型机具碾压紧密（带振压路机压实）。

8.3.4 质量检验

- 1 抛石挤淤成型后的外观质量检查标准：地基表面无明显孔洞；大粒径石料不松动，铁锹挖动困难。
- 2 抛石顶面压路机运行时应有无明显回弹及沉降现象，路堤石料孔隙率小于等于22%，压实沉降差应小于试验路段确定的沉降差。

8.4 预压地基

8.4.1 一般规定

8.4.1.1 预压法地基处理适用于淤泥、淤泥质土、冲填土等饱和黏性土地基，预压法地基处理工艺可分为堆载预压、真空预压和真空—堆载联合预压。预压法可用于堆场、道路、机场、港区陆域、大面积填土等工程。

8.4.1.2 真空预压适用于处理以黏性土为主的软弱地基。对于塑性指数大于25且含水量大于85%的淤泥，应通过现场试验确定其适用性。加固土层上覆盖有厚度大于5m以上的回填土或承载力较高的黏性土层时，不宜采用真空预压处理。采用预压法进行地基处理时，应考虑对处理场地周边的不利影响。

8.4.1.3 预压法的设计，应按太沙基固结理论、砂井固结理论，对预压处理进行理论设计；对于大型工程场地，必要时采用Biot固结理论进行专项设计，确定预压法的各种设计参数及相应工况下的稳定、变形、地基土强度等，优选最佳的预压法设计施工参数。

8.4.2 设计

8.4.2.1 预压法的地基处理设计应包括以下内容：

- 1 选择竖向排水体，确定断面尺寸、间距、排列方式和深度；确定水平向排水体的布置、厚度和材料，水平排水体必须具有良好的透水性能；
- 2 确定堆载材料、预压区范围、预压荷载大小、荷载分级、加载速率、预压时间和卸载标准；
- 3 计算地基土的变形、固结度、强度增长和抗滑稳定性；
- 4 提出监测要求和目的，确定监测项目、监测设备、监测方法、控制标准、测点布置和数量；
- 5 采用真空预压法时，确定真空预压工艺、分区大小、真空排水管道的布置、抽真空设备的数量和布置。

8.4.2.2 竖向排水体宜采用塑料排水带，亦可采用普通砂井、袋装砂井等。不同类型的排水体与不同的预压方法应分别采用对应的设计及施工方法。普通砂井直径不宜小于250mm，袋装砂井直径不宜小于70mm，塑料排水带的宽度不宜小于100mm，厚度不宜小于3.5mm。排水带的当量换算直径 d_p 可按公式（10）换算：

$$d_p = \frac{2b + \delta}{\pi} \quad (10)$$

式中：

b ， δ ——分别为排水板的宽度和厚度（mm）。

8.4.2.3 竖向排水体可采用等边三角形或正方形排列的平面布置。排水体的有效排水直径 d_e 和竖向排水体间距 s 的关系为公式（11）、公式（12）：

$$\text{等边三角形布置} \quad d_e = 1.05s \quad (11)$$

$$\text{正方形布置} \quad d_e = 1.13s \quad (12)$$

排水体的平面布置范围应在基础周边或工程要求加固区域外增加1排~2排。

8.4.2.4 竖向排水体的深度应根据地基土层的分布情况，及建筑物对地基稳定、变形和工期要求确定。以地基稳定性控制的工程，竖向排水体深度宜超过潜在最危险滑动面以下2m。以沉降控制的工程，如压缩土层较薄，竖向排水体宜贯穿压缩土层；若压缩土层较深，竖向排水体的深度根据限定时间内应消除的沉降量确定。

8.4.2.5 预压处理地基应在地表铺设排水垫层，垫层厚度不宜小于0.5m。垫层宜选用砂垫层，砂料宜选用洁净中粗砂，黏粒含量不应大于3%，干密度应大于1500kg/m³，渗透系数应大于1×10⁻²cm/s；或采用土工织物砂砾石垫层或级配碎石垫层。在预压区边缘应设置排水沟，预压区内宜设置与砂垫层相连的排水盲沟。

8.4.2.6 预压荷载大小应根据设计要求确定，可取建筑物的基底压力作为预压荷载。实际施工的荷载应包括预压荷载和由于地面高程不足或因预压后地表低于设计高程而回填或补填的土重。

当预压时间受工期限制或对沉降有严格要求的建筑物，可采用超载预压。超载量应根据预压时间内要求完成的变形量或土体强度增长值通过计算确定，超载预压荷载可取设计荷载的1.1倍~1.4倍。

8.4.2.7 预压荷载下地基的最终沉降量按公式（13）计算：

$$s_f = \psi \sum_{i=1}^n \frac{e_{oi} - e_{li}}{1 + e_{oi}} h_i \quad (13)$$

式中：

e_{oi} ——第 i 层土中点自重应力对应的孔隙比，由压缩试验 $e-p$ 曲线查得；

e_{li} ——第 i 层土中点自重应力与附加应力之和对应的孔隙比，由压缩试验 $e-p$ 曲线查得；

h_i ——第 i 层土层厚度（m）；

ψ ——经验系数，可按地区经验确定。无经验时对堆载预压下的正常固结或轻微超固结饱和黏性土地基1.1~1.4；对真空预压、真空堆载联合预压下的地基可取1.0~1.3；荷载较大或地基软弱土层厚度大时应取较大值。

计算时可取附加应力与土自重应力比值为0.1的深度作为压缩层的计算深度。

8.4.2.8 采用真空预压时，加固区周边应采取确保膜下真空压力满足设计要求的密封措施。当表层存在良好透气层或在处理范围内有充足水源补给的透水层时，应采取有效措施隔断透气层或透水层。

8.4.2.9 当采用真空预压不能满足加固要求，或建筑物对地基变形有严格要求时，可采用真空堆载联合预压法，其总压力宜超过建筑物的竖向荷载。预压区边缘应大于工程应处理的范围，每边增加量不宜小于3m。

8.4.2.10 凡具有一定规模的预压加固工程，应设置原位监测系统，监测预压过程中地基变形和稳定性的动态变化，以控制加载速率，防止地基剪切破坏，并检验加固效果。

8.4.3 施工

8.4.3.1 对主要以变形控制的建筑地基，当地基土经预压所完成的变形量和平均固结度符合设计要求时，方可卸载。对主要以地基承载力或抗滑稳定性控制的建筑，当地基土经预压后其强度满足建筑物地基承载力或稳定性要求时方可卸载。

8.4.3.2 严格控制预压荷载的加荷速率，当天然地基土的强度满足预压荷载下地基的稳定性要求时，可一次性加载，否则应分级逐渐加载，可利用前一级荷载预压下的地基土抗剪强度增长值，用 $\phi=0$ 圆弧滑动条分法计算地基的稳定性，稳定安全系数不小于1.25。

8.4.3.3 塑料排水带技术、质量指标应符合设计要求。露天堆放应有遮盖，不得长时间暴晒。破损或污染的塑料排水带不得在工程中使用。

8.4.3.4 塑料排水带施工质量应符合表15的规定。

表 15 塑料排水带施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	平面间距	±150mm	抽查3%
2	排水带长度	不小于设计值	抽查3%
3	竖直度	1.5%	查施工记录

8.4.3.5 袋装砂井中、粗砂中大于0.6mm颗粒的含量宜占总重量的50%以上，含泥量小于3%，渗透系数大于 1×10^{-2} cm/s。砂袋的渗透系数应不小于砂的渗透系数。砂袋应垂直下井，不得扭结、缩颈、断裂、磨损。

8.4.3.6 袋装砂井施工质量应符合表16的规定。

表 16 袋装砂井施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	平面间距	±150mm	抽查3%
2	井深	不小于设计值	抽查3%
3	井径	±10mm	挖验3%
4	竖直度	1.5%	查施工记录
5	灌砂率	-5%	查施工记录

8.4.3.7 塑料排水带超过孔口的长度应能伸入砂垫层不小于500mm，预留段应及时弯折埋设与砂垫层中，与砂垫层贯通。塑料排水带不得搭接。袋装砂井砂袋在孔口外的长度应能顺直伸入砂垫层不小于300mm。

8.4.3.8 真空预压时，抽真空持续时间应符合设计要求，设计无规定时可持续（2~5）个月。真空预压的抽气设备宜采用射流真空泵，真空抽吸力不应小于95kPa。膜下真空压力应持续稳定在80kPa以上。

8.4.3.9 真空预压时，密封膜宜铺设（2~3）层，具体层数根据密封膜性能确定，膜周边可采用挖沟埋膜。密封沟深度应低于地下水位并切断透水层。沟底宽度应大于400mm，密封膜与沟底黏土之间应进行密封处理。

8.4.3.10 真空堆载联合预压，堆载填筑宜在抽真空状态稳定后开始进行，或按设计要求开始堆载。堆载速率应符合设计要求，堆载期间应保持抽真空。

8.4.4 质量检验与监测

8.4.4.1 对预压的地基土进行原位试验和室内土工试验。原位试验可采用十字板剪切试验或静力触探，检验深度不应小于设计处理深度。原位试验和室内土工试验，应在卸载3d~5d后进行。检验数量按每个处理分区不少于6点进行检测。

8.4.4.2 施工过程中，应进行地基竖向变形、侧向位移、孔隙水压力等监测。真空预压、真空和堆载联合预压尚应进行真空压力和地下水位监测。真空压力每隔4h观测一次，表面沉降每2d测一次。

8.4.4.3 竖向排水体处理深度范围内和竖向排水体底面以下受压土层，经预压所完成的竖向变形和平均固结度应满足设计要求。

8.5 复合地基

8.5.1 一般规定

8.5.1.1 复合地基设计应满足建筑物承载力和变形要求。对于地基土为欠固结土、膨胀土、可液化土等特殊土，设计时应综合考虑土体的特殊性质选用适当的增强体和施工工艺，以保证处理后的地基土和增强体共同承担荷载。

8.5.1.2 复合地基设计应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以确定设计参数和处理效果，取得地区经验后方可推广使用。

8.5.1.3 复合地基增强体应进行桩身完整性和承载力检验。

8.5.1.4 复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定，或采用增强体的载荷试验结果和周边土的承载力特征值根据经验确定。

8.5.1.5 复合地基初步设计时可按下式估算承载力：

1 对散体材料增强体复合地基应按公式（14）计算：

$$f_{spk} = [1 + m(n - 1)]f_{ak} \quad (14)$$

式中：

f_{spk} ——复合地基承载力特征值（kPa）；

f_{ak} ——天然地基承载力特征值（kPa）；

n ——复合地基桩土应力比，在无实测资料时，可取1.5~2.5，原土强度低取大值，原土强度高取小值；

m ——面积置换率， $m = d^2 / d_e^2$ ； d 为桩身平均直径（m）， d_e 为一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径（m）；等边三角形布桩 $d_e = 1.05s$ ；正方形布桩 $d_e = 1.13s$ ；矩形布桩

$$d_e = 1.13\sqrt{s_1 s_2}，s、s_1、s_2 \text{ 分别为桩间距、纵向桩间距和横向桩间距。}$$

2 对有粘结强度增强体复合地基承载力特征值应按公式（15）计算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m)f_{sk} \quad (15)$$

式中：

λ ——单桩承载力发挥系数，宜按当地经验取值，无经验时可取0.7~0.90；

R_a ——单桩承载力特征值(kN)；

A_p ——桩的截面积(m²)；

β ——桩间土承载力发挥系数，按当地经验取值，无经验时可取0.7~0.9；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值(kPa)，应按静载荷试验确定；无试验资料时可取天然地基承载力特征值。

8.5.1.6 单桩竖向承载力特征值应通过现场载荷试验确定。初步设计时可按公式(16)估算：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad (16)$$

式中：

u_p ——桩的周长(m)；

n ——桩长范围内所划分的土层数；

q_{si} ——桩周第*i*层土的侧阻力特征值，按地区经验确定；

l_i ——桩长范围内第*i*层土的厚度(m)；

q_p ——桩端土端阻力特征值(kPa)，可按《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑地基基础技术规范》DB42/242的有关规定确定。

α ——桩端天然地基土的承载力折减系数。

8.5.1.7 有粘结强度复合地基增强体桩身强度应满足式(17)要求。当复合地基承载力进行基础埋深的深度修正时，增强体桩身强度应满足式(18)的要求。

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \quad (17)$$

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \left[1 + \frac{\gamma_m (d - 0.5)}{f_{spa}} \right] \quad (18)$$

式中：

f_{cu} ——桩体试块(边长150mm立方体)标准养护28d的立方体抗压强度平均值(kPa)；

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度(kN/m³)，地下水以下取浮重度；

d ——基础埋置深度(m)；

f_{spa} ——深度修正后的复合地基承载力特征值(kPa)。

8.5.1.8 复合地基变形计算应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定。复合土层的压缩模量可按式(19)、(20)计算：

$$E_{sp} = \zeta \cdot E_s \quad (19)$$

$$\zeta = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (20)$$

式中：

f_{ak} ——基础底面下天然地基承载力特征值(kPa)。

8.5.1.9 复合地基的变形计算经验系数应根据地区沉降观测资料统计确定，无经验资料时可根据变形计算深度范围内的压缩模量当量值查用表17中的数值。

表 17 复合地基变形计算经验系数

\overline{E}_s (MPa)	4.0	7.0	15.0	30.0	45.0
ψ_s	1.0	0.7	0.4	0.25	0.15

8.5.1.10 振冲碎石桩和沉管砂石桩复合地基适用于处理松散砂土、粉土、填土、粉质黏土等地基；饱和黏土地基，如对变形控制不严苛，可采用砂石桩置换处理。对大型、重要或场地地层复杂的工程，以及不排水抗剪强度小于20kPa的饱和黏土地基，应在正式施工前通过现场试验确定其适用性。

8.5.2 水泥土搅拌桩复合地基

8.5.2.1 水泥土搅拌桩复合地基适用于处理正常固结的淤泥、淤泥质土、素填土、黏性土（软塑、可塑）、粉性土及无流动地下水的饱和松散砂土等地基；对市政道路路基及其它轻型建（构）筑物，经验算水泥土桩桩身强度满足荷载要求后可用于处理欠固结软弱土。

当用于处理泥炭土、有机质土、pH值小于4的酸性土、塑性指数大于25的黏土或在腐蚀性环境中使用时，必须通过现场和室内试验确定其适用性。

8.5.2.2 水泥土搅拌桩的施工工艺分为浆液搅拌法（以下简称湿法）和粉体搅拌法（以下简称干法）。当地基土的天然含水量小于30%时，不宜采用干法。

8.5.2.3 水泥土搅拌桩设计前，应进行室内水泥土的抗压强度试验。根据拟处理的最软弱层软土的性质，试验确定用于加固土的固化剂和外掺剂的用量；对承受竖向荷载的水泥土桩试块龄期宜取90d，对承受水平荷载的水泥土桩试块龄期宜取28d；提供各种配比的强度参数。

8.5.2.4 固化剂宜选用强度等级为42.5级及以上的普通硅酸盐水泥。水泥掺量一般为被加固湿土质量的12%~20%，湿法的水泥浆水灰比可选用0.45~0.55。

8.5.2.5 水泥土搅拌桩的长度，应根据上部结构对地基承载力和变形的要求确定，并应穿透软弱土层到达地基承载力相对较高的土层；为提高抗滑稳定性而设置的搅拌桩，其桩长应超过危险滑弧以下不小于2m。单轴与双轴搅拌桩的加固深度不宜大于18m，三轴搅拌桩加固深度不宜大于30m。水泥土搅拌的桩径不宜小于0.5m，相邻桩的间距不应大于4倍桩径。

8.5.2.6 复合地基承载力特征值和单桩竖向承载力特征值应通过现场载荷试验确定。初步设计时可按式(15)、(16)估算，桩端天然地基土的承载力折减系数 α 和桩间土承载力发挥系数 β 参照《建筑地基基础技术规范》DB42/242的有关规定取值。同时应满足按式(21)计算桩身材料强度确定的单桩承载力不小于由桩周土和桩端土的抗力所提供的单桩承载力。

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \quad (21)$$

式中：

f_{cu} ——与搅拌桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块，边长为70.7mm的立方体在标准养护条件下90d龄期的立方体抗压强度平均值（kPa）；

η ——桩身强度折减系数，干法可取0.20~0.25；湿法可取0.25。

8.5.2.7 水泥土搅拌桩施工前，应根据设计进行工艺性试桩，数量不得小于3根，多轴搅拌施工不得少于3组。当成桩质量不满足设计要求时，应在调整设计与施工有关参数后，重新试验或改变设计。

8.5.2.8 水泥土搅拌桩施工时，应桩身全长进行复搅，使固化剂与地基土均匀拌和。复搅速度宜为0.5m/min~0.8m/min。对地基土进行干法咬合加固时，如复搅困难，可采用慢速搅拌，保证搅拌的均匀性。

8.5.2.9 搅拌桩的施工机械必须安装喷粉（浆）量自动记录装置，并应对该装置定期标定。应定期检查钻头磨损情况，当直径磨损量大于10mm时，必须更换钻头。

8.5.2.10 水泥土搅拌桩施工质量应符合表18的规定。

表 18 水泥土搅拌桩施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩间距	±100mm	抽查5%
2	桩径	不小于设计值	不少于5%
3	桩长	不小于设计值	查施工记录并结合钻探取芯检查
4	竖直度	1.5%	抽查5%
5	单桩每延米喷粉(浆)量	不小于设计值	查施工记录
6	桩体无侧限抗压强度	不小于设计值	取芯法; 检查桩数的0.5%, 且不少于6点
7	单桩和复合地基承载力	满足设计要求	检查桩数的1%, 且复合地基静载荷试验数量不少于3处

8.5.3 旋喷桩复合地基

8.5.3.1 旋喷桩复合地基处理应符合下列规定:

- 1 适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土(流塑、软塑和可塑)、粉土、砂土、素填土等地基。对土中含有较多的大直径块石、大量植物根茎和高含量的有机质的工程, 根据现场试验结果确定其适应性;
- 2 旋喷桩施工, 根据工程需要和土质条件选用单管法、双管法和三管法;
- 3 在制定旋喷桩方案时, 搜集邻近建筑物和周边地下埋设物等资料;
- 4 旋喷桩方案确定后, 结合工程情况进行现场试验, 确定施工参数及工艺。

8.5.3.2 旋喷桩加固体强度和直径应通过现场试验确定。无现场试验资料时, 按照已有成熟经验预估。

8.5.3.3 旋喷桩复合地基承载力特征值和单桩竖向承载力特征值应通过现场静载荷试验确定。初步设计时, 可按式(15)和式(16)估算, 桩身强度尚应满足式(17)、(18)要求。

8.5.3.4 旋喷桩复合地基的地基变形计算应符合本文件第8.5.1.8条和第8.5.1.9条的规定。

8.5.3.5 当旋喷桩处理地基范围以下存在软弱下卧层时, 应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定进行软弱下卧层地基承载力验算。

8.5.3.6 旋喷桩复合地基宜在基础和桩顶之间设置褥垫层。褥垫层厚度宜为0.15m~0.3m, 褥垫层材料可选用中砂、粗砂和级配砂石等, 褥垫层最大粒径不宜大于20mm。褥垫层的夯填度(夯实后的褥垫层厚度与虚铺厚度的比值)不应大于0.9。

8.5.3.7 旋喷桩的平面布置可根据上部结构和基础特点确定, 独立基础下的桩数不应少于4根。

8.5.3.8 旋喷桩施工应符合下列规定:

- 1 施工前, 根据现场环境和地下埋设物的位置等情况, 复核旋喷桩的设计孔位;
- 2 旋喷桩的施工工艺及参数根据土质条件、加固要求, 通过试验或根据工程经验确定。单管法、双管法高压水泥浆和三管法高压水的压力应大于20MPa, 流量应大于30L/min, 气流压力宜大于0.7MPa, 提升速度宜为0.1m/min~0.2m/min;
- 3 旋喷注浆, 宜采用强度等级为42.5级的普通硅酸盐水泥, 可根据需要加入适量的外加剂及掺合料。外加剂和掺合料的用量通过试验确定;
- 4 水泥浆液的水灰比宜为0.8~1.2;
- 5 旋喷桩的施工工序为: 机具就位、贯入喷射管、喷射注浆、拔管和冲洗等;
- 6 喷射孔与高压注浆泵的距离不宜大于50m。钻孔位置的允许偏差应为±50mm, 垂直度允许偏差应为±1%;

7 当喷射注浆管贯入土中，喷嘴达到设计标高时，即可喷射注浆。在喷射注浆参数达到规定值后，随即按旋喷的工艺要求，提升喷射管，由下而上旋转喷射注浆。喷射管分段提升的搭接长度不得小于100mm；

8 对需要局部扩大加固范围或提高强度的部位，可采用复喷措施；

9 在旋喷注浆过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时，应查明原因并及时采取措施；

10 旋喷注浆完毕，迅速拔出喷射管。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程，可在原孔位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施；

11 施工中做好废泥浆处理，及时将废泥浆运出或在现场短期堆放后作土方运出；

12 施工中严格按照施工参数和材料用量施工，用浆量和提升速度应采用自动记录装置，并做好各项施工记录。

8.5.3.9 旋喷桩质量检验应符合下列规定：

1 旋喷桩可根据工程要求和当地经验采用开挖检查、钻孔取芯、标准贯入试验、动力触探和静载荷试验等方法进行检验；

2 检验点布置应符合下列规定：

1) 有代表性的桩位；

2) 施工过程中出现异常情况的部位；

3) 地基情况复杂，可能对旋喷桩质量产生影响的部位。

3 成桩质量检验点的数量不少于施工孔数的2%，并不应少于6点；

4 承载力检验宜在成桩28d后进行。

8.5.3.10 竣工验收时，旋喷桩复合地基承载力检验应采用复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验。检验数量不得少于总桩数的1%，且每个单体工程复合地基静载荷试验的数量不得少于3点。

8.5.4 刚性桩复合地基

8.5.4.1 一般规定

8.5.4.1.1 刚性桩复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土、素填土等地层，对淤泥、淤泥质土地基根据地区经验或现场试验确定其适用性。

8.5.4.1.2 刚性桩复合地基中的桩体可采用钢筋混凝土桩、素混凝土桩、预应力管桩、水泥粉煤灰碎石桩（CFG桩）和钢管桩等刚性桩。

8.5.4.1.3 刚性桩复合地基中的刚性桩应采用摩擦型桩。

8.5.4.1.4 刚性桩复合地基设计时应进行地基变形验算。

8.5.4.2 设计

8.5.4.2.1 刚性桩可只在基础范围内布置。桩的中心与基础边缘的距离不宜小于1倍桩径；桩的边缘与基础边缘的距离，条形基础不宜小于75mm，其他基础形式不宜小于150mm；桩中心距不宜小于3.5倍桩径。刚性桩复合地基用于填土路堤和柔性面层堆场中时，布桩范围尚应考虑稳定性要求。

8.5.4.2.2 刚性桩桩端宜穿过压缩性较高的土层，进入压缩性相对较低的土层。

8.5.4.2.3 桩距应根据基础形式、复合地基承载力、土性、施工工艺、周边环境条件等综合确定。

8.5.4.2.4 刚性桩复合地基与基础之间应设置垫层，垫层厚度宜取0.1m~0.3m，桩竖向抗压承载力高、桩径或桩距大时应取高值。垫层材料宜用中砂、粗砂、级配良好的砂石或碎石、灰土等，最大砂石粒径不宜大于30mm。

8.5.4.2.5 复合地基承载力特征值应通过复合地基竖向抗压载荷试验或综合单桩竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验确定。初步设计时按《建筑地基基础技术规范》DB42/242公式(7.2.5)估算。

8.5.4.2.6 单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应通过现场载荷试验确定。初步设计时，可按《建筑地基基础技术规范》DB42/242估算由桩周土和桩端土的抗力可能提供的单桩竖向抗压承载力特征值，并应验算桩身承载力。

8.5.4.2.7 基础埋深较大时，尚应计及复合地基承载力经深度修正后导致桩顶增加的荷载，可根据地

区桩土分担比经验值计算单桩实际分担的荷载，并按8.5.4.2.6条的规定验算桩体强度。

8.5.4.2.8 刚性桩复合地基沉降应符合本文件第8.5.1.8~8.5.1.9的规定。

8.5.4.3 施工

8.5.4.3.1 刚性桩复合地基中刚性桩的施工，可根据现场条件及工程特点选用振动沉管灌注成桩、长螺旋钻与管内泵压混合料灌注成桩、泥浆护壁钻孔灌注成桩、锤击与静压预制桩成桩。当软土较厚且布桩较密，或周边环境有严格要求时，不宜选用振动沉管灌注成桩法。

8.5.4.3.2 各种成桩工艺除应符合《建筑桩基技术规程》JGJ 94的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 施工前按设计要求在室内进行配合比试验，施工时按配合比配置混合料；

2 沉管灌注成桩施工拔管速度应匀速，拔管速度宜按1.5m/min~2.0m/min控制，遇淤泥或淤泥质土地层时拔管速度取低值；

3 桩顶超灌高度不小于0.5m；

4 成桩过程中应抽样做混合料试块，每台机械一天应做一组（3块）试块，进行标准养护并测定其立方体抗压强度。

8.5.4.3.3 挖土和截桩时应注意对桩体及桩间土的保护，不得造成桩体开裂、桩间土扰动等。

8.5.4.3.4 垫层铺设宜采用静力压实法；当基础底面下桩间土的含水量较小时，亦可采用动力夯实法；夯填度不得大于0.9。

8.5.4.3.5 施工桩体垂直度允许偏差为1%；对满堂布桩基础，桩位允许偏差为桩径的0.40倍；对条形基础，桩位允许偏差为桩径的0.25倍；对单排布桩，桩位允许偏差应符合《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的有关规定。

8.5.4.3.6 当周边环境对变形有严格要求时，成桩过程应采取减少对周边环境的影响的措施。

8.5.4.4 质量检验

8.5.4.4.1 刚性桩施工过程中应随时检查施工记录，并应按照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。检查内容应为混合料坍落度、桩数、桩位偏差、垫层厚度、夯填度和桩体试块抗压强度。

8.5.4.4.2 刚性桩复合地基工程质量检验应符合下列规定：

1 桩身质量检测采用低应变动测法，抽检桩数不应少于总桩数的10%且不应少于20根；

2 分别进行单桩竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验；复合地基和单桩荷载试验不宜少于总桩数的1%，且单体工程的试验数量不应少于3点；

3 素混凝土桩复合地基、水泥粉煤灰碎石桩复合地基竖向抗压载荷试验和单桩竖向抗压载荷试验，应在桩体强度满足加载要求且施工结束28d后进行。

8.5.5 桩网复合地基

8.5.5.1 一般规定

8.5.5.1.1 桩网复合地基适用于填筑高度较大、持力层埋藏较深、变形控制严格的路堤、柔性面层堆场、建筑场坪等场地的地基加固与处理。

8.5.5.1.2 桩网复合地基适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、新近填土地基。对于硬壳层较薄的流塑状深厚软弱地基，河、沟、塘岸等临空高度较高的地基以及斜坡地基等特殊地形，应采取加强桩承复合结构横向稳定性措施，并进行复合地基整体稳定性检算且通过现场试验确定其适用性。

8.5.5.1.3 桩网复合地基由刚性桩、托板（桩帽）、加筋层和垫层构成。刚性桩桩型包括预应力薄壁管桩（PTC）、预应力高强混凝土管桩（PHC）、素混凝土灌注桩等，根据施工可行性、经济性等因素选用。

8.5.5.1.4 设计前应查明土层的分布和性质，确定各土层的桩侧摩阻力和桩端阻力，判断土层固结状态、地震液化等特性，必要时进行施工勘察。在施工前应通过试桩确定施工参数，并采用静载荷试验确定桩、桩间土承载力和变形特性，试验结果作为设计及施工的依据。

8.5.5.1.5 桩间距、托板（桩帽）尺寸、加筋层的性能和垫层及填土层厚度等应根据地质条件、设计荷载和试桩结果综合确定。

8.5.5.2 设计

8.5.5.2.1 桩截面或直径宜取200mm~500mm，加固土层厚、地基土性质差时宜取较大值。桩长应结合

地质条件,根据复合地基允许沉降量、单桩承载力、持力层埋藏深度等综合确定。

8.5.5.2.2 单桩承载力应通过试桩确定,在初步设计时,单桩承载力特征值按《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定计算。

8.5.5.2.3 桩设计竖向承载力特征值应满足下列公式(22)、(23)、(24)要求:

$$N_k \leq R_a \quad (22)$$

$$N_k = A \cdot p_k \quad (23)$$

$$P_k = H \cdot \gamma + q \quad (24)$$

式中:

R_a ——单桩竖向承载力特征值(kN);

N_k ——相应于荷载效应标准组合时,桩承受的上部荷载(kN);

A ——单桩承担的地基处理面积(m^2);

p_k ——相应于荷载效应标准组合,托板顶面标高处地基平均应力(kPa);

H ——托板顶面标高以上填料和面层结构的厚度(m);

γ ——托板顶面标高以上填料和面层结构的平均容重(kN/m^3);

q ——车辆荷载等道路、堆场、建筑场坪等的使用荷载(kPa)。

8.5.5.2.4 桩身强度应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑地基基础技术规范》DB42/242的有关规定确定。

8.5.5.2.5 当桩需要穿过松散填土层、欠固结软土层时,设计计算应考虑负摩阻力影响,按《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定计算。

8.5.5.2.6 桩网复合地基承载力特征值应综合桩体竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验,并结合工程实践经验综合确定。

8.5.5.2.7 桩宜按正方形布置,桩间距应根据设计荷载、单桩承载力计算、施工工艺等条件确定。桩间距可按公式(25)、(26)计算:

$$S \leq \sqrt{(R_a - Q_n^g)/p_k} \quad (25)$$

$$S \leq \sqrt{R_a / p_k} \quad (26)$$

式中:

S ——桩间距(m),方案设计和初步设计时可取桩径或边长的(5~8)倍;

Q_n^g ——桩侧负摩阻力引起的下拉荷载标准值(kN),按《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定计算。

8.5.5.2.8 托板采用钢筋混凝土,构造应符合下列要求:

1 托板边长应根据桩径和桩距大小确定。托板面积与单桩处理面积之比宜取15%~25%,托板边长可取700mm~1500mm;

2 托板钢筋应根据受力分析配置钢筋网;钢筋应双向通长均匀布置,直径不应小于10mm,间距不宜大于200mm;钢筋净保护层厚度不应小于40mm;

3 托板厚度宜为0.3m~0.4m,宜采用C30混凝土现场浇筑,上边缘应设宽20mm的45°倒角;

4 桩顶应进嵌入托板50mm~100mm,桩与托板宜通过钢筋连接,锚固长度不应小于35倍钢筋直径。

8.5.5.2.9 方形托板作为结构构件,应采用荷载基本组合验算截面抗弯和抗冲剪承载力。

8.5.5.2.10 托板以上填筑高度应根据垫层厚度、土拱计算高度确定。采用正方形布桩、正方形托板时,托板之间的土拱高度可按公式(27)及图1计算:

$$H_c = 0.707(S - a)\cot\varphi \quad (27)$$

式中:

H_c ——土拱高(m);

S ——间距(m);

a ——托板边长(m);

φ ——填土的内摩擦角，黏性土取综合内摩擦角($^{\circ}$)。

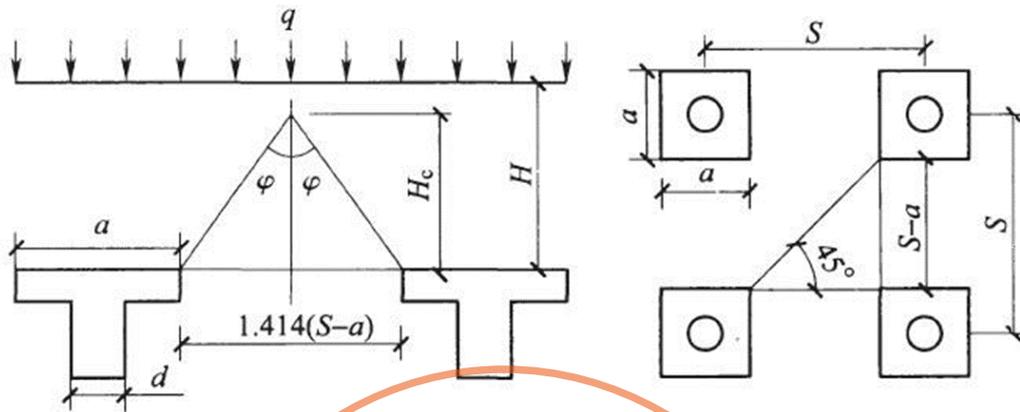


图 1 土拱高度计算示意图

8.5.5.2.11 托板以上到路床底面的最小填土设计厚度应按公式(28)计算:

$$h = 1.2H_c - h_1 \quad (28)$$

式中:

h ——托板之上最小填土设计厚度(m);

h_1 ——托板厚度(m), 可取0.2m~0.3m。

8.5.5.2.12 加筋材料应根据设计荷载大小以及具体的地基条件确定,并应具有抗拉强度和切线模量高、双向抗拉同强、非脆性、低蠕变、耐久性好、耐老化、耐腐蚀等性能。

8.5.5.2.13 垫层应铺设在加筋材料之上,垫层材料应选用碎石、砾石等,最小粒径应大于加筋体的孔径,最大粒径应小于50mm,垫层厚度不宜小于0.3m。

8.5.5.2.14 桩网复合地基加固后,柔性构筑物的沉降计算应考虑桩加固深度内土层压缩变形量、桩加固深度以下岩土层压缩变形量,以及托板以上垫层和填料的压缩变形量。

8.5.5.3 施工

8.5.5.3.1 根据桩型和现场条件选用合适的施工工艺。预制桩可选用打入法或静压法沉桩,灌注桩可选用沉管灌注、长螺旋钻孔灌注、长螺旋压浆灌注、钻孔灌注等施工方法。

8.5.5.3.2 桩施工前,应在控制性勘探孔附近进行试桩。锤击式预应力混凝土管桩试桩应采用高应变动测法配合测试,操作程序及提供的数据和资料应符合《预应力混凝土管桩基础技术规程》DB42/489及《建筑桩基技术规范》JGJ 94执行的相关规定。

8.5.5.3.3 预应力管桩施工应满足以下要求:

1 预应力管桩施工遵照《预应力混凝土管桩基础技术规程》DB42/489及《建筑桩基技术规范》JGJ 94执行;

2 加强对相邻已施工桩及施工场地周围环境的监测,选择合适的施工顺序,必要时采取有效的技术措施,减少挤土效应。对振动敏感的路段管桩宜采用静压法施工。

8.5.5.3.4 加筋层的施工应符合下列要求:

1 材料的运输、储存和铺设避免阳光曝晒;

2 选用较大幅宽的加筋材料,两幅拼接时的重叠宽度不应小于300mm,拼接缝宜布置在托板上,用同强度的筋带穿孔编织连接;

3 铺设时地面平整,不得有尖锐物体;

4 加筋材料拉直,平整铺设,并采取压编织袋装砂(土)、U型钉固定等措施;

5 加筋材料的经纬方向与布桩的纵横方向相同。

8.5.5.3.5 托板下承层应平整、夯实。托板宜现浇,预制时应采取对中措施。托板之间采用砂土、石屑等回填。

8.5.5.3.6 加筋材料之上铺设的垫层应选用强度较高的碎石、砾石等填料，不得混有泥土和石屑，碎石最小粒径应大于加筋材料孔径，并铺设平整，分层静压，压实度不得小于90%。

8.5.5.3.7 垫层以上的填土，应分层压实，压实度应达到设计要求。

8.5.5.4 质量检验

8.5.5.4.1 桩网复合地基中桩、托板和加筋网的施工过程中，应随时检查施工记录，并应对照规定的施工工艺逐项进行质量评定。

8.5.5.4.2 加筋材料的物理性能、力学性能、耐久性应满足设计要求，材料性能检测项目和检测数量应根据设计要求和现行国家和行业标准确定。

8.5.5.4.3 加筋体的检测与检验应包括下列内容：

- 1 各向抗拉强度，以及与抗拉强度设计值对应的材料应变率；
- 2 材料的单位面积重量、幅宽、厚度、孔径尺寸等；
- 3 抗老化性能；
- 4 对于不了解性能的新材料，测试在拉力等于70%设计抗拉强度条件下的蠕变性能。

8.5.5.4.4 托板施工质量应符合设计要求，检验内容应包括：平面位置、尺寸、混凝土强度等，检验方法和检测频率可根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的有关规定确定。

8.5.5.4.5 垫层材料应进行颗粒分析。垫层及以上填料施工质量、检验方法和检测频率应满足设计要求。

8.5.5.4.6 桩的质量检验，应符合下列规定：

1 灌注桩在成桩28d后进行质量检验，预制桩宜在施工7d后检验，以遇水易软化的风化岩为持力层的管桩应在施工25d后检验；

2 开挖桩头检验桩数，并应随机选取5%的桩检验桩位、桩距和桩径；

3 随机选取总桩数的20%进行低应变试验，且不少于10根，检验桩体完整性和桩长；

4 随机选取总桩数的1%，且每个单体工程不应少于3根桩进行静载试验，当总桩数少于50根时不少于2根；

5 对灌注桩的质量存疑时，进行抽芯检验，检查完整性、桩长和混凝土的强度。

8.5.5.4.7 桩的质量标准应符合下列规定：

1 桩位和桩距的允许偏差为50mm，桩径允许偏差为±5%；

2 低应变检测评定的Ⅰ类桩和Ⅱ类桩总数应超过被检桩数的70%；

3 桩长的允许偏差为±200mm；

4 静载试验单桩竖向抗压承载力极限值不应小于设计单桩竖向抗压承载力特征值的2倍；

5 抽芯检验混凝土单轴抗压强度不应小于设计强度。

8.5.6 多元复合地基

8.5.6.1 一般规定

8.5.6.1.1 多元复合地基适用于处理不同深度存在相对硬层的正常固结土，或浅层存在欠固结土、可液化土等特殊土，以及对地基承载力和变形要求较高的地基。

8.5.6.1.2 多元复合地基的设计应符合下列原则：

1 桩型及施工工艺的确定应考虑土层情况、承载力与变形控制要求、经济性、环境要求等综合因素；

2 对复合地基承载力较大或用于控制复合土层变形的长桩，应选择相对较好的持力层；对处理欠固结土的增强体，其长度应穿越欠固结土层；对处理液化土的增强体，其长度宜穿过可液化土层；

3 当地基浅部存在软土或欠固结土时，宜先采用预压、压实、夯实、挤密等方法或低强度桩复合地基法等处理浅层地基，再采用桩身强度相对较高的长桩进行地基处理；

4 可液化地基，可先采用挤密碎石桩等处理液化土层，后采用有黏结强度桩进行处理的方案。

5 对施工扰动敏感的土层，应考虑后施工桩对已施工桩的单桩承载力的影响。

8.5.6.1.3 多元复合地基的布桩宜采用正方形或三角形间隔布置，刚性桩可仅在基础范围内布置，其他增强体桩位布置应满足填土地基、液化土地基对不同性质土处理范围的要求。

8.5.6.1.4 多元复合地基垫层的厚度宜根据构成复合地基的各桩的类型选取，对桩身强度较高的刚性桩与其他材料增强体组合的复合地基，垫层厚度宜取刚性桩直径的1/2。

8.5.6.1.5 多元复合地基承载力特征值应通过多桩复合地基静载荷试验确定，试验数量不应少于3点。初步设计时可采用公式（29）、公式（30）、公式（31）估算：

1 由具有不同黏结强度的桩组合形成的多桩型复合地基承载力按下式估算：

$$f_{spk} = m_1 \frac{\lambda_1 R_{a1}}{A_{p1}} + m_2 \frac{\lambda_2 R_{a2}}{A_{p2}} + \beta (1 - m_1 - m_2) f_{sk} \quad (29)$$

式中：

m_1 、 m_2 ——分别为桩1、桩2的面积置换率；

λ_1 、 λ_2 ——分别为桩1、桩2的单桩承载力发挥系数，应由单桩复合地基静载荷试验按等变形准则或多桩复合地基静载荷试验确定，有地区经验时亦可按地区经验确定，无经验时可参照表19取值；

R_{a1} 、 R_{a2} ——分别为桩1、桩2的单桩承载力特征值（kN）；

A_{p1} 、 A_{p2} ——分别为桩1、桩2的截面面积（ m^2 ）；

β ——桩间土承载力发挥系数，按地区经验确定，无经验时可取0.9~1.0；

f_{sk} ——处理后复合地基桩间土承载力特征值（kPa）。

表 19 桩体承载力发挥系数取值

多桩复合地基类型	λ_1	λ_2
混凝土桩+水泥土搅拌桩	0.9~1.0	0.7~0.9

注：当桩1的桩端置于坚硬土层，桩顶未设置褥垫层或褥垫层厚度较薄时表中数值取高值，否则取低值；对褥垫层较厚时取大值，否则取低值。

2 由具有黏结强度桩与散体材料桩或石灰桩组合形成的复合地基承载力特征值按下式估算：

$$f_{spk} = m_1 \frac{\lambda_1 R_{a1}}{A_{p1}} + \beta [1 - m_1 + m_2 (n - 1)] f_{sk} \quad (30)$$

$$f_{spk} = m_1 \frac{\lambda_1 R_{a1}}{A_{p1}} + m_2 f_{pk} + (1 - m_1 - m_2) f_{sk} \quad (31)$$

式中：

λ_1 ——桩1的单桩承载力发挥系数，应由复合地基等变形准则确定，一般情况下可取1.0；

β ——仅由散体材料桩加固处理形成的复合地基承载力发挥系数，一般可取0.6~1.0；当桩1的桩端为坚硬土层时，取低值，桩顶未设置褥垫层或褥垫层厚度较薄时，取低值；

n ——仅由散体材料桩加固处理形成复合地基的桩土应力比；

f_{sk} ——仅由散体材料桩或石灰桩加固处理后桩间土承载力特征值（kPa）；

f_{pk} ——石灰桩身抗压强度比例界限值（kPa）；

m_1 ——有黏结强度桩的面积置换率；

m_2 ——散体材料桩或石灰桩的面积置换率。

3 当桩1为混凝土桩时，桩体强度应符合本文件第8.5.4.2.6条的有关规定。

8.5.6.1.6 多元复合地基面积置换率应根据基础面积与该面积范围内实际的桩1、桩2布桩数分别进行计算，当基础面积较大时，也可以单元面积置换率替代。

8.5.6.1.7 多元复合地基变形计算可按本文件第8.5.1.8、8.5.1.9条的有关规定进行，复合土层的压缩模量计算可按下列要求进行：

1 具有黏结强度增强体的长桩型和短桩型所形成的复合加固区、短桩桩端至长桩桩端加固区的地基土模量提高系数分别按公式（32）、公式（33）计算：计算：

$$\zeta_1 = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (32)$$

$$\zeta_2 = \frac{f_{spk1}}{f_{ak}} \quad (33)$$

式中：

f_{spk} 、 f_{spk1} ——分别为由长桩型和短桩型处理形成的复合地基承载力特征值和仅由长桩型处理形成的复合地基承载力特征值（kPa）；

ζ_1 、 ζ_2 ——分别为由长桩型和短桩型处理形成的复合地基承载力提高系数和仅由长桩型处理形成的复合地基承载力提高系数；

f_{ak} ——天然地基承载力特征值（kPa）。

2 对由具有黏结强度的桩与散体材料桩组合处理后的复合土层，地基土模量提高系数按公式（34）计算：

$$\zeta = \frac{f_{spk}}{f_{spk2}} [1 + m_2(n-1)] \alpha \quad (34)$$

式中：

f_{spk2} ——仅由散体材料桩处理形成的复合地基承载力特征值（kPa）；

α ——处理后桩间土承载力调整系数， $\alpha = f_{sk}/f_{ak}$ ；

m_2 ——散体材料桩的面积置换率。

8.5.6.1.8 复合地基变形计算深度应大于复合土层的厚度，并应满足《建筑地基基础设计规范》GB 50007中地基变形计算深度的有关规定。

8.5.6.1.9 多元复合地基的施工应符合下列原则：

- 1 对需要处理液化的地基，先施工消除液化的增强体；
- 2 采取措施降低后施工增强体对已施工增强体的质量和承载力的影响。

8.5.6.1.10 多元复合地基的质量检验应符合下列规定：

- 1 竣工验收时，多元复合地基承载力检验采用多桩型复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验，检验数量不得少于总桩数的1%，复合地基载荷板尺寸应按多桩复合单元确定；
- 2 多元复合地基荷载板静载荷试验的数量对每一单体工程不得少于3点；
- 3 增强体施工质量检验，散体材料增强体的检验数量不应少于其桩数的2%，具有黏结强度的增强体的完整性检验数量不应少于其桩数的10%。

8.6 既有建筑地基基础加固

8.6.1 一般规定

8.6.1.1 既有建筑地基基础加固，应根据加固目的和要求取得相关资料后，确定加固方法，并进行专业设计与施工。施工完成后，应按国家现行有关标准的要求进行施工质量检验和验收。

8.6.1.2 既有建筑地基基础加固设计与施工，应具备下列资料：

- 1 场地岩土工程勘察资料。当无法搜集或资料不完整、不能满足加固设计要求时，应重新勘察或补充勘察；
- 2 既有建筑结构、地基基础设计资料和图纸、隐蔽工程施工记录、竣工图等。当搜集的资料不完整、不能满足加固设计要求时，应进行补充检验；

3 既有建筑结构、基础使用现状的鉴定资料，包括沉降观测资料、裂缝、倾斜观测资料及沉降变形情况的原因分析等；

4 既有建筑改扩建、纠倾等对地基基础的设计要求；

5 对既有建筑可能产生影响的邻近新建建筑、深基坑开挖、降水、新建地下工程的有关勘察、设计、施工、监测资料等；

6 受保护建筑物的地基基础加固要求。

8.6.1.3 邻近新建建筑对既有建筑产生影响时，除应优化新建地下工程施工方案外，尚应对既有建筑采取隔离地基应力和变形、地基基础或上部结构加固等保护措施。

8.6.1.4 既有建筑地基基础加固设计之前，应对地基承载力和变形进行验算，必要时应验算基础抗弯、抗剪、抗冲切承载力，验算方法可参照《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123有关规定。受较大水平荷载或位于斜坡上的既有建筑物地基基础加固，以及邻近新建建筑、深基坑开挖、新建地下工程基础埋深大于既有建筑基础埋深并对既有建筑产生影响时，应进行地基稳定性验算。

8.6.1.5 既有建筑地基基础加固设计，可按下列步骤进行：

1 根据加固的目的，结合地基基础和上部结构的现状，考虑上部结构、基础和地基的共同作用，选择并制定加固地基、加固基础或加强上部结构刚度和加固地基基础相结合的方案；

2 对制定的各种加固方案，分别从预期加固效果，施工难易程度，施工可行性和安全性，施工材料来源和运输条件，以及对邻近建筑和周围环境的影响等方面进行技术经济分析和比较，优选加固方法；

3 对选定的加固方法，通过现场试验确定具体施工工艺参数和施工可行性。

8.6.1.6 既有建筑地基基础加固使用的材料，应符合国家现行有关标准对耐久性的要求。

8.6.1.7 既有建筑地基基础的鉴定、加固设计和施工，应由具有相应资质的单位和专业人员承担。承担既有建筑地基基础加固工程的工程管理和技术人员，应掌握所承担工程的地基基础加固技术与质量要求，严格进行质量控制和工程监测。当发现异常情况时，应及时分析原因并采取有效处理措施。

8.6.2 设计

8.6.2.1 托换加固设计

8.6.2.1.1 托换加固设计，应根据工程的结构类型、基础形式、荷载情况以及场地地基情况进行方案比选，分别采用整体托换、局部托换或托换与加强建筑物整体刚度相结合的设计方案。

8.6.2.1.2 托换加固设计，应符合下列规定：

1 按上部结构、基础、地基变形协调原则进行承载力、变形验算；

2 当既有建筑基础沉降、倾斜、变形、开裂超过国家有关标准规定的控制指标时，应在分析原因的基础上，进行地基基础加固设计。

8.6.2.1.3 整体托换加固的设计，应符合下列规定：

1 砌体结构在承重墙与基础梁间设置托换梁，框架结构在承重柱与基础间设置托换梁；

2 砌体结构的托换梁可按连续梁计算，框架结构的托换梁可按倒置的牛腿计算；

3 基础梁进行地基承载力和变形验算；原基础梁刚度不满足时，增大截面尺寸；地基承载力和变形验算不满足要求时，进行地基加固；

4 按托换过程中对最不利工况，进行上部结构内力复核；

5 分析评价进行上部结构加固的必要性及采取的保护措施。

8.6.2.1.4 局部托换加固的设计，应符合下列规定：

1 进行上部结构的受力分析，确定局部托换加固的范围，明确局部托换的变形控制标准；

2 进行局部托换加固的地基承载力和变形验算；

3 进行局部托换基础或基础梁的内力验算；

4 按局部托换最不利工况，进行上部结构的内力、变形复核；

5 分析评价进行上部结构加固的必要性及采取的保护措施。

8.6.2.1.5 基础托换有多种方法：基础加宽、墩式托换、锚杆静压桩、树根桩、注浆加固，实际工程中可多种方法联合应用。

8.6.2.1.6 锚杆静压桩法适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、人工填土等地基加固。

8.6.2.2 纠倾加固设计

8.6.2.2.1 迫降纠倾的设计应符合下列规定：

1 对建筑物倾斜原因，结构和基础形式、整体刚度，工程地质条件，环境条件等进行综合分析，遵循确保安全、经济合理、技术可靠、施工方便的原则，确定迫降纠倾方法；

2 迫降纠倾不应上部结构产生结构损伤和破坏。当施工可能对周边建筑物、场地和管线等产生不良影响时，应采取有效技术措施；

3 纠倾后的地基承载力、地基变形和稳定性按《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123第5章的有关规定进行验算，防止纠倾后再度倾斜。当既有建筑的地基承载力和变形不能满足要求时，按《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123第11章有关方法进行加固；

4 确定各控制点的迫降纠倾量；

5 纠倾施工工艺和操作要点；

6 设置迫降的监控系统。沉降观测点纵向布置每边不应少于4点，横向每边不应少于2点，相邻测点间距不应大于6m，且建筑物角点部位应设置倾斜值观测点；

7 根据建筑物的结构类型和刚度确定纠倾速率。迫降速率不宜大于5mm/d，迫降接近终止时，预留一定的沉降量，以防发生过纠现象；

8 制定出现异常情况的应急预案，以及防止过量纠倾的技术处理措施。

8.6.2.2.2 迫降纠倾法包括地基应力解除法、加压法、桩基卸载法等；抬升纠倾法包括顶升法、地基注入膨胀剂法等。在实际工程中，多种纠倾方法联合使用。

8.6.2.2.3 以深层掏土为主的地基应力解除法，适用于建造在软弱地基上、整体刚度较好的倾斜建筑物的纠偏，当采用该法时应满足下列要求：

1 尽量保持沉降较大一侧的土体不受扰动。掏土遵循“掏下不掏上、掏外不掏内、掏软不掏硬”的原则；

2 掏土孔的上段必须用套管隔离，对基底持力层或砂层严加保护。必要时，结合采用多种应力解除措施；

3 在倾斜建筑物沉降较小一侧的基础边缘，布设一排或多排地基应力解除孔，孔径300mm~500mm，孔距2m~3m。孔深根据对建筑物的变形起主要作用的软弱土层的埋藏深度确定；

4 严密现场监测。监测内容包括沉降、倾斜、地面变形、建筑物裂缝以及对相邻建筑的影响等；

5 掏土作业宜多台设备同步进行，以保证地基应力解除的均匀实现。纠偏过程中的沉降速率，应根据上部结构和土层情况适当控制。纠偏完成后，可用粗砂或原土回填应力解除孔，并进行至少六个月以上的沉降观测。

8.6.3 加固施工

8.6.3.1 托换加固施工前，应制定施工方案；施工过程中，应对既有建筑结构变形、裂缝、基础沉降进行监测；工程需要时，尚应进行应力（或应变）监测。

8.6.3.2 采用钢筋混凝土坑（墩）式托换时，应在既有基础基底部位采用膨胀混凝土、分次浇筑、排气等措施充填密实；当既有基础两侧土体存在高度差时，应采取防止基础侧移的措施。

8.6.3.3 采用桩式托换时，应采用对地基土扰动较小的成桩方法进行施工。

8.6.4 纠倾施工，应符合下列规定：

1 施工前，对建筑物及现场进行详细查勘，检查纠倾施工可能影响的周边建筑物和场地设施，并采取措消除迫降纠倾施工的影响，或降低影响程度及影响范围，并做好查勘记录；

2 编制详细的施工技术方案和施工组织设计；

3 施工过程中，做到设计、施工紧密配合，严格按设计要求进行监测，及时调整迫降量及施工顺序。

8.6.5 质量检验与监测

8.6.5.1 既有建筑地基基础加固工程，应按设计要求及《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的规定进行质量检验。

8.6.5.2 既有建筑地基基础加固施工，基槽开挖后，应进行地基检验。当发现与勘察报告和设计文件不一致，或遇到异常情况时，应结合地质条件，提出处理意见；对加固设计参数取值、施工方案实施影响大时，应进行补充勘察。

8.6.5.3 对既有建筑地基基础加固工程，当监测数据出现异常时，应立即停止施工，分析原因，必要时采取调整既有建筑地基基础加固设计或施工方案的技术措施。

8.6.5.4 纠倾加固和移位加固施工，应对顶升梁或托换梁的施工质量进行检验。

8.6.5.5 托换加固施工，应对托换结构以及连接构造进行检验，并提供隐蔽工程检验报告。

8.6.5.6 既有建筑地基基础加固施工时，应对影响范围内的周边建筑物、地下管线等市政设施的沉降和位移进行监测。

8.6.5.7 托换加固施工，应对建筑的沉降、倾斜、裂缝进行监测，必要时，应对建筑的水平移位或结构内力（或应变）进行监测。

8.6.5.8 迫降纠倾施工，应在施工过程中对建筑物的沉降、倾斜值及结构构件的变形、裂缝进行监测，直到纠倾施工结束，监测周期应根据纠倾速率确定。

8.7 道路排水工程地基处理要点

8.7.1 一般规定

8.7.1.1 道路排水工程的地基处理应在充分调查、勘察基础上，按因地制宜、就地取材、经济实用的原则进行，统筹考虑各分部分项要求，进行技术、经济比较，保证工程安全前提下做到经济合理。

8.7.1.2 软弱地基处理设计应按地质资料准备、设计路段划分、稳定性和地基沉降验算、处理方案设计的流程进行。

8.7.1.3 对快速路和主干路，路基应处于干燥或中湿状态；对次干路和支路，路基宜处于干燥或中湿状态。否则，应采取翻晒、换填、改良或设置隔水层、降低地下水位等措施。

8.7.1.4 对工程性质差、地基条件复杂或工期紧、材料缺乏或有特殊要求的软弱地基，宜采用综合处理措施，分段、分区采用不同的处理方法。处理与未处理以及不同地基处理方案衔接处应缓和过渡，减小差异沉降。

8.7.1.5 位于市政道路上的各类地下构筑物，地基处理方式宜与道路路基处理方式一致，不宜采用不同的处理方式分别处理；路基处理除满足道路路基沉降要求外，尚应满足各类地下构筑物的沉降要求。

8.7.1.6 软弱地基处理设计，应根据确定的设计方案编制特殊路基设计表，表中应包括处理路段的起讫桩号、路段长度、处理方案、总沉降、预压期沉降、工后沉降、预压设计高度、处理方案的工程量等内容。

8.7.1.7 施工及运营期间做好现场试验、检验及监测。

8.7.2 设计

8.7.2.1 路基处理方案比选符合下列要求：

1 根据软弱土厚度和性质、路堤高度、路基稳定与工后沉降控制标准、施工机具、材料、环境等条件及工期要求，进行技术经济比较，依据先浅后深、先简后繁、就地取材的原则，综合分析并确定软弱地基处理方案；优先考虑浅层处理方案。经过处理后的地基，满足路基变形和稳定计算要求。市政道路软弱地基常用处理方法及适用范围见表11，地基处理设计通用要求见本文件8.1~8.6节；

2 根据工程性质、施工环境、软弱土分布及性质等特点，进行分区、分段设计。对软弱土性质差、地基条件复杂或有特殊要求的地基处理工程，可采用两种或两种以上措施进行综合处理；

3 根据路基范围内车行道、人行道等部位的不同功能和技术要求，可采用不同的地基处理方法或地基处理参数；不同路基处理方式按本文件8.7.2.5条第6款及8.7.2.7第7款等要求应做好过渡衔接，减少差异沉降，并控制相邻路段差异沉降引起的纵坡变化在本文件10.2.5条的容许范围内；

4 高压线下、铁塔附近以及其它建筑物附近净空受限时，可采用旋喷桩、树根桩等进行地基处理，其设计应符合《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123等有关规定；

5 绿道（慢行道）在软土、松散填土等特殊路段的路基应采取必要的换填、压实等浅层处理措施。

8.7.2.2 排水涵地基处理要求:

1 路基下管涵应考虑路基沉降影响,其地基处理措施与路基统筹考虑,路基、管基采用加固体时断面设计参考图2;

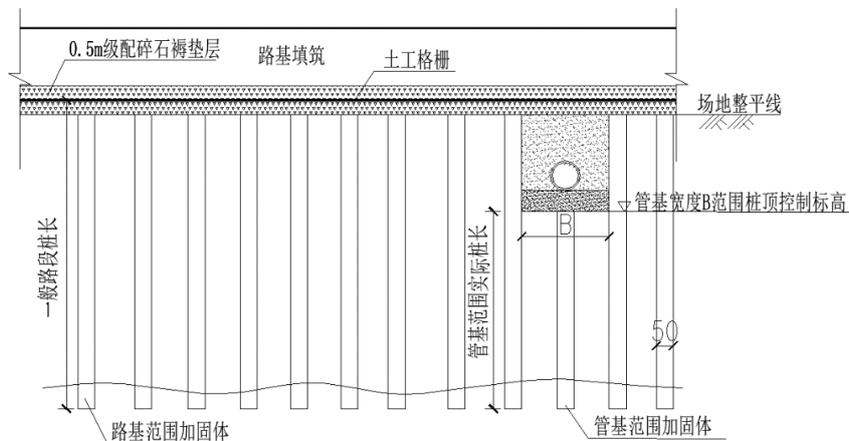


图 2 路基下管基加固处理断面示意图

2 土质地基的处理方法可根据管涵地基情况、结构特点和施工条件等,采用一种或多种相结合的处理方法,常规的处理方法有换填法、水泥土搅拌桩法、高压旋喷桩、碎(砂)石桩法以及桩基础等;

3 排水涵下存在未经压实的填土,其厚度在3m以内时可采取压实或换填等措施进行处理;填土厚度较大、全部处理困难时,经验算满足要求后可结合管底下压实措施部分换填,换填厚度不小于0.5m;

4 位于软土层中的管涵通常采用换填处理,换填厚度一般不宜小于0.5m;地面沉降防控区内换填层上尚应设置0.15m厚度的素混凝土垫层。

8.7.2.3 表层处理

1 清除表层主要包括路基范围内的所有垃圾、灌木及胸径小于150mm的树木、石头、废料、表土(腐殖土)、草皮的铲除与开挖;

2 地面横坡缓于1:5时,在清除地表腐殖土、草皮后,可直接在天然地面上填筑路堤;地面横坡为1:5~1:2.5时,原地面应挖内倾4%的台阶,台阶宽度不小于2.0m,并用小型机具加以夯实;

3 当地下水影响路堤稳定时,应采用拦截引排地下水或在路堤底部填筑渗水性材料等措施;

4 当路基填土高度小于路面和路床总厚度时,清表时超挖至路床底面。

8.7.2.4 浅层处理

浅层处理包括压实、就地固化、换填垫层、抛石挤淤等方法,处理深度不宜大于3m。

1 压实处理

路基下3m内松散填土可采用压实处理,压实前应先清除填土内生活垃圾、塑料袋、杂草树根等,大混凝土块、块石应破碎达到要求后方可用于回填;

2 结合材料浅层拌合

1) 适用于软土厚度小于3m、埋藏较浅的软土,以及表层含水量较大的黏性土、黏性土素填土等;

2) 土料为现场挖出来的软土、黏性土,结合料可采用石灰、水泥、固化剂等材料,石灰、水泥等材质要求参见换土垫层;

3) 根据试验确定结合料的掺入量,一般情况下石灰掺入量可采用4%~8%,根据现场情况亦可掺入适量的炉渣、矿渣、粉煤灰等工业废渣;

4) 含水量很大影响拌合效果时,可先翻晒,待土的湿度降低到一定程度后再进一步处理。现场应拌合均匀,满足要求后再分层回填、碾压、养护,并参照换土垫层进行检测检验;

3 原位固化

1) 适用于表层埋藏较浅、厚度小于5m的软土,以及表层含水量较大的黏性土等;

2) 原位固化土28d无侧限抗压强度 q_{28} 应根据荷载大小确定,宜为0.1MPa~0.3MPa。压缩模量宜取 q_{28} 的30倍~50倍。压碎的就地固化土抗剪强度指标宜根据直接快剪试验确定,无试验资料时黏聚力取0kPa、内摩擦角取 20° ;

3) 固化剂宜以水泥为主,可添加采用粉煤灰、矿渣、石灰、石膏等掺合料。固化剂掺量宜为土体天然重量的8%~12%,含水率高、有机质含量高时取大值。采用其它固化剂时,通过试验验证其固化效果并确定其掺量;

4 换土垫层

1) 路基下未经压实填土、耕植土、生活垃圾及塘底淤泥等宜全部换填处理。当城市支路下松散填土厚度较大、全部换填处理困难时,经验算满足要求后可结合下部有效夯实进行部分换填。

换填深度不宜超过3m,加深换填时应采取支护等措施保证施工及周边环境安全。

2) 换填材料宜采用透水性好的碎石或中粗砂等粒料以及灰土垫层(石灰土垫层、水泥土垫层)等,换填料应高出地下水位以上不小于0.5m、宽出路基两侧不小于0.5m。

3) 石灰土垫层:消石灰含量宜为8%,磨细生石灰宜为6%;石灰土垫层的土料宜采用塑性指数大于15的黏性土,不得含有有机质,土料粉碎后土块粒径不宜大于15mm。石灰中CaO+MgO含量不应低于55%,宜采用Ⅲ级钙质消石灰或Ⅱ级镁质消石灰;

水泥土垫层:水泥含量4%~6%。土料宜采用液限不超过40%、塑性指数不大于17的粉质黏土,有机质含量不得超过5%,其团粒不得大于15mm;

5 抛石挤淤

1) 适用于湖塘、沟渠等区段的厚度不大于3m、无法大面积换填、本地石料丰富的表层淤泥处理;

2) 城市支路、管道对地基沉降要求不高时可使用抛石挤淤,城市快速路和主干道的路基工程不宜采用。

3) 根据不同的道路等级控制容许工后沉降,相关指标见10.2.3表25。

5 路基浅层处理断面示意图3、图4。

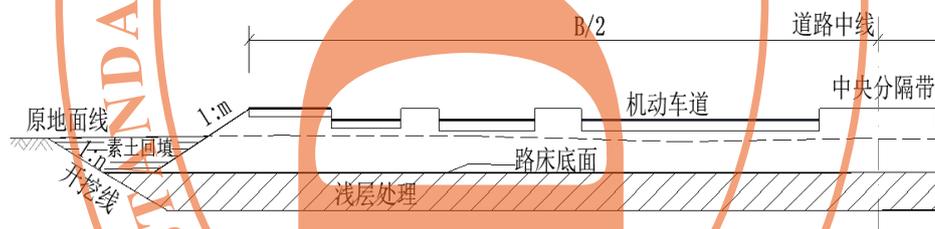
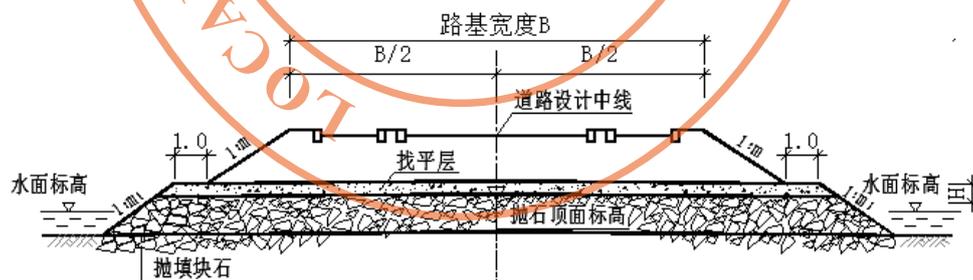


图 3 路基浅层处理断面示意图



注: 1. H一般取0.5m~1.0m; 2. 抛石顶面采用粒径小于10cm的块石或级配碎石填平,碾压密实。

图 4 抛石挤淤处理软基断面示意图

8.7.2.5 水泥土搅拌桩复合地基

1 水泥土搅拌桩长度根据上部结构对承载力和变形要求确定,并宜穿透软土层到达承载力相对较高土层;桩端进入相对较好的土层深度不宜小于1.0m;

2 普通单轴单向浆喷法不宜大于15m,双向搅拌不宜大于20m,且须采用复搅复喷;

3 当置换率较大、增强体呈梅花形布置时，复合地基路堤整体抗剪稳定性计算中的复合地基内滑动面上抗剪强度应采用复合地基抗剪强度 τ_{ps} 。 τ_{ps} 可按公式（35）计算。

$$\tau_{ps} = m \phi \tau_p + (1 - m) \tau_s \tag{35}$$

式中：

τ_p ——桩体部分的抗剪强度，取试验路段加固土桩龄期为90d的原状试件的无侧限抗压强度 q_u ， τ_p 取 q_u 的1/2；亦可按设计配合比由室内制备的加固土试件（直径50mm、高度100mm的圆柱体）测得的90d的无侧限抗压强度 q_u 乘以0.30的折减系数求得，即 $\tau_p = 0.30q_u$ ；初步设计时，可采用96h高温养生无侧限抗压强度代替标准养生90d无侧限抗压强度。

τ_s ——地基土的抗剪强度（kPa）。

m ——桩土面积置换率。

ϕ ——工作系数，根据实际情况取0.7~0.9。

4 水泥土搅拌桩桩顶设置0.3m~0.5m厚垫层，垫层材料可选用灰土、级配碎石以及砂砾等。级配碎石粒径不大于20mm，褥垫层铺设宜采用静力压实法，褥垫层夯实后的厚度与虚铺厚度的比值不得大于0.9；垫层中部铺设一层土工格栅加强路堤稳定性。土工格栅宜采用多向土工格栅；

5 水泥土搅拌桩平面按正三角形或正方形布置。平面设计见图5，断面设计见图6；

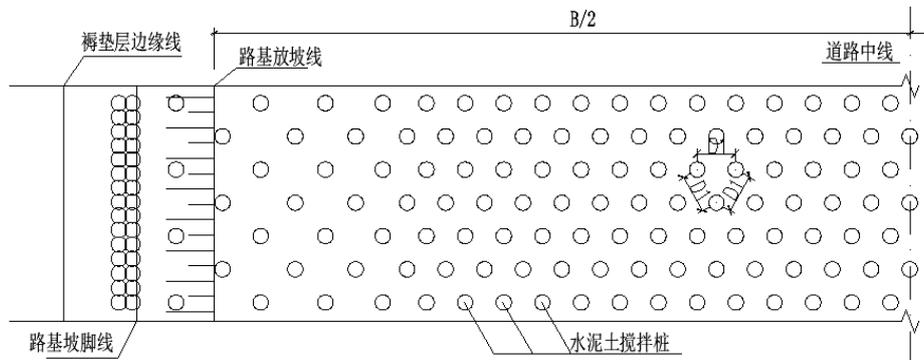


图 5 水泥土搅拌桩复合地基平面示意图

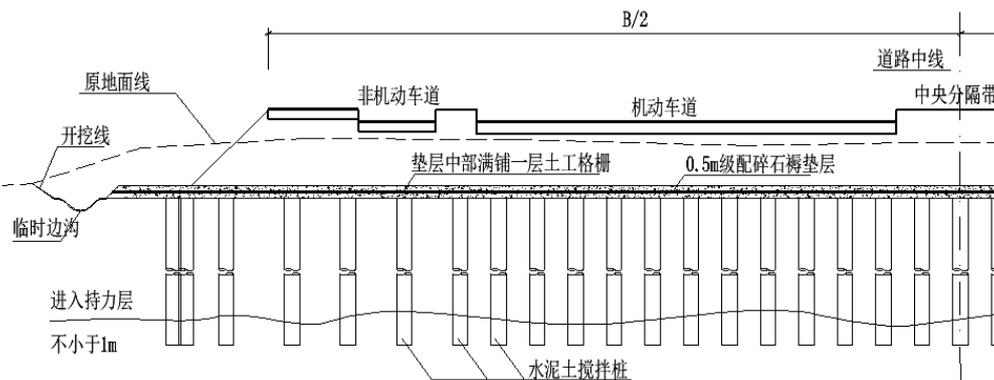


图 6 水泥土搅拌桩复合地基断面示意图

6 非机动车道、人行道范围内水泥土搅拌桩可根据不同的荷载与沉降控制标准适当加大桩间距，或采用浅层换填等方法处理。不同地基处理方法之间应做好过渡处理措施，过渡段设计见图7。

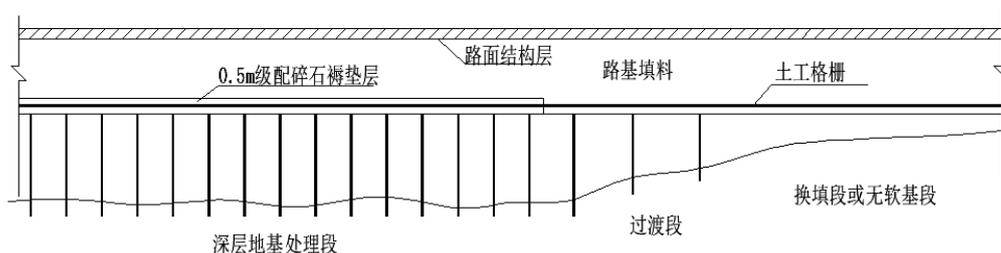


图 7 浅层处理与深层地基处理过渡段断面示意图

8.7.2.6 旋喷桩复合地基

- 1 适用于其它设备受限的施工场地情况，但应注意高压注浆施工对周边环境的影响；
- 2 路堤整体抗剪稳定性计算的复合地基抗剪强度参照式（35）；
- 3 设计断面参照图8。

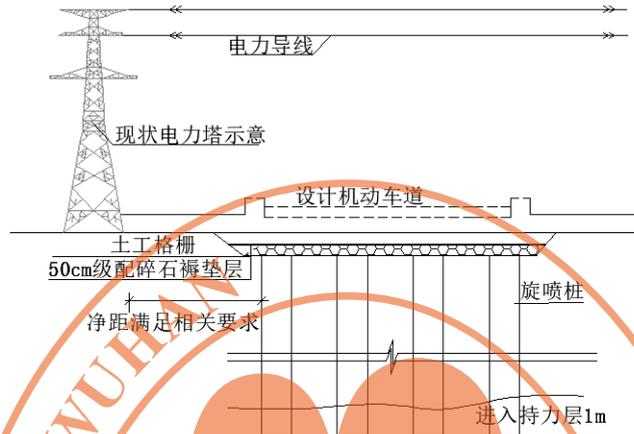


图 8 旋喷桩处理软基断面示意图 (环境受限时)

8.7.2.7 刚性桩复合地基

- 1 适用于处理深厚软弱地基上荷载较大、变形要求较严格的高路堤段、桥头或通道与路堤衔接段；
- 2 刚性桩（钻孔混凝土桩、预制管桩、预制方桩等）可按正方形或三角形布置；桩径宜根据成桩设备确定，且桩间距不宜大于5倍桩径；桩长可根据工程对地基稳定和变形要求，结合地质条件计算确定；
- 3 路堤与桥头等结构物衔接段的刚性桩可采用变间距、变桩长分级过渡方式设置；
- 4 桩顶应设桩帽（托板），形状可采用圆柱体、台体或倒锥台体；桩帽（托板）直径或边长宜为1.0m~1.5m，厚度宜为0.3m~0.4m，宜采用C30水泥混凝土现场浇筑；
- 5 桩帽顶上应铺设具有一定厚度、强度、刚度、完整连续的柔性土工合成材料加筋垫层；垫层材料宜选择级配良好的碎石、砂砾、石屑等，垫层的厚度不宜小于0.3m；
- 6 地基稳定性可采用圆弧滑动法验算，滑动面上的抗剪强度采用桩土复合抗剪强度可参照本文件第8.7.2.5条计算，桩体抗剪强度可取桩体混凝土28d无侧限抗压强度的1/2；
- 7 断面设计示意图见图9。非机动车道、人行道范围内可根据不同的荷载与沉降控制标准适当加大桩间距，或采用浅层换填等方法处理。不同地基处理方法之间应做好过渡处理措施，过渡段设计可参见图7。

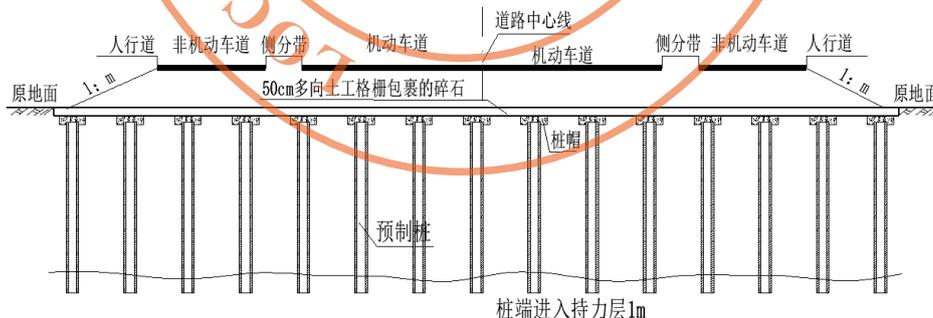


图 9 刚性桩复合地基处理软基断面示意图

8.7.2.8 排水固结（预压地基）法

- 1 适用于面积较大的深厚软土的路堤等工程的软土地基处理；
- 2 可采用砂垫层预压、袋装砂井或塑料排水板预压、真空预压或真空联合堆载预压；真空预压法适用于土源紧缺、工期紧的大面积软土地基处理，软土的渗透系数应小于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ；

当路堤设计荷载超过预压的压力、工期紧张时，可采用真空联合堆载预压，其总压力宜超过路堤的设计荷载；

3 竖向排水体（袋装砂井或塑料排水板）长度宜贯穿软土层，平面布置范围应在路堤坡脚以外增加1排~2排；

4 预压期和预压高度根据要求的工后沉降量或地基固结度确定。预压期内的沉降量不得小于路面设计使用年限末的沉降量与容许工后沉降之差。

5 预压地基法处理路基后，沉降稳定所需时间较长（至少半年以上），应结合建设时序安排选用。

6 塑料排水板（袋装砂井）处理软基断面示意图见图10，图中W不小于1.0m。

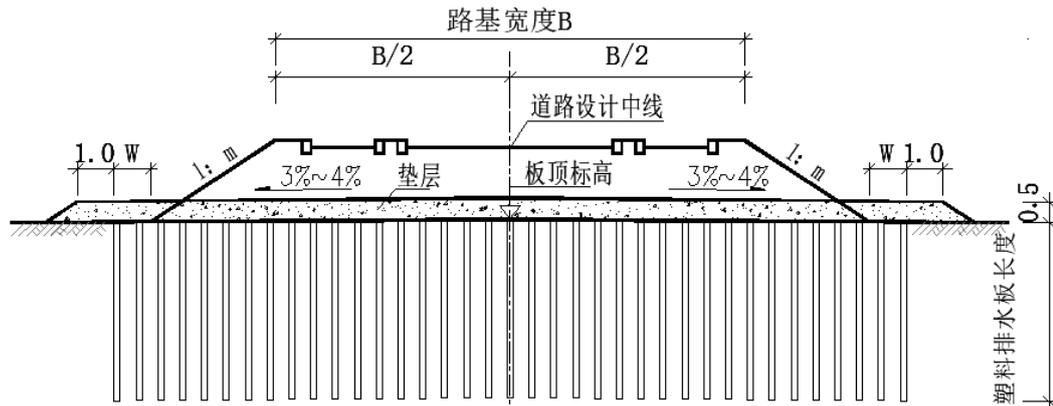


图 10 塑料排水板（袋装砂井）处理软基断面示意图

8.7.2.9 气泡混合轻质土

1 适用于桥台台后路堤填土、路堤加宽填土，以及地下结构或管线顶部减载换填处填土；

2 气泡混合轻质土用于路基填筑应符合《公路路基设计规范》JTG D30、《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTGT D31-02、《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177等文件要求；

3 路堤填筑高度不宜超过10m，最小填筑高度不宜小于1.0m。当地面横坡较大或用于堤段加宽时，填筑体底面宽度不宜小于2.0m；

4 路基填筑的强度、容重等级根据填筑部位按表20确定，计算地下水位以下部位填筑时容重、强度等级根据表21确定。

表 20 气泡混合轻质土路基填筑的性能指标

路面底面以下深度 (m)	最小强度等级		最小容重等级
	城市快速路、主干路	支路	
0~0.8	CF0.8	CF0.6	W5
0.8~1.5	CF0.5	CF0.4	W3
>1.5	CF0.4		

表 21 用于计算水位以下部位气泡混合轻质土路基填筑的性能指标

计算水位以下 (m)	最小容重等级	最小强度等级
≤3	W6	CF0.8
>3	W8	CF1.0

5 沿路堤纵向设置沉降缝，其间距宜为10m~15m，沉降缝宽不宜小于10mm，沉降缝填缝材料宜采用20mm~30mm厚的聚苯乙烯板或10mm~20mm厚的夹板；

6 气泡混合轻质土路堤应进行整体稳定性验算；当路堤底面存在斜面或气泡混合轻质土填筑区高宽比大于1且高度大于3m时，应进行抗滑动、抗倾覆稳定性验算；在计算水位以下部位填筑，应进行抗浮稳定性验算；

7 一般断面设计要求见图11、表22。

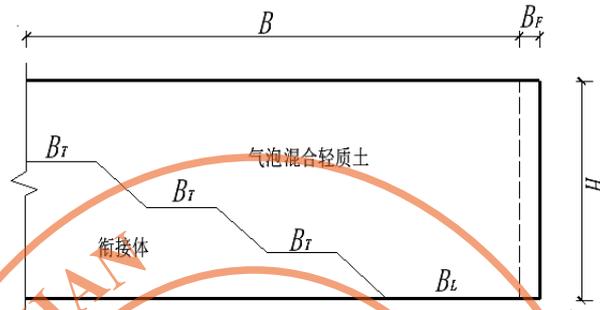


图 11 气泡混合轻质土填筑路基一般断面设计示意图

表 22 气泡混合轻质土填筑路基断面尺寸要求

设计内容	范围 (m)	备注
填筑高度 H	0.8~15.0	空洞填充、管线回填工程除外
底面宽度 B_L	≥ 2.0	
台阶宽度 B_T	≥ 0.5	填筑高度超过2m设置
预留宽度 B_F	0.3~0.8	填筑高度超过5m或背面为陡坡体时设置

8.7.3 施工

1 道路排水路基处理施工应满足《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1、《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79等规范要求，以及本文件相关章节要求；

2 就地固化正式施工前宜现场验证施工工艺及固化土强度，确保固化土搅拌均匀，施工完毕后采用触探、标贯、静载试验手段检测检验固化厚度、均匀性、强度及固化地基承载力等；

3 垫层施工底面标高不平时，土面应挖成阶梯或斜坡搭接，并按先深后浅的顺序施工；分层夯实、碾压的厚度、最佳含水量及夯实碾压遍数根据夯实、碾压机具及设计要求的压实度现场试验确定，压实遍数不宜少于4遍；

施工中每班所铺筑的石灰土或水泥土必须当日夯实碾压完毕，不得隔日碾压，压实后的石灰土、水泥土3d内不得受水浸泡；

石灰土、水泥土配合比应符合设计要求，并拌合均匀；

石灰土、水泥土垫层分段施工时上下两层接缝距离应大于0.5m；

4 气泡轻质混凝土施工应满足《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177等规范要求：

1) 进行配合比试配，确定现场施工用设计配合比；

2) 采用分层分块方式浇筑；

3) 浇筑时须从软管的前端直接浇注，且出料口要埋入轻质土中，单层浇筑厚度宜按0.3m~0.8m控制，上一层浇筑作业在下一层轻质土终凝后进行；

4) 填筑体顶层施工完毕后，立即在填筑体表面覆盖塑料薄膜或土工布保湿养生，养生时间不宜少于7d。

8.7.4 质量检验与验收

1 道路路基处理施工质量检验与验收应符合《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1等文件规定及本文件相关章节要求；

2 气泡轻质混凝土施工质量检验与验收应符合《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177等文件规定；检验样品宜同时采用浇筑过程中留样和从浇筑体中取样，在固化后28d进行无侧限抗压强度及密度检测并进行对比。

9 桩基础

9.1 一般规定

9.1.1 本章包括混凝土预制桩和混凝土灌注桩及其低桩承台基础。桩基础设计除符合本章规定外，尚应符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242的规定。

9.1.2 地面沉降重点防控区内的住宅、公共建筑的基础，采用桩基础时，桩长应穿透软土层。

9.1.3 桩基础设计应具备下列资料：

- 1 勘察资料，成果符合《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定及本文件第6章的相关要求；
- 2 建设场地的平面图，包括道路交通、架空和地下管线及地下建筑物的分布以及电力容量、燃气压力等情况；相邻既有建筑物、构筑物的用途、基础型式、埋置深度以及防振和防噪音要求；
- 3 拟建建筑物的平面布置、抗震设防烈度、建筑场地类别以及作用于基础的荷载大小和性质；
- 4 桩基施工机械设备条件和对场区工程地质条件的适应性，施工机械设备的进出场和运行条件，桩基施工可能对场地环境造成的影响。

9.1.4 桩的设计应符合下列要求：

- 1 桩基础的沉降验算符合本文件相应章节的规定；
- 2 对需进行抗震承载力计算的桩基础符合本文件第11章的有关规定；
- 3 桩基宜选用中、低压缩性黏性土、中密或密实的砂土和粉土、碎石土或基岩作桩端持力层。当建筑物体型复杂、荷载不均匀或对变形要求严格时，不应采用桩端置于高压缩性土层中的摩擦桩；
- 4 同一结构单元内的桩基，不应选用压缩性差异较大的土层作桩基持力层，不宜采用部分摩擦型桩和部分端承型桩。同一结构单元基础中，桩基不宜与其他类型基础混用；
- 5 当承台底地基土承载力较高且能发挥作用时，可按桩和承台底的土层共同工作原理，考虑承台底地基土的抗力作用；
- 6 当沉桩有挤土或振动效应时，考虑挤土或振动对邻近桩、建筑物、道路及地下管线的不良影响，当沉桩有噪音时尚应考虑噪音对周围环境的影响；
- 7 在深厚淤泥、淤泥质土中不宜采用大片密集挤土灌注桩。挤土灌注桩不应用于高于20层或高度超过75m的高层建筑。淤泥、淤泥质土及饱和软土等深厚软土区的高层建筑不应采用挤土灌注桩；当挤土型灌注桩穿越淤泥的厚度大于2m、淤泥质土厚度大于3m时应进行成桩工艺试验或采用复打工艺，单打或复打后桩径不应小于500mm；
- 8 对于桩承台下及承台间软土处理要求按照《建筑地基基础技术规范》DB42/242执行；
- 9 重点防控区内高层建筑不宜采用单桩承台基础；柱、墙下桩基承台之间，宜沿两个方向设置联系梁，同一轴线上的相邻跨联系梁纵筋应连通。

9.1.5 预制桩设计尚应符合下列规定：

1 预制桩的分节长度根据施工、运输条件确定。每根桩接头不宜超过3个；对于高层建筑、对抗震设防有要求的建筑物以及长径比大于60的端承型桩基或沉桩困难的大片密集桩，应采用焊接接头或法兰盘接头；抗拔预制桩的接头应采用机械连接；

2 高度100m及以上的高层建筑物不应采用预应力管桩或空心方桩基础；高度小于100m当层数为30层及以上的高层建筑物，在采用桩筏基础等措施的条件下方可采用预应力管桩或空心方桩基础；高度超过75m的高层建筑采用管桩或空心方桩基础时应通过专项论证；

3 管桩及空心方桩采用一体化混凝土桩尖或闭口桩靴。当采用闭口桩靴时，在桩孔底灌注长度不少于1.5m强度不小于C20微膨胀混凝土或不低于M20的水泥砂浆；

4 不应利用中、微风化硬质岩或岩芯饱和状态单轴抗压强度大于15MPa的中、微风化软质岩作为桩端持力层。当建筑更新改造，受条件限制需要采用植桩时，可利用硬质岩做持力层。

9.1.6 符合下列条件之一的桩基，当桩周土层产生的沉降超过基桩的沉降时，基桩承载力应计入桩侧负摩阻力：

- 1 桩穿越较厚松散填土、自重湿陷性黄土、欠固结土、液化土层进入相对较硬土层时；
- 2 桩周存在软弱土，邻近桩侧地面承受局部较大的长期荷载，或地面大面积堆载（包括填土）时；
- 3 因地下水位降低，使桩周土有效应力增大，并产生显著压缩沉降时。

9.1.7 桩周土沉降引起桩侧负摩阻力时，基桩的竖向承载力特征值只计中性点以下部分侧阻值及端阻值，应根据工程具体情况考虑负摩阻力对桩基承载力和沉降的影响。

9.1.8 桩身混凝土强度及裂缝等应符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242的要求。

9.2 桩基构造要求

9.2.1 桩端进入持力层的深度应符合下列要求：

- 1 桩端进入持力层的深度，根据地质条件、荷载大小和性质以及施工工艺确定，宜为桩身直径的1倍~3倍；
- 2 当存在震陷液化土层时，桩端进入持力层的深度符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242的有关规定；
- 3 当存在软弱下卧层时，桩端下持力层的厚度满足下卧层强度和变形要求，且不宜小于桩径的4倍，扩底桩端下持力层厚度不宜小于扩底直径的3倍；
- 4 各类预制桩，当采用压桩力或贯入度与桩长双控时，桩端进入持力层（无软弱下卧层）的深度宜以压桩力或贯入度控制为主。

9.2.2 桩的主筋应经计算确定，灌注桩直径为300mm~2000mm时，正截面最小配筋率不宜小于0.2%~0.65%（小直径桩取高值）。

重点防控区内的灌注桩应通长配筋，其上部纵向钢筋配筋率不应小于0.5%，当采取变截面通长配筋时桩下部纵向钢筋配筋率不应小于0.25%。

9.2.3 在水平力作用下，桩身构造配筋应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

9.2.4 液化土和震陷软土中桩的配筋范围，应自桩顶至液化深度以下符合全部消除液化沉陷所要求的深度，其纵向钢筋应与桩顶部相同，箍筋应加粗和加密。

9.2.5 桩基承台下存在淤泥、淤泥质土或液化土层时，桩身纵筋应穿过淤泥、淤泥质土或液化土层，进入下部土层深度不应小于2倍桩径，且不应小于1m。

9.3 单桩承载力确定

9.3.1 基桩的桩顶作用效应以及桩基承载力计算按照《建筑桩基技术规范》JGJ 94执行。

9.3.2 单桩竖向承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 单桩竖向承载力特征值通过单桩竖向静载荷试验确定，试验采用慢速维持荷载法。在同一条件下的试桩数量不宜少于总桩数的1%，且不应少于3根；当预估桩数少于50根时，不应少于2根；

对单桩承载力很高的大直径端承型桩，有条件时可采用深层平板载荷试验或岩基平板荷载试验确定桩端岩石的承载力特征值；

2 试桩之前需进行设计估算时，单桩竖向承载力特征值的预估按照《建筑地基基础技术规范》DB42/242计算；

3 嵌岩灌注桩桩端以下5倍桩径范围内应无软弱夹层、断裂破碎带和洞穴分布，并在桩底应力扩散范围内无岩体临空面。桩端岩石承载力特征值，当桩端无沉渣时，根据岩石饱和单轴抗压强度标准值按照《建筑地基基础技术规范》DB42/242确定，或采用岩基载荷试验确定。

9.3.3 单桩水平承载力特征值应通过现场水平载荷试验确定，试验数量不应少于3根。必要时可进行带

承台的桩载荷试验，试验宜采用慢速维持荷载法。初步设计时可按《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定估算单桩水平承载力。

9.3.4 超高层建筑及高度超过75m且桩周为深厚软土的高层建筑或作用于桩基上的外力主要为水平力时，应根据使用要求对桩顶变位的限制、对桩基的水平承载力进行验算。当外力作用面的桩距较大时，桩基的水平承载力可视为各单桩的水平承载力的总和。当承台侧面的土未经扰动或回填密实时，应计算土抗力的作用。当水平推力较大时，宜设置斜桩。

9.3.5 单桩抗拔承载力特征值应通过抗拔试验确定，试验数量不宜少于预估总桩数的1%且不应少于3根。

9.3.6 桩身强度应满足桩的承载力设计要求。

9.3.7 按桩身混凝土强度计算桩身抗压承载力时，应按桩的类型和成桩工艺的不同将混凝土的轴心抗压强度设计值乘以工作条件系数，桩轴心受压时桩身强度应符合公式(36)的规定。当桩身纵筋配筋率不小于0.65%，桩顶以下5倍桩径范围内螺旋式箍筋间距不大于100mm且钢筋耐久性得到保证的灌注桩可适当计入桩身纵向钢筋的抗压作用。

$$Q \leq A_p f_c \phi_c \quad (36)$$

式中：

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值(kPa)，按《混凝土结构设计规范》GB 50010取值；

Q ——相应于作用的基本组合时的单桩竖向力设计值(kN)；

A_p ——桩身横截面积(m^2)；

ϕ_c ——工作条件系数，预制桩取0.75~0.85(锤击施工时取低值)；预应力管桩及方桩取0.55~0.65(桩周为软土时取低值)；干作业非挤土灌注桩取0.8；灌注桩取0.6~0.8(小直径桩、长径比大于60的桩取低值，长径比小于20的桩取高值，其余按长径比插值)；水下灌注混凝土时端承型嵌岩桩取值不应大于0.6；软土地区挤土灌注桩取0.6；灌注桩桩顶以下 $f_{ak} \leq 70kPa$ 的软土厚度大于3m或大于3d时取值不应大于0.7。

9.3.8 当桩承受较大偏心荷载或弯矩时，应按偏心受压或压弯构件验算桩身强度。

9.4 桩基沉降计算

9.4.1 桩基沉降计算应符合下列规定：

1 对以下建筑物的桩基进行沉降验算：

- 1) 地基基础设计等级为甲级的建筑物桩基；
- 2) 体型复杂、荷载不均匀或桩端以下存在软弱土层的设计等级为乙级的建筑物桩基；
- 3) 摩擦型桩基；

2 桩基沉降不得超过建筑物的沉降允许值，并应符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242的规定；

3 嵌岩桩可不进行沉降验算；桩端持力层为中密以上砂类土或中密以上碎石土，当无软弱下卧层时，20层以下对沉降无特殊要求的建筑物桩基可不进行沉降验算。

9.4.2 当桩中心距不大于6倍桩径时，宜采用等代实体基础，按单向压缩分层总和法计算桩基最终沉降量，桩端以下地基内应力分布采用各向同性均质线性变形体理论计算。

9.5 减沉复合疏桩基础

9.5.1 软弱地基上的多层建筑物，当天然地基承载力基本满足要求(以底层平面面积计算)时，可采用减沉复合疏桩基础。

9.5.2 减沉复合疏桩基础是由桩和桩间土共同分担荷载，并且桩基应设置为穿过软弱土层进入相对较好土层的疏布摩擦型桩。减沉复合疏桩基础，可按公式(37)、(38)确定承台面积和桩数：

$$A_c = \xi \frac{F_k + G_k}{f_{ak}} \quad (37)$$

$$n \geq \frac{F_k + G_k - \eta_c f_{ak} A_c}{R_a} \quad (38)$$

式中：

A_c ——桩基承台总净面积 (m^2)；

f_{ak} ——承台底地基承载力特征值 (kPa)；

ξ ——承台面积控制系数；

n ——桩数；

η_c ——桩基承台效应系数，可按表23取值。

表 23 承台效应系数 η_c

B_c/l	s_a/d				
	3	4	5	6	>6
≤ 0.4	0.06~0.08	0.14~0.17	0.22~0.26	0.32~0.38	0.50~0.80
0.4~0.8	0.08~0.10	0.17~0.20	0.26~0.30	0.38~0.44	
>0.8	0.10~0.12	0.20~0.22	0.30~0.34	0.44~0.50	
单排桩条形承台	0.15~0.18	0.25~0.30	0.38~0.45	0.50~0.60	

注：1 表中 s_a/d 为桩中心距与桩径之比； B_c/l 为承台宽度与桩长之比。当计算基桩为非正方形排列时， $s_a = \sqrt{A/n}$ ， A 为承台计算域面积， n 为总桩数；
2 对于桩布置于墙下的箱、筏承台， η_c 可按单排桩条形承台取值；
3 对于单排桩条形承台，当承台宽度小于 $1.5d$ 时， η_c 按非条形承台取值；
4 对于采用后注浆灌注桩的承台， η_c 宜取低值；
5 对于饱和黏性土中的挤土桩基、软土地基上的桩基承台， η_c 宜取低值的0.8倍。

9.5.3 减沉复合疏桩基础中点沉降计算可按照《建筑桩基技术规范》JGJ 94中相关规定执行。

10 市政工程地基基础设计

10.1 一般规定

10.1.1 各类市政工程进行地基基础设计时，地基基础安全等级、荷载取值及地基基础计算原则应分别按现行工程建设规范和本章相关规定执行。

10.1.2 位于市政道路上的各类市政工程，在满足自身沉降要求的前提下，应考虑不同类型的市政工程在接口处可能出现的不均匀沉降，并提出防止不均匀沉降的措施。

10.1.3 工程地质、荷载、地基处理方式差异较大地段，应设置过渡段控制沉降差。

10.2 道路工程

10.2.1 软土地区路基设计内容宜包含路基稳定验算、路基沉降计算、地基处理措施及路基监测设计等内容。

10.2.2 软土地区路基的稳定验算应符合下列规定：

1 采用瑞典圆弧滑动法中的有效固结应力法或改进总强度法，有条件时亦可采用简化毕肖普法或简布普遍条分法；

2 验算时应按施工期和运营期的荷载分别计算稳定安全系数。施工期的荷载可仅考虑路堤自重，运营期的荷载应包括路堤自重、路面结构荷载及行车荷载。运营期的行车荷载宜换算为静止的当量土柱作用，换算土柱高度可按车辆荷载均布于车辆投影面积上换算得出，土柱位置应选择路堤上车辆荷载最不利的的作用位置；

3 稳定安全系数不应小于表24的规定，否则应针对稳定性进行地基处理，地基处理要求见本文件第8章。

表 24 稳定安全系数容许值

指标选取	验算方法				简化毕肖普法、简布法
	有效固结应力法		改进总强度法		
	不考虑固结	考虑固结	不考虑固结	考虑固结	
直接快剪	1.1	1.2	—	—	—
静力触探、十字板剪	—	—	1.2	1.3	—

表 24 稳定安全系数容许值（续）

指标选取	验算方法				简化毕肖普法、简布法
	有效固结应力法		改进总强度法		
	不考虑固结	考虑固结	不考虑固结	考虑固结	
三轴有效剪切指标	—	—	—	—	1.4

注：当需考虑地震力时，表中稳定安全系数可减少0.1。

10.2.3 软土地区路基工后沉降应符合表25的要求，否则应针对沉降进行地基处理。软土路基沉降计算方法可参照附录C。

表 25 容许工后沉降

工程位置	桥台与路堤相邻处	涵洞、箱涵或通道处	一般路段
快速路、主干路	≤0.10m	≤0.20m	≤0.20m
次干路、支路	≤0.20m	≤0.30m	≤0.30m
专用非机动车道、人行道、绿道（慢行道）	≤0.20m	≤0.30m	≤0.50m

注：1 当路基中有其他管线及构造物时，应按管线等构造物的沉降要求进行设计，应与相邻路基良好过渡；
2 对主辅路并行且主辅路间设侧分带的路基，可按主辅路相应的等级分别进行工后变形控制。

10.2.4 现有市政道路拓宽改建时，拓宽部分的工后沉降应满足表25中桥台与路堤相邻处的规定，且拓宽路堤的路拱横坡度工后增大值不应大于0.5%。

10.2.5 处理与未处理以及不同地基处理方案衔接处应缓和过渡，减小差异沉降。相邻路段差异沉降引起的纵坡变化应控制在0.4%以内。

10.2.6 路基填料选择要求：

- 1 优先选用级配较好的砾类土、砂类土等粗粒土；
- 2 强膨胀土、泥炭、淤泥、有机质土、易溶盐超过允许含量的土，液限>50%、塑性指数>26的细粒土，以及含草皮土、生活垃圾、树根及腐朽物质的土等，未经技术处理不得直接用于填筑路基；
- 3 经过处理的矿渣、粉煤灰等材料，可用作路堤填料；
- 4 捣碎后的种植土，可用于路堤边坡表层。

10.2.7 土质路基压实度及强度要求：

- 1 土质路基压实度应满足表26的要求。

表 26 路基压实度要求

项目分类	路床顶面以下深度（m）	压实度（%）			
		快速路	主干路	次干路	支路
填方路基	0~0.8	96	95	94	92

	0.8~1.5	94	93	92	91
	>1.5	93	92	91	90
零填及挖方路基	0~0.3	96	95	94	92
	0.3~0.8	94	93	-	-

注：1 如有重载交通需求，次干路及支路可提高一级压实度标准，路基顶面回弹模量值及弯沉值可相应提高；
2 表列压实度系按《公路土工试验规程》JTG 3430重型击实试验所得最大干密度求得；
3 专用非机动车道、人行道，可按支路标准执行；绿道（慢行道）可参照支路标准执行。

2 土质路基填料最小强度应符合表27要求。

表 27 土质路基填料最小强度要求

项目分类	路床顶面 以下深度 (m)	填料最小强度CBR (%)		
		快速路、主干路	次干路	支路
填方路基	0.8~1.5	4	3	3
	>1.5	3	2	2
路床	0~0.3	8	6	5
	0.3~0.8	5	4	3

注：1 如有重载交通需求，支路路床填料强度可按城市次干路标准执行；
2 专用非机动车道、人行道，可按支路标准执行；绿道（慢行道）可参照支路标准执行。

3 路床顶面设计回弹模量值，对快速路和主干路不应小于30MPa，次干路不宜小于25MPa，支路不应小于20MPa。

4 路基压实度、路基顶面回弹模量值及弯沉值宜互相匹配。

5 当路基湿度状态、路基填料CBR、路床回弹模量和竖向应变等不能满足要求时，根据气候、土质、地下水赋存加固材料来源等条件，经比选，可采用以下路床处治措施：

- 1) 采用粗粒土或低剂量无机结合料稳定土等进行换填，合理确定换填深度；
- 2) 对细粒土采用砂、砾石、碎石等进行掺和处治，或采用无机结合料进行稳定处治；处治设计通过物理力学试验确定处治材料及其掺量、处治后的路基性能指标等；
- 3) 水文地质条件不良的土质挖方路基或潮湿状态填方路基，设置排水垫层、毛细水隔离层、地下排水渗沟。

10.2.8 桥涵台背的路基填筑与压实应符合下列规定：

1 路堤与桥台、横向构筑物（涵洞、隧道、管廊）的连接处应设置过渡段。过渡段路基压实度不应小于96%，并依据填料强度、地基处理、台背防排水系统等进行综合设计。过渡段长度宜按公式（39）确定。

$$L = (2 \sim 3) H + (3 \sim 5) \quad (39)$$

式中：

L ——过渡段长度 (m)

H ——路基填土高度 (m)；

2 软土地区跨河桥梁的台后最大填土高度不宜大于3.5m，跨线桥及立交匝道桥梁等台后最大填土高度不宜大于2.5m；

3 桥台台后应设置搭板；涵洞、隧道及管廊在覆土较薄时，宜设置搭板；

4 桥涵台背、挡土墙背应选用渗水性好、易密实的填料（如级配碎石），亦可采用泡沫混凝土等轻质材料回填；桥台台背回填设计可参照《市政公用工程细部构造》17ZZ04做法实施；

1) 路堤较高、表层软土较厚、路基下有需保护的建（构）筑物需要保护时，可考虑气泡混合轻质土回填，回填设计可参考图12；气泡混合轻质土回填不宜用于洪水淹没地段；

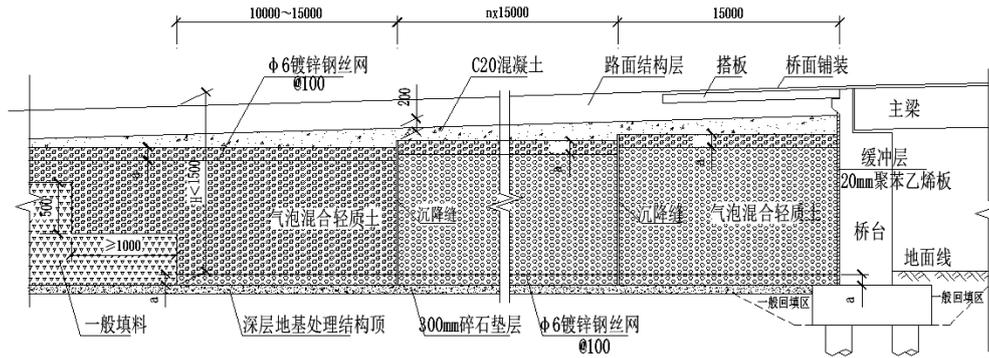


图 12 桥台台背气泡混合轻质土回填立面设计

2) 表层软土厚度不大、有硬壳层时，考虑级配碎石回填，回填设计参照图13。

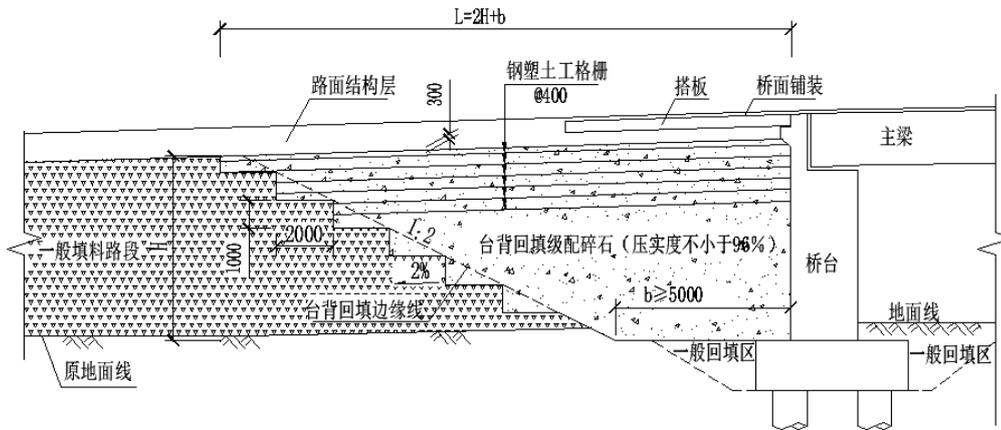


图 13 桥台台背级配碎石回填立面设计

10.2.9 软土地基路基横断面设计应符合下列规定：

1 预压期结束时，路基高度不宜小于其设计高度，即实际路基填筑高度应等于路基设计高度与预压期间的沉降量之和。

2 预压填方路基底面宜加宽，每侧的加宽量应按公式（40）计算：

$$\Delta d = ms_f \quad (40)$$

式中：

Δd ——一侧的加宽量（m）；

m ——软基路堤的设计边坡值（坡率的倒数），宜取1.5~2.0；

s_f ——路堤坡脚处预压期末的沉降量（m）。

3 预压填方路基的边坡值按公式（41）计算：

$$n = (1 - s_j / (H + s_f)) m \quad (41)$$

式中：

n ——预压填方路基的边坡值；

s_j ——路肩处预压期末的沉降量（m）。

H ——路基中心高度（m）。

10.2.10 软土地基路基填筑应符合下列规定：

1 当填方路基为中湿、潮湿状态时，底部宜设置透水垫层，厚度为0.5m，并宜设2%~3%的横坡；

2 特别软弱地基上的路基或软土地基上的高路堤，采用粉煤灰、气泡轻质混凝土等轻质材料填筑，并符合下列规定：

1) 采用粉煤灰填筑时，采取黏土包边等措施防止粉煤灰流失；

2) 采用气泡轻质混凝土填筑时，验算堤身的压缩变形和抗浮稳定性，且顶层气泡轻质混凝土的重度不宜小于0.3kN/m³；

3 路基加筋采用抗拉强度大于50kN/m、延伸率小于10%、耐老化的土工合成材料；
4 不宜采用反压护道。需采用反压护道时，其高度不宜超过路基高度的1/2，宽度通过稳定性验算确定。

5 路堤填土速率根据设计要求进行，并满足下列要求：

- 1) 填筑时间不应小于地基抗剪强度增长所需要的固结时间；
- 2) 路基中心沉降量每昼夜不得大于10mm~15mm，边桩位移量每昼夜不得大于5mm。

10.2.11 软土地基路基沉降与稳定监测设计应符合下列要求：

1 参照《软土地基路基监控标准》GB/T 51275实施；

2 软土地基高填方路基和桥头处路基沉降与稳定监测设计内容应包括监测路段与代表性监测断面、沉降与侧向位移监测点位置、监测仪选型与布设、监测方法、监测频率等；

监测内容包括沉降与水平位移监测；必要时，应进行软土地基深部位移监测；对于拓宽工程，必要时应进行新、老路基差异沉降监测；

路基中间、路肩两侧埋设沉降板，测斜管和位移边桩埋设在填土两侧边坡坡脚处，测斜管的长度与临近桩体长度相同。监测点埋位置可参照图14、图15；

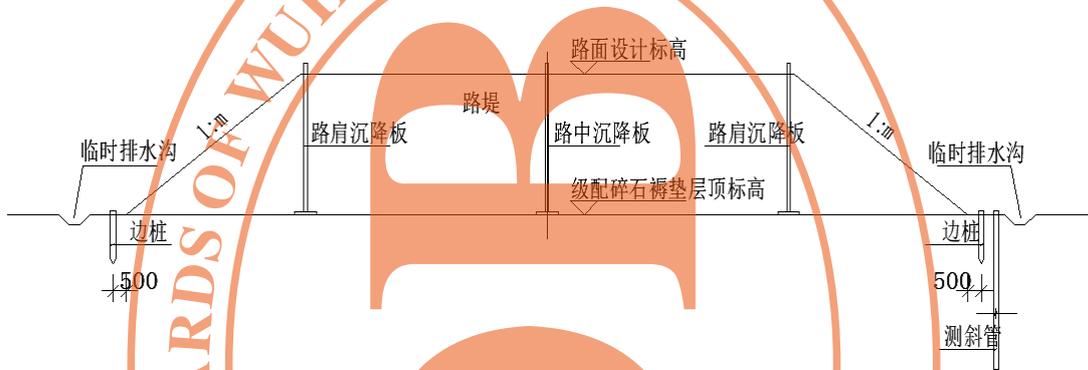


图 14 路基沉降观测标准横断面图



图 15 路基沉降观测平面示意图

3 软弱地基的施工应加强路堤填筑过程和填筑以后的地基变形动态的观测，沉降和稳定观测标准满足下列要求：

1) 施工期沉降观测频率：每填筑一层应观测一次，如果两次填筑间隔时间较长时每三天至少观测一次；

2) 不稳定状态判断标准：路堤在填筑过程中，若沿路堤中线地面沉降速率 $\geq 1.0\text{cm/d}$ ，或坡脚处水平位移 $\geq 0.5\text{cm/d}$ ，或测斜仪测得的最大位移 $\geq 0.5\text{cm/d}$ ，出现不稳定状态时应立即停止加载；当停止加载后，每天仍需进行观测，并且当连续观测三天的沉降与位移在控制值之内时方可继续加载。

10.2.12 路面铺筑应在路基沉降稳定后进行。沉降稳定采用双标准控制，即要求推算的工后沉降量符合本文件第10.2.3条的规定，同时要求连续2个月观测的沉降量每月不超过5mm。

10.3 给排水管涵工程

10.3.1 本节适用于市政道路上给排水管涵的地基基础设计。给排水管涵地基基础计算应根据地基情况、结构特点及施工条件进行，其内容应包括：

- 1 作用和作用组合确定；
- 2 地基、基础承载力计算；
- 3 地基变形计算和稳定性验算；
- 4 耐久性设计；
- 5 受地下水浮力作用的抗浮设计；
- 6 地基、基础工程施工及验收检验要求；
- 7 地基、基础工程监测要求等。

10.3.2 地基设计应符合下列规定：

- 1 地基计算均满足承载力计算的要求；
- 2 对地基变形有控制要求的给排水管涵，均按地基变形设计；
- 3 对位于斜坡上的管涵结构，进行地基稳定性验算。

10.3.3 基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求。

10.3.4 当给排水管涵基础下方天然地基土层厚度及性质均匀，无不良地质现象，有成熟经验或可靠依据时，可不验算地基变形。

10.3.5 混凝土基础应进行受冲切承载力、受剪切承载力、受弯承载力和局部受压承载力计算。

10.3.6 受地下水浮力作用的给排水管涵应满足抗浮稳定性要求。对埋设在地下水位以下的给排水管涵，应根据最高地下水位和管顶覆土条件验算抗浮稳定。抗浮验算时各项作用应取标准值，抗浮稳定抗力系数不低于1.10。抗浮结构及构件、抗浮设施的设计工作年限不应低于工程结构的设计工作年限。

10.3.7 基础用混凝土、钢筋及其锚固连接、基础构造等应满足其所处场地环境类别中的耐久性要求。工程抗浮结构及构件应满足其所处场地环境类别中的耐久性要求。

10.3.8 土质地基上矩形管道基础底板内力计算，一般可沿垂直水流方向截取板条，按地基反力呈直线分布（反力直线分布法）或曲线分布（弹性地基梁法）进行计算。当矩形管道净宽不大于4.0m时，可采用反力直线分布法进行计算；当矩形管道净宽大于4.0m时，底板宜采用弹性地基梁法进行计算。

10.3.9 当管涵沿线地基土有显著变化时，宜计算管涵纵向地基不均匀沉降对管涵结构的影响。

10.3.10 当采用天然地基不能满足承载力、稳定、沉降变形等要求时，应进行地基处理。

10.3.11 管道的基础形式，应根据管道的材质、断面尺寸、埋设处的地质条件综合确定。

10.3.12 钢筋混凝土矩形管道基础，可采用中粗砂基础、碎石基础或素土基础，在基础上应浇筑强度等级不低于C20的混凝土垫层，垫层的厚度不小于100mm。

10.3.13 圆形柔性管道宜采用人工土弧基础，人工土弧基础应采用中粗砂或细碎石铺设。管底以上部分人工土弧砂基础的尺寸可根据工程需要的砂基角度确定。管底以下部分人工土弧砂基础的厚度可按公式（42）确定，但不宜大于0.3m。

$$h_d \geq 0.1(1+D) \quad (42)$$

式中：

h_d ——管底以下部分人工土弧砂基础厚度(m)；

D ——管内径(m)。

10.3.14 圆形刚性管道基础一般可按照不同的管径、接口形式、地基条件选择不同的管道基础：

- 1 承插式及企口式钢筋混凝土管，宜采用砾石砂基础或强度等级不小于C20的素混凝土基础；
- 2 F型钢筋混凝土管，宜采用强度等级不小于C20的素混凝土基础或钢筋混凝土基础。

10.3.15 圆形管道的接口宜采用柔性连接。当条件限制时，管道沿线应根据地基土质情况适当配置柔性连接接口，并应满足相关抗震设计规范的要求。

10.3.16 现浇钢筋混凝土矩形管道沿线应设置变形缝。变形缝应贯通全截面，间距不宜超过30m；接缝处应设置止水带、密封材料等防水措施。

现浇钢筋混凝土矩形管道沿线地基土质有较显著处应设置变形缝。当差异沉降较大时，可连续设置2道~3道变形缝，缝距不宜大于10m。

注：当有可靠实践经验，在混凝土配置及养护等方面具有相应的技术措施时，变形缝间距可适当加大。

10.3.17 埋地管道的回填土应予压实，其压实系数应符合下列规定：

1 对圆形柔性管道弧形土基敷设时，管底垫层的压实系数根据设计要求采用控制在85%~90%，相应管两侧（包括腋部）的压实系数不应低于90%~95%；

2 对圆形刚性管道和矩形管道，其两侧回填土的压实系数不应低于90%；

3 对管顶以上的回填土，其压实系数根据地面要求确定；当修筑道路时，满足路基的要求；

4 道路下的沟槽支护施工时，钢筋混凝土管道、金属管道侧壁及管顶以上30cm的范围采用级配砂石料回填；对于塑料管道其设计支承角加30°范围内采用中粗砂回填，其余范围采用最大粒径小于40mm砂砾或级配砂石料回填；管道顶30cm以上的范围可采用砂砾、级配砂石料或素混凝土回填，砂砾或级配砂石料回填时分层厚度不大于30cm，压（夯）实不少于3遍。

10.3.18 承压管道在通过有接口的弯头、三通、堵头及叉管等处，应根据管内压力、地质条件等考虑是否设置支墩。

10.4 桥梁工程

10.4.1 本节适用于城市桥梁的一般基础设计。桥梁工程总体设计时，应进行概念设计，选择符合本地区特点的合理的桥梁结构体系和基础形式。

10.4.2 桥梁基础类型的选择，应根据桥梁结构形式和重要性、荷载特征、变形控制要求、环境保护要求、水文地质、地形环境、施工条件和工程造价等因素综合比选确定。武汉市软弱土层厚度较大处的桥梁宜选择对沉降敏感性较低的结构体系，桥梁基础宜采用桩基础、沉井基础。常用桩型有混凝土灌注桩、钢筋混凝土预制方桩、预应力混凝土空心管桩等。

10.4.3 桥梁基础设计应保证基础具有足够的强度、刚度、稳定性及耐久性，并应根据桥梁结构形式及使用功能要求控制基础的沉降。

10.4.4 桥梁桩基础设计时，应根据具体条件分别进行下列承载力、变形和稳定性计算或验算：

1 桩基的竖向、水平向承载力计算；对竖向承压桩，当桩端平面以下存在软弱下卧层时，进行软弱下卧层承载力验算；

2 当由于大面积填土或堆载、降低地下水位、地基土体欠固结等，引起桥梁墩台基础桩周土的沉降大于桩的沉降时，考虑桩侧负摩阻力对桩基承载力和沉降的影响；

3 桩身承载力计算；对于桩侧土不排水抗剪强度小于10kPa且长径比大于50的桩，进行桩身压屈验算；对于预制桩，进行吊装、运输和锤击等过程的强度和抗裂验算；

4 摩擦型桩基，对桩基沉降有控制要求的非嵌岩桩和非深厚坚硬持力层的桩基，以及对结构体形复杂、荷载分布不均匀或桩端平面下存在软弱土层的桩基等，进行沉降计算；

5 当环境保护要求高时，对桩基施工和使用过程的环境影响进行验算；

6 承台结构承载力计算；

7 有特殊要求的桩身和承台抗裂或裂缝宽度验算；

8 对受水平荷载较大，或对水平位移有严格限制的桩基，验算其水平变位；

9 对位于坡地、岸边的桩基，进行整体稳定性验算；桩端持力层位于坡度较大的基岩，持力层以上以软土为主时，进行桩端岩体稳定性验算；

10 对于抗浮、抗拔桩基，进行基桩和群桩的抗拔承载力计算。

10.4.5 桥梁桩基础承载力、变形和稳定性计算或验算时，计算作用取值及其效应组合应按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60、《城市桥梁设计规范》CJJ 11的有关规定执行；单桩承载力和桩基沉降计算按本文件第9章的有关规定执行；桩身内力计算按《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363的相关规定执行；桩身结构强度、稳定性及裂缝宽度的验算和桩基承台承载力的计算按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的有关规定执行；桩基抗震设计按《公路工程抗震规范》JTG B02、《公

路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01、《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166的有关规定执行。

桥梁沉井基础计算作用取值及其效应组合应按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的有关规定执行；总体计算或验算时按《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363的相关规定执行。

10.4.6 桥梁基础混凝土结构按照设计使用年限和环境条件进行耐久性设计。耐久性设计应符合《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476和《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310的有关规定。同一结构的不同部位或构件所处的局部环境条件不同时，应分区、分部位进行耐久性设计。

10.4.7 桥梁桩基设计时除应满足第9章有关要求外，尚应符合下列规定：

- 1 选用中、低压缩性黏性土、中密或密实的砂土和粉土、碎石土或基岩作桩端持力层；
- 2 在同一墩台的群桩基础中，不宜采用部分端承桩和部分摩擦桩，不宜采用直径不同、材料不同或长度相差过大的桩；
- 3 岩溶地区的桩基，当岩溶上覆土层的稳定性有保证且桩端持力层承载力及厚度满足要求，可利用上覆土层作桩端持力层；当采用嵌岩桩时，对岩溶进行施工勘察；
- 4 墩台及桩位平面布置应考虑在长期荷载作用下使同一基础内各桩受力均匀，在一般情况下群桩准永久组合作用点宜与基础底面形心重合；
- 5 考虑深基坑开挖中坑底土回弹隆起对桩身受力和桩承载力的影响；
- 6 深厚软土区，不宜采用单桩承台。

10.4.8 对具有下列情况的大桥、特大桥，应通过静载荷试验确定单桩承载力：

- 1 桩的入土深度远超过常用桩；
- 2 地质条件复杂，难以确定桩的承载力；
- 3 新型桩基础或采用新工艺施工的桩基础；
- 4 有其他特殊要求的桥梁桩基础。

静载荷试验可采用堆载法、锚桩法、自平衡法等。选择不利情况下的桩基进行单桩试验。

10.4.9 水中桩基础承台顶面标高应根据水文条件、通航水位、施工难易程度、桥梁整体景观协调等因素综合确定，承台底面的标高应防止桩基础因船舶或其他漂流物的直接撞击受损。确定有冲刷河道桥梁桩基础的自由长度时，应考虑河床冲刷的影响。

10.4.10 城市高架桥承台在平面布置时不宜伸入地面道路的机动车道范围内，如条件限制无法避免时，承台应深埋，承台顶面埋深不宜小于1.5m；在机动车道范围内的承台基坑回填应采用渗水性好、易密实的填料，并应符合路基压实度要求。

10.4.11 桩的构造应满足下列要求：

- 1 混凝土桩的尺寸应根据受力大小、桩基形式和施工条件确定。钻孔桩设计直径不宜小于0.8m；混凝土管桩直径不宜小于0.4m，最小管壁厚度不宜小于80mm；
- 2 混凝土桩桩身强度等级不应低于C25，当采用强度标准值400MPa及以上钢筋时不应低于C30；管桩填芯混凝土不应低于C20；
- 3 钢筋混凝土沉桩的桩身配筋应按运输、沉入和使用各阶段内力要求通长配筋。桩的两端和接桩区箍筋或螺旋筋的间距应加密，其值可取40mm~50mm；
- 4 钻孔灌注桩可按桩身内力大小分段配筋。当内力计算表明不需配筋时，在桩顶3m~5m内设构造钢筋。配筋应符合下列要求：
 - 1) 桩内主筋直径不应小于16mm，每桩的主筋数量不应少于8根，其净距不应小于80mm且不应大于350mm；
 - 2) 配筋较多时可采用束筋，束筋的单根钢筋直径不应大于36mm；束筋的单根钢筋根数，当其直径不大于28mm时不应多于3根，当其直径大于28mm时应为2根；
 - 3) 闭合式箍筋或螺旋筋直径不应小于主筋直径的1/4且不应小于8mm，其中距不应大于主筋直径的15倍且不应大于300mm；
 - 4) 钢筋笼骨架上每隔2m~2.5m设置一道直径16mm~32mm的加劲箍；
 - 5) 钢筋笼底部的主筋宜稍向内弯曲；

6) 钢筋的保护层厚度符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定；

7) 钢筋笼四周设置凸出的定位混凝土块或采用其他可行的定位措施；

5 钢筋混凝土预制桩的分节长度应根据施工条件确定，并尽量减少接头数量。接头强度不应低于桩身强度，接头法兰盘不应凸出于桩身之外，在沉桩时和使用过程中接头不应松动和开裂；

6 钢筋混凝土预制桩及预应力混凝土空心管桩的接头位置宜设在桩身计算弯矩较小处；

7 为提高预应力混凝土空心管桩抗水平力能力，可在桩的上段用混凝土灌芯并设置钢筋，灌芯范围应自桩顶至桩受力反弯点以下2m，并宜穿过淤泥质土层。

10.4.12 外部超静定结构桥梁及特大、重要桥梁或对基础沉降有特殊控制要求的桥梁，灌注桩可采用后注浆工艺，后注浆的注浆量应根据桩径、桩侧桩端土层性质等因素确定。

10.4.13 桩的布置和中距应符合下列规定：

1 群桩的布置可采用行列式、梅花式或环形；

2 摩擦型桩的中距符合下列要求：

1) 锤击、静压沉桩，在桩端处的中距不应小于桩径（或边长）的3倍，对软土地基宜适当增大；振动沉入砂土内的桩，在桩端处的中距不应小于桩径（或边长）的4倍。桩在承台底面处的中距不应小于桩径（或边长）的1.5倍；

2) 钻孔桩中距不应小于桩径的2.5倍；

3 支承或嵌固在基岩中的端承型钻孔桩的中距不宜小于桩径的2倍；

4 对边桩（或角桩）外侧与承台边缘的距离，桩直径（或边长）小于或等于1m时，不应小于0.5倍桩径（或边长）且不应小于0.25m；桩直径大于1m时，不应小于0.3倍桩径（或边长）且不应小于0.5m。

10.4.14 承台和横系梁的构造应符合下列规定：

1 承台的厚度不宜小于桩直径的1.5倍，且不宜小于1.5m，混凝土强度等级不应低于C25，当采用强度标准值40MPa及以上钢筋时不应低于C30；

2 当桩顶直接埋入承台连接时，在每根桩的顶面上设1层~2层钢筋网。当桩顶主筋伸入承台时，承台底面内宜设一层钢筋网，底面内每一方向的钢筋用量宜为 $1200\text{mm}^2/\text{m} \sim 1500\text{mm}^2/\text{m}$ ，钢筋直径宜采用 $12\text{mm} \sim 16\text{mm}$ ；

3 当用横系梁加强桩之间的整体性时，横系梁的高度可取0.8倍~1.0倍的桩直径，宽度可取0.6倍~1.0倍的桩直径。混凝土的强度等级不应低于C25；当采用强度标准值40MPa及以上钢筋时不应低于C30。纵向钢筋不应少于横系梁截面面积的0.15%；箍筋直径不应小于8mm，且其间距不应大于400mm。

10.4.15 桩顶与承台、横系梁的连接应符合以下要求：

1 对混凝土桩直接埋入承台的连接，当桩径（或边长）小于0.6m时，埋入长度不应小于2倍桩径（或边长）；当桩径（或边长）为0.6m~1.2m时，埋入长度不应小于1.2m；当桩径（或边长）大于1.2m时，埋入长度不应小于桩径（或边长）；

2 对混凝土桩主筋伸入承台的连接，桩身嵌入承台内的深度可采用100mm；伸入承台内的桩顶主筋可做成喇叭形（相对竖直线倾斜约 15° ）；伸入承台内的主筋长度，HPB300钢筋不应小于40倍钢筋直径（设弯钩），带肋钢筋不应小于35倍钢筋直径（不设弯钩）；

3 对大直径灌注桩的一柱一桩连接，可设置横系梁或将桩与柱直接连接；

4 对混凝土管桩与承台的连接，伸入承台内的纵向钢筋如采用插筋，插筋数量不应少于4根，直径不应小于16mm，锚入承台长度不宜小于35倍钢筋直径，插入管桩顶的填芯混凝土长度不宜小于1.0m；

5 横系梁的主钢筋应伸入桩内，其长度应不小于35倍主筋直径。

10.4.16 桥梁基础沉降变形验算及控制应符合下列要求：

1 桥梁桩基沉降计算按照本文件第9章的有关规定进行，但其中沉降计算经验系数宜根据类似桥梁墩台基础工程沉降观测资料及经验确定；

2 当桩基为端承桩或桩端平面内桩中心距大于6倍桩径时，桩基总沉降量可取单桩沉降量；

3 对桥梁基础进行长期连续沉降观测，定期提供沉降观测报告。沉降观测具体要求可参照本文件第14章的相关规定执行；

4 当上部结构为外部超静定结构或基础的计算沉降量较大,且水陆交通对桥跨净空有明确的要求时,在构造上应考虑采用便于顶升桥跨结构的措施。

10.4.17 设计中应考虑环境、取土条件、工期等因素,避免采用高填土桥台,宜尽量降低桥台高度。

10.4.18 沉井基础设计及施工应满足《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363及《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130执行,并应符合下列规定:

- 1 合理确定沉井井壁、隔墙厚度及井孔尺寸,确保沉井能在自重作用下顺利下沉到位;
- 2 沉井设计时考虑空气幕、泥浆润滑套、砂套等辅助下沉措施;
- 3 在井壁及隔墙内预埋钢管,管间距可结合地质情况、井孔结构尺寸、井壁及隔墙下的盲区土体破土工艺综合确定,宜为2m~5m,且在井壁及隔墙交叉点结合盲区面积布置数根,管径不宜小于15cm;
- 4 制作沉井的地面或岛面承载力应满足承载底节沉井的要求;当软土地基承载力不能满足要求时,应采取换填、打砂桩、填筑反压土体等加固措施;
- 5 避免在沉井刃脚处于软硬地层交界附近时接高沉井,防止沉井在浇筑混凝土过程中产生不均匀沉降;
- 6 在不稳定的软土层或砂土中下沉时,保持井内水位高于井外水位1m~2m,防止流砂涌向井内引起沉井歪斜,并增加吸泥工作量。

10.5 隧道工程

10.5.1 本节适用于以软弱地层作为环境介质,采用明挖法、盾构法、顶管法、浅埋暗挖法等工法施工的隧道工程设计,其它工法施工的隧道可参考执行。

10.5.2 根据在长期荷载作用下地基变形对隧道的影响程度,地基应符合下列规定:

1 所有隧道的地基计算均满足承载力计算的要求,所采用的作用效应与相应的抗力限值符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007中的相关规定。

2 隧道底板宜以中~低压缩性的岩土层为持力层;底板位于软土及互层土地基中有可能造成运营期沉降时,根据沉降计算结果,采取相应的基底处理措施;市政道路隧道沉降允许值满足表28要求。当隧道上部跨越线路有特殊要求时,满足相应规定的要求。

表 28 市政道路隧道地基沉降允许值

项目	允许值	
	明挖法、浅埋暗挖法	盾构法、顶管法
沉降 (mm)	100	
差异沉降 (mm)	0.20% L_g ~0.25% L_g	0.04% L_g

注: L_g 为按变形缝或环宽分段结构长度。

10.5.3 明挖法隧道应符合下列规定:

1 结构宜按底板支撑在弹性地基上的结构物计算,结构宜简化为平面问题进行分析并计入墙体(立柱)、楼板的压缩变形及加腋的影响。当围护结构与内衬墙共同受力时,根据围护结构与内衬间的构造形式和结合情况,选用与其传力特征相符的计算模型;

2 当因结构、地基、基础或荷载发生变化,可能产生较大的差异沉降时,宜通过地基处理结构措施或设置后浇带等方法将结构的纵向曲率和沉降差控制在地下结构的允许变形范围内;

3 结构基底位于软弱土层时,可采取换填地基、桩基础、复合地基等处理措施,满足沉降及承载力要求。

10.5.4 盾构法隧道应符合下列规定:

1 盾构隧道平面、纵断面设计应结合隧道断面尺度、工程地质和水文地质条件及环境情况等因素,确定其埋置深度及与相邻隧道的距离,并应符合下列规定:

- 1) 盾构隧道覆土厚度不宜小于隧道外轮廓直径;

- 2) 当盾构隧道穿越江、河时，最小覆土厚度满足河床冲刷和船舶锚击深度要求；
- 3) 盾构法施工的并行隧道间的净距不宜小于隧道外轮廓直径；
- 2 软弱地层的盾构法隧道始发和接收必须采取有效的地下水控制及土体加固措施。环境条件复杂时评估降水对环境的影响，加快施工进度，减少降水时间，必要时采用落底帷幕或冻结法等措施。

10.5.5 顶管法隧道应符合下列规定：

- 1 顶管断面采用圆形、矩形、类矩形等形状，顶管管节长度宜为1.5m~2.0m；
- 2 顶管适宜在淤泥质黏土、黏土、粉土及砂土等土层中施工；
- 3 矩形顶管覆土厚度宜大于矩形顶管机高度的1倍，且不宜小于3.5m；
- 4 矩形顶管纵坡不宜小于0.3%，且不宜大于3%。

10.5.6 浅埋暗挖法隧道应符合下列规定：

- 1 浅埋暗挖法隧道采用复合式衬砌，隧道位于软弱地层时需对洞体范围进行预加固；
- 2 初期支护按与其它临时支撑结构承受施工期间全部荷载的承载结构设计；二次衬砌按与初期支护共同承受使用期外部荷载的承载结构设计；
- 3 结构计算考虑衬砌与地层的共同作用或考虑地层抗力对衬砌变形的约束作用；
- 4 结构设计考虑长期使用过程中，外部荷载因初期支护材料性能退化和刚度下降向二次衬砌的转移；计算中初期支护构件刚度可按折减不小于50%考虑。

10.6 管廊工程

10.6.1 本节适用于管廊的地基基础设计。管廊地基基础计算应根据地基情况、结构特点及施工条件进行。

10.6.2 管廊工程中所使用的材料应根据结构类型、受力条件、使用要求和所处环境等选用，并应考虑耐久性、可靠性和经济性。主要材料宜采用高性能混凝土、高强钢筋。当地基承载力良好、地下水位在管廊底板以下时，可采用砌体材料。

10.6.3 管廊下部混凝土垫层的混凝土强度等级不宜低于C20。

10.6.4 建设场地地基土有显著变化段的管廊结构，应计算地基不均匀沉降的影响，地基变形应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定计算确定。工程地质条件差异较大地段，应设置过渡段避免管廊沉降差过大。地基变形计算应考虑相邻构筑物或其他相邻荷载的影响；当地基近侧为边坡时，应进行边坡稳定验算。

10.6.5 现浇混凝土管廊结构的截面内力计算模型宜采用闭合框架模型。作用于结构底板的基底反力分布应根据地基条件确定，并应符合下列规定：

- 1 经加固处理的地基，基底反力可视为直线分布；
- 2 未经处理的软弱地基，基底反力按弹性地基上的平面变形截条计算确定。

10.6.6 管廊结构应在纵向设置变形缝。变形缝的设置应符合下列规定：

- 1 现浇混凝土管廊结构变形缝的最大间距为30m；
- 2 结构纵向刚度突变处以及上覆荷载变化处或下卧土层突变处，设置变形缝；
- 3 变形缝的缝宽不宜小于30mm；
- 4 变形缝应设置橡胶止水带、填缝材料和嵌缝材料等止水构造。

10.6.7 对受水平荷载作用的管廊结构或位于斜坡上的管廊结构，应进行地基稳定性验算。

10.6.8 软弱地基不满足承载力、稳定、沉降变形等要求时，应进行地基处理。软弱地基的处理方法可根据地质情况、结构特点和施工条件等，采用一种或多种相结合的处理方法。常规的处理方法有浅层换填法、复合地基以及桩基础等。处理与未处理以及不同地基处理方案衔接处应缓和过渡，减小差异沉降。

10.6.9 当天然地基承载力基本满足要求时，可采用减沉复合疏桩基础。减沉桩应采用摩擦型桩，并使桩端穿过按天然地基土计算的压缩层范围进入压缩性相对较低的土层，由桩和桩间土共同分担荷载。桩的中心间距应根据设计要求的承载力、土性、施工工艺等确定，宜为4d~6d。减沉复合疏桩基础设计时应进行地基变形验算。

10.6.10 管廊基础底板的厚度应满足整体刚度及防水要求。当基础下满堂布桩时，基础板的厚度应满足受冲切承载力的要求，基础板沿桩顶、柱边、墙边的受冲切承载力可按现行国家规范计算。

10.6.11 抗拔桩耐久性设计应根据《建筑桩基技术规范》JGJ 94的耐久性规定和设计原则进行。

10.6.12 基坑回填应在管廊结构及防水工程验收合格后进行。根据工程实际可采用中粗砂、级配砂石料或素混凝土回填。管廊两侧回填应对称、分层、均匀。管廊顶板上部1000mm范围内回填材料应采用人工分层夯实；管廊顶板上部1000mm以上部位可采用静压设备压实，分层回填高度应不大于200mm；大型碾压机不得直接在管廊顶板上部施工。

10.6.13 管廊回填土压实度应符合设计要求。当设计无要求时，应符合表29规定。

表 29 管廊回填土压实度

检查项目		压实度 (%)	检查频率		检查方法
			范围	组数	
1	绿化带下	≥90	管廊两侧回填土 按50延米/层	1 (三点)	环刀法
2	人行道、机动车道下	≥95		1 (三点)	环刀法

注：道路路基压实度尚应满足道路相关规范要求。

10.7 城市明渠工程

10.7.1 城市明渠边坡根据类型可分为土质斜坡、支挡结构等两种基本类型，亦可采用下部支挡结构+马道+上部土质斜坡断面的组合型式。

10.7.2 土质斜坡主要为土质边坡上采用自然放坡形成的渠道，一般为梯形断面，上宽下窄。软弱土地地区自然放坡不能满足稳定性要求的情况下，斜坡加固设计可采用浅层换填处理、水泥土类搅拌桩加固处理、刚性抗滑桩处理及组合加固处理：

1 浅层基础换填。对于填方明渠，可在渠底及土方基础范围全断面换填；对于挖方明渠，可在渠底进行全断面或局部换填。换填材料可采用符合要求的砂石料、碎石、块石、合格土等；

2 水泥土类搅拌桩加固。水泥土类搅拌桩可采用单（多）向水泥土搅拌桩、单（多）轴水泥土搅拌桩、高压旋喷桩等桩体。垂直坡面方向加固体间应咬合，优先选用多向、多轴搅拌桩型；

3 刚性抗滑桩处理。支护体一般埋入斜坡土体内，可采用灌注桩、预制管桩、钢（管）板桩、木桩等桩体；

4 组合加固。可将上述三种加固方式组合使用，水泥土类搅拌桩及刚性抗滑桩组合加固方法使用较多，此方法一般适用于工程地质条件很差、边坡稳定性很低的区域。

10.7.3 支挡结构断面一般为矩形断面；支挡结构可采用排桩挡墙、钢筋混凝土U型槽、圬工挡土墙、石笼格宾网等型式，使用时应注意以下事项：

1 排桩挡墙可采用钻孔灌注桩、预制管桩、预制板桩、U型钢板桩等支护桩体。采用排桩挡墙支挡结构时桩顶应设置纵向连接；

2 采用排桩挡墙支挡结构时，如渠底存在深厚软土，排桩桩底应穿透软土层，渠底宜进行土体加固或设置暗撑；

3 采用排桩挡墙支挡结构时，桩身的结构和强度应满足要求，同时应考虑桩体变形对边坡稳定性的影响；排桩为钻孔灌注桩时，桩径不宜小于800mm；

4 明渠周边有特殊重要的建（构）筑物需要保护时，位于深厚软土区的挖方边坡宜优先采用钢筋混凝土U型槽、排桩挡墙等刚性支挡结构型式的边坡。

5 软土边坡不宜采用切坡再砌筑挡土墙方式。圬工挡土墙的结构构件截面设计应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定执行，挡墙应进行抗滑、抗倾稳定性验算，当存在深部潜在滑面时，应进行有关潜在滑面整体稳定性验算，不能满足要求时应进行处理。

10.7.4 城市渠道边坡坡面防护应根据工程特点，结合气候、周边环境采用植物防护、工程防护相结合

的综合处理措施，宜绿色、美观、环保。

10.7.5 边坡坡面水位以下部分宜采用防水生态护砌或砌体护坡。采用砌体护坡时，砌块强度不应小于C20，厚度不宜小于150mm，石料强度等级不应低于MU30，砌体护坡应设置伸缩缝和透水孔。

10.7.6 渠道边坡应根据安全等级、环境条件、工程地质和水文地质、支护结构类型和变形控制要求等条件编制施工方案，采取合理、可行、有效的措施保证施工安全。

10.7.7 对于软弱土地区渠道边坡应严格控制施工荷载，禁止在潜在滑动区超量堆载，边坡开挖后应及时按设计实施支护结构施工或封闭措施。

10.7.8 渠道边坡施工应采用信息化施工，按设计要求实施监测。施工出现险情时，施工单位应根据施工抢险方案及时开展边坡工程抢险工作。

11 地基基础抗震设计要点

11.1 地震动参数

根据《中国地震动参数区划图》GB 18306附录C，武汉市新洲区的邾城街道、潘塘街道、旧街街道、涨渡湖街道、辛冲镇、徐古镇等4街道、2镇的II类场地基本地震动峰值加速度值为0.10g，其它街道、乡镇的II类场地基本地震动峰值加速度值均为0.05g，基本地震动加速度反应谱特征周期均为0.35s。

勘察单位提供的场地类别为I、I₁、III、IV类场地时，设计单位应结合本场地实际情况对II类场地基本的地震动峰值加速度和基本地震动加速度反应谱特征周期进行调整，调整方法按照该文件表要求。

11.2 建筑场地

选择建筑场地时，应根据工程需要和地震活动情况、工程地质和地震地质等有关资料对地段进行综合评价。对不利地段，应尽量避免；当无法避开时应采取有效的抗震措施。对危险地段，严禁建造甲、乙、丙类建筑。

11.3 建筑地基基础抗震设计要求

按照《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑地基基础技术规范》DB42/242等标准执行。

11.4 市政工程地基基础抗震设计要求

根据工程类别按照相应规范执行。

12 基坑与边坡

12.1 基坑工程

12.1.1 一般规定

12.1.1.1 基坑安全等级根据《基坑工程技术规程》DB42/T 159的相关要求确定。

12.1.1.2 基坑工程设计采用的土的强度指标，应符合《基坑工程技术规程》DB42/T159的相关要求。

对中高灵敏度软土层，应考虑工程桩、地基处理等施工扰动因素对软土强度指标的不利影响，计算采用的软土强度指标宜适当进行折减；必要时待工程桩或地基处理完成后，在基坑支护影响范围内进行静力触探或十字板等原位测试，确定土体强度指标。

12.1.1.3 基坑工程设计前应收集以下资料：

- 1 用地红线和建筑红线图、场区地形图及地下工程结构施工图；
- 2 场地岩土工程勘察报告，当地下水对基坑工程有影响时应提供水文地质勘察报告；
- 3 基坑周边环境资料，必要时应采用相关手段对地下管线做进一步调查；
- 4 相邻地下工程施工情况及相关的检测资料等；

- 5 地下结构施工对基坑设计的要求；
 - 6 基坑周边场地地面荷载(动荷载、静荷载)的变化情况。
- 12.1.1.4 基坑工程设计应包括下列内容：
- 1 支护结构体系的方案和技术经济比较；
 - 2 基坑支护体系的稳定性验算；
 - 3 支护结构的承载力、稳定和变形计算；
 - 4 地下水控制设计；
 - 5 对周边环境影响的控制设计；
 - 6 基坑土方开挖方案；
 - 7 基坑工程的监测要求。
- 12.1.1.5 基坑支护结构设计应符合下列规定：
- 1 所有支护结构设计均满足强度和变形计算以及土体稳定性验算的要求；
 - 2 设计等级为甲级、乙级的基坑工程，进行因土方开挖、降水引起的基坑内外土体的变形计算。
- 12.1.1.6 因支护结构变形、岩土开挖及地下水条件变化引起的基坑内外土体变形应符合下列规定：
- 1 不得影响地下结构尺寸、形状和正常施工；
 - 2 不得影响既有桩基的正常使用；
 - 3 对周围已有建(构)筑物引起的地基变形不得超过地基变形允许值；
 - 4 不得影响周边地下建(构)筑物、地下轨道交通设施及管线的正常使用。
- 12.1.1.7 对于安全等级为一级或环境条件严峻的基坑工程宜优先采用变形控制能力强的支护措施，并按变形控制原则进行设计和施工。
- 12.1.1.8 软土地区基坑应尽量缩短暴露时间。如遇特殊情况导致地下室不能正常施工时，应根据环境、变形情况决定坑内周边是否采取回填反压措施。
- 12.1.1.9 市政基坑的设计方案选择应符合下列要求：
- 1 优先选择明挖顺作法施工。当受环境或其他因素制约，如基坑位于交通繁忙、路幅狭窄路段且不允许长时间封闭交通时，宜铺设临时路面采用盖挖顺作法施工；环境保护要求高时，可采用盖挖逆作法或逆作法施工；
 - 2 综合考虑对现状交通、市政管线、工程筹划、周边环境的影响，可采用分区、分段的实施方案；
 - 3 根据工程地质与水文地质条件、基坑规模、施工场地、现状交通、地下管线、绿化景观、环境条件等要求，通过技术与经济比较确定支护结构类型。优先考虑可重复使用的绿色环保、经济合理的支护结构类型，如钢板桩、SMW工法桩、PLC钢管桩等。
- 12.1.1.10 邻近轨道交通设施、重要建筑物和市政管线等环境保护要求高的市政基坑工程，应进行变形控制设计，并提出基坑的变形控制指标。对市政基坑周围的重要保护对象，在基坑开挖前可选用下列变形控制措施：
- 1 在基坑与保护对象之间设置隔离桩等隔离措施；
 - 2 对基坑周围埋深较浅的管线，可采取暴露、架空等措施；
 - 3 在基坑与保护对象之间预先设置注浆管，基坑开挖期间根据监测情况采用跟踪注浆保护；跟踪注浆期间，除了对保护对象进行监测外，尚应加强对支护结构变形和支撑轴力等的监测。
- 12.1.1.11 对于邻近古树名木的市政基坑，支护结构应符合下列要求：
- 1 采用钢管桩、钢板桩、预制混凝土板桩等无泥浆的支护结构；
 - 2 采用有泥浆的支护结构时，附加设置钢板桩等有效隔离措施。
- 12.1.1.12 当原位保留的重要管线穿越拟建市政基坑导致支护结构平面无法封闭时，对该管线采用原位保护方案，支护结构采取局部补强措施。
- 12.1.1.13 当市政工程与相邻地下空间结合开发时，整个建设工程应统筹考虑，确定合适的施工分区和施工方法，其基坑设计应符合下列要求：
- 1 市政基坑工程与相邻地下空间宜同步设计、同步施工；

2 若分期建设, 先建工程预留相应条件, 后建工程充分考虑各阶段受力工况进行包络设计; 两者采用共墙或下沉式广场连通方式时, 采取措施避免单边卸载对既有结构的不利影响。

12.1.1.14 狭长形市政基坑(沟槽), 可采用纵向斜面分层分段开挖, 斜面应设置多级边坡, 设计中应充分考虑土体的时空效应, 对分层分段开挖和支撑提出明确的限时要求。

12.1.1.15 基坑工程土方开挖过程中应进行监测, 采用信息法施工, 动态设计。

12.1.2 基坑支护设计

12.1.2.1 基坑支护型式可分为: 自然放坡加坡面保护、水泥土重力式挡墙、悬臂式排桩、桩锚支护、钢板桩支护、双排桩支护(悬臂式、锚杆式、支撑式)、桩墙内支撑, 其安全等级、开挖深度的选取、力学指标的选用、计算模式、结构型式、变形及强度控制要求等应遵守《基坑工程技术规程》DB42/T 159的相关规定。

12.1.2.2 基坑支护结构设计时应满足下列要求:

1 在软土地区进行重力式挡墙设计时, 查明软土中有机质含量, 并进行试配试验; 重力式挡墙基底穿过软土层;

2 土层锚杆锚固段不应设置在未经处理的软弱土层、不稳定土层和钻孔注浆可能引发较大土体沉降的土层; 环境条件允许时, 可采用高压旋喷锚杆(索), 但应进行锚杆工艺试验、承载力试验, 满足设计要求方可采用;

3 采用双排桩作为支护型式时, 其桩间土加固体穿过软弱土层;

4 环境条件复杂且需在深厚的软弱土中设置地下连续墙时, 宜采用等厚水泥土墙或多轴搅拌桩等方法对槽壁进行加固, 其加固深度宜穿过软弱土层。

12.1.2.3 采用内支撑系统时, 处在深厚软土中的格构柱周边宜采用砂袋或碎石回填, 减小土方开挖对格构柱的挤压。

12.1.2.4 钢板桩适用于暴露时间不长、周边变形要求不高的的市政工程沟槽或房屋建筑基坑支护; 开挖深度超过3m时宜加撑控制变形。钢板桩设计时可采用悬臂式、桩锚式、支撑式。钢板桩的设计计算应符合下列规定:

1 钢板桩结构应按偏心受压构件设计, 轴力较小时可按受弯构件设计;

2 钢板桩的单宽强度应满足公式(43)的计算要求:

$$\frac{\gamma_F}{1000} \left(\frac{N}{A} + \frac{M_{\max}}{W_z} \right) \leq f \quad (43)$$

式中:

N ——作用在每米钢板桩上轴向力标准值(kN/m);

M_{\max} ——作用在每米钢板桩上最大弯矩标准值(kN·m/m);

A ——每延米钢板桩的截面面积(m²/m);

W_z ——每延米钢板桩的弹性抵抗矩(m³/m);

f ——钢材的强度设计值(N/mm²); 如采用国产钢板桩, 按《钢结构设计标准》GB 50017中规定采用; 如采用国外进口钢板桩, 按其屈服强度除以1.15的材料分项系数后取用;

γ_F ——综合分项系数; 临时构筑物取1.25。

3 确定U型钢板桩构件的截面惯性矩和弹性抵抗矩时, 应根据锁口连接状态, 分别乘以折减系数。当桩顶设有整体冠梁及支撑点或锚头设有整体腰梁时, 折减系数均取为1.0; 桩顶不设有冠梁或腰梁分段设置时, 截面惯性矩的折减系数取0.6, 弹性抵抗矩的折减系数取0.7;

4 钢板桩腹板和翼缘厚度应满足公式(44)的验算要求:

$$\gamma V_{\max} \leq f_v t_w (h - t_f) \quad (44)$$

式中:

V_{\max} ——作用在每个钢板桩单元上的最大剪力标准值(kN);

t_w ——腹板最小厚度(m);

t_f ——翼缘最小厚度(m);

H ——钢板桩断面总高度 (m)；

f_v ——钢材的抗剪强度设计值 (N/mm^2)；如采用国产钢板桩，按《钢结构设计标准》GB 50017中规定采用；如采用国外进口钢板桩，按其抗拉强度设计值乘0.56后取用；

γ_F ——综合分项系数；临时构筑物取1.25。

5 钢板桩构件抗弯承载能力计算可按公式 (45) 计算：

$$\sigma = M/\beta\xi W_z \leq [f] \quad (45)$$

式中：

σ ——钢板桩截面应力 (N/mm^2)；

M ——作用在钢板桩上的弯矩设计值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)；

w_z ——钢板桩截面抵抗矩 (mm^3)；

β ——抵抗矩折减系数，当设置有整体钢腰梁时取值1.0，不设置腰梁或分段设置时，取值0.9；

ξ ——钢板桩重复利用折减系数，对于首次使用的新钢板桩，取值1.0，对于重复使用的旧钢板桩，根据重复利用次数，参考取值0.85~0.95；

$[f]$ ——钢板桩构件材料强度设计值 (N/mm^2)。

6 钢板桩宜设置完整、封闭的钢腰梁，钢腰梁与钢板桩宜采用焊接的连接方式。钢腰梁应贴合钢板桩，其间隙应有效的填充措施，以保证均衡受力；

7 设计时应考虑钢板施工及桩拔除对周边环境的影响，并提出减小对环境影响的措施。

12.1.2.5 地下水控制应符合下列要求：

1 对于地下水位较高，填土厚度较大的基坑不宜采用自然放坡型式，需采用侧壁止水措施，有空间条件时可在坑外设置集水井排水。集水井根据原始地貌情况，在填土厚度较大的区域设置；

2. I级阶地防控区内或邻近I级阶地防控区、环境条件严峻时（如在防洪控制范围内）的建筑工程设置三层及以上地下室或基坑开挖深度大于或等于16m，疏干降水采用落底式止水帷幕或落底式地下连续墙；当基坑面积较小时，可采用坑底及坑壁五面围封并结合管井降水的地下水控制方案；

3 重点防控区内基坑安全等级为一级的深大基坑或长条形基坑降水按照分区开挖、分区降水原则进行设计；施工过程中分区启动降水井，控制抽水强度，减少降水总抽排量；

4 降水深度达到承压含水层顶板以下，当环境条件允许时采用施工回灌措施，回灌井的布置、数量及构造应进行专项设计，并进行回灌效果试验；

5 基坑降水时在各个降水井出水口安装流量计，实时记录各降水井降水情况，统计总抽排水量。

12.1.3 施工

12.1.3.1 在深厚软土地带进行支护桩、地下连续墙、冠梁施工时，应对周边环境进行监测，并应采取减小对周边环境的影响。

支护结构的施工影响范围内存在对地基变形敏感、结构性能差的建筑物或地下管线时，不应采用挤土效应严重或易产生较大振动的桩型或施工工艺；非挤土成桩时应采用防塌孔措施。

12.1.3.2 钢板桩严格按设计及施工规范要求施工，并应符合下列要求：

1 钢板桩的沉桩根据施工场地条件、地质情况、周边环境等因素选择锤击法、静压法、振动法或植入法等施工方法。当邻近建（构）筑物及地下管线时，宜采用静压法或植入法施工，并根据监测情况控制压桩速率；

2 设计有支撑结构时，严格按设计要求先撑后挖，不得先挖后撑或不撑；

3 钢板桩拔桩前进行土方回填，平衡板桩两侧土压力；拔桩设备与板桩保持一定距离，减小板桩受到的侧向压力；拔桩顺序宜与打桩顺序相反。钢板桩拔出后的空隙及时注浆或填砂充填密实。坑（槽）周边环境紧张、临近敏感建筑时，为控制拔桩引起的土体变形及避免建筑沉降开裂、损坏，考虑不拔桩。

12.1.3.3 基坑土方开挖应严格按设计要求进行，不得超挖。基坑周边堆载不得超过设计要求。土方开挖完成后应立即施工垫层，对基坑进行封闭，防止水浸和暴露，并及时进行地下结构施工。

12.1.3.4 基坑回填应符合下列要求：

1 回填前抽干肥槽内积水，清除肥槽内杂物；

2 回填料采用灰土、级配砂石、压实性较好的素土等；严禁采用建筑垃圾、淤泥、淤泥质土、生活垃圾回填；

3 回填严格执行分层填筑、分层压（夯）实；分层厚度不大于30cm，压（夯）实不少于3遍；

4 当肥槽宽度小于1m或难以压实时，可采用低标号素砼或搅拌流动性水泥土回填；

5 市政道路下的沟槽开挖回填满足路基回填要求。

12.2 边坡工程

12.2.1 本节适用于在地面开挖、填筑形成的坡面和天然边坡附近新建建筑物或大量堆载时的边坡工程。设计使用年限超过2年的边坡按永久性边坡设计，临时性软土边坡尽可能缩短边坡放置时间。

12.2.2 边坡设计应使土体变形不致影响区域内建筑物与公共设施等的正常使用。

12.2.3 边坡边坡稳定计算通常按平面问题考虑。可根据地基情况、边坡形状和地面荷载等基本相同的原则，将边坡划分成若干区段，在每一区段中选取代表性断面作为计算断面。对于仅在局部范围内有较大荷载或软弱土层的边坡，需验算局部范围的稳定性时，可考虑滑动体侧面摩阻力的影响。

12.2.4 进行边坡稳定计算时，可按圆弧滑动面计算；有软弱夹层时，应按实际可能发生的非圆弧滑动面验算；较厚填土与原状岩石的接触面外倾时，应验算沿接触面滑动的稳定性。对于长期开挖的边坡，宜考虑不同工况、不同卸载条件对土体抗剪强度的影响。

12.2.5 拟建边坡附近有地基条件基本相同的边坡时，设计可采用类比的计算方法验算拟建边坡的稳定性。

12.2.6 超载按实际工况取值；施工及使用阶段严格控制超载。

12.2.7 当有地下水渗流时，应计算地下水渗透压力对边坡的作用。

12.2.8 对于施工中可能出现与设计条件不符的边坡工况，应按现有条件重新进行边坡稳定性验算，不满足要求时则调整设计、施工方案并采取加强处理措施。

施工中应采取有利于边坡稳定的施工方法和施工程序。在边坡附近打桩时，宜采用重锤轻打、钻孔取土打桩、间隔跳打等方法。

施工期间应加强监测，发现边坡有失稳迹象时，及时采取削坡、坡顶减载、坡脚压载、暂停打桩、加设防滑板或防滑桩、降低产生滑动力矩的地下水位等措施。

12.2.9 做好边坡坡面防护，设置边坡地表和地下排水系统；进行边坡长期监测并对边坡进行定期维护。

12.2.10 城市明渠边坡应根据地基情况、结构特点及施工条件进行设计，其内容应包括：明渠边坡工程安全等级的确定、边坡工程的稳定安全系数、边坡稳定性计算。

1 渠道根据边坡高度及破坏后果按表30确定边坡工程安全等级。线路较长时应根据工程地质条件及周边环境分段划分。

表 30 城市明渠边坡工程安全等级

边坡类型	边坡高度	破坏后果	安全等级
土质边坡	$10 < H \leq 15$	很严重	一级
		严重	二级
	$H \leq 10$	很严重	一级
		严重	二级
		不严重	三级
	注：1 对危害性严重、环境和地质条件复杂的渠道边坡，其安全等级应根据工程情况适当提高； 2 很严重：造成重大人员伤亡或财产损失；严重：可能造成人员伤亡或财产损失；不严重：可能造成财产损失。		

2 明渠边坡的运用条件应根据其工作状况、作用力出现的几率和持续时间的长短，分为正常运用条件和非常运用条件两种。正常运用条件包括明渠水位处于正常高水位与最低水位间的各种水位及经常性降落。非常运用条件包括：1) 施工工况，临时施工期；2) 水位升降工况，临水边坡的水位非常降落；

3) 降雨（暴雨）工况，降雨或其他原因引起的边坡饱和及相应的地下水位变化。对应不同的计算工况应满足相应的安全系数，见表31。

表 31 城市明渠边坡稳定安全系数

计算工况	安全等级		
	一级	二级	三级
正常运用条件	1.35	1.30	1.25
非常运用条件	1.25~1.20	1.20~1.15	1.15~1.10

不同条件下的计算因子组合可按下列工况考虑：

- 1) 正常运用条件：滑体重+渠顶超载+设计高水位与最低水位之间的各种水位及其正常性降落。
- 2) 非常运用条件：
 - a) 施工工况：滑体重+施工超载+暴雨；
 - b) 水位升降工况：滑体重+渠顶超载+非常降落水位（无设计值时，根据经验可取3m）；
 - c) 降雨（暴雨）工况：滑体重+渠顶超载+暴雨。

3 明渠边坡抗滑稳定计算应以极限平衡方法为基本计算方法。明渠边坡周边环境风险巨大或安全等级要求较高时，应采用强度指标折减的有限元法分析复核。边坡稳定性计算需要全面考虑水的作用，包括渗流影响。

4 对于土质边坡，当滑动面呈圆弧型时，宜采用简化毕肖普法或摩根斯顿-普赖斯法进行抗滑稳定计算；当滑动面呈非圆弧型时，宜采用摩根斯顿-普赖斯法和不平衡推力传递法进行抗滑稳定计算。

5 边坡稳定性计算抗剪强度指标一般采用直剪快剪指标或总应力指标。

13 地基基础工程施工

13.1 一般规定

13.1.1 地基基础施工之前，应具备下列资料：

- 1 场地的岩土工程勘察资料、环境资料及地下障碍物的分布情况；
- 2 基础设计图纸、设计要求及须达到的标准、检验手段；
- 3 建筑物和地下设施类型、布置；
- 4 施工组织设计、专项施工方案或应急预案；
- 5 相关的试验资料。

13.1.2 地基与基础工程施工前，应调查清楚场区的环境，对周边邻近建（构）筑物、管线等做好调查及取证工作，并制定有针对性的施工保护措施及监测方案。

13.1.3 建筑物、桥墩（台）和隧道邻近部位未采取保护措施时严禁开挖深沟（槽）、基坑和钻孔、堆载或抽取地下水等。在隧道、桥梁、铁路、堤防、电力线路、燃气管道等设施的安全保护区（控制范围线）内的工程，在施工前，施工方案应征得相关管理部门的许可。

13.1.4 软土场区内重载施工道路紧邻采用天然地基的建筑物时，应对建筑物采取保护措施。

13.1.5 选择合理的施工次序，对荷载差异较大的建（构）筑物，宜先建重、高部分；对基础埋深不同

的建（构）筑物，宜先深后浅。

13.1.6 采取信息化施工，对影响范围内建筑物、地下管线、道路的沉降和位移等进行监测，根据监测资料进行分析，指导施工；施工对环境的影响较大的，应采取措施减少工程施工对周围环境的影响。

13.1.7 施工过程中如发现勘察资料与现场有明显不符，或出现明显的异常现象时，应及时研究解决，或补充勘察。

13.1.8 防控区内市政与建筑工程的施工组织设计和施工方案中应包含地面沉降防控专项施工技术措施和应急预案；基坑工程尚应包括专项环境保护措施、监控措施等内容；严格落实规定的各项地面沉降防控技术措施；确定后的施工组织设计和施工方案不得擅自更改。

13.2 土方开挖

13.2.1 土方开挖前应制定详细的施工方案，包括土方开挖顺序、设备选择、道路设置、施工进度计划、降排水措施及季节性（冬期、雨期、汛期等）施工措施、支护方案、监测方案、应急措施、安全文明施工措施等内容。

13.2.2 支护结构施工质量检查验收合格后方可进行基坑土方开挖。

13.2.3 土方开挖的顺序、方法必须与设计工况相一致，并遵循分区、分段、分层开挖的原则，有支护体系的基坑应先撑后挖、严禁超挖。

13.2.4 土方开挖应均衡分层进行，高差不宜过大，一般性土高差不超过2m，软土高差不应超过1m。

13.2.5 坡顶及放坡平台的超载不得超过设计值，土方随挖随运。对于软土基坑，严禁坑内转土堆载，挖出的土方不得堆置在基坑坡顶附近；利用基坑周边空地作为堆土场的，应进行地基稳定性验算。

13.2.6 采用机械挖土时，宜采用小型机械施工，基底以上300mm范围内的土方应采用人工开挖方式。工程桩为管桩时，桩顶以上1m内的土方应采用人工开挖与小型挖土机械相配合的方法施工；当桩顶高低不齐时，应采用人工逐批开挖出桩头，分层开挖、分层截桩，截桩后再进行开挖。基坑开挖至设计标高应在验槽后及时进行垫层施工。

13.2.7 基坑底部为软土时，应对工程桩采取有效的保护措施；工程桩为预制桩、CFG桩时，宜对坑内土方运转车道进行加固处理。

13.2.8 土方开挖前应做好场地的防排水措施，基坑开挖过程中根据基坑特点在合适位置设置临时明沟及集水井进行排水，明沟及集水井与坑边距离不宜小于0.5m，坡脚为软土时应采取加强支护措施减少集水井施工对侧壁稳定性的影响；基坑开挖结束后，可通过设置明沟、盲沟、集水井等措施做好排水，确保基坑底的地基土不受水浸泡。

13.2.9 工程桩为管桩时，土方开挖应在沉桩全部完成15天后进行。

13.2.10 基坑回填前应排除积水，清除含水率较高的浮土和建筑垃圾。填土应按设计要求取料，分层铺土、分层夯实，对称进行，分层厚度一般不宜超过300mm，压实系数应满足设计要求。

13.2.11 雨期施工时，应有保证基础工程质量和安全的措施，可适当放缓边坡或采取护坡措施，控制工作面不宜过大，逐段、逐片分期施工。

13.2.12 冬期施工时，开挖后应采取防止基底土受冻；如遇受冻现象，则应将受冻的土层全部挖除或采取其他有效措施。

13.2.13 土方开挖应采取信息化施工，做好基坑监测，自基坑边缘以外3倍~5倍基坑开挖深度范围内的建（构）物应纳入监测范围，深厚软土地场的监测范围宜适当扩大。

13.3 预制桩施工

13.3.1 本节适用于预制方桩和预制管桩的施工。沉桩方法宜根据场地条件及周边环境选用锤击法、静压法、振动法或植入法。

13.3.2 在深厚软土地场且基础埋深较大时，选用预制桩应经过技术经济比较，确定其适用性。

13.3.3 沉桩场地存在深厚软土且周边存在对挤土效应敏感的地下管网或建（构）筑物时，应采取开挖缓冲沟、引孔或其它消除挤土效应的施工措施。

13.3.4 有围护结构的基坑，应先施工工程桩，后施工围护结构。

13.3.5 软土地区施打大面积密集群桩时，应设置袋装砂井或塑料排水板：袋装砂井直径宜为70mm~80mm，间距宜为1.0m~1.5m，深度宜为10m~12m；塑料排水板的深度、间距与袋装砂井相同。

13.3.6 预制桩堆放场地应平整、坚实，排水条件良好，地基承载力符合堆桩要求。堆放时应采取支垫措施，支垫材料宜选用长方木或枕木，支点间距设置应合理、不得选用有棱角的金属构件。管桩应按不同规格、长度及施工流水顺序分类堆放。

13.3.7 预制桩沉桩前，应处理高空和地下的障碍物。

13.3.8 沉桩施工场地的地面应平整，表层土承载能力应满足桩机稳定的要求，使用静压桩机时表层土承载力特征值不宜小于100kPa，当桩机重量大于4000kN时表层土承载力特征值不宜小于120kPa，否则采用碎石或建筑渣土进行回填并碾压密实后方可施工。

13.3.9 桩锤应根据工程地质条件、桩的类型、密集程度、单桩竖向承力及施工条件等合理选用，并应遵循重锤低击的原则。

13.3.10 沉桩应符合下列求：

1 预制方桩和预应力管桩达到设计强度的100%方可沉桩；对桩长较长或总锤击超过500击的预制方桩，除应达到设计强度外，尚应满足28d的龄期要求；

2 不宜在桩端进入砂土层时停顿或接桩；

3 按先深后浅、先大后小、先长后短、先密后疏的原则，并可选择下列施工顺序：

1) 自中间分开向两个方向对称进行；

2) 自中间向四周进行；

3) 由一侧向单一方向进行。

4 根据桩的类型设置好桩垫，并及时更换桩垫以保证桩头完整；

5 预桩接头接完毕，冷却后方可继续沉桩；

6 控制沉桩速率，沉桩速率不宜大于2m/min，软土地层沉桩速率不宜大于1m/min；

7 考虑桩机行走及工作时桩机重量对邻近桩的影响，并采取相应的措施。

13.3.11 电焊接桩应符合下列要求：

1 焊接件表面保持清洁干净；

2 预制方桩上下两节之间出现的间隙，采用楔形铁片填平焊实；

3 预应力管桩采用多层焊，每层焊缝接头应错开，并应采取减少焊接变形措施；

4 雨天焊接时，应采取防雨措施；

5 焊接自然冷却后方可继续沉桩，混凝土预制桩焊接完毕后自然冷却时间：采用锤击沉桩时不宜少于8min，采用静压沉桩时不宜少于6min，采用二氧化碳气体保护焊时不宜少于3min。

11.3.12 沉桩记录应包括每米锤击数、最后贯入度、总锤击数、入土深度等。

11.3.13 锤击桩停打标准应符合下列条件：

1 当桩端位于一般土层时，以控制桩端设计标高为主，贯入度为辅；

2 桩端达到坚硬、硬塑的黏性土、中密以上粉土、砂土、碎石类土及风化岩时，以贯入度控制为主，桩端标高为辅；

3 贯入度已达到设计要求而桩端标高未达到时，继续锤击3阵，并按每阵10击的贯入度不应大于设计要求的数值确认，必要时，施工控制贯入度通过试验确定。

13.3.14 静压桩终压条件应符合下列规定：

1 根据现场试压桩的试验结果确定终压力标准；

2 终压连续复压次数根据桩长及地质条件等因素确定。对于入土深度大于或等于8m的桩，复压次数可为2次~3次；对于入土深度小于8m的桩，复压次数可为3次~5次；

3 稳压压桩力不得小于终压力，稳定压桩的时间宜为5s~10s。

13.4 钻孔灌注桩施工

13.4.1 施工前应编制有针对性的施工方案，合理确定打桩顺序和技术措施。

13.4.2 遇重大工程或特殊复杂地层施工前应进行成桩工艺试验，且不应少于2个。

13.4.3 灌注桩施工应符合《钻孔灌注桩施工技术规范》DB42/T831的规定，各工序应连续施工并做好记录。

13.4.4 灌注排桩桩位邻近既有建筑物、地下管线、地下构筑物时，不应采用冲击成孔施工工艺。

13.4.5 灌注桩成孔直径必须达到设计桩径，且钻头直径不得小于设计桩径。软土层较厚时，可采取以下措施：

1 在软土层采用护筒；

2 钻头直径宜大于设计桩径50mm；

3 软土层中采用低档、慢速均匀钻进，特别在护筒出口处避免失稳和渗漏。在地层变层处控制钻速和钻压，以防孔斜；对易缩颈土层，加大泥浆的泵量，减小钻头的转速并配合必要的复钻等。在钻进过程中，可边钻进边投入适当粒径的片石；如地下水位变化过大，应采取升高护筒、增大水头或用虹吸管连接等措施；

4 选择恰当的施工顺序并控制相邻桩施工间隔时间，在软土压应力消失之前，使新开的桩孔位于软土压应力影响范围之外，以避免混凝土灌注桩施工过程中产生的软土压力对邻近桩孔或桩产生挤压、缩颈等影响。刚完成混凝土浇筑的桩与邻桩成孔安全距离不应小于4倍桩径，或间隔时间不应少于48h。必要时可先进行孔壁加固后进行钻孔灌注桩施工。混凝土灌注完成后立即割除吊筋，防止桩机或挖掘机意外刮蹭对刚浇筑完成的混凝土灌注桩造成影响。

5 根据软土地基钻孔灌注桩的特点，严格控制首次清孔，适当延长首次清孔时间。清孔后泥浆比重控制在1.1左右，泥浆取样选在距孔底200mm~500mm处。

6 严格控制导管的埋深和拔管的速度，保证深浅适当，定期测量检查混凝土浇灌的深度，避免出现导管拔空现象。

7 旋挖施工应控制钻杆提升速度，以免在软土层提升过快而造成钻头下方形成真空、产生负压，使桩孔缩颈。

13.5 地下连续墙施工

13.5.1 一般规定

1 施工前，施工单位应组织相关人员参与图纸会审，编制施工组织设计、施工方案，并按相关程序审批后执行；

2 施工前宜先进行成槽试验，确定适宜的施工机械、泥浆配比和施工工艺等；

3 成槽设备应根据地下连续墙的厚度、深度、单元槽段宽度和地质条件等因素选择；

4 工程主要原材料、半成品、构（配）件等产品进入施工现场时必须检验合格后方可使用；

5 地下连续墙施工前应对岩溶发育地层或软弱土层等进行必要的预处理；

6 地下连续墙邻近既有建筑物、地下管线、地下构筑物时，应采取设置搅拌桩帷幕等隔离措施减少对环境的影响。

13.5.2 导墙设计与施工应满足下列要求：

1 导墙采用现浇钢筋混凝土结构，混凝土强度等级不应低于C20，厚度不应小于200mm，埋深宜为1.5m~2.0m，导墙顶面宜高出出现况地面100mm。导墙内墙面应垂直，内墙面净距大于地下连续墙设计厚度40mm~60mm；

2 导墙混凝土强度达到设计强度的75%后方可拆模，拆模后的导墙应加设对撑。导墙外侧土应用黏性土夯填密实；

3 导墙设置在密实的原状土层中，施工中如遇障碍物、软土或填土等不良地层时，宜进行换填、土体加固或采用深导墙。

13.5.3 护壁泥浆应符合下列规定：

1 具有良好的物理性能、流变性能、稳定性能和抗水泥污染性能，保证连续墙施工中槽壁的稳定性和使用前进行配比试验；

- 2 施工过程中控制泥浆比重、黏度、含砂率、胶体率等指标，定时观测，防止槽壁失稳；
- 3 泥浆储存量不宜低于成槽开挖土方体积的2倍。在易发生渗漏的地层成槽时，宜增加泥浆的储存量、提高黏度；
- 4 施工泥浆的循环使用：经分离、净化处理后，根据施工实际情况补充膨润土、黏性土或其他处理剂等材料进行调制，经试验合格后使用。

13.5.4 成槽施工应符合下列规定：

- 1 单元槽段长度根据地质条件、结构要求、周围环境、成槽设备、施工条件确定，长度宜为4m~6m。单元槽段宜进行间隔一个或多个槽段的跳幅施工；
- 2 地下连续墙的转角处严禁设置槽段接头；
- 3 位于深厚软土区、松散砂性土中的槽段或邻近建筑物保护要求较高时，宜事先对槽壁进行加固；
- 4 成槽采用泥浆护壁，泥浆面宜高于地下水位以上1m及导墙底面以上0.5m；发现泥浆漏失应及时补浆，采取措施改善泥浆性能，控制泥浆漏失，保持泥浆液面高度；
- 5 成槽完成后，及时对相邻单元槽段接头进行刷槽，刷槽应刷至槽底，将接头混凝土表面附着的泥砂等杂物清除干净；
- 6 清槽宜分阶段进行：第一次清槽在槽段开挖完成后静置30min~60min后进行，宜采用成槽机清除槽底泥砂，清槽深度不小于成槽深度，并进行泥浆置换；第二次清槽宜在钢筋笼安装完成后进行，宜采取泵吸法或气举法。

13.5.5 地下连续墙槽段接头施工应符合下列规定：

- 1 地下连续墙各单元槽段之间的接头可采用接头管（箱）接头，亦可采用工字钢接头、十字钢板接头、橡胶接头、预制混凝土接头、套铣接头等形式；
- 2 连续墙接头构造满足传力和防水要求；
- 3 宜尽量减少地下连续墙接头数量；
- 4 对于“T”型和“L”型幅段等特殊槽段，接头位置考虑成槽设备尺寸、场地条件；
- 5 地下连续墙接头止水处理措施符合设计要求。

13.5.6 钢筋笼制作吊放应符合下列规定：

- 1 钢筋笼加工场地和制作平台应平整，分节制作的钢筋笼在同期制作时应试拼装，采用焊接或机械连接，主筋接头搭接长度满足设计要求；
- 2 钢筋笼内预留纵向混凝土灌注导管位置，并上下贯通；
- 3 钢筋笼设置桁架、剪刀撑等加强整体刚度、防止变形的构造钢筋；
- 4 钢筋笼在清槽后及时吊放，吊放时对准槽段中心线缓慢沉入，不得强行入槽；
- 5 控制混凝土灌注速度，避免钢筋笼上浮。

13.5.7 地下连续墙水下混凝土灌注应符合下列规定：

- 1 水下混凝土配置强度等级先进行试验，混凝土强度比设计墙身强度提高一级进行配制，初凝时间满足浇筑要求；
- 2 混凝土采用导管法连续浇筑，导管水平布置距离不应大于3m，距槽幅两端不应大于1.5m，导管下端距离槽底宜为300mm~500mm。导管内放置隔水栓；
- 3 钢筋笼吊放就位后及时灌注混凝土，间隔不宜超过4h。混凝土浇筑均匀连续，间隔时间不宜超过30min；
- 4 槽内混凝土面上升速度宜控制在3m/h~5m/h，导管插入混凝土内的深度为2m~4m，相邻导管间混凝土高差小于0.5m；
- 5 混凝土浇筑面宜高出设计标高300mm~500mm。

13.5.8 当地下连续墙兼做地下室外墙时，宜采用槽底注浆。槽底注浆应符合下列规定：

- 1 槽底注浆在墙体混凝土达到设计强度80%后方可进行。注浆施工前进行试注浆，确定浆液配比、注浆压力、流量及注浆量等参数；

2 注浆管采用钢管，单幅槽段注浆管数量不应少于2根。注浆管下段应伸至槽底200mm~500mm。注浆管随钢筋笼安放到位后管内注满清水。

13.5.9 地下连续墙的质量检测应符合下列规定：

1 地下连续墙槽段开挖、泥浆配置、钢筋笼制作及吊装、浇灌混凝土等符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204和《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的有关规定，质量检验标准符合《基坑工程技术规程》DB42/T159等有关规定；

2 地下连续墙施工完成后采用抽芯或超声波等进行墙体完整性和墙底沉渣厚度等内容的检测。检测后的抽芯或预埋的管道孔位采用水泥浆灌注密实。

13.5.10 地下连续墙施工资料除应满足相关要求外，尚应包括下列内容：

- 1 成槽施工记录；
- 2 钢筋笼验收记录；
- 3 接头安放记录；
- 4 验槽记录；
- 5 水下混凝土灌注记录；
- 6 预制地下连续墙装配记录。

13.6 市政工程施工

13.6.1 各类市政工程施工，应合理安排各不同专业、不同分部分项的施工顺序，施工质量满足相应设计及施工规范、规定等要求。

13.6.2 道路工程施工

13.6.2.1 路基范围内地质条件与岩土工程勘察报告出现较大差异时，应进行施工勘察，必要时应变更设计，并制定专项施工方案。

13.6.2.2 道路地基、横穿道路的涵洞、箱涵或通道处的路堤等部位采用级配砂石料回填时应采取防止砂石料流失的措施。

13.6.2.3 采用水泥土搅拌桩、旋喷桩、素混凝土桩、管桩等进行路基处理时，应结合岩土工程勘察报告和设计要求，提出保证桩端进入设计要求土层的具体技术措施。

13.6.2.4 水泥土搅拌桩施工前应进行配合比和工艺试验确定各项施工工艺参数，施工中严格计量水泥用量，按设计要求进行复搅（喷），提钻速度应不大于0.9m/min。

13.6.2.5 素混凝土桩采用长螺旋钻孔压灌方式成桩时，在正式施工前应进行工艺试验确定合理的施工工艺参数；施工时应间隔施工，在泵压混凝土过程中，钻具提升速度要与泵压值、泵送混凝土量相结合。

13.6.2.6 路堤填土按设计要求分层填筑，控制填土速率，并对路基坡脚处土体变形进行监测。

13.6.2.7 采取完善的施工截水、排水措施，场地不得积水。

13.6.3 排水工程施工

13.6.3.1 沟槽开挖施工应符合下列要求：

- 1 根据支护设计方案编制专项施工方案，施工过程中沟槽侧壁应稳定，槽底不得隆起；
- 2 沟槽周边严禁超载；
- 3 沟槽较长时分段开挖，及时铺设管线并回填。

13.6.3.2 沟槽回填应符合下列要求：

- 1 沟槽内砖、石、木块等杂物清理干净，沟槽内不得有积水；
- 2 沟槽两侧对称回填；
- 3 井室周围的回填与管道沟槽回填同时进行；不便同时进行，预留台阶形接茬；
- 4 井室回填沿其中心线对称进行，且不得漏压（夯）；
- 5 不得在槽壁取土回填。

13.6.4 隧道工程施工

13.6.4.1 隧道工程采用暗挖法施工时，施工方案应进行专项论证。

- 13.6.4.2 暗挖法施工应严格遵照“管超前、严注浆、短进尺、强支护、早封闭、勤量测”十八字方针。
- 13.6.4.3 施工前应调查隧道施工影响范围内的管线分布及类型，并采取针对性地防护措施。地下水丰富、地下管线分布复杂时，应改迁高危管线后方可进行暗挖法施工。
- 13.6.4.4 暗挖法隧道施工应符合下列要求：
- 1 隧道开挖前制定防坍塌方案，备好抢险物资，并在现场堆码整齐。一旦发现掌子面不稳定，立即采用回填反压等有效措施；
 - 2 施工过程中尽量减少超挖，超挖部分必须用与初期支护等强度的混凝土回填密实；
 - 3 遇有突涌、侧壁砂土流失时，优先采取回填反压措施。
- 13.6.4.5 盾构隧道应根据地质条件合理控制掘进速度，并严格进行同步注浆和二次注浆。
- 13.6.4.6 盾构法施工必须建立施工量测和监控量测系统，发现问题及时解决。
- 13.6.4.7 盾构接收应符合下列要求：
- 1 盾构始发及接收施工方案通过专项论证；
 - 2 加强盾构进出洞的相关检测及探测工作；
 - 3 盾构到达接收井10m内，控制盾构推进速度、土仓压力等参数；
 - 4 盾构主机进入接收工作井后，及时密封管片与洞门间隙。
- 13.6.5 采用拖拉管、顶管施工时，设计及施工应采取保护周边环境措施。

14 检验与监测

14.1 一般规定

- 14.1.1 检验与监测应满足现行国家、行业及地方相关标准、规范、规程和法令性文件要求。
- 14.1.2 工程检验对象包括天然地基、地基处理、桩基、地下连续墙等，应为基础与地下工程施工工艺及质量提供数据支持。
- 14.1.3 工程监测对象包括天然地基、地基处理、基坑、桩基、隧洞、边坡等，应为施工及运营期的基础与地下工程关键部位、周边环境及建（构）筑物等的状态和影响提供判断依据。
- 14.1.4 检验与监测工作应严格在计量管理制度框架下进行。检验人员、设备应满足计量管理要求；其所需仪器设备和元件应满足检验与监测精度要求，并符合稳定性和耐久性使用的要求；传感器件在埋设前应进行标定，观测仪器使用前应校验或校准，计量器具应在检定有效期内使用。
- 14.1.5 检验与监测步骤、记录格式和数据整理与计算应符合相关标准、规范、规程的要求。检验与监测宜采用数字化记录连续采样。

14.2 检验

14.2.1 基槽(坑)开挖到底后，应进行基槽(坑)检验。

- 1 天然地基验槽应检验下列内容：
 - 1) 根据勘察、设计文件核对基坑的位置、平面尺寸、坑底标高；
 - 2) 根据勘察报告核对基坑底、坑边岩土体和地下水情况；
 - 3) 检查空穴、古墓、古井、暗沟、防空掩体及地下埋设物的情况，并应查明其位置、深度和性状；
 - 4) 检查基坑底土质的扰动情况以及扰动的范围和程度；
 - 5) 检查基坑底土质受到冰冻、干裂、受水冲刷或浸泡等扰动情况，并应查明影响范围和深度；
- 2 检验方法：
 - 1) 根据现场情况、设计要求，按照验收规范、标准选择适宜的检验方法；
 - 2) 直接观察验槽时，可用袖珍式贯入仪或其他手段作为验槽辅助；
 - 3) 对沉降敏感的重要管道等轻型建（构）筑物，当持力层为软土时，可采用静力触探检验；

- 3 遇下列情况之一时，可不进行轻型动力触探：
- 1) 承压水头可能高于基坑底面标高，触探可造成冒水涌砂时；
 - 2) 基础持力层为砾石层或卵石层，且基底以下砾石层或卵石层厚度大于1m时；
 - 3) 基础持力层为均匀、密实砂层，且基底以下厚度大于1.5m时；
- 4 当根据轻型动力触探检验数据初步判定的地基承载力与勘察报告建议值差距较大时，应分析原因，采取静力触探试验、载荷板试验等方法进一步检验验证。
- 14.2.2 处理地基工程施工验收检验，应符合下列规定：
- 1 换填垫层地基分层进行密实度检验，在施工结束后进行承载力检验；
 - 2 高填方地基分层填筑、分层压（夯）实、分层检验，且处理后的高填方地基满足密实和稳定性要求；
 - 3 预压地基进行承载力检验。预压地基排水竖井处理深度范围内和竖井底面以下受压土层，经预压所完成的竖向变形和平均固结度应进行检验；
 - 4 压实、夯实地基进行承载力、密实度及处理深度范围内均匀性检验。压实地基的施工质量检验分层进行。强夯置换地基施工质量检验查明置换墩的着底情况、密度随深度的变化情况；
 - 5 对散体材料复合地基增强体进行密实度检验；对有粘结强度复合地基增强体进行强度及桩身完整性检验；
 - 6 复合地基承载力的验收检验采用复合地基静载荷试验，对有粘结强度的复合地基增强体尚应进行单桩静载荷试验；施工工艺对桩间土承载力有影响时尚应进行桩间土承载力检验；
 - 7 注浆加固处理后地基的承载力进行静载荷试验检验。
- 14.2.3 完整性检验宜采用两种或多种合适的检验方法进行。
- 14.2.4 对采用不同手段的检验结果应进行相互校准。同一检验批的抽检位置应均匀分布。
- 14.2.5 当检测结果不满足设计要求时，应查明原因，必要时应采用原检测方法或准确度更高的检测方法按不满足设计要求的检测点数量加倍扩大抽检。
- 14.2.6 检验方法（手段）及适用条件应符合表32的规定。浅层平板载荷试验符合附录D要求，深层平板载荷试验符合附录E要求，竖向增强体静载荷试验符合附录F要求。

表 32 检验方法（手段）及适用条件表

检测对象	静载荷试验			室内 试验 环刀 取样	标准 贯入 N	圆锥动力 触探		静力 触探	十字 板	扁铲 侧胀	钻芯 法	低应 变	多道 瞬态 面波	声波 透射 法 (电磁 波法)
	浅层 平板	深层 载 荷试 验	竖向 增强 体			N ₁₀	N _{63.5} 或N ₁₂₀							
天然地基	√	√	√	√	√	⊙		√	√	√	√			
换填 垫层	黏性土	√		√	√	⊙		√	√		√			
	碎石	√		√		⊙	√				√			
预压（排水） 固结	√	√		√	√	⊙	⊙	√	√		√			
压实（夯实） 地基	√	√		√	√	⊙	√				√			
水泥土搅拌桩 （旋喷桩）	√		√	√	●	●	●				√	⊙		
桩网复合地基	√		√	√							√	⊙		⊙
桩基			√	√							√	⊙		⊙

支护结构				√							√	⊙		⊙
地下连续墙 (等厚度水泥土墙)				√							√	⊙	⊙	⊙
边坡(岸堤)工程				√	√	⊙	⊙	√	√					

注：1 √ 适合；⊙ 仅可对均匀性（完整性）进行评价；● 仅可对初凝状态的均匀性进行评价；

2 M_{60} 适合于碎石含量不大于20%且无粒径大于20mm的地层中使用； $M_{63.5}$ 和 M_{20} 适合于以碎石土为主的地层中使用；静力触探试验用于地基处理地基检测时，适合于以黏性土为主地层中使用；

3 桩基及竖向增强体应进行桩位偏差检验；

4 对于预制桩、地下连续墙（等厚度水泥土墙）等垂直度要求较高的地下结构物，应进行垂直度检验；

5 对于用于防渗漏的地下结构物，应进行渗透性和连通性检验。

14.3 监测

14.3.1 项目监测前应根据周边环境、工程特点及设计要求编制监测方案，监测频率及预（报）警值确定应满足相关规范及设计要求；当设计或施工方案有重大变更时，监测单位应及时与相关单位研究调整监测方案。

14.3.2 监测基准应建立在稳定且不易毁坏的区域；监测工作站应进行定期校核。

14.3.3 监测点布置、监测周期和频次应满足相关标准、规范、规程和设计的要求。

14.3.4 监测信息应准确、及时。监测结果异常时应分析原因及时上报，并采取针对性措施；监测宜采用自动化全天候数据采集及传输系统。

14.3.5 监测项目及其适用条件应符合表33的规定。

表 33 监测项目及其适用条件表

监测对象	影响范围内的地下管线变形	影响范围内建筑物倾斜	裂缝观测	沉降		隆起	孔隙水压力	测斜	地下水位	内力监测	锚杆拉力	振动	粉尘	噪声	土压力	防渗漏	管片结构压力
				地面	分层												
天然地基	√	√	√	√													
既有建筑物维护、改造、加固	√	√	√	√				√					○	○			
软土地基路基	√	√		√	√		√	○	○				○	○	√		
地基处理	预压固结	√	√	√	√	○	√		√								
	夯实	√	√	√	√		√	√				√		○			
	高压旋喷桩	√	√	√	√		√	√									
	深层搅拌桩	√	√	√	√		○	○					○	○			
	桩网复合	√	√	√	√		○	○				○	○	○			
沉桩	预制桩	√	√	√	√		√	√	√			√		√	○		

钻孔桩	√	√		√											○			
基坑支护	√	√	√	√	○	○		√	√	√	√	○	○	○	○	○		
降水工程	√	√	√	√					√									
止水帷幕	√	√	√	√			○	√	√	○		○	○	○	○	○	√	
地下连续墙	√	√	√	√			○	√	√	√		○		○	○	○	√	
隧洞	√	√	√	√	○	√	○		√	○		○			○	○	○	
边坡工程	√	√	√	√			√	√	√	√	√			○	○			

注：1 √ 应进行监测； ○ 可进行监测；

- 2 内力监测包括：支护桩（墙）内力、支撑轴力、冠梁及围檩内力、立柱内力等；
- 3 测斜包括：结构自身和周边土体测斜；
- 4 裂缝观测包括：范围内的既有建筑物裂缝和周边土体裂缝；
- 5 止水帷幕包括：等厚度水泥土墙、深层搅拌桩、高压旋喷桩等；
- 6 隧道施工包括：矿山法、盾构法、顶管法、冷冻法等施工工艺；
- 7 边坡工程包括：岩（土）体边坡、人工边坡、岸堤、路堤等。



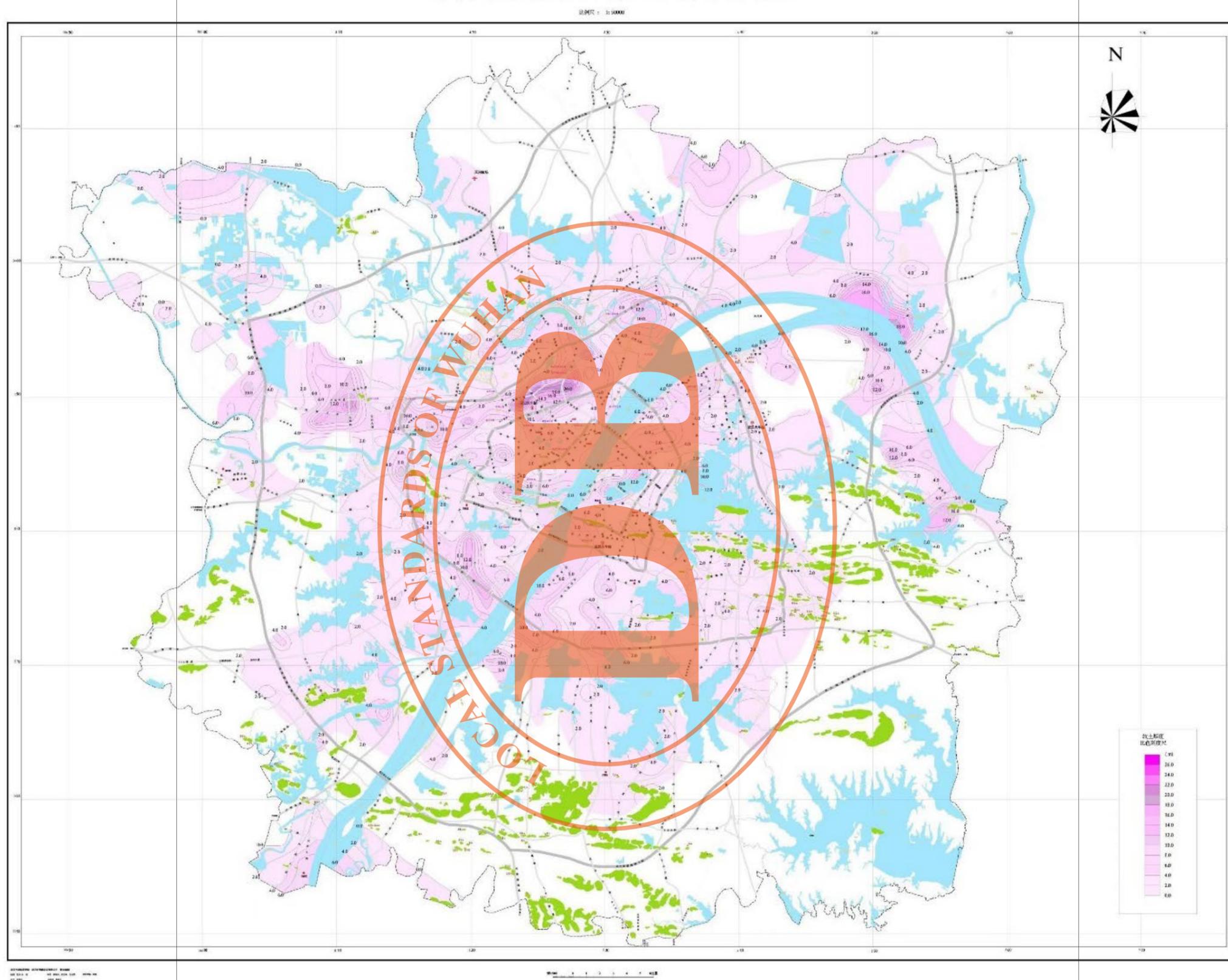


图 A.2 武汉市软土厚度等值线图

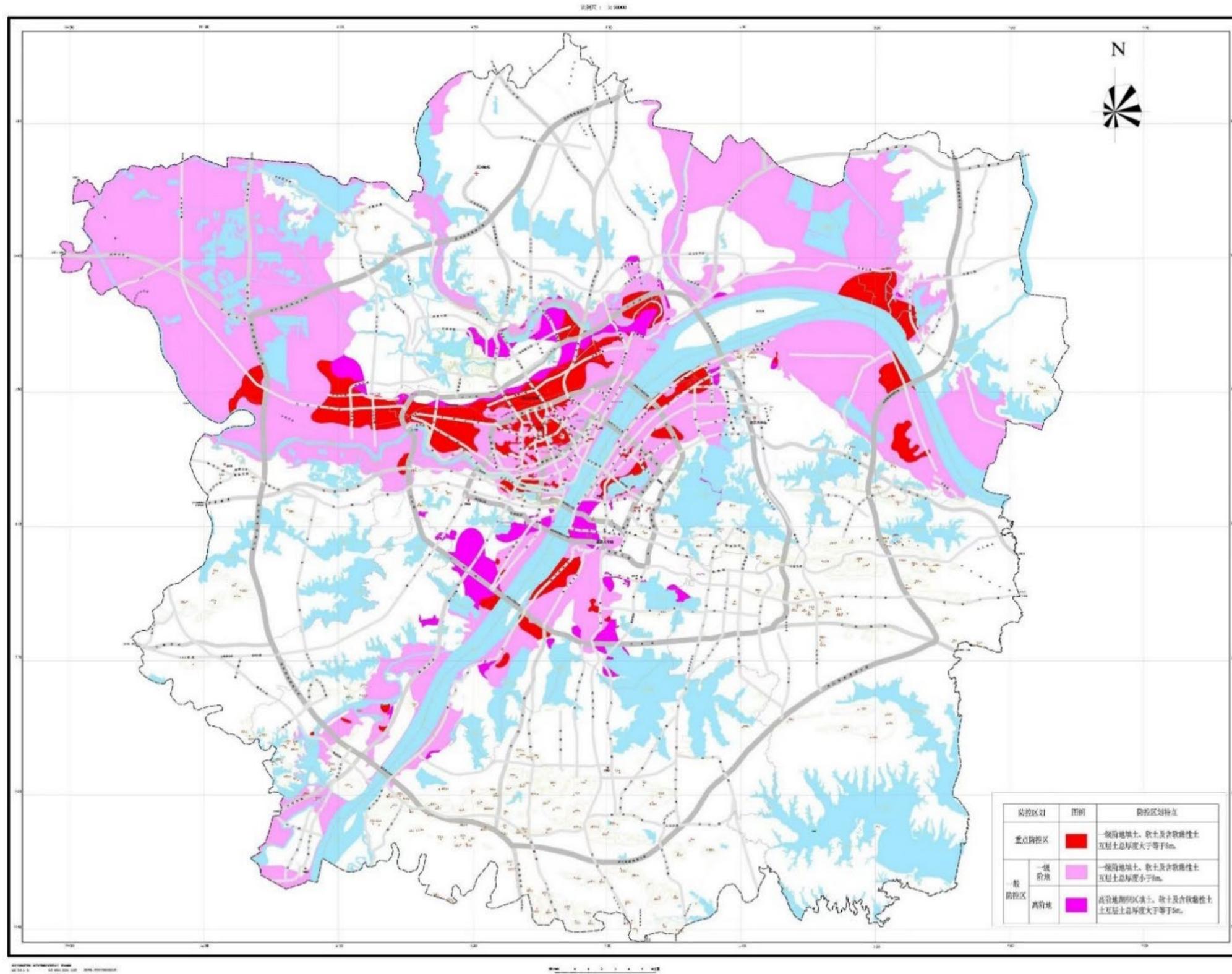


图 A.3 武汉市地面沉降防控区划图

附 录 B
(资料性)
软土物理力学性质指标统计表

武汉市软土物理力学性质指标统计见表B.1~B3。

表 B.1 武汉市（汉口）淤泥、淤泥质土主要物理、力学指标统计值

指标		w (%)	γ (kN/m ³)	e	w _L (%)	I _p	I _L	c (kPa)	Φ (°)	a ₁₋₂ (MPa ⁻¹)	E _{s1-2} (MPa)
淤泥、淤泥质土（上层）	最大值	68.0	18.6	1.46	62	29	1.50	22	19	1.33	3.61
	最小值	33.4	16.9	0.95	33	12	0.75	4	6	0.36	1.29
	平均值	42.2	17.8	1.20	38	20	1.05	11	13	0.70	2.88
淤泥、淤泥质土（下层）	最大值	65.0	18.6	1.45	61	27	1.45	24	20	1.26	3.98
	最小值	34.0	16.8	0.97	33	11	0.68	4	7	0.38	1.80
	平均值	40.5	17.8	1.16	39	18	1.02	11	14	0.60	2.54

注：1 汉口软土数据引自《武汉市建筑软弱地基基础设计规定》WBJ1-1-92（试行）附录一。
2 上层软土指埋藏在表层人工填土以下的淤泥、淤泥质土，其下卧层为砂土，软土厚度一般为1.5m~11.0m；下层软土是指埋藏在地表较好土层以下的淤泥、淤泥质土，其下卧层为粉土与砂土互层或砂土，软土厚度一般为2.0m~6.5m。

表 B.2 武汉市（四新）淤泥、淤泥质土主要物理、力学指标统计值

指标		w (%)	γ (kN/m ³)	e	w _L (%)	I _p	I _L	a ₁₋₂ (MPa ⁻¹)	E _{s1-2} (MPa)	p _s (MPa)	有机质含量 (%)
淤泥、淤泥质土（上层）	最大值	119.3	18.7	3.826	85.4	42.4	3.66	3.59	4.1	0.50	8.0
	最小值	42.7	13.7	1.520	33.5	15.3	1.05	0.44	0.7	0.10	0.7
	平均值	66.7	15.9	1.845	58.3	28.4	1.32	1.59	2.0	0.29	5.3
淤泥、淤泥质土（下层）	最大值	75.0	19.0	2.081	77.1	44.6	1.71	2.25	4.9	0.70	8.0
	最小值	30.3	14.1	1.004	30.7	10.4	0.98	0.31	1.3	0.29	0.95
	平均值	46.6	17.3	1.284	45.2	21.8	1.06	0.80	3.1	0.51	3.8

表 B.3 武汉市（四新）淤泥、淤泥质土主要力学指标统计值

指标		直快		三轴（UU）		三轴（CU）		无侧限抗压强度(kPa)		十字板剪切试验(kPa)	
		C (kPa)	ϕ (°)	C (kPa)	ϕ (°)	C (kPa)	ϕ (°)	q_u	q_u'	s_u	s_u'
淤泥（上层）	最大值	14	11.8	7	8.5			35.0	15.0	26.2	9.8
	最小值	1	1.0	1	1.0			5.0	1.2	4.6	2.0
	平均值	6.7	3.4	4	4.7			15.3	6.4	14.7	4.7
淤泥质土（下层）	最大值	24	19.4	17	11.0	8	2.5	47.0	18.0	46.9	13.2
	最小值	3	1.2	2	1.2	3	1.3	13.0	4.0	16.1	2.6
	平均值	10.5	6.8	6	4.4	7	2.0	29.7	10.8	28.8	6.4

附 录 C
(资料性)
软土路基沉降计算

C.1 软土路基沉降计算应符合下列规定:

1 主固结沉降 S_c 采用分层总和法计算,计算参数可采用由压缩试验得到的 $e-p$ 曲线、压缩模量 E_s 或 $e-\lg p$ 曲线。

2 软土地基沉降计算至附加应力与有效自重应力之比不大于0.15处。

3 路堤高度小于或等于2.5m、重型车辆较多时,考虑行车动荷载对沉降的影响。

4 天然地基和采取排水固结法处理后地基的总沉降量宜按公式 (C.1)或(C.2)计算:

$$S=S_d+S_c+S_s \quad (C.1)$$

$$\text{或 } S=m_s S_c \quad (C.2)$$

式中:

S ——地基总沉降量(m);

S_d ——瞬时沉降量(m);

S_c ——主固结沉降量(m);

S_s ——次固结沉降量(m);

m_s ——沉降系数,与地基条件、荷载强度、加荷速率等因素有关;其范围值为1.1~1.7,应根据现场沉降监测资料确定,亦可按公式 (C.3)计算:

$$m_s=0.123 \gamma^{0.7} (\theta H^{0.2} + vH) + Y \quad (C.3)$$

式中:

θ ——地基处理类型系数,地基用塑料排水板处理时取0.95~1.1,用粉体搅拌桩处理时取0.85;一般预压时取0.90;

H ——路堤中心高度(m);

γ ——填料重度(kN/m³);

v ——加载速率修正系数,加载速率在20~70mm/d之间时,取0.025;采用分期加载,速率小于20mm/d时取0.005;采用快速加载,速率小于70mm/d时取0.05;

Y ——地质因素修正系数,满足软土层不排水抗剪强度小于25kPa、软土层的厚度大于5m、硬壳层厚度小于2.5m三个条件时, $Y=0$;其他情况下可取 $Y=-0.1$ 。

5 复合地基的总沉降量宜按公式 (C.4)计算:

$$S=m_s (S_1+S_2) \quad (C.4)$$

式中:

S_1 ——加固区沉降量(m);

S_2 ——下卧层沉降量(m);

6 任意时刻地基的沉降量,考虑主固结随时间的变化过程,按公式 (C.5)或(C.6)计算:

$$S_t = (m_s - 1 + U_t) S_c \quad (C.5)$$

$$\text{或 } S_t = S_d + S_c U_t + S_s \quad (C.6)$$

式中:

S_t ——任意时刻 t 是地基的沉降量(m);

U_t —— t 时间的地基平均固结度,天然地基采用太沙基一维固结理论解计算;对砂井、塑料排水板等竖向排水体处理的地基,固结度宜按巴隆给出的太沙基-伦杜立克固结理论轴对称条件固结方程在等应变条件下的解来计算。

C.2 路基工后沉降 S_p 应满足公式(C.7)的要求, S_p 可按公式(C.8)、(C.9)计算。

$$S_p \leq C_d \quad (C.7)$$

$$S_p = S_0 + S_D - S_{cp} \quad (C.8)$$

$$S_D = C * H \quad (C.9)$$

式中：

S_p ——工后沉降（m）；

C_d ——工后沉降限值，按本文件表25取值；

S_0 ——路面结构设计工作年限内地基发生的总沉降（m），按本文件C.1条计算；

S_{cp} ——路基路面施工（预压）期沉降（m），按本文件C.1条计算；

S_D ——路面施工完成后，路面结构工作年限内路堤填料的剩余沉降量（m）；

C ——路堤填料的沉降比，应结合填料、路基填筑完成放置时间、压实设备、压实标准和地区经验综合确定；

H ——路堤高度（m）。

附 录 D
(规范性)
浅层平板载荷试验要点

- D.1 地基土浅层平板载荷试验适用于确定浅部地基土层的承压板下应力主要影响范围内的承载力和变形参数。
- D.2 浅层平板载荷试验承压板面积不应小于 0.5m^2 ；应采用自动加载及测读系统进行试验。
- D.3 试验基坑宽度不应小于承压板宽度或直径的三倍。应保持试验土层的原状结构和天然湿度。宜在拟试压表面用粗砂或中砂层找平，其厚度不应超过 20mm 。
- D.4 基准桩应穿越软弱土层进入中、低压缩性地层。
- D.5 正式试验前应进行预压。预压荷载宜取上覆土自重。预压时间宜不少于 5min 。
- D.6 加荷分级不应少于8级，当不易预估其极限承载力时，每级荷载增量应 $\leq 10\text{kN}$ 。最大加载量不应小于设计要求的两倍。
- D.7 每级加载后，应按第 10min 、 20min 、 30min 、 45min 、 60min 测读沉降量，以后应每隔半小时测读一次沉降量。当在连续 2h 内每小时的沉降量小于 0.1mm 时，则认为已趋稳定，可进行下一级加载。
卸载时，每级荷载维持 1h ，按第 10min 、 30min 、 60min 测读沉降量；卸载至零后，应测读残余沉降量，维持时间 3h ，测读时间应为第 10min 、 30min 、 60min 、 120min 、 180min 。
- D.8 当出现下列情况之一时，即可终止加载：
- 1 承压板周围的土明显地侧向挤出；
 - 2 沉降 s 急剧增大，荷载~沉降（ $p-s$ ）曲线出现陡降段；
 - 3 在某一级荷载下， 24h 内沉降速率不能达到稳定；
 - 4 沉降量与承压板宽度或直径之比大于或等于 0.06 ；
 - 5 累计沉降量大于或等于 150mm 时。
- D.9 当满足第C.0.7条前三款的情况之一时，其对应的前一级荷载为极限荷载。
- D.10 承载力特征值的确定应符合下列规定：
- 1 当 $p-s$ 曲线上有比例界限时，取该比例界限所对应的荷载值；
 - 2 当极限荷载小于对应比例界限的荷载值的2倍时，取极限荷载值的一半；
 - 3 当不能按上述三款要求确定时，可取 $s/b=0.015$ 所对应的荷载，但其值不应大于最大加载量的一半。
- D.11 同一土层参加统计的试验点不应少于3点，各试验实测值的极差不得超过其平均值的30%，取此平均值作为该土层的地基承载力特征值（ f_{ak} ）。当极差不满足要求时，应查明原因，必要时重新划分地基统计单元进行评价。

附 录 E
(规范性)
深层平板载荷试验要点

- E.1 深层平板载荷试验适用于确定深部地基土层及大直径桩桩端土层在承压板下应力主要影响范围内的承载力和变形参数。
- E.2 深层平板载荷试验的承压板采用直径为0.8m的刚性板,紧靠承压板周围外侧的土层高度应不少于0.8m;应采用自动加载及测读系统进行试验。
- E.3 基准桩应穿越软弱土层进入中、低压缩性地层。
- E.4 加荷等级可按预估极限承载力的1/10~1/15分级施加,当不易预估其极限承载力时,每级荷载增量应 $\leq 10\text{kN}$ 。
- E.5 每级加载后,应按第10min、20min、30min、45min、60min测读沉降量,以后应每隔半小时测读一次沉降量。当在连续2h内每小时的沉降量小于0.1mm时,则认为已趋稳定,可进行下一级加载。
卸载时,每级荷载维持1h,按第10min、30min、60min测读沉降量;卸载至零后,应测读残余沉降量,维持时间3h,测读时间应为第10min、30min、60min、120min、180min。
- E.6 当出现下列情况之一时,可终止加载:
- 1 沉降急剧增大,荷载~沉降($p-s$)曲线上有可判定极限承载力的陡降段,且沉降量超过 $0.04d$ (d 为承压板直径);
 - 2 在某级荷载下,24h内沉降速率不能达到稳定;
 - 3 本级沉降量大于前一级沉降量的5倍;
 - 4 最大加载量不小于设计要求的2倍。
- E.7 承载力特征值的确定应符合下列规定:
- 1 当 $p-s$ 曲线上有比例界限时,取该比例界限所对应的荷载值;
 - 2 满足终止加载条件前三款的条件之一时,其对应的前一级荷载定为极限荷载,当该值小于对应比例界限的荷载值的2倍时,取极限荷载值的一半;
 - 3 不能按上述二款要求确定时,可取 $s/d=0.015$ 所对应的荷载值,但其值不应大于最大加载量的一半。
- E.8 同一土层参加统计的试验点不应少于3点。当试验实测值的极差不超过平均值的30%时,取此平均值作为该土层的地基承载力特征值 f_{ak} 。当极差不满足要求时,应查明原因,必要时重新划分地基统计单元进行评价。

附录 F

(规范性)

竖向增强体静载荷试验要点

F.1 本试验要点适用于单桩(墩)竖向抗压载荷试验、复合地基(地基处理)中竖向增强体抗压载荷试验。

F.2 进行竖向抗压载荷试验前应对试验对象桩头进行处理,并用小于20mm中粗砂找平;试验前宜采用合适的检测方法对试验对象施工质量进行检验,并根据检验结果确定竖向抗压载荷试验点。

F.3 试验对象、压重平台支墩边(或锚桩)和基准桩之间的中心距应符合下表要求:

表 F.1 试验对象、压重平台支墩边(或锚桩)和基准桩之间的中心距

试验对象中心与压重平台支墩边(或锚桩)	试验对象中心与基准桩中心	基准桩中心与压重平台支墩边(或锚桩)
$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$

注: D——增强体直径(m)。

F.4 基准桩应穿越软弱土层进入中、低压缩性地层。竖向桩(墩)顶面标高应与设计标高相适应。

F.5 采用压重平台反力装置时应在试验前一次均匀堆载完毕。

F.6 最大试验荷载宜按预估的极限承载力且不小于设计承载力特征值的2倍;当桩侧存在欠固结土层时,在确定终止试验最大值时,应考虑欠固结土层的负摩擦作用;在检测数据分析与判定时,其最终试验结果应在实测试验结果基础上减去欠固结土层的负摩擦值。

F.7 加载分级不应少于10级,其中第一级可取分级荷载的2倍。卸载应分级进行,每级卸载量取加载分级的2倍。

F.8 每级加载后,应按第5min、10min、15min各测读一次,以后每隔15min测读一次,累计1h后每隔半小时测读一次。当每级荷载作用下,桩的沉降量连续两次在每小时内小于0.1mm时可视为稳定。可进行下一级加载。卸载时按第15min、30min、60min测读各一次,即可卸下一级荷载;卸载至零后隔3h再测读一次。

F.9 符合下列情况之一时可终止试验:

- 1 当荷载—沉降(Q-s)曲线上有可判定极限承载力的陡降段,且桩顶总沉降量超过40mm;
- 2 在某级荷载下的沉降量大于前级沉降量的2倍,并经24h沉降速率未能达到相对稳定标准;
- 3 (Q-s)曲线呈缓变型且竖向增强体长度在25m以上时,桩顶总沉降量大于60mm~80mm;
- 4 在特殊条件下,可根据具体要求加载至桩顶总沉降量大于100mm;
- 5 总加载量已经达到预定的最大试验荷载;
- 6 为设计提供依据的试验桩,应加载至破坏。

F.10 竖向增强体极限承载力应按下列方法确定:

- 1 作荷载~沉降(Q-s)曲线和其他辅助分析所需的曲线;
- 2 当陡降段明显时,取相应于陡降段起点的荷载值;
- 3 当出现本附录F.0.9第2款的情况时,取前一级荷载值;
- 4 (Q-s)曲线呈缓变型时,取桩顶总沉降量 $s=40\text{mm}$ 所对应的荷载值,当竖向增强体长度大于40m时,宜考虑桩身的弹性压缩;
- 5 按上述方法判断有困难时,可结合其他辅助分析方法综合判定。对竖向增强体沉降有特殊要求的,应根据具体情况选取;

6 参加统计的竖向增强体试验结果,当满足其极差不超过平均值的30%时,可取其平均值为单桩竖向极限承载力;极差超过平均值的30%时,宜增加试桩数量并分析极差过大的原因,结合工程具体情况确定极限承载力。对桩数为3根及3根以下的柱下竖向增强体承台,取最小值。

F.11 将竖向增强体竖向极限承载力除以安全系数2,为竖向增强体竖向承载力特征值(R_a)。

参 考 文 献

- [1] 《铁路路基设计规范》TB 10001-2016
- [2] 上海市工程建设规范《道路路基设计规范》DG/TJ 08-2237-2017
- [3] 国家建筑标准设计图集《城市道路——软土地基处理》15MR301
- [4] 中南地区工程建设标准设计市政图集《市政过水箱涵》17ZZ01、中南标《市政公用工程细部构造做法》17ZZ04等
- [5] 《城市道路工程设计技术措施》2011JSCS-MR
- [6] 《武汉市深厚软土区域市政与建筑工程地面沉降防控技术导则》
- [7] 《武汉市主城区桥头跳车情况调查及综合处置研究成果及分析报告》（武汉市政工程设计研究院有限责任公司）。



本文件用词说明

- 1 为便于在执行本文件条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指定应按其他有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准或其他规定执行时，写法为“可参照……”。

武汉市地方标准

DB4201/T 693—2024

建筑与市政工程软弱地基基础技术规程 条文说明

目 次

前言	93
1 范围	94
3 术语和定义	94
5 基本规定	94
6 工程勘察	94
7 天然地基基础	100
8 地基处理	101
9 桩基础	1119
10 市政工程地基基础设计	111
11 地基基础抗震设计要点	117
12 基坑与边坡	118
13 地基基础施工	119
14 检验与监测	122
附录 C (资料性) 软土路基沉降计算	123

前 言

《武汉市建筑软弱地基基础设计规定》WBJ 1-1-92（试行）使用至今30余年，有效指导了武汉市建设工程的软弱地基基础勘察、设计及施工等工作。近20年来，武汉市工程建设突飞猛进，主城区范围扩大，工程建设范围更广、地基基础埋藏更深、基础施工设备及方法更加先进，取得了一系列丰硕成果。武汉市建设主管部门因时发布了一系列技术管理规定，包括《武汉市房屋建筑工程地基与基础若干问题技术规定》（武城建〔2014〕24号）、市城建委《关于武汉深厚软土地区工程建设中有关技术要求的意见》（武城建〔2014〕144号）、《武汉市深厚软土区域市政与房屋建筑工程地面沉降防控技术导则》（武城建〔2015〕2号）等。

近年来多个勘察设计企业联合有关单位在湖北省、武汉市行业主管部门指导下，立项进行了一系列建设科学研究，包括《武汉市四新地区软土工程特性及地基处理方法研究》、《武汉市主城区桥头跳车情况调查及综合处置研究》、《武汉市基坑工程软土抗剪强度指标的优化选取及其应用研究》等，取得了一系列成果。

为进一步提升武汉市与市政工程软弱地基基础建筑的勘察、设计、施工水平，本文件在《武汉市建筑软弱地基基础设计规定》WBJ 1-1-92（试行）基础上，吸收近年来的工程经验、科研成果，结合行业主管部门的最新规范、标准及管理规定等，编制本文件，作为对国家规范及标准、行业标准、湖北省标准的软弱地基基础相关文件的有效补充。

与《武汉市建筑软弱地基基础设计规定》WBJ 1-1-92（试行）相比，除结构调整外，主要技术变化如下：

- 1 增加规范性引用文件（见第2章）；
- 2 勘察部分：增加了新近沉积土、填筑土、冲填土等名称；增补了部分土层承载力特征值经验值表、抗剪强度指标经验值表；增加了软弱地基勘察的原位测试方法特别是静力触探试验要求。增加了道路、桥涵、隧道、室外管道、给排水厂站、堤岸以及轨道交通、沉井基础等市政工程的勘察要点；补充了环境调查、沉降防控区勘察等要求（见第6章）；
- 3 天然地基基础：增加了地面沉降防治内容（见第7章）；
- 4 地基处理章节补充了抛石挤淤、预压法、桩网复合地基等设计、施工、检测要求，增加了道路排水工程地基处理要点（见第8章）；
- 5 新增市政工程地基基础（见第10章）；
- 6 新增地基基础抗震设计要点（见第11章）；
- 7 新增基坑与边坡（见第12章）；
- 8 修订地基基础施工方法，增加了市政工程施工要求（见第13章）；
- 9 修订检验与监测（见第14章）；
- 10 附录增加了武汉市软土分布图、软土路基沉降计算、浅层平板载荷试验/深层平板载荷试验/竖向增强体静载荷试验要点等。

1 范围

本文件主要适用于建筑工程与市政工程，市政工程主要包括城市道路、管涵、桥涵、隧道、堤岸等工程。由于轨道交通有系统的行业规范，本文件不涵盖轨道交通工程设计的內容。其它工程可参照执行。

2 规范性引用文件（无）

3 术语和定义

3.1 软弱地基

《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011的7.1.1条规定：当地基压缩层主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层等软弱土层构成时应按软弱地基进行设计；在建筑地基的局部范围内有高压缩性土层时，应按局部软弱土层处理。

本文件对软弱土范围根据武汉市情况有所扩充及修改（见条文说明6.2.1）。

关于软弱地基承载力特征值界线值，与不同工程性质有密切关系，建筑工程荷载较大、对地基承载力要求较高，但管涵等市政工程荷载小、对地基承载力要求较低。为便于实际操作，根据大部分行业及本地区经验，规定软弱地基承载力特征值一般不超过70kPa，实际工作中可根据工程性质调整。

4 符号（无）

5 基本规定

5.5 根据《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011的7.2.2条规定按软弱地基进行设计的条件。在建筑地基的局部范围内有高压缩性土层时，应按局部软弱土层处理，应重点关注差异沉降影响，具体处理方法可参照《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011的7.2.2条规定：局部软弱土层以及暗塘、暗沟等，可采用基础梁、换土、桩基或其它方法处理。

本文件涵盖的范围广、线路长的市政工程，则可能出现部分是软弱地基、部分是局部软弱土或非软弱土情况，勘察设计单位则应参照本文件规定针对性进行勘察和设计工作，以满足相关规范及标准要求。

6 工程勘察

6.1.2 勘察手段包括钻探、井探、槽探、坑探、洞探以及物探、触探。软弱地基勘探孔宜以取土孔、取土测试孔和触探孔为主。静力触探试验在武汉市广泛使用并取得大量经验数据，可用来地质分层、提供地基承载力、压缩模量等参数；采用十字板测定软土的抗剪强度和灵敏度、判别软土固结程度等；采用浅层平板载荷试验、螺旋板载荷试验等确定土的地基承载力、变形模量或基床系数等参数；采用扁铲侧胀试验确定土的静止侧压力系数和水平固结系数。对软弱地基中粉土或粉砂辅以标准贯入试验。

6.1.3 工可勘察资料是工可设计文件编制依据，初步勘察资料是初步设计文件编制依据，详细勘察资料是施工图设计的编制依据。当设计方案变化、已有勘察资料不满足设计需要，或现场地质条件与勘察报告有较大差异时，应进行相应阶段的补充勘察。

大型工程项目特别是道路、隧道、渠道、大型管涵（廊）等线性市政工程及有特殊要求的工程，软弱地基上的地基处理、基础费用往往较高、投资占比较大，地基处理费用往往很大；若前期未进行地质勘察，后期往往变更较大。为控制后期施工费用及投资调整，宜分阶段进行勘察工作，且重视前期勘察工作。不宜简化初步勘察工作，初步勘察应布置足够的勘察工作量，初勘工作量可按详勘工作量的1/5左右控制。

6.2.1 本文件结合武汉市工程建设实际情况，进一步明确武汉市软弱土除GB 50007-2011的7.1.1条规定的土层外，尚包括软塑或流塑黏性土、以软塑或流塑状黏性土为主的互层土。武汉市揭露有泥炭、泥炭质土，工程性质差，但考虑到泥炭、泥炭质土是根据有机质含量对土的细分，并没有与工程性质完全

对应，故本文件按通用做法不将其列进软弱土中，工程实践中可根据具体情况进行评价。人工填土中的压实填土一般承载力较高，不属于软弱土，故本文件明确软弱土包括松散状态人工填土，而不是所有的人工填土。

关于流塑状红黏土，有专家认为其工程性质较差、对工程安全往往影响较大，需要纳入软弱土范围。但考虑到国标定义，以及红黏土的形成条件、埋藏深度及物理力学性质指标等特殊性及相关规范、规程有专门规定，本文件规定的软弱土不包含流塑状红黏土。

6.2.2 孔隙比 ≥ 2.4 、含水率 $\geq 85\%$ 的淤泥（包括塘泥）在汉阳及东西湖区的湖泊堆积区有分布，其工程性质极差，造成较多工程不利影响，可参照《水运工程岩土工程勘察》JTS 133-2013细分为流泥。

湖塘低洼区场平往往边挤压淤泥边回填，将湖塘底淤泥局部集中堆积。该部分塘底淤泥原有结构破坏，强度极低，严重影响基坑稳定及施工质量，不宜统一划为填土，应单独划分层位，指标可参考淤泥、流泥折减取值。

分布于I级阶地的部分软塑~流塑状黏性土夹粉土、粉砂，根据土工试验结果定为淤泥质粉质黏土，但工程性质有别于常规淤泥质土，在地层描述及工程地质分析评价时应予以区分。

不同行业规范对软土定义略有差异。《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019软土地基鉴别指标见条文说明表1。

条文说明表 1 软土地基鉴别指标（《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019）

指标名称	天然含水率 ω	天然孔隙比 e	直剪内摩擦角 Φ	十字板剪切强度 C_u	压缩系数 a_{1-2}
指标值	$\geq 35\%$ 或液限	≥ 1.0	宜小于 5°	$< 35\text{kPa}$	宜大于 0.5MPa^{-1}

《铁路工程地质勘察规范》TB 10012-2019第6.3.1条：对于在静水或缓慢流水环境中沉积形成的粉土、黏性土，具有含水率大（ $\omega \geq \omega_L$ ）、孔隙比大（ $e \geq 1.0$ ）、压缩性高（压缩系数 $a_{0.1-0.2} \geq 0.5\text{MPa}^{-1}$ ）、强度低（ $p_s \leq 700\text{kPa}$ ）等特点，应按软土进行工程地质勘察。

6.2.3 室内试验的无侧限抗压强度因土样扰动等因素往往偏低，灵敏度亦受影响。本文件推荐采用现场十字板试验测定原状土、扰动土的不排水抗剪强度，并进行灵敏度分类。

6.2.4 淤泥、淤泥质土不一定是欠固结状态，每个场地需根据现场调查结合室内试验数据综合判定。

现场十字板原位测试相比现场取土、室内试验，受扰动影响小，能够更加准确反映实际情况，铁路部门利用十字板确定软土固结状态经验较多。具体测试方法及成果应用可参照《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018-2018。

刘亚洲等人在汉阳四新地区软土研究成果取得大量试样的室内试验的超固结比OCR范围值：淤泥0.85~0.93，平均值0.91；淤泥质黏土0.30~0.99，平均值0.74；均小于1。十字板剪切试验计算OCR：淤泥0.62~1.27，平均值0.90；淤泥质黏土0.53~1.30，平均值0.86；除局部少量点大于1外，绝大部分测试点超固结比均小于1。

6.2.5 《武汉市建筑软弱地基基础设计规定》WBJ 1-1-92（试行）说明武汉市主城区（主要是汉口城区）人工填土厚度0.5m~9m，一般为1.9m左右。以前总体认识不够多，填土一般没有细分；但现阶段工程建设越来越多，填土利用越来越多，有必要根据实际工作进一步细分。

城市现有道路下广泛分布压实填土，厚度一般1m~3m，通常情况下工程性质较好，往往可以作为管涵、轻型地下建（构）筑物持力层；因车辆重型荷载、管涵破损后渗漏水潜蚀、冲刷等作用，部分地段出现路基软化下沉、路面破损，以及土体流失造成路面脱空、地面塌陷等病害。道路改扩建、地面塌陷应急抢险应进行现场专项调查及勘察，提出处理意见、建议。

武汉市汉阳四新地区场平而形成较大面积的冲填土，成分主要是粉土、粉砂，厚度3m~4m。冲填土颗粒较细，多为松散状态，工程性质一般较差，未经处理不宜直接作为地基持力层使用。

线路工程的填土来源多、成分杂、工程性质变化大，对工程影响较大时宜细分并分区分段评价。

6.2.6 《武汉市建筑软弱地基基础设计规定》WBJ 1-1-92定义有老黏性土及一般黏性土，但未定义新近沉积土。结合近年来全国及武汉市研究成果，河漫滩、I级阶地及湖、塘、沟、谷堆积物含水率高、孔隙比大、中~高压缩性，按一般黏性土查承载力严重偏高，承载力与压缩模量及抗剪强度指标很不匹

配，实际上多为新近沉积土，工程性质比一般黏性土要差。勘察工作中应注意区分，参见刘亚洲、陈友佳《工程勘察》2014.1增刊《武汉地区低阶地新近沉积黏性土的物理力学性质特征》。

6.2.7 I级阶地及湖泊堆积区的互层土各层比例变化较大且经常夹有一定厚度的软土，对地基基础设计特别是基坑、边坡稳定性影响较大。实际工作中应综合考虑原位测试成果、土工试验成果结合地层性质、埋深及工程要求等考虑是否细分并评价。

6.3 勘察要点

6.3.1 建筑与市政工程种类繁多，涉及行业规范也较多。各建（构）筑物勘察除按《工程勘察通用规范》GB 55017、《岩土工程勘察规范》GB 50021、《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ 83、《岩土工程勘察规程》DB42/T 169等统一性要求外，根据不同工程性质依据《市政工程勘察规范》CJJ 56、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363、《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307等进行。

6.3.2 加密勘探孔数不包括在《工程勘察通用规范》GB55017-2021的勘探孔总数中。

6.3.3 道路排水工程或其它小型项目，现场条件限制时可采用探坑（槽）、小螺旋、洛阳铲钻孔等方法进行勘探，查明表层土质情况。

6.3.4 若存在《建筑地基基础设计规范》DB42/242-2014第10.1.7条规定的产生负摩阻力条件，则深厚软弱土非但不能计入正摩阻力，相反会产生较大的负摩阻力，桩长、沉井设计时往往需加大桩长、井身高度，甚至嵌岩较深。勘探时需加大孔深，方可满足桩长或沉井设计要求。

6.3.5.3 勘探孔深度不少于5m，是考虑通用规范要求加深。体育场指路（地）面体育场；有地下室的体育场应满足地下室建筑物的地基基础勘察设计要求，根据柱网布置勘察工作量。

6.3.6 此处特大桥的主桥一般是指跨越江、河、渠或干道、铁路、公路等大跨度桥梁，下同。

《市政工程勘察规范》CJJ 59-2012第6.3.2条规定初勘时其他桥梁可采取按墩台或隔墩台交叉布置勘探点。但根据武汉市建设经验，初步勘察时多依据工可设计的桥梁桩（墩）位布孔，工可设计的桩（墩）位一般未完全稳定且后期多有调整，若按《市政工程勘察规范》CJJ 59-2012第6.3.2条规定进行初勘，则可能出现初步勘察的勘探点偏离施工图设计的桩墩位较远而不满足规范、设计和施工要求。本文件结合多年来的工程实践，规定初勘时其它桥梁可隔3个~5个墩台或隔墩台布置。

跨越江、河、渠或干道、铁路、公路等大跨度特大桥的主桥桥跨、桥墩荷载及基础尺寸一般都较大，详细勘察时矩形或正方形承台基础时按角点和中心点布置，圆形承台按圆弧结合中心点等分布置，每个墩台勘探点不应少于2个勘探点是下限，具体勘探点数量根据基础规模及岩土条件复杂程度确定。

《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2015第1.0.5条明确涵洞的单孔跨径小于5m；注3管涵及箱涵不论管径或跨径大小、孔数多少，均称为涵洞。在新建道路穿越沟渠处往往新建涵洞，或者水利建设修建过水涵洞，均需要勘察，具体可参考《公路工程地质勘察规范》JTG C20-2011涵洞的勘察要求。涵洞荷载较小，故一般情况下按照天然地基或处理地基布置勘探工作量。

《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363的单桩承载力计算公式及计算参数与《建筑地基基础设计规范》DB42/242不同，桩侧土的摩阻力标准值 q_{ik} 为极限摩阻力，勘察及设计工程师均应特别注意，以免错用。

6.3.7 综合管廊类别根据功能及规格划分为干线综合管廊（用于容纳城市主干工程管线，采用独立分舱方式建设）、支线综合管廊（用于容纳城市配给工程管线，采用单舱或双舱方式建设）、缆线综合管廊（采用浅埋沟道方式建设，设有可开启盖板但其内部空间不能满足人员正常通行要求，用于容纳电力电缆和通信线缆）；

周边环境风险等级参照《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307-2012 3.0.9，周边环境风险等级高指风险等级一级~二级。

6.3.9 武汉地铁单洞单线隧道外径一般为6.20m，管片厚度350mm，采用的盾构机外径一般为6.52m；19号线鼓花区间设计速度为120公里/小时，并预备后期列车提速至140公里/小时，单洞单线隧道外径7.20m，管片厚度400mm，采用的盾构机外径为7.48m；8号线越江段为单洞双线隧道，隧道外径12.10m，管片厚度500mm，采用的盾构机外径为12.53m；7号线三阳路长江隧道（武汉长江公铁隧道）为公铁合建隧道，隧道外径15.2m，管片厚度650mm，采用盾构机外径为15.76m。《铁路工程地质勘察规范》TB10012

-2019的 4.3.5条规定水域段洞身段钻孔位置宜布置在中线外8m~10m,武汉地铁隧道外径一般6.2m,按此推算水域段洞身段钻孔位置宜布置在隧道线外侧4.9m~6.9m;对特大直径隧道,若仍按此原则布孔,一旦轨道调线则钻孔可能会侵入隧道界限。为安全起见,水域段洞身段钻孔位置布置在隧道线外侧6m~10m,同时加强封孔。

勘探孔深度50m,取《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307-2012第5.3.2的30m~50m中大值,是为后续调坡预留空间。

武汉地铁区间隧道施工多采用盾构法,其次为矿山法;联络通道多为矿山法施工,软土一般先冻结后再开挖。水域段若在左右线距离较近的隧道中间布孔,受多种因素影响钻孔回填可能有缺陷,存在地表水通过钻孔向隧道内突涌风险。故本条规定左右线距离较近时,联络通道中间不宜布孔;必须在隧道左右线之间钻探时,应保持足够安全距离并严格做好钻孔回填工作。

6.3.10 沉井基础(或采用钢围堰施工的基础)较多用于建筑、市政、港口和水利工程,本条勘察要求参照《岩土工程手册》、《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016。

6.3.11 基坑与边坡勘察

6.3.11.1 软土区影响范围大,现有经验数据表明,深厚软土区的基坑及边坡影响范围为一般十几米~上百米,叠加降水后可能到几百米。基坑及边坡勘察设计必须扩大勘探包括现场调查范围。

压实填土以外的填土均匀性差,局部甚至有淤泥软土夹杂;新近沉积土、互层土中也往往有软土夹层。软弱夹层对基坑、边坡的稳定性影响较大,宜细分。

《基坑工程技术规程》DB42/T159-2012的5.4.2条规定了抗剪强度指标取值原则。厚度较大的填土及软土对基坑设计影响很大。填土的抗剪强度指标与物质成分、堆积年限特别是堆填方式等密切相关,且密度均匀性差,应加强现场调查及原位测试工作;黏性土素填土应取样进行室内试验;软土受扰动后强度降低明显,实际工作中应注意软土的取样质量对抗剪强度指标影响。岩土工程师应结合实际情况综合分析,提出恰当的抗剪强度指标。

6.3.11.2 近几年软土边坡特别是渠道边坡失稳事故较多,多与坡顶超载、清淤加大边坡高度及软土扰动导致强度变低有关。另外,软弱土易沿岩土层面滑动。勘察应通过钻探、土工试验及原位测试等手段准确查明软土性质及分布,特别是应查明横剖面方向的岩土层分布。

6.3.11.3 参考《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307-2012第12.3.4条及《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ 83-2011第3.5.7条提出。

6.3.12 不良地质作用与地质灾害

6.3.12.1 自2010年以来,武汉长江I级阶地、汉口地区陆续出现因工程建设及长江水位下降造成的大面积地表沉降。目前在武汉后湖片区出现区域性的10cm~20cm的沉降,最大沉降达30cm~40cm。其它I级阶地及湖泊堆积区亦出现较为明显的下沉,对房屋建筑与市政工程造成较多不利影响。

地面沉降防控区分类:在勘察实践中,关于填土厚度没有最小厚度界限值有较多质疑,可能填土厚度1m~2m就划到沉降控制区,容易片面化。经编制组讨论并咨询各方意见,确定了一般防控区5m的下限值要求,在表中增加注以进一步说明判据需要综合考虑填土沉积历史及影响后果。

6.3.12.2 城市现有道路下广泛分布路基填土,厚度一般1m~3m,因车辆重型反复荷载、地基不均匀沉降等因素导致管涵破损后渗漏水潜蚀、冲刷,部分地段出现路基软化下沉、路面破损,甚至土体流失造成路面脱空、地面塌陷等病害,应进行现场专项调查及勘察,提出处理意见、建议。此类塌陷规模一般较小。

6.3.12.3 1 武汉市多处出现软土地区堆载引起的明渠边坡失稳(滑坡)情况,影响距离远、深度大。滑坡勘察的线距、孔距应采用《岩土工程勘察规程》DB42/T 169-2022、《滑坡防治工程勘查规范》GB/T 32864中规定的低值;软土应采用薄壁取土器取原状样及进行静力触探、十字板现场原位测试;薄壁取土器取软土样保证少扰动,对软土进行反复剪室内试验。软土滑动面往往难以通过勘察准确查明,需采用反分析法结合现场调查推测滑动面的位置及抗剪强度指标。

6.3.12.4 武汉市多江、河、湖泊,漫滩及岸坡土质多为填土、黏性土、粉土砂土,在地表水反复浸泡、波浪冲刷作用下常见裂缝、崩塌现象,情况严重时需进行整治、防护。

6.3.13 勘探、取样和测试

6.3.13.1 1 重要工程（一级工程）、一般工程（二级工程）和次要工程（三级工程）的划分参见《岩土工程勘察规范》GB 50021、《市政工程勘察规范》CJJ 56等规范、标准。大型、复杂工程的勘察等级划分，必要时应考虑工程周边环境因素。

2 《工程勘察通用规范》GB 55017第3.2.8条条说明：为了保证勘察质量，本条规定了需要采取岩土试样和进行原位测试勘探孔的基本数量。本条采取土试样及原位测试数量计算时，勘探孔总数不包括为查明基岩等地层起伏而布置的钻孔，以及为查明埋藏的河、沟、池、浜以及杂填土分布区等布置一些钻孔。

《工程勘察通用规范》GB 55017第3.2.8条第1款泛指所有原位测试和第2款特指参与原位测试统计样本数。3.2.8条的第1款的原位测试应包括所有的原位测试，静力触探、动力触探、载荷试验等都是原位测试。理解采取土试样和原位测试的勘探孔数量，取土和所有原位测试方法的孔达到1/2占比即可。静力触探和动力触探是原位测试和方法之一，但采用静力触探孔或动力触探孔不应少于3个孔。3.2.8条第2款是特指参加统计时的样本数量，每层土不小于6个土样或原位测试数量的时候，这个原位测试不包括静力触探、动力触探。

单桥静力触探试验设备简单、易操作，具有快速、费用低、软土分层精度高等优点，武汉市具有大量的单桥静力触探试验经验。相对地，双桥静力触探试验、带孔压静力触探试验应用不多，今后勘察单位可以结合工程特点及软土性质更多采用，积累经验，以获得更多试验数据，提高武汉市原位测试水平。

静力触探孔孔深不满足设计要求时，每单栋建筑布置静力触探孔作为对比孔使用，重点对上部软弱土进行测试。对比孔距离钻孔不少于2m且先静探再钻探，是为了减少钻探后周边土层松动对静力触探测试数据影响。

通用规范取消取样孔数量的强制性要求，但《岩土工程勘察规范》GB 50021的该条款仍有效。编制组认为武汉市的重要和一般工程的勘察必须满足取样孔占勘探孔总数1/3的基本要求。

大型建筑群往往规模大、单体建筑多，勘探点数量也多，但近年来勘察施工图调审时发现部分项目的主要岩土层取样试验或原位测试数量仅仅满足统计上的6个或更多一点，平均到每个单体则很少，不能满足准确查明全场地不同建筑的岩土层的工程性质要求。为了更好地满足工程质量、安全及设计、施工等需要，提高勘察质量，本条规定当单个建筑的基础规模较大时，单个建筑的每一主要岩土层的取样试验及原位测试亦应满足上述要求或参照执行。

3 薄壁取土器包括敞口薄壁取土器、自由活塞薄壁取土器、固定活塞薄壁取土器、水压固定活塞取土器等，其适用范围、规格、技术参数等详见《敞口薄壁取土器》JG/T 549-2018、《自由活塞薄壁取土器》JG/T 550-2018、《固定活塞薄壁取土器》JG/T 551-2018、《水压固定活塞取土器》JG/T 552-2018。

6.3.13.4 武汉市淤泥、淤泥质土、一般黏性土抗剪强度指标经验值可参考条文说明表2。

此表中数据以DB42/T163表Q.4为基础，参考DB42/T169，（）中指标为中南勘察设计院科研成果《武汉市基坑工程软土抗剪强度指标的优化选取及其应用研究》及《武汉市基坑工程一般黏性土抗剪强度指标的优化选取及其应用研究》。

条文说明表 2 淤泥、淤泥质土、一般黏性土、标准值

土类	静力触探比贯入阻力 P_s (MPa)	直接快剪 (qq)		固结快剪 (cq)		三轴不固结不排水剪 (uu)	
		黏聚力 (kPa)	内摩擦角 φ_k (°)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 φ_k (°)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 φ_k (°)
淤泥、淤泥质土	0.2	5~6	2~3	—	—	—	—
	0.4	10	5	(11.4)	(12.0)	16	3
	0.6	14	6	(15.8)	(14.2)		
	0.8	16	8	(20.1)	(16.4)		

条文说明表 2 淤泥、淤泥质土、一般黏性土、标准值(续)

土类	静力触探比贯入阻力 P_s (MPa)	直接快剪 (qq)		固结快剪 (cq)		三轴不固结不排水剪 (uu)	
		黏聚力 (kPa)	内摩擦角 φ_k (°)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 φ_k (°)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 φ_k (°)
一般黏性土	0.8	17	10	(9.1)	(17.0)	26	5
	0.9	19	11				
	1.0	20	12	(13.5)	(18.2)	(15)	(5.8)
	1.2	23	13	(17.8)	(19.4)	35	7
	1.4	25	14	(22.2)	(20.7)	(30.9)	(7.5)
	1.6	28	15	(26.6)	(21.9)	44	9
	2.0	30	14			52	11
	2.4	35	15			60	13
	2.8	40	16			68	15

6.4 天然地基承载力

6.4.1 采用不同方法所得结果有较大差异，与建立关系时的分析方法、划分标准、样本差异等有关，也与分层不细、取样扰动、部分测试数据不准确等原因有关，把新近沉积黏性土当作一般黏性土查承载力也是一个重要原因。规程提供经验值仅供参考，实际工作中应重视现场取样实验及原位测试成果，综合分析、合理取舍。

6.4.3、6.4.4 地基承载力

1 《武汉市建筑软弱地基基础设计规定》WBJ 1-1-92（试行）条文说明： C_u — p_s 关系值是根据39组对比试验，经统计回归，得到经验条文说明公式（1）：

$$C_u = 0.0610p_s \quad \text{条文说明公式（1）}$$

式中：

C_u ——不排水抗剪强度（kPa）

p_s ——静力触探比贯入阻力（kPa）；

2 《铁路工程地质原位测试规程》（TB 10018-2018）推荐采用条文说明公式（2）估算不排水抗剪强度：

$$C_u = 0.9Su = 0.04p_s + 2 \quad (\text{单位：kPa}) \quad \text{条文说明公式（2）}$$

根据此公式计算值，相对上表要低。

3 刘亚洲《武汉四新地区软土工程特性研究》，四新地区的十字板抗剪强度偏低，最低到7kPa。考虑到以前工程建设主要在老城区，推测强度差异应是区域沉积环境影响所致，四新地区软土较汉口等区域软土含水率更高、强度更低。

4 表8及6.4.4条冲填土承载力参照《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ 83-2011表7.2.3。填土承载力主要取决于填料及填筑方式：填筑土承载力可参照本文件表14垫层承载力提供，可以考虑作为轻型建（构）筑物、排水管涵等持力层；其它填土则往往无序堆积，承载力变化大，未经碾压处理的填土承载力往往较低，需提供承载力及变形参数时应综合考虑土工试验及原位测试成果。松散填土地基经处理方可使用。

5 既有建筑的地基承载力确定，除收集原有地质资料及常规勘探外，宜通过基槽开挖后在原有基础上或旁边现场取高质量土样试验以及浅层载荷板试验确定。武汉市江汉区某片区改造工程，6个浅层载荷板试验的承载力特征值70kPa~93kPa。

7 天然地基基础

7.1.1 软弱地基上建筑物控制沉降变形是关键，因此所有基础设计应进行变形计算，必要时进行地基固结时程计算。

7.1.2 软弱地基上建筑物基础设计应对建筑体型、荷载情况、结构类型、地质条件、经济指标等进行综合分析，选择安全、经济、合理的基础设计方案，且宜考虑基础与上部建筑物共同作用。

7.1.3 鉴于软弱土地区容易发生地基基础安全事故，因此偏严格规定基础方案。

7.1.6 由于软弱地基的特殊性，即使新建建筑物基础埋深不大于原有建筑物基础埋深，设计也应考虑新建建筑物基础应力扩散对原有建筑物地基的不利影响，必要时应对原有建筑物地基进行适当处理。

7.1.8 最高水位参见《建筑地基基础技术规范》DB42/242的相关规定。

7.2 承载力计算

7.2.3 基础间距较密指基底压力扩散角线相互重叠。

7.2.4 主楼与裙房连在一起的建筑，对于主楼结构地基承载力深度修正，本应可以考虑基础底面以上主体周边裙楼（筏板基础）产生的超载的有利作用，但由于软弱地基的特殊性，不建议考虑此有利作用，将其做为安全储备。

7.2.8 带有防水板的独立基础设计，一般可采用下列方法：

1 变厚度筏板设计法：防水板与独立基础共同受力，防水板下也有地基反力存在，其受力更接近于局部设置柱帽的筏板基础，宜优先采用此方法设计。

2 防水板与独立基础分离设计法：防水板只用于抵抗水浮力，不考虑其地基承载能力分担上部荷载的作用，由独立基础承担全部结构荷载并考虑水浮力的影响。应当注意的是，采用这种方法计算时独立基础厚度及配筋取值宜比计算值适当加大，以考虑基底反力分布范围扩大对基础抗冲切能力降低和弯矩加大的不利影响，通常地基土越软其影响越大；同时防水板尚宜适当考虑上部荷载的作用。

7.4 控制建筑物沉降和不均匀沉降的措施

7.4.2 复合地基处理方式不同且其压缩性有显著差异交界处也应设置沉降缝。

7.4.5 邻近建筑物两边的上部结构宜选用轻质材料或轻质结构，采用架空地板代替室内填土；邻近建筑物两边可选用底面积较大的基础，以减少基底的附加压力。

7.4.6 地面荷载主要包含：生产堆料、工业设备和大面积堆载等。地面堆载较大时，除符合《建筑地基基础技术规范》DB42/242的规定外，堆载地坪亦可采用隔断应力和沉降传递的刚性板体系。

7.5 建筑物施工及使用期间的注意事项

7.5.6 活荷载较大的建筑物指书库、厂房、仓库、筒仓料库、油罐等楼（地）面活荷载标准值大于 10kN/m^2 的建筑物。

7.6 地面沉降防治

7.6.1 位于其他区域内未设置地下室的建筑物，应根据地质条件、建筑物一层地面使用功能和建筑物重要性，决定一层室内地面是否采用结构楼板的型式。

7.6.7 1 对回填土无固结时间的肥槽区域，可采用级配砂石分层碾压，级配砂石可采用中粗砂+碎石或砾石，分层碾压亦可根据现场实际施工条件采用水夯法施工代替，水夯法施工同样需要分层，且每层需充分振捣并取样检测密实度。

2 大面积回填可利用开山的碎、块石及爆破开采的岩石碎屑，但为保证夯、压密实，应限制其最大粒径，分层压实时其最大粒径不宜大于 200mm ，分层夯实时最大粒径不宜大于 400mm ，骨料含量大于 70% ，级配碎石颗粒级配不均匀系数 c_u 不小于 15 。

3 采用预拌流态固化土进行肥槽回填时，相关设计及施工要求参考相关技术标准。

4 回填土填料、碾压施工的质量对控制后期沉降非常关键，由土的可松性可知，分层夯实的填土和松散的填土体积差20%左右，控制回填土沉降必须对填料和密实度进行严格控制，并及时现场取样检测，保证回填土施工满足设计要求。

5 对后期回填土沉降控制要求不高的回填土区域，如绿地、景观等位置，可采用素土回填并分层压实。

7.6.8 回填土沉降的处理措施应以地基条件、设计要求、处理指标及范围、工程费用、工程进度、材料来源和当地环境等方面综合考虑，可考虑采用垫高沉降地面、夯实、高压旋喷桩加固、换土垫层法加固、微型桩+注浆加固、振冲碎石桩加固、松木桩法加固等等方法处理。不同土质填土的常见处理方法如下：

1 对主要成分为砾石、砂石、混凝土、瓦砾、砖块等建筑废物填土及其宕渣等散体填土，可选用机械压实（重锤夯实、振动压实、强夯等）的方法进行加固处理；

2 对粉土、粉砂填土，可采用振冲或强夯法进行加固；

3 对黏质粉土或粉质黏土填土，可采用夯击或高真空击密结合真空降水的方法进行加固；

4 对抛填的软土地层、淤泥质粉质黏土、淤泥土，可采用真空预压法、真空联合堆载或覆水和旋喷桩等方法进行加固。

8 地基处理

近几十年来，地基处理方法及手段发展很快。本文件根据武汉市多年来的工程实践，对常用的地基处理方法进行了适当更新和补充，特别是补充了市政工程道路排水工程设计地基处理要点。

8.1.1 场地的岩土工程勘察资料、上部结构及基础设计资料、地基处理后的要求达到的各项技术经济指标均是地基处理方案选择的基础资料，设计和施工者对基础资料的分析和应用至关重要。为选择技术先进、实际可行且质量可靠的地基处理方案，应对现场进行详细调查研究，了解当地地基处理经验和施工条件，调查邻近建筑、地下工程、管线和环境情况等。

8.1.2 建筑物上部结构刚度和承载能力不同，对地基处理后要求达到的各项技术经济指标也不同。因此，本条规定地基处理方案选择时，因对地基处理方案及加强上部结构和处理地基相结合的方案进行技术经济比选。根据大量工程实例，建议选用加强上部结构和处理地基相结合的方案，这样既可降低地基处理费用，又可收到满意的效果。

8.1.3 本条规定了在确定地基处理方法时宜遵循的步骤。着重指出在选择地基处理方案时，宜根据各种因素进行综合分析，初步选出几种可供考虑的地基处理方案，其中强调包括选择两种或多种地基处理措施组成的综合处理方案。工程实践证明，当岩土工程条件较为复杂或建筑物对地基要求较高时，两种或多种地基处理措施组成的综合处理方法可能是技术经济比选最佳方案。

地基处理是经验性很强的技术工作。相同的地基处理工艺，相同的设备，在不同成因的场地上处理效果不尽相同；在一个地区成功的地基处理方法，在另一个地区使用，也需根据场地的特点对施工工艺进行调整，才能取得满意的效果。因此，地基处理方法和施工参数确定时，应进行相应的现场试验或试验性施工，进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果。特别还强调了地基处理施工应遵循的基本原则，对重要的、复杂的地基处理应注重信息化施工和动态设计。

8.1.4 经处理的地基由于其处理范围有限，处理后增强的地基性状与自然环境下形成的地基性状有所不同。针对处理后的地基，当按地基承载力确定基础底面积及埋深而需要对本文件确定的地基承载力特征值进行修正时，应分析工程具体情况，采用安全的设计方法。

1 大面积压实填土地基：当地基处理的面积较大（一般要求地基处理宽度大于基础宽度的2倍），可直接按《建筑地基基础设计规范》GB 50007执行。

2 对于不满足大面积处理的压实地基及其他处理地基：由于地基处理范围有限或增强体的存在，处理后的地基破坏模式与天然地基不同，加之当前复合地基承载力的修正的研究成果还很少。故从安全起见，基础宽度的地基承载力修正系数取零，基础埋深的地基承载力修正系数取1.0。

8.1.5 本条对处理后的地基应进行的设计计算内容给出规定。处理地基的软弱下卧层验算，对压实、夯实、注浆加固地基及散体材料增强体复合地基应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007压力扩散角的方法验算，对有粘结强度的增强体复合地基，按其荷载传递特性，可按等代实体深基础法验算。处理后的地基应满足建筑物承载力、变形和稳定性要求。处理后的地基稳定性分析计算可采用圆弧滑动法，变形计算应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定。

处理后的地基稳定性分析计算时，散体加固材料的抗剪强度指标，可按加固体的密实度通过试验确定，这是常用的方法。具有胶结强度的竖向增强体，由于其抵抗水平荷载和弯矩的能力较弱，整体稳定性分析假定其桩体（竖向增强体）完全断裂，按滑动面材料的摩擦性能确定抗剪强度指标，对工程验算是安全的。工程实践表明，采用无配筋的竖向增强体地基处理，其提高稳定安全性的能力是有限的。工程需要时应配置钢筋，增加增强体的抗剪强度；或采用设置抗滑构件的方法满足稳定安全性要求。

刚度差异较大的整体大面积基础其地基反力分布不均匀，且结构对地基变形有较高要求，所以其地基处理设计，宜根据结构、基础和地基共同作用结果进行地基承载力和变形验算。

变刚度调平设计能有效地减小基础的差异沉降，其基本思路是以调整桩土支承刚度分布为主线，根据荷载、地质特征和上部结构布局，考虑相互作用效应，采取增强与弱化结合，减沉与增沉结合，实现差异沉降、基础内力和资源消耗的最小化。变刚度调平设计有局部增强、变桩距、变桩径、局部增加桩长这几种模式，实际应用中以局部增加桩长这种方式最为有效。

8.1.6 本条规定了地基处理采用的材料应根据环境类别进行耐久性设计，其耐久性应符合《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046和《混凝土结构设计规范》GB 50010的相关要求。

8.1.7 本条规定了对综合使用多种地基处理方法的地基处理工程验收检验方法的要求。综合使用多种地基处理方法的地基处理工程，每一种方法处理后的检验由于其检验方法的局限性，不能代表整个处理效果的检验，地基处理工程完成后应进行整体处理效果的检验（如大尺寸承压板载荷试验）。

8.1.9 本条规定了对地基处理后且需要进行地基变形计算的建筑物和构筑物，应在其施工期间和使用期间进行沉降观测。沉降观测终止时间应达到稳定标准为止，稳定标准参照《工程测量标准》GB 50026和《建筑变形测量规范》JGJ 8的有关规定执行。

8.2 换填垫层

8.2.1.1 对路基下厚度不大的软土（一般厚度小于3m），换填处理效果最佳，工期短，费用低，可有效减少或基本消除后期沉降。武汉市Ⅱ级阶地、剥蚀堆积区（相当于Ⅲ级阶地）上湖塘区的淤泥厚度一般不大，可采用此法。

8.3 抛石挤淤

8.3.1 抛石挤淤法是通过向流塑状的高灵敏的淤泥表面大量集中抛填土石填料，依靠填筑体的自重挤开淤泥，强制置换饱和软土地基的地基加固处理法。《城市道路路基设计规范》CJJ 194、《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTGT D31-02均将抛石挤淤纳入浅层地基处理方法。此法施工时不用挖淤，不用抽水，较为简便易行，公路及市政工程中应用较多。

8.3.2 软土厚度较小时，挤淤多为接底式挤淤，抛填体下沉到层底硬土层，形成较为稳定的置换地基，实际操作中，对于软土厚度不大的地基处理多采用清除换填处理。软土厚度较大时，抛填体不能下沉到层底硬土层，悬浮在软土层中，附加荷载较大时须对软弱下卧土层进行承载力验算，市政工程中多数情况为悬浮式压载挤淤。

8.3.4 抛石路堤施工前，应先修筑试验路段，并用试路段确定的工艺流程和工艺参数控制压实过程，用试验路段确定的沉降差指标检测压实质量。同时可根据试验情况进行动态调整设计。检测方法可参考《公路土工试验规程》JTG 3430灌水法等密度试验方法。

8.4 预压地基

8.4.1.1 预压法处理深厚软土具有软土固结效果好、造价低廉、绿色环保优点，但工期较长。武汉市四新地区梅子路采用真空—堆载联合预压处理路基，其中一标段最大填土高度5.2m，最大沉降1271.96

mm；东西湖南十四支沟污水处理厂采用真空—覆水联合预压法处理软土地基，覆水深度2m，工期2个月，III区处理后沉降398.5mm~516.4mm。

8.4.1.2 本条款真空预压处理范围做了说明。和礼红等著《岩土工程典型案例关键技术与实践》中提到汉阳四新地区真空—堆载联合预压使加固范围内的土体向加固区域内收缩，其影响范围可达25m，在10m范围内影响显著；周围土体因侧向变形而产生张拉裂缝，裂缝宽度3cm~5cm，最大达10cm。若处理场地边线以外10m~25m范围内有需要保护的管线、房屋等，则应考虑侧向变形的不利影响。

通常当软土层厚度小于4m时，可采用天然地基堆载预压法处理；当软土层厚度超过4m时，为加速预压过程，应采用塑料排水带、砂井等竖向排水预压法处理地基。对真空预压，必须在地基中设竖向排水井。当软土或冲填土厚度较大时，当设计地基预压荷载大于80kPa，且进行真空预压处理地基不能满足设计要求时可采用真空—堆载联合预压。

8.4.4.3 预压地基特别是真空预压和真空—堆载联合预压多用于公路、市政工程，故本节相关要求主要参照《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTGT D31-02等规范。

8.5 复合地基

8.5.1.1 复合地基是指由地基土和竖向增强体(桩)组成、共同承担荷载的人工地基。复合地基按增强体材料可分为刚性桩复合地基、粘结材料桩复合地基和无粘结材料桩复合地基。

8.5.1.2 复合地基强调由地基土和增强体共同承担荷载，对于地基土为欠固结土、可液化土等特殊土，必须选用适当的增强体和施工工艺，消除欠固结性、液化性等，才能形成复合地基。复合地基处理的设计、施工参数有很强的地区性，相同的地基处理工艺，相同的设备，在不同成因的场地上处理效果不尽相同；在一个地区成功的地基处理方法，在另一个地区使用也需根据场地的特点对施工工艺进行调整，才能取得满意的效果。因此，地基处理方法和施工参数确定时，应进行相应的现场试验或试验性施工，进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果。

8.5.1.3 本条是对复合地基施工后增强体的检验要求。增强体是保证复合地基工作、提高地基承载力、减少变形的必要条件，其施工质量必须得到保证。

8.5.1.4~8.5.1.6 复合地基承载力的计算表达式对不同的增强体大致可分为两种：散体材料桩复合地基和有粘结强度增强体复合地基。对散体材料桩复合地基计算时桩土应力比 n 应按试验取值或按地区经验取值。但应指出，由于地基土的固结条件不同，在长期荷载作用下的桩土应力比与试验条件时的结果有一定差异，设计时应充分考虑。处理后的桩间土承载力特征值与原土强度、类型、施工工艺密切相关，对于可挤密的松散砂土、粉土，处理后的桩间土承载力会比原土承载力有一定幅度的提高；而对于黏性土特别是饱和黏性土，施工后有一定时间的休止恢复期，过后桩间土承载力特征值可达到原土承载力；对于高灵敏性的土，由于休止期较长，设计时桩间土承载力特征值宜采用小于原土承载力特征值的设计参数。对有粘结强度增强体复合地基，根据复合地基静载荷试验中取 s/b 或 s/d 等于0.01的地基土和单桩承载力发挥系数的试验结果，地基承载力特征值计算增加了增强体单桩承载力发挥系数和桩间土承载力发挥系数。一般情况下，有褥垫层时，地基土承载力的发挥是比较充分的。

应该指出，复合地基承载力设计时选取的设计参数可靠性对设计的安全度有很大影响。当有充分试验资料作依据时，可直接按试验的综合分析结果进行设计。对于大部分情况，采用初步设计的估算值进行施工，并要求施工结束后达到设计要求，设计人员的地区工程经验非常重要。首先，复合地基承载力设计中增强体单桩承载力发挥和桩间土承载力发挥与桩、土相对刚度有关，相同褥垫层厚度条件下，相对刚度差值越大，刚度大的增强体在加荷初始发挥较小，后期发挥较大；其次，由于采用勘察报告提供的参数，其对单桩承载力和天然地基承载力在相同变形条件下的富余程度不同，使得复合地基工作时增强体单桩承载力发挥和桩间土承载力发挥存在不同的情况，当提供的单桩承载力和天然地基承载力存在较大的富余值，增强体单桩承载力发挥系数和桩间土承载力发挥系数均可达到1.0，复合地基承载力载荷试验检验结果也能满足设计要求。同时复合地基承载力载荷试验是短期荷载作用，应考虑长期荷载作用的影响。总之，复合地基设计要根据工程的具体情况，采用相对安全的设计。初步设计时，增强体单桩承载力发挥系数和桩间土承载力发挥系数的取值范围在0.7~1.0之间，增强体单桩承载力发挥系数取

高值时桩间土承载力发挥系数应取低值，反之，增强体单桩承载力发挥系数取低值时桩间土承载力发挥系数应取高值。所以，没有充分地区经验时应通过试验确定设计参数。

桩端端阻力发挥系数 α 与增强体的荷载传递性质、增强体长度以及桩土相对刚度密切相关。桩长过长影响桩端承载力发挥时应取较低值；水泥土搅拌桩其荷载传递受搅拌土的性质影响应取0.4~0.6；其他情况可取1.0。

8.5.1.7 复合地基增强体的强度是保证复合地基工作的必要条件，必须保证其安全度。对具有粘结强度的复合地基增强体应按建筑物基础底面作用在增强体上的压力进行验算，当复合地基承载力验算需要进行基础埋深的深度修正时，增强体桩身强度验算应按基底压力验算。

8.5.1.8 复合地基沉降计算目前仍以经验方法为主。武汉市可根据地区土的工程特性、工法试验结果以及工程经验，采用适宜的方法，以积累工程经验。

8.5.1.9 由于采用复合地基的建筑物沉降观测资料较少，一直沿用天然地基的沉降计算经验系数。各地使用对复合土层模量较低时符合性较好，对于承载力提高幅度较大的刚性桩复合地基则出现计算值小于实测值的现象。《建筑地基基础设计规范》GB 50007修订组通过对收集到的全国31个CFG桩复合地基工程沉降观测资料分析，得出地基的沉降计算经验系数与沉降计算深度范围内压缩模量当量值的关系。

8.5.1.10 振冲碎石桩对不同性质的土层分别具有置换、挤密和振动密实等作用。对黏性土主要起到置换作用，对砂土和粉土除置换作用外还有振实挤密作用。在以上各种土中都要在振冲孔内加填碎石回填料，制成密实的振冲桩，而桩间土则受到不同程度的挤密和振密。桩和桩间土构成复合地基，使地基承载力提高，变形减少，并可消除土层的液化。在中、粗砂层中振冲，由于周围砂料能自行塌入孔内，也可以采用不加填料进行原地振冲加密的方法。这种方法适用于较纯净的中、粗砂层，施工简便，加密效果好。

沉管砂石桩是指采用振动或锤击沉管等方式在软弱地基中成孔后，再将砂、碎石或砂石混合料通过桩管挤压入已成的孔中，在成桩过程中逐层挤密、振密，形成大直径的砂石体所构成的密实桩体。沉管砂石桩用于处理松散砂土、粉土、可挤密的素填土及杂填土地基，主要靠桩的挤密和施工中的振动作用使桩周围土的密度增大，从而使地基的承载能力提高，压缩性降低。

国内外的实际工程经验证明，不管是采用振冲碎石桩、还是沉管砂石桩，处理砂土及填土地基的挤密、振密效果都比较显著，均已得到广泛应用。振冲碎石桩和沉管砂石桩用于处理软土地基，国内外也有较多的工程实例。但由于软黏土含水量高、透水性差，碎(砂)石桩很难发挥挤密效用，其主要作用是通过置换与黏性土形成复合地基，同时形成排水通道加速软土的排水固结。碎(砂)石桩单桩承载力主要取决于桩周土的侧限压力。由于软黏土抗剪强度低，且在成桩过程土中桩周土体产生的超孔隙水力不能迅速消散，天然结构受到扰动将导致其抗剪强度进一步降低，造成桩周土对碎(砂)石桩产生的侧限压力较小，碎(砂)石桩的单桩承载力较低，如置换率不高，其提高承载力的幅度较小，很难获得可靠的处理效果。此外，如不经过预压，处理后地基仍将发生较大的沉降，难以满足建(构)筑物的沉降允许值。工程中常用预压措施(如油罐充水)解决部分工后沉降。所以，用碎(砂)石桩处理饱和软黏土地基，应按建筑结构的具体条件区别对待，宜通过现场试验后再确定是否采用。据此本条指出，在饱和黏土地基上对变形控制要求不严的工程才可采用砂石桩置换处理。

8.5.2 水泥土搅拌桩复合地基

8.5.2.1 因成桩困难，水泥土搅拌桩复合地基不适用于含大孤石或障碍物较多且不易清理的杂填土、硬塑及坚硬的黏性土、密室的砂类土，以及地下水渗流影响成桩质量的土层。市政道路路基沉降一般较大，路床、褥垫层及水泥土搅拌桩上部变形协调能力强，水泥土搅拌桩复合地基较多用于处理欠固结土、填土，效果较好；房屋建筑工程对地基沉降要求较严，当采用水泥土搅拌桩复合地基于欠固结土时，可不考虑桩间土的承载作用，桩承受全部荷载。

8.5.5 桩网复合地基

8.5.5.1 一般规定

8.5.5.1.2 桩网复合地基适用于深厚淤泥、淤泥质土、新近填筑的深厚填土等有较大工后沉降的场地，以及液化粉细砂层等震陷地层的地基处理。这些场地地基，桩间土沉降较大。随着桩间土与桩沉降差的

加大，桩间土逐渐失去与桩共同作用承担上覆荷载的条件，托板以上的填土荷载、使用荷载渐渐通过土拱作用移至托板由桩承担。

对于硬壳层较薄的流塑状深厚软弱地基，河、沟、塘岸边，以及斜坡地基，由于地基的侧向约束较差，构筑物坡肩附近桩的抗水平力能力较差，但桩和地基所受水平作用力却较大，桩体上部易由于发生较大的水平变形导致失稳或破坏，宜采取增设托板联系梁等措施，提高桩承复合结构横向的稳定性能，必要时应进行桩网复合地基整体稳定性验算，并通过现场试验确定基适用性。

8.5.5.1.3 刚性桩竖向承载能力强而抗水平力作用的能力差，当柔性构筑物整体稳定性差时，若减小刚性桩的间距则桩网复合地基的性价比将迅速降低，而设置加筋层通常是提高柔性构筑物整体稳定性的经济而有效的措施。

8.5.5.1.4 刚性桩承担大部分或全部托板顶以上的填土荷载和使用荷载，桩的竖向抗压承载力、变形性能直接影响复合地基的承载力和变形性状，所以施工前应现场试桩和静载荷试验，确定桩、桩间土的竖向抗压承载力和P-S曲线，以作为设计依据。

8.5.5.2 设计

8.5.5.2.1 桩网复合地基设计应根据桩的设计承载力、桩型和施工可行性等因素选用经济合理的桩径。灌注桩桩径不宜小于300mm；预应力管桩直径一般为300mm~400mm。

桩的持力层应根据桩的承载力以及工程的使用功能、重要性，并考虑技术、经济、施工能力等综合确定，密实、中密、稍密的卵石土，砂砾土和塑性指标好含水率低的黏土、粉土等均可作为持力层。当持力层较浅时，桩宜选用端承型桩；持力层较深时，可选用摩擦型桩。持力层为全风化、强风化岩层时，应按摩擦端承型桩考虑。

8.5.5.2.3 桩穿过原位十字板剪切强度小于10kPa的深厚软土层时，应考虑桩的压曲影响，在验算桩体正截面受压承载力时乘以稳定系数进行折减。

工程实践中，使用托板桩复合地基的欠固结软土地基，工程竣工后，托板下及托板间地基土固结沉降，托板间托板以上荷载通过加筋材料的兜提作用全部转移到托板上，即托板以上荷载全部作用在托板上，托板和桩均承担单桩承担的地基处理面积上的荷载。

当托板间土层为承载力较高的原土如粉土、砂土等及已经地基处理有较高承载力及工后沉降较小的地基，即桩间土可以发挥作用，此时可考虑托板间土承载力的作用，取 $N_k = (q + \gamma H) S^2 - f_{ak} (S^2 - a^2)$ ，

f_{ak} 为托板间土层承载力特征值。荷载效应基本组合条件下，作用在托板上的应力值标准值 $P_s \square = N_k/a^2$ 。

8.5.5.2.5 当复合地基中的桩和桩间土的相对沉降较小时，桩间土能发挥作用承担一部分上覆荷载，属于复合地基的一种形式。当桩和桩间土有较大的相对沉降时，不应考虑桩间土分担荷载的作用，并计入负摩阻力对桩的影响。

当处理有明显工后沉降的地基时，桩间土的沉陷是一个较缓慢的发展过程，复合地基载荷试验的作用深度、作用范围和作用时间有限，复合地基载荷试验与桩网复合地基的实际情况相差甚远，不宜采用复合地基竖向抗压载荷试验确定桩网复合地基的承载力。桩网复合地基主要由桩承担上覆荷载，用桩的单桩竖向抗压载荷试验确定单桩竖向抗压承载力特征值，并结合桩间土的承载特性推算复合地基承载力更为恰当。

对于有工后沉降的桩网复合地基，载荷试验确定的单桩竖向抗压承载力取值应考虑负摩擦引起的下拉荷载。

8.5.5.2.7 正方形布桩并采用正方形托板时，设计计算较方便。三角形布桩一般采用圆形托板，采取等效边长参照正方形托板设计方法。等效边长 $a_0 = 0.866d_0$ (d_0 为圆形托板的直径(m))。

桩网复合地基的桩中心间距与桩径之比大多在5~8之间。当桩的竖向抗压承载力高时，应选较大的间距桩径比，但3m以上的布桩间距较少见。

8.5.5.2.8 当采用圆形托板时，可采用等面积原理换算成方形托板的等效边长。

1 托板面积与单桩处理面积之比宜取15%~25%。当桩径为300mm~400mm时,托板之间的最大净距宜取1.0m~2.0m。

2 托板宜采用现浇,以保证对中和桩顶与托板紧密接触。当采用预制托板时,一般在预制托板的底面设置略大于桩径的凹槽,安装时对中桩位。托板上边缘倒角作用是便于浇筑混凝土,利于模板拆除,并减少施工过程中边角的破损。

3 素混凝土灌注桩顶部宜插设3根~4根4m~6m的 $\Phi 16\sim 22$ 的三级钢筋,为使管桩与托板连接,管桩桩顶应采用C30微膨胀混凝土填芯,深度不小于2倍桩径且不小于1.2m。桩与托板连接钢筋埋入填芯混凝土的长度可略小于填芯深度。锚入托板不小于35倍钢筋直径,规格可按下列要求: $\Phi 300$ 桩用4根 $\Phi 14$ 、 $\Phi 400$ 桩用4根 $\Phi 16$ 、 $\Phi 500$ 桩用4根 $\Phi 20$ 、 $\Phi 600$ 桩用4根 $\Phi 25$ 。4根连接钢筋时,管桩填芯混凝土箍筋应为 $\Phi 6@200$;连接钢筋多于4根时,填芯混凝土箍筋应为 $\Phi 8@200$ 。

8.5.5.2.9 验算方形托板的抗弯及抗冲剪承载力时,可采用下列条文说明公式:

1 托板抗冲剪承载力应满足:

$$\eta V_s / (u_m h_0) \leq 0.7 \beta_{hp} f_t \quad \text{条文说明公式(3)}$$

$$V_s = [a^2 - (h_0 + d/2)^2] p_s \quad \text{条文说明公式(4)}$$

$$u_m = (d + h_0) \pi \quad \text{条文说明公式(5)}$$

$$p_s = p_k S^2 / a^2 \quad \text{条文说明公式(6)}$$

式中:

V_s ——在荷载效应基本组合条件下,作用在托板上的最大冲剪力标准值(kN);

p_s ——在荷载效应基本组合条件下,作用在托板上的压力标准值(kPa);

h_0 ——托板冲剪破坏锥体的有效高度,即托板底面至上层钢筋网的垂直距离(m);

β_{hp} ——冲剪高度影响系数,取1.0;

f_t ——混凝土轴心抗拉强度(kPa);

a ——托板边长(m);

d ——桩径(m);

η ——在荷载效应基本组合条件下,永久荷载和可变荷载组合的分项系数,取1.3;

p_k ——基础底面处的平均压力值;

S ——桩间距。

2 托板截面抗弯承载力应满足:

$$M \leq M_R \quad \text{条文说明公式(7)}$$

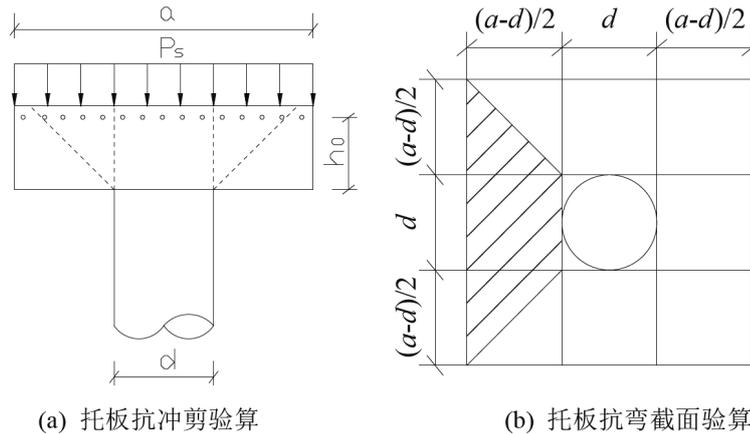
$$M = \eta p_s d [(a-d)/2]^2 / 2 + \eta p_s [(a-d)/2]^3 \times (2/3) \quad \text{条文说明公式(8)}$$

式中:

M_R ——托板截面抗弯承载力(kN·m);

M ——在荷载效应基本组合条件下,在桩边缘处截面的弯矩设计值(kN·m)。

3 计算配筋率小于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010规定的最小配筋率时,应按最小配筋率配筋,最小配筋率为0.2%和中 $45 f_t / f_y$ 的较大值。



条文说明图 1 托板计算示意图

8.5.5.2.10 方案设计和初步设计时，托板以上填土厚度可取托板之间最大净间距的1.5倍。

8.5.5.2.11 在道路工程中，路床直接承受路面结构和汽车荷载，是汽车动荷载的重要作用范围，必须具有较高的强度和抗变形能力、良好的稳定性和整体性。当路床底面到托板的填土设计高度不足时，土拱下部土体易在汽车动荷载、地下水位变化、路堤土体蠕变等因素作用下脱落，造成土拱顶面上移，导致路基路面结构的强度和抗变形能力不足，路面结构反复变形而容易疲劳破坏，或者桩发生较大的向上刺入变形，导致路面出现波浪变形，严重时甚至造成土拱失效，路基路面严重破坏。

因此，为确保土拱稳定地发挥作用，最小填土设计厚度从托板顶算至路床底面。

8.5.5.2.12 加筋材料设计抗拉强度对应应变率宜为4%~6%，蠕变应变率应小于2%，累计延伸率应小于极限抗拉强度对应延伸率的70%。

加筋材料具有铺设简便、造价便宜、材料性能适用性好等特点，可采用土工格栅、复合型土工格栅、土工格室、高强土工布、复合土工布等。宜选用尼龙、涤纶、聚酯材料的经编型、高压聚乙烯和交联高压聚乙烯材料等拉伸型，或该类材料的复合土工材料。

热压型聚苯烯、低密度聚乙烯等材料制成的土工格栅强度较低、延伸性大、蠕变性明显，不宜采用。玻纤土工格栅虽然强度很高，但是破坏应变率较小，一般也不适用。

8.5.5.2.13 当桩间土发生较大沉降时，加筋层和桩间土可能脱开。为了避免垫层材料漏到加筋层之下，填料的最小粒径不应小于加筋体的孔径尺寸。如果加筋体的孔径较大，垫层材料粒径不能满足要求时，可在加筋层之上铺设土工布，或者采用复合型的土工格栅。

8.5.5.2.14 在计算柔性构筑物的沉降时可采用下列公式：

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad \text{条文说明公式(9)}$$

式中：

S ——柔性构筑物的沉降；

s_1 ——桩加固深度内土层压缩变形量；

s_2 ——桩加固深度以下土层压缩变形量；

s_3 ——托板以上垫层和填料的压缩变形量。

1 桩加固深度内土层压缩变形量 s_1 可按下式计算：

$$s_1 = \psi_p N_k l / E_p A_p \quad \text{条文说明公式(10)}$$

式中：

ψ_p ——桩体压缩经验系数，宜综合考虑刚性桩长细比、桩端刺入量，根据地区实测资料及经验确定；

N_k ——桩顶荷载(kN)，当桩穿过松散填土层、欠固结软土层时，应考虑负摩阻力的影响，计入桩侧负摩阻力引起的下拉荷载；

l_{\square} ——桩长(m)；

E_p ——桩体压缩模量(MPa)；

A_p ——桩截面积(m^2)。

2 桩加固深度以下土层压缩变形量 s_2 可按下式计算：

$$s_2 = \psi_{s2} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i l_i}{E_{si}} \quad \text{条文说明公式(11)}$$

式中：

ψ_{s2} ——桩加固深度以下土层压缩变形量计算经验系数，按当地实测资料及经验确定；

Δp_i ——平均附加应力增量(kPa)；

l_i ——第*i*层岩土厚度(mm)；

E_{si} ——第*i*层土的平均附加应力增量(kPa)。

3 托板以上垫层和填料的压缩变形量 s_3 一般在施工期完成，在计算工后沉降时可忽略不计。在处理松散填土层、欠固结软土层等有明显工后沉降的地基时，因桩间土发生较大工后沉降时，填料层和桩间土可能脱开，由此产生的填料层变形不可忽略，可按下列公式计算：

$$s_3 = \Delta(S - a)(S + 2a)/2S^2 \quad \text{条文说明公式(12)}$$

式中：

Δ ——加筋体的下垂高度(m)，可取桩间距的1/10，最大不宜超过0.2m。

8.5.5.3 施工

8.5.5.3.1 在石灰岩地区、孤石和障碍物较多的地层、存在较厚密实砂层等坚硬隔层，以及从松软到坚硬地层突变等地层情况下，不宜采用打入法施工。

8.5.6 多元复合地基

8.5.6.1 一般规定

8.5.6.1.1 本节涉及的多元复合地基指由两种不同的竖向增强体（桩体）处理形成的复合地基，本节只对两种桩型与土体所形成的复合地基进行了规定，两种以上桩型与土体所形成的复合地基设计、施工与检测应通过试验确定其适用性和设计、施工参数。

多元复合地基，亦称为“组合型复合地基”或“多桩型复合地基”，常见的主要是采用刚性长桩与刚性桩、半刚性桩或柔性短桩联合加固地基，分别发挥各自桩型的优势，既可以通过柔性短桩减少浅层的应力集中，又可以通过刚性长桩减小深层的沉降，比较符合荷载作用下地基中的应力场和位移场特性。

8.5.6.1.2 本条为多元复合地基的设计原则。采用多元复合地基处理，一般情况下场地土具有特殊性，采用一种增强体处理后达不到设计要求的承载力或变形要求，而采用一种增强体处理特殊性土，减少其特殊性的工程危害，再采用另一种增强体处理使之达到设计要求。

多元复合地基的工作特性，是在等变形条件下的增强体和地基土共同承担荷载，必须通过现场试验确定设计参数和施工工艺。

工程中，由于土性的差异，加之不同桩型的施工工艺不同，不同的施工顺序会导致不同的挤土效果。因此，对施工扰动敏感的土层，应充分考虑后施工桩（尤其是挤土工艺桩）对已施工增强体或桩体承载力的影响，必要时应通过试验确定方案的适应性。

8.6 既有建筑地基基础加固

8.6.1.1 本条是对地基基础加固的设计、施工、质量检测的总体要求。既有建筑使用后地基土经压密固结作用后，其工程性质与天然地基不同，应根据既有建筑地基基础的工作性状制定设计方案和施工组织设计，精心施工，保证加固后的建筑安全使用。

8.6.1.3 邻近新建建筑对既有建筑产生影响时，改变了既有建筑地基基础的工作条件，一方面应在邻近新建建筑设计时对既有建筑地基基础的原设计进行复核，同时在邻近新建建筑自身的结构设计时应对其长期荷载作用的荷载取值、变形条件考虑既有建筑的作用。不满足时，应优先采取调整邻近新建建筑的规划设计、新建地下工程施工方案、隔离地基应力和变形等对既有建筑的保护措施，需要时应进行既有建筑地基基础或上部结构加固。

8.6.1.4 进行结构加固的工程或改变上部结构功能时对地基的验算是必要的，需进行地基基础加固的工程均应进行地基计算。既有建筑因勘察、设计、施工或使用不当，增加荷载，遭受邻近新建建筑、深基坑开挖、新建地下工程或自然灾害的影响等可能产生对建筑物稳定性的不利影响，应进行稳定性计算。既有建筑地基基础加固或增加荷载时，尚应对基础的抗冲、剪、弯能力进行验算。

8.6.1.5 在选择地基基础加固方案时，本条强调应根据所列各种因素对初步选定的各种加固方案进行对比分析，选定最佳的加固方法。

大量工程实践证明，在进行地基基础设计时，采用加强上部结构刚度和承载力的方法，能减少地基的不均匀变形，取得较好的技术经济效果。因此，在选择既有建筑地基基础加固方案时，同样应考虑上部结构、基础和地基的共同作用，采取切实可行的措施，既可降低费用，又可收到满意的效果。

8.6.1.6 地基基础加固使用的材料，包括水泥、碱液、硅酸钠以及其他胶结材料等，应符合环境保护要求，根据场地类别不同加固方法形成的增强体或基础结构应符合耐久性设计要求。

8.6.1.7 既有建筑地基基础加固的施工，一般来说，具有技术要求高、施工难度大、场地条件差、不安全因素多、风险大等特点，本条特别强调施工人员应具备较高的素质。施工过程中除了应有专人负责质量控制外，还应有专人负责严密的监测，当出现异常情况时，应采取果断措施，以免发生安全事故。

8.6.2 设计

8.6.2.1 托换加固设计

8.6.2.1.1 托换加固工程的设计应根据工程的结构类型、基础形式、荷载情况以及场地地基情况进行方案比选，选择设计可靠、施工技术可行且安全的方案。

托换技术适用于既有建筑物的加固、增层或扩建，以及受修建地下工程、新建工程和深基坑开挖的影响的既有建筑物的地基处理和基础加固。

8.6.2.1.2 托换加固是在原有受力体系下进行，其实施应按上部结构、基础、地基共同作用，按托换地基与原地基变形协调原则进行承载力、变形验算。为保证工程安全，当既有建筑沉降、倾斜、变形、开裂已出现超过国家现行有关标准规定的控制指标时，应采取相应处理措施，或制定适用于该托换工程的质量控制标准。

8.6.2.1.3 整体托换加固，应在上部结构满足整体托换要求条件下进行，并进行必要的计算分析。

8.6.2.1.4 局部托换加固的受力分析难度较大，确定局部托换加固的范围以及局部托换的位移控制标准应考虑既有建筑的变形适应能力。

8.6.2.1.6 锚杆静压桩是锚杆和静压桩结合形成的桩基施工工艺。它是通过在基础上埋设锚杆固定压桩架，以既有建筑的自重荷载或配重作为压桩反力，用千斤顶将桩段从基础中预留或开凿的压桩孔内逐段压入土中，再将桩与基础连接在一起，从而达到提高基础承载力和控制沉降的目的。

8.6.2.2 纠倾加固设计

8.6.2.2.1 迫降纠倾与建筑物特征、地质情况、采用的迫降方法等有关，因此迫降的设计应围绕几个主要环节进行：选择合理的纠倾方法；编制详细的施工工艺；确定各个部位迫降量；设置监控系统；制定实施计划。根据选择的方法和编制的操作规程，做到有章可循，否则盲目施工往往失败或达不到预期的效果。

由于纠倾施工会影响建筑物，因此强调了对主体结构不应产生损伤和破坏，对非主体结构的裂损应为可修复范围，否则应在纠倾加固前先进行加固处理。纠倾后应防止出现再次倾斜的可能性，必要时应对地基基础进行加固处理。对于纠倾过程可能存在的结构裂损、局部破坏应有加固处理预案。

纠倾加固施工过程中可能出现危及安全的情况，设计时应应急预案。过量纠倾可能会产生结构的再次损伤，应该防止其出现，设计时必须制定防止过量纠倾的技术措施。

8.6.2.2.4 地基应力解除法的要点是通过局部“应力解除”实现地基持力层的“二均化”，即基底应力的均化和两侧地基土变形模量的均化，从而兼收纠偏与限沉的双重效果。这些已在模型试验、数值模拟和工程实践中得到证实。重要的是严格保护基底直接持力层或砂垫层不受扰动，尽量保护沉降较大一侧的地基土不受扰动。

应力解除的措施有很多，根据工程实践总结，比较易行有效的主要有：钻孔中短期降低水位法；掏土机具上拔时吸拔孔中土的方法等。

建筑物纠偏处理，是一项技术难度较大的工作。纠偏中，沉降与倾斜的变化取决于地基基础与上部结构的共同作用等许多不确定因素，故强调应在严密的监测下进行纠偏施工，以确保被纠建筑物的安全。如有相邻建筑物时，也应注意监测，确保安全。

8.6.3 加固施工

8.6.3.1 托换加固工程对既有建筑结构变形、裂缝、基础沉降进行监测，是保证工程安全、校核设计符合性的重要手段，必须严格执行。

8.6.3.3 托换加固施工中可能对持力土层产生扰动，出现基础侧移等情况，应采取必要的工程措施。

8.6.4 纠倾施工

8.6.4.1 迫降纠倾是一种动态设计信息化施工过程，因此沉降观测是极其重要的，同时观测结果应反馈给设计，以调整设计，指导施工，这就要求设计施工紧密配合。迫降纠倾施工前应做好详细的施工组织设计，并详细勘察周围场地现状，确定影响范围，做好查勘记录，采取措施防止出现对相邻建筑物和设施可能产生的影响。

8.6.5 质量检验与监测

8.6.5.6 基槽开挖和施工降水等可能对周边环境造成影响，为保证周边环境的安全和正常使用，应对周边建筑物、管线的变形及地下水位的变化等进行监测。

8.6.5.7 托换加固要改变结构或地基的受力状态，施工时应应对建筑的沉降、倾斜、开裂进行监测。

8.6.5.8 纠倾加固施工，当各点的顶升量和迫降量不一致时，可能造成结构产生新的裂损，应对结构的变形和裂缝进行监测，根据监测结果进行施工控制。

8.7 道路排水工程地基处理要点

8.7.1 市政工程投资大，其中地基处理费用往往占比较高。地基处理设计需要综合考虑工程特点、本地区地基处理经验、其他地区和行业先进的地基处理方法等综合必选确定。

8.7.1.4 不同的地基处理方式易产生不均匀沉降，导致路面开裂、下沉，地基处理设计中应做好过渡。

8.7.2 参照武汉市市政工程设计研究院有限责任公司《武汉市主城区桥头跳车情况调查及综合处置研究成果及分析报告》，武汉市较为常用的地基处理方法有换填（垫层）、抛石挤淤、水泥土搅拌桩复合地基、刚性桩复合地基（包括CFG桩）、真空——堆载联合预压法等：

1 换填：对路基下厚度不大的软土（一般厚度小于3m），换填处理效果最佳，工期短，费用低，可有效减少或基本消除后期沉降。III级阶地上湖塘区的淤泥厚度一般不大，可采用此法。

2 抛石挤淤：对淤泥厚度不大于3m地段，若路堤高度在2m左右，可考虑此方法处理地基。需特别注意整体稳定性问题。

3 水泥土搅拌桩：若软土厚度大于3m，特别是路堤高度3m左右时，则建议深层处理，如水泥土搅拌桩加固。长期追踪调查：青菱立交采用水泥土搅拌桩加固取得了较好效果。江汉六桥汉口岸采用水泥土搅拌桩加固地基，尽管仍有少量沉降，但沉降很小。但对深厚软土，特别是表层含水量大（ $w>70\%$ ）、塑性指数较高（ $I_p>25$ ）淤泥，水泥土搅拌桩的处理效果较差，水泥土强度无法满足要求，此种情况下应慎重使用，可选择刚性桩复合地基。其次，应该注意水泥土搅拌桩的施工质量影响。

若路堤较高、表层淤泥、淤泥质土强度低，则最外侧坡脚处1排~2排搅拌桩宜咬合。

4 固结排水法：工期容许时可采用此法处理深厚软土。排水固结法排出淤泥中水分，降低含水量，处理效果较好，可有效减少后期沉降。武汉市四新地区深厚软土路基处理已经有过大面积应用，东西湖污水处理厂采用此法也取得良好效果。

5 气泡混合轻质土在武汉市常青路高架桥的引道使用，有效减少了路基沉降，保护了3号线地铁安全，取得良好效果。

为减少市政工程的路基处理费用、保护环境，对表层的填土、软土、含水量大的黏性土处理，应优先采用原地压实、结合材料浅层拌合（呛灰）、原位固化等手段。

本文件的图4及图10引自国家建筑标准设计图集15MR301《城市道路——软土地基处理》。部分地基处理要求亦参考该图集。

8.7.2.5 复合地基路堤整体抗剪稳定性计算中的复合地基内滑动面上抗剪强度计算公式(35)参照《公路路基设计规范》JTG D30-2015。

《基坑工程技术规程》DB42/T159根据本地区经验提供了通过28d强度试验确定的水泥石抗剪强度计算公式，根据该文件采用的计算公式得到的水泥石抗剪强度明显低于按《公路路基设计规范》JTG D30-2015推荐公式计算结果。

鉴于《公路路基设计规范》JTG D30-2015推荐公式已经有一定经验验证，考虑到路基可能破坏模式，本文件在《公路路基设计规范》JTG D30-2015推荐公式基础上，对桩体部分的抗剪强度结合地方经验乘以工作系数进行折减，淤泥的工作系数取低值，其它软弱土取高值。待今后进一步本地区积累经验后，对该系数进行调整。

9 桩基础

9.1.1 桩基设计时桩型选择及其构造要求与桩的分类及其使用范围有关，本文件按桩的受力情况、使用功能、成桩方法以及桩截面大小四种情况分类。

工程实践表明成桩的挤土效应对桩的承载力、成桩质量及环境往往产生不利影响，是关系桩基设计可行性和可靠性的重要因素。按成桩的挤土情况分为非挤土桩型，如钻孔灌注桩和机械挖孔桩等；挤土桩型，如静压或打入式预制桩等；部分挤土桩，如预成孔后压入或打入预制桩、开口钢管桩、长螺旋钻孔压灌混凝土桩、螺杆桩等三类。

9.1.2 《武汉市深厚软土区域市政与建筑工程地面沉降防控技术导则》5.4.1：重点防控区内的住宅、公共建筑的基础型式不应采用天然浅基础、砂垫层、搅拌桩复合地基，应采用桩基础，桩长应穿透软土层。

编制组认为：对轻型建（构）筑物还是可以考虑天然浅基础、砂垫层、搅拌桩复合地基，不能完全否定。

9.1.3 除本条规定条件外，尚应注意收集地质条件相同或相邻建筑的桩基静载试验资料。

9.1.4 关于桩的设计原则：

3 本条对桩端持力层选用作了原则性规定。当建筑体型复杂、荷载不均、对变形要求严格时，不宜采用置于高压缩性土层中的摩擦桩的规定，其目的是为了控制桩基变形。

4 对于同一结构单元内的桩基础，规定不应选用压缩性差异较大的土层作为桩基持力层，和不宜采用部分摩擦型桩和部分端承型桩，是因为桩基差异沉降不易控制。

5 当承台底地基土承载力较高而桩基为摩擦型桩时，基础荷载首先由刚度大的桩基承受，当桩顶产生沉降时，基础荷载的一部分将转移至承台地基，最终经过基础沉降协调使桩土共同受载。当承台底面以下存在液化土、高灵敏软土、欠固结土、新填土，或可能出现震陷、降水、沉桩过程产生土体隆起时，不应考虑承台底土的抗力。

6 在沉桩有挤土、振动效应时（尤其是饱和软土中设置挤土桩），如设计和施工不当，就会产生明显的挤土效应，导致邻桩断裂或缩颈（特别是未凝固的灌注桩），地面隆起桩体上抬，从而降低承载力增加桩基沉降。挤土效应和振动效应有时还会损坏邻近建筑物和地下管线等设施。沉桩的振动和噪声也会对周边居民区、学校、医院等环境敏感点造成影响，这也是桩基设计选型的重要因素。

7 挤土灌注桩由于成桩过程中的挤土效应，产生桩体受损，地面上隆、桩体上浮等较为普遍，故对其使用范围作了严格的限制，在淤泥、淤泥质土及 70kPa 的场地仅局限于多层住宅桩基。

尤其当桩身穿越淤泥，淤泥质土或 70kPa 饱和软土层时，应进行成桩试验，因上述软土的流变性容易使桩体产生严重缩颈乃至断桩的质量事故。此外挤土灌注桩当穿越上述土层时，应当采取减慢拔管速度、保证管内混凝土高度和适当增加桩顶混凝土灌注高度等提高桩体混凝土凝固前抵抗软土回缩挤压能力的综合措施，以保证桩身混凝土灌注质量。

8 对高度超过 50m 的高层建筑灌注桩基承台下存在淤泥，淤泥质土或 $f_{ak} < 60\text{kPa}$ 饱和软土时，应对上述软土进行换填或加固，目的是为了提提高软土地地高层建筑桩基的整体性和抗震性能。

9 《武汉市深厚软土区域市政与建筑工程地面沉降防控技术导则》5.4.6：重点防控区内的高层建筑不应采用单桩承台基础，不宜采用两桩承台基础。

编制组认为：高层建筑采用单桩、两桩承台与是否在重点防控区内关系不大，只要承台弱轴方向有可靠拉结即可。一般高层建筑都有地下室，对承台的拉结就更没太大问题。

9.1.7 在桩周土沉降引起桩侧负摩阻力区域进行试桩时，宜采取套筒或其他有效措施隔绝中性点以上部分的侧摩阻力；当试桩过程中不能隔绝中性点以上部分的侧摩阻力时，基桩的竖向承载力特征值取值时应在试桩结果中扣除该部分摩阻力贡献。

9.2 桩基构造要求

9.2.1 本条对桩端进入持力层的最小深度提出了具体要求。

1 桩端进入持力层的最小深度考虑了各类土层中成桩的可能性和尽量提高其端阻力的发挥水平。

当持力层较薄且桩端下存在软弱土层时，如桩端进入持力层过深反而会降低承载力。当持力层较厚且施工条件许可时，宜利用端阻力随桩端进入持力层深度增加而增大的特性，使桩端进入持力层深度达到临界深度以提高桩基的承载力。

3 当桩端持力层下存在软弱下卧层时，对桩端下持力层的厚度作了规定，并提出满足承载力和变形的要求。这是因为存在软弱下卧层时，桩基承载力受到进入持力层深度、持力层厚度及软弱下卧层承载力、变形的双重制约。

4 各类预制桩采用压桩力或锤击贯入度与桩长“双控”沉桩时，当设计桩端以下无软弱下卧层时，宜以压桩力和贯入度控制为主，桩长为辅的原则，这是因为沉桩中土层被挤密后（尤其在砂类土层中），往往达不到预期的沉桩深度，如设计人员一味追求以桩长控制，则桩身易在超压或过度锤击的施工过程中损坏。如果对沉桩深度存有疑惑可作补充勘察。

9.2.2 桩的主筋应经计算确定是指承载力要求高的端承型桩、抗拔桩、抗水平力和抗弯桩以及预制桩的主筋应经计算确定。

9.2.5 桩身配筋的长度要求：桩基承台下存在淤泥或淤泥质土层时，对于挤土型灌注桩，为避免成桩施工时在软土与其下土层界面处产生断桩，以及受邻桩施工挤压时桩身缩颈等质量问题，使桩基配筋部分嵌固于相对较好的土中，提高桩基侧向水平抗力，因此要求将桩基纵向钢筋穿过上述软土土层，且进入下部土层不小于 1m。

9.3 单桩承载力确定

9.3.2 为保证桩基设计的可靠性，规定建筑物单桩竖向承载力特征值应采用竖向静载荷试验确定。

确定单桩竖向承载力时，应重视类似工程、邻近工程的经验。

为确保大直径嵌岩桩的设计可靠性，必须确定桩底一定深度内岩体性状。此外，在桩底应力扩散范围内可能埋藏有相对软弱的夹层，甚至存在洞隙，应引起足够注意。岩层表面往往起伏不平，有隐伏沟槽存在，特别在碳酸盐类岩石地区，岩面石芽、溶槽密布，此时桩端可能落于岩面隆起或斜面处，有导致滑移的可能，因此，规范规定在桩底端应力扩散范围内应无岩体临空面存在，并确保基底岩体的稳定性。实践证明，作为基础施工图设计依据的详细勘察阶段的工作精度，满足不了这类桩设计施工的要求，因此，当基础方案选定之后，尚应根据桩位及要求专门性的桩基勘察，以便针对各个桩的持力层选择入岩深度、确定承载力，并为施工处理等提供可靠依据。

9.5 减沉复合疏桩基础

9.5.1 软土地区多层建筑，若采用天然地基，其承载力许多情况下满足要求，但最大沉降往往超过20 cm，差异变形超过允许值，引发墙体开裂者多见。

对于减沉复合疏桩基础应用中要注意把握三个关键技术，一是桩端持力层不应是坚硬岩层、密实砂、卵石层，以确保基桩受荷能产生刺入变形，承台底地基土能有效分担份额很大的荷载；二是桩距应在5~6d以上，使桩间土受桩牵连变形较小，确保桩间土较充分发挥承载作用；三是由于基桩数量少而疏，成桩质量可靠性应严加控制。

9.5.2 软土地基减沉复合疏桩基础的设计应遵循两个原则，一是桩和桩间土在受荷变形过程中始终确保两者共同分担荷载，因此单桩承载力宜控制在较小范围，桩的横截面尺寸一般宜选择 $\phi 200 \sim \phi 400$ （或 $200 \times 200 \sim 300 \times 300 \text{mm}$ ），桩应穿越上部软土层，桩端支承于相对较硬土层；二是桩距 $s_a > 5d \sim 6d$ ，以确保桩间土的荷载分担比足够大。减沉复合疏桩基础承台型式可采用两种，一种是筏式承台，多用于承载力小于荷载要求和建筑物对差异沉降控制较严或带有地下室的情况；另一种是条形承台，承台面积系数（与首层面积相比）较大，多用于无地下室的多层住宅。桩数除满足承载力要求外，尚应经沉降计算最终确定。

10 市政工程地基基础设计

10.1.1 小区内的道路、排水等设施参照执行。小区行车道路技术指标宜参照市政部分城市支路要求；道路与地下管线需统筹考虑、协同设计。

10.1.2 道路中桥梁与路堤相邻处产生不均匀沉降是普遍现象，桥台下大部分为桩基，沉降小，路堤一般采用天然地基或复合地基，易产生比桥台大的沉降导致相接处产生不均匀沉降。

10.2 道路工程

10.2.2 《公路路基设计规范》JTG D30-2015对路堤堤身稳定性、路堤和地基的稳定性计算提供了较成熟的计算图示及公式（3.6节、7.7节及条文说明），可以参考使用。需说明的是，不同计算公式采用的抗剪强度指标不同。武汉市土的抗剪强度指标多为直剪或固结快剪，故本文件推荐采用有效固结应力法。有静力触探、十字板剪切指标时，可采用改进总强度法验算；有三轴有效剪切指标时，采用简化Bishop法、Janbu法。

路堤填料的物理力学指标宜根据试验确定。无试验资料时，可按条文说明表3选用。

条文说明表 3 路堤填料物理力学指标

填料种类	重度 γ (kN/m^3)	直接快剪黏聚力 c (kPa)	直接快剪内摩擦角 φ_k ($^\circ$)
细粒土	19~20	15~25	15~25
砂类土	19~20	0~5	30~35
碎石类、砾石类土	21~22	5~10	35~40
不易风化的块石类土	21~22	5~10	40
基层、底基层	23	40	40
面层	24	40	40

注：1 填料重度可根据填料性质和压实度等情况适当修正；
2 全风化岩石、特殊性土的抗剪强度指标宜根据试验确定；
3 路堤高度小于6m时宜取小值。

在软土天然地基上快速填土，软土一般来不及充分固结，路基填筑高度受到软土强度、硬壳层厚度、地层结构以及填料性质等影响。不考虑行车荷载的填筑临界高度最好先通过现场试验或者参照既有经验确定，无条件现场试验时，可通过圆弧法检算确定。均值厚层软土地基的填筑临界高度可根据费兰纽斯（Fellenius）公式估算：

$$H_c = 5.52C_u / \gamma$$

条文说明公式（13）

式中：

H_c ——临界高度(m)；

C_u ——地基软土的不排水抗剪强度(kPa)；

γ ——填土的重度(kN/m^3)。

10.2.3 通过分析市政道路、公路、上海市道路地方标准及铁路规范对容许工后沉降的规定，城市道路与公路规范对路基工后沉降容许值基本相当，《武汉市深厚软土区域市政与建筑工程地面沉降防控技术导则》较严格，上海市地方标准更严格，铁路规范由于车速高及车辆的特殊性等行业特点，其限值仅作参考，不作比较；路基工后沉降容许值限值越小，行车舒适性越好，桥头跳车越不明显，但经济性越差；上海作为经济发达地区，工后沉降容许值要求比行业标准严格，本着宽严适度的原则，本文件采用《武汉市深厚软土区域市政与建筑工程地面沉降防控技术导则》指标，介于行业标准与上海市地标之间。

1 《城市道路路基设计规范》(CJJ 194-2013)工后变形要求见条文说明表4。

条文说明表 4 路基容许工后沉降

道路等级	工程位置		
	桥台与路堤相邻处	涵洞、通道处	一般路段
快速路、主干路	$\leq 0.10\text{m}$	$\leq 0.20\text{m}$	$\leq 0.30\text{m}$
次干路、支路	$\leq 0.20\text{m}$	$\leq 0.30\text{m}$	$\leq 0.50\text{m}$

2 《公路路基设计规范》(JTGD30-2015)工后变形要求见条文说明表5。

条文说明表 5 容许工后沉降(m)

公路等级	工程位置		
	桥台与路堤相邻处	涵洞、通道处	一般路段
高速公路、以及公路	≤ 0.10	≤ 0.20	≤ 0.30
作为干线的二级公路	≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.50

3 《武汉市深厚软土区域市政与建筑工程地面沉降防控技术导则》工后变形要求见条文说明表6。

条文说明表 6 容许工后沉降

工程位置	桥台与路堤相邻处	涵洞、箱涵或通道处	一般路段
快速路、主干路	$\leq 0.1\text{m}$	$\leq 0.2\text{m}$	$\leq 0.2\text{m}$ (0.30m)
次干路、支路	$\leq 0.2\text{m}$	$\leq 0.3\text{m}$	$\leq 0.3\text{m}$ (0.5m)

注：括号内为《城市道路路基设计规范》CJJ194-2013指标

4 上海市地方标准《道路路基设计规范》(DG/TJ 08-2237-2017)工后变形要求见条文说明表7。

条文说明表 7 容许工后沉降

道路等级		高速公路、一级公路、城市快速路、城市主干路	其它道路
工程位置	涵洞、箱涵、通道及桥台与路堤相邻处	$\leq 10\text{cm}$	$\leq 10\text{cm}$
	一般路段	$\leq 20\text{cm}$	$\leq 30\text{cm}$

10.2.4 软土地基上拓宽改建的道路，新增拓宽部分路堤的荷载会对已稳定老路的地基产生影响，造成附加沉降，引起路面结构层的应力增大，导致路面开裂破坏，对路面平整度也会产生影响，所以应对差异沉降进行控制。根据国内已有拓宽高速公路的实践经验，《公路路基设计规范》JTG D30-2015规定了拓宽路堤的路拱横坡度工后增大值不应大于0.5%的要求，实际上就是对横向差异沉降的控制。

10.2.5 不同地基处理方法之间过渡处理措施可见8.7.2.5第6款及8.7.2.7条第7款。

10.2.6 影响土的压实特性的三大因素为土类、含水率、击实功能。细粒土的最佳含水率大约比塑限高2%。

填石路基压实质量控制标准参见《城市道路路基设计规范》CJJ 194-2013表4.6.4。

10.2.7 公路交通行业多采用CBR控制填料强度，武汉市以往对路床和路基填料强度要求不多。近年来多个市政道路的填料强度试验反映武汉市黏性土的CBR强度不足。2023年武汉市政工程设计研究院有限责任公司分别在东湖高新、武昌区、青山区、武汉经济技术开发区、东西湖区等地取样进行了21组试验，土质多为老黏性土，少量为一般黏性土，CBR试验值多在2.3~3.6，平均值约3.0。

由于《城镇道路工程施工与质量验收规范》路基填料强度CBR值标准高于道路路基规范标准，考虑工程验收及重载交通需求，支路路床的CBR值可按次干路标准提高。

10.2.8 本条中过渡段长度计算公式《公路路基设计规范》JTG D30-2015第3.3.7条。本条中所述压实度系按《公路土工试验规程》（JTG E40）重型击实试验所得最大干密度求得的压实度。

填方路基与桥梁、涵洞、通道相邻处，常有跳车现象，其主要原因有路基沉降（主要包括地基沉降、路基填土自身压缩沉降、区域性沉降）、排水不畅填土流失导致的桥头路基沉陷、桥台与台后填土连接处的刚度差异、桥台伸缩缝的破损等。为解决桥头跳车病害需采取多种措施进行综合防治，一般原则是：地基处治措施、台背路堤处治措施、过渡段路面处治措施、排水措施等相结合。与桥台衔接路堤段存在深厚软土时，地基处治措施推荐采用刚性桩复合地基，详见8.7.2.7条。

地基沉降控制可采用降低路堤高度、采用轻质材料减轻路堤自重、地基加固处理等措施；路基填土自身压缩沉降可通过选用合理的台后填料及控制压实度等措施控制；目前在武汉后湖片区出现区域性的10cm~20cm的沉降，最大沉降达30cm~40cm，叠加了大面积沉降后的桥台背后填土沉降值更大。常青路高架桥在范湖落地引道最大高度近6m，采用泡沫轻质混凝土填筑路堤，后期沉降较小，一年后沉降观测值仅仅10.02mm且趋于稳定，有效保护了地铁3号线。

参考上海市地标《道路路基设计规范》（DG/TJ 08-2237-2017）第4.5.6-2条“跨河桥梁的台后最大填土高度不宜大于3.5m，跨线桥及立交匝道桥梁等台后最大填土高度不宜大于2.5m。”；参考上海市地标《地基基础设计标准》DGJ 08-11-2018第10.5.16条“设计中应考虑环境、取土条件、工期等因素，避免采用高填土桥台。市区及城镇的桥梁，宜尽量降低桥台高度。跨河桥梁的台后最大填土高度宜不大于3.5m，跨线桥及立交匝道桥梁等台后最大填土高度应不大于2.5m”。

参考中南地区工程建设标准设计图集《市政过水箱涵》17ZZ01第118及第119页，箱涵为明涵（涵顶覆土厚度小于0.5m时），设置搭板。

图12、图13引自中南标《市政公用工程细部构造做法》17ZZ04，相关要求可参考相应图集。

10.3 给排水管涵工程

10.3.6 参考《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021第6.1.3条及《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332-2002第4.2.10条。建筑物抗浮稳定是控制建筑结构安全的重要因素之一，即使结构具有一定的安全性，但抗浮稳定性偏低，依然不能确保建筑工程在其全生命周期内的整体使用安全。因此，建筑物基础存在浮力作用时，必须进行建筑物抗浮稳定性验算，以保证建筑结构的安全。

10.3.15 参考《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332-2002第5.0.1条及上海市地标《地基基础设计标准》DGJ 08-11-2018第12.9.11条。由于管网工程涉及面广，沿线地质情况差异难免，埋深及覆土也多变，可能出现不均匀沉降，故圆管结构宜采用柔性连接，以适应各种不同因素产生的不均匀沉陷，并至少应该在地基土质变化处设置柔口。

10.3.17 参考《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332-2002第5.0.16条。本条对埋地管道各部位的回填土密实度要求进行了具体化，提高对管道结构的设计可靠度。

10.4 桥梁工程

10.4.4 参考《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008第3.1.3条、《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021 第5.1.1条。

10.4.5 参考《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2015 第3.1.7条、《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310-2019 第3.0.2条。

10.4.7 参考《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019 第6.1.5条、6.3.2条。深厚软土区，特别是表层有深厚淤泥时单桩抗弯、抗剪能力差，易失稳。

10.4.8 参考《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019 第6.1.6条。

《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093-2017第6.1.5条规定：对于地质复杂的重要桥梁，摩擦桩的容许承载力应通过试桩确定。该条款对端承桩或摩擦一端承桩没有要求。

武汉市大部分地段地质条件相对比较简单~较复杂，特别复杂的地质情况包括基岩持力层为强发育岩溶、断层破碎带等。武汉市市政工程桥梁设计依照《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363条款要求实施，现有工程实践证明桥梁安全能够得到保证。

10.4.9 参考《城市道路与轨道交通合建桥梁设计规范》CJJ 242-2016 第6.3.2条、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019 第6.1.3条及《地基基础设计标准》DGJ 08-11-2018第10.5.7条。

11.4.10 参考《城市道路路基设计规范》CJJ 194-2013 第4.7.5条。

10.4.11 本条桩的构造参考《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019 第6.2.1条、6.2.2条。

10.4.13 本条桩的布置和中距参考《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019 第6.2.6条。

10.4.14 承台和横系梁的构造参考《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019 第6.2.7条。

10.4.15 桩顶与承台、横系梁的连接要求参照《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019第6.2.8条。

10.5 隧道工程

10.5.1 隧道施工方法应根据环境条件、地质条件，结合隧道长度、断面尺寸、工期要求、设备条件、场地条件、造价等因素综合研究确定。软弱土中的隧道不宜采用浅埋暗挖法施工。如采用浅埋暗挖法施工时，应对隧道外软弱土体加固（如冻结法、管幕法等），加固范围及方法根据工程类比及计算确定。

10.5.2 地基变形要求

1 市政道路隧道沉降控制标准参照《城市道路路基设计规范》取值；其它工程可参照本条执行。如隧道的使用功能有特殊要求时，应按相应的规定取值。

2 隧道底板位于软土及互层土中，有可能造成运营期沉降时，可采用地表加固（搅拌桩、旋喷桩、袖阀管注浆等）或洞内注浆加固（袖阀管或钢管注浆）等措施，以提高周围地层的稳定性，减少隧道工后沉降。

3 武汉市部分底板位于软土之上的地铁隧道沉降较大（如2号线汉口火车站~范湖区间），后期处置较困难。条件容许时，尽可能调整隧道埋深将底板落在中~低压缩性土层上。

10.5.4 为确保盾构机顺利进出盾构井，一般须事先对洞口一定范围土体进行预加固，防止发生失稳坍塌、渗水或涌水。具体加固范围、技术方案应根据该处工程地质、水文地质及盾构机型等因素综合确定。结合武汉轨道交通盾构隧道的经验，一般盾构端头加固可参照条文说明表8执行。

条文说明表 8 盾构端头加固范围

分类	适用条件	端头加固、始发、接收方案	端头加固范围
I级阶地 非超深端头	适用于端头深度<24m	地面搅拌桩（旋喷桩）加固，水位降至隧道底1m以下。	纵向9m、上下左右各3m。
I级阶地 超深端头	适用于端头深度≥24m	方案（一）：地面“U”型素墙+封闭区搅拌桩（旋喷桩）+降水至隧道底1m以下。 方案（二）：地面搅拌桩（旋喷桩）加固+钢筋混凝土箱体或钢套筒平衡始发+钢套筒接收或水中接收。必要时降水井辅助降水。	加固长度为盾构主机长+2环管片，上下左右各3m。

10.5.5 顶管纵坡参照《综合管廊矩形顶管技术标准》T/CMEA14-2020。

10.6 管廊工程

10.6.1 本节适用于综合管廊、缆线管廊及电力隧道地基基础设计。

10.6.4 管廊属于狭长形结构，当地质条件复杂时，往往会产生不均匀沉降，使管廊结构产生内力。当能够设置变形缝时，尽量采取设置变形缝的方式来消除由于不均匀沉降产生的内力。当由于外界条件约束不能够设置变形缝时，应考虑地基不均匀沉降的影响。

10.6.6 本条规定参照了国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010第8.1.1条。由于地下结构的伸(膨胀)缝、缩(收缩)缝、沉降缝等结构缝是防水防渗的薄弱部位，应尽可能少设，故将前述三种结构缝功能整合设置为变形缝。

变形缝间距综合考虑了混凝土结构温度收缩、基坑施工等因素确定的，在采取以下措施的情况下，变形缝间距可适当加大，但不宜大于40m：

- 1 采取减小混凝土收缩或温度变化的措施；
- 2 采用专门的预加应力或增配构造钢筋的措施；
- 3 采用低收缩混凝土材料，采取跳仓浇筑、后浇带、控制缝等施工方法，并加强施工养护。

10.6.7 参考《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021第4.1.1条。

10.6.9 参考《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008第5.6节。

10.6.10 分别根据《建筑地基基础技术规范》DB42/242-2014第11.3节、《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011第8.5.2条提出。

工程桩先于基坑实施，基坑施工时应在工程桩周围对称、均匀挖土，严禁只在桩的单侧挖土，控制好挖土的分层厚度，避免挖土不规范导致土体侧移，挤压工程桩。

10.6.12 管廊基坑的回填应尽快进行，以免长期暴露导致地下水和地表水侵入基坑。

10.7 城市明渠工程

10.7.2 对于武汉软弱土地区，锚杆(索)应用较少，故本文件暂未将其列入。对于水平高压旋喷锚等新工艺，在武汉软弱土中的适用性还有待检验，有使用经验的区域可参考成功案例使用。

11 地基基础抗震设计要点

11.2 建筑场地

关于抗震场地划分

1 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002-2021扩大了危险地段严禁建造建筑范围，将丙类建筑纳入。中华人民共和国国务院令744号《建设工程抗震管理条例》自2021年9月1日起施行，其中第八条规定：建设工程应当避开抗震防灾专项规划确定的危险地段；确实无法避开的，应当采取符合建设工程使用功能要求和适应地震效应的抗震设防措施。

2 地震造成建筑的破坏，情况多种多样，大致可以分为三类，其一是地震动直接引起的结构破坏，其二是海啸、火灾、爆炸等次生灾害所致，其三是断层错动、山崖崩塌、河岸滑坡、地层陷落等严重地面变形导致。

3 抗震地段的划分应根据工程需要、地震活动情况(主要为烈度)及工程地质和地震地质条件三个条件综合判定，不应仅考虑地质、地形、地貌情况而忽略了前面两个前提条件，以免判定结果对工程建设造成不必要的影响。对软土，当抗震设防烈度为7度且等效剪切波速小于90m/s时，可参考《软土地区岩土工程勘察规程》JGJ 83-2011 6.2.1条划分为不利地段。

《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002-2021及《建筑抗震设计规范(2016年版)》GB 50011-2010中抗震不利地段均包括软弱土(淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的黏性土和粉土， $f_{ak} \leq 130\text{kPa}$ 的填土)。对抗震不利地段划分的等效剪切波速通常采用150m/s定量标准，但在某些情况下(市政工程道路排水项目、桩基础、厚度不大的软弱土直接覆盖在基岩等)容易引起争议。

同样的地层结构对不同建（构）筑物影响是不同的。武汉市抗震不利地段及危险地段的划分注意区分工程性质（建筑、市政工程）、地基基础（天然地基、桩基础）及软土厚度等因素，综合考虑对拟建工程的实质影响后判定。如深厚软土对道路建设特别是支路建设影响就基本上可以忽略。对抗震不利地段、危险地段的改建扩建工程同样需区别分析。

武汉市部分区域（如深厚软土区）属于软弱土地基，往往采取措施后可作为建筑场地。有避开要求的不利地段主要指下列地段：河岸和边坡边缘，故河道，暗埋的塘、浜、沟、谷，半填半挖地段以及由松散砂土、新近沉积黏性土构成的地段。当无法避开时建议设计应采取有效的抗震措施。

武汉市部分地段全新世饱和砂土直接覆盖在可溶岩上，存在地震时发生地面塌陷可能，但仅仅根据钻探成果及地层接触关系就判定抗震危险地段应慎重。场地存在空的洞（裂）隙是产生岩溶地面塌陷的必要条件。除钻探外，勘察应采用物探手段进一步查明钻孔之间的洞（裂）隙分布及充填情况，物探成果作为危险场地判定的进一步依据。

11.4 市政工程地基基础抗震设计要求

市政工程类别多，其抗震设计多有相应行业、专业规范规定。根据工程类别按照《建筑地基基础技术规范》DB42/242及相应规范执行。

城市道路工程按本地区抗震标准进行设防。

城市桥梁抗震设计按照《城市道路路基设计规范》CJJ 37、《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166等要求，参照《公路路基设计规范》JTG D30、《公路工程抗震规范》JTG B02、《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01等规范执行。

室外给水排水和燃气热力工程按照《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》GB 50032执行。

12 基坑与边坡

12.1 基坑工程

12.1.2.4 考虑到钢板桩在市政工程中大量使用，本文件对钢板桩设计及施工要求作出要求。

12.2 边坡工程

12.2.9 软土地区发生基坑事故较多，基坑破坏造成的经济及社会影响很大，支护变形控制及对周边环境风险程度高时，优先采用变形控制能力强的支护措施。

市政工程沟槽因其宽度往往小于基坑开挖深度，设计时可考虑支护结构对侧堆土压载作用的有利影响。长江大学等科研项目《基槽绿色支护技术与工程应用》提出基于夹持效应的被动土压力增大系数的取值方法，优化支护设计。

钢板桩支护因其施工速度快、可重复利用等优点而在市政工程沟槽开挖中广泛应用，但应特别注意沉桩、拔桩方式以及内支撑的架设、拆除等工序满足设计及规范要求。

12.2.10 1 城市渠道边坡工程的安全等级参考《建筑边坡工程技术规范》GB 50330相关条文，主要有以下几个原因：

1) 武汉城市明渠通常宽度不大、深度较小，且流速低，风浪小、水位变化幅度小，城市明渠岸坡不能简单等同于水利岸坡；

2) 城市渠道边坡不宜直接采用堤防、大坝类的规范、规定。堤防及大坝目前有现行设计规范，但其水位涨落作用大甚至很大，设计、计算及施工时考虑的工况多、因素多。同时堤防及大坝在进行渗流计算时根据水位标高可以给定明确的浸润线，而明渠边坡则通常是假定，难以明确。若直接采用堤防、大坝类的规范、规定，给设计及施工均带来了不必要的程序及麻烦。

2 滑体重是指边坡潜在的不稳定的可能滑动的土体所产生的不利作用力。渠顶超载是指渠道顶部一定范围由于车辆、行人、临时堆土堆载等外在因素可能导致的偶然静荷载及动荷载折算为静荷载进行累加的不利荷载。临时施工工况，主要是考虑到施工期间的外在动荷载比较大，同时其安全系数的要求是不一样的，可根据具体工程特性适当调整。

武汉大部分明渠底标高平均为16.50m左右，设计最高水位一般在19.65m左右，夏季暴雨极端状况一般不会超过20.0m。夏季由于雨水多通常不疏涝，明渠水位通常稳定在17.00m以上，极端状况水位迅速下降不会超过3.0m。冬季，渠道水位一般稳定在18.50m以下，冬季疏涝极端状况水位迅速下降也不会超过2.5m。因此，水位升降工况非常降落水位可取为3m。

武汉，暴雨多数在夏季，明渠水位变化小，因此降雨（暴雨）工况忽略了设计高水位与最低水位之间的各种水位及其正常性降落的作用与影响。暴雨影响，通常采用抗剪强度参数 C 、 ϕ 值折减的措施予以考虑其不利影响，在武汉地区折减系数可取0.8-0.9。

抗震设防烈度为6度时，计算工况不考虑地震的不利作用。

3 城市渠道边坡一般具备排水、防涝功能，也可认为属于水利水电工程边坡范畴。渠道边坡的涉水计算可参考《水利水电工程边坡设计规范》SL 386。

渗流的影响。水位升降、存在水力梯度导致渗流。一种方式采用渗流计算进行稳定验算；另一种方式可通过土体容重的取值来考虑其影响，浸润线以上取天然重度，浸润线以下有利计算取浮容重，不利计算取饱和重度，此为重度替代法，来自《广东省海堤工程设计导则》DB44/T 182。

10.7.5 极限平衡方法主要遵循摩尔库仑强度准则及力和力矩的静力平衡条件。对于边坡土体相对均质体，可能发生圆弧滑动时，选用简化毕肖普法或摩根斯顿-普赖斯法皆可；当边坡土体呈层状结构且不同地层的抗剪强度有明显差别时，宜选用摩根斯顿-普赖斯法；滑动面呈折线型滑面，可采用不平衡推力传递法。

瑞典条分法虽然求解简单，但该方法理论上存在缺陷，计算误差较大，《建筑边坡工程技术规范》GB 50330和《水利水电工程边坡设计规范》SL 386均未将其列入规范，故本文件未将其列入。

4 对于武汉城市明渠，分布的土层多数为正常固结的黏性土及欠固结的软弱土，且多数为快速挖方明渠，施工期间来不及排水，因此一般采用直剪快剪指标或总应力指标。

13 地基基础施工

13.1.2 在软地地区，基坑开挖、管桩的挤土效应产生的影响范围很大，有的甚至超过40m外，因此，除了采取保护措施外，尚应有监测方案。

案例：武汉南湖某项目，在基坑支护用的SMW工法桩施工完成后，在基坑范围内施工管桩，结果导致距基坑边线约40m外的商铺变形，道路两侧路缘石发生无规律的上抬倾斜变形。说明在软土地区施工，管桩的影响范围很大，采取监测措施是必要的。

钻孔桩成孔过程及地连墙成槽过程，均会改变土层原有应力状态，造成周边地面产生沉降变形，如果邻近变形敏感建（构）筑物或需重点保护古建筑，可预先采取保护措施（如搅拌桩侧壁加固等）以减少因应力释放而产生的变形。

13.1.3 隧道、桥梁、铁路、堤防、电力线路等安全保护区范围标准如下：

1、《武汉市轨道交通管理条例》（2020年第一次修订）

第十二条 轨道交通规划控制区按照下列标准划定：

（一）轨道交通线路中心线两侧各十五米内；

（二）轨道交通场站结构外边线外侧十米内，地面通风亭结构外边线外侧十五米内；

（三）尚未编制总平面设计方案的轨道交通项目，普通车站按照宽度一百米、长度二百五十米至三百米内；带配线的车站按宽度一百米、长度六百米至七百米内；

特殊地段和建设工程有特殊要求的，根据技术要求设立轨道交通规划控制区。

设定轨道交通规划控制区应当同时满足交通配套设施设置、环境影响评价、反恐、消防等要求。

第五十条 在建和运营的轨道交通按照下列标准划定安全保护区：

（一）地下车站与隧道外边线外侧五十米内；

（二）地面和高架车站以及线路轨道外边线等外侧三十米内；

（三）出入口、通风亭、变电站等建（构）筑物外边线和车辆基地用地范围外侧十米内；

（四）水底隧道结构外边线外侧一百五十米内。

35—110千伏	10米
154—330千伏	15米
500千伏	20米

在厂矿、城镇等人口密集地区，架空电力线路保护区的区域可略小于上述规定。但各级电压导线边线延伸的距离，不应小于导线边线在最大计算弧垂及最大计算风偏后的水平距离和风偏后距建筑物的安全距离之和。

(二) 电力电缆线路保护区：地下电缆为电缆线路地面标桩两侧各0.75米所形成的两平行线内的区域；海底电缆一般为线路两侧各2海里（港内为两侧各100米），江河电缆一般不小于线路两侧各100米（中、小河流一般不小于各50米）所形成的两平行线内的水域。

6、《电力设施保护条例实施细则》

第五条 架空电力线路保护区，是为了保证已建架空电力线路的安全运行和保障人民生活的正常供电而必须设置的安全区域。在厂矿、城镇、集镇、村庄等人口密集地区，架空电力线路保护区为导线边线在最大计算风偏后的水平距离和风偏后距建筑物的水平安全距离之和所形成的两平行线内的区域。各级电压导线边线在计算导线最大风偏情况下，距建筑物的水平安全距离如下：

1千伏以下	1.0米
1~10千伏	1.5米
35千伏	3.0米
66~110千伏	4.0米
154~220千伏	5.0米
330千伏	6.0米
500千伏	8.5米

第十二条 任何单位或个人不得在距架空电力线路杆塔、拉线基础外缘的下列范围内进行取土、打桩、钻探、开挖或倾倒酸、碱、盐及其他有害化学物品的活动：

- (一) 35千伏及以下电力线路杆塔、拉线周围5米的区域；
- (二) 66千伏及以上电力线路杆塔、拉线周围10米的区域。

在杆塔、拉线基础的上述距离范围外进行取土、堆物、打桩、钻探、开挖活动时，必须遵守下列要求：

- (一) 预留出通往杆塔、拉线基础供巡视和检修人员、车辆通行的道路；
- (二) 不得影响基础的稳定，如可能引起基础周围土壤、砂石滑坡，进行上述活动的单位或个人应当负责修筑护坡加固；
- (三) 不得损坏电力设施接地装置或改变其埋设深度。

13.1.6 钻孔（槽段）成孔过程中，成孔使土体应力释放产生变形，特别是软土层，容易缩颈等，周边地层发生沉降变形，对变形敏感的建（构）筑物邻近时影响更明显的，可在施工场地与建（构）筑物之间采用对地层影响较小的搅拌桩帷幕（或槽壁加固）等隔离措施，减少成孔造成变形影响；亦可采用全套管工艺避免成孔时造成对环境的影响。

13.2 土方开挖

13.2.5 汉阳四新地区的《中国（武汉）文化消费体验区》项目，地层为填土、流~软塑的淤泥质黏土、可塑粉质黏土、软塑黏土、淤泥质黏土等，基坑开挖深度约4.5m，在基坑开挖边线30m以外有堆高约3m~5m的弃土场，当基坑开挖3m左右时，悬臂支护桩出现较大变形，最大位移超1m，堆土场上出现明显的4道与基坑侧壁平行的台阶状滑坡变形。虽然堆土场离基坑较远，但堆土场对基坑的影响还是很大。因此，一般情况下，不宜利用基坑周边场地作堆土场，堆土场距基坑的距离多远才算安全，目前还没有具体的经验，如果必须堆土，应进行场地稳定性验算，并加强监测。

13.2.9 工程桩为管桩时，《预应力混凝土管桩基础技术规程》DB42/489-2008第8.1.5条的规定土方开挖应在沉桩全部完成10d后，《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406-2017第8.1.18条的规定是15d。安全起见，本文件采用15d的规定。

13.3 预制桩施工

13.3.2 《关于进一步加强预应力混凝土管桩质量管理的通知》（鄂建办〔2014〕176号）：高度超过50m且承台周边及底部存在淤泥、淤泥质土的高层建筑应慎用管桩基础。超过50m的高层建筑使用管桩时，承台下存在承载力特征值为70kPa及以下的软土时，承台下应采用水泥土搅拌桩进行满堂咬合土体加固，也可采用混凝土或砂石换填，加固或换填处理深度承台底面以下不应小于2m，或至承台底面以下较好土层的顶面，承台周边加固范围不应小于1m。土体加固后应进行连续贯入动力触探配合钻芯检测。

13.3.3 开挖缓冲沟，主要是保护离场地较近的建筑物或地下管线，缓冲沟的宽度及深度1.5m~2.0m。场地浅层挤土效应一般比较明显，可采用钻孔取土来减少挤土效应，特别是对桩距较密的管桩，引孔的孔径一般比桩径小50~100mm，深度宜为桩长的1/3~1/2。施工时应随钻随打。

13.3.4 先施工围护结构，后施工工程桩，会产生不良后果：一是后施工的工程桩管桩会对围护结构产生挤压，使其变形或破坏，影响围护结构的稳定或挡土止水效果，二是围护结构先形成，后打管桩时挤土受其约束，使孔隙水压力骤增且难以消散，在基坑开挖时，先挖的土坑就成为超孔隙水压力释放的去向和场所，导致工程桩倾斜；三是容易造成管桩随着土的隆起而上浮。

13.3.5 布置排水砂井，可加速孔隙水压力的消散，减少土体的挤压位移及隆起，降低挤土效应。

13.3.10 由于黏性土、淤泥质土的固结时间较长，且桩体快速压入会使土的性质剧变，土体的压缩变形加大，故沉桩速度应比其他土质慢，防止桩位偏移和断桩。在施工过程中，应控制每天最多沉桩根数，留有时间使土体释放内力。一般软土地基中，在同一区块每天不超过20根。当桩进入坚硬土层时应缓慢加载，防止急剧施压产生的冲击使桩体开裂。

13.5 地下连续墙施工

13.5.2 地下连续墙成槽护壁泥浆制作宜选用膨润土，使用前应进行配比试验；施工过程中应控制泥浆比重、黏度、含砂率、胶体率等指标，定时观测，防止槽壁失稳；成槽过程槽内泥浆液面应高于导墙底面不少于50cm。

13.5.7 地下连续墙水下混凝土灌注，广东省标准《建筑地基基础施工规范》DBJ/T 15-152-2019要求导管理入混凝土深度宜为2.0m~6.0m。

14 检验与监测

14.2.1 基槽（坑）检验是工程建设中五方责任主体必须严格遵循的工序，通过检验可有效减少地质条件变化等原因造成的地质风险。

根据地区经验、规范要求及工程实际情况采用不同手段进行基槽（坑）检验。《建筑地基检测技术规范》JGJ 340-2015表8.4.9-1（条文说明表9）采用 M_{10} 验槽检验地基承载力仅仅是初判。武汉市及湖北省较多工程项目检测数据显示，采用 M_{10} 检测数据根据查土层特别是老黏性土的承载力相对于勘察报告基于静力触探、土工试验等基础上建议的承载力明显偏低，主要原因可能是坑（槽） M_{10} 检测时表层土被施工扰动以及地区适宜性问题。故本文件推荐 M_{10} 判断地层均匀性，但不宜用来判定承载力；当采用 M_{10} 初判定步承载力与勘察报告提供承载力相差较大时应分析原因，并采用武汉市经验较多的静探试验或现场载荷试验进一步确定。

条文说明表 9 轻型动力触探试验推定地基承载力特征值 f_{ak} （kPa）

N_{10} （击数）	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
一般黏性土地基	50	70	90	115	135	160	180	200	220	240
黏性素填土地基	60	80	95	110	120	130	140	150	160	170
粉土、粉细砂地基	55	70	80	90	100	110	125	140	150	160

14.3.1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011第10.3.8条规定下列建筑物应在施工期间及使用期间进行沉降变形观测：

- 1 地基基础设计等级为甲级建筑物；
- 2 软弱地基上的地基基础设计为乙级建筑物；
- 3 处理地基上的建筑物；
- 4 加层、扩建建筑物；
- 5 受邻近深基坑开挖施工影响或受场地地下水等到环境因素变化影响的建筑物；
- 6 采用新型基础或新型结构的建筑物。

《建筑变形测量规范》JGJ 8-2016第7.1.5条规定了建筑沉降观测的周期和观测时间。

《软土地基路基监控标准》GB/T 51275-2017规定了软土地基路基施工和运营期的监控。武汉市软土路基的监测可参照执行。

附录 C（资料性） 软土路基沉降计算

C.1~C.2 工后沉降是指道路路面结构设计工作年限（快速路、主干路、次干路沥青路面为15年，支路沥青路面为10年；快速路、主干路水泥混凝土路面为30年，次干路、支路水泥混凝土路面为20年）内的残余沉降。沉降计算参数应根据土工试验、现场原位测试、地区经验及类似工程计算参数等因素综合选取。

《城市道路路基设计规范》CJJ 194-2013未给出工后沉降概念及计算公式；《公路路基设计规范》JTG D30-2015给出工后沉降概念未给出工后沉降公式，本文件工后沉降概念引用JTG D30-2015条文；《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》工后沉降公式为地基工后沉降，未包括路基自身压缩变形；《铁路路基设计规范》TB 10001-2016路基工后沉降计算公式为地基工后沉降及路基路面施工完成后路堤填料的残余沉降量之和，本公式参照《铁路路基设计规范》TB 10001-2016规范。

路基变形分为地基沉降变形、路基自身压缩变形和行车荷载引起的累积塑性变形。参照武汉市政工程设计研究院有限责任公司《武汉市主城区桥头跳车情况调查及综合处置研究成果及分析报告》，武汉市路堤高度普遍小于4m，极少数为5m~6m，对于武汉市路堤填土自身的路基工后沉降，考虑各种因素按填高的1%应该不会有很大误差，除非施工水平极差或受水浸泡强烈影响，因此估计武汉市路堤填土自身沉降约为2~5cm，故正常施工条件下路堤自身压缩沉降量很小，相对于软土地基沉降来说要小得多；《公路路基设计规范》（JTG D30-2015）7.7.2条文说明中指出：路堤高度大于2.5m时不考虑行车动荷载对沉降影响，路堤高度小于或等于2.5m时考虑行车动荷载对沉降影响，对低路堤上行车动荷载作用下软土地基沉降计算目前没有成熟的方法，可以通过措施加以控制。

综上所述，填土荷载是引起地基沉降的主要外因，填土重量压缩软土固结产生沉降，也是工后沉降重点关注的地方。