

中华人民共和国行业标准

# 水运工程土工合成材料应用技术规范

**JTS/T 148—2020**

主编单位:中交天津港湾工程研究院有限公司

批准部门:中华人民共和国交通运输部

施行日期:2020年9月15日

人民交通出版社股份有限公司

2020·北京

# 交通运输部关于发布《水运工程 土工合成材料应用技术规范》的公告

2020 年第 50 号

《水运工程土工合成材料应用技术规范》(以下简称《规范》)为水运工程推荐性行业标准,标准代码为 JTS/T 148—2020,自 2020 年 9 月 15 日起施行。由交通运输部水运局负责管理和解释,其文本可在交通运输部政府网站“水运工程行业标准”专栏([mwtis.mot.gov.cn/syportal/sybz](http://mwtis.mot.gov.cn/syportal/sybz))下载。《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239—2005)同时废止。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部  
2020 年 7 月 2 日



## 修订说明

本规范是根据《交通运输部关于下达 2012 年度水运工程建设标准编制计划的通知》(交水发[2012]582 号)要求,由交通运输部水运局组织有关单位在原规范《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239—2005)的基础上,经深入调查研究,并总结我国近年来水运工程土工合成材料应用的实践经验,吸纳成熟的新技术、新成果,广泛征求有关单位和专家的意见编制而成。

《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239—2005)实施以来,对规范和指导水运工程土工合成材料应用、保障水运工程建设质量和安全发挥了重要作用。随着水运工程建设的快速发展,涌现出一批新材料、新技术、新工艺和新方法,为更好适应当前水运工程土工合成材料应用的需要,对《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239—2005)进行了修订。

本规范共分 12 章 2 个附录,并附条文说明,主要包括滤层、加筋垫层、防渗层、排水通道、加筋土岸壁、护坡、充填袋筑堤、软体排护底和检测与监测等技术内容。本次修订的主要内容有:

1. 增加了防渗层、排水通道和检测与监测三章。
2. 护坡一章中在模袋混凝土护坡的基础上增加了土工网垫护坡和土工格栅生态护坡。

本规范的主编单位为中交天津港湾工程研究院有限公司,参编单位为中交第一航务工程局有限公司、中交水运规划设计院有限公司、中交上海航道勘察设计研究院有限公司、中交第一航务工程勘察设计院有限公司、中交第三航务工程勘察设计院有限公司、中交四航工程研究院有限公司、长江航道局、交通运输部长江口航道管理局、四川省交通勘察设计院有限公司、天津港湾工程质量检测中心有限公司、天津大学。本规范编写人员分工如下:

- 1 总则:刘爱民 侯晋芳
- 2 术语:侯晋芳
- 3 基本规定:刘爱民 朱耀庭
- 4 滤层:刘爱民 苗中海 李增军
- 5 加筋垫层:叶国良 李立新 黄传志
- 6 防渗层:李增军 李元音
- 7 排水通道:刘爱民 朱耀庭
- 8 加筋土岸壁:刘 强 严 驰
- 9 护坡:侯晋芳 陈晚华 许增会 李增军

10 充填袋筑堤:黄东海 李立新 许增会 李 燕

11 软体排护底:黄东海 周发林 胡义龙

12 检测与监测:朱耀庭 曹永华

附录 A:黄东海

附录 B:刘爱民

本规范于2019年7月23日通过部审,2020年7月2日发布,自2020年9月15日起施行。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。各有关单位在执行过程中发现的问题和意见,请及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:天津市河西区大沽南路1002号,中交天津港湾工程研究院有限公司,邮政编码:300222),以便再修订时参考。

## 《水运工程土工合成材料应用技术规范》 (JTJ 239—2005)修订说明

本规范是在《水运工程土工织物应用技术规程》(JTJ/T 239—98)的基础上,总结了近年来我国水运工程应用土工合成材料的成功经验,借鉴了国内外土工合成材料应用的相关技术和标准,经深入调查研究、广泛征求意见修订而成。主要包括水运工程土工合成材料滤层、加筋垫层、加筋土岸壁、模袋混凝土护坡、充填袋筑堤和软体排护底的设计和施工等内容。

本规范的主编单位为天津港湾工程研究所,参加单位为交通部长江口航道管理局(原长江口航道建设有限公司)、中交水运规划设计院、上海航道勘察设计研究院和长江航道局。

《水运工程土工织物应用技术规程》(JTJ/T 239—98)自1998年实施以来,对土工织物在水运工程中的推广应用发挥了重要作用。随着我国水运工程建设事业的不断发展,土工合成材料的应用范围不断扩大,新技术、新经验和新成果不断涌现,因此,交通部水运司组织天津港湾工程研究所等单位对《水运工程土工织物应用技术规程》(JTJ/T 239—98)进行了修订。

本规范的第6.1.6条和第6.2.14条的黑体字部分为强制性条文,与建设部发布的《工程建设标准强制性条文》(水运工程部分)(建标[2002]273号)具有同等效力,必须严格执行。

本规范共分9章18节和1个附录,并附条文说明。本规范编写人员分工如下:

- 1 总则:张 敬 孙万禾 苗中海
  - 2 术语:张 敬 苗中海
  - 3 基本规定:张 敬 孙万禾 叶国良
  - 4 滤层:苗中海 刘爱民
  - 5 加筋垫层:黄传志 叶国良 苗中海
  - 6 加筋土岸壁:燕太祥 张 珊 张志平
  - 7 模袋混凝土护坡:谈泽炜 孙万禾
  - 8 充填袋筑堤:陈学良 张景明 戴承礼
  - 9 软体排护底:张景明 陈学良 胡义龙 李国祥
- 附录A:张 敬

本规范于2005年9月28日通过部审,2005年12月11日发布,自2006年6月1日起实施。

本规范由交通部水运司负责管理和解释。请各有关单位在使用过程中,将发现的问题和意见及时函告交通部水运司(地址:北京市建国门内大街11号,交通部水运司工程技术处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:天津市河西区大沽南路1474号,天津港湾工程研究所,邮政编码:300222),以便再修订时参考。

## 目次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(4)
4	滤层	(5)
4.1	一般规定	(5)
4.2	设计	(5)
4.3	施工	(6)
5	加筋垫层	(8)
5.1	一般规定	(8)
5.2	设计	(8)
5.3	施工	(10)
6	防渗层	(12)
6.1	一般规定	(12)
6.2	设计	(12)
6.3	施工	(13)
7	排水通道	(14)
7.1	一般规定	(14)
7.2	设计	(14)
7.3	施工	(16)
8	加筋土岸壁	(18)
8.1	一般规定	(18)
8.2	设计	(18)
8.3	施工	(22)
9	护坡	(24)
9.1	一般规定	(24)
9.2	设计	(24)
9.3	施工	(27)
10	充填袋筑堤	(29)
10.1	一般规定	(29)
10.2	设计	(29)
10.3	施工	(32)

<b>11 软体排护底</b> .....	(34)
11.1 一般规定 .....	(34)
11.2 设计 .....	(34)
11.3 施工 .....	(36)
<b>12 检测与监测</b> .....	(38)
12.1 一般规定 .....	(38)
12.2 检测 .....	(38)
12.3 监测 .....	(40)
<b>附录 A 混凝土连锁块软体排压载稳定验算</b> .....	(42)
<b>附录 B 本规范用词说明</b> .....	(49)
<b>引用标准名录</b> .....	(50)
<b>附加说明 本规范主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、总校人员 和管理组人员名单</b> .....	(51)
<b>《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239—2005)主编单位、 参加单位、主要起草人、总校人员和管理组人员名单</b> .....	(53)
<b>条文说明</b> .....	(55)

# 1 总 则

**1.0.1** 为统一水运工程土工合成材料应用技术要求,满足安全可靠、经济合理、耐久适用等需要,制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于水运工程土工合成材料滤层、加筋垫层、防渗层、排水通道、加筋土岸壁、护坡、充填袋筑堤和软体排护底的设计、施工、检测和监测。

**1.0.3** 水运工程土工合成材料的应用除应符合本规范外,尚应符合国家现行标准的有关规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 土工合成材料 Geosynthetics

土木工程中应用的土工织物、土工膜、土工复合材料和特种土工合成材料等高分子聚合物材料的总称。

### 2.0.2 土工织物 Geotextile(GT)

用合成纤维纺织或经胶结、热压针刺的无纺工艺制成的具有透水性的土工合成材料,按制造方法分为有纺土工织物和无纺土工织物。

### 2.0.3 有纺土工织物 Woven Geotextile

由纤维纱或长丝等按一定方向排列机织的土工织物。

### 2.0.4 无纺土工织物 Nonwoven Geotextile

由短纤维或长丝按随机或定向排列制成的薄絮垫,经机械结合、热黏合或化学黏合而成的土工织物。

### 2.0.5 土工膜 Geomembrane (GM)

由聚合物制成的不透水膜。

### 2.0.6 复合土工膜 Geomembrane Composite

土工织物和其他高分子材料中一种或多种材料与土工膜的复合制品。

### 2.0.7 塑料排水板 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

由不同凹凸截面形状、具有连续排水槽的合成材料芯材,外包或外粘无纺土工织物构成的复合排水材料,也称塑料排水带。

### 2.0.8 土工复合材料 Geocomposite

由两种或两种以上材料复合成的土工合成材料。

### 2.0.9 特种土工合成材料 Special Geosynthetics

经过特殊工艺制成的具有特殊用途的土工合成材料,包括土工模袋、土工格栅、土工带和土工网等材料。

### 2.0.10 土工网垫 Geomat

由热塑性树脂制成的三维结构,也称三维植被网。其底部为基础层,上覆泡状膨松网包,包内填沃土和草籽,供植物生长。

### 2.0.11 土工模袋 Geofabriform

由双层的有纺土工织物缝制的带有格状空腔的袋状结构材料。充填混凝土或水泥砂浆等凝结后形成防护板块体。

### 2.0.12 土工格栅 Geogrid

由抗拉条带单元结合形成的有规则网格型式的加筋土工合成材料,其开孔可容填筑

料嵌入。分为塑料土工格栅、玻纤格栅、聚酯经编格栅和多条复合加筋带粘接或焊接成的钢塑土工格栅等。

#### 2.0.13 土工带 Geobelt

经挤压拉伸或再加筋制成的带状抗拉材料。

#### 2.0.14 土工网 Geonet

由条带部件在结点连接而成有规则的二维网状土工合成材料。

#### 2.0.15 土工织物滤层 Geotextile Filter

采用土工织物单独或与砂石料共同组成的倒滤结构层。

#### 2.0.16 土工合成材料加筋垫层 Geosynthetic Reinforced Cushion

由起加筋作用的土工合成材料与砂石料共同组成的垫层。

#### 2.0.17 土工膜防渗层 Geomembrane Impermeable Layer

由单独土工膜或复合土工膜,或者与膜下垫层和膜上保护层共同组成的不透水结构层。

#### 2.0.18 加筋土岸壁 Reinforced Quay Wall

由墙面结构、加筋土工合成材料和填料构成的岸壁结构。

#### 2.0.19 模袋混凝土护坡 Slope Protection With Bag Concrete

将混凝土或砂浆灌注到土工模袋内,固化后形成的模袋混凝土构成的护坡结构。

#### 2.0.20 土工网垫植被护坡 Slope Protection With Geosynthetic Vegetation Mattress

在坡面上铺设土工网垫,网垫内填土播种植物以保护坡面不受水流与雨水等冲刷破坏的护坡结构。

#### 2.0.21 土工格栅箱笼护坡 Slope Protection With Geogrid Luggage

由土工格栅做成箱笼形式单元,内填块石、碎石、砾石或卵石等材料构成的护坡结构。

#### 2.0.22 充填袋堤坝 Filling Bag Dam

将砂土充填入土工织物袋内,形成充填袋叠砌构成的堤坝结构。

#### 2.0.23 软体排 Flexible Mattress

由土工合成材料和压载材料组成的用于护底或护滩的排体结构。

#### 2.0.24 梯度比 Gradient Ratio (GR)

在淤堵试验中,水流垂直通过土工织物上覆 25mm 厚土层的水力梯度与水流通过土工织物上覆 50mm 厚土层的水力梯度的比值。

### 3 基本规定

- 3.0.1** 土工合成材料的种类应根据设计功能、工程要求、环境条件、施工条件等选用。选用时应考虑土工合成材料的物理性能、力学性能、水力学性能、耐久性和产品形态等指标。
- 3.0.2** 重大工程和有特殊要求的工程,应对土工合成材料的应用进行专项的技术和经济论证。
- 3.0.3** 土工合成材料应用宜采取掩埋覆盖等保护措施。在暴露使用条件下,应选用具有防老化性能的土工合成材料。
- 3.0.4** 长期受力的土工合成材料应考虑其强度随时间的衰减。
- 3.0.5** 土工合成材料结构设计的荷载可按水运工程现行有关标准规定取值。
- 3.0.6** 土工合成材料的物理性能、力学性能、水力学性能和耐久性等指标的测试方法应符合国家现行有关标准的规定。
- 3.0.7** 土工合成材料进场时应提交出厂合格证明和试验检验报告,并按设计要求,对产品质量进行检验检测。
- 3.0.8** 土工合成材料进场后应存放在通风遮光处,严禁雨淋、水浸泡和暴露日晒。
- 3.0.9** 有生态要求时,护岸、护坡、护底中宜采用可被植物穿透,或允许底质土与上部有物质交换、降解时间较短的生态土工合成材料。

## 4 滤 层

### 4.1 一般规定

4.1.1 土工织物滤层可用于码头、航道整治、护岸和围堰等工程的滤层。

4.1.2 土工织物滤层宜采用无纺土工织物或有纺土工织物。采用无纺土工织物时,其单位面积质量不宜小于  $300\text{g}/\text{m}^2$ ,抗拉强度不宜小于  $10\text{kN}/\text{m}$ 。设在构件安装缝处的滤层,宜选用抗拉强度较高的有纺土工织物。

### 4.2 设 计

4.2.1 土工织物滤层设计应包括下列内容:

- (1) 土工织物保土性能指标要求;
- (2) 土工织物透水性能指标要求;
- (3) 土工织物防淤堵性能指标要求;
- (4) 土工织物滤层表面防护措施;
- (5) 土工织物滤层构造设计。

4.2.2 土工织物的保土性能应符合下列规定。

4.2.2.1 在静荷载和单向渗流条件下,非黏性土应满足式(4.2.2-1)的要求;黏性土应满足式(4.2.2-2)的要求。

$$O_{95} < d_{85} \quad (4.2.2-1)$$

$$O_{95} < 0.21 \quad (4.2.2-2)$$

式中  $O_{95}$ ——土工织物等效孔径(mm),土工织物中小于该孔径的孔占 95%;

$d_{85}$ ——土的特征粒径(mm),小于该粒径的土颗粒质量占总质量的 85%。

4.2.2.2 在静荷载、双向渗流条件下,  $d_{40} < 0.06\text{mm}$  时,应满足式(4.2.2-3)的要求;  $d_{40} \geq 0.06\text{mm}$  时,应满足式(4.2.2-4)、式(4.2.2-5)或式(4.2.2-6)的要求。

$$O_{95} < 1.3d_{90} \quad (4.2.2-3)$$

$$O_{95} < 2d_{10}\sqrt{C_u} \quad (4.2.2-4)$$

$$O_{95} < 1.3d_{30} \quad (4.2.2-5)$$

$$O_{95} < 0.67 \quad (4.2.2-6)$$

式中  $O_{95}$ ——土工织物等效孔径(mm),土工织物中小于该孔径的孔占 95%;

$d_{10}$ 、 $d_{30}$ 、 $d_{50}$ 、 $d_{60}$ 、 $d_{90}$ ——土的特征粒径(mm),小于该粒径的土颗粒质量分别占总质量的 10%、40%、50%、60%、90%;

$C_u$ ——土颗粒不均匀系数,  $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ 。

4.2.3 土工织物的透水性能应满足式(4.2.3-1)或式(4.2.3-2)的要求。

$$O_{90} > d_{15} \quad (4.2.3-1)$$

$$k_p \geq \lambda_p k_s \quad (4.2.3-2)$$

式中  $O_{90}$ ——土工织物等效孔径(mm),土工织物中小于该孔径的孔占90%;

$d_{15}$ ——土的特征粒径(mm),小于该粒径的土颗粒质量占总质量的15%;

$k_p$ ——土工织物的渗透系数(m/s);

$\lambda_p$ ——系数,黏性土取10~100,砂性土取5~10;

$k_s$ ——土的渗透系数(m/s)。

4.2.4 土工织物的防淤堵性能应符合下列规定。

4.2.4.1 当土体级配良好、水力梯度低、流态稳定时,等效孔径应满足下式要求:

$$O_{95} \geq 3d_{15} \quad (4.2.4)$$

式中  $O_{95}$ ——土工织物等效孔径(mm),土工织物中小于该孔径的孔占95%;

$d_{15}$ ——土的特征粒径(mm),小于该粒径的土颗粒质量占总质量的15%。

4.2.4.2 当土体易发生管涌或具分散性、水力梯度高、流态复杂且土的渗透系数不小于 $10^{-7}$ m/s时,应以现场土料和拟选土工织物进行淤堵试验,得到的梯度比不应大于3;当土的渗透系数小于 $10^{-7}$ m/s时,应进行室内的长期淤堵性试验,验证其防堵有效性。

4.2.5 在黏性土表面铺设土工织物滤层时,应在黏性土表面设置砂垫层。

4.2.6 块石层面上铺设土工织物滤层时,块石表面应先铺设二片石过渡,再用碎石找平。

4.2.7 土工织物滤层上有抛石时,应在土工织物表面上设置碎石或砾石保护层,保护层厚度宜为200mm~300mm。

4.2.8 内河航道岸坡上的土工织物滤层,表面可采用干砌块石、浆砌块石或预制混凝土板等进行保护。

4.2.9 岸坡上的土工织物滤层,应考虑沿岸坡滑动的可能性,必要时应采取保护措施;坡顶的土工织物应与上部结构搭接,搭接长度不应小于1000mm;坡趾的土工织物外伸保护长度不应小于2000mm。内河航道岸坡的土工织物滤层,坡顶应设置锚固措施;坡趾的土工织物外伸保护长度不应小于1000mm,并应采取防冲刷措施。

4.2.10 岸坡土工织物滤层相邻铺设块水下施工搭接长度不应小于1000mm,干施工搭接长度不宜小于500mm。

4.2.11 对设置在沉箱、空心块体、扶壁和圆筒等直立结构安装缝处的土工织物滤层应采取固定措施。

### 4.3 施 工

4.3.1 土工织物滤层施工前,应核对土工织物品种规格和质量检验状态。无纺复合土工织物作滤层铺设时,应使粗糙面与土体接触。

4.3.2 直立墙安装缝处采用土工织物作滤层时,土工织物滤层材料的分块尺寸应考虑直

立墙缝宽及误差因素。

**4.3.3** 土工织物滤层铺设块的宽度不宜小于6m,长度应在设计坡长的基础上增加一定的富裕量。铺设块之间可采用搭接和缝接。设计要求缝接时,缝连线距离铺设块边缘不得小于50mm,缝连采用的尼龙线强度不得小于150N。

**4.3.4** 土工织物滤层有破损或孔洞时,应及时用相同的土工织物进行修补,陆上宜采用缝接,水下可用搭接。

**4.3.5** 土工织物滤层铺设应保持平顺和松紧适度,并应防止破损。

**4.3.6** 土工织物滤层的基层表面应按设计要求进行整平,基层坡度应满足设计要求,坡趾淤泥应清除。

**4.3.7** 土工织物滤层铺设后应及时进行保护层施工和上部回填。保护层应由坡脚向坡顶方向施工。

**4.3.8** 基层和保护层材料的选用应保证滤层的保土性、透水性和防淤堵性,必要时应通过滤层试验选定。材料中不得含带尖锐棱角的颗粒,并应控制其中易造成淤堵的土粒含量。

**4.3.9** 土工织物滤层施工允许偏差应符合表4.3.9的规定。

表 4.3.9 土工织物滤层施工允许偏差

序 号	项 目		允许偏差 (mm)	
1	平整度	抛石面	水下	200
			陆上	100
		抛砂砾石面	水下	150
			陆上	100
2	搭接长度	陆上施工	$\pm L/10$	
		水下施工	$\pm L/5$	

注:  $L$ 为设计搭接长度,mm。

## 5 加筋垫层

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 防波堤、护岸、堤坝和港口道路堆场等工程的软弱地基可采用土工合成材料加筋垫层。
- 5.1.2 加筋垫层应选用抗拉强度高、延伸率低的土工合成材料。
- 5.1.3 采用土工合成材料加筋垫层的工程,在施工过程中应合理安排施工工序和加荷速率。

### 5.2 设计

5.2.1 土工合成材料加筋垫层设计应包括下列内容:

- (1) 工程整体稳定验算;
- (2) 土工合成材料抗拉强度计算;
- (3) 土工合成材料锚固长度计算;
- (4) 土工合成材料加筋垫层构造设计。

5.2.2 采用土工合成材料加筋垫层工程的整体稳定验算可采用圆弧滑动面法或水平滑动面法。

5.2.3 厚层软基的整体稳定性可采用圆弧滑动面法进行计算,见图 5.2.3,抗滑稳定安全系数可按下列公式进行计算:

$$K_{\text{crit}} = \frac{M_r + \Delta M_g}{M_o} \quad (5.2.3-1)$$

$$M_r = R \sum_{i=1}^k [c_i L_i + (q_i b_i + W_i) \cos \alpha_i \tan \varphi_i] \quad (5.2.3-2)$$

$$M_o = R \sum_{i=1}^k (q_i b_i + W_i) \sin \alpha_i \quad (5.2.3-3)$$

$$\Delta M_g = \eta_g R K_{\text{crit}} \left\{ \sum_{i=1}^k (q_i b_i + W_i) \sin \alpha_i - \frac{1}{K_{\text{crit}}^{(i)}} \sum_{i=1}^k [c_i L_i + (q_i b_i + W_i) \cos \alpha_i \tan \varphi_i] \right\} \quad (5.2.3-4)$$

式中  $K_{\text{crit}}$ ——抗滑稳定安全系数,取 1.1~1.3;  
 $M_r$ ——不计加筋垫层的抗滑力矩(kN·m/m);  
 $\Delta M_g$ ——加筋垫层产生的抗滑力矩(kN·m/m);

- $M_0$ ——滑动力矩( $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$ )；  
 $R$ ——滑弧半径( $\text{m}$ )；  
 $n$ ——土条总个数；  
 $c_i$ ——第 $i$ 个土条滑动面上土的黏聚力( $\text{kPa}$ )；  
 $L_i$ ——第 $i$ 个土条滑弧的弧长( $\text{m}$ )；  
 $q_i$ ——第 $i$ 个土条上的附加荷载( $\text{kPa}$ )；  
 $b_i$ ——第 $i$ 个土条的宽度( $\text{m}$ )；  
 $W_i$ ——第 $i$ 个土条的重力( $\text{kN}/\text{m}$ )，浸润线以下计算低水位以上滑动力矩计算时取土体饱和重度，抗滑力矩计算时取土体浮重度；  
 $\alpha_i$ ——第 $i$ 个土条滑弧中点切线与水平线的夹角( $^\circ$ )；  
 $\varphi_i$ ——第 $i$ 个土条滑动面上土的内摩擦角( $^\circ$ )；  
 $\eta_s$ ——经验系数，取 $0.5 \sim 0.75$ ；  
 $k$ ——以滑弧通过堤顶为起点至加筋垫层处的土条个数。

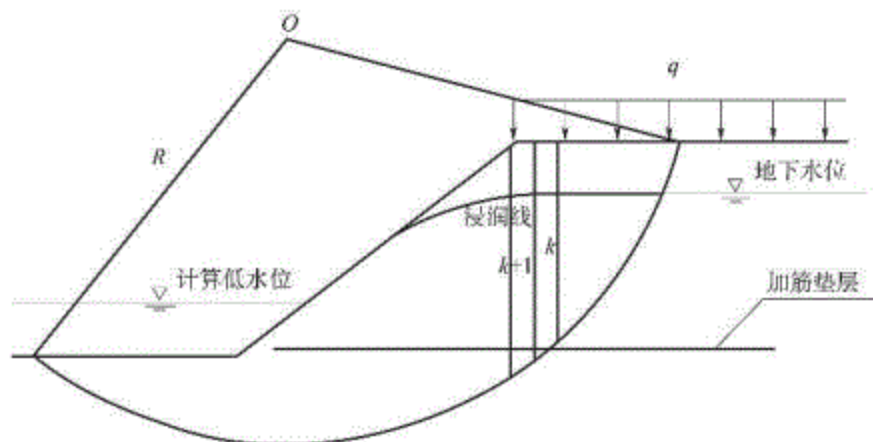


图 5.2.3 圆弧滑动面法稳定验算图示

$O$ —滑弧圆心； $q$ —土条上的附加荷载； $R$ —滑弧半径； $k$ —以滑弧通过堤顶为起点至加筋垫层处的土条个数

**5.2.4 薄层软基的整体稳定性可采用水平滑动面法计算，见图 5.2.4，抗滑稳定安全系数可按下式计算：**

$$K_{\text{GH}} = \frac{P_p + F_b + T_s}{P_{\text{og}} + P_{\text{os}}} \quad (5.2.4)$$

式中  $K_{\text{GH}}$ ——抗滑稳定安全系数，取 $1.1 \sim 1.3$ ；

$P_p$ ——被动土压力( $\text{kN}/\text{m}$ )；

$F_b$ ——软土层底部抗滑力( $\text{kN}/\text{m}$ )；

$T_s$ ——土工合成材料设计抗拉强度( $\text{kN}/\text{m}$ )；

$P_{\text{og}}$ ——加筋垫层以上堤体主动土压力( $\text{kN}/\text{m}$ )；

$P_{\text{os}}$ ——软土层主动土压力( $\text{kN}/\text{m}$ )。

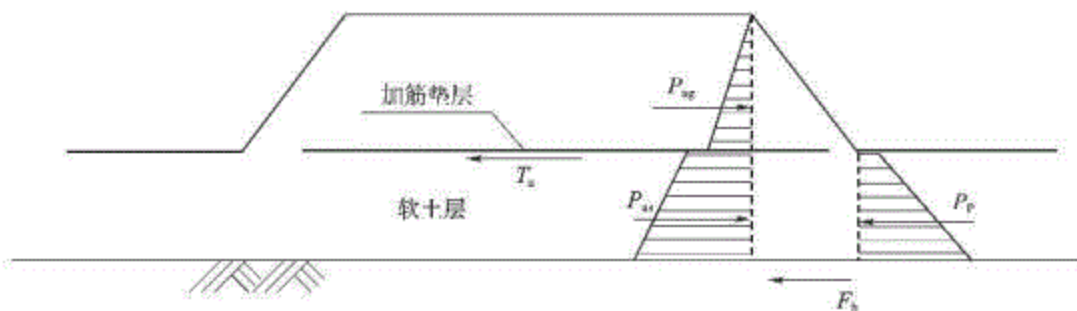


图 5.2.4 水平滑动稳定验算图示

$P_{ae}$ -加筋垫层以上堤体主动土压力; $T_a$ -土工合成材料设计抗拉强度; $P_{ap}$ -被动土压力; $F_b$ -软土层底部抗滑力; $P_a$ -软土层主动土压力

### 5.2.5 土工合成材料的设计抗拉强度应满足下式要求:

$$T_a = \eta_R P_{ag} \quad (5.2.5)$$

式中  $T_a$ ——土工合成材料的设计抗拉强度(kN/m);

$\eta_R$ ——经验系数,取 0.75;

$P_{ag}$ ——土工合成材料以上堤体主动土压力(kN/m)。

### 5.2.6 土工合成材料的极限抗拉强度应按下列式确定:

$$T_u = K_m T_a \quad (5.2.6)$$

式中  $T_u$ ——土工合成材料的极限抗拉强度(kN/m);

$K_m$ ——综合强度折减安全系数,宜取 3,考虑长期作用及蠕变时,可取 4,有经验时,可适当减小;

$T_a$ ——土工合成材料的设计抗拉强度(kN/m)。

### 5.2.7 土工合成材料应埋入稳定滑动面后,其锚固长度应按下列式计算:

$$L_p = \frac{K_{sp} T_a}{2W_v \tan \varphi_{sR}} \quad (5.2.7)$$

式中  $L_p$ ——土工合成材料的锚固长度(m);

$K_{sp}$ ——土工合成材料抗拔安全系数,砂性土取 1.5,黏性土取 2.0;

$T_a$ ——土工合成材料设计抗拉强度(kN/m);

$W_v$ ——作用于土工合成材料表面上的垂直应力(kPa);

$\varphi_{sR}$ ——土工合成材料与填料的视摩擦角( $^\circ$ ),宜通过试验确定,无试验资料时可取填料内摩擦角的 0.6 倍~0.8 倍。

5.2.8 在软土上敷设土工合成材料加筋垫层宜设置砂垫层,陆上施工砂垫层厚度不应小于 200mm;水上施工砂垫层厚度不应小于 500mm。砂垫层宜采用中粗砂,含泥量不宜大于 5%。

5.2.9 加筋垫层相邻土工合成材料铺设块之间采用搭接时,其搭接长度水下施工不应小于 1000mm,陆上施工不宜小于 500mm,土工格栅搭接长度不宜小于三个孔格并应扎紧。

## 5.3 施 工

5.3.1 土工合成材料加筋垫层铺设前,应对砂垫层进行整平。砂垫层顶面高差,水下施

工不应大于 150mm,陆上施工不应大于 100mm。

**5.3.2** 加筋垫层土工合成材料铺设块的宽度不宜小于 8m,长度应在设计长度的基础上增加一定的富裕量,水下施工富裕量不宜小于 1500mm,陆上施工富裕量不宜小于 500mm。

**5.3.3** 加筋垫层土工合成材料铺设块之间采用拼接时,拼接强度应经过测试且满足设计要求。

**5.3.4** 加筋垫层土工合成材料应拉紧铺平,水下施工时应及时抛填压载材料,陆上施工时应及时覆盖。

**5.3.5** 土工合成材料加筋垫层的上部抛填施工,应按先两侧后中间的顺序分层进行,分层厚度和加荷速率应满足设计要求。

**5.3.6** 加筋采用双层或多层筋时,应在相邻两层筋间用粒料等予以间隔。

**5.3.7** 土工合成材料加筋垫层的施工允许偏差应符合表 5.3.7 的规定。

表 5.3.7 土工合成材料加筋垫层施工允许偏差

序 号	项 目		允许偏差 (mm)
1	搭接长度	水下	$\pm L/5$
		陆上	$\pm 100$
2	轴线偏移	水下	1500
		陆上	500

注:  $L$  为设计搭接长度,mm。

## 6 防 渗 层

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 围堰等工程的防渗层可采用土工合成材料。
- 6.1.2 土工合成材料用于防渗工程时,宜采用土工膜或复合土工膜;当承受较大拉力时,宜采用加筋复合土工膜。
- 6.1.3 土工膜防渗层宜采用聚乙烯土工膜为防渗材料,并应符合现行国家标准《土工合成材料 聚乙烯土工膜》(GB/T 17643)的有关规定。
- 6.1.4 采用其他种类土工膜作永久防渗结构时,其物理力学指标应满足抗渗结构设计要求,耐久性指标应优于聚乙烯土工膜。

### 6.2 设 计

6.2.1 土工膜防渗层宜用土工膜作为主要防渗材料,并根据需要设置膜下垫层和膜上保护层。无膜上保护层或膜上保护层较薄时,宜选用具有防老化性能的聚乙烯土工膜,并应符合下列规定。

6.2.1.1 基层含有带棱角的岩土颗粒或植物根茎时,宜在土工膜下铺设土工织物或设置垫层做保护层。

6.2.1.2 膜下垫层回填料的干密度不宜小于 $1400\text{kg}/\text{m}^3$ ,且均匀误差不宜大于10%。

6.2.2 土工膜厚度不宜小于0.5mm。重要或要求严格的工程,土工膜应适当加厚。

6.2.3 土工膜厚度应根据水、土压力作用下随结构位移和液胀产生变形叠加所需要的强度,并考虑环境因素作用下的耐久性要求,经试验确定。试验确定厚度时,拉应力和拉应变的安全系数可取4~5。

6.2.4 膜上保护层厚度应根据水流冲刷、日晒与冰冻作用和土工膜反压重量要求等因素综合确定。膜上保护层表面受波浪和水流作用时,表层块体重量应通过计算确定,膜上保护层的结构设计可参照现行行业标准《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)的有关规定执行,必要时应通过模型试验验证。

6.2.5 膜上保护层的边坡坡度应满足膜下垫层与膜、膜与膜上保护层之间的稳定性要求,可按现行行业标准《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》(SL/T 225)的有关规定执行。

6.2.6 土工膜与周边结构物或地基之间的连接应根据结构材料、形状与作用水头采用沟槽嵌埋、混凝土嵌固或机械锚固等方式,并应符合下列规定。

6.2.6.1 采用沟槽嵌埋时,应先在土体中预挖嵌埋槽,土工膜边缘应延伸至嵌埋槽中,

分层回填夯实予以埋压。土工膜边缘埋压宽度和深度应根据抗渗所需渗径长度和抗拔所需嵌固力综合确定,且不应小于1m。

**6.2.6.2** 采用混凝土嵌固时,土工膜边缘宜嵌固在混凝土中,或与嵌固在混凝土中的嵌固条连接,嵌固长度应符合设计要求。

**6.2.6.3** 采用机械锚固时,土工膜与结构物或基岩之间宜采用不锈钢扁钢或型钢和其他不锈钢锚固件及密封件进行锚固,外加密封胶和二次混凝土封闭。

**6.2.7** 土工膜幅块之间,或土工膜与嵌固条之间的连接,应视材质选用焊接、黏结或硫化等方法,亦可参照生产商推荐的方法。连接强度和接缝的抗渗性能应通过试验检测,且不应低于母材性能指标。

**6.2.8** 当膜下可能形成较高气压或水压时,应设置必要的排气排水减压系统。

### 6.3 施 工

**6.3.1** 膜下垫层表面应平整、密实且均匀,表面阴、阳角应修圆,修圆半径不应小于50cm。

**6.3.2** 聚乙烯土工膜的铺设应按规定顺序和方向分区、分块进行,并应根据环境温度变化幅度预留温度变化引起的伸缩量。

**6.3.3** 聚乙烯土工膜铺设完毕、未覆盖保护层前,应在膜的边角处压载固定。铺设及压载过程中土工膜应自然松弛,与膜下垫层贴实、无褶皱和悬空。特殊情况需要带褶皱铺设时,应做特殊处理。

**6.3.4** 地下铅垂土工膜的铺设可采用泥浆护壁挖槽铺设法施工。

**6.3.5** 铺膜过程中应随时检查膜的外观有无破损、麻点、孔眼等缺陷。发现缺陷或损伤,应及时用母材修补,修补范围应超出破损范围每边10cm~20cm。

**6.3.6** 聚乙烯土工膜现场焊接形式宜采用双焊缝搭焊。焊接时,基底表面应平整干燥,含水率不宜大于15%。

**6.3.7** 聚乙烯土工膜焊接应根据现场施工条件选择合适的焊接设备,焊接温度、速度等主要焊接参数应通过现场焊接试验确定,气温变化较大时,焊接参数应随时调整。焊缝处聚乙烯土工膜应熔结为一个整体,不得出现虚焊、漏焊或超量焊。

**6.3.8** 焊接质量应进行检测,合格后方可填筑膜上保护层。

**6.3.9** 已焊接合格的聚乙烯土工膜应及时采取保护措施。

**6.3.10** 土工膜铺设完成后应及时填筑膜上保护层。保护层的填筑速度应与铺膜速度相配合。

**6.3.11** 膜上保护层材料中不得含有易造成土工膜破损的尖锐颗粒或杂物。铺设过程中宜铺放用以承载施工人员和工器具的木板。

## 7 排水通道

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 排水通道可分为横向排水通道和竖向排水通道。
- 7.1.2 横向排水通道宜采用排水沟、带孔管等,也可采用土工织物;竖向排水通道宜采用塑料排水板。
- 7.1.3 横向排水通道可用于软基处理中的水平向排水和边坡与道路的内部排水,竖向排水通道可用于软基处理中的竖向排水。

### 7.2 设计

- 7.2.1 横向排水通道设计应包括下列内容:

- (1) 水平通道的形式和材料;
- (2) 水平通道的排水能力。

- 7.2.2 横向排水通道的排水能力应按下列式验算:

$$q_c \geq F_s q_r \quad (7.2.2)$$

式中  $q_c$ ——排水能力( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$F_s$ ——安全系数,用排水沟、带孔管作为排水通道时可取 2.0~5.0,有清淤能力的排水管可取小值;用土工织物作为排水通道时可取 3.0~5.0,重要工程取大值;

$q_r$ ——工程要求的最大排水量( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

- 7.2.3 以土工织物包裹透水粒料构成的排水沟的排水能力可按下列式计算:

$$q_c = kiA \quad (7.2.3)$$

式中  $q_c$ ——排水沟的排水能力( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$k$ ——被包裹透水粒料的渗透系数( $\text{m}/\text{s}$ );

$i$ ——排水沟的纵向坡度;

$A$ ——排水沟断面积( $\text{m}^2$ )。

- 7.2.4 外包无纺土工织物带孔管的排水能力应符合下列规定。

- 7.2.4.1 渗入管内的水量应按下列公式计算:

$$q_s = k_s i \pi d_w L \quad (7.2.4-1)$$

$$d_w = d \times \exp(-2a\pi) \quad (7.2.4-2)$$

式中  $q_s$ ——渗入管内的水量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$k_s$ ——管周土的渗透系数( $\text{m}/\text{s}$ );

$i$ ——沿管周围土的渗透坡降;

- $d_e$ ——等效管径(m),即包裹土工织物带孔管虚拟为管壁完全透水的排水管的等效直径;
- $L$ ——管长度(m);
- $d$ ——带孔管直径(m);
- $a$ ——水流流入管内的阻力系数,可取0.1~0.3,外包土工织物渗透系数大时取大值。

#### 7.2.4.2 带孔管的排水能力应按下列公式计算:

$$q_c = vA \quad (7.2.4-3)$$

$$v = 198.2R^{0.714}i^{0.572} \quad (7.2.4-4)$$

$$v = 71R^{2/3}i^{0.5} \quad (7.2.4-5)$$

$$A = \pi d^2/4 \quad (7.2.4-6)$$

$$R = d/4 \quad (7.2.4-7)$$

- 式中  $q_c$ ——带孔管的排水能力( $m^3/s$ );
- $v$ ——管中水流速度( $m/s$ ),开孔的光滑塑料管管中水流速度按式(7.2.4-4)计算,波纹塑料管管中水流速度按式(7.2.4-5)计算;
- $A$ ——管的断面面积( $m^2$ );
- $R$ ——水力半径(m);
- $i$ ——水力梯度;
- $d$ ——管直径(m)。

#### 7.2.5 土工织物作为排水材料时应满足第4.2节保土性、透水性和防淤堵性要求,其排水能力应按下式计算:

$$q_c = k_h \delta B \quad (7.2.5)$$

- 式中  $q_c$ ——土工织物的排水能力( $m^3/s$ );
- $k_h$ ——土工织物的水平渗透系数( $m/s$ );
- $\delta$ ——土工织物在现场法向压力作用下的厚度(m);
- $B$ ——排水断面宽度(m)。

#### 7.2.6 采用塑料排水板作为竖向排水通道,其设计应包括下列内容:

- (1) 塑料排水板型号的选择;
- (2) 塑料排水板的布设;
- (3) 塑料排水板的施工质量要求。

**7.2.7** 塑料排水板宜采用可测深型,其芯板材料宜选用原生料。塑料排水板的性能指标应满足设计要求,常用塑料排水板的型号及性能指标见现行行业标准《水运工程塑料排水板应用技术规程》(JTS 206)。

**7.2.8** 塑料排水板的平面布置宜采用正方形或正三角形。

**7.2.9** 塑料排水板的间距宜为0.7m~1.5m,应根据工期和固结度要求、地基土的固结特性、塑料排水板的种类、布置方式以及当地工程经验等确定。当缺乏经验时,可按下列公式进行估算:

$$d = \left( \frac{6.5 C_h t}{\ln \frac{d}{d_w} \ln \frac{0.81}{1 - U_{rz}}} \right)^{0.5} \quad (7.2.9-1)$$

$$d_w = 2\alpha_2(b + \delta) / \pi \quad (7.2.9-2)$$

式中  $d$ ——相邻塑料排水板的中心间距(cm)；

$C_h$ ——地基水平固结系数( $\text{cm}^2/\text{s}$ )；

$t$ ——工程允许的固结时间(s)；

$d_w$ ——塑料排水板的等效换算直径(cm)；

$U_{rz}$ ——工程要求达到的应力固结度(%)；

$\alpha_2$ ——换算系数,无试验资料时可取 0.75 ~ 1.00；

$b$ ——塑料排水板的宽度(cm)；

$\delta$ ——塑料排水板的厚度(cm)。

**7.2.10** 塑料排水板宜穿透软土层。软土层深厚时,以稳定性控制的工程,打设深度应超过危险滑动面下 3m;以沉降量控制的工程,打设深度应满足工程对地基残余沉降量的要求。地基沉降量和固结度的计算应按现行行业标准《水运工程地基设计规范》(JTS 147)的有关规定执行。

## 7.3 施 工

**7.3.1** 横向排水通道铺设面应平整,场地上的杂物应清理干净,表面有尖石或带棱角的尖锐硬物时宜设置保护层。

**7.3.2** 土工织物铺设前加工的成品尺寸和形状应满足设计要求。

**7.3.3** 土工织物铺设应符合下列规定。

**7.3.3.1** 铺放应平顺,松紧应适度,并应与土面贴紧。

**7.3.3.2** 损坏处应修补或更换。相邻片搭接长度不应小于 300mm,可能发生位移处应缝合,缝合强度应满足设计要求;不平地、松软土和水下铺设搭接长度应适当增大;水流处搭接部位上游片应压在下游片上。

**7.3.3.3** 坡面上铺设宜自下而上进行,在顶部和底部应予以固定;坡面上应设防滑钉,并应随铺随压重固定。

**7.3.3.4** 与岸坡和结构物连接处应结合良好。

**7.3.3.5** 铺设人员不应穿硬底鞋。

**7.3.4** 外包无纺土工织物带孔管应按设计要求的间距进行铺设,有砂垫层时,带孔管宜布设在砂垫层厚度的中间位置,其交叉处宜采用二通、三通或四通连接。

**7.3.5** 排水沟外周的透水粒料应包裹严密;土工织物的搭接长度不应小于 0.5m,采用缝合连接时,其缝合处强度应满足设计要求。

**7.3.6** 用于排水沟的透水粒料的含泥量应小于 5%。

**7.3.7** 塑料排水板打设设备应根据施工条件选择,振动敏感区段不宜采用振动式,极软地基上打设深度不超过 5m 的塑料排水板可采用裸打。

- 7.3.8 塑料排水板打设宜采用套管式打设法,套管断面尺寸应满足打设垂直度、深度等对套管强度和刚度的要求,并应减少对地基土的扰动。
- 7.3.9 水上打设塑料排水板宜采用定尺打设,每根塑料排水板的长度应有一定的富裕量。采用卷材连续打设时,可采用水下自动剪板装置剪断。
- 7.3.10 施工过程中,严禁出现塑料排水板扭结、断裂和滤膜破损等现象。
- 7.3.11 打入地基的塑料排水板宜为整板,需要接长时每根塑料排水板不得多于1个接头,且有接头的塑料排水板根数不应超过总打设根数的10%,相邻的塑料排水板不得在同深度处出现接头。
- 7.3.12 塑料排水板接长时,芯板搭接长度不应小于200mm,且连接应牢固,滤膜应包裹完好并做好检查记录。
- 7.3.13 打设时回带长度不得大于500mm,且回带的根数不宜大于总根数的5%。
- 7.3.14 塑料排水板在横向排水垫层表面的外露长度不应小于200mm。
- 7.3.15 陆上施工时,塑料排水板定位偏差应小于30mm,打设管靴与板位标记的偏差不应大于50mm;水上施工时打设船定位偏差不宜大于50mm,套管平面位置与打设船确定的板位偏差不应大于50mm,打设过程中应确保船位稳定。
- 7.3.16 塑料排水板打设过程中套管的垂直度偏差不应大于1.5%。
- 7.3.17 打设过程中应逐根自检,不符合验收标准时应在邻近板位处补打。
- 7.3.18 斜坡上打设塑料排水板宜适当偏向坡顶方向定位套管。
- 7.3.19 无砂垫层时,竖向打设的塑料排水板和水平布置的排水管应通过缠绕或专用接头等方式直接连接。

## 8 加筋土岸壁

### 8.1 一般规定

- 8.1.1** 内河航道护岸和中小型码头岸壁可采用加筋土岸壁,其墙面坡度宜大于 $70^\circ$ 。
- 8.1.2** 加筋土岸壁应包括墙面、墙基础、筋材和墙体填土,并应符合下列规定。
- 8.1.2.1** 墙面应根据筋材类型和具体工程要求确定,宜采用整体或模块拼装钢筋混凝土板等类型。
- 8.1.2.2** 整体钢筋混凝土面板宜采用现浇混凝土基础,也可采用浆砌石条形基础。模块拼装的钢筋混凝土面板宜采用杯口形预制钢筋混凝土基础,安装面板后用细石混凝土灌注密实,使面板与基础成为整体。
- 8.1.2.3** 加筋土岸壁应采用强度高、延伸率低、耐久性好的加筋材料,加筋材料宜采用土工格栅或土工带。
- 8.1.2.4** 加筋土体填料应选择水稳定性好、易压实的洁净粗粒料,严禁采用腐殖土和生活垃圾。
- 8.1.3** 加筋土岸壁墙面板块安砌、加筋材料铺设和填料压实,应采用干地施工。
- 8.1.4** 对施工周期较长且可能遭受洪水冲刷的加筋土岸壁工程,在设计和施工中应考虑防洪度汛措施。
- 8.1.5** 加筋土岸壁工程应根据工程要求设置一定数量的观测点,定期进行施工期和使用期的沉降、位移和外观观测。

### 8.2 设计

- 8.2.1** 加筋土岸壁的断面形式应根据岸壁高度、地质条件和地形条件等因素选用矩形、倒梯形、梯形或锯齿形等。
- 8.2.2** 加筋土岸壁的构造应符合下列规定。
- 8.2.2.1** 加筋土岸壁的基础宽度应大于墙面板块厚度且不应小于500mm,基础厚度不应小于400mm,埋深应满足冲刷要求。
- 8.2.2.2** 墙面板块混凝土的强度等级不应低于C25。
- 8.2.2.3** 预制混凝土板墙面板块的长度宜为800mm~2000mm,宽度宜为500mm~600mm,厚度应按结构受力情况计算确定,且不宜小于200mm。
- 8.2.2.4** 墙面板块背水面预设的穿筋孔位置在水平方向宜相互错开。
- 8.2.2.5** 加筋材料采用土工格栅时,土工格栅与墙面板块应可靠连接,可采用预埋土工格栅连接段或特制嵌固板块等连接方式。

8.2.2.6 墙面板块安砌应上下错缝,上下相邻板块宜采用企口连接,也可采用平口插销连接。

8.2.2.7 加筋土岸壁应根据地基条件设置垂直沉降通缝,缝宽宜为 20mm~30mm,缝间距宜为 15m~20m,岩石地基缝间距可适当加大。

8.2.2.8 加筋土岸壁应设置排水缝,排水缝的纵向间距宜为 4m~6m。排水缝处应设置土工织物滤层,滤层的碎石或砾石层厚度不应小于 300mm。

8.2.3 加筋土岸壁设计应包括下列内容:

(1) 外部稳定性验算采用极限平衡法,包括基底及变截面处的抗滑稳定计算、抗倾稳定计算、地基承载力计算、整体稳定计算;

(2) 内部稳定性验算,包括加筋材料的抗拉强度计算和抗拔稳定性计算;

(3) 沉降量计算;

(4) 墙面板块构件计算。

8.2.4 外部稳定性验算和沉降量计算应符合下列规定。

8.2.4.1 可按现行行业标准《码头结构设计规范》(JTS 167)和《水运工程地基设计规范》(JTS 147)的有关规定执行,计算时可将加筋体视作重力式刚性墙。

8.2.4.2 地基承载力计算时,地基计算应力不应出现负值。

8.2.4.3 剩余水压力应根据加筋土岸壁的地下水情况、加筋土体前后水位的变化速率、加筋土的渗透能力、加筋土结构的排水构造设计等计算。剩余水压力计算可参考现行行业标准《码头结构设计规范》(JTS 167)的有关规定。

8.2.5 加筋材料抗拉强度计算应符合下列规定。

8.2.5.1 加筋材料抗拉强度计算的荷载可按水运工程现行有关标准规定的标准值取值。

8.2.5.2 每层加筋材料均应进行计算,第  $i$  层单位墙长加筋材料承受的水平拉力可按下列公式计算:

$$T_i = [(\sigma_{vi} + \sum \Delta\sigma_{vi})K_i + \Delta\sigma_{hi}]s_{ci}/A_r \quad (8.2.5-1)$$

$$K_i = K_0 \left(1 - \frac{h_i}{6}\right) + K_s \frac{h_i}{6} \quad (h_i \leq 6\text{m 时}) \quad (8.2.5-2)$$

$$K_i = K_s \quad (h_i > 6\text{m 时}) \quad (8.2.5-3)$$

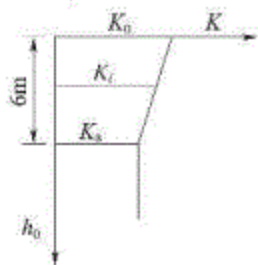
$$A_r = 1/s_{hr} \quad (8.2.5-4)$$

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' \quad (8.2.5-5)$$

$$K_s = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) \quad (8.2.5-6)$$

式中  $T_i$ ——第  $i$  层单位墙长加筋材料承受的水平拉力(kN/m);

- $\sigma_{vi}$ ——验算层筋材所受土的垂直自重压力(kPa);  
 $\Sigma \Delta \sigma_{vi}$ ——荷载引起的垂直附加压力(kPa);  
 $K_i$ ——土压力系数(图 8.2.5);  
 $\Delta \sigma_{hi}$ ——水平附加荷载(kPa);  
 $s_{vi}$ ——筋材垂直间距(m);  
 $A_r$ ——筋材面积覆盖率,对于筋材满铺的情况取 1;  
 $K_0$ ——静止土压力系数;  
 $h_i$ ——墙顶至第  $i$  层加筋材料的距离(m);  
 $K_a$ ——主动土压力系数;  
 $s_{hi}$ ——筋材水平间距(m);  
 $\varphi'$ ——加筋体填料的有效内摩擦角( $^\circ$ );  
 $\varphi$ ——加筋体填料的内摩擦角( $^\circ$ )。

图 8.2.5 土压力系数  $K$  沿深度  $h_0$  分布示意图

$K_0$ —静止土压力系数; $K_i$ —土压力系数; $K_a$ —主动土压力系数

### 8.2.5.3 加筋材料强度应满足下式要求:

$$T_i = T_d \quad (8.2.5-7)$$

式中  $T_i$ ——加筋材料强度(kN/m);

$T_d$ ——加筋材料的允许抗拉强度(kN/m)。

### 8.2.5.4 加筋材料的允许抗拉强度应按下式确定:

$$T_d = \frac{T_{\text{Gu}}}{K_m} \leq T_e \quad (8.2.5-8)$$

式中  $T_d$ ——加筋材料的允许抗拉强度(kN/m);

$T_{\text{Gu}}$ ——加筋材料的极限抗拉强度(kN/m);

$K_m$ ——综合强度折减安全系数,土工格栅宜取 3,当考虑长期作用及蠕变时,可取 4,当有经验时,可适当减小;土工带宜取 4~5;

$T_e$ ——加筋材料在设计应变时的长期抗拉强度,土工格栅取延伸率为 2% 时的抗拉强度,土工带取延伸率为 1.5%~2% 时的抗拉强度。

### 8.2.5.5 加筋土体一个结点所需土工带的根数可按式计算:

$$n_{ik} = \frac{T_i}{T_d} \quad (8.2.5-9)$$

式中  $n_{ik}$ ——第  $i$  层一个结点土工带的根数;

$T_i$ ——第  $i$  层一个结点土工带所受拉力(kN)；

$T_d$ ——土工带的允许抗拉强度(kN)。

### 8.2.6 加筋材料抗拔稳定性计算应符合下列规定。

#### 8.2.6.1 抗拔稳定性可采用简化破裂面进行计算,见图 8.2.6。

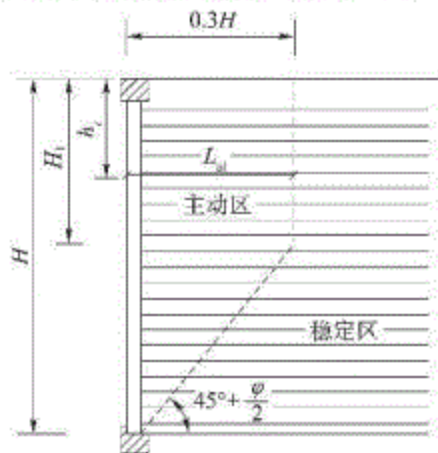


图 8.2.6 简化破裂面示意图

$H$ -加筋土体的高度; $H_1$ -破裂面垂直段高度; $\varphi$ -加筋体填料的内摩擦角; $L_{pi}$ -第  $i$  层加筋材料的主动区内的长度; $h_i$ -墙顶至第  $i$  层土工格栅的距离

#### 8.2.6.2 土工带的锚固长度可按式(8.2.6-1)确定,且不应小于 2000mm。

$$L_{pi} = K_{sp} \frac{T_{si}}{2n_i b \gamma h_i \tan \varphi_{sg}} \quad (8.2.6-1)$$

式中  $L_{pi}$ ——第  $i$  层土工带的锚固长度(m)；

$K_{sp}$ ——土工带抗拔安全系数,宜取 2；

$T_{si}$ ——第  $i$  层一个结点土工带所受拉力(kN)；

$n_i$ ——一个结点所需土工带根数的设计采用值, $n_i \geq n_{ik}$ 且不小于 2 根；

$b$ ——单根土工带的宽度(m)；

$\gamma$ ——土的重度(kN/m<sup>3</sup>)；

$h_i$ ——墙顶至第  $i$  层土工带结点的距离(m)；

$\varphi_{sg}$ ——土工带与填料的视摩擦角(°),宜通过试验确定,当无试验资料时可取填料内摩擦角的 0.6 倍~0.8 倍。

#### 8.2.6.3 土工格栅的锚固长度可按式(8.2.6-2)确定：

$$L_{pi} = K_{gp} \frac{T_{pi}}{2\gamma h_i \tan \varphi_{sg}} \quad (8.2.6-2)$$

式中  $L_{pi}$ ——第  $i$  层土工格栅的锚固长度(m)；

$K_{gp}$ ——土工格栅抗拔安全系数,宜取 2；

$T_{pi}$ ——第  $i$  层土工格栅每延米所受拉力(kN/m)；

$\gamma$ ——土的重度(kN/m<sup>3</sup>)；

$h_i$ ——墙顶至第  $i$  层土工格栅的距离(m)；

$\varphi_{se}$ ——土工格栅与填料的视摩擦角( $^{\circ}$ ),宜通过试验确定。

**8.2.6.4** 加筋材料的设计长度可按式(8.2.6-3)确定,并应满足稳定要求,且不应小于3000mm。

$$L_i = L_{ai} + L_{pi} \quad (8.2.6-3)$$

式中  $L_i$ ——第*i*层加筋材料的设计长度(m);

$L_{ai}$ ——第*i*层加筋材料的主动区内的长度(m)(图8.2.6),当 $h_i \leq H_1$ 时, $L_{ai} = 0.3H$ ;

当 $h_i > H_1$ 时, $L_{ai} = (H - h_i) \tan\left(45^{\circ} - \frac{\varphi}{2}\right)$ ,其中 $h_i$ 为墙顶至第*i*层加筋材料的

距离(m); $H_1$ 为破裂面垂直段高度(m), $H_1 = H - 0.3H \tan\left(45^{\circ} + \frac{\varphi}{2}\right)$ ; $H$ 为加

筋土体的高度(m); $\varphi$ 为加筋体填料的内摩擦角( $^{\circ}$ );

$L_{pi}$ ——第*i*层加筋材料的锚固长度(m)。

**8.2.7** 墙面板块构件计算,可假定每个板块单独受力,按点支承板块进行计算。船舶挤靠力对墙面板块的作用,可假定墙面板块为弹性地基上的板块进行计算。

**8.2.8** 当有系统需求时,加筋土岸壁上的系统设施应单独设置。

## 8.3 施 工

**8.3.1** 加筋材料的储存时间最长不得超过6个月。

**8.3.2** 加筋土岸壁的地基基础施工应符合下列规定。

**8.3.2.1** 基底应按设计要求开挖、压实、整平,压实、整平的范围应在设计尺寸的基础上各边加宽300mm。

**8.3.2.2** 当岩面纵向高差较大时,基底应开挖成阶梯形,每一台阶的长度不宜小于3000mm。

**8.3.2.3** 水下基础施工应按现行行业标准《码头结构施工规范》(JTS 215)的有关规定执行。

**8.3.3** 墙面板块的安砌应符合下列规定。

**8.3.3.1** 第一层墙面板块的安砌应准确定位。每层板块宜从沉降缝处开始,向两边安砌。

**8.3.3.2** 采用企口连接的墙面板块,一次宜安砌一层。采用平口插销连接的墙面板块,一次安砌层数不宜超过两层。

**8.3.3.3** 墙面板块的安砌缝宽不宜大于10mm。除排水缝外的砌缝应坐满砂浆,砂浆强度不应低于M10,有抗冻要求时不应低于M20。

**8.3.3.4** 墙面板块安砌严禁外倾,内倾坡度宜为1/100。

**8.3.4** 加筋材料铺设应符合下列规定。

**8.3.4.1** 土工带应呈扇形辐射状水平铺设,并应均匀分布,距墙面板块的加筋带长度1/3以后不得重叠。

**8.3.4.2** 土工带应平铺和拉紧,不得卷曲和扭结。土工带拉紧定位后,应立即填铺

填料。

**8.3.4.3** 岸壁内转角处交叉的加筋材料间应用填料上下隔开,填料厚度宜大于50mm。

**8.3.4.4** 土工格栅应垂直于岸壁前沿线平铺、拉紧,并应立即填铺填料。

**8.3.5** 加筋体的回填及压实应符合下列规定。

**8.3.5.1** 填料的种类及颗粒粒径应满足设计要求。填料中不应含有尖锐棱角等有损于加筋材料的材料。填料的粒径不应大于填料压实分层厚度的2/3,且不应大于150mm。必要时可设置加筋材料保护层。

**8.3.5.2** 填料必须分层回填及碾压,分层厚度宜为200mm~300mm。

**8.3.5.3** 当采用机械卸料或摊铺时,加筋材料的填料覆盖厚度不应小于200mm。施工机械严禁在未覆盖填料的加筋材料上行驶。

**8.3.5.4** 墙面板块后800mm范围内的回填,应进行人工摊铺,并宜采用轻型机械压实。

**8.3.5.5** 加筋土填料的压实度应满足表8.3.5的要求。

表 8.3.5 加筋体填料压实度

压实范围	压实度
距面板0.8m以外	≥93%
距面板0.8m及以内	≥90%

**8.3.6** 加筋土岸壁排水缝滤层的施工应符合下列规定。

**8.3.6.1** 排水缝滤层的土工织物应自下而上贴墙铺设。

**8.3.6.2** 排水缝滤层的碎石层、砂砾层和排水盲沟应与回填协调施工,并应灌水振捣密实。

## 9 护 坡

### 9.1 一般规定

- 9.1.1 护岸、堤坝和内河航道整治等工程应根据地质、水文、施工、安全、经济等条件综合比选确定护坡材料；护坡可采用模袋混凝土、土工网垫、土工格栅、土工格室或与其他材料组合形式。
- 9.1.2 在护坡设计和施工中，应考虑护坡的整体稳定、细部构造和边界处理等。
- 9.1.3 采用生态护坡，草种应根据当地气温、降水和土质条件等选择，必要时应进行试种；应选择土质适应性强、环境适应性强、根系发达、生长快的草种。

### 9.2 设 计

- 9.2.1 护坡设计应考虑土工合成材料的耐久性。必要时应对土工合成材料做紫外线照射试验。
- 9.2.2 模袋混凝土护坡设计应符合下列规定。
- 9.2.2.1 坡顶宜采用浆砌块石保护或填土覆盖。有地面径流的坡顶，应设置截水沟或其他防止地表水侵蚀模袋下部基土的措施。
- 9.2.2.2 斜坡式护岸模袋混凝土的坡底和坡趾应设置压脚棱体或护脚块体，有冲刷的岸坡应采取护底等防冲措施。
- 9.2.2.3 模袋混凝土护坡宜设置埋入侧翼模袋混凝土的沟槽。
- 9.2.2.4 模袋混凝土接缝处的底部应设置土工织物滤层，模袋混凝土与土工织物滤层的搭接长度不应小于500mm。
- 9.2.2.5 模袋宜选用有纺土工织物。充填混凝土时模袋混凝土厚度不宜小于150mm，混凝土的强度等级不宜低于C20；充填砂浆时模袋混凝土厚度不宜小于100mm，砂浆的强度等级不宜低于M15。
- 9.2.3 模袋混凝土护坡设计计算应包括下列内容：
- (1) 岸坡整体稳定验算；
  - (2) 模袋类型及充填厚度确定；
  - (3) 抗滑稳定验算；
  - (4) 排渗设计。
- 9.2.4 岸坡整体稳定验算可按现行行业标准《水运工程地基设计规范》(JTS 147)的有关规定执行，验算时可不考虑模袋混凝土的抗滑作用。
- 9.2.5 模袋类型及充填厚度应根据工程要求、土质、地形、水文、波浪和施工条件等条件

确定,可参照表 9.2.5 初步选用。模袋混凝土厚度应进行抗浮和抗冰推移稳定验算。

表 9.2.5 模袋类型及充填厚度

模袋类型	充填厚度(mm)	适用范围
充填混凝土	150~250	内河护岸和堤坝的护坡
	300~700	沿海护岸和堤坝的护坡
充填砂浆	100~150	内河航道整治工程的护坡

9.2.6 模袋混凝土护坡应进行沿坡向抗滑稳定验算,抗滑安全系数可按式(9.2.6)计算:

$$F_s = \frac{L_1 + L_2 \cos \alpha}{L_2 \sin \alpha} \cdot f_{cs} \quad (9.2.6)$$

式中  $F_s$ ——安全系数,应大于 1.5;

$L_1, L_2$ ——模袋长度(m),见图 9.2.6;

$\alpha$ ——坡角( $^\circ$ );

$f_{cs}$ ——模袋与坡面间界面摩擦系数,无实测资料时,可取 0.5。

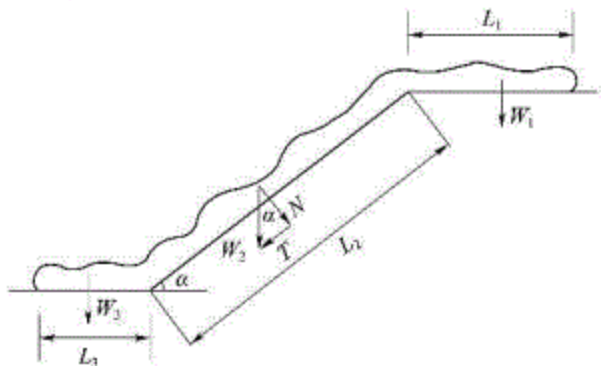


图 9.2.6 抗滑稳定分析示意图

$L_1$ -坡顶处模袋长度; $W_1$ -坡顶处模袋重量; $L_2$ -坡面上模袋长度; $W_2$ -坡面上模袋重量; $T$ -坡面上模袋重量沿坡面方向的分量; $N$ -坡面上模袋重量沿垂直坡面方向的分量; $\alpha$ -坡角; $L_3$ -坡脚处模袋长度; $W_3$ -坡脚处模袋重量

9.2.7 模袋混凝土护坡应根据坡面渗流量采取排水措施,确定滤层类型和模袋滤水点分布数量及布置方式。当选用无滤水点模袋混凝土时,应设置渗水滤管。顺坡轴方向 1m 所需排水孔数量  $n$  可按式(9.2.7)估算:

$$n = F_s \cdot \frac{\Delta q}{kJa} \quad (9.2.7)$$

式中  $n$ ——顺坡轴方向 1m 所需排水孔数量;

$F_s$ ——安全系数,可取 1.5;

$\Delta q$ ——顺坡轴方向 1m 所需的排水量( $m^3/s$ );

$k$ ——渗水孔处滤层渗透系数( $m/s$ );

$J$ ——渗水处水力梯度;

$a$ ——一个排水孔的面积( $m^2$ )。

9.2.8 采用土工网垫植被护坡时,应进行可行性分析,并应确定植被网护坡范围、草种类型等。

9.2.9 土工网垫在坡顶、坡趾和坡中间应予固定。

9.2.10 土工格栅生态护坡可用于坡率不大于 1:0.75 的土质边坡和强风化岩质边坡,其结构形式如图 9.2.10 所示。

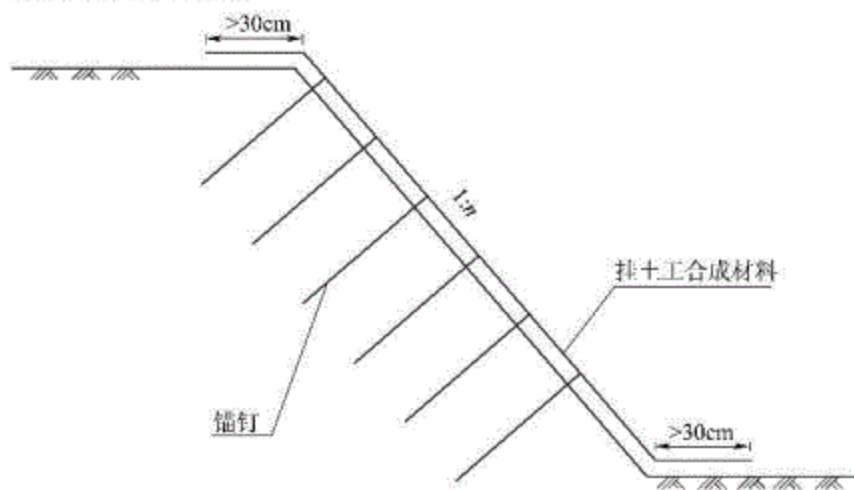


图 9.2.10 土工格栅生态护坡结构形式示意图

9.2.11 土工格栅在坡上、下两端应各外伸不少于 30cm,并用 U 形钉交错固定。搭接长度应大于 10cm,搭接部分可用尼龙绳或镀锌细铁丝连接,并用 U 形钉固定,也可用连接棒连接。

9.2.12 坡率为 1:0.2~1:1.0 的强风化和中等风化、节理裂隙发育、碎裂结构的岩质边坡,可用土工格栅喷射混凝土护坡,其结构形式如图 9.2.12 所示。

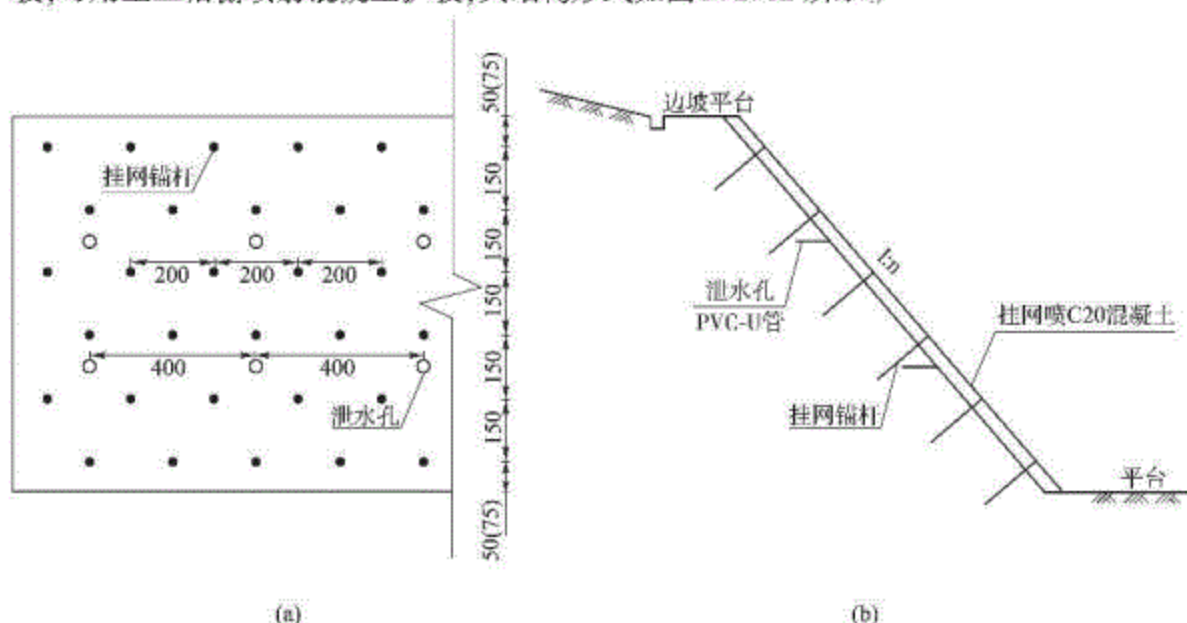


图 9.2.12 土工格栅喷射混凝土护坡结构形式(尺寸单位:cm)

(a)平面布置图;(b)断面布置图

9.2.13 土工格栅喷射混凝土护坡时,纵向每隔 15m 应设置 5cm 宽伸缩缝,缝内填塞沥青麻筋或泡沫板,并应在坡面混凝土护层内设置泄水孔。

9.2.14 土工格栅喷射混凝土护坡的喷射混凝土厚度、强度应符合现行行业标准《公路土工合成材料应用技术规范》(JTG/T D32)中的有关规定。

9.2.15 土工格室用于护坡时,可采用侧壁带孔的土工格室。格室应用扞钉等固定,并验算边坡稳定。

9.2.16 采用其他类型的土工合成材料或组合材料进行护坡时,抗拉强度、抗紫外线、整体稳定性应符合国家现行标准《土工合成材料应用技术规范》(GB/T 50290)等标准的有关规定。

## 9.3 施 工

9.3.1 模袋混凝土施工应符合下列规定。

9.3.1.1 模袋混凝土的模袋加工尺寸应根据设计要求和现场地形等确定,并应预留收缩量,收缩量宜通过试验确定。

9.3.1.2 模袋混凝土护坡前应对坡面进行处理。坡面平整度偏差水下不应大于150mm,陆上不应大于100mm。

9.3.1.3 模袋混凝土护坡施工时应考虑内外水头差的影响。

9.3.1.4 模袋铺设前应设置定位桩及拉紧装置。

9.3.1.5 模袋铺设时应随铺随压。

9.3.1.6 模袋铺设后应拉紧上缘固定绳索,并应及时充填混凝土或砂浆。

9.3.1.7 模袋混凝土填充料的制备除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定外,尚应符合下列规定:

(1)粗骨料的最大粒径符合表 9.3.1-1 的规定;

表 9.3.1-1 混凝土粗骨料最大粒径

模袋混凝土厚度(mm)	骨料最大粒径(mm)
150~250	≤20
≥250	≤40

(2)混凝土塌落度不小于200mm。

9.3.1.8 模袋混凝土的充填应符合下列规定:

(1)陆上部分的模袋充填前要保持润湿;

(2)模袋充填从相邻已充填的模袋混凝土块处开始,由下而上依次进行;

(3)模袋充填时,泵管与充填口要扎牢;泵管垂直插入充填口内时,在泵管口设置减冲挡板;充填过程中及时调整模袋上缘张紧装置;

(4)模袋充填速度为 $10\text{m}^3/\text{h} \sim 15\text{m}^3/\text{h}$ ,充填压力为 $0.2\text{MPa} \sim 0.3\text{MPa}$ ;

(5)每一充填口的充填要连续并充填饱满。

9.3.1.9 模袋铺设和充填宜按先上游后下游、先深水后浅水、先标准断面后异形断面的次序进行。

9.3.1.10 铺设模袋时,宜预留一定富裕量,充填后的模袋混凝土应相互挤严。

9.3.1.11 模袋混凝土充填完成后,应及时清理模袋表面和滤点孔内的灰渣,并进行

养护。

**9.3.1.12** 充填后的模袋混凝土坡脚应及时进行沟槽回填覆盖和压脚棱体施工。

**9.3.1.13** 模袋混凝土护坡施工的允许偏差应符合表 9.3.1-2 的规定。

**表 9.3.1-2 模袋混凝土护坡施工允许偏差**

序 号	项 目	允许偏差 (mm)
1	模袋混凝土厚度	+8% $h$ -5% $h$
2	相邻块缝宽	30
3	表面平整度	100

注： $h$  为模袋混凝土厚度，mm。

**9.3.2** 采用土工网垫或土工格栅进行生态护坡施工应符合下列规定。

**9.3.2.1** 铺设土工合成材料前应整平坡面。

**9.3.2.2** 土工格栅铺设时应平顺并紧贴坡面，并用锚钉固定于坡面上。

**9.3.2.3** 土工格栅应沿坡面自上而下铺设，坡顶应加强锚固；坡顶、坡脚平铺包边宽度宜为 0.5m ~ 1.0m，并应夯填加固，锚杆外露坡面部分应进行防锈处理。

**9.3.2.4** 土工格栅喷射混凝土护坡的施工工艺应符合国家现行标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086) 中挂钢筋网喷射混凝土护坡的有关规定。

**9.3.2.5** 施工时机的选择，应避免高温、大雨或寒冷等不利因素。

**9.3.3** 采用其他类型土工材料或组合时，应避免长时间暴晒，并做好材料间的相互联系。

## 10 充填袋筑堤

### 10.1 一般规定

- 10.1.1** 围堤、防波堤、护岸和航道整治等工程可采用充填袋筑堤。
- 10.1.2** 充填袋应根据工程要求和施工条件选用透水性和保土性好、具有较强抗老化性能的有纺土工织物或复合土工织物。
- 10.1.3** 充填袋的充填料宜采用排水性能较好的砂性土。有经验的地区,也可采用含水率较低的粉土、黏土、淤泥与水泥拌和的固化土装袋筑堤。施工期受较大波浪作用的充填袋体宜采用较低延伸率的机织布或复合机织布。
- 10.1.4** 充填袋筑堤施工中应对充填袋及时覆盖。
- 10.1.5** 对风浪大、水流冲刷严重的工程,施工期和使用期应采取防护措施。

### 10.2 设计

- 10.2.1** 充填袋筑堤应根据工程要求和水文地质条件等选用双棱体、单棱体或全棱体等断面形式,见图 10.2.1。堤身高度小于 4m 时,宜采用全棱体断面形式;堤身高度大于 4m 时,宜采用双棱体断面形式。吹填造陆的工程宜采用单棱体断面形式。

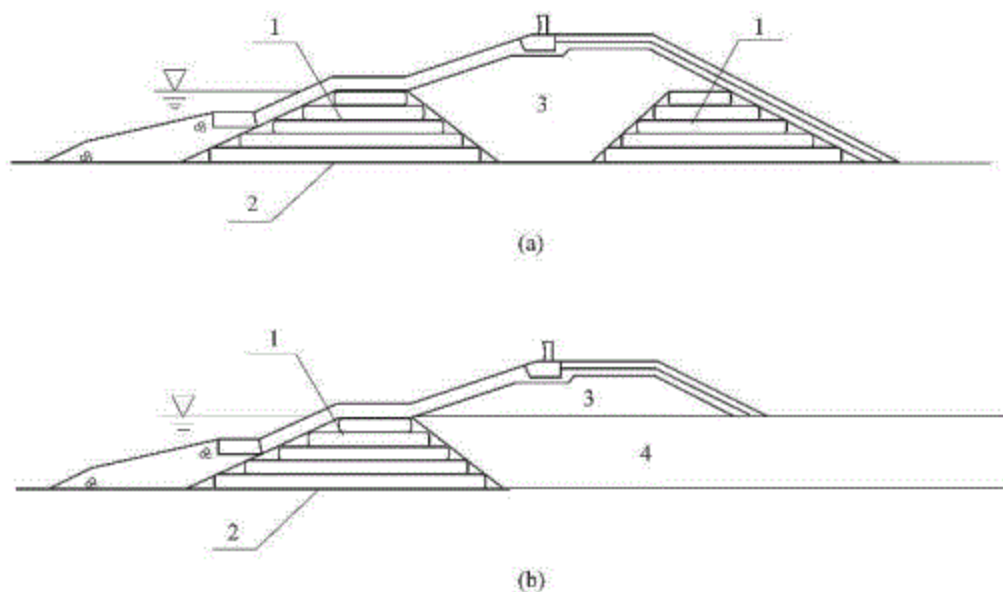


图 10.2.1

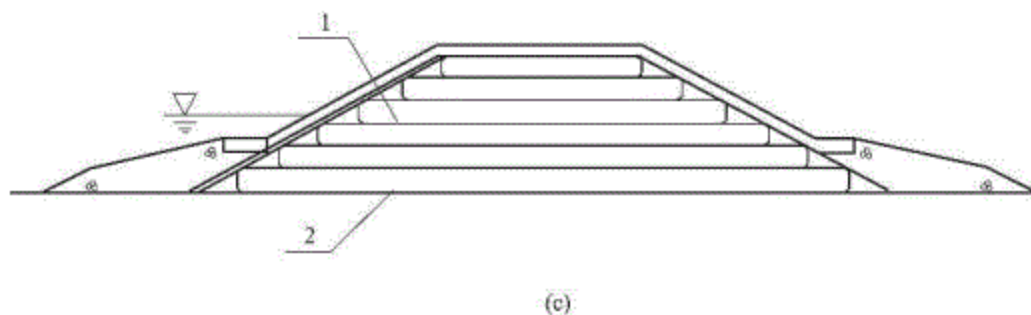


图 10.2.1 充填袋筑堤断面形式示意图

(a) 双棱体堤断面; (b) 单棱体堤断面; (c) 全棱体堤断面

1-充填袋; 2-软体排; 3-充填土; 4-吹填砂

**10.2.2** 充填袋筑堤的断面尺寸应根据堤身稳定、材料特性和使用要求通过计算分析确定。外坡坡度宜取  $1:1.5 \sim 1:3.0$ , 内坡坡度宜取  $1:1.0 \sim 1:2.0$ , 防浪要求低、地基条件好、护面施工方便的可取较陡的坡度, 反之, 宜取较缓的坡度。

**10.2.3** 充填袋棱体的构造应符合下列规定。

**10.2.3.1** 堤身采用全棱体时, 充填袋棱体的顶高程、顶宽可根据堤身断面尺度和结构层设置情况确定。

**10.2.3.2** 堤身下部采用双棱体时, 内外棱体的顶高程不宜低于施工水位。堤心砂无法及时覆盖保护时, 外棱体的顶高程不宜低于大潮平均高潮位。

**10.2.3.3** 采用充填袋棱体进行围区合拢时, 外棱体的顶高程应高出设计高水位  $0.5\text{m}$  以上, 内棱体的顶高程不应低于平均潮位。

**10.2.3.4** 结合围区吹砂采用多级单棱体时, 第一级棱体宜高出平均潮位, 第二级棱体宜在设计高水位附近。

**10.2.3.5** 位于水下区的充填袋棱体, 其顶宽不宜小于  $5\text{m}$ , 坡度不宜大于  $1:1.5$ ; 位于水位变动区的充填袋棱体, 其顶宽不宜小于  $3\text{m}$ , 坡度不宜大于  $1:1.5$ ; 位于水位变动区以上的充填袋棱体, 其顶宽不宜小于  $2\text{m}$ , 坡度不宜大于  $1:1.0$ 。

**10.2.3.6** 充填袋层与层间应交错排列, 不得形成垂直通缝。每层充填袋的厚度宜为  $0.4\text{m} \sim 0.8\text{m}$ 。袋体强度较高时, 充填厚度可适当增加。

**10.2.4** 充填袋的袋体宜采用防老化的有纺土工织物或土工复合材料缝制加工而成。土工合成材料的保土和排水性能应符合反滤准则, 且根据自然条件、施工条件和使用要求选择合适的规格, 并应符合下列规定。

**10.2.4.1** 风浪较小时可采用  $100\text{g/m}^2 \sim 230\text{g/m}^2$  的有纺土工织物; 风浪较大时, 宜采用  $230\text{g/m}^2$  以上的有纺土工织物, 且迎浪面和顶部宜采用土工复合材料。

**10.2.4.2** 采用抛填施工的充填袋, 袋体宜采用  $230\text{g/m}^2$  以上的有纺土工织物或土工复合材料, 单个袋体尺寸宜取  $(3\text{m} \sim 6\text{m}) \times (4\text{m} \sim 8\text{m})$ 。

**10.2.4.3** 水深较深且采用连续充灌工艺的充填袋, 袋体宜采用强度较高的土工织物或缝制加筋措施。

**10.2.4.4** 用作加筋垫层的通长充填袋, 应根据加筋要求确定其规格。

**10.2.5** 充填袋的充填料宜选用砂性土,粒径大于0.075mm的颗粒含量应大于50%,黏粒含量应小于10%。用作排水垫层的排水砂被,宜选用中粗砂,粒径大于0.25mm的颗粒含量应大于50%,黏粒含量应小于5%。

**10.2.6** 充填袋筑堤的反滤和防护构造应符合以下规定。

**10.2.6.1** 充填袋筑堤的边坡宜采用无纺土工织物反滤层,并覆盖碎石、袋装碎石或二片石垫层进行保护,迎水坡水下部分保护层厚度不宜小于300mm,迎水坡水上部分及背水坡不宜小于150mm。反滤层应伸出坡趾2m以上,并与堤基的反滤设施搭接。受吹填土覆盖部分的内坡可不设滤层和保护层。

**10.2.6.2** 对粉土、砂土等透水地基,宜在堤身两侧采用土工织物水平铺盖,并压载透水材料。铺盖的长度应通过渗流计算确定。当表层有弱透水层时,宜根据弱透水层底面的承压水头确定铺盖压重。

**10.2.6.3** 充填袋筑堤护面可采用块石或人工护面块体等,护底宜采用软体排或抛石等。

**10.2.6.4** 充填袋筑堤的坡肩和坡趾应设置防浪和防冲设施。

**10.2.7** 充填袋筑堤设计计算应包括下列内容:

- (1) 整体稳定验算;
- (2) 地基沉降计算;
- (3) 充填袋层间抗滑稳定验算;
- (4) 渗流稳定计算;
- (5) 土工织物水力学、物理力学性能指标确定;
- (6) 充填料的物理指标确定;
- (7) 护面与护底设计。

**10.2.8** 整体稳定验算和地基沉降计算可参照现行行业标准《水运工程地基设计规范》(JTS 147)的有关规定执行。设置于基底的通长充填袋,其加筋作用可按第5章有关规定确定。

**10.2.9** 充填袋层间抗滑稳定性验算可按式(10.2.9)进行。在风浪和水流较大条件下,顶层充填袋的稳定性可通过试验确定。

$$K_{gc} = \frac{\mu W}{P} \quad (10.2.9)$$

式中  $K_{gc}$ ——充填袋层间抗滑稳定安全系数,不小于1.3;

$\mu$ ——充填袋层间摩擦系数,由试验确定;

$W$ ——计算层以上总垂直荷载(kN/m);

$P$ ——计算层以上袋体受到的总水平荷载(kN/m)。

**10.2.10** 充填袋筑堤的渗流稳定计算应符合下列规定。

**10.2.10.1** 对于透水地基,当堤身两侧存在水位差时,应进行地基土渗流稳定计算;防渗要求较高时,还应计算渗流量。对于不透水或弱透水地基,当堤身设有良好的反滤结构时,可不进行渗流稳定计算。

**10.2.10.2** 袋装砂筑堤渗流计算宜按稳定渗流计算。在挡水过程中未能形成稳定渗流的,也可按不稳定渗流计算。渗流计算宜采用数值方法。

**10.2.10.3** 渗流计算采用的水位组合,向堤内渗流时,外侧宜采用设计高水位,内侧宜采用相应的平均水位、低水位或无水;向堤外渗流时,外侧宜采用设计低水位,内侧宜采用相应高水位、吹填水位或地下水位。计算渗流量时,外侧水位应采用平均高潮位。

**10.2.10.4** 地基土的出逸坡降大于允许坡降时,应加大反滤层的防护范围,渗流量较大时应考虑采用土工膜或水泥搅拌桩等截渗措施。

**10.2.10.5** 地基土的允许坡降宜根据试验确定。无试验资料时,黏性土的允许坡降宜按式(10.2.10)计算,无黏性土的允许坡降,可按表 10.2.10 选用。

$$J_{cr} = (G_s - 1)(1 - n)/F_s \quad (10.2.10)$$

式中  $J_{cr}$ ——土的允许坡降;

$G_s$ ——土粒比重;

$n$ ——土的孔隙率;

$F_s$ ——安全系数,取 2.0。

表 10.2.10 无黏性土的允许坡降

渗透变形形式	流土型			过渡型	管涌型	
	$C_u < 3$	$3 \leq C_u \leq 5$	$C_u > 5$		级配连续	级配不连续
允许坡降	0.25~0.35	0.35~0.50	0.50~0.80	0.25~0.40	0.15~0.25	0.10~0.15

注:① $C_u$ 为土的不均匀系数;

②表中的数值适用于渗流出口无反滤的情况。

**10.2.11** 充填袋土工织物的水力学、物理力学性能指标可按第 4 章的有关规定确定。

**10.2.12** 充填袋筑堤的护面和护底设计可按现行行业标准《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)等标准的规定执行。

## 10.3 施 工

**10.3.1** 充填袋筑堤所用土工合成材料的品种、规格和强度、渗透性、抗老化性能等应满足设计和相关产品技术标准要求。土工织物缝接头强度不宜低于土工织物拉伸强度的 60%。

**10.3.2** 充填袋筑堤宜采用水力方法造浆和充填,充填压力应控制在袋体强度允许范围内,充填袋充填饱满度宜为 80%。充填袋排水固结后的厚度不应小于设计要求,充填料干重度不应小于  $14.5 \text{ kN/m}^3$ 。

**10.3.3** 充填袋的充填口应布置在袋体上表面,充填口数量应根据袋体的尺寸、充填料粒径和充填压力确定,充填时应确保袋体的充填饱满度和平整度。充填完成后,应及时绑扎充填口。

**10.3.4** 充填料取料位置位于堤体附近时,取料坑应与堤体的坡趾具有足够的距离。

**10.3.5** 充填袋筑堤应对基底进行处理。表面存在杂物和薄层流泥时应予清除,存在局部凸起或坑洼时宜进行整平。

**10.3.6** 充填袋铺放充填可采用人工直接铺放充填、专用船铺放充填或专用船充填抛袋等方法。采用抛袋施工时,应根据水流、水深、袋体尺寸和定位精度要求,选择吊装抛填或翻板抛填等方法。

**10.3.7** 充填袋应垂直于堤轴线方向连续铺设,上下袋体应错缝排列,铺设后的外形尺寸应满足设计要求。

**10.3.8** 充填袋同层相邻袋体接缝处应预留收缩量,充填后的袋体不应形成水平通缝。

**10.3.9** 风浪较大或床面具有一定坡度时,充填袋内宜设置一定数量的隔仓。

**10.3.10** 充填袋应分层施工,上下层袋体施工间歇时间应满足充填袋排水固结要求。地基采用排水固结法处理时,加载速度尚应满足地基承载力要求。

**10.3.11** 充填袋棱体完成后,应按设计要求及时覆盖滤层和保护层,充填袋暴露日照时间不宜超过1个月。风浪流较大时应及时护面。

**10.3.12** 充填袋棱体覆盖保护前,应检查袋体是否有破损,有破损时应及时修补或更换袋体。需要理坡时,宜采用小砂袋或碎石袋整平坡面,不应削袋整平。

**10.3.13** 水下部位的充填袋,应通过断面水深测量、潜摸、GNSS定位测量、多波速扫测等检测手段,确定袋体施工质量。

**10.3.14** 充填袋筑堤施工的允许偏差应符合表 10.3.14 的规定。

表 10.3.14 充填袋筑堤施工的允许偏差

序号	项 目	允许偏差(mm)
1	充填袋袋体长度	±500
2	相邻袋体间局部最大缝宽	20
3	堤顶面高程	陆上 ±100 水下 ±150
4	堤顶轴线偏移	陆上 500
		水下 1500

## 11 软体排护底

### 11.1 一般规定

11.1.1 防波堤、护岸、围堰和航道整治堤坝等工程可采用软体排护底。

11.1.2 软体排护底根据土工织物排布及其上压载连接方式,可分为系结软体排、分离压载软体排和砂被软体排等结构形式。

11.1.3 软体排排布宜采用单位面积质量不低于  $200\text{g}/\text{m}^2$  的有纺土工织物缝接而成,并按一定间距缝制加筋带。对于易冲刷的粉细砂地基,排布应将上述土工织物与单位面积质量不低于  $150\text{g}/\text{m}^2$  的聚酯无纺土工织物复合使用。

11.1.4 软体排压载材料应根据水流、波浪、水深和可能产生的冲刷变形等因素,采用块石、砂袋、碎石袋、砂肋、混凝土块或混凝土连锁块等。水流、波浪较大时,压载的重量和尺度应通过物理模型试验确定。

11.1.5 软体排铺设工艺应根据设计要求选择,铺设过程中应确保软体排相邻排体间的搭接长度满足设计要求。

### 11.2 设计

11.2.1 护底软体排设计应包括下列内容:

- (1) 软体排结构形式选择;
- (2) 土工织物材料性能指标选择;
- (3) 土工织物抗拉强度验算;
- (4) 软体排抗掀动稳定验算;
- (5) 软体排抗滑稳定验算;
- (6) 软体排余排长度确定。

11.2.2 软体排的结构形式应根据水流、水深、河床土质及保护要求等因素确定,并应符合下列规定。

11.2.2.1 水流较大的区域,宜采用混凝土连锁块软体排、系混凝土块软体排。

11.2.2.2 水流较小的区域,可采用砂肋软体排、系砂袋(碎石袋)软体排。

11.2.2.3 低水出露的滩地或近岸部位,软体排上宜覆盖不少于2层的块石。

11.2.2.4 预测冲刷变形较小或水深30m以上区域,可采用抛石压载软体排。

11.2.2.5 施工期临时防护区域可采用砂肋软体排或砂被软体排。

11.2.3 软体排土工织物力学性能指标应根据排体结构受力情况计算确定。水力学性能指标应按第4章有关规定确定。

11.2.4 软体排纵向和横向抗拉强度应满足施工期和使用期要求。软体排抗拉安全系数可按式(11.2.4-1)计算。铺设施工时软体排纵向或横向受到的荷载可按式(11.2.4-2)计算,使用期间的受力可根据河床冲刷变形情况分析确定。

$$K_{sm} = \sum T_{sm} / F_{sm} \quad (11.2.4-1)$$

$$F_{sm} = G_1 \sin \alpha + \sqrt{G_2^2 + P_w^2} \quad (11.2.4-2)$$

式中  $K_{sm}$ ——软体排纵向或横向抗拉安全系数,施工期取 2~3,使用期取 3~4,当有经验时可适当减小;

$T_{sm}$ ——排体极限抗拉强度(kN/m),缝制加筋带时,加筋方向仅按加筋带受力计算;

$F_{sm}$ ——软体排纵向或横向承受的荷载(kN/m);

$G_1$ ——滑板上排体的重量(kN/m);

$\alpha$ ——施工时铺排船滑板的水平倾角(°);

$G_2$ ——悬空部分排体的重量(kN/m);

$P_w$ ——施工时排体受到的水流力(kN/m),可按现行行业标准《港口与航道水文规范》(JTS 145)计算确定。

11.2.5 混凝土连锁块软体排的压载稳定可按附录 A 验算。其他形式软体排在水流作用下的压载稳定验算可按式(11.2.5)进行,边缘和搭接部位上层的压载应增加 25%~50%,波浪、波流共同作用下的压载稳定宜由模型试验确定。

$$t_m \geq K_s \frac{\alpha_m V^2}{\frac{\gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w} 2g} \quad (11.2.5)$$

式中  $t_m$ ——软体排等效厚度(m),指折算到单位面积上压载物的平均厚度;

$K_s$ ——抗掀动安全系数,可取 1.2~1.4,水流复杂的区域取大值;

$\alpha_m$ ——系数,与水流流态、压载形式有关,系结软体排可取 0.5;抛石压载软体排和砂被软体排可取 1.0;

$V$ ——软体排护底处水流垂线平均流速(m/s);

$\gamma_m$ ——软体排重度(kN/m<sup>3</sup>);

$\gamma_w$ ——水的重度(kN/m<sup>3</sup>);

$g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>)。

11.2.6 软体排抗滑稳定验算可按式(11.2.6)进行。

$$\gamma_m' t_m \sin \alpha \leq (\gamma_m' t_m \cos \alpha - \Delta h \gamma_w) f_{sg} / K_m \quad (11.2.6)$$

式中  $\gamma_m'$ ——软体排的浮重度(kN/m<sup>3</sup>);

$t_m$ ——软体排等效厚度(m);

$\alpha$ ——坡角(°);

$\Delta h$ ——软体排上下水头差(m);

$\gamma_w$ ——水的重度(kN/m<sup>3</sup>);

$f_{sg}$ ——软体排与坡面的摩擦系数,用水下值,由试验确定;

$K_m$ ——软体排抗滑稳定安全系数,取 1.1~1.3。

**11.2.7** 软体排的护底范围应根据流场变化及其冲刷分析确定。堤脚外的护底余排长度宜采用式(11.2.7)确定。

$$L \leq K_p (\sqrt{1+m^2} h_p + B) \quad (11.2.7)$$

式中  $L$ ——软体排余排长度(m)；

$K_p$ ——安全系数,可取 1.1~1.3,水流复杂的区域取大值；

$m$ ——河床冲刷稳定边坡坡度,可取 2~4；

$h_p$ ——有护底时的最终冲刷深度(m),与余排长度  $L$  有关,宜通过试验确定其相关关系,再与式(11.2.7)联立求解；

$B$ ——堤脚外预留安全宽度(m),根据堤身稳定需要预留。

**11.2.8** 软体排护底的构造要求应符合下列规定。

**11.2.8.1** 采用混凝土连锁块软体排、系混凝土块软体排时,混凝土块的强度等级不宜低于 C20,厚度不宜小于 10cm,长厚比和宽厚比不宜小于 2。

**11.2.8.2** 采用砂肋软体排、系砂袋软体排或碎石袋软体排时,砂肋、砂袋或碎石袋宜采用 150g/m<sup>2</sup> 以上的有纺土工织物,压载间距不宜大于 1.0m。

**11.2.8.3** 采用抛石压载软体排时,块石的饱和单轴抗压强度不宜低于 30MPa,块石的层数不宜小于 2 层,厚度不宜小于 0.5m。

**11.2.8.4** 软体排的排布宜沿长度方向均匀缝制聚丙烯加筋带,加筋带宽度可取 3cm~10cm,间距不宜大于 1.0m。

**11.2.8.5** 软体排的砂肋套和绑扎环等应缝制在加筋带上,材料宜采用强度较高的聚丙烯加筋带或尼龙绳。

**11.2.8.6** 软体排边缘和搭接部位的压载应根据抗掀动稳定验算情况进行加强,加强部位的宽度不宜小于 2m。

**11.2.8.7** 软体排的排边应力求平顺,相邻排边的平面错牙宜控制在 2m 以内。

### 11.3 施 工

**11.3.1** 软体排土工织物排体、加筋带、砂肋套和绑扎环的材料和缝制应满足设计要求,缝接处的强度不宜低于土工织物拉伸强度的 60%。

**11.3.2** 压载材料制作和系结应符合下列规定。

**11.3.2.1** 块石、混凝土块和混凝土连锁块的规格、尺寸、数量和强度等指标应满足设计要求。

**11.3.2.2** 砂肋、砂袋和砂被充填料宜采用黏粒含量小于 5% 的细砂或中粗砂,砂肋和砂袋充填饱满度宜为 80%,砂被充填厚度宜大于 0.3m。

**11.3.2.3** 砂肋、砂袋、混凝土块和混凝土连锁块与软体排加筋带的系结方式、间距和系结材料等应满足设计要求。

**11.3.3** 软体排铺设前应进行清障,局部坑洼宜采用砂袋填平。

**11.3.4** 软体排的铺设方法应符合下列规定。

11.3.4.1 低潮时出露的部位可采用人工铺设。

11.3.4.2 高平潮时有2m以上水深的区域可采用铺排船铺设。

11.3.4.3 垂直堤坝轴线方向宜采取连续方式铺设,沿堤坝轴线方向宜采取搭接方式铺设。

11.3.4.4 软体排护底应先于堤坝施工,超前护底范围应覆盖因堤身结构施工引起流速增大的区域且不宜少于50m。铺设方向在单向流河段宜从下游向上游铺设,在往复流河段宜逆主流铺设。

11.3.5 软体排铺设过程中,排与排之间的有效搭接长度水下不应小于2.0m,水面以上不应小于1.0m。软体排沿堤坝轴线方向宽度不宜突变。

11.3.6 软体排铺设前,应根据设计铺设范围和铺排作业能力确定每张软体排铺设的位置、长度和宽度,并应考虑软体排的褶皱量、收缩量和搭接量。

11.3.7 单张软体排铺设长度应为单张软体排有效长度、地形起伏增加量和排体收缩预留量的总和,可按式计算:

$$L_s = C_1 C_2 L \quad (11.3.7)$$

式中  $L_s$ ——单张软体排铺设长度(m);

$C_1$ ——褶皱系数,视地形情况而定;

$C_2$ ——收缩系数,可取1.05;

$L$ ——单张软体排有效长度(m)。

11.3.8 单张软体排铺设宽度应为单张软体排有效宽度、相邻排有效搭接长度、地形起伏增加量和排体收缩预留量的总和,可按式计算:

$$B_s = C_1 C_2 (B + \Delta B) \quad (11.3.8)$$

式中  $B_s$ ——单张软体排铺设宽度(m);

$C_1$ ——褶皱系数,视地形情况而定;

$C_2$ ——收缩系数,可取1.05;

$B$ ——单张软体排有效宽度(m);

$\Delta B$ ——相邻排有效搭接长度(m)。

11.3.9 分离压载软体排应及时压载、覆盖。抛设块石或混凝土块压载时应防止块石或混凝土块棱角造成软体排的破损。

11.3.10 堤坝合拢处应加大软体排护底范围和相邻软体排之间的搭接长度,并应对软体排采取防冲措施。

11.3.11 砂被软体排的铺设不应出现通缝。

## 12 检测与监测

### 12.1 一般规定

12.1.1 土工合成材料使用前,应按照产品要求或设计要求的项目进行质量检测,经检测满足要求的产品方能投入使用。

12.1.2 土工合成材料质量检测的频次应符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的相关规定,并应满足设计要求。

12.1.3 土工合成材料的监测应满足设计要求,监测项目应包括原位土工合成材料的应力变形监测、老化程度监测和周边地基的应力变形监测等。

12.1.4 土工合成材料监测与检测的仪器设备应满足现行行业标准《水运工程试验检测仪器设备技术标准》(JTS 238)的相关规定。

### 12.2 检测

12.2.1 水运工程常用的土工合成材料的质量检测项目可根据材料在相关工程中的功能作用按表 12.2.1 选择。

表 12.2.1 土工合成材料检测项目表

功能作用	材料名称	检测项目	
		必检项目	选检项目
滤层充填 袋软体排	土工织物	单位面积质量、厚度、拉伸强度、撕裂强度、等效孔径、渗透系数、顶破强度	刺破强度、动态穿孔、抗老化、直剪摩擦系数等
加筋垫层	土工织物	单位面积质量、厚度、拉伸强度、撕裂强度、等效孔径、渗透系数、顶破强度、接缝拉伸强度	刺破强度、动态穿孔、抗老化、直剪摩擦系数等
	土工格栅	网孔尺寸、拉伸强度、伸长率	单位面积质量、粘焊点剥离力等
防渗层	土工膜	厚度、纵横向拉伸强度、断裂延伸率、纵横向直角撕裂强度	单位面积质量、耐静水压力、渗透系数、刺破强度等
排水通道	塑料排水板	断面尺寸、复合体拉伸强度、滤膜拉伸强度、复合体纵向通水量、滤膜等效孔径	复合体单位长度质量、滤膜单位面积质量、芯板抗压强度、粘合缝拉伸强度等;现场打设深度检测
	地基加固用 软式透水管	复合体单位长度质量、滤膜单位面积质量、环刚度、滤膜渗透系数、滤膜等效孔径等	管径、管壁厚度、透水面积等

12.2.2 土工合成材料试验检测样品应具有良好的代表性,送检的样品数量应满足下列要求。

12.2.2.1 土工织物、土工格栅、土工膜等片状样品不应少于3延米。

12.2.2.2 塑料排水板、软式透水管等条状样品不应少于15延米。

12.2.3 土工合成材料被检样品在试验检测前应一分为三,一份用于试验检测,另两份留存备用。样品留存的保存期自检测报告发出之日起不应少于1个月。

12.2.4 样品经裁剪后的每一检测参数的有效试件数量应符合下列规定。

12.2.4.1 物理性质测定的试件数量不应少于10个。

12.2.4.2 力学性质和水力学性质试验的试件数量不应少于5个。

12.2.5 裁剪由两种及以上材料复合而成的土工合成材料时,在不影响各自材料性能的前提下,可对不同材料分别进行试验。

12.2.6 土工合成材料的室内老化试验应根据需要选择荧光紫外灯、氙弧灯加速老化试验或抗氧化性能试验。现场老化试验应根据需要在工程现场原位老化后再取样进行室内试验。

12.2.7 采用气动或液压类夹具进行拉伸试验,需要测量试样伸长量时,可用拉伸时夹具间距的实际变形量计算;采用手动夹具测量试样伸长量时,宜采用引伸计或以标线名义试验长度的变化量计算。

12.2.8 土工合成材料检测样品的检测结果应以所有有效试样的算术平均值计,必要时尚应计算各试样的标准差和变异系数。

12.2.9 水运工程常用的土工合成材料的检测参数值有效位数应满足表12.2.9的要求。

表12.2.9 常用土工合成材料试验检测报告参数值有效位数

参数名称	单位	小数点后位数	示 例	适用范围	备注
单位面积质量	g/m <sup>2</sup>	0	151g/m <sup>2</sup>	土工织物、土工膜等	
单位长度质量	g/m	0	112g/m	塑料排水板、软式透水管等	
厚度	mm	2	1.25mm	土工织物、土工膜等	
	mm	1	2.0mm	塑料排水板、土工加筋带等	
等效孔径	mm	2	0.08mm	土工织物、塑料排水板滤膜等	干筛法
网孔尺寸	mm	0	45mm×45mm	土工格栅等	
渗透系数	cm/s	1	1.0×10 <sup>-1</sup> cm/s	土工织物、塑料排水板滤膜等	
耐静水压	MPa	1	1.1MPa	土工膜等	
复合体纵向通水量	cm <sup>3</sup> /s	0	25cm <sup>3</sup> /s	塑料排水板	
断裂力	N	0	700N	塑料土工加筋带	
拉伸强度	MPa	1	18.5MPa	土工膜等	
	kN/m	1	3.5kN/m	塑料排水板、无纺土工织物、土工格栅等	
	kN/m	0	45kN/m	编织土工织物、机织土工织物等	
伸长率	%	0	15%	塑料排水板、土工织物、土工膜等	

续表 12.2.9

参数名称	单位	小数点后位数	示例	适用范围	备注
撕裂力	kN	1	1.4kN	长丝机织土工织物等	梯形撕裂法
	kN	2	0.40kN	编织土工织物、无纺土工织物、裂膜丝机织土工织物等	
直角撕裂强度	kN/m	0	41kN/m	土工膜等	
顶破力	kN	1	3.2kN	土工织物	圆柱顶破(CBR)或圆球顶破法
芯板抗压强度	kPa	0	350kPa	塑料排水板	

### 12.3 监测

**12.3.1** 设计应根据相关土工合成材料对工程安全的重要程度、不同的施工阶段等建议是否进行现场监测。

**12.3.2** 设计文件有现场监测要求时,应对土工合成材料及周边环境同步进行监测。监测前应根据设计要求、监测周期等文件编制详细的监测计划,监测计划应包括下列主要内容:

- (1) 工程概况;
- (2) 监测目的;
- (3) 监测依据;
- (4) 监测项目及数量;
- (5) 监测方法;
- (6) 采用的监测仪器设备;
- (7) 监测进度计划;
- (8) 技术、质量、安全等保证措施;
- (9) 监测成果等。

**12.3.3** 监测点宜布置在重要断面、重要点位或代表性的点位。土工合成材料用于加筋作用时,应对典型位置的土工合成材料受力或变形情况进行监测,还应对地基土内的应力、沉降变形和水平位移等进行监测;土工合成材料用于筑堤工程时,应同时对与地基稳定相关的地基沉降、地基内孔隙水压力变化、土压力变化、地基内土体水平位移情况进行监测,必要时应对堤两侧的水位变化情况和堤内部的渗流变化进行监测。

**12.3.4** 长期暴露于大气环境下的土工合成材料,必要时应通过外观检查对老化程度进行监测,或现场取样进行室内试验,因取样导致土工合成材料整体受损的应对损坏部分及时修补。

**12.3.5** 现场监测时应同时记录气象、水文、边界条件等周边环境的变化情况。发生有感地震、强降雨、爆破、台风等特殊情况后,应对重点部位加强监测和巡视检查。

**12.3.6** 现场监测资料应按设计要求及时报送,设计无要求时可按周报、月报、异常报等形式报送。出现数据异常时,监测单位应综合分析各监测项目数据和现场工况后确定是否发出安全预警。

**12.3.7** 监测成果应包括测点布置、监测数据、数值变化趋势、周边环境等情况和相应的图表,并给出结论及建议。

## 附录 A 混凝土联锁块软体排压载稳定验算

**A.0.1** 水流作用下混凝土联锁块软体排压载稳定验算应包括边缘部位压载稳定验算、搭接部位压载稳定验算和中间部位压载稳定验算,并应符合下列规定。

**A.0.1.1** 软体排搭接部位压载稳定验算,黏性土等抗冲性好地基的软体排边缘压载稳定验算,如图 A.0.1-1、图 A.0.1-2 所示。水流为均匀流或接近于均匀流时,可采用垂线平均流速,按式(A.0.1-1)~式(A.0.1-3)验算;非均匀流特征显著时,宜采用底流速,按式(A.0.1-4)~式(A.0.1-6)验算。

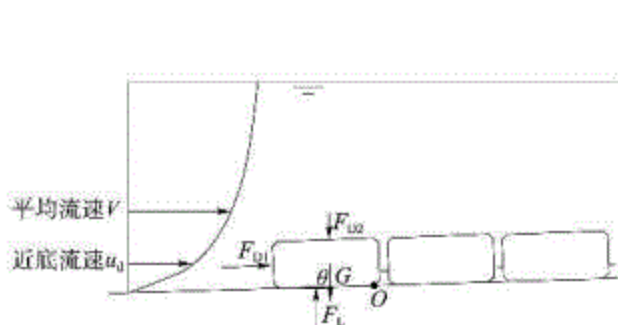


图 A.0.1-1 压载稳定计算示意图(边缘部位)

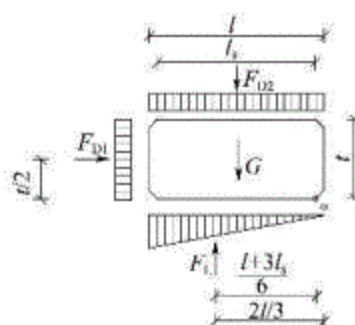


图 A.0.1-2 压载块受力示意图

**A.0.1.2** 对于砂性土、粉土等抗冲性差地基的软体排边缘压载稳定验算,施工期采用短暂组合可不考虑排边冲刷的有利作用,采用垂线平均流速,按第 A.0.1.1 款验算;使用期采用持久组合可考虑排边短期冲刷的有利作用,采用垂线平均流速,见图 A.0.1-3,按式(A.0.1-1)、式(A.0.1-2)和式(A.0.1-7)验算。

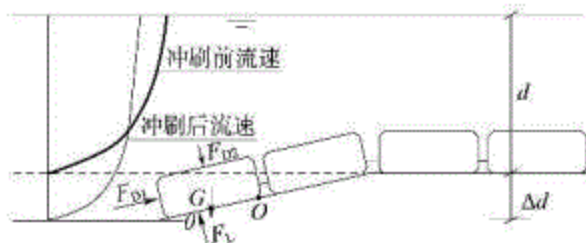


图 A.0.1-3 排边冲刷条件下边缘压载稳定验算简图

**A.0.1.3** 软体排中间部位压载稳定验算,水流为均匀流或接近于均匀流时,可采用垂线平均流速,见图 A.0.1-4,按式(A.0.1-8)和式(A.0.1-9)验算;非均匀流特征显著、紊动强度显著时,宜通过物模试验确定。

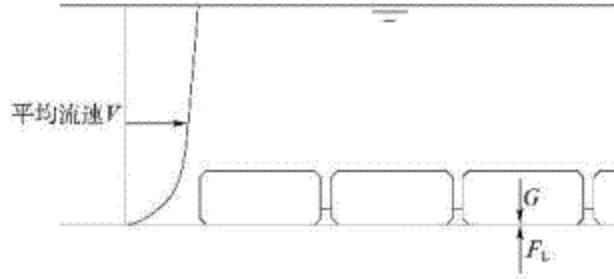


图 A.0.1-4 中间部位压载稳定性计算简图

$$V \leq V_{s1} \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$V_{s1} = \frac{V_{\text{crit}}}{\sqrt{\gamma_0 \gamma_1 \gamma_d}} \quad (\text{A.0.1-2})$$

$$V_{\text{crit}} = \frac{1}{1+m} \sqrt{\frac{6l_m(l_s \cos\theta + t \sin\theta)}{3\lambda_0 t^2 \cos^2\theta + \lambda_1 l(l+3l_s) \cos^2\theta - 3\lambda_0 l_s l \sin^2\theta}} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g t} \left(\frac{\alpha d}{t}\right)^m \quad (\text{A.0.1-3})$$

$$u_d \leq u_{ds} \quad (\text{A.0.1-4})$$

$$u_{ds} = \frac{u_{\text{der}}}{\sqrt{\gamma_0 \gamma_1 \gamma_d}} \quad (\text{A.0.1-5})$$

$$u_{\text{der}} = \sqrt{\frac{6l_m(l_s \cos\theta + t \sin\theta)}{3\lambda_0 t^2 \cos^2\theta + \lambda_1 l(l+3l_s) \cos^2\theta - 3\lambda_0 l_s l \sin^2\theta}} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g t} \quad (\text{A.0.1-6})$$

$$V_{\text{crit}} = \frac{1}{1+m} \sqrt{\frac{6l_m(l_s \cos\theta + t \sin\theta)}{3\lambda_0 t^2 \cos^2\theta + \lambda_1 l(l+3l_s) \cos^2\theta - 3\lambda_0 l_s l \sin^2\theta}} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g t} \left(\frac{2d + \Delta d}{t}\right)^m \frac{d + \Delta d}{d} \quad (\text{A.0.1-7})$$

$$V \leq V_{s2} \quad (\text{A.0.1-8})$$

$$V_{s2} = \sqrt{\frac{1}{\gamma_0 \gamma_1 \gamma_d}} \sqrt{\frac{2}{\alpha_m}} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g t^m} \quad (\text{A.0.1-9})$$

式中  $V$ ——设计垂线平均流速 (m/s), 可采用物模、二维水流数模计算确定;

$V_{s1}$ ——边缘或搭接部位设计失稳垂线平均流速 (m/s);

$V_{\text{crit}}$ ——边缘或搭接部位临界失稳垂线平均流速 (m/s);

$\gamma_0$ ——结构重要性系数, 结构安全等级一、二、三级分别取 1.1、1.0、0.9;

$\gamma_1$ ——水流力分项系数, 持久组合宜取 1.30, 短暂组合宜取 1.20;

$\gamma_d$ ——结构系数, 可取 1.1~1.25;

$m$ ——指数, 可取 1/8;

$l_m$ ——按宽度  $b$  和厚度  $t$  折算成矩形板的等效长度 (m);

$l_s$ ——非矩形板压载块底部有效长度 (m);

$\theta$ ——软体排滩面坡角 ( $^\circ$ ), 平底时取  $0^\circ$ ;

$t$ ——压载块厚度 (m);

$\lambda_0$ ——水流拖曳力系数, 可取 1.0;

- $\lambda_L$ ——水流上举力系数,对于矩形板,厚度 0.2m 时取 1.75,厚度 0.12m 时取 1.35,对于上下削角型,取 1.15;
- $l$ ——压载块长度(顺水流方向)(m);
- $\rho_s$ ——压载块密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
- $\rho$ ——水密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
- $g$ ——重力加速度( $\text{m}/\text{s}^2$ );
- $\alpha$ ——系数,对于边缘部位取 2,对于搭接部位取 1;
- $d$ ——滩面水深(m);
- $u_d$ ——设计底流速( $\text{m}/\text{s}$ ),对于软体排边缘取  $y=0.5t$  处的流速,对于软体排搭接部位取  $y=t$  处的流速,可采用物模、三维水流数模计算确定;
- $u_{dk}$ ——设计失稳底流速( $\text{m}/\text{s}$ );
- $u_{dkr}$ ——临界失稳底流速( $\text{m}/\text{s}$ );
- $\Delta d$ ——排外短期冲刷深度(m),可取 0.5m~1m,冲刷前水深小时取小值,反之取大值,有经验时可适当提高;
- $V_{\Sigma}$ ——中间部位设计失稳垂线平均流速( $\text{m}/\text{s}$ );
- $\alpha_m$ ——脉动压力系数,根据水流缓急程度确定,紊动小时可取 0.25,紊动大时相应提高,具体根据经验确定;
- $t_m$ ——压载块折算为矩形板的等效厚度(m)。

**A.0.1.4** 结构安全等级为一、二级的代表性堤段和结构安全等级为三级的重要堤段,水流作用下混凝土连锁块软体排压载稳定应采用物理模型试验验证,有经验时可采用数值模拟验证。

**A.0.2** 波浪作用下混凝土连锁块软体排压载稳定验算应包括边缘部位压载稳定验算、搭接部位压载稳定验算和中间部位压载稳定验算,并应符合下列规定。

**A.0.2.1** 边缘部位、搭接部位压载稳定可按下列公式验算,如图 A.0.2-1 所示:

$$\gamma_0(\gamma_v M_v + \gamma_n M_n) \leq \frac{1}{\gamma_d} \gamma_c M_c \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$M_v = \frac{l}{2} P_{\max} \quad (\text{A.0.2-2})$$

$$M_n = \frac{l+3l_s}{6} P_{\max} \quad (\text{A.0.2-3})$$

$$M_c = \frac{l_s}{2} G \quad (\text{A.0.2-4})$$

$$P_{\max} = \mu \frac{l P_{\text{max}}}{2t} \quad (\text{A.0.2-5})$$

- 式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,结构安全等级一、二、三级分别取 1.1、1.0、0.9;
- $\gamma_v$ ——波浪正向水平力分项系数,持久组合宜取 1.30,短暂组合宜取 1.20;
- $M_v$ ——正向水平波浪力标准值对压载块后趾的倾覆力矩( $\text{N} \cdot \text{m}$ );
- $\gamma_n$ ——波浪浮托力分项系数,持久组合宜取 1.30,短暂组合宜取 1.20;

- $M_u$ ——波浪浮托力标准值对压载块后趾的倾覆力矩(N·m);  
 $\gamma_d$ ——结构系数,可取 1.1~1.25;  
 $\gamma_G$ ——自重力分项系数,取 1.0;  
 $M_C$ ——自重力标准值对压载块后趾的稳定力矩(N·m);  
 $t$ ——压载块厚度(m);  
 $P_{\max}$ ——作用在压载块上波浪正向水平力最大标准值(N);  
 $l$ ——压载块长度(沿波浪方向)(m);  
 $l_s$ ——非矩形板压载块底部有效长度(m);  
 $P_{\text{imax}}$ ——作用在压载块上波浪浮托力最大标准值(N);  
 $G$ ——作用在压载块的自重力的标准值(N);  
 $\mu$ ——波浪浮托力分布折减系数,边缘部位取 0.6,搭接部位取 0.7。

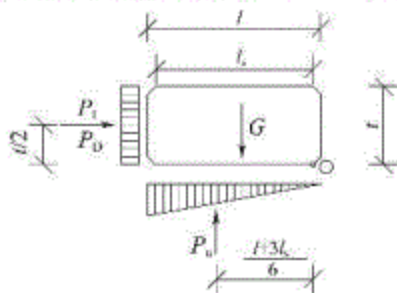


图 A.0.2-1 波浪作用下压载块受力图

**A.0.2.2**  $H/d \leq 0.2$  且  $d/L \geq 0.2$  或  $H/d > 0.2$  且  $d/L \geq 0.35$  时,作用在边缘部位、搭接部位压载块上的波浪正向水平力可按下列规定计算:

(1) 波浪正向水平力由速度分力和惯性分力组成,按下列公式计算:

$$P_{\text{imax}} = C_v \frac{\pi \gamma H^3 l t}{2L} \frac{1}{\sinh(4\pi d/L)} \quad (\text{A.0.2-6})$$

$$P_{\text{imax}} = C_w \frac{\pi \gamma H l b t}{2L} \frac{1}{\cosh(2\pi d/L)} \quad (\text{A.0.2-7})$$

(2)  $P_{\text{imax}} \leq 0.5 P_{\text{brmax}}$  时,按下式计算:

$$P_{\text{brmax}} = P_{\text{imax}} \quad (\text{A.0.2-8})$$

(3)  $P_{\text{brmax}} > 0.5 P_{\text{imax}}$  时,按下式计算:

$$P_{\text{brmax}} = P_{\text{brmax}} \left( 1 + 0.25 \frac{P_{\text{imax}}^2}{P_{\text{brmax}}^2} \right) \quad (\text{A.0.2-9})$$

式中  $P_{\text{imax}}$ ——作用在压载块上波浪正向速度力的最大值(N);

$C_v$ ——速度力系数,可取 0.8;

$\pi$ ——圆周率;

$\gamma$ ——水的重度( $\text{kN/m}^3$ );

$H$ ——设计波高(m);

$l$ ——压载块长度(沿波浪方向)(m);

$t$ ——压载块厚度(m);

- $L$ ——波长(m)；
- $d$ ——滩面水深(m)；
- $P_{\max}$ ——作用在压载块上波浪正向惯性力的最大值(N)；
- $C_u$ ——惯性力系数,可取 1.25；
- $b$ ——压载块宽度(m)。

**A.0.2.3** 作用在中间部位压载块上的波浪正向水平力可按第 A.0.2.2 款计算,并乘以折减系数 0.6~0.7。

**A.0.2.4**  $H/d \leq 0.2$  且  $d/L < 0.2$  或  $H/d > 0.2$  且  $d/L < 0.35$  时,可按第 A.0.2.2 款、第 A.0.2.3 款计算作用于压载块上的波浪正向水平力,并应对  $P_{\max}$  乘以修正系数  $\alpha$ ,修正系数  $\alpha$  可按图 A.0.2-2 确定。

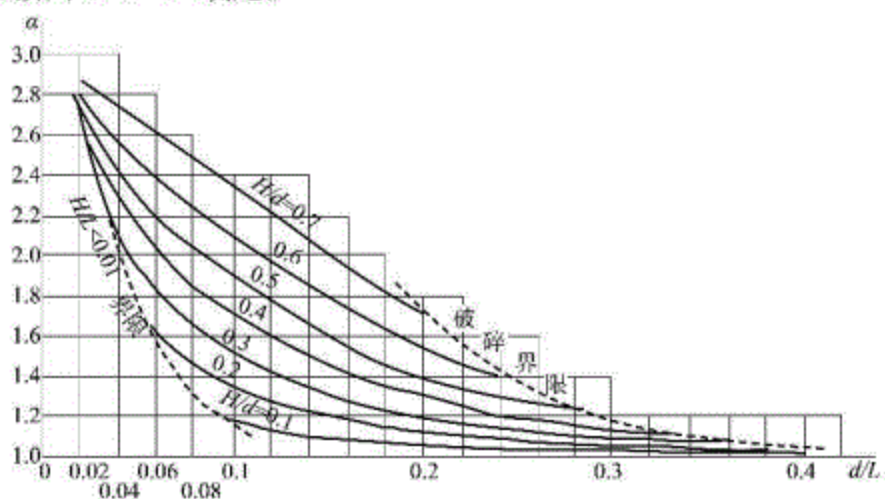


图 A.0.2-2 修正系数  $\alpha$

**A.0.2.5**  $0.04 \leq d/L \leq 0.2$  时,作用于压载块上的波浪正向水平力除应按第 A.0.2.2 款、第 A.0.2.3 款的规定计算外,尚应对  $P_{\max}$  乘以修正系数  $\gamma_p$ ,修正系数  $\gamma_p$  可按图 A.0.2-3 确定。

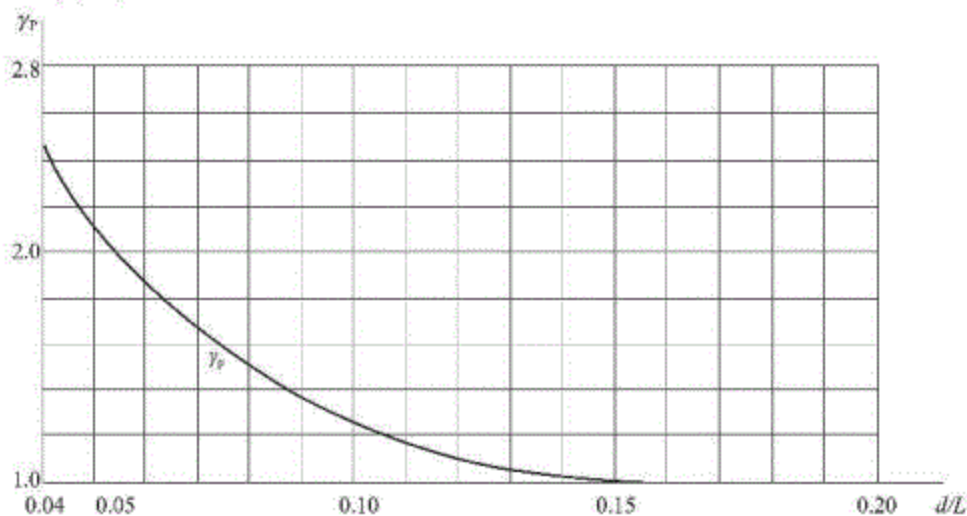


图 A.0.2-3 修正系数  $\gamma_p$

**A.0.2.6** 结构安全等级为一、二级的代表性堤段和结构安全等级为三级的重要堤段,波浪作用下混凝土联锁块软体排压载稳定应采用物理模型试验验证,有经验时可采用数值模拟验证。

**A.0.3** 波浪和水流共同作用下混凝土联锁块软体排压载稳定验算应包括边缘部位压载稳定验算、搭接部位压载稳定验算和中间部位压载稳定验算,并应符合下列规定。

**A.0.3.1** 压载稳定可按下列公式验算,如图 A.0.3 所示:

$$\gamma_0(\gamma_l M_l + \gamma_n M_n + \gamma_n M_n) \leq \frac{1}{\gamma_d} \gamma_c M_c \quad (\text{A.0.3-1})$$

$$M_l = \frac{t}{2} F_0 + \frac{l+3l_s}{6} F_{l_s} \quad (\text{A.0.3-2})$$

$$F_0 = \lambda_0 \frac{\rho}{2} u_d^2 b t \quad (\text{A.0.3-3})$$

$$F_{l_s} = \lambda_{l_s} \frac{\rho}{2} u_d^2 b l \quad (\text{A.0.3-4})$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,结构安全等级一、二、三级分别取 1.1、1.0、0.9;  
 $\gamma_l$ ——水流力分项系数,持久组合宜取 1.30,短暂组合宜取 1.20;  
 $M_l$ ——水流力标准值对压载块后趾的倾覆力矩(N·m);  
 $\gamma_n$ ——波浪正向水平力分项系数,持久组合宜取 1.30,短暂组合宜取 1.20;  
 $M_n$ ——正向水平波浪力标准值对压载块后趾的倾覆力矩(N·m);  
 $\gamma_n$ ——波浪浮托力分项系数,持久组合宜取 1.30,短暂组合宜取 1.20;  
 $M_n$ ——波浪浮托力标准值对压载块后趾的倾覆力矩(N·m);  
 $\gamma_d$ ——结构系数,可取 1.25~1.35;  
 $\gamma_c$ ——自重力分项系数,取 1.0;  
 $M_c$ ——自重力标准值对压载块后趾的稳定力矩(N·m);  
 $t$ ——压载块厚度(m);  
 $F_0$ ——作用在压载块上的水流拖曳力标准值(N);  
 $l$ ——压载块长度(顺水流方向)(m);  
 $l_s$ ——非矩形板压载块底部有效长度(m);  
 $F_{l_s}$ ——作用在压载块上的水流上举力标准值(N);  
 $\lambda_0$ ——水流拖曳力系数,可取 1.0;  
 $\rho$ ——水密度(kg/m<sup>3</sup>);  
 $u_d$ ——设计底流速(m/s),对于软体排边缘取  $y=0.5t$  处的流速,对于软体排搭接部位取  $y=t$  处的流速,可采用物模、三维水流数模计算确定;  
 $b$ ——压载块宽度(m);  
 $\lambda_{l_s}$ ——水流上举力系数,对于矩形板,厚度 0.2m 时取 1.75,厚度 0.12m 时取 1.35,对于上下削角型,取 1.15。

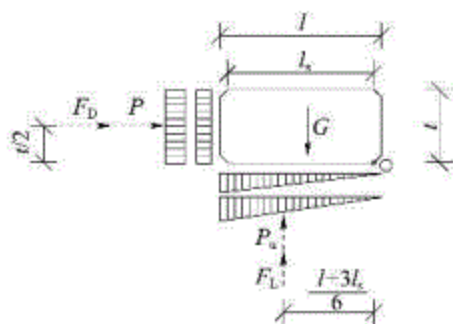


图 A.0.3 波流共同作用下压载受力图

**A.0.3.2** 重力及其力矩、波浪力及其力矩可按第 A.0.2 条计算确定。在计算水平波浪力  $P$  和波浪浮托力  $P_0$  时,可按现行行业标准《港口与航道水文规范》(JTS 145) 对设计波要素进行修正。

**A.0.3.3** 结构安全等级为一、二级的代表性堤段和结构安全等级为三级的重要堤段,波浪和水流共同作用下混凝土连锁块软体排压载稳定应采用水流和波浪耦合物理模型试验验证。

## 附录 B 本规范用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度的用词说明如下:

- (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)表示允许选择,在一定条件下可以这样做的采用“可”。

## 引用标准名录

- 1.《土工合成材料 聚乙烯土工膜》(GB/T 17643)
- 2.《土工合成材料应用技术规范》(GB/T 50290)
- 3.《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)
- 4.《水运工程塑料排水板应用技术规程》(JTS 206)
- 5.《水运工程地基设计规范》(JTS 147)
- 6.《码头结构设计规范》(JTS 167)
- 7.《码头结构施工规范》(JTS 215)
- 8.《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)
- 9.《水运工程质量检验标准》(JTS 257)
- 10.《水运工程试验检测仪器设备技术标准》(JTS 238)
- 11.《港口与航道水文规范》(JTS 145)
- 12.《公路土工合成材料应用技术规范》(JTJ/T D32)
- 13.《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》(SL/T 225)

## 附加说明

本规范主编单位、参编单位、主要起草人、  
主要审查人、总校人员和管理组人员名单

主编单位：中交天津港湾工程研究院有限公司

参编单位：中交第一航务工程局有限公司

中交水运规划设计院有限公司

中交上海航道勘察设计研究院有限公司

中交第一航务工程勘察设计院有限公司

中交第三航务工程勘察设计院有限公司

中交四航工程研究院有限公司

长江航道局

交通运输部长江口航道管理局

四川省交通勘察设计院有限公司

天津港湾工程质量检测中心有限公司

天津大学

主要起草人：刘爱民(中交天津港湾工程研究院有限公司)

侯晋芳(中交天津港湾工程研究院有限公司)

朱耀庭(中交天津港湾工程研究院有限公司)

(以下按姓氏笔画为序)

叶国良(中交天津港湾工程研究院有限公司)

刘 强(中交水运规划设计院有限公司)

许增会(中交第三航务工程勘察设计院有限公司)

李增军(中交第一航务工程局有限公司)

李立新(天津港湾工程质量检测中心有限公司)

严 驰(天津大学)

李 燕(中交四航工程研究院有限公司)

李元音(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

陈晚华(四川省交通勘察设计院有限公司)

周发林(交通运输部长江口航道管理局)

苗中海(中交天津港湾工程研究院有限公司)

胡义龙(长江航道局)

黄东海(中交上海航道勘察设计研究院有限公司)

黄传志(中交天津港湾工程研究院有限公司)

曹永华(中交第一航务工程局有限公司)

主要审查人:仇伯强

(以下按姓氏笔画为序)

白建颖、朱俊高、李一勇、杨国平、郑澄锋、徐元、袁达全、

彭超 蔡波

总校人员:刘国辉、李荣庆、檀会春、吴敦龙、董方、刘爱民、侯晋芳、

朱耀庭、李斌、梁爱华、张嘉莹

管理组人员:刘爱民(中交天津港湾工程研究院有限公司)

侯晋芳(中交天津港湾工程研究院有限公司)

朱耀庭(中交天津港湾工程研究院有限公司)

梁爱华(中交天津港湾工程研究院有限公司)

《水运工程土工合成材料应用技术规范》  
(JTJ 239—2005)主编单位、参加单位、  
主要起草人、总校人员和管理组人员名单

主编单位:天津港湾工程研究所

参加单位:交通部长江口航道管理局(原长江口航道建设有限公司)

中交水运规划设计院

上海航道勘察设计研究院

长江航道局

主要起草人:张 敬、孙万禾、谈泽炜、苗中海

(以下按姓氏笔画为序)

叶国良、刘爱民、陈学良、张 珊、张志平、张景明、李国祥、

胡义龙、黄传志、燕太祥、戴承礼



中华人民共和国行业标准

# 水运工程土工合成材料应用技术规范

JTS/T 148—2020

条文说明



## 目 次

<b>3 基本规定</b> .....	(59)
<b>4 滤层</b> .....	(60)
4.1 一般规定 .....	(60)
4.2 设计 .....	(60)
4.3 施工 .....	(61)
<b>5 加筋基层</b> .....	(62)
5.1 一般规定 .....	(62)
5.2 设计 .....	(62)
5.3 施工 .....	(62)
<b>6 防渗层</b> .....	(63)
6.2 设计 .....	(63)
6.3 施工 .....	(63)
<b>7 排水通道</b> .....	(64)
7.1 一般规定 .....	(64)
7.2 设计 .....	(64)
7.3 施工 .....	(64)
<b>8 加筋土岸壁</b> .....	(65)
8.1 一般规定 .....	(65)
8.2 设计 .....	(66)
8.3 施工 .....	(69)
<b>9 护坡</b> .....	(70)
9.2 设计 .....	(70)
9.3 施工 .....	(72)
<b>10 充填袋筑堤</b> .....	(73)
10.1 一般规定 .....	(73)
10.2 设计 .....	(73)
10.3 施工 .....	(73)
<b>11 软体排护底</b> .....	(74)
11.1 一般规定 .....	(74)
11.2 设计 .....	(74)
11.3 施工 .....	(74)



### 3 基本规定

**3.0.1** 有纺土工织物一般应用于加筋垫层、模袋混凝土护坡、充填袋筑堤和软体排护底、护滩工程；无纺土工织物一般应用于土工织物滤层；土工模袋一般应用于护坡工程；土工带一般应用于加筋土岸壁工程；土工格栅一般应用于加筋垫层、加筋土岸壁和护坡工程；土工膜一般应用于防渗工程；塑料排水板一般应用于软基处理工程；土工网、土工网垫一般应用于护坡工程；土工复合材料一般应用于加筋垫层、土工织物滤层、排水通道和防渗层等工程。

由于加筋土岸壁经常受浸水影响，且岸壁工程中粗粒料摊铺、碾压过程都会对筋材有一定的施工损伤，而钢塑复合土工带表层塑料受损后钢丝易锈蚀，影响其耐久性，水运工程中，很少采用钢塑复合土工带和焊接钢塑土工格栅。

**3.0.2** 由于土工合成材料的特殊性及其与土相互作用机理的复杂性，有些作用机理有待进一步揭示。因此，条文规定了重大工程和有特殊要求的工程，需要通过专门的技术经济论证，进一步完善设计和施工方案。

**3.0.3** 根据国内外土工合成材料抗老化试验研究成果，紫外线辐射是引起土工合成材料老化的主要因素，掺入防老化材料的土工合成材料仅能有限地延长其强度保持时间，在工程中采用物理方法减少或隔断阳光照射，能更有效地保护土工合成材料，延长其使用年限。如土工合成材料设置在一定水深以下，用砂土、块石等掩埋覆盖。由于不同深度的水和砂土等具有良好的遮挡紫外线辐射的效果，现场试验 5cm 的砂土和 2.0m 水深下的聚丙烯土工织物耐用年限在 50 年左右。但根据国内外二十多项工程的土工合成材料现场取样检验资料分析，有些工程由于施工破坏造成土工合成材料强度损失，使得土工合成材料的耐用年限降低，除少数受施工影响较大的土工合成材料外，一般工程的土工合成材料的耐用年限在 30 年以上，采用聚酯材料耐用年限可达 50 年~100 年。

## 4 滤 层

### 4.1 一般规定

**4.1.2** 有纺和无纺土工织物均具有反滤功能,但无纺土工织物和有纺土工织物的机织土工织物孔隙尺寸大小级配较适宜,其保土性能和透水性能较好,同时产量高,成本较低,因此条文推荐采用无纺类土工织物和机织土工织物。无纺土工织物的单位面积质量不小于 $300\text{g}/\text{m}^2$ ,是根据实际工程实施经验而定的。设在构件安装缝处的滤层,一般采用垂直铺设,为适应构件的沉降、位移,故规定宜选用抗拉强度较高的机织土工织物,以防撕裂。

### 4.2 设 计

**4.2.2** 滤层的保土准则是基于滤层中的最大孔径小于土中的最大粒径,以保证土颗粒不会流失;但允许少部分细小颗粒穿过土工织物孔径流走,使滤层不致淤堵,保持排水畅通。式(4.2.2-1)及式(4.2.2-2)系美国陆军工程师团于1972年提出的保土准则,该准则由太沙基传统的砂砾料滤层挡土准则引申而来。国内许多工程的实践证明,只要能满足这个准则,在挡土方面就是可靠的。与单向水流条件相比,双向水流条件较复杂,被保护土体不能形成天然滤层。故双向水流条件的保土准则,比单向水流更为严格。式(4.2.2-3)~式(4.2.2-6)是德国土力学及基础工程学会提出的双向水流条件下的保土准则,我国的工程实践证明是可靠的。

**4.2.3** 为了确保水能畅通地流过土工织物,一些学者提出了渗透性准则,要求土工织物的渗透系数大于土的渗透系数。由于土工织物不可避免地要产生一定淤堵现象,导致渗透系数降低,因而要求土工织物淤堵前的渗透系数为土的渗透系数的若干倍。式(4.2.3-1)是以土工织物的等效孔径和土的特征粒径表示的渗透准则;式(4.2.3-2)是以渗透系数表示的渗透准则。实际应用时,满足其中一式即可,式中 $\lambda_p$ 值是根据一般无黏性土的渗透参数及其变化范围,参照国内外有关资料规定的。

**4.2.6、4.2.7** 保证土工织物滤层的连续性,是确保土工织物滤层发挥正常功能的前提条件。为避免土工织物被顶破、刺破导致损坏土工织物的连续性,所以先用二片石或碎石找平,但如直接在二片石上铺设土工织物易刺穿土工织物,如直接在块石上用碎石找平,碎石难以完全填实块石的缝隙,所以条文规定块石表面应先铺设二片石过渡,再用碎石找平;对上有抛石护面的土工织物滤层,应在土工织物面上设置保护层。

**4.2.9** 根据工程经验,考虑到内河航道边坡受到场地限制,坡趾土工织物外伸最小保护长度减小至 $1000\text{mm}$ ,但需做好防冲刷措施。

## 4.3 施 工

**4.3.3** 土工织物在铺设前,为便利施工需要根据设计的尺寸及施工机具和施工能力加工成铺设块,对斜坡面的铺设块,宽度一般加工成6m左右,此数值是由工程经验得来。铺设块的长度根据设计尺寸加一定富裕量,是考虑土工织物的收缩和基层面的凹凸不平误差及褶皱。每个铺设块是由几幅土工织物缝制而成,土工织物铺设块拼接尼龙线的强度不得小于150N,是经过多个工程的经验得来的。

**4.3.6** 基层表面如有过大的凹凸不平,会影响土工织物的铺设质量和造成土工织物破损,特别是尖锐物体,故规定要进行整平。坡趾如有淤泥,极易产生滤层织物滑动,在调查中有些工程因施工过程中未清除坡趾淤泥而发生滤层织物滑动破坏。因此,对铺设土工织物的基层表面提出了处理的具体要求。

**4.3.7** 条文中要求及时进行表面防护层施工和上部回填,主要是为防止土工织物受太阳紫外线照射,致使老化变脆,强度降低,影响土工织物铺设质量。

## 5 加筋垫层

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 许多工程实践证明,采用土工合成材料加筋垫层处理堤坝软基,可以保证基底完整连续,减少浅层地基软土的侧向变形,均化应力分布,从而提高地基承载能力和稳定性,减少差异沉降。因此,在软弱地基上建造防波堤、护岸、堤坝和港口道路堆场等工程可采用土工合成材料加筋垫层。

### 5.2 设计

**5.2.3** 本条给出一种基于假设土工合成材料加筋垫层承担堤体上部水平力,采用圆弧滑动面推导的加筋垫层边坡稳定安全系数计算公式,并经过了多项工程验算。由于加筋垫层并不处于绝对水平状态,上部水平力的一部分会通过加筋垫层传到下部土体,因此加筋垫层实际承担的水平力需要进行折减,根据已有的工程实例和计算结果,折减系数 $\eta_s$ 可取0.5~0.75,该取值范围相对偏于安全。该方法需通过迭代的方式进行求解计算,建议采用专门的计算软件进行计算。

**5.2.6** 土工合成材料不同于一般的建筑材料,它们被用作加筋垫层时,有明显的时间效应、温度效应、环境效应和施工影响等,试样在试验室测得的抗拉强度指标反映其短期室内条件下的强度,用于工程时,需根据短期强度合理转化为材料的设计强度,设计强度指材料在使用寿命内保持的有效强度,两者之间采用经验系数来换算。条文中采用了综合强度折减安全系数,是考虑了铺设时机械破坏、材料蠕变、化学剂破坏、生物破坏等影响。

**5.2.8** 根据有关试验研究及相应的工程实例,在合成材料与淤泥质软土之间设立砂垫层,可以充分发挥合成材料作用,改善地基变形,利于地基稳定,利于地基软土固结。因此本条文规定在织物与软土之间宜设置砂垫层。

### 5.3 施工

**5.3.6** 水运工程中,相邻两层加筋材料间常用的填充粒料有砂、碎石等。

## 6 防 渗 层

### 6.2 设 计

**6.2.1** 用于防渗的土工膜较薄,易损坏,设置膜上和膜下垫层,以起到保护土工膜不受损坏、保证土工膜的防渗性能的作用。同时,荷载作用下,土工膜容易发生变形和损坏,膜下垫层要密实、均匀,所以本条规定膜下垫层回填料的干密度不宜小于 $1400\text{kg}/\text{m}^3$ ,且均匀误差不宜大于10%,此处均匀误差指干密度误差。

### 6.3 施 工

**6.3.4** 铺设地下铅垂土工膜(也称垂直铺塑)进行防渗是软土地基加固中采用的一种方式,一般采用泥浆护壁挖槽铺设法施工,以专用设备开掘垂直槽,以卷轴将土工膜展铺于槽内,随后以砂土填塞槽内土工膜两面的空隙完成铺设。

**6.3.7** 主要焊接设备一般有自动调温(调速)电热楔式双道塑料热合机、热熔挤压焊接机或高温热风焊机。塑料热风焊枪一般作为局部修补辅助设备来使用。

## 7 排水通道

### 7.1 一般规定

7.1.2 土工织物排水是依靠其断面排水能力,但其断面毕竟不大,排水能力有限,故需要的排水能力较大时,一般采用排水沟或带孔管排水。

### 7.2 设计

7.2.4 式(7.2.4-1)和式(7.2.4-2)是带孔管入渗流量的通用计算公式。

7.2.5 土工织物作为排水材料时,除需满足保土性、透水性和防淤堵性要求外,还需依靠其断面排水能力排走来水,故需要验算其排水能力。

7.2.7 为便于随时检验塑料排水板的打设深度,本条推荐使用具有可测深装置的塑料排水板。目前常用的可测深装置一般有金属导线和外标刻度两种形式。

7.2.9 工程经验表明,塑料排水板间距一般在0.7m~1.5m范围内选取,间距越小,固结越快,工程造价一般来说也越高。有资料显示,当塑料排水板间距小于0.7m时,受塑料排水板涂抹效应的影响,再进一步减少间距对加固时间缩短有限,大于1.5m时加固时间较长。对于换算系数 $\alpha_2$ ,根据理论分析与工程经验, $\alpha_2$ 在0.75~1.0之间。

### 7.3 施工

7.3.5 本条规定主要是为防止透水粒料受到黏性土的污染,影响排水效果。

7.3.6 对透水粒料的含泥量进行严格要求主要是为了确保排水沟的排水效果。

7.3.7 我国塑料排水板打设动力采用振动式的较多,其优点是打设能力较强,可以顺利通过表面垫层及地基中的硬层,在涉及边坡稳定等对振动敏感区段,对地基土的扰动较大,条文不推荐采用。

7.3.10 打设时容易出现塑料排水板扭结、断裂和滤膜破损等现象,这将严重地影响排水效果,甚至会造成“死井”,是绝对不允许的。

7.3.11 理论和现场经验都表明,接长板的通水量会有所降低,因此,本条规定所打设的塑料排水板宜为整板。考虑到工程施工的实际情况,在严格控制接板质量的前提下,允许使用少量只有一个接头的接长板。相邻板不允许出现接长板是从加固效果的均匀性出发而规定的,此规定在实际打设中也是能够做到的。

7.3.14 塑料排水板的外露段有两个作用,一是防止塑料排水板在孔内下沉影响排水效果,二是便于检查打设数量与间距。根据工程经验,外露不小于200mm是能够满足需要的。

7.3.18 在坡度较大的斜坡打设塑料排水板,套管入泥下沉时可能出现向坡脚方向滑动的趋势,因此本条规定适当向偏向坡顶方向定位沉管。

## 8 加筋土岸壁

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 加筋土岸壁是指坡面竖直或近似竖直的加筋土支挡工程,它的建造坡面与水平面的夹角大于 $70^\circ$ ,本规定是为了区分加筋土岸壁与加筋土陡坡。

加筋土岸壁是一种新型的水工结构,见图 8.1,其显著特点是造价省、工期短、结构简单、施工方便,对地基承载力要求不高。目前,全国已有数十座加筋土岸壁式码头和护岸工程竣工投入使用或正在建设。工程实践表明,加筋土技术在水运工程中的应用是成功的,特别是在节约工程造价和加快施工进度两方面,为越来越多的人所共识。加筋土技术在各种工程中的应用已十分广泛。但鉴于目前我国尚未在海岸工程中应用,特别是水下施工如何保证质量,尚无工程实例,故在条文中规定可用于内河航道护岸和中小型码头岸壁。

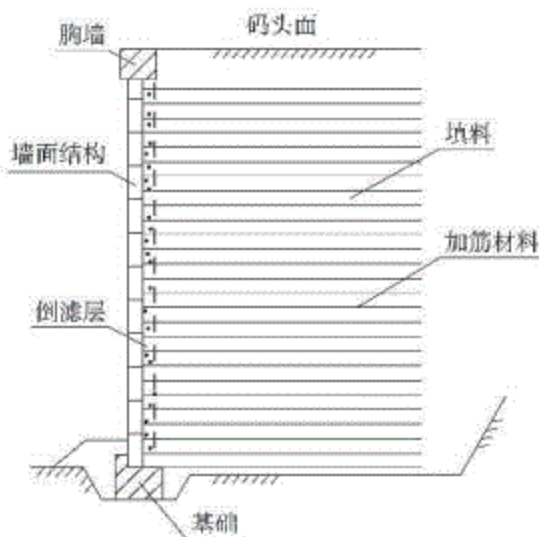


图 8.1 加筋土岸壁

**8.1.2.1** 墙面类型还包括土工石笼、回折包裹、土工砂袋等柔性面板,此类面板一般用在较低的、小型的、重要性较低的工程中。

**8.1.2.3** 加筋材料按其在受力时延伸率的大小区分为柔性材料与刚性材料。柔性 with 刚性是相对概念,难以定量划分。设计中,通常将延伸率可能达到 10% 以上的加筋材料视为柔性材料,而将延伸率为 3%~4% 的加筋材料视为刚性材料。本规范中为防止岸壁

变形过大,建议采用的土工格栅(2%)和土工带(1.5%~2%)均为低延伸率,可以视为刚性材料。

**8.1.2.4** 加筋土填料强调尽量采用透水性良好的粒状土,因为该类土摩阻力大,性质较稳定,土中孔隙水压力小,甚至为零,土的蠕变性低,能够保证加筋土的长期稳定性。

**8.1.3** 加筋体的筋材铺设和填料压实有较高的技术要求,干地施工易于达到这些要求,水下施工尚无经验,故条文中规定应采用干地施工。

**8.1.4** 加筋体是填料和加筋材料形成的柔性复合体,未完工的工程抗水流冲击能力较弱。因此,对工期较长、洪水期要继续施工的工程,条文中建议要考虑相应的防洪度汛措施。

**8.1.5** 鉴于目前加筋土技术尚在发展之中,需要不断积累资料,同时也为了监控施工质量,故条文中提出了相应规定。

## 8.2 设计

**8.2.1** 当对加筋土建筑物进行稳定性计算时,是将加筋土体视为假想的重力式刚性体系对待的,显然,假想的重力式刚性体的断面尺寸愈大,则整体稳定性愈高。根据国内外有关规程和工程经验常用的断面形式见图 8.2,当加筋土体地基条件较差,后方地形平坦时,一般采用正梯形断面,上小下大,符合重力式墙的稳定性的要求;当墙高较小时,一般采用矩形断面,施工简单;当地形受限制时,即原岸坡较陡较高、大断面开挖有困难且地基条件较好时,采用倒梯形断面较合适,施工方便。锯齿形断面主要是为了满足高大岸壁稳定性要求,在上述断面的基础上发展而成的。

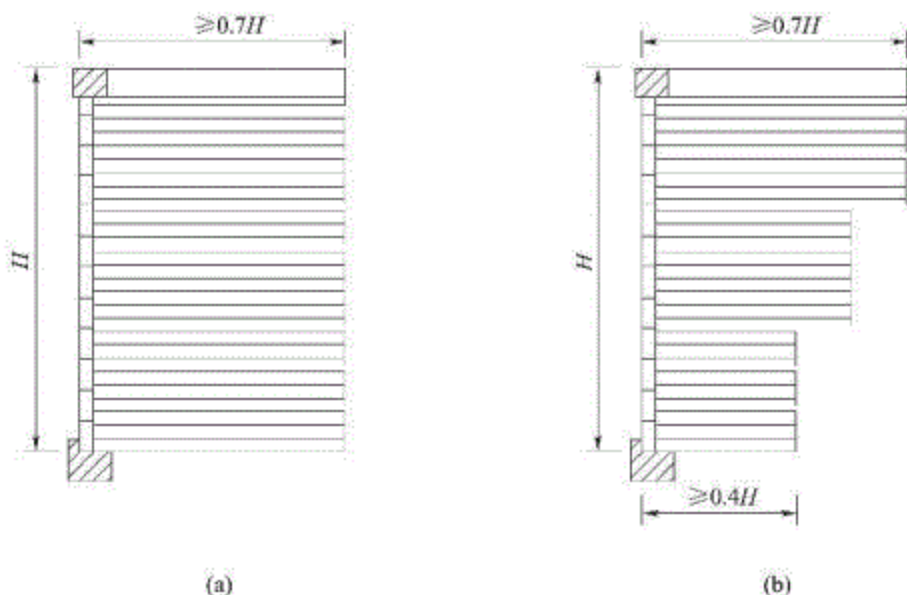


图 8.2

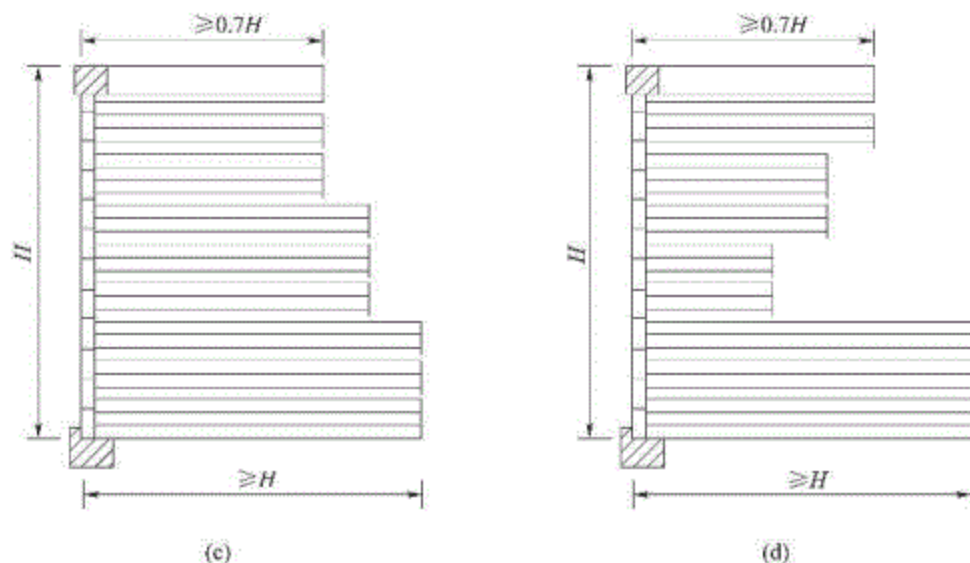


图 8.2 加筋土体常用断面形式图

(a) 矩形; (b) 倒梯形; (c) 梯形; (d) 锯齿形

**8.2.2.1** 在墙面板块底部设置条形基础不仅能使墙面板块的安砌质量和墙面板块的整体性得到保证,同时也能减少墙面板块的不均匀沉降,这对欠固结地基土更有重要意义。条文中提出的条形基础最小尺寸考虑了建筑物的安全。

**8.2.2.3** 墙面板块尺寸愈大,砌成的墙面整体性愈好,侧向变形也小,施工进度也快,但安砌、搬运困难。国外施工机械化程度高,有采用大型整体面板的工程实例,条文中提出的墙面板尺寸系国内工程实践的总结。

**8.2.2.8** 加筋土岸壁设置排水缝及倒滤层至关重要。排水缝不仅要排水以减少或消除墙体内外水头差,同时又防止加筋土填料顺排水缝流失,因此在排水缝处应设土工织物滤层。

**8.2.3** 加筋土岸壁设计方法包括极限平衡法、极限状态法以及有限单元法等。目前,设计普遍采用极限平衡法。

**8.2.4.2** 加筋土体由于加了筋,且有严格的密实度要求。因此,相对自然土体而言,将加筋土体视为重力式刚性墙,以此来验证加筋土体-加筋土岸壁的整体稳定性。但加筋土体实际上还是非刚体,故要求基底不出现拉应力。

**8.2.5.2** 加筋材料所受拉力来源于水平土压力,但加筋土结构的整体力学机理比较复杂,加筋带拉力也不完全等于水平土压力,目前国内外采用的拉力计算公式较多,见表 8.1。

表 8.1 加筋带拉力常用计算公式

序号	名称	计算公式
1	正应力均布法	$T_d = \gamma h k_1 S_1 S_2$
2	正应力梯形分布法	$T_d = \gamma h k_1 \left( 1 + k_2 \frac{h_1^2}{L^2} \right) S_1 S_2$

续表 8.1

序号	名称	计算公式
3	正应力梅氏分布法	$T_d = \frac{\gamma h_i k_s}{1 - \frac{k_s h_i^2}{3L^2}} S_x S_y$
4	库仑合力法	$T_d = \gamma h_i k_s \frac{n}{n+1} S_x S_y$
5	库仑力矩法	$T_d = \gamma h_i k_s \frac{n^2}{n^2 - 1} S_x S_y$
6	能量法	$T_d = \gamma h_i \left[ \frac{6k_s^{2.5} (H - h_i)}{L} \right]^{0.5} S_x S_y$

注:① $L$ 为加筋带长度(m), $n$ 为加筋带总层数, $H$ 为挡墙全高(m), $h_i$ 为第 $i$ 层加筋带的埋深(m);

②当 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ 、 $\varphi = 35^\circ$ 、 $S_x = S_y = 0.5 \text{ m}$ 、 $H = 10 \text{ m}$ 、 $L = 7 \text{ m}$ 时,表中所示公式的计算结果比较见图 8.3。

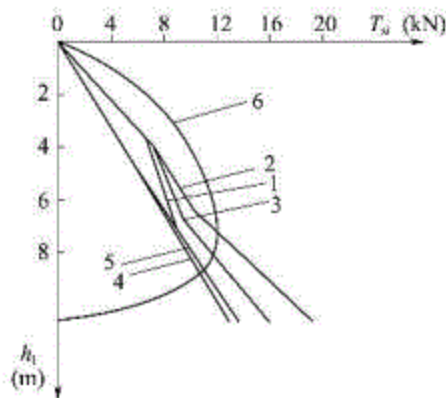


图 8.3 加筋材料拉力计算结果比较图

土压力一般针对单位墙的长度计算。如果墙的填土中的每层筋材是连续铺放,即满堂铺设情况,则由土压力引起的荷载将由单位长度的筋材来承担,此时式(8.2.5-1)中的筋材面积覆盖率 $A_r = 1$ 。覆盖率指在筋材非满堂铺(如筋材为土工带,在一层中平面铺放间距为 $S_{hr}$ )时,单位墙长中含有的筋材数,故 $A_r = 1/S_{hr}$ 。例如,若 $S_{hr} = 0.5 \text{ m}$ ,则 $A_r = 1/0.5 = 2$ ,即每根筋材承担(覆盖)单位墙长二分之一范围内的横向荷载。

进行内部稳定计算时,对于刚性加筋墙,因墙内上部填土侧向位移受到限制,不能达到主动破坏极限状态,故土压力系数应在静止状态与主动极限状态之间。根据大量试验结果,建议按式(8.2.5-2)和式(8.2.5-3)确定土压力系数。而对柔性墙,则按库仑主动土压力考虑。

**8.2.5.4 土工带和土工格栅达到极限抗拉强度时,延伸率较大。因此设计拉力的取值将极限抗拉强度进行折减后作为控制条件,综合强度折减安全系数 $K_m$ 中包括了蠕变折减、施工损伤折减和老化折减等内容。**

另外,公式将延伸率也作为控制条件。取延伸率为1.5%~2%时的拉力作为设计值,主要是考虑水工建筑物的重要性和使用环境的恶劣性。

### 8.3 施 工

**8.3.4.3** 由于加筋材料间的摩擦要小于筋材与填料之间的摩擦,故要求加筋材料在加筋体内不相互接触,因此在结构转角处要用填料隔开。考虑到加筋材料分层铺设和填料压实厚度一般为300mm左右,故提出厚度宜大于50mm。

**8.3.5.1** 填料最大粒径和分层压实厚度参照现行行业标准《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)确定。

**8.3.5.5** 压实度指标是根据工程经验规定的,在距墙面板800mm范围内,由于采用轻型机械压实,故规定的压实度略有降低。

## 9 护 坡

### 9.2 设 计

9.2.2.5 条文规定的最小厚度是根据工程实践经验制定的。为保证其耐久性,故规定混凝土的强度等级不低于 C20;砂浆的强度不低于 M15。

9.2.5 模袋类型、厚度和适用范围系参考国内工程实践经验和国外有关资料而定。模袋混凝土的厚度是影响工程安全和造价的主要因素。目前尚无行之有效的计算公式。目前在已有的海工工程中一般采用 250mm~400mm 厚的模袋混凝土,有的工程厚度达 700mm。

《土工合成材料工程应用手册》(第二版)中有关模袋混凝土厚度的计算公式如下:

(1) 抗浮动所需厚度按下式估算:

$$t \geq 0.07CH_w \sqrt[3]{\frac{L_w}{B}} \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_c - \gamma_w} \sqrt{\frac{(1+m^2)}{m}} \quad (9.1)$$

式中  $t$ ——厚度;

$C$ ——面板系数,无滤点板取 1,有滤点板取 1.5;

$H_w, L_w$ ——设计波高与波长(m);

$B$ ——垂直水边线护面板长度(m);

$\gamma_w$ ——水的重度( $\text{kN/m}^3$ );

$\gamma_c$ ——混凝土或砂浆的有效重度( $\text{kN/m}^3$ );

$m$ ——边坡角  $\alpha$  的余切,  $m = \cot\alpha$ ,  $m = 2 \sim 5$ ;

(2) 抗冰推移所需厚度按下式估算:

$$t \geq \frac{P_i t_i}{\sqrt{1+m^2}} \frac{(K \cdot m - f_{cs}) - H_1 C_{cs} \sqrt{1+m^2}}{\gamma_c H_1 (1 + m f_{cs})} \quad (9.2)$$

式中  $t$ ——厚度;

$P_i$ ——水平冰推力(kPa);

$t_i$ ——冰层厚度(m);

$m$ ——边坡角的余切,  $m = \cot\alpha$ ,  $m = 2 \sim 5$ ;

$K$ ——安全系数,一般取 3;

$f_{cs}$ ——护面与坡土间的摩擦系数;

$\gamma_c$ ——混凝土或砂浆的有效重度( $\text{kN/m}^3$ );

$H_1$ ——冰层以上护面垂直高度(m);

$C_{cs}$ ——护面与坡面的黏结力(kPa)。

9.2.6 在推导公式(9.2.6)时,坡顶模袋长度 $L$ 范围的摩阻力未予考虑,作为安全储备。

9.2.8 采用土工网垫植被护坡的可行性分析是根据所处位置、降雨强度、水流速度、排水情况、基础土质及植物的根系发展情况等进行,美国 AKZO Nobel 公司也有相关研究数据。

土工网垫水下部分按坡土类别和坡前流速分析确定植被防护的必要性,见图 9.1;水上部分按坡土类别和降水强度分析确定植被防护的必要性,见图 9.2。

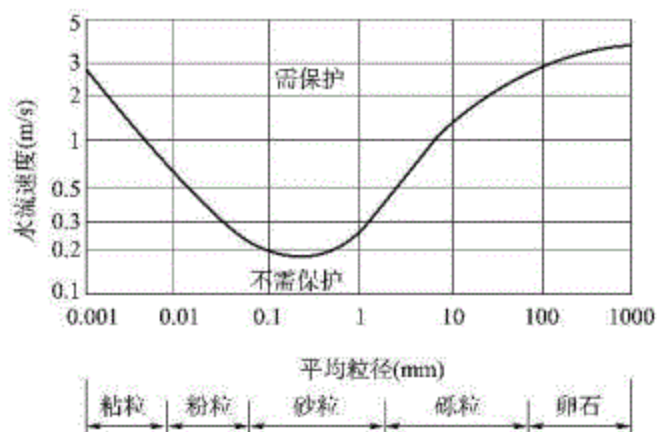


图 9.1 水下坡防冲要求

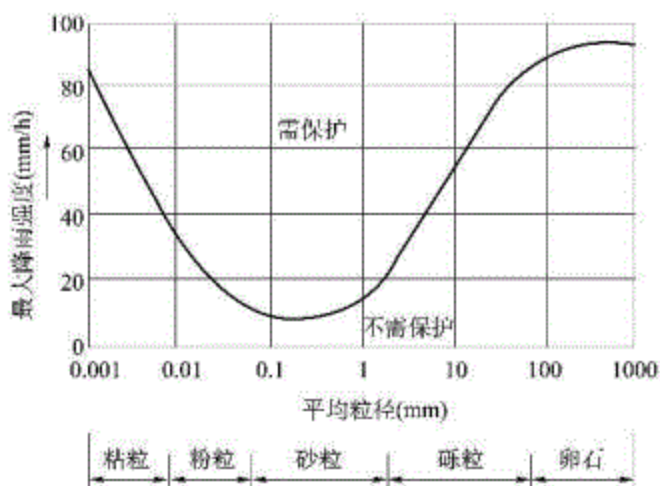


图 9.2 水上坡防冲要求

植被防护效果和边坡土质、自然条件、植物种类以及植物生长情况等密切相关,加入土工网垫后,不同土质、不同地区的防冲刷上限能力有所不同。中国科学院植物研究所专家曾推荐的草籽见表 9.1。

表 9.1 护坡草籽参考表

地 区	草籽名称
华北、东北、西北	野牛草、无芒雀麦、冰草、高羊茅(沈阳以南)
华中、华东	狗牙根、高羊茅、黑麦草、香根草 <sup>1)</sup>

续表 9.1

地 区	草 籽 名 称
西南	扁穗牛鞭草、固草芦、黑麦草、香根草
华南	雀稗、假俭草、两耳草、香根草
青藏高原	老芒麦、垂穗披碱草
新疆	无芒雀麦、老芒麦

注:①香根草是我国南方地区的经验。

### 9.3 施 工

**9.3.1.1** 模袋充灌混凝土时,会产生收缩,为此预留模袋的收缩富裕量。

**9.3.1.3** 在封闭式抛石护岸模袋混凝土护面的施工中,因抛石棱体是透水的,随着海潮的涨落,会使堤内外形成水头差,这样会给模袋施工带来不利,因而规定应考虑内外水头差的影响。一般情况下,内坡利用退潮施工,外坡利用涨潮施工。

**9.3.1.8** 模袋具有一定吸水性,当充灌混凝土时,混凝土中的水分一部分被模袋纤维吸走而影响混凝土的流动性,因此规定陆上部分的模袋在充灌前要保持湿润;在泵管出口处设置减冲挡板,是为了防止混凝土直接冲打在下层模袋上,造成打破模袋而出现事故。

模袋混凝土充填速度过快,将会造成局部模袋受力过大,控制模袋厚度的张拉绳断裂而使模袋局部出现鼓包,所以在充填模袋混凝土时充填速度控制在  $10\text{m}^3/\text{h} \sim 15\text{m}^3/\text{h}$  范围内。对于充填压力控制在  $0.2\text{MPa} \sim 0.3\text{MPa}$  的要求,主要是防止因压力过大而使充填饱满度不易掌握,造成因压力过大而把模袋胀裂或出现局部“鼓包”。

**9.3.1.10** 根据一些工程实践经验,25cm 厚模袋,收缩富裕量控制在 20cm 左右,便能收到接缝挤严的效果。

## 10 充填袋筑堤

### 10.1 一般规定

**10.1.3** 用砂性土充填时排水快,容易密实成形;采用其他土料如粉质黏土充填时容易产生堵塞、鼓胀、不饱满、密实成形时间长等现象;采用砂性土和粉土充填的充填袋体,在施工期受波浪作用时易出现漏土现象。

**10.1.4** 充填袋暴露在太阳光下,易老化变脆、强度降低,特别在夏季施工,如上一层袋体不能及时充填覆盖,坡面未及时相应铺护,袋易老化破损,造成砂土流失。

### 10.2 设计

**10.2.5** 充填袋筑堤要求充填土料能较快固结,使袋体不断升高,保护袋体内侧的充填土不流失或尽量少流失,所以宜选用砂性土。

### 10.3 施工

**10.3.4** 本条文对近滩取砂安全距离的规定是为了保证充填堤和已有岸坡的安全稳定性。

## 11 软体排护底

### 11.1 一般规定

**11.1.2** 分离压载软体排是用土工织物缝制成一定尺寸的单块排体,在排体上抛块石、砂袋或混凝土块等压重物的软体排。系结压载软体排是用土工织物缝制成一定尺寸的单块排体,排体纵向缝有加筋带,通过加筋带将排上压载物与排体连接于一体的软体排,系结压载物有砂袋、砂肋、混凝土连锁块等。砂被软体排是用两块土工织物按一定间距和型式缝制成管、格状或大型充填袋状排体,砂被内充填砂性土的软体排。

### 11.2 设计

**11.2.2.3** 低水出露的滩地或近岸部位铺设的软体排,需要进行有效覆盖,以避免软体排的土工织物直接暴露在阳光下产生严重老化。

**11.2.5** 护底软体排压载稳定性是关系到结构安全和工程经济性的重要问题。2012年中交上海航道勘察设计研究院有限公司等单位依托长江南京以下12.5m深水航道治理一期工程开展了水流、波浪作用下护底软体排结构稳定性专题研究。采用物模试验、Fluent二维数模和Flow三维数模相结合的方法,深入研究了混凝土连锁块护底软体排不同部位在不同水深、流速、波浪、底坡、排边冲刷、压载块形状及尺度等条件下的压载失稳形式、过程、临界失稳水动力数据。

研究表明,当 $H_{5\%}/d < 0.15$ 时,波浪作用对压载块的稳定性影响贡献比例占10%左右,设计时可只考虑水流对护底软体排的作用;当 $H_{5\%}/d \geq 0.15$ ,尤其高滩段波浪发生破碎,波浪作用对压载块的稳定性影响贡献急剧增加,设计时需考虑波浪和水流对压载块的共同作用。

护底软体排压载稳定性问题较为复杂,计算方法尚有不完善之处,因此,对于结构安全等级为一、二级的各代表性部位,以及结构安全等级为三级的重要部位,需要采用进行典型条件物理模型试验验证。

**11.2.8.7** 相邻排边的平面错牙控制在2m以内,是根据长江口的经验,相邻排体在堤身断面方向的总宽度不形成突变,可有效防止在排宽突变处产生剧烈的局部冲刷。

### 11.3 施工

**11.3.1** 根据工程实践经验,采用缝连线“包缝”或“丁缝”的常规缝接工艺,缝接强度很难达到原规范要求的70%,质量较好的缝接强度可达到母材强度的60%。因此本条将缝接强度调整为不宜低于母材强度的60%。需要更高的缝接强度时,一般采用环氧树脂等

粘合加缝接工艺。

**11.3.4.3** 软体排铺设方式规定有利于排体搭接处抗掀动稳定。

**11.3.5** 相邻铺设的排体间有一定的搭接长度是防止搭接处被掀动,形成冲刷坑。实际工程水下排体有效搭接长度一般不小于2.0m,陆上排体有效搭接长度一般不小于1m。