

中华人民共和国交通运输部计量检定规程

JJG(交通) 124—2023

公路断面探伤及结构层厚度探地雷达

Highway Structure and Layer Thickness Defect Ground Penetration Radar



2023-11-09 发布

2024-05-09 实施

中华人民共和国交通运输部 发布

公路断面探伤及结构层 厚度探地雷达检定规程

**Verification Regulation of Highway
Structure and Layer Thickness Defect
Ground Penetration Radar**

JJG(交通) 124—2023
代替 **JJG(交通) 124—2015**
JJG(交通) 130—2016

归口单位：全国公路专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：交通运输部公路科学研究所

参加起草单位：中路高科交通科技集团有限公司

中路高科交通检测检验认证有限公司



本规程委托全国水运专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

窦光武(交通运输部公路科学研究所)

曹瑾瑾(中路高科交通科技集团有限公司)

周毅姝(交通运输部公路科学研究所)

参加起草人：

刘 璐(交通运输部公路科学研究所)

刘 静(中路高科交通检测检验认证有限公司)

张金凝(中路高科交通科技集团有限公司)

郭鸿博(中路高科交通科技集团有限公司)



目 录

引言	III
1 范围	1
2 概述	1
3 计量性能要求	1
3.1 空气中雷达波速测量相对误差	1
3.2 厚度测量示值误差	1
3.3 厚度测量重复性	2
3.4 中心频率测量相对误差	2
3.5 线性度	2
4 通用技术要求	2
4.1 外观	2
4.2 铭牌	2
4.3 整机运行情况	2
5 计量器具控制	2
5.1 检定条件	2
5.2 检定项目	3
5.3 检定方法	3
5.4 检定结果处理	7
5.5 检定周期	7
附录 A 厚度测量试样技术要求	8
附录 B 探地雷达检定记录表	9
附录 C 探地雷达检定证书内页格式	11
附录 D 探地雷达检定结果通知书内页格式	13





引 言

本规程依据 JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》编写。

本规程代替 JJG(交通)124—2015《公路断面探伤及结构层厚度探地雷达》和 JJG(交通)130—2016《桥梁隧道结构用工程雷达》。本规程以 JJG(交通)124—2015 为主,整合了 JJG(交通)130—2016 的内容。与 JJG(交通)124—2015 相比除编辑性修改外,主要技术内容变化如下:

- 修改了概述的内容[见第 2 章, JJG(交通)124—2015 的第 3 章];
- 增加了中心频率测量相对误差和线性度的计量性能要求(见 3.4、3.5);
- 修改了外观的要求[见 4.1, JJG(交通)124—2015 的 5.1];
- 增加了整机运行情况的要求(见 4.3);
- 增加了检定器具钢卷尺、频谱分析仪和空气波速测量辅助装置[见 5.1.2a)、5.1.2c)、5.1.3b)];
- 修改了检定器具中厚度测量试样的要求[见 5.1.3a), JJG(交通)124—2015 的 6.1.2.2];
- 修改了检定项目表[见 5.2, JJG(交通)124—2015 的 6.2];
- 增加了整机运行情况的检定方法(见 5.3.1.2);
- 修改了空气中雷达波速测量相对误差、厚度测量示值误差的检定方法[见 5.3.2、5.3.3, JJG(交通)124—2015 的 6.3.2、6.3.3];
- 增加了中心频率测量相对误差和线性度的检定方法(见 5.3.5、5.3.6);
- 修改了检定记录表、检定证书内页格式、检定结果通知书内页格式[见附录 B、附录 C 和附录 D, JJG(交通)124—2015 的附录 A、附录 B 和附录 C]。

本规程替代规程历次发布情况为:

- JJG(交通)124—2015;
- JJG(交通)130—2016。





公路断面探伤及结构层厚度探地雷达检定规程

1 范围

本规程适用于公路断面探伤及结构层厚度探地雷达(以下简称“探地雷达”)的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 概述

探地雷达可用于道路、桥梁和隧道结构的无损探测和厚度检测。

探地雷达通常由控制单元、接收天线和发射天线等部件构成。探地雷达的结构示意图如图 1 所示。

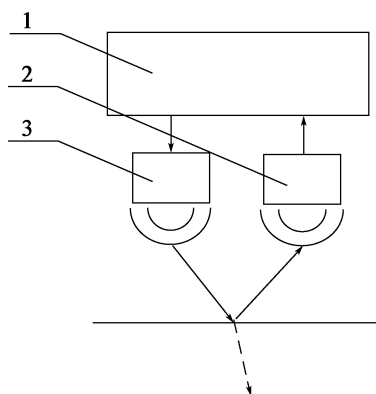


图 1 探地雷达结构示意图

1——控制单元； 3——发射天线。
2——接收天线；

发射天线按照控制单元的指令向介质中发射特定频率范围的电磁波,电磁波在传播过程中遇到介质变化时将发生反射和折射,反射的电磁波被接收天线所接收并传回控制单元,从而探测出相应的目标信息。

3 计量性能要求

3.1 空气中雷达波速测量相对误差

空气中雷达波速测量相对误差不超过 $\pm 5\%$ 。

3.2 厚度测量示值误差

当天线频率大于或等于 400 MHz 时,厚度测量示值误差应符合表 1 的规定。

表 1 厚度测量示值误差

天线类型	厚度	
	≤ 100 mm	> 100 mm
空气耦合	± 3.0 mm	$\pm 3.0\%$
接触耦合	± 10.0 mm	$\pm 10.0\%$

3.3 厚度测量重复性

当天线频率大于或等于 400 MHz 时,厚度测量重复性变异系数(C_v)不大于 5.0%。

3.4 中心频率测量相对误差

中心频率测量相对误差不超过 $\pm 15\%$ 。

3.5 线性度

线性度不大于 2%。

4 通用技术要求

4.1 外观

外观应干燥、无缺损、无锈蚀,表面光滑、均匀,符号、铭刻标志、屏幕等清晰、完整。

4.2 铭牌

探地雷达的铭牌应清晰。铭牌内容包括天线频率、产品型号、产品名称、生产厂商名称、产品技术参数、生产编号和制造日期等。

4.3 整机运行情况

探地雷达各部分连接应稳定可靠,按键及插接件的接头接触良好,工作环境下反射回波信号显示应正常,反射回波信号的振幅最大值与回波信号的噪声信号振幅最大值之比不小于 20。

5 计量器具控制

5.1 检定条件

5.1.1 检定环境条件

检定环境条件如下:

- a) 环境温度: $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- b) 相对湿度: 不大于 85%;
- c) 环境周围无影响仪器正常工作的强电磁干扰。

5.1.2 检定器具

检定器具包括:

- a) 钢卷尺: 量程大于 6 m, 分度值 1 mm, 最大允许误差不超过 ± 0.2 mm。
- b) 激光干涉仪: 最大允许误差不超过 $\pm (0.03 + 0.5 L) \mu\text{m}$, L 为测量长度, 单位为 m。
- c) 频谱分析仪: 扫频宽度 10 Hz ~ 6 GHz; 分辨力带宽 (3 dB) 的可调节范围 1 Hz ~ 10 MHz。

5.1.3 辅助器具

辅助器具包括:

- a) 厚度测量试样(以下简称“厚度试样”), 技术要求见附录 A。
- b) 空气波速测量辅助装置: 主要由夹具、雷达天线固定架、底座和金属镀膜反射板组成, 金属镀膜反射板面积应不小于 4 倍天线底面面积, 空气波速测量辅助装置示意如图 2 所示。

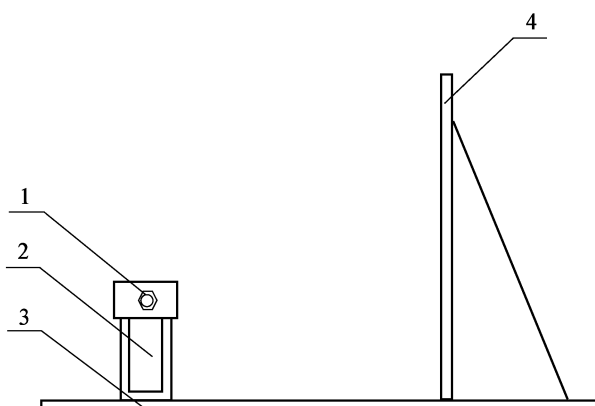


图2 空气波速测量辅助装置示意图

1——夹具； 3——底座；
2——雷达天线固定架； 4——金属镀膜反射板。

5.2 检定项目

探地雷达的检定项目见表2,检定记录表见附录B。

表2 检定项目一览表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观	+	+	+
铭牌	+	+	+
整机运行情况	+	+	+
空气中雷达波速测量相对误差	+	+	-
厚度测量示值误差	+	+	-
厚度测量重复性	+	+	-
中心频率测量相对误差	+	+	-
线性度	+	-	-

注1:“+”表示需要检定,“-”表示无需检定;
注2:天线频率小于400 MHz,不需要检定厚度测量示值误差、厚度测量重复性两个项目。

5.3 检定方法

5.3.1 通用技术要求

5.3.1.1 外观和铭牌

用目测检查探地雷达的外观结构和铭牌。

5.3.1.2 整机运行情况

通过目测和手感检查探地雷达各部分连接情况;开启探地雷达,目测反射回波信号;设置信号参数为无滤波和无背景消除,读取反射回波信号的振幅最大值与回波信号的噪声信号振幅最大值,计算两者的比值。



5.3.2 空气中雷达波速测量相对误差

检定步骤如下:

a) 将天线用夹具固定在空气波速测量辅助装置的雷达天线固定架上,调整夹具使天线底面与金属镀膜反射板表面平行,天线安装示意如图3所示,开启探地雷达,通电预热不少于10 min。

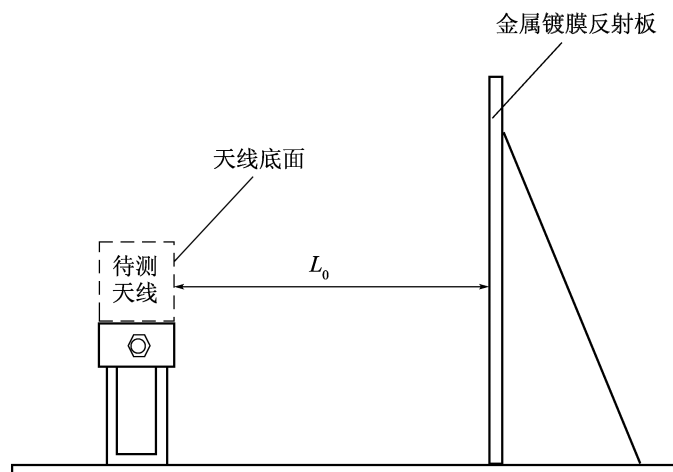


图3 天线安装示意图

b) 调整雷达天线固定架,使得天线底面与金属镀膜反射板距离(L_0)大于600 mm,且不小于被检天线频率的电磁波在空气中的波长(波长为空气中电磁波波速与天线频率之比),用钢卷尺测量该距离,测量3次取平均值作为探地雷达天线底面与金属镀膜反射板距离标准值(L)。

c) 开始采集数据,采集1 min后,从采集的数据中随机取5道测试数据,采用公式(1)计算空气中的雷达波速 v_i 。

$$v_i = \frac{2L}{t_i} \quad (1)$$

式中:

v_i ——雷达波速(mm/ns), $i = 1, \dots, 5$;

L ——探地雷达天线底面与金属镀膜反射板距离标准值,mm;

t_i ——雷达波双程走时(ns), $i = 1, \dots, 5$ 。

d) 计算5道波的雷达波速的算术平均值作为雷达波速 \bar{v} 。

e) 采用公式(2)计算空气中雷达波速测量相对误差 δ_v 。

$$\delta_v = \frac{\bar{v} - c_0}{c_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

δ_v ——空气中雷达波速测量相对误差;

\bar{v} ——雷达波速平均值,mm/ns;

c_0 ——空气中电磁波波速标准值, $c_0 = 300$ mm/ns。

5.3.3 厚度测量示值误差

检定步骤如下:

a) 根据探地雷达天线频率(F)按表 3 选取厚度试样,将选取的 3 个厚度试样放置于平整地面的金属反射板上,放置后的厚度试样的长、宽不应超出金属板的长、宽。

表 3 标称厚度选取表

序号	探地雷达天线频率(F)	组合标称厚度(L)
1	$400 \text{ MHz} \leq F < 800 \text{ MHz}$	300 mm、500 mm、700 mm
2	$800 \text{ MHz} \leq F < 1.6 \text{ GHz}$	100 mm、250 mm、400 mm
3	$1.6 \text{ GHz} \leq F$	50 mm、200 mm、350 mm

b) 对选取的厚度试样的厚度进行测量,用激光干涉仪测量 3 个厚度试样厚度,每个厚度试样的测试点(数量 ≥ 20 个)均匀分布,取厚度测量平均值作为厚度试样的标准厚度 H_{si} 。

c) 开启探地雷达,通电预热不少于 10 min;选取三个试样中中间厚度的试样作为波速标定试样,对厚度试样中的雷达波速进行标定。

d) 采集厚度试样的雷达波数据,数据采集 1 min 后,从采集的数据中随机取 10 道测试数据,读取 10 道测试数据中雷达波双程走时,并计算其平均值 \bar{t}_c 。

e) 采用公式(3)计算标定试样中的雷达波速 v_c 。

$$v_c = \frac{2H_c}{\bar{t}_c} \quad (3)$$

式中:

v_c ——波速标定试样中的雷达波速,mm/ns;

H_c ——波速标定试样的厚度,mm;

\bar{t}_c ——被测厚度试样的雷达波双程走时平均值,ns。

f) 按照步骤 d),对选择的 3 个厚度试样分别进行测量,并计算每个厚度试样的雷达波双程走时平均值 \bar{t}_{ci} ,采用公式(4)计算出每个厚度试样的厚度测量值 H_{mi} 。

$$H_{mi} = v_c \times \frac{1}{2} \bar{t}_{ci} \quad (4)$$

式中:

H_{mi} ——第 i 个厚度试样的厚度测量值,mm, $i=1,2,3$;

\bar{t}_{ci} ——第 i 个厚度试样的雷达波双程走时平均值,ns, $i=1,2,3$ 。

g) 当厚度试样厚度小于 100 mm 时,采用公式(5)计算厚度测量绝对示值误差 Δ'_i ;当厚度试样厚度大于或等于 100 mm 时,采用公式(6)计算厚度测量相对示值误差 Δ_i 。

$$\Delta'_i = H_{mi} - H_{si} \quad (5)$$

$$\Delta_i = \frac{H_{mi} - H_{si}}{H_{si}} \times 100\% \quad (6)$$

式中:

Δ'_i ——第 i 个探地雷达厚度测量绝对示值误差,mm, $i=1,2,3$;

Δ_i ——第 i 个探地雷达厚度测量相对示值误差, $i=1,2,3$;

H_{si} ——第 i 个厚度试样的标准厚度,mm, $i=1,2,3$ 。

h) 取 Δ'_i 的最大值作为厚度试样厚度小于 100 mm 时的厚度测量示值误差,取 Δ_i 的最大值作为厚度试样厚度大于或等于 100 mm 时的厚度测量示值误差。

5.3.4 厚度测量重复性

将 5.3.3 中 d) 所获得的 10 道数据采用公式(7) 计算 3 个厚度试样测量的变异系数 C_{vi} , 取最大值作为厚度测量重复性。

$$C_{vi} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n-1}}}{\bar{x}_i} \times 100\% \quad (7)$$

式中:

C_{vi} ——第 i 个厚度试样的测量重复性变异系数, $i = 1, 2, 3$;

\bar{x}_i ——第 i 个厚度试样雷达波双程走时平均值, mm, $i = 1, 2, 3$;

x_{ij} ——第 i 个厚度试样第 j 道数据的雷达波双程走时, mm, $i = 1, 2, 3$;

n ——重复测量次数, 此处取 10。

5.3.5 中心频率测量相对误差

检定步骤如下:

a) 开启探地雷达, 通电预热不少于 10 min。

b) 安装频谱分析仪, 开启后, 设置频率范围应大于探地雷达天线标称频率相对带宽的 150%, 分辨率带宽为 1 MHz, 开始采集。

c) 选取频谱中功率最高的频率点 f_{\max} , 读取该频率点两边功率下降 3 dB 的两个频率点 f_1 和 f_2 , 计算两点的算术平均值作为中心频率标准值 f_s 。

d) 读取频谱中功率最高的频率点 f_{\max} 两边功率下降 10 dB 的两个频率点 f_H 和 f_L ; 采用公式(8) 计算相对带宽。

$$\delta_r = \frac{f_H - f_L}{f_s} \times 100\% \quad (8)$$

式中:

δ_r ——相对带宽;

f_H ——最高频率点右侧下降 10 dB 的频率值, MHz;

f_L ——最高频率点左侧下降 10 dB 的频率值, MHz;

f_s ——中心频率标准值, MHz。

e) 当相对带宽(δ_r) 小于 100% 时, 探地雷达的中心频率测量相对误差不合格, 该检定步骤终止。

f) 当相对带宽 δ_r 大于或等于 100% 时, 读取铭牌上的天线频率作为中心频率标称值 (f_m), 采用公式(9) 计算中心频率测量相对误差。

$$\delta_f = \frac{f_m - f_s}{f_s} \times 100\% \quad (9)$$

式中:

δ_f ——中心频率测量相对误差;

f_m ——中心频率标称值, MHz。

5.3.6 线性度

检定步骤如下:

a) 重复 5.3.2 中步骤 a), 设置信号采集模式为时间采集, 时间测量量程设置为 10 ns, 信号参数选择无滤波和无背景消除。

b) 调节雷达天线固定架, 使金属镀膜反射板的反射回波信号显示在时间测量量程的 1/4 的位置, 开始采集数据, 测量 1 min 后, 用钢卷尺测量天线底面距金属镀膜反射板的距离 h_1 , 并记录反射回波信号的时间 t_1 。

c) 重复步骤 b), 分别使金属镀膜反射板的反射回波信号在时间测量量程的 1/2 位置和 3/4 位置处, 测量天线底面距金属镀膜反射板的距离 h_2 和 h_3 , 记录反射回波信号的时间 t_2 和 t_3 。

d) 采用公式(10)和公式(11)计算第 1、2 次测量的时间因素系数。

$$C_1 = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \quad (10)$$

$$C_2 = \frac{h_3 - h_2}{t_3 - t_2} \quad (11)$$

式中:

C_1 ——第 1 次测量的时间因素系数;

C_2 ——第 2 次测量的时间因素系数;

h_1 ——第 1 次测量的天线底面距金属镀膜反射板的距离, mm;

h_2 ——第 2 次测量的天线底面距金属镀膜反射板的距离, mm;

h_3 ——第 3 次测量的天线底面距金属镀膜反射板的距离, mm;

t_1 ——第 1 次测量的金属镀膜反射板反射的回波信号时间, ns;

t_2 ——第 2 次测量的金属镀膜反射板反射的回波信号时间, ns;

t_3 ——第 3 次测量的金属镀膜反射板反射的回波信号时间, ns。

e) 采用公式(12)计算线性度。

$$V = \frac{|C_2 - C_1|}{(C_2 + C_1)/2} \quad (12)$$

式中:

V ——线性度。

5.4 检定结果处理

经检定合格的探地雷达, 出具检定证书, 检定证书内页格式见附录 C。检定不合格的探地雷达出具检定结果通知书, 并注明不合格项目, 检定结果通知书内页格式见附录 D。

5.5 检定周期

探地雷达的检定周期一般不超过 12 个月。



附录 A

厚度测量试样技术要求

厚度测量试样为不同尺寸的矩形厚度块,用于检定天线频率在 400 MHz ~ 2.5 GHz 内的探地雷达厚度测量误差的辅助器具。厚度测量试样应满足以下技术要求:

a) 厚度测量试样尺寸:厚度测量试样的长、宽分别不小于天线底面的长、宽的 2 倍,厚度测量试样长、宽边对齐的叠加组合标称厚度范围应覆盖(50 ~ 700) mm。厚度测量试样应配套金属反射板,金属反射板的长、宽尺寸不小于厚度测量试样的长、宽的尺寸。

b) 厚度测量试样材料:应为均匀、稳定、无磁的非金属材料,相对介电常数大于 2,上下表面应平整。

c) 最小标称厚度计算方法:最小标称厚度应不小于电磁波在厚度测量试样中的垂直分辨率,电磁波的垂直分辨率(R_v)采用公式(A.1)计算。

$$R_v = \frac{C_0}{2f\sqrt{\varepsilon}} \quad (\text{A.1})$$

式中:

R_v ——垂直分辨率,mm;

C_0 ——空气电磁波速, $C_0 = 300$ mm/ns;

f ——天线频率,GHz;

ε ——厚度测量试样的相对介电常数。



附录 B

探地雷达检定记录表

记录编号：

第×页 共×页

样品名称				样品编号					
规格型号				出厂编号					
制造单位				接收日期					
检定依据				检定地点					
检定前样品状态				检定后样品状态					
环境条件		温度：_____℃；相对湿度：_____%；其他：_____							
检定使用的 计量标准器 及主要配套设备	名称	测量 范围	准确度等级/ 不确定度	证书 编号	证书 有效期	使用前情况 (是否良好)	使用后情况 (是否良好)		
检定项目									
序号	项目	计算结果(时间单位:ns;速度单位:mm/ns;长度单位:mm)							
1	外观和铭牌								
2	整机运行情况								
3	空气中雷达波速 测量相对误差	空气中电磁波 波速标准值							
		测量距离	1	2	3	L			
		序号	1	2	3	4	5	\bar{v}	δ_v
		t_i							
v_i									

探地雷达检定记录表(续)

记录编号: _____

第×页 共×页

检定项目															
序号	项目	计算结果(时间单位:ns;速度单位:mm/ns;长度单位:mm)													
4	厚度测量示值误差及重复性	波速标定													
		序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{t}_c	v_c	
		时间													
		厚度测量													
		标称厚度及测量序号				1			2			3			
		NO.1													
		NO.2													
		NO.3													
		NO.4													
		NO.5													
		NO.6													
		NO.7													
		NO.8													
		NO.9													
		NO.10													
		H_{mi}													
		S_i													
		C_{Vi}													
H_{si}															
Δ'_i 或 Δ_i															
5	中心频率测量相对误差	f_1		f_2		f_m		f_s		δ_f					
		f_H			f_L			f_s		f_r					
6	线性度	h_1	t_1	h_2	t_2	h_3	t_3	V							

检定员: _____

核验员: _____

检定日期: _____

附录 C

探地雷达检定证书内页格式

检定证书第 2 页

证书编号 × × × × × × - × × × ×

检定机构授权说明

检定依据(代号、名称)

检定环境条件及地点:

温 度	℃	地 点	
相对湿度	%	其 他	

检定使用的计量标准装置/主要设备

名 称	仪器设备编号	测量范围	不确定度/准确度 等级/最大 允许误差	仪器设备证书 编号	有效期至



检定证书第 3 页

证书编号 × × × × × × - × × × ×

检定结果

序号	被检项目	检定结果	结论
1	外观		
2	铭牌		
3	整机运行情况		
4	空气中雷达波速测量相对误差		
5	厚度测量示值误差		
6	厚度测量重复性		
7	中心频率测量相对误差		
8	线性度		

注:

- 1 天线频率和出厂编号;
- 2 本报告检定结果仅对该计量器具有效;
- 3 本证书未加盖“检定专用章”无效;
- 4 下次检定时请携带(出示)此证书。

未经授权,不得部分复印本证书。

以下空白



附录 D

探地雷达检定结果通知书内页格式

检定结果通知书第 2 页

证书编号 × × × × × × - × × × ×

检定机构授权说明

检定依据(代号、名称)

检定环境条件及地点:

温 度

℃

地 点

相对湿度

%

其 他

检定使用的计量标准器具/主要设备

名 称	仪器设备编号	测量范围	不确定度/准确度 等级/最大 允许误差	仪器设备证书 编号	有效期至



检定结果通知书第 3 页

证书编号 × × × × × × - × × × × ×

检定结果

序号	被检项目	检定结果	结论
1	外观		
2	铭牌		
3	整机运行情况		
4	空气中雷达波速测量相对误差		
5	厚度测量示值误差		
6	厚度测量重复性		
7	中心频率测量相对误差		
8	线性度		

注:

- 1 天线频率和出厂编号;
- 2 本报告检定结果仅对该计量器具有效;
- 3 本证书未加盖“检定专用章”无效;
- 4 下次检定时请携带(出示)此证书。

未经授权,不得部分复印本证书。

附加说明

说明检定结果不合格项

以下空白

