

中华人民共和国水利行业标准

SL 530—2012

大坝安全监测仪器检验测试规程

Specifications for verification and test of
dam safety monitoring instruments

2012-05-16 发布

2012-08-16 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告

2012 年第 14 号

中华人民共和国水利部批准《大坝安全监测仪器检验测试规程》(SL 530—2012) 标准为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	大坝安全监测 仪器检验测试 规程	SL 530—2012		2012. 5. 16	2012. 8. 16

二〇一二年五月十六日

前 言

根据水利部水利行业标准制（修）订计划，按照《水利技术标准编写规定》（SL 1—2002）的要求，参考《国家计量检定规程编写规则》（JJF 1002—2010），编制本标准。

本标准共 8 章，主要包括检验测试通用条款，变形监测仪器检验测试，渗流监测仪器检验测试，力、应力、应变及温度监测仪器检验测试，环境量监测仪器检验测试及检验测试规则。

本标准衔接《岩土工程仪器系列型谱》（GB/T 21029—2007），《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》（GB/T 15406—2007）。本标准对大坝安全监测仪器（传感器）埋设前的检验测试项目、检验测试方法等做了规定。制定、调整和统一了大坝安全监测仪器在埋设前的技术要求、测试环境、检测项目和检测方法。

本标准为全文推荐。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部建设与管理司

本标准解释单位：水利部建设与管理司

本标准主编单位：水利部大坝安全管理中心

南京水利科学研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：李 雷 张国栋 王仁钟 王士军

盛金保 杨正华 陶秀珍 霍家平

本标准审查会议技术负责人：房纯纲

本标准体例格式审查人：程瑾瑞

目 次

1	总则	1
2	术语与定义	2
3	检验测试通用条款	5
3.1	环境条件	5
3.2	外观及标志	5
3.3	防水密封性	6
3.4	绝缘性	7
3.5	过范围限	9
3.6	温度测量误差	10
3.7	温度影响	10
3.8	稳定性	13
4	变形监测仪器静态特性检验测试	15
4.1	测缝计和变位计	15
4.2	垂线坐标仪和引张线仪	16
4.3	静力水准仪	17
4.4	沉降仪	20
4.5	测斜仪	22
5	渗流监测仪器静态特性检验测试	24
5.1	孔隙水压力计	24
5.2	量水堰水位计	25
6	力、应力、应变及温度监测仪器检验测试	27
6.1	锚索测力计	27
6.2	土压力计	28
6.3	钢筋计	29
6.4	应变计	31
6.5	温度计	32

7	环境量监测仪器检验测试	37
7.1	水位计	37
7.2	雨量计	39
7.3	气温计	42
7.4	大气压力计	42
8	检验测试规则	43
附录 A	振弦式传感器静态特性计算方法	44
附录 B	差动电阻式传感器静态特性计算方法	48
附录 C	电位器式传感器静态特性计算方法	51
附录 D	电容式传感器静态特性计算方法	54
附录 E	伺服加速度计式测斜仪静态特性计算方法	57
附录 F	步进电机式仪器静态特性计算方法	60
附录 G	压阻式孔隙水压力计静态特性计算方法	62
附录 H	传感器静态特性指标计算方法	65
附录 J	监测仪器检验测试记录格式	69
J.1	振弦式测缝计检验测试记录格式	69
J.2	差动电阻式测缝计检验测试记录格式	70
J.3	电位器式测缝计检验测试记录格式	72
J.4	电容式测缝计检验测试记录格式	73
J.5	电容式垂线坐标仪检验测试记录格式	74
J.6	步进电机式垂线坐标仪检验测试记录格式	75
J.7	振弦式静力水准仪(量水堰水位计)检验测试记录格式	76
J.8	电容式静力水准仪(量水堰水位计)检验测试记录格式	77
J.9	电磁式(干簧管式)沉降仪检验测试记录格式	78
J.10	振弦式沉降仪检验测试记录格式	79
J.11	伺服加速度计式测斜仪检验测试记录格式	80
J.12	振弦式测斜仪检验测试记录格式	81
J.13	振弦式孔隙水压力计检验测试记录格式	82
J.14	差动电阻式孔隙水压力计检验测试记录格式	83
J.15	压阻式孔隙水压力计检验测试记录格式	85

J. 16	振弦式锚索测力计检验测试记录格式	86
J. 17	差动电阻式锚索测力计检验测试记录格式	88
J. 18	振弦式土压力计检验测试记录格式	90
J. 19	差动电阻式土压力计检验测试记录格式	91
J. 20	振弦式钢筋计检验测试记录格式	93
J. 21	差动电阻式钢筋计检验测试记录格式	94
J. 22	振弦式应变计检验测试记录格式	96
J. 23	差动电阻式应变计检验测试记录格式	97
J. 24	铜电阻式温度计检验测试记录格式	99
J. 25	热敏电阻式温度计检验测试记录格式	100
J. 26	振弦式温度计检验测试记录格式	101
J. 27	浮子式水位计检验测试记录格式	102
J. 28	气介质超声波水位计检验测试记录格式	103
J. 29	翻斗式雨量计检验测试记录格式	104
J. 30	虹吸式雨量计检验测试记录格式	105
标准用词说明		106
条文说明		107

1 总 则

1.0.1 为了统一和规范大坝安全监测仪器安装埋设前的性能检验测试方法，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于现场安装埋设前的大坝安全监测仪器（传感器）的实验室第三方检验测试。用于大坝安全监测的仪器应满足本标准的要求，其他水利工程的安全监测仪器安装埋设前的检验测试可参照本标准。

1.0.3 大坝安全监测仪器（传感器）在用于大坝安全监测前必须进行检验测试，且其性能应满足本标准之规定；检测单位应是具有大坝安全监测仪器检测资质的质量检测机构。

1.0.4 传感器规格应按《岩土工程仪器系列型谱》和《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》执行。

1.0.5 本标准引用标准主要有：

《二等标准水银温度计检视规程》（JJG 128—2003）

《空盒气压表和空盒气压计检定规程》（JJG 272—2007）

1.0.6 大坝安全监测仪器检验测试除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与定义

2.0.1 检验测试 verification and test

按照规定程序确定给定的仪器（传感器）的某一种或多种特性的技术操作。

2.0.2 工作特性 characteristics

用作约定真值的传感器输出—输入特性的方程或曲线。工作特性以直线拟合时，称为工作特性直线或工作直线；工作特性以曲线拟合时，称为工作特性曲线或工作曲线。

2.0.3 量程 span

标称范围两极限之差的模。

2.0.4 满量程输出 FS full scale output

由传感器工作特性所决定的最大输出量值和最小输出量值的代数差。

2.0.5 测量范围（工作范围） range

测量仪器的误差处在规定极限内的一组被测量的值。

2.0.6 分辨力 r resolution

在工作范围内，传感器所能产生的可测量的最小输出量变化量，以满量程输出百分比表示时，又称分辨率。

2.0.7 非线性度 L non-linearity

表示传感器平均校准曲线和工作直线间的不一致程度，一般以满量程输出的百分比表示。

2.0.8 符合度 conformity

表示传感器平均校准曲线和工作曲线间的不一致程度，一般以满量程输出的百分比表示。

2.0.9 不重复度 R non-repeatability

表示传感器在不变的工作状态下，重复给定某个相同输入值时输出值的分散程度，一般以满量程输出的百分比表示。

2.0.10 滞后 H hysteresis

反映传感器在输入量增加（进程）和输入量减少（回程）过程中，在同一输入量时输出值的差别，一般以满量程输出的百分比表示。

2.0.11 综合误差 E_c comprehensive error

传感器进程平均校准曲线和回程平均校准曲线中与工作特性曲线的最大偏差，一般以最大偏差值与满量程输出的百分比表示。

2.0.12 电阻比 Z resistance ratio

差动电阻式传感器中两个差动变化的金属丝电阻值 R_1 和 R_2 之比，即 $Z = \frac{R_1}{R_2}$ 。

2.0.13 自由状态电阻比 Z_0 free state resistance ratio

差动电阻式传感器在输入量为零时的电阻比测值。

2.0.14 最小读数 f minimum reading

差动电阻式传感器在全量程内相应于输出电阻比变化 0.01% 时的被测量的值。

2.0.15 温度修正系数 b temperature modification coefficient

用于修正传感器输出量因温度变化引起的系统误差。

2.0.16 应变计弹性模量 E_g elastic modulus of strain

应变计在轴向受力情况下，作用在其横断面上的应力与应变之比，单位为 MPa。

2.0.17 过范围限 over range

传感器在规定的不起其性能指标发生永久变化的条件下，允许超过的测量范围。

2.0.18 防水密封性 water proof

传感器在规定的水压环境下能够连续正常工作 2h。

2.0.19 稳定性 stability

传感器在规定的条件下保持其性能参数的能力，如高温稳定性、长期稳定性等。

2.0.20 频率模数 F frequency modulus

振弦式传感器输出量的一种表达形式，其值为输出信号频率平方的 $1/1000$ ，单位为 kHz^2 。

2.0.21 电容比 U capacitance ratio

电容感应式传感器中两个差动变化的电容 C_1 和 C_2 之比，即

$$U = \frac{C_1}{C_2}。$$

2.0.22 型式试验 model test

判定仪器（传感器）是否满足标准规定的全部要求所进行的试验。

3 检验测试通用条款

3.1 环境条件

3.1.1 工作环境条件应符合下列规定：

1 水压力传感器应符合下列规定：

1) 温度： $0\sim+40^{\circ}\text{C}$ 。

2) 在满量程水压力下。

2 非水压力传感器应符合下列规定：

1) 温度： $-20\sim+60^{\circ}\text{C}$ 。

2) 非水下工作的传感器相对湿度不大于 95%，水下工作的传感器在 0.5MPa 或规定的水压力下。

3 有特定要求的传感器应符合规定的条件。

3.1.2 参比试验大气条件应符合下列规定：

1 温度： $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

2 相对湿度： $60\%\sim 75\%$ 。

3 大气压力： $86\sim 106\text{kPa}$ 。

3.1.3 正常试验大气条件应符合下列规定：

1 温度： $+15\sim +35^{\circ}\text{C}$ （在每项试验期间允许的温度变化不大于 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）。

2 相对湿度：不大于 85%。

3 大气压力： $86\sim 106\text{kPa}$ 。

4 有特定要求的传感器应符合规定的条件。

3.2 外观及标志

3.2.1 外观及标志应符合下列规定：

1 传感器外观应平整、光洁、无锈斑及裂痕、无明显划痕；传感器表面应进行防腐处理；各部分连接牢固；引出电缆、护套无损伤。

2 规格尺寸应满足产品标准规定。

3 传感器应有铭牌标志，铭牌上应标明产品名称、型号、规格、出厂编号、制造厂名称和生产日期；附带技术文件包括产品合格证、出厂前的检验测试文件、使用说明书和产品技术条件规定的其他文件。

3.2.2 检验测试方法及设备应符合下列规定：

1 目测，传感器外观应满足产品标准规定。

2 对于尺寸参与被测量值计算的和（或）对测量功能有影响的传感器，采用适配于传感器尺寸的游标卡尺进行检验测试，结果应满足产品标准规定。

3 传感器铭牌及其标识所标明的信息应满足标志要求；传感器附带资料应满足附带技术文件要求。

3.2.3 检验测试规则：外观及标志应为必检和第一顺序检验项目。

3.3 防水密封性

3.3.1 防水密封性应符合下列规定：

1 水压力式传感器应具有能承受其测量范围 1.2 倍水压力的能力。

2 无特殊规定的在水下工作的非水压力传感器应能在 0.5MPa 水压力下正常工作。

3 有特殊要求的非水压力传感器应能在规定的水压力下正常工作。

3.3.2 检验测试设备和方法应符合下列规定：

1 应包括下列检验测试设备：

1) 水压力罐和加压设备。

2) 不低于 0.4 级的压力表。

3) 100V/100M Ω 的兆欧表。

4) 传感器读数仪。

2 试验方法及注意事项应符合下列规定：

- 1) 传感器置于水压力罐水中，电缆线端应引出压力罐外或露出水面。
 - 2) 水压力式传感器加压至传感器量程 1.2 倍压力，保持 2h。
 - 3) 在水下工作的非水压力式传感器加压至 0.5MPa 压力或规定的防水密封压力，保持 2h。
- 3 合格性判定标准应符合下列规定：
- 1) 试验后，传感器输出信号应稳定。
 - 2) 有绝缘性能要求的传感器，试验后的绝缘电阻应大于 50M Ω 。
- 3.3.3 检验测试规则应符合下列规定：
- 1 防水密封性检验测试为必检和第二顺序检验测试项目。
 - 2 无防水密封性要求的传感器不进行此项检验测试。

3.4 绝 缘 性

- 3.4.1 绝缘性应符合下列规定：
- 1 差动电阻式传感器应符合下列规定：
 - 1) 在水下工作的传感器在下列条件下其绝缘电阻均应大于 50M Ω 。
 - 在正常试验大气条件下；
 - 水压力传感器在温度为 0 $^{\circ}$ C 和 +40 $^{\circ}$ C 水中；非水压力传感器在温度为 0 $^{\circ}$ C 和 +60 $^{\circ}$ C 水中；
 - 水压力传感器在其测量范围额定压力水中；在水下工作的非水压力传感器在 0.5MPa 压力或规定的压力水中。
 - 2) 非水下工作的传感器在正常试验大气条件下其绝缘电阻应大于 50M Ω 。
 - 2 其他型式的有绝缘性要求的传感器应符合下列规定：
 - 1) 在水下工作的传感器在下列条件下其绝缘电阻均应大于 50M Ω 。

- 在正常试验大气条件下；
- 水压力传感器在其测量范围额定压力水中；在水下工作的非水压力传感器在 0.5MPa 压力或规定的压力水中。

2) 非水下工作的传感器在正常试验大气条件下其绝缘电阻应大于 50MΩ。

3 绝缘性有特殊要求的传感器应满足规定的条件。

3.4.2 检验测试设备和方法应符合下列规定：

1 应包括下列检验测试设备：

- 1) 水压力罐和加压设备。
- 2) 不低于 0.4 级的压力表。
- 3) 100V/100MΩ 的兆欧表。
- 4) 恒温水浴及冰点槽。
- 5) 传感器读数仪。

2 试验方法及注意事项应符合下列规定：

- 1) 绝缘性检验测试前，传感器在正常试验大气条件下预先置放 8h。
- 2) 绝缘性检验测试时，应将传感器芯线可靠并联后施测。
- 3) 传感器正常试验大气条件下的绝缘性按上条要求直接检测。
- 4) 差动电阻式水压力传感器在温度为 0℃ 和 +40℃ 水中的绝缘性、非水压力传感器在温度为 0℃ 和 +60℃ 水中的绝缘性在相应温度的水中进行检测。
- 5) 非差动电阻式的水压力传感器应在其测量范围额定压力水中、在水下工作的非水压力传感器应在 0.5MPa 或规定的压力水中检测信号电缆芯线与外护套间的绝缘电阻。

3.4.3 合格性判定标准应符合下列规定：

- 1 绝缘电阻满足规定要求。
- 2 经绝缘性检验测试后，用传感器读数仪测读传感器，其

输出信号应稳定。

3.4.4 检验测试规则应符合下列规定：

1 有绝缘性要求的各种型式的传感器在正常试验大气条件下的绝缘性为必检和第三顺序检测项目。

2 其他条件下的绝缘性均为选检项目，仅在型式试验和有特殊要求时进行检测。

3 无绝缘性要求的传感器不进行此项检测。

3.5 过范围限

3.5.1 有过范围限要求的传感器应能承受超过量程 1.2 倍的能力。当恢复至测量范围后，传感器静态特性应满足规定的要求。

3.5.2 检验测试设备和方法应符合下列规定：

1 应包括下列检验测试设备：

- 1) 传感器检验测试装置、设备。
- 2) 传感器力学性能检验测试仪表。
- 3) 传感器读数仪。

2 试验方法及注意事项应符合下列规定：

- 1) 从测试基准点加荷直至满量程上限值的 1.2 倍，保持 30s 后测读并记录数据。
- 2) 卸荷至基准点后再加荷至满量程下限值的 1.2 倍（基准点为零载荷的传感器卸荷至零点），保持 30s 后测读并记录数据。
- 3) 重复上项操作。共循环 3 次。

3.5.3 合格性判定标准应符合下列规定：

1 经过范围限试验的传感器在满量程上、下限值的 1.2 倍时输出信号应稳定。

2 传感器静态特性按规定的程序检测后，其结果应满足规定的静态特性指标要求。

3.5.4 检验测试规则应符合下列规定：

1 过范围限检验测试为选检项目，仅在型式试验和有特殊

要求时进行检测。

2 无过范围限要求的传感器不进行此项检验测试。

3.6 温度测量误差

3.6.1 温度测量误差要求：具有测温功能的非温度传感器测温允许偏差为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

3.6.2 检验测试设备和方法应符合下列规定：

1 应包括下列检验测试设备：

- 1) 恒温水浴及冰点槽。
- 2) 高低温试验箱。
- 3) 二等标准水银温度计。
- 4) 传感器读数仪。

2 试验方法及注意事项应符合下列规定：

- 1) 水压力传感器在 0°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 、 $+40^{\circ}\text{C}$ 附近各选择一个温度测试点，其他传感器在 0°C （或 -20°C ）、 $+30^{\circ}\text{C}$ （或 $+20^{\circ}\text{C}$ ）、 $+60^{\circ}\text{C}$ 附近各选择一个温度测试点。
- 2) 在选定的各温度测试点恒温2h后，用传感器温度读数仪测读传感器输出温度值。

3.6.3 合格性判定标准：传感器在选定的温度测试点的输出温度值（直读式为输出温度值，非直读式为输出信号换算的温度值）与输入温度值（二等标准水银温度计示值）之差不大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

3.6.4 检验测试规则应符合下列规定：

- 1 非温度传感器测温误差仅在型式试验时进行检验测试。
- 2 无测温功能的传感器不进行此项检验测试。

3.7 温度影响

3.7.1 温度影响技术要求：非温度传感器温度影响应满足规定要求。

3.7.2 检验测试设备和方法应符合下列规定：

1 应包括下列检验测试设备：

- 1) 恒温水浴及冰点槽。
- 2) 高低温试验箱。
- 3) 二等标准水银温度计。
- 4) 传感器（温度）读数仪。

2 试验方法及注意事项应符合下列规定：

- 1) 孔隙水压力计在 0℃、+20℃、+40℃ 附近各选择一个温度测试点，其他传感器在 0℃（或 -20℃）、+30℃（或 +20℃）、+60℃ 附近各选择一个温度测试点。
- 2) 传感器在选定的各温度测试点恒温 2h 后，用传感器温度读数仪测读传感器输出温度值。
- 3) 应变计温度影响检测时应将其固定在采用钢或已知线膨胀系数（ α ， $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ ）的材料制作的专用夹具上；其他传感器均在设定的自由状态下进行检测。

3.7.3 合格性判定标准应符合下列规定：

- 1 无测温功能的传感器的温度影响应满足规定的要求。
- 2 具有测温功能的传感器经温度影响修正后应满足规定的要求。

3.7.4 温度修正系数 b 应按以下方法计算：

1 应变计温度修正系数 b 计算如下：

$$b = K \times \frac{|Y_3 - Y_2| + |Y_2 - Y_1|}{(T_3 - T_2) + (T_2 - T_1)} + \alpha \quad (3.7.4-1)$$

式中 b —— 传感器温度修正系数， $10^{-6}/^\circ\text{C}$ ；

T_1 —— 检测温度最低值，0℃或 -20℃左右；

T_2 —— 检测温度中值，+30℃或 +20℃左右；

T_3 —— 检测温度最高值，+60℃左右；

Y_1 —— 对应于 T_1 的应变计输出值（单位与应变计型式相应，差动电阻式为电阻比 Z ，振弦式为频率的平

方 Hz^2 或频率模数 kHz^2 等)；

Y_2 ——对应于 T_2 的应变计输出值 (单位同 Y_1 的)；

Y_3 ——对应于 T_3 的应变计输出值 (单位同 Y_1 的)；

K ——传感器系数 (单位与应变计型式相应，差动电阻式为 10^{-6} /电阻比，振弦式为 $10^{-6}/\text{Hz}^2$ 或 $10^{-6}/\text{kHz}^2$)；

α ——固定应变计的夹具 (材料) 的线膨胀系数， $10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

注：差动电阻式应变计传感器系数 K 为其最小读数 f 。

2 非应变类传感器温度修正系数 b 计算如下：

$$b = K \frac{|Y_3 - Y_2| + |Y_2 - Y_1|}{(T_3 - T_2) + (T_2 - T_1)} \quad (3.7.4-2)$$

式中 b ——传感器温度修正系数，[被测物理量] / $^\circ\text{C}$ ；

T_1 ——检测温度最低值 (孔隙水压力计为 0°C 左右，其他仪器为 0°C 或 -20°C 左右)；

T_2 ——检测温度中值 (孔隙水压力计为 $+20^\circ\text{C}$ 左右，其他仪器为 $+30^\circ\text{C}$ 或 $+20^\circ\text{C}$ 左右)；

T_3 ——检测温度最高值 (孔隙水压力计为 $+40^\circ\text{C}$ 左右，其他仪器为 $+60^\circ\text{C}$ 左右)；

Y_1 ——对应于 T_1 的传感器输出值 (单位与传感器型式相应，差动电阻式为电阻比 Z ，振弦式为频率的平方 Hz^2 或频率模数 kHz^2 ，电容式为电容比，电位器式为 mV 等)；

Y_2 ——对应于 T_2 的传感器输出值 (单位同 Y_1 的)；

Y_3 ——对应于 T_3 的传感器输出值 (单位同 Y_1 的)；

K ——传感器系数 (单位与传感器型式相应，差动电阻式为 [被测物理量] / 个电阻比，振弦式仪器为 [被测物理量] / Hz^2 或 [被测物理量] / kHz^2 ，电容式为 [被测物理量] / 个电容比，电位器式仪器为 [被测物理量] / mV 等)。

注：差动电阻式传感器系数 K 为其最小读数 f 。

3 有特殊要求的传感器，应按规定要求进行温度影响等检测，如电容式位移计、静力水准仪等的温度附加误差、湿度影响试验，应按其特定的要求进行检测，并符合规定的要求。

3.7.5 检验测试规则：传感器的温度影响试验应为专项检测，在型式试验和有此项要求时进行检验测试。

3.8 稳 定 性

3.8.1 稳定性应符合下列要求：

1 差动电阻式传感器的稳定性应符合下列要求：

1) 高温稳定性：孔隙水压力计在经历 $+40^{\circ}\text{C}$ 、其他仪器在经历 $+60^{\circ}\text{C}$ 条件下工作 48h 高温试验，当恢复试验前的环境条件并稳定 24h 后，其性能应满足下列要求：

——非水压力传感器在设定状态下实测的电阻值变化量允许偏差为 $\pm 0.1\Omega$ ，电阻比变化量允许偏差为 $\pm 2\%FS$ 。

——孔隙水压力计在额定水压力下，其他有防水密封性要求的仪器在 0.5MPa 或规定压力水中的绝缘电阻应大于 $50M\Omega$ 。

2) 长期稳定性：在试验条件下，传感器经受加荷至测量范围上限值恒定 8h 再卸荷至测量范围下限值恒定 8h 的七次循环试验后，其性能应满足下列要求：

——非水压力传感器在设定状态下实测的电阻值变化量允许偏差为 $\pm 0.1\Omega$ ，电阻比变化量允许偏差为 $\pm 2\%FS$ 。

——孔隙水压力计在额定水压力下，其他有防水密封性要求的仪器在 0.5MPa 或规定压力水中绝缘电阻应大于 $50M\Omega$ 。

2 振弦式传感器的稳定性应符合下列要求：

1) 传感器在测量范围内加、卸荷三个循环，其性能应满足下列要求：

- 零点(或设定的测试点)漂移允许偏差为 $\pm 0.25\%FS$;
 - 绝缘电阻应大于 $50M\Omega$ 。
- 2) 传感器静置 30d, 应满足下列要求:
- 零点(或设定的测试点)漂移允许偏差为 $\pm 0.25\%FS$;
 - 绝缘电阻应大于 $50M\Omega$ 。
- 3 其他型式的传感器应符合规定的稳定性要求。
- 3.8.2 检验测试设备和方法应符合下列要求:**
- 1 应包括下列检验测试设备:
- 水压力罐、加压设备及不低于 0.4 级的压力表;
 - $100V/100M\Omega$ 的兆欧表;
 - 温湿试验箱或恒温水浴;
 - 传感器读数仪。
- 2 试验方法及注意事项:
- 依据稳定性要求制定试验方法;
 - 受大气压力、温度影响的传感器的稳定性试验应在相同的正常试验大气条件下, 或在稳定性评价时扣除大气压力、温度影响。
- 3.8.3 合格性判定标准:** 传感器稳定性应满足规定要求。
- 3.8.4 检验测试规则:** 传感器的稳定性试验应为专项检测, 仅在型式试验和有特定要求时进行检验测试。

4 变形监测仪器静态特性检验测试

4.1 测缝计和变位计

4.1.1 测缝计的分辨率、非线性度（符合度）、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 4.1.1 的规定。

表 4.1.1 测缝计静态特性参数表

指标名称	仪器型式			
	振弦式	差动电阻式	电位器式	电容式
分辨率（%FS）	0.20	0.30	0.10	0.10
非线性度（符合度）（%FS）	1.00	2.00	1.00	0.60
不重复度（%FS）	0.25	1.00	0.25	0.25
滞后（%FS）	0.50	1.00	0.50	0.25
综合误差（%FS）	1.50	—	1.50	0.70

注：表 4.1.1 中的传感器采用直线拟合时为非线性度，采用曲线拟合时为符合度，下同。

4.1.2 应包括下列检验测试仪器设备：

- 1 与测缝计量程适配的标定架。
- 2 0 级百分表或分辨力 0.05mm 的数显标尺。
- 3 传感器读数仪如下：
 - 振弦式：分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz² 的振弦式仪器读数仪；
 - 差动电阻式：分辨力不低于 0.01% 的电阻比读数仪；
 - 电位器式：分辨力不低于 0.1mV 的读数仪或数字万用表；
 - 电容式：分辨力不低于 0.01% 电容式仪器读数仪。

4.1.3 检验测试方法应符合下列规定：

- 1 传感器在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上。
- 2 将传感器固定在标定架上，检验测试前传感器在满量程测量范围内预拉 3 次循环。
- 3 测试点宜在量程内均匀分布，级差（相邻测试点间的差）以不大于 20% 的传感器测量范围为原则。

注：如测试点不能实现均布，可允许满量程端点为非均布点。

4 从测试基准点逐级加荷直至满量程测试点，然后逐级卸荷直至测试基准点。各测试点读数稳定后读取并记录数据。

5 重复上项操作，共循环 3 次。

4.1.4 静态特性参数计算方法：振弦式测缝计按附录 A、差动电阻式测缝计按附录 B、电位器式测缝计按附录 C、电容式测缝计按附录 D 整理计算静态特性参数。

4.1.5 测缝计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.1~J.4 节。

4.1.6 振弦式、差动电阻式和电位器式变位计的检验测试参见 4.1.1~4.1.5 条。

4.2 垂线坐标仪和引张线仪

4.2.1 垂线坐标仪的分辨率、非线性度（符合度）、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 垂线坐标仪静态特性参数表

指标名称	仪器型式		
	电容式	步进电机式	光电式 (CCD)
分辨率 (%FS)	0.10	0.05mm	0.02mm
非线性度 (符合度) (%FS)	0.60	0.10	0.20
不重复度 (%FS)	0.25	0.10	0.10
滞后 (%FS)	0.25	0.10	—
综合误差 (%FS)	0.70	0.20	—

4.2.2 应包括下列检验测试仪器设备：

- 1 与坐标仪量程适配的专用标定设备、固定夹具。
- 2 量程 50mm 的 0 级百分表；分辨力 0.02mm 的数显标尺。
- 3 坐标仪读数仪如下：
 - 电容式：分辨力不低于 0.01% 电容式仪器读数仪；
 - 步进电机式：步进式仪器读数仪；
 - 光电式 (CCD)：计算机及接口。

4.2.3 检验测试方法应符合下列规定：

- 1 坐标仪在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上，与其相连接的测试仪器应通电预热 30min。
- 2 将垂线坐标仪按检验测试方向可靠地固定在专用标定设备上，调整垂线体至坐标仪下限值位置，百分表或数显标尺回零。
- 3 测试点宜为均布，位移级差应不大于 20% 的坐标仪量程。
- 4 将垂线体由第一个测试点逐级位移至第 n 个测试点，然后由第 n 个测试点逐级位移至第一个测试点。各测试点至少保持稳定 30s 后记录读数。
- 5 重复上项操作，共循环 3 次。

注：垂线坐标仪的分辨率检测方法为：以其分辨力为步长，采用量程为 1mm 的 0 级千分表测读，在其量程内选择 3 个测试点，位移为单调给进，连续检测 5 次，其测读结果应满足要求。

4.2.4 静态特性参数计算方法：电容式垂线坐标仪按附录 D、步进电机式和光电式 (CCD) 垂线坐标仪按附录 F 整理计算静态特性参数。

4.2.5 坐标仪检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.5~J.6 节。

4.2.6 电容式引张线仪和步进电机式引张线仪检验测试参见 4.2.1~4.2.5 条。

4.3 静力水准仪

4.3.1 静力水准仪的分辨率、非线性度 (符合度)、不重复度、

滞后、综合误差均不应低于表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 静力水准仪静态特性参数表

指标名称	仪器型式		
	振弦式	电容式	光电式 (CCD)
分辨率 (%FS)	0.10	0.10	0.02mm
非线性度 (符合度) (%FS)	0.75	0.60	0.50
不重复度 (%FS)	0.40	0.25	0.25
滞后 (%FS)	0.40	0.25	0.25
综合误差 (%FS)	1.00	0.70	—

4.3.2 应包括下列检验测试仪器设备：

- 1 与静力水准仪量程适配的专用标定设备、固定夹具。
- 2 量程 50mm 的 0 级百分表；分辨力 0.02mm 的数显标尺。
- 3 静力水准仪读数仪如下：
 - 振弦式：分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz² 的振弦式仪器读数仪；
 - 电容式：分辨力不低于 0.01% 电容式仪器读数仪；
 - 光电式 (CCD)：计算机及接口。

4.3.3 检验测试方法应符合下列规定：

- 1 振弦式静力水准仪检验测试方法应符合下列规定：
 - 1) 静力水准仪在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上。
 - 2) 将静力水准仪固定在标定设备上，调整传感器位置，使浮筒底部浸于水箱水面以下 1~2mm，待浮筒稳定 3min 后，数显标尺复位归零。试验水箱内的水位应适当，试验过程中不应溢出水箱。
 - 3) 在静力水准仪量程内宜均布至少 6 个水位测试点，按设定的试验级数，使水箱从第一个测试点逐级上升至第 n 个测试点，然后反向从第 n 个测试点逐级下降至第一个测试点。各测试点待浮子稳定 3min 后读取记

录传感器读数。

4) 重复上项操作，共循环 3 次。

2 电容式静力水准仪检验测试方法应符合下列规定：

1) 静力水准仪在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上。

2) 将静力水准仪固定在标定设备上，水箱底部的出水口通过软管与静力水准仪底部进水口连接，打开管路开关，调整水位找出电容比为零的位置，数显标尺复位归零。注意：试验水箱内的水位应适当，试验过程中水不得溢出水箱。

3) 在静力水准仪量程内宜均布至少 6 个水位测试点，按设定的试验级数，使水箱从第一个测试点逐级上升至第 n 个测试点，然后反向从第 n 个测试点逐级下降至第一个测试点。各测试点稳定 1min 后读取记录传感器读数。

4) 重复上项操作，共循环 3 次。

3 光电式 (CCD) 静力水准仪检验测试方法参见本条 2 款。

4.3.4 静态特性计算方法应符合下列规定：

1 静态特性计算级差 H 应按下列方法确定：

1) 振弦式静力水准仪设定试验级差为 H_1 ，静态特性计算级差 H 为：

$$H = H_1 \left(1 + \frac{S}{S_1} \right) \quad (4.3.4-1)$$

式中 S ——振弦式静力水准仪浮筒截面积， mm^2 ；

S_1 ——水箱水面面积， mm^2 。

2) 电容式静力水准仪设定试验级差为 H_1 ，静态特性计算级差 H 为：

$$H = H_1 \left(1 - \frac{S}{S_1} \right) \quad (4.3.4-2)$$

式中 S ——电容式静力水准仪进水筒（外筒）内截面积， mm^2 ；

S_1 ——水箱水面面积， mm^2 。

2 静态特性计算方法：振弦式静力水准仪按附录 A、电容式和光电式静力水准仪按附录 D 整理计算静态特性参数。

4.3.5 检验测试记录：

静力水准仪检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.7~J.8 节。

4.4 沉 降 仪

4.4.1 电磁式（干簧管式）沉降仪应符合下列规定：

- 1 测量误差：沉降仪测读误差应不大于 2mm。
- 2 应包括下列检验测试仪器设备：
 - 1) 长度为 1.4m 的 PVC 沉降导管一根。
 - 2) 适配于沉降导管外径的 1mm 粗铁环（沉降磁环）一个。
 - 3) 2m 钢卷尺。
- 3 检验测试方法应符合下列规定：
 - 1) 在距 1.4m 长沉降导管上口 1m 处固定铁环（或沉降磁环），并将沉降导管铅直地固定在导架上。
 - 2) 将沉降仪测头自上而下缓慢地放入导管，测读、记录蜂鸣器鸣叫时距管口的距离（进程）；将测头再下放 20cm 后，缓慢上提测头，测读、记录蜂鸣器鸣叫时距管口的距离（回程）。
 - 3) 重复上项操作，共循环 3 次。
- 4 测量误差应按下列方法计算：
 - 1) 蜂鸣器离开管口的距离 \bar{S} 的计算公式为：

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_{ui} + S_{di}}{2} \quad (4.4.1-1)$$

式中 \bar{S} ——蜂鸣器离开管口距离，mm；

S_{ui} ——蜂鸣器离开管口的进程距离，mm；

S_{di} ——蜂鸣器离开管口的回程距离，mm；

i ——试验循环次数， $i=1, 2, 3, \dots, m$ 。

2) 测量误差 δ 为:

$$\delta = \left| \frac{S_{ui} + S_{di}}{2} - \bar{S} \right|_{\max} \quad (4.4.1-2)$$

注 1: 沉降仪起始读数一般为“0”, 如含计算常数, 按厂家提供的常数进行计算。

注 2: 电磁式沉降仪沉降环为铁环, 干簧管式沉降仪沉降环为磁环。

注 3: 带刻度的扁电缆或读数的钢卷尺应定期检定或校准。

5 沉降仪检验测试记录应包含所有被检信息, 其记录格式参见附录 J.9 节。

4.4.2 振弦式沉降仪应符合下列规定:

1 振弦式沉降仪分辨率、非线性度(符合度)、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 4.4.2 的规定。

表 4.4.2 振弦式沉降仪静态特性参数表

分辨率 (%FS)	0.10
非线性度(符合度) (%FS)	1.50
不重复度 (%FS)	0.50
滞后 (%FS)	1.00
综合误差 (%FS)	2.00

2 应包括下列检验测试仪器设备:

- 1) 沉降仪标定台架。
- 2) 分度值为 1mm 的 10m 钢卷尺。
- 3) 分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz² 的振弦式仪器读数仪。
- 4) 2kg 配重锤。

3 检验测试方法应符合下列规定:

- 1) 传感器在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上。
- 2) 以传感器承压膜处为基准, 将钢卷尺 0 刻度与其对齐后可靠固定; 钢卷尺下端手持环与 2kg 配重锤固联。
- 3) 传感器量程内均布且不应少于 6 个测试点, 测试点间

级差应不大于 20% 的传感器量程。

- 4) 将充满液体的连通管与储液罐连接，将储液罐平座在距沉降仪标定工作台基准台面以上 40~50cm 的基座上，并在试验过程中保持其位置固定。
- 5) 以沉降仪标定工作台面顶面为试验第一测试点，将重锤、钢卷尺、电缆及连通管一道悬置于工作台外，使钢卷尺 0 刻度与工作台面平齐；之后按设定的级差，逐级缓慢将传感器下垂至下一测试点，直至满量程第 n 个测试点；再反向由第 n 个测试点逐级缓慢提升传感器，直至第一个测试点。各测试点均稳定 3min 后读取并记录数据。
- 6) 重复上项操作，共循环 3 次。

4 振弦式沉降仪按附录 A 整理计算静态特性参数。

5 振弦式沉降仪检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.10 节。

4.5 测斜仪

4.5.1 测斜仪分辨率、非线性度（符合度）、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 4.5.1 的规定。

表 4.5.1 测斜仪静态特性参数表

指标名称	仪器型式			
	伺服加速度计式	电阻应变片式	振弦式	电解液式
分辨率 (%FS)	0.05	0.05	0.05	0.05
非线性度（符合度）(%FS)	0.80	0.80	1.00	1.00
不重复度 (%FS)	0.25	0.25	0.25	0.25
滞后 (%FS)	0.50	0.50	0.50	0.50
综合误差 (%FS)	1.00	1.00	1.50	1.50

注：电解液式测斜仪为多项式拟合方式，其他型式的测斜仪可采用线性拟合方式，也可用多项式拟合方式。

4.5.2 应包括下列检验测试仪器设备：

1 分辨力不低于 5" 的测斜仪标定设备。

2 0.02mm/m 框式水平仪。

3 传感器读数仪如下：

——伺服加速度计式：分辨力不低于 0.1mV 的读数仪；

——电阻应变片式：分辨力不低于 0.1 $\mu\epsilon$ 的电阻应变仪；

——振弦式：分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz² 的振弦式仪器读数仪；

——电解液式：分辨力不低于 0.1mV 的读数仪。

4.5.3 检验测试方法应符合下列规定：

1 测斜仪在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上，有预热要求的读数仪应预通电 30min。

2 将测斜仪固定在标定设备上，用框式水平仪将标定台基架调整至铅直位置，并以此作为测斜仪 0° 测试点（0° 垂直偏角）。

3 传感器量程内测试点宜均布且为奇数，测试点不宜少于 11 点。

4 摇动标定设备手轮，使测斜仪达到下限值测试点，之后逐级上行至下一测试点直至上限值测试点，再反向由上限值测试点逐级下行至下限值测试点。各测试点稳定 30s 后读取记录测斜仪读数。

5 重复上项操作，共循环 3 次。

4.5.4 伺服加速度计式、电阻应变片式测斜仪按附录 E 整理计算静态特性参数，振弦式测斜仪按附录 A 整理静态特性参数，电解液式测斜仪参照附录 E 或按规定的多项式拟合方式计算静态特性参数。

4.5.5 测斜仪检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式，伺服加速度式见附录 J.11 节，电阻应变片式和电解液式参见附录 J.11 节，振弦式见附录 J.12 节。

5 渗流监测仪器静态特性检验测试

5.1 孔隙水压力计

5.1.1 孔隙水压力计分辨率、非线性度（符合度）、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 孔隙水压力计静态特性参数表

指标名称	仪器型式		
	振弦式	差动电阻式	压阻式
分辨率（%FS）	0.05	0.30	0.05
非线性度（符合度）（%FS）	1.00	2.00	1.00
不重复度（%FS）	0.50	1.00	0.50
滞后（%FS）	1.00	1.00	1.00
综合误差（%FS）	1.50	—	1.50

5.1.2 应包括下列检验测试仪器设备：

- 1 气压力或水压力标定设备。
- 2 0.05 级活塞式压力计，或不低于 0.1 级的数字压力表。
- 3 传感器读数仪如下：
 - 振弦式：分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz² 的振弦式仪器读数仪；
 - 差动电阻式：分辨力不低于 0.01% 的电阻比读数仪；
 - 压阻式：分辨力不低于 0.1mV 的读数仪。

5.1.3 检验测试方法应符合下列规定：

- 1 传感器在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上。
- 2 传感器量程内测试点宜均布且不少于 6 个。
- 3 试验前对被检传感器自零压力至满量程压力预压 2~3 次循环。

4 自零压力测试点按设定的试验级差逐级加压至满量程测试点，之后反向自满量程压力测试点逐级卸压至零压力测试点。各测试点均稳定 30s 后读取记录数据。

5 重复上项操作，共循环 3 次。

5.1.4 静态特性计算方法：振弦式孔隙水压力计按附录 A、差动电阻式孔隙水压力计按附录 B、压阻式孔隙水压力计按附录 G 整理计算静态特性参数。

5.1.5 孔隙水压力计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.13~J.15 节。

5.2 量水堰水位计

5.2.1 量水堰水位计分辨率、非线性度（符合度）、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 量水堰水位计静态特性参数表

指标名称	仪器型式	
	振弦式	电容式
分辨率（%FS）	0.05	0.10
非线性度（符合度）（%FS）	1.00	0.60
不重复度（%FS）	0.50	0.25
滞后（%FS）	1.00	0.25
综合误差（%FS）	1.50	0.70

5.2.2 应包括下列检验测试仪器设备：

1 量水堰水位计标定设备。

2 分辨力 0.05mm 的竖式数显标尺。

3 传感器读数仪如下：

——振弦式：分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz² 的振弦式仪器读数仪；

——电容式：分辨力不低于 0.01% 的电容比读数仪。

5.2.3 检验测试方法应符合下列规定：

1 振弦式量水堰水位计检验测试方法同振弦式静力水准仪的。

2 电容式堰上水位计检验测试方法同电容式静力水准仪的。

5.2.4 静态特性计算方法应符合下列规定：

1 振弦式堰上水位计静态特性计算方法同振弦式静力水准仪的。

2 电容式堰上水位计静态特性计算方法同电容式静力水准仪的。

5.2.5 量水堰水位计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.7~J.8 节。

6 力、应力、应变及温度监测 仪器检验测试

6.1 锚索测力计

6.1.1 锚索测力计中各传感器的分辨率、非线性度（符合度）、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 6.1.1 的规定。

表 6.1.1 锚索测力计静态特性参数表

指标名称	仪器型式	
	振弦式	差动电阻式
分辨率（%FS）	0.05	0.40
非线性度（符合度）（%FS）	1.00	2.00
不重复度（%FS）	0.50	1.00
滞后（%FS）	1.00	1.00
综合误差（%FS）	1.50	—

6.1.2 应包括下列检验测试仪器设备：

- 1 与测力计量程适配的不低于 1 级的材料试验机。
- 2 与测力计结构匹配的专用夹具。
- 3 分辨力为 0.05mm 的游标卡尺。
- 4 传感器读数仪如下：
 - 振弦式：分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz² 的振弦式仪器读数仪；
 - 差动电阻式：分辨力不低于 0.01% 的电阻比读数仪。

6.1.3 检验测试方法应符合下列规定：

- 1 外形尺寸检验：测力计外形尺寸由厂家提供，钢套内径 $\phi 25 \sim 230\text{mm}$ ，筒高 100~140mm，用游标卡尺测量，其允许偏

差为标称尺寸 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

2 静态特性检验测试应符合下列规定：

- 1) 测力计在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上。
- 2) 测力计两端面应配以适配的连接夹具，安装于试验机工作台时测力计轴线和加载中心重合，以使偏心负载的影响减到最小。测力计安装于试验机后，应在零压力至满量程压力范围内预压 2~3 次循环。
- 3) 按测力计的规格确定其荷载的上限值并取整数，在量程内测试点宜均布且不应少于 6 个。
- 4) 按设定的试验级差由零测试点逐级加荷至满量程测试点，然后反向卸荷，由满量程测试点直至零测试点。各测试点均稳定 5s 后读取记录数据。
- 5) 重复上项操作，共循环 3 次。

6.1.4 静态特性计算方法：振弦式锚索测力计按附录 A、差动电阻式锚索测力计按附录 B 整理计算静态特性参数。

6.1.5 锚索测力计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.16~J.17 节。

6.2 土压力计

6.2.1 土压力计分辨率、非线性度（符合度）、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 土压力计静态特性参数表

指标名称	仪器型式	
	振弦式	差动电阻式
分辨率 (%FS)	0.05 (0.10)	0.30
非线性度 (符合度) (%FS)	1.50	2.00
不重复度 (%FS)	0.50	1.00
滞后 (%FS)	1.00	1.00
综合误差 (%FS)	2.50	—

注：量程为 0.25MPa 的振弦式土压力计分辨率不大于 0.10%FS。

6.2.2 应包括下列检验测试仪器设备：

- 1 水压力罐及加压设备。
- 2 不低于 0.1 级的数字压力表。
- 3 传感器读数仪如下：
 - 振弦式：分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz² 的振弦式仪器读数仪；
 - 差动电阻式：分辨力不低于 0.01% 的电阻比读数仪。

6.2.3 检验测试方法应符合下列规定：

- 1 土压力计在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上。
- 2 土压力计在水压力罐中安放时宜采用悬挂式，分离式土压力计压力盒表面、卧式和立式传感器承压面与罐壁（底）应有 2cm 以上距离，试验中传感器位置应固定。
- 3 传感器量程内压力测试点宜均布且不应少于 6 个。
- 4 按设定的试验级差从零压力测试点逐级加压直至满量程测试点，反向从满量程测试点至零压力测试点逐级卸压。各测试点均稳定 30s 后读取记录数据。
- 5 重复上项操作，共循环 3 次。

6.2.4 静态特性计算方法：振弦式土压力计按附录 A、差动电阻式土压力计按附录 B 整理计算静态特性参数。

6.2.5 土压力计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.18~J.19 节。

6.3 钢 筋 计

6.3.1 钢筋计测量范围、静态特性指标及连接杆规格应符合下列规定：

- 1 钢筋计测量范围应满足表 6.3.1-1 的规定。
- 2 钢筋计分辨率、非线性度（符合度）、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 6.3.1-2 的规定。

表 6.3.1-1 钢筋计测量范围

单位: MPa

振弦式		差动电阻式	
拉	压	拉	压
0~200	-100~0	0~200	-100~0
0~300		0~300	
0~400			

表 6.3.1-2 钢筋计静态特性参数表

指标名称	仪器型式	
	振弦式	差动电阻式
分辨率 (%FS)	0.05	0.50
非线性度 (符合度) (%FS)	1.00	2.00
不重复度 (%FS)	0.50	1.00
滞后 (%FS)	1.00	1.00
综合误差 (%FS)	1.50	—

注: 差动电阻式钢筋计, 拉应力测量范围为 0~200MPa 的, 最小读数应小于 1MPa/0.01%; 0~300MPa 的应小于 1.3MPa/0.01%。

3 钢筋计连接杆直径见表 6.3.1-3, 其允许偏差为 $\pm 0.2\text{mm}$ 。

表 6.3.1-3 钢筋计连接杆直径系列表

连接杆直径 d (mm)	16	18	20	22	25	28	32	36	40
钢套断面积 A (cm ²)	2.01	2.55	3.14	3.80	4.91	6.16	8.04	10.20	12.60

6.3.2 应包括下列检验测试仪器设备:

- 1 不低于 1 级的万能材料试验机。
- 2 分辨力 0.02mm 的游标卡尺。
- 3 传感器读数仪如下:
 - 振弦式: 分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz² 的振弦式仪器读数仪;
 - 差动电阻式: 分辨力不低于 0.01% 的电阻比读数仪。

6.3.3 检验测试方法应符合下列规定:

- 1 钢筋计规格检验: 用分辨力为 0.02mm 的游标卡尺测量钢筋计连接杆直径, 其结果应满足表 6.3.1-3 的规格要求, 各

规格连接杆直径允许偏差为 $\pm 0.2\text{mm}$ 。

2 静态特性检验测试应符合下列规定：

- 1) 传感器在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上。
- 2) 检验测试前，应在钢筋计拉应力上限值范围内预拉 2~3 次循环。
- 3) 检验测试时，按钢筋计拉应力测量范围及连接杆的截面积计算出荷载的拉应力上限值并取整数，拉应力测量范围内测试点宜均布且不应少于 6 个。
- 4) 按设定的试验级差由零拉应力测试点逐级加荷直至满量程拉应力测试点，之后反向卸载，由满量程拉应力测试点逐级卸荷直至零拉应力测试点。各测试点均稳定 5s 后读取记录数据。
- 5) 重复上项操作，共循环 3 次。

6.3.4 振弦式钢筋计按附录 A、差动电阻式钢筋计按附录 B 整理计算静态特性参数。

6.3.5 钢筋计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.20~J.21 节。

6.4 应 变 计

6.4.1 应变计静态特性指标与规格应符合下列规定：

1 应变计分辨率、非线性度（符合度）、不重复度、滞后、综合误差均不应低于表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 应变计静态特性参数表

指标名称	仪器型式	
	振弦式	差动电阻式
分辨率（%FS）	0.05	0.25
非线性度（符合度）（%FS）	1.00	2.00
不重复度（%FS）	0.50	1.00
滞后（%FS）	1.00	1.00
综合误差（%FS）	1.50	—

2 应变计标距和端部尺寸由生产厂家给出，标距 L 的允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

6.4.2 应包括下列检验测试仪器设备：

1 应变计标定设备（架）。

2 0 级千分表。

3 分辨力为 0.05mm 的游标卡尺。

4 传感器读数仪如下：

——振弦式：分辨力不低于 0.1Hz 或 0.1kHz^2 的振弦式仪器读数仪；

——差动电阻式：分辨力不低于 0.01% 的电阻比读数仪。

6.4.3 检验测试方法应符合下列规定：

1 用游标卡尺测量应变计标距，其允许偏差为标称尺寸 $\pm 1.0\text{mm}$ 。

2 检验测试方法应符合下列规定：

1) 应变计在检验测试环境条件下预先置放 24h 以上。

2) 检验测试前将应变计在其测量范围上、下限值范围内预拉压 $2\sim 3$ 次循环。

3) 按应变计的规格确定拉、压的上、下限位移值，宜取整数；在测量范围内测试点宜均布且不应少于 6 个。

4) 按设定的试验级差由下限值测试点依次拉伸应变计直至上限值测试点，之后反向压缩，由上限值测试点直至下限值测试点。各测试点稳定 5s 后读取记录数据。

5) 重复上项操作，共循环 3 次。

6.4.4 振弦式应变计按附录 A、差动电阻式应变计按附录 B 整理计算静态特性参数。

6.4.5 应变计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.22~J.23 节。

6.5 温 度 计

6.5.1 埋入式铜电阻式温度计应符合下列规定：

- 1 埋入式铜电阻式温度计温度值计算公式见式 (6.5.1)。

$$t = K'(R_t - R'_0) \quad (6.5.1)$$

式中 R_t —— t °C 时温度计线圈电阻值, Ω ;

R'_0 ——0 °C 时温度计线圈电阻值, Ω ;

K' ——温度计温度系数, °C/ Ω 。

- 2 埋入式铜电阻式温度计测温技术指标要求见表 6.5.1。

表 6.5.1 埋入式铜电阻式温度计测温技术指标

测温范围 (°C)	-30~+70
电阻值允许误差 (Ω)	$\pm 0.5\%R_n$
温度常数 K' 允许误差 (°C/ Ω)	$\pm 0.3\%$
温度测量允许误差 (°C)	$\pm (0.5\%R_n K' + 0.3)$
注: R_n 为温度计满量程输出电阻值。	

- 3 应包括下列检验测试仪器设备:

——二等标准水银温度计;

——分辨率为 0.01%FS 的数字电桥;

——冰点槽;

——恒温水槽 (工作区最大温差应不超过 ± 0.1 °C)。

- 4 检验测试方法及注意事项应符合下列规定:

1) 在 0 °C、+20 °C、+40 °C、+60 °C 四个温度点附近各选择一个测试点。

2) 将标准温度计和被检铜电阻式温度计全浸于恒温水槽或冰点槽中, 温度计在恒温水槽或冰点槽中稳定 10min 后读数; 读数时视线应与温度计垂直, 读取液柱弯月面的最高点, 并估计到分度值的 1/10。

3) 测量铜电阻式温度计时通入感温元件的电流应小于 1mA。

4) 铜电阻式温度计在 0 °C、+20 °C、+40 °C、+60 °C 四个温度点附近, 任一测试点的实际温度 t' (相应温度测试点标准温度计读数) 与按式 (6.5.1) 计算温度 t

之间的差值符合表 6.5.1 的规定。

5 铜电阻式温度计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.24 节。

6.5.2 热敏电阻式温度计应符合下列规定：

1 常用的热敏电阻式（或称 RT 型）温度计为负温度系数型，一般情况下由适配的读数装置直接读取其温度值。

注：非直读型热敏电阻式温度计，由厂家提供计算方法或公式。

2 测温技术指标应符合下列规定：

——测温允许偏差： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；

——测量范围： $-30\sim+70^{\circ}\text{C}$ 。

3 应包括下列检验测试仪器设备：

——二等标准水银温度计；

——分辨力为 0.1°C 的温度读数仪或数字万用表；

——冰点槽；

——恒温水槽（工作区最大温差应不超过 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ）。

4 检验测试方法及注意事项应符合下列规定：

- 1) 在 0°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 、 $+40^{\circ}\text{C}$ 、 $+60^{\circ}\text{C}$ 四个温度点附近各选择一个测试点。
- 2) 将标准温度计和被检铜电阻温度计全浸于恒温水槽或冰点槽中，温度计在恒温水槽或冰点槽中稳定 10min 后读数；读数时视线应与温度计垂直，读取液柱弯月面的最高点，并估计到分度值的 $1/10$ 。
- 3) 温度计允许通入测量电流不大于 5mA。
- 4) 热敏电阻式温度计测量仪表宜采用适配的直读式读数仪，当采用数字万用表测读电阻值时，宜根据热敏电阻特性采用内插法计算温度值。
- 5) 在 0°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 、 $+40^{\circ}\text{C}$ 、 $+60^{\circ}\text{C}$ 四个温度点附近的任一测试点，温度计直接测读的或换算所得的温度值与二等标准水银温度计相应示值之差的允许偏差不大

于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

5 热敏电阻式温度计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J.25 节。

6.5.3 振弦式温度计应符合下列规定：

1 振弦式温度计温度计算公式见式 (6.5.3)。

$$t_i = K(F_i - F_0) \quad (6.5.3)$$

式中 t_i ——对应于 F_i 温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

K ——温度计系数，独立线性拟合直线斜率， $^{\circ}\text{C}/\text{kHz}^2$ ；

F_i ——对应于 i 温度测试点时的温度计输出频率模数， kHz^2 ；

F_0 —— 0°C （或给定基准温度）时温度计输出频率模数， kHz^2 。

2 测温技术指标应符合下列规定：

——测温允许偏差： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；

——温度测量范围： $-20\sim+80^{\circ}\text{C}$ 。

3 应包括下列检验测试仪器设备：

——二等标准水银温度计；

——分辨率不低于 0.1kHz^2 的频率读数仪；

——冰点槽；

——恒温水槽（工作区最大温差应不超过 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ）。

4 检验测试方法及注意事项应符合下列规定：

1) 在 0°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 、 $+40^{\circ}\text{C}$ 、 $+60^{\circ}\text{C}$ 四个温度点附近各选择一个测试点。

2) 将标准温度计和被检铜电阻温度计全浸于恒温水槽或冰点槽中，温度计在恒温水槽或冰点槽中稳定 10min 后读数；读数时视线应与温度计垂直，读取液柱弯月面的最高点，并估计到分度值的 $1/10$ 。

3) 在各测试点用频率读数仪测读、记录温度计输出频率模数。

4) 在 0°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 、 $+40^{\circ}\text{C}$ 、 $+60^{\circ}\text{C}$ 四个温度点附近的

任一测试点，温度计计算温度值与二等标准水银温度计相应示值之差的允许偏差不大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

注：振弦式温度计 K 值与传感体和钢弦温度特性有关，传感体和钢弦材料确定后，传感器系数 K 为常数，一般按厂家给定值进行温度计算。

5 振弦式温度计检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J. 26 节。

7 环境量监测仪器检验测试

7.1 水位计

7.1.1 浮子式水位计应符合下列规定：

1 浮子式水位计主要技术要求见表 7.1.1。

表 7.1.1 浮子式水位计检验测试项目及技术指标

项 目	指 标
分辨力 (cm)	≤ 1.0
允许误差限 (cm)	$\leq \pm 2.0$
回差 (cm)	$\leq \pm 2.0$
重复性误差 (cm)	$\leq \pm 1.0$
浮子防水密封性	空心浮子全浸入 60℃ 的热水中 1min 应不出现气泡
绝缘电阻 (M Ω)	≥ 10

2 应包括下列检验测试设备：

- 10m 水位测试台；
- 编码器测试仪；
- 100V/100M Ω 的兆欧表。

3 水位计检验测试方法如下：

- 1) 在水位计测量范围内，按 20~40cm/min 的水位变率，使水位升、降各 1 个全过程，每 0.5m 设比测点一个。按附录 J.27 中表 1 格式记录测读数值。
- 2) 在水位计的测量范围内，使水位上升和下降至 3m、6m、9m 水位值处，记录同一水位值处的上升测值和下降测值，共循环 3 次。按附录 J.27 中表 2 格式记录测读数值。
- 3) 水位计单向升或单向降至 3m、6m、9m 水位值 5 次。按附录 J.27 中表 3 格式记录测读数值。

- 4) 将空心浮子全浸入 60℃ 的热水中 1min, 检查浮子是否出现气泡。
- 5) 用 100V/100MΩ 的兆欧表检测信号电缆与水位计外壳间的绝缘电阻。
- 6) 检测结果应满足表 7.1.1 的要求, 且试验后水位计的信号转换、记录、显示等功能均应正常, 表面应无锈蚀、开裂、剥落等损伤。

4 检验测试记录应包含所有被检信息, 其记录格式见附录 J.27 节。

7.1.2 气介质超声波水位计应符合下列规定:

- 1 气介质超声波水位计主要技术要求见表 7.1.2。

表 7.1.2 超声波水位计检验测试项目及技术指标

项 目	指 标	
测量范围 (m)	0.8~5.0	0.8~10.0
盲区 (m)	0.8	
分辨力 (cm)	≤0.5	≤1.0
准确度 (cm)	≤±2.0	≤±3.0
重复性误差 (cm)	≤±1.0	≤±1.5
再现性误差 (cm)	≤±3.0	≤±4.5
绝缘电阻 (MΩ)	传感器两信号线之间电阻应不小于 5MΩ, 机壳与电源线之间电阻不小于 1MΩ	

2 应包括下列主要检验测试设备:

- 水槽或固定换能器的专用测试台 (10m);
- 钢尺 (10m);
- 100V/100MΩ 的兆欧表。

3 水位计测试方法应符合下列规定:

- 1) 在水位计的测量范围内, 移动传感器模拟水位升、降各两个全过程, 每 0.5m 设比测点一个, 按附录 J.28 中表 1 格式记录测读数值。

- 2) 在水位计的测量范围内，水位不变，移动传感器至 3m、6m、9m 水位值处，记录同一水位值处的上升测值（或下降测值），共循环 3 次。按附录 J. 28 中表 2 格式记录测读数值。取各水位测试点测量中的最大（或最小）值与该点重复测量的均值之差的最大者即为重复性误差。
 - 3) 在水位计的测量范围内，水位不变，选择两个不同的水位值，进行试验。移动传感器至某一水位，在 48h 之内开机 10h，关机 2h，共进行 4 次，记录每次测量值。水位计测量值与约定真值之差的最大值即为再现性误差。
 - 4) 用 100V/100M Ω 的兆欧表检测换能器两信号线与机壳间及电源线与机壳间绝缘电阻。
 - 5) 检测结果应满足表 7.1.2 的要求。
- 4 检验测试记录应包含所有被检信息，其记录格式参见附录 J. 28 节。

7.2 雨 量 计

7.2.1 翻斗式雨量计应符合下列规定：

- 1 翻斗式雨量计主要技术要求见表 7.2.1。

表 7.2.1 翻斗式雨量计检验测试项目及技术指标

项 目	指 标			
	I	II	III	
准确度等级	$\leq \pm 2$	$\leq \pm 3$	$\leq \pm 4$	
翻斗计量误差 E_b (%)	$\leq \pm 2$	$\leq \pm 3$	$\leq \pm 4$	
分辨力 c (mm)	0.1	0.2	0.5	1.0
承雨口内径尺寸允许误差 (mm)	≤ 0.6			
重复性误差 (%)	≤ 1			
绝缘性	输出端与外壳间绝缘电阻不小于 1M Ω			
开路电阻	输出端开路电阻不小于 1M Ω			
接触电阻	接触电阻不大于 10 Ω			

2 应包括下列主要检验测试设备:

- 分辨力 0.02mm 游标卡尺;
- 专用计数器;
- 国家标准器具;
- 万用表;
- 100V/100MΩ 的兆欧表。

3 检验测试方法如下:

- 1) 均匀取 5 个不同方向, 用分度值为 0.02mm 游标卡尺量取承雨口内径。
- 2) 在传感器处于正常工作状态时, 分别以大 (降雨强度为 3.8 ~ 4.2mm/min)、中 (降雨强度为 1.5 ~ 2.5mm/min)、小 (降雨强度为 0.3 ~ 0.5mm/min) 三种降雨强度, 恒速向仪器注入清水, 同时用专用计数器对翻斗翻转次数进行计数, 翻斗翻转各 $10/c$ (c 为仪器分辨力) 次, 采用国家标准器具测量仪器自身排水量, 准确度 E_b 计算公式如下:

$$E_b = \frac{\overline{V}_t - \overline{V}_p}{\overline{V}_p} \times 100\% \quad (7.2.1)$$

其中

$$\overline{V}_t = \frac{\pi}{4} \times 20^2 \times c$$

式中 E_b ——翻斗计量误差;

\overline{V}_t ——翻斗理论翻转水量, mL;

\overline{V}_p ——翻斗实际翻转水量, mL;

c ——仪器分辨力。

- 3) 在传感器处于正常工作状态时, 在分别以大 (降雨强度为 3.8 ~ 4.2mm/min)、中 (降雨强度为 1.5 ~ 2.5mm/min)、小 (降雨强度为 0.3 ~ 0.5mm/min) 3 种降雨强度, 分 3 次恒速向仪器注入清水, 同时用专用计数器对翻斗翻转次数进行计数, 翻斗翻转各 $10/c$ (c 为仪器分辨力) 次, 采用国家标准器具测量仪器自

身排水量。同一雨强 3 次翻斗计量水量相互间的相对误差即为重复性误差。

- 4) 用 100V/100M Ω 的兆欧表检测输出信号线与机壳间绝缘电阻。
- 5) 在发讯装置处于非吸合状态时, 用万用表检测信号线间的开路电阻; 在发讯装置处于吸合状态时, 用万用表检测信号线间的接触电阻。
- 6) 检测结果应满足表 7.2.1 的要求。

4 检验测试记录应包含所有被检信息, 其记录格式参见附录 J.29 节。

7.2.2 虹吸式雨量计应符合下列规定:

- 1 虹吸式雨量计主要技术要求见表 7.2.2。

表 7.2.2 虹吸式雨量计检验测试项目及技术指标

项 目	指 标
承雨口内径尺寸允许误差 (mm)	≤ 0.6
虹吸一次的时间 (s)	≤ 14
记录误差 (mm)	≤ 0.05
零点和虹吸点的不稳定性 (mm)	0.1

2 应包括下列主要检验测试设备:

- 0.02mm 游标卡尺;
- 秒表;
- 量筒。

3 检验测试方法应符合下列规定:

- 1) 均匀取 5 个不同方向, 用分度值为 0.02mm 游标卡尺量取承水口内径。
- 2) 向承水口注水至虹吸, 使笔尖指示 0mm, 然后注入 314.2mL 的水, 虹吸开始时, 秒表计时至虹吸停止, 观测降水量在 10mm 时处的指示值、虹吸时间, 重复 3 次。

3) 向承水口注水至虹吸,使笔尖指示 0mm,然后分别注入 31.4mL、 $5 \times 31.4\text{mL}$ 和 314.2mL 的水,观测记录降水量在 1mm、5mm 和 10mm 时处的指示值,重复 3 次。

4) 检测结果应满足表 7.2.2 的要求。

4 检验测试记录应包含所有被检信息,其记录格式参见附录 J.30 节。

7.3 气温计

7.3.1 气温监测仪器中标准水银温度计检验测试按 JJG 128—2003 的规定执行。

7.3.2 其他型式温度计检验测试见 6.5 节。

7.4 大气压力计

7.4.1 大气压力监测仪器中空盒气压表与空盒气压计检验测试按 JJG 272—2007 的规定执行。

7.4.2 其他型式大气压力计的检验测试见 5.1 节。

8 检验测试规则

8.0.1 传感器的外观及标志、防水密封性、在正常试验大气条件下的绝缘性和传感器静态特性应分别为第一、第二、第三和第四序必检项目。上一序检测合格的传感器应进入下一序检验测试。任一序检测不合格的传感器应判定不合格。

8.0.2 传感器在非正常试验大气条件下的绝缘性以及过范围限值能力、温度测量误差、温度影响、稳定性为选检项目，宜在型式试验时进行检验测试。有特殊要求需进行单项或多项检验测试时，应在上条规定的必检项目完成后进行检测，选检项目中任一项不合格应判定为不合格。

8.0.3 传感器型式试验应按国家标准或行业标准的相关规定进行检验测试。

8.0.4 经检验测试合格的传感器应出具检验测试报告。检验测试报告所含信息应满足《实验室资质认定评审准则》的要求。

附录 A 振弦式传感器静态特性计算方法

A.1 线性工作特性

A.1.1 传感器的静态特性指标应通过实际校准获得。设传感器量程内均布 i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 个校准测试点, 进行 j ($j = 1, 2, 3, \dots, m$) 次循环的校准试验, 从而在任一测试点上获得 m 个进程 (上行) 校准数据和 m 个回程 (下行) 校准数据。对上述数据采用最小二乘法进行工作直线拟合, 可得其工作特性线性方程, 见式 (A.1.1)。

$$Y_i = KN + C \quad (\text{A.1.1})$$

其中

$$N = f_i^2 - f_0^2$$

式中 Y_i ——校准时作用在传感器上的物理量, 力 (kN)、位移 (mm)、压力 (kPa)、应变 ($\mu\epsilon$)、角度 [$^\circ$] 或 [$''$]、水位 (mm 水头);

K ——传感器系数 (最小二乘直线的斜率), 力 (kN/ Hz^2)、位移 (mm/ Hz^2)、压力 (kPa/ Hz^2)、应变 ($\mu\epsilon/\text{Hz}^2$)、角度 [$^\circ/\text{Hz}^2$ 或 $''/\text{Hz}^2$];

N ——输出频率的平方差, Hz^2 ;

f_i ——校准时传感器对应于 Y 的输出频率, Hz;

f_0 ——校准时传感器基准测试点的输出频率, Hz;

C ——计算常数 (最小二乘法直线截距), 量纲与 Y_i 相同。

A.1.2 当振弦式传感器在实际使用过程中进行温度修正时, 其工作特性方程为:

$$\begin{aligned} Y_i &= K(f_i^2 - f_0^2) - b(T_i - T_0) + C \\ &= K(F_i - F_0) - b(T_i - T_0) + C \end{aligned} \quad (\text{A.1.2})$$

式中 T_i ——对应于 Y_i 的温度, $^\circ\text{C}$;

T_0 ——传感器在安装时相应于基准点 f_0 的温度, $^\circ\text{C}$;

b ——传感器温度系数 (kN/ $^\circ\text{C}$ 、mm/ $^\circ\text{C}$ 、kPa/ $^\circ\text{C}$ 、

$\mu\epsilon/^\circ\text{C}, ^\circ/^\circ\text{C}$);

F_i ——校准时传感器对应于 Y_i 的输出频率模数, kHz^2 ;

F_0 ——校准时传感器基准测试点的输出频率模数, kHz^2 。

注: 式 (A.1.2) 中的 f_0 为安装时现场确定的传感器初始值, 压力式传感器如需进行气压修正, 相应地加入气压修正项; b 值一般由厂家提供。

A.1.3 传感器满量程上限输出值 F_n :

$$F_n = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (f_{\text{nuj}}^2 + f_{\text{ndj}}^2) = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (F_{\text{nuj}} + F_{\text{ndj}}) \quad (\text{A.1.3})$$

式中 f_{nuj} ——第 j 次加荷至上限值 (第 n 个) 测试点的输出频率, Hz ;

f_{ndj} ——第 j 次从上限值 (第 n 个) 测试点卸荷时的输出频率, Hz ;

F_{nuj} ——第 j 次加荷上限值 (第 n 个) 测试点的输出频率模数, kHz^2 ;

F_{ndj} ——第 j 次从上限值 (第 n 个) 测试点卸荷时的输出频率模数, kHz^2 ;

F_n ——传感器满量程上限值 (第 n 个) 测试点的输出值, Hz^2 或 kHz^2 ;

j ——试验循环次数。

A.1.4 传感器满量程下限输出 F_1 :

$$F_1 = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (f_{1\text{uj}}^2 + f_{1\text{dj}}^2) = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (F_{1\text{uj}} + F_{1\text{dj}}) \quad (\text{A.1.4})$$

式中 $f_{1\text{uj}}$ ——第 j 次从下限值 (第一个) 测试点加荷时的输出频率, Hz ;

$f_{1\text{dj}}$ ——第 j 次卸荷至下限值 (第一个) 测试点的输出频率, Hz ;

$F_{1\text{uj}}$ ——第 j 次从下限值 (第一个) 测试点加荷时的输出频率模数, kHz^2 ;

$F_{1\text{dj}}$ ——第 j 次卸荷至下限值 (第一个) 测试点的输出频

率模数， kHz^2 ；

F_1 ——传感器满量程下限值（第一个）测试点的输出值， Hz^2 或 kHz^2 。

A. 1.5 传感器满量程输出 F_{fs} ：

$$F_{fs} = |F_n - F_1| \quad (\text{A. 1.5})$$

式中 F_{fs} ——传感器满量程输出值， Hz^2 或 kHz^2 。

A. 1.6 传感器分辨率 r ：

$$r = \frac{\Delta F_r}{F_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{A. 1.6})$$

式中 ΔF_r ——传感器可引起输出变化的最小增量值， Hz^2 或 kHz^2 。

传感器分辨率应满足规定的静态特性要求。

A. 1.7 传感器非线性度 L ：

$$L = \frac{\Delta F_L}{F_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{A. 1.7})$$

式中 ΔF_L ——传感器平均校准曲线与工作直线偏差的最大值， Hz^2 或 kHz^2 。

传感器非线性度应满足规定的静态特性要求。

A. 1.8 传感器不重复度 R ：

$$R = \frac{\Delta F_R}{F_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{A. 1.8})$$

式中 ΔF_R ——传感器重复校准时，进程各测试点与进程多次平均校准曲线偏差的最大值和回程各测试点与回程多次平均校准曲线偏差的最大值中的最大值， Hz^2 或 kHz^2 。

传感器不重复度应满足规定的静态特性要求。

A. 1.9 传感器滞后 H ：

$$H = \frac{\Delta F_H}{F_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{A. 1.9})$$

式中 ΔF_H ——传感器重复校准时，进程平均校准曲线和回程平均校准曲线在同一测试点输出偏差的最大值， Hz^2 或 kHz^2 。

传感器滞后应满足规定的静态特性要求。

A. 1. 10 传感器综合误差 E_C ：

$$E_C = \frac{\Delta F_C}{F_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{A. 1. 10})$$

式中 ΔF_C ——传感器重复校准时，进程平均校准曲线与工作直线偏差的最大值和回程平均校准曲线与工作直线偏差的最大值二者中的最大值， Hz^2 或 kHz^2 。

传感器综合误差应满足规定的静态特性要求。

A. 2 非线性工作特性

A. 2. 1 传感器的实际校准特性采用最小二乘法进行工作曲线拟合，其工作特性方程可表征为式 (A. 2. 1-1) 或式 (A. 2. 1-2)。

$$Y_i = K_1(f_i^1 - f_0^1) + K_2(f_i^2 - f_0^2) + C \quad (\text{A. 2. 1-1})$$

或 $Y_i = K_1(F_i^2 - F_0^2) + K_2(F_i - F_0) + C \quad (\text{A. 2. 1-2})$

式中 K_1 、 K_2 ——最小二乘拟合系数；

其他符号含义与式 (A. 1. 2) 的相同。

传感器按非线性拟合时，分辨率、符合度和综合误差计算方法与线性工作特性的相同，其计算结果应满足规定的静态特性要求。

A. 2. 2 传感器在实际使用中进行温度修正时，其工作特性方程为的实际校准特性采用最小二乘法进行工作曲线拟合，其工作特性方程可表征为式 (A. 2. 2-1) 或式 (A. 2. 2-2) (压力式传感器如需进行气压修正，相应地加入气压修正项)。

$$Y_i = K_1(f_i^1 - f_0^1) + K_2(f_i^2 - f_0^2) + C + b(T_i - T_0) \quad (\text{A. 2. 2-1})$$

或 $Y_i = K_1(F_i^2 - F_0^2) + K_2(F_i - F_0) + C + b(T_i - T_0) \quad (\text{A. 2. 2-2})$

附录 B 差动电阻式传感器 静态特性计算方法

B.0.1 传感器的实际校准特性通过传感器的静态校准获得。设定传感器在满量程测量范围内均布 $i(i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 个校准测试点, 进行 $j(j = 1, 2, 3, \dots, m)$ 次循环的校准试验, 从而在任一测试点上获得 m 个进程 (正行程) 校准数据和 m 个回程 (反行程) 校准数据。对上述数据采用最小二乘法进行工作直线拟合, 可得其工作特性方程, 见式 (B.0.1)。

$$Y_i = f(\Delta Z) + C = f(Z_i - Z_0) + C \quad (\text{B.0.1})$$

式中 Y_i ——校准时作用在传感器上的物理量, 力 (kN)、位移 (mm)、压力 (kPa)、应变 ($\mu\epsilon$);

f ——传感器最小读数, 力 (kN)、位移 (mm)、压力 (kPa)、应变 ($\mu\epsilon$);

ΔZ ——电阻比相对于基准值的变化量, 无量纲 (0.01%);

Z_i ——校准时传感器对应于 Y_i 的输出电阻比, 无量纲 (0.01%);

Z_0 ——校准时传感器基准测试点的输出电阻比, 无量纲 (0.01%);

C ——计算常数 (最小二乘法直线截距), 量纲与 Y_i 相同。

注: 电阻比一般以 0.01% 表示, 即实际电阻比的 10000 倍。

B.0.2 当差动电阻式传感器在实际使用中进行温度修正时, 其工作特性方程为:

$$Y_i = f(Z_i - Z_0) - b(T_i - T_0) + C \quad (\text{B.0.2})$$

式中 T_i ——对应于 Y_i 的温度, $^{\circ}\text{C}$;

T_0 ——传感器在安装时相应于基准点 Z_0 的温度, $^{\circ}\text{C}$;

b ——传感器温度修正系数，量纲与 Y_1 相同。

注：式 (B.0.2) 中 Z_0 为安装时现场确定的传感器初始值，压力式传感器如需进行气压修正，相应地加入气压修正项； b 值一般由厂家提供。

B.0.3 传感器满量程上限输出电阻比 Z_n ：

$$Z_n = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (Z_{n_{uj}} + Z_{n_{dj}}) \quad (\text{B.0.3})$$

式中 $Z_{n_{uj}}$ ——第 j 次进程校准时，传感器满量程上限值（第 n 个）测试点输出电阻比；

$Z_{n_{dj}}$ ——第 j 次回程校准时，传感器满量程上限值（第 n 个）测试点输出电阻比；

Z_n ——传感器满量程上限值（第 n 个）测试点的输出电阻比；

j ——试验循环次数。

B.0.4 传感器满量程下限输出电阻比 Z_1 ：

$$Z_1 = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (Z_{1_{uj}} + Z_{1_{dj}}) \quad (\text{B.0.4})$$

式中 $Z_{1_{uj}}$ ——第 j 次进程校准时，传感器满量程下限值（第一个）测试点的输出电阻比；

$Z_{1_{dj}}$ ——第 j 次回程校准时，传感器满量程下限值（第一个）测试点的输出电阻比；

Z_1 ——传感器满量程下限值（第一个）测试点的输出电阻比。

B.0.5 传感器满量程输出 Z_{fs} ：

$$Z_{fs} = |Z_n - Z_1| \quad (\text{B.0.5})$$

式中 Z_{fs} ——传感器满量程输出电阻比。

B.0.6 传感器最小读数 f 为最小二乘拟合直线的斜率，应满足其规定的静态特性要求。

B.0.7 传感器分辨率 r ：

$$r = \frac{\Delta Z_f}{Z_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{B.0.7})$$

式中 ΔZ_r ——传感器可引起输出变化的最小电阻比增量值。

B. 0. 8 传感器非线性度 L ：

$$L = \frac{\Delta Z_L}{Z_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{B. 0. 8})$$

式中 ΔZ_L ——传感器平均校准曲线与工作直线偏差的最大值。

传感器非线性度应满足规定的静态特性要求。

B. 0. 9 传感器不重复性度 R ：

$$R = \frac{\Delta Z_R}{Z_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{B. 0. 9})$$

式中 ΔZ_R ——传感器重复校准时，进程测试点与进程多次平均校准曲线偏差的最大值和回程测试点与回程多次平均校准曲线偏差的最大值二者中的最大值。

传感器重复性误差应满足其规定的静态特性要求。

B. 0. 10 传感器滞后 H ：

$$H = \frac{\Delta Z_H}{Z_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{B. 0. 10})$$

式中 ΔZ_H ——传感器重复校准时，进程平均校准曲线和回程平均校准曲线在同一测试点输出偏差的最大值。

传感器滞后应满足其规定的静态特性要求。

注：本标准推荐差动电阻式传感器工作直线采用最小二乘直线拟合方法，非线性度、滞后和不重复度统一采用本标准规定的名称和符号，差动电阻式传感器的端基线性度即非线性度，重复性误差即不重复度。

附录 C 电位器式传感器静态 特性计算方法

C. 0.1 电位器式传感器供电工作方式均为恒压源。设电位器可变电阻最大值为 R_0 ，接长电缆单芯电阻为 r ，当传感器接线电缆很短， $r \ll R_0$ ，接线电阻可忽略不计时，传感器在满量程测量范围内均布 $i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 个校准测试点，进行 $j (j = 1, 2, 3, \dots, m)$ 次循环的校准试验，从而在任一测试点上获得 m 个进程（上行）校准数据和 m 个回程（下行）校准数据。对上述数据采用最小二乘法进行工作直线拟合，可得其工作特性方程，见式 (C. 0.1)。

$$S_i = K \frac{V_i}{V_0} + C \quad (\text{C. 0. 1})$$

式中 S_i ——校准时作用在传感器上的位移，mm；
 K ——传感器系数（最小二乘直线的斜率），mm；
 V_i ——对应于 S_i 的电位器输出电压（分压），mV；
 V_0 ——电位器输入电压（恒压、常数），mV；
 C ——计算常数（最小二乘法直线截距），mm。

C. 0.2 当传感器在实际使用中接线电缆电阻 r 如不可忽略，应对其进行接线修正，经修正后的传感器使用工作特性方程为：

$$S_i = K \frac{R_0 V_i}{(R_0 + 2r)V_0} + C \quad (\text{C. 0. 2})$$

式中 R_0 ——传感器滑线电阻器标称电阻值， Ω ；
 r ——传感器信号电缆芯线电阻值， Ω ；
其他符号含义与式 (C. 0.1) 相同。

注：式 (C. 0.2) 中 R_0 和 r 值由厂家提供，或由厂家提供 R_0 值，用户采用电阻电桥自测 r 值。

C. 0.3 传感器满量程上限输出值 V_n ：

$$V_n = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (V_{nuj} + V_{ndj}) \quad (\text{C. 0. 3})$$

式中 V_{nuj} ——第 j 次加荷至上限值 (第 n 个) 测试点的输出电压, mV;

V_{ndj} ——第 j 次从上限值 (第 n 个) 测试点卸荷时的输出电压, mV;

V_n ——传感器满量程上限值 (第 n 个) 测试点的输出电压的平均值, mV;

j ——试验循环次数。

C. 0. 4 传感器满量程下限输出 V_1 :

$$V_1 = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (V_{1uj} + V_{1dj}) \quad (\text{C. 0. 4})$$

式中 V_{1uj} ——第 j 次从下限值 (第一个) 测试点加荷时的输出电压, mV;

V_{1dj} ——第 j 次卸荷至下限值 (第一个) 测试点的输出电压, mV;

V_1 ——传感器满量程下限值 (第一个) 测试点的输出电压的平均值, mV。

C. 0. 5 传感器满量程输出 V_{fs} :

$$V_{fs} = |V_n - V_1| \quad (\text{C. 0. 5})$$

式中 V_{fs} ——传感器满量程输出电压值, mV。

C. 0. 6 传感器分辨率 r :

$$r = \frac{\Delta V_r}{V_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{C. 0. 6})$$

式中 ΔV_r ——传感器可引起输出变化的最小电压增量值, mV。

传感器分辨率应满足规定的静态特性要求。

C. 0. 7 非线性度 L :

$$L = \frac{\Delta V_L}{V_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{C. 0. 7})$$

式中 ΔV_L ——传感器平均校准曲线与工作直线偏差的最大

值, mV。

传感器非线性度应满足规定的静态特性要求。

C. 0. 8 不重复度 R :

$$R = \frac{\Delta V_R}{V_{fs}} \times 100\%FS \quad (\text{C. 0. 8})$$

式中 ΔV_R ——传感器重复校准时, 进程各测试点与进程多次平均校准曲线偏差的最大值和回程各测试点与回程多次平均校准曲线偏差的最大值中的最大值, mV。

传感器不重复度应满足规定的静态特性要求。

C. 0. 9 滞后 H :

$$H = \frac{\Delta V_H}{V_{fs}} \times 100\%FS \quad (\text{C. 0. 9})$$

式中 ΔV_H ——传感器重复校准时, 进程平均校准曲线和回程平均校准曲线在同一测试点输出量之差的最大值, mV。

传感器滞后应满足规定的静态特性要求。

C. 0. 10 传感器综合误差 E_c 按式 (C. 0. 10) 计算:

$$E_c = \sqrt{L^2 + R^2 + H^2} \times 100\%FS \quad (\text{C. 0. 10})$$

传感器综合误差应满足其规定的静态特性要求。

附录 D 电容式传感器静态特性计算方法

D.1 线性工作特性

D.1.1 设传感器在满量程测量范围内均布 $i(i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 个校准测试点, 进行 $j(j = 1, 2, 3, \dots, m)$ 次循环的校准试验, 从而在任一测试点上获得 m 个进程 (正行程) 校准数据和 m 个回程 (反行程) 校准数据。对上述数据采用最小二乘法进行工作直线拟合, 可得其工作特性方程, 见式 (D.1.1)。

$$Y_i = K\Delta R + C = K(R_i - R_0) + C \quad (\text{D.1.1})$$

式中 Y_i ——校准时作用在传感器上的物理量, 位移 (mm)、水头 (mm);

K ——传感器系数 (最小二乘直线斜率), 位移 (mm)、水头 (mm);

ΔR ——电容比相对于基准值的变化量, 无量纲;

R_i ——校准时传感器对应于 Y 的输出电容比, 无量纲;

R_0 ——校准时传感器基准 (零载荷) 测试点的输出电容比, 无量纲;

C ——计算常数 (最小二乘法直线截距), 量纲与 Y_i 相同。

注: 电容比一般以 0.01% 表示。

D.1.2 传感器满量程 (上限) 输出电容比平均值 R_n :

$$R_n = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (R_{n_{uj}} + R_{n_{dj}}) \quad (\text{D.1.2})$$

式中 $R_{n_{uj}}$ ——第 j 次加荷至上限值 (第 n 个) 测试点的输出电容比;

$R_{n_{dj}}$ ——第 j 次从上限值 (第 n 个) 测试点卸荷时的输出电容比;

R_n ——传感器满量程上限值（第 n 个）测试点的输出电容比；

j ——试验循环次数。

D. 1. 3 传感器零载荷（满量程下限）输出电容比平均值 R_1 ：

$$R_1 = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (R_{1uj} + R_{1dj}) \quad (\text{D. 1. 3})$$

式中 R_{1uj} ——第 j 次从下限值（第一个）测试点加荷时的输出电容比；

R_{1dj} ——第 j 次卸荷至下限值（第一个）测试点的输出电容比；

R_1 ——传感器满量程下限值（第一个）测试点的输出电容比。

D. 1. 4 传感器满量程输出 R_{fs} ：

$$R_{fs} = |R_n - R_1| \quad (\text{D. 1. 4})$$

式中 R_{fs} ——传感器满量程输出电容比。

D. 1. 5 传感器分辨率 r ：

$$r = \frac{\Delta R_r}{R_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{D. 1. 5})$$

式中 ΔR_r ——传感器可引起输出变化的最小电容比增量值。

传感器分辨率应满足其规定的静态特性要求。

D. 1. 6 传感器非线性度 L ：

$$L = \frac{\Delta R_L}{R_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{D. 1. 6})$$

式中 ΔR_L ——传感器平均校准曲线与工作直线偏差的最大值。

D. 1. 7 传感器不重复度 R ：

$$R = \frac{\Delta R_R}{R_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{D. 1. 7})$$

式中 ΔR_R ——传感器重复校准时，进程多次校准曲线与工作直线偏差的最大值和回程多次校准曲线与工作直线偏差的最大值两者中的最大值。

传感器不重复度应满足规定的静态特性要求。

D. 1.8 传感器滞后 H :

$$H = \frac{\Delta R_H}{R_{fs}} \times 100\%FS \quad (D. 1. 8)$$

式中 ΔR_H ——传感器重复校准时，进程平均校准曲线和回程平均校准曲线在同一测试点输出量之差的极大值。

传感器滞后应满足其规定的静态特性要求。

D. 1.9 传感器综合误差 E_c 按式 (D. 1. 9) 计算:

$$E_c = \sqrt{L^2 + R^2 + H^2} \times 100\%FS \quad (D. 1. 9)$$

传感器综合误差应满足其规定的静态特性要求。

D. 2 非线性工作特性

D. 2.1 传感器的实际校准特性采用最小二乘法进行工作曲线拟合，其工作特性方程见式 (D. 2. 1)。

$$Y_i = a(R_i^3 - R_0^3) + b(R_i - R_0) + C \quad (D. 2. 1)$$

式中 a 、 b ——最小二乘拟合系数；

其他符号含义与式 (D. 1. 1) 的相同。

D. 2.2 传感器按非线性拟合时，分辨率、符合度和综合误差计算方法与线性工作特性的相同，其计算结果应满足规定的静态特性要求。

附录 E 伺服加速度计式测斜仪静态特性计算方法

E.1 线性工作特性

E.1.1 伺服加速度计式测斜仪的静态特性指标应通过实际校准获得。设测斜仪在满量程内均布 $i(i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 个校准测试点, 进行 $j(j = 1, 2, 3, \dots, m)$ 次循环的校准试验, 从而在任一测试点上获得 m 个进程 (上行) 校准数据和 m 个回程 (下行) 校准数据。对上述数据采用最小二乘法进行直线拟合, 可得其工作特性方程, 见式 (E.1.1)。

$$\theta_i = KN + C = K(U_i - U_0) + C \quad (\text{E.1.1})$$

其中

$$N = U_i - U_0$$

式中 θ_i ——校准时作用在测斜仪上的倾角, ($''$);

K ——测斜仪系数 (最小二乘直线的斜率), ($''$) / mV;

U_i ——校准时测斜仪对应于 θ_i 的输出电压, mV;

U_0 ——校准时测斜仪基准 (零倾角) 测试点的输出电压, mV;

C ——计算常数 (最小二乘法直线截距), ($''$)。

E.1.2 测斜仪满量程上限输出值 U_n :

$$U_n = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (U_{nuj} + U_{ndj}) \quad (\text{E.1.2})$$

式中 U_{nuj} ——第 j 次加荷至上限值 (第 n 个) 测试点时的测斜仪输出电压, mV;

U_{ndj} ——第 j 次从上限值 (第 n 个) 测试点卸荷时的测斜仪输出电压, mV;

U_n ——测斜仪满量程上限值 (第 n 个) 测试点的输出电压值, mV;

j ——试验循环次数。

E. 1.3 测斜仪满量程下限输出 U_1 :

$$U_1 = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (U_{1uj} + U_{1dj}) \quad (\text{E. 1. 3})$$

式中 U_{1uj} ——第 j 次从下限值 (第一个) 测试点加荷时的测斜仪输出电压, mV;

U_{1dj} ——第 j 次卸荷至下限值 (第一个) 测试点时的测斜仪输出电压, mV;

U_1 ——测斜仪满量程下限值 (第一个) 测试点的输出电压值, mV。

E. 1.4 测斜仪满量程输出 U_{fs} :

$$U_{fs} = |U_n - U_1| \quad (\text{E. 1. 4})$$

式中 U_{fs} ——测斜仪满量程输出电压值, mV。

E. 1.5 测斜仪分辨率 r :

$$r = \frac{\Delta U_r}{U_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{E. 1. 5})$$

式中 ΔU_r ——测斜仪可引起输出变化的最小电压增量值, mV。

测斜仪分辨率应满足规定的静态特性要求。

E. 1.6 测斜仪非线性度 L :

$$L = \frac{\Delta U_L}{U_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{E. 1. 6})$$

式中 ΔU_L ——测斜仪平均校准曲线与工作直线偏差的最大值, mV。

测斜仪非线性度应满足规定的静态特性要求。

E. 1.7 测斜仪不重复度 R :

$$R = \frac{\Delta U_R}{U_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{E. 1. 7})$$

式中 ΔU_R ——测斜仪传感器重复校准时, 进程各测试点与进程多次平均校准曲线偏差的最大值和回程各测试点与回程多次平均校准曲线偏差的最大值中的最大值, mV。

测斜仪不重复度应满足规定的静态特性要求。

E. 1.8 滞后 H :

$$H = \frac{\Delta U_H}{U_{fs}} \times 100\%FS \quad (E. 1.8)$$

式中 ΔU_H ——测斜仪重复校准时，进程平均校准曲线和回程平均校准曲线在同一测试点输出量之差的最大值，mV。

测斜仪滞后应满足规定的静态特性要求。

E. 1.9 综合误差 E_c :

$$E_c = \frac{\Delta U_c}{U_{fs}} \times 100\%FS \quad (E. 1.9)$$

式中 ΔU_c ——测斜仪重复校准时，进程平均校准曲线与工作直线偏差的最大值和回程平均校准曲线与工作直线偏差的最大值两者中的最大值，mV。

测斜仪综合误差应满足规定的静态特性要求。

E. 2 非线性工作特性和水平位移计算

E. 2.1 测斜仪的实际校准特性采用最小二乘法进行工作曲线拟合，其工作特性方程见式 (E. 2.1)。

$$\theta_i = K_1 N_i^3 + K_2 N_i^2 + K_3 N_i + C \quad (E. 2.1)$$

式中 K_1 、 K_2 、 K_3 ——最小二乘拟合系数；

其他符号含义与式 (E. 1.1) 的相同。

E. 2.2 传感器按非线性拟合时，分辨率、符合度和综合误差计算方法与线性工作特性的相同，其计算结果应满足规定的静态特性要求。

E. 2.3 活动式测斜仪水平位移计算公式为：

$$\Delta S_i = L \sin \theta_i \quad (E. 2.3)$$

式中 L ——测斜仪上下导轮中心距，一般为 500mm；

ΔS_i ——测斜仪一个标距长 L 相对于铅垂线的水平位移量，mm；

θ_i ——测斜仪与铅垂线偏转角，(°)。

附录 F 步进电机式仪器静态特性计算方法

F.0.1 设传感器在满量程测量范围内均布 $i(i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 个校准测试点, 进行 $j(j = 1, 2, 3, \dots, m)$ 次循环的校准试验, 从而在任一测试点上获得 m 个进程校准数据和 m 个回程校准数据。对上述数据组采用最小二乘法进行工作直线拟合, 进行静态特性参数计算。步进电机式仪器校准工作特性方程表示为:

$$S_i = S'_i \quad (\text{F.0.1})$$

式中 S_i ——仪器输出读数, mm;

S'_i ——校准时给定位移量值, mm。

注: 起始测试点时, 给定位移量值赋值为 0, 仪器输出读数设定为 0。

F.0.2 传感器满量程上限输出值:

$$S_n = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (S'_{nuj} + S_{ndj}) \quad (\text{F.0.2})$$

式中 S'_{nuj} ——第 j 次加荷至上限值 (第 n 个) 测试点时的仪器输出读数值, mm;

S_{ndj} ——第 j 次从上限值 (第 n 个) 测试点卸荷时的仪器输出读数值, mm;

S_n ——满量程上限值 (第 n 个) 测试点的仪器输出读数值, mm;

j ——试验循环次数。

F.0.3 仪器分辨力 r : 在仪器满量程范围内任一位置, 在标定装置上按仪器最小分辨力为步长向同一方向给定位移量, 仪器应具有相同的输出读数, 且读数单调。

F.0.4 仪器非线性度 L :

$$L = \frac{\Delta S_l}{S_n} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{F.0.4})$$

式中 ΔS_L ——仪器平均校准曲线与工作直线偏差的最大值，
mm。

仪器非线性度应满足规定的静态特性要求。

F.0.5 仪器不重复度 R ：

$$R = \frac{\Delta S_R}{S_n} \times 100\%FS \quad (\text{F.0.5})$$

式中 ΔS_R ——仪器重复校准时，进程测试点与进程多次平均校准曲线偏差的最大值和回程测试点与回程多次平均校准曲线偏差的最大值中的最大值，mm。

仪器不重复度应满足规定的静态特性要求。

F.0.6 仪器滞后 H ：

$$H = \frac{\Delta S_H}{S_n} \times 100\%FS \quad (\text{F.0.6})$$

式中 ΔS_H ——仪器重复校准时，进程平均校准曲线和回程平均校准曲线在同一测试点输出量之差的最大值，mm。

仪器滞后应满足规定的静态特性要求。

F.0.7 仪器综合误差 E_C ：

$$E_C = \sqrt{L^2 + R^2 + H^2} \times 100\%FS \quad (\text{F.0.7})$$

仪器综合误差应满足规定的静态特性要求。

附录 G 压阻式孔隙水压力计静态特性计算方法

G.0.1 压阻式传感器的静态特性应通过实际校准获得。设传感器在满量程测量范围内均布 $i(i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 个校准测试点, 进行 $j(j = 1, 2, 3, \dots, m)$ 次循环的校准试验, 从而在任一测试点上获得 m 个进程校准数据和 m 个回程校准数据。对上述数据组采用最小二乘法进行工作直线拟合, 可得其工作特性方程, 见式 (G.0.1)。

$$P_i = K(U_i - U_0) + C \quad (\text{G.0.1})$$

式中 P_i ——校准时作用在传感器上的压力, kPa;

U_0 ——校准时零压力下传感器输出电压, mV;

U_i ——校准时 P_i 压力下传感器输出电压, mV;

K ——传感器系数 (最小二乘直线的斜率), kPa/mV;

C ——计算常数 (最小二乘法直线截距), kPa。

G.0.2 传感器满量程输出值 U_n :

$$U_n = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (U_{nuj} + U_{ndj}) \quad (\text{G.0.2})$$

式中 U_{nuj} ——第 j 次加荷至上限值 (第 n 个) 测试点时的输出电压, mV;

U_{ndj} ——第 j 次从上限值 (第 n 个) 测试点卸荷时的输出电压, mV;

U_n ——传感器满量程上限值 (第 n 个) 测试点的输出平均电压, mV;

j ——试验循环次数。

G.0.3 传感器零压力测试点输出 U_1 :

$$U_1 = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (U_{1uj} + U_{1dj}) \quad (\text{G.0.3})$$

式中 U_{1uj} ——第 j 次从下限值（零压力）测试点加荷时传感器的输出电压，mV；

U_{1dj} ——第 j 次卸荷至下限值（零压力）测试点时传感器的输出电压，mV；

U_1 ——传感器零压力测试点的输出平均电压，mV。

G.0.4 传感器满量程输出 U_{fs} ：

$$U_{fs} = |U_n - U_1| \quad (\text{G.0.4})$$

式中 U_{fs} ——传感器满量程输出电压值，mV。

G.0.5 传感器分辨率 r ：

$$r = \frac{\Delta U_r}{U_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{G.0.5})$$

式中 ΔU_r ——传感器可引起输出变化的最小增量值，mV。

传感器分辨率应满足规定的静态特性要求。

注：二次仪表显示分辨力不大于 0.1mV。

G.0.6 传感器非线性度 L ：

$$L = \frac{\Delta U_L}{U_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{G.0.6})$$

式中 ΔU_L ——传感器平均校准曲线与工作直线偏差的最大值，mV。

传感器非线性度应满足规定的静态特性要求。

G.0.7 传感器不重复度 R ：

$$R = \frac{\Delta U_R}{U_n} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{G.0.7})$$

式中 ΔU_R ——传感器重复校准时，进程各测试点与进程多次平均校准曲线偏差的最大值和回程各测试点与回程多次平均校准曲线偏差的最大值中的最大值，mV。

传感器不重复度应满足规定的静态特性要求。

G.0.8 传感器滞后 H ：

$$H = \frac{\Delta U_H}{U_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{G.0.8})$$

式中 ΔU_H ——传感器重复校准时，进程平均校准曲线和回程平均校准曲线在同一测试点输出量之差的最大值，mV。

传感器滞后应满足规定的静态特性要求。

G.0.9 传感器综合误差 E_c ：

$$E_c = \frac{\Delta U_c}{U_{fs}} \times 100\%FS \quad (G.0.9)$$

式中 ΔU_c ——传感器重复校准时，进程平均校准曲线与工作直线偏差的最大值和回程平均校准曲线与工作直线偏差的最大值中，mV。

传感器综合误差应满足规定的静态特性要求。

附录 H 传感器静态特性指标计算方法

H.1 分辨率（力）和传感器系数

H.1.1 分辨率（力）是指传感器在工作范围内所能产生的可测量的最小输出量变化量，以振弦式传感器为例，分辨率 r 其数学表达式为：

$$r = \frac{\Delta F_r}{F_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{H.1.1})$$

式中 ΔF_r ——传感器可引起输出变化的最小增量值，即分辨力， Hz^2 。

分辨力在满量程输出中所占比例，以百分比的方式表示时称为分辨率。

满量程输出 F_{fs} 可通过实际校准获得，理论上讲， ΔF_r 也可通过实际试验获得。但每个传感器作为特定的个体， ΔF_r 值均不相同，且 ΔF_r 值与显示装置的分辨力密切相关，在实际应用中准确获取 ΔF_r 值是困难的。

为此，为规范分辨率（力）的计算，根据各种类型的传感器及与传感器类型相匹配的显示装置（传感器读数仪）生产水平，推荐计算数据如下：

振弦式传感器： $\Delta F_r = 1 \text{kHz}^2$ ；

差动电阻式传感器： $\Delta Z_r = 1$ 个电阻比；

电位器式传感器： $\Delta V_r = 1 \text{mV}$ ；

电容式传感器： $\Delta R_r = 1$ 个电容比；

伺服加速度式传感器： $\Delta U_r = 0.1 \text{mV}$ ；

压阻式传感器： $\Delta U_r = 1 \text{mV}$ ；

步进电机式仪器、光电式（CCD）式位移传感器：以其最小分辨力为步长，按规定的方法进行检测。

H.1.2 进行线性拟合的传感器系数 K （差动电阻式传感器为最

小读数 f) 值即传感器最小二乘工作直线的斜率; 进行曲线拟合的传感器一次、二次、 \dots 、 n 次系数由曲线拟合方程确定, 通过最小二乘拟合获得。

H. 2 非线性度 L 、不重复度 R 和滞后 H

H. 2.1 以振弦式传感器为例, 其非线性度 L 的计算过程如下:

$$L = \frac{\Delta F_L}{F_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{H. 2.1-1})$$

式中 ΔF_L ——传感器平均校准曲线与工作直线偏差的最大值, Hz^2 或 kHz^2 ;

F_{fs} ——传感器满量程输出, Hz^2 或 kHz^2 。

$$\Delta F_L = \max(A_i, i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (\text{H. 2.1-2})$$

$$\begin{aligned} A_i &= \left| \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (f_{uj}^2 + f_{dj}^2) - f_i^2 \right| \\ &= \left| \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m (F_{uj} + F_{dj}) - F_i \right| \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \end{aligned} \quad (\text{H. 2.1-3})$$

式中 f_{uj} ——第 i 个测试点第 j 次进程 (上行) 输出频率, Hz ;
 f_{dj} ——第 i 个测试点第 j 次回程 (下行) 输出频率, Hz ;
 F_{uj} ——第 i 个测试点第 j 次进程 (上行) 输出频率模数, kHz^2 ;

F_{dj} ——第 i 个测试点第 j 次回程 (下行) 输出频率模数, kHz^2 ;

f_i ——第 i 个测试点最小二乘直线对应的频率, Hz ;

F_i ——第 i 个测试点最小二乘直线对应的频率模数, kHz^2 。

H. 2.2 以振弦式传感器为例, 其不重复度 R 的计算过程如下:

$$R = \frac{\Delta F_R}{F_{fs}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{H. 2.2-1})$$

式中 ΔF_R ——传感器重复校准时, 进程各测试点与进程多次校

准曲线偏差的最大值和回程各测试点与回程多次校准曲线偏差的最大值两者中的最大值，Hz²或 kHz²。

$$\Delta F_R = \max(M_{\max}, N_{\max}) \quad (\text{H. 2.2-2})$$

$$M_{\max} = (M_i, i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (\text{H. 2.2-3})$$

$$N_{\max} = (N_i, i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (\text{H. 2.2-4})$$

$$M_i = \left| f_{\text{uj}}^2 - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{\text{uj}}^2 \right| = \left| F_{\text{uj}} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F_{\text{uj}} \right| \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

(H. 2.2-5)

$$N_i = \left| f_{\text{dj}}^2 - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{\text{dj}}^2 \right| = \left| F_{\text{dj}} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F_{\text{dj}} \right| \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

(H. 2.2-6)

H. 2.3 以振弦式传感器为例，其滞后 H 的计算过程如下：

$$H = \frac{\Delta F_H}{F_{\text{fs}}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{H. 2.3-1})$$

式中 ΔF_H ——传感器重复校准时，进程平均校准曲线和回程平均校准曲线在同一测试点输出偏差的最大值，Hz²或 kHz²。

$$\Delta F_H = \max(B_i, i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (\text{H. 2.3-2})$$

$$B_i = \frac{1}{m} \left| \sum_{j=1}^m f_{\text{uj}}^2 - \sum_{j=1}^m f_{\text{dj}}^2 \right|$$

$$= \frac{1}{m} \left| \sum_{j=1}^m F_{\text{uj}} - \sum_{j=1}^m F_{\text{dj}} \right| \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

(H. 2.3-3)

H.3 综合误差 E_C

H. 3.1 振弦式传感器综合误差 E_C 的计算过程如下：

$$E_C = \frac{\Delta F_C}{F_{\text{fs}}} \times 100\% \text{FS} \quad (\text{H. 3.1-1})$$

式中 ΔF_C ——传感器重复校准时，进程平均校准曲线与工作直

线偏差的最大值和回程平均校准曲线与工作直线偏差的最大值两者中的最大值，Hz² 或 kHz²。

$$\Delta F_C = \max(X_{\max}, Y_{\max}) \quad (\text{H. 3.1-2})$$

$$X_{\max} = \max(X_i, i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (\text{H. 3.1-3})$$

$$X_i = \left| \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{\text{uj}}^2 - f_i^2 \right| = \left| \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F_{\text{uj}} - F_i \right| \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

(H. 3.1-4)

$$Y_{\max} = \max(Y_i, i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (\text{H. 3.1-5})$$

$$Y_i = \left| \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{\text{dj}}^2 - f_i^2 \right| = \left| \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F_{\text{dj}} - F_i \right| \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

(H. 3.1-6)

H. 3.2 其他型式传感器综合误差 E_C 按相应的静态特性计算方法规定执行。

附录 J 监测仪器检验测试记录格式

J.1 振弦式测缝计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____kPa 水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 100mm)

频率模数 (kHz ²)	位移 (mm)					
	0	20	40	60	80	100
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K ：___mm/kHz²；分辨力 r ：___%FS；非线性度 L ：___%FS
 滞后 H ：___%FS；不重复度 R ：___%FS；综合误差 E_c ：___%FS

5. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	30	60
测读温度 (°C)			
频率模数 (kHz ²)			

测温误差：___℃；温度影响 δ_t ：___%FS/℃；温度修正系数 b ：___mm/℃

6. 稳定性：_____。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J.2 差动电阻式测缝计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____kPa 水压力。

3. 绝缘性能

传感器在 0℃ 水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在 +60℃ 水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在 0.5MPa 或规定压力水中绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 25mm)

电阻比 (0.01%)	位移 (mm)					
	0	5	10	15	20	25
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

最小读数 f : _____mm/0.01%；分辨力 r : _____%FS；非线性度 L : _____%FS

滞后 H : _____%FS；不重复度 R : _____%FS

5. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (℃)	0	30	60
测读温度 (℃)			

测温误差：_____℃。

6. 稳定性

稳定性检测记录表

长 期 稳 定 性	电阻值变化量 Ω	高 温 稳 定 性	电阻值变化量 Ω
	电阻比变化量 %FS		电阻比变化量 %FS
	在 0.5MPa 或规定压力水 中的绝缘电阻 $M\Omega$		在 0.5MPa 或规定压力水 中的绝缘电阻 $M\Omega$

检验测试人： 计算人： 校核人： 日期：

J.3 电位器式测缝计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：___℃；相对湿度：___%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____ kPa 水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____ MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表（例：量程 100mm）

电压 (mV)	位移 (mm)					
	0	20	40	60	80	100
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K：_____ mm/mV；分辨力 r：_____ %FS；非线性度 L：_____ %FS

滞后 H：_____ %FS；不重复度 R：_____ %FS；综合误差 E_c：_____ %FS

5. 稳定性：_____。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J.4 电容式测缝计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__ °C；相对湿度：__ %RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____ kPa 水压力。

3. 绝缘性能：_____。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表（例：量程 50mm）

电容比 (0.01%)	位移 (mm)					
	0	10	20	30	40	50
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

最小读数 f ：_____ mm/0.01%；分辨力 r ：_____ %FS；非线性度 L ：_____ %FS

滞后 H ：_____ %FS；不重复度 R ：_____ %FS；综合误差 E_c ：_____ %FS

5. 附加温度误差：_____。

6. 湿度影响误差：_____。

7. 稳定性：_____。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J.5 电容式垂线坐标仪检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 静态特性

X 向 (Y 向) 静态特性检验测试记录表 (例：量程 50mm)

电容比 (0.01%)	位移 (mm)					
	0	10	20	30	40	50
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K ：_____ mm；分辨力 r ：_____ %FS；非线性度 L ：_____ %FS
 滞后 H ：_____ %FS；不重复度 R ：_____ %FS；综合误差 E_c ：_____ %FS

3. 温度附加误差：_____。

4. 湿度影响误差：_____。

5. 稳定性：_____。

检验测试人： 计算人： 校核人： 日期：

J.6 步进电机式垂线坐标仪检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 静态特性

X 向 (Y 向) 位移性能参数检验测试记录表 (例：量程 50mm)

输出值 (mm)	给定位移 (mm)					
	0	10	20	30	40	50
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

分辨力 r ：___%FS；非线性度 L ：___%FS；滞后 H ：___%FS；

不重复度 R ：___%FS；综合误差 E_c ：___%FS

3. 稳定性：_____。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J.7 振弦式静力水准仪（量水堰水位计）

检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 绝缘性能

传感器绝缘电阻：_____ MΩ。

3. 静态特性

静态特性检验测试记录表（例：量程 300mm）

频率模数 (kHz ²)	水位 (mm)					
	0	60	120	180	240	300
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K : _____ mm/kHz²; 分辨力 r : _____ %FS; 非线性度 L : _____ %FS

滞后 H : _____ %FS; 不重复度 R : _____ %FS; 综合误差 E_c : _____ %FS

4. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	30	60
测读温度 (°C)			
频率模数 (kHz ²)			

测温误差: _____ °C; 温度影响 δ_t : _____ %FS/°C; 温度修正系数 b : _____ mm/°C

5. 稳定性: _____。

检验测试人: _____ 计算人: _____ 校核人: _____ 日期: _____

J.8 电容式静力水准仪（量水堰水位计）

检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 绝缘性能

a) 常温常压下传感器极板间绝缘电阻为_____MΩ。

b) 常温常压下传感器各芯线与屏蔽线间绝缘电阻为_____MΩ。

3. 静态特性

静态特性检验测试记录表（例：量程 40mm）

电容比 (0.01%)	水位 (mm)					
	0	8	16	24	32	40
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K : _____mm; 分辨力 r : _____%FS; 非线性度 L : _____%FS

滞后 H : _____%FS; 不重复度 R : _____%FS; 综合误差 E_c : _____%FS

4. 温度附加误差：_____。

5. 湿度影响误差：_____。

6. 稳定性：_____。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J.9 电磁式（干簧管式）沉降仪检验 测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。
2. 防水密封性
 测头及电缆能承受_____MPa 水压力。
3. 静态特性

静态特性检验测试记录表

	标 称 量	1000 (mm)	测读误差 (mm)
沉降仪读数 (mm)	第一次测试（下行）		
	第一次测试（上行）		
	第二次测试（下行）		
	第二次测试（上行）		
	第三次测试（下行）		
	第三次测试（上行）		

最大测读误差：_____mm。

检验测试人： 计算人： 校核人： 日期：

J.10 振弦式沉降仪检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器测头、电缆、连通水管能承受_____MPa 水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 3000mm)

频率模数 (kHz ²)	给定沉降量 (mm)					
	0	600	1200	1800	2400	3000
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K : _____mm/kHz²; 分辨力 r : _____%FS; 非线性度 L : _____%FS
 滞后 H : _____%FS; 不重复度 R : _____%FS; 综合误差 E_c : _____%FS

5. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	30	60
测读温度 (°C)			
频率模数 (kHz ²)			

测温误差: _____℃; 温度影响 δ_t : _____%FS/℃; 温度修正系数 b : _____mm/℃

6. 稳定性

传感器经检验测试后, 其零点漂移为_____ %FS。

检验测试人: _____ 计算人: _____ 校核人: _____ 日期: _____

J.11 伺服加速度计式测斜仪检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器测头、电缆能承受_____MPa水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表（例：量程±30°）

输出电压 (mV)	标称倾斜角 (°)										
	-30	-24	-18	-12	-6	0	+6	+12	+18	+24	+30
第一次循环加荷											
第一次循环卸荷											
第二次循环加荷											
第二次循环卸荷											
第三次循环加荷											
第三次循环卸荷											

传感器系数 K ：_____ (")/mV；分辨力 r ：_____ %FS；非线性度 L ：_____ %FS

滞后 H ：_____ %FS；不重复度 R ：_____ %FS；综合误差 E_c ：_____ %FS

5. 稳定性

传感器经检验测试后，其零点漂移为_____ %FS。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J. 12 振弦式测斜仪检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器测头、电缆能承受_____MPa 水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表（例：量程±5°）

频率模数 (kHz ²)	标称倾斜角 (°)										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
第一次循环加荷											
第一次循环卸荷											
第二次循环加荷											
第二次循环卸荷											
第三次循环加荷											
第三次循环卸荷											

传感器系数 K : _____ (") /kHz²; 分辨力 r : _____ %FS; 非线性度 L : _____ %FS
 滞后 H : _____ %FS; 不重复度 R : _____ %FS; 综合误差 E_c : _____ %FS

5. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	20	40
测读温度 (°C)			
频率模数 (kHz ²)			

测温误差: _____℃; 温度影响 δ_t : _____ %FS/°C; 温度修正系数 b : _____ (°) /°C

6. 稳定性

检验测试人: _____ 计算人: _____ 校核人: _____ 检测日期: _____

J. 13 振弦式孔隙水压力计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性及过范围限

传感器能够承受_____kPa 水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表（例：量程 300kPa）

频率模数 (kHz ²)	压力 (kPa)					
	0	60	120	180	240	300
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K : _____ kPa/kHz²; 分辨力 r : _____ %FS; 非线性度 L : _____ %FS
 滞后 H : _____ %FS; 不重复度 R : _____ %FS; 综合误差 E_c : _____ %FS

5. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	20	40
测读温度 (°C)			
频率模数 (kHz ²)			

测温误差: _____ °C; 温度影响 δ_t : _____ %FS/°C; 温度修正系数 b : _____ kPa/°C

6. 稳定性

传感器经检验测试后, 其零点漂移为_____ %FS。

检验测试人: _____ 计算人: _____ 校核人: _____ 检测日期: _____

J. 14 差动电阻式孔隙水压力计 检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性及过限范围

传感器能够承受_____kPa 水压力。

3. 绝缘性能

传感器在 0℃水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在 +60℃水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在_____kPa 水中绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 400kPa)

电阻比 (0.01%)	压力 (kPa)					
	0	80	160	240	320	400
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

最小读数 f : _____kPa/0.01%；分辨力 r : _____%FS；非线性度 L : _____%FS

滞后 H : _____%FS；不重复度 R : _____%FS；综合误差 E_c : _____%FS

5. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (℃)	0	20	40
测读温度 (℃)			

测温误差：_____℃。

6. 稳定性

稳定性检测记录表

长期 稳定性	电阻值变化量 Ω	高温 稳定性	电阻值变化量 Ω
	电阻比变化量 %FS		电阻比变化量 %FS
	在___ kPa 水中的绝缘电 阻 $M\Omega$		在___ kPa 水中的绝缘电 阻 $M\Omega$

检验测试人： 计算人： 校核人： 日期：

J. 15 压阻式孔隙水压力计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性及过范围限

传感器能够承受_____kPa水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表（例：量程 300kPa）

输出电压 (mV)	压力 (kPa)					
	0	60	120	180	240	300
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K : _____kPa/mV；分辨力 r : _____%FS；非线性度 L : _____%FS

滞后 H : _____%FS；不重复度 R : _____%FS；综合误差 E_c : _____%FS

5. 稳定性

传感器经检验测试后，其零点漂移为_____ %FS。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J. 16 振弦式锚索测力计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

测力计能够承受_____MPa 定水压力。

3. 绝缘性能

测力计中各传感器绝缘电阻分别为： R_1 _____ $M\Omega$ ； R_2 _____ $M\Omega$ ； R_3 _____ $M\Omega$ 。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 3000kN)

频率模数 (kHz^2)		压力 (kN)						
		0	600	1200	1800	2400	3000	
第一次循环加荷	1							
	2							
	3							
第一次循环卸荷	1							
	2							
	3							
第二次循环加荷	1							
	2							
	3							
第二次循环卸荷	1							
	2							
	3							
第三次循环加荷	1							
	2							
	3							
第三次循环卸荷	1							
	2							
	3							
传感器系数 K (kN/kHz^2)	1		分辨力 r (%FS)	1		非线性度 L (%FS)	1	
	2			2			2	
	3			3			3	
滞后 H (%FS)	1		不重复度 R (%FS)	1		综合误差 E_c (%FS)	1	
	2			2			2	
	3			3			3	

5. 过范围限

传感器能够承受___ kN 拉力。

6. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)		0	30	60
测读温度 (°C)				
频率模数 (kHz ²)	1			
	2			
	3			

测温误差: ___ °C; 温度影响 δ_t : ___ %FS/°C; 温度修正系数 b : ___ kN/°C

7. 稳定性

传感器经检验测试后, 其零点漂移为 ___ %FS。

检验测试人: 计算人: 校核人: 日期:

J.17 差动电阻式锚索测力计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__ °C；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

测力计能够承受___MPa 水压力，历时 30min 无渗漏，其绝缘电阻为___MΩ。

3. 绝缘性能

测力计在 0°C 水中绝缘电阻为___MΩ；测力计在 +60°C 水中绝缘电阻为___MΩ；测力计在 0.5MPa 或规定压力水中绝缘电阻为___MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 3000kN)

电阻比 (0.01%)		压力 (kN)					
		0	600	1200	1800	2400	3000
第一次循环加荷	1						
	2						
	3						
第一次循环卸荷	1						
	2						
	3						
第二次循环加荷	1						
	2						
	3						
第二次循环卸荷	1						
	2						
	3						
第三次循环加荷	1						
	2						
	3						
第三次循环卸荷	1						
	2						
	3						
最小读数 f (kN/0.01%)	1		分辨率 r (%FS)	1	非线性度 L (%FS)	1	综合误差 E_c (%FS)
	2	2		2			
	3	3		3			
滞后 H (%FS)	1	不重复度 R (%FS)	1	综合误差 E_c (%FS)	1	综合误差 E_c (%FS)	
	2		2		2		
	3		3		3		

5. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)		0	30	60
测读温度 (°C)	1			
	2			
	3			

测温误差: ____ °C; 温度影响 δ_t : ____ %FS/°C; 温度修正系数 b : ____ kN/°C

6. 稳定性

稳定性检测记录表

长期稳定性	电阻值变化量 Ω	高温稳定性	电阻值变化量 Ω
	电阻比变化量 %FS		电阻比变化量 %FS
	在 ____ MPa 压力水中的绝缘电阻 $M\Omega$		在 ____ MPa 压力水中的绝缘电阻 $M\Omega$

检验测试人: 计算人: 校核人: 日期:

J.18 振弦式土压力计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性及过范围限

传感器能够承受_____MPa 水压力。

传感器具有承受_____kPa 的能力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 3000kPa)

频率模数 (kHz ²)	压力 (kPa)					
	0	600	1200	1800	2400	3000
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K ：_____kPa/kHz²；分辨力 r ：_____%FS；非线性度 L ：_____%FS
滞后 H ：_____%FS；不重复度 R ：_____%FS；综合误差 E_c ：_____%FS

5. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	30	60
测读温度 (°C)			
频率模数 (kHz ²)			

测温误差：_____℃；温度影响 δ_t ：_____%FS/℃；温度修正系数 b ：_____kPa/℃

6. 稳定性

传感器经检验测试后，其零点漂移为_____%FS。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J.19 差动电阻式土压力计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____MPa水压力。

3. 绝缘性能

传感器在0℃水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在+60℃水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在0.5MPa或规定水压力水中绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表（例：量程4000kPa）

电阻比 (0.01%)	压力 (kPa)					
	0	800	1600	2400	3200	4000
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

最小读数 f : _____kPa/0.01%；分辨力 r : _____%FS；非线性度 L : _____%FS

滞后 H : _____%FS；不重复度 R : _____%FS；综合误差 E_c : _____%FS

5. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	30	60
测读温度 (°C)			

测温误差：_____℃

6. 稳定性

稳定性检测记录表

长 期 稳定性	电阻值变化量 Ω	高 温 稳定性	电阻值变化量 Ω
	电阻比变化量 %FS		电阻比变化量 %FS
	在 MPa 水压力水中 的绝缘电阻 M Ω		在 MPa 水压力水中的 绝缘电阻 M Ω

检验测试人： 计算人： 校核人： 日期：

J. 20 振弦式钢筋计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____MPa水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 200MPa, $d=16$)

频率模数 (kHz ²)	拉力 (kN)					
	0	8	16	24	32	40
	拉应力 (MPa)					
	0	40	80	120	160	200
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

传感器系数 K : ___ kPa/kHz²; 分辨力 r : ___%FS; 非线性度 L : ___%FS
 滞后 H : ___%FS; 不重复度 R : ___%FS; 综合误差 E_c : ___%FS

5. 过范围限

6. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	30	60
测读温度 (°C)			
频率模数 (kHz ²)			

测温误差: ___℃; 温度影响 δ_t : ___%FS/℃; 温度修正系数 b : ___ kPa/℃

7. 稳定性

传感器经检验测试后, 其零点漂移为_____%FS。

检验测试人: _____ 计算人: _____ 审核人: _____ 日期: _____

J. 21 差动电阻式钢筋计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____MPa 水压力。

3. 绝缘性能

传感器在 0℃水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在 +60℃水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在 0.5MPa 或规定压力水中绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 200MPa, $d=16$)

电阻比 (0.01%)	拉力 (kN)					
	0	8	16	24	32	40
	拉应力 (MPa)					
	0	40	80	120	160	200
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

最小读数 f : _____kPa/0.01%；分辨力 r : _____%FS；非线性度 L : _____%FS

滞后 H : _____%FS；不重复度 R : _____%FS；综合误差 E_c : _____%FS

5. 过限范围

传感器能够承受_____MPa 拉应力。

6. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	30	60
测读温度 (°C)			

测温误差: ____ °C

7. 稳定性

稳定性检测记录表

长 期 稳定性	电阻值变化量 Ω	高 温 稳定性	电阻值变化量 Ω
	电阻比变化量 %FS		电阻比变化量 %FS
	在 MPa 压力水中的 绝缘电阻 M Ω		在 MPa 压力水中的绝 缘电阻 M Ω

检验测试人: 计算人: 校核人: 日期:

J.22 振弦式应变计检验测试记录格式

仪器编号: _____ 环境条件: 室温: ___ °C; 相对湿度: ___ %RH
 检验测试中使用仪器及编号: _____

1. 外观: _____。

2. 防水密封性

传感器能够承受 _____ MPa 或规定水压力, 历时 30min 无渗漏, 且绝缘电阻为 _____ MΩ。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为 _____ MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例: 量程 3000 $\mu\epsilon$, $L=150\text{mm}$)

频率模数 (kHz ²)	千分表读数 (μm)						
	0	75	150	225	300	375	450
	应变量 ($\mu\epsilon$)						
	-1500	-1000	-500	0	500	1000	1500
第一次循环加荷							
第一次循环卸荷							
第二次循环加荷							
第二次循环卸荷							
第三次循环加荷							
第三次循环卸荷							

传感器系数 K : _____ $\mu\text{s}/\text{kHz}^2$; 分辨力 r : _____ %FS; 非线性度 L : _____ %FS
 滞后 H : _____ %FS; 不重复度 R : _____ %FS; 综合误差 E_c : _____ %FS

5. 过范围限

传感器具有承受测量超过测量范围 1.2 倍应变的能力。

6. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	30	60
测读温度 (°C)			
频率模数 (kHz ²)			

测温误差: _____ °C; 温度影响 δ : _____ %FS/°C; 温度修正系数 b : _____ $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$

7. 稳定性

传感器经检验测试后, 其零点漂移为 _____ %FS。

检验测试人: _____ 计算人: _____ 校核人: _____ 日期: _____

J. 23 差动电阻式应变计

检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____MPa 水压力，历时 30min 无渗漏，且绝缘电阻为_____MΩ。

3. 绝缘性能

传感器在 0℃ 水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在 +60℃ 水中绝缘电阻为_____MΩ。

传感器在 0.5MPa 或规定压力水中绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表 (例：量程 2500μ ϵ ，L=100mm)

电阻比 (0.01%)	千分表读数 (μm)					
	0	75	150	225	300	375
	应变量 ($\mu\epsilon$)					
	-1500	-1000	-500	0	500	1000
第一次循环加荷						
第一次循环卸荷						
第二次循环加荷						
第二次循环卸荷						
第三次循环加荷						
第三次循环卸荷						

最小读数 f : _____ $\mu\epsilon/0.01\%$ ；分辨力 r : _____%FS；非线性度 L : _____%FS

滞后 H : _____%FS；不重复度 R : _____%FS；综合误差 E_c : _____%FS

5. 过限范围

传感器具有承受测量超过测量范围 1.2 倍应变的能力。

6. 温度测量误差

温度测量误差检测记录表

试验温度 (°C)	0	30	60
测读温度 (°C)			

测温误差: ____ °C; 温度影响 δ_t : ____ %FS/°C; 温度修正系数 b : ____ $\mu\epsilon$ /°C

7. 稳定性

稳定性检测记录表

长期 稳定性	电阻值变化量 ____ Ω	高温 稳定性	电阻值变化量 ____ Ω
	电阻比变化量 ____ %FS		电阻比变化量 ____ %FS
	在 0.5MPa 或规定压力水中的绝缘电阻 ____ $M\Omega$		在 0.5MPa 或规定压力水中的绝缘电阻 ____ $M\Omega$

检验测试人: 计算人: 校核人: 日期:

J. 24 铜电阻式温度计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____MPa 或规定水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表

温度 (℃)	0	20	40	60
R_t (Ω)				
计算温度 (℃)				
δ_t (℃)				
注 1：表中第一行温度为二等标准水银温度计示值，实际试验时以示值为准； 注 2：传感器计算公式及系数由厂家提供； 注 3： δ_t 为二等标准水银温度计示值与计算温度之差。				

检验测试人： 计算人： 校核人： 日期：

J. 25 热敏电阻式温度计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____MPa 水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表

温度 (°C)	0	20	40	60
直读或计算温度 (°C)				
δ_1 (°C)				

注 1：表中第一行温度为二等标准水银温度计示值，实际试验时以示值为准；
注 2：如为计算温度，传感器计算公式由厂家提供；
注 3： δ_1 为二等标准水银温度计示值与直读（或计算）温度之差。

检验测试人： 计算人： 校核人： 日期：

J. 26 振弦式温度计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 外观：_____。

2. 防水密封性

传感器能够承受_____MPa 或规定水压力。

3. 绝缘性能

传感器绝缘电阻为_____MΩ。

4. 静态特性

静态特性检验测试记录表

温度 (°C)	0	20	40	60
频率模数 (kHz ²)				
计算温度 (°C)				
δ_i (°C)				
注 1：表中第一行温度为二等标准水银温度计示值，实际试验时以示值为准； 注 2：传感器系数由厂家提供； 注 3： δ_i 为二等标准水银温度计示值与计算温度之差。				

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J.27 浮子式水位计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH
 检验测试中使用仪器及编号：_____

- 外观：_____。
- 测量误差（分辨力、测量范围、基本误差）

表 1 水位计测量误差检测记录表

测次	标准水位 (cm)	测量水位 (cm)	误差 (cm)	测次	标准水位 (cm)	测量水位 (cm)	误差 (cm)
1				11			
2				12			
3				13			
⋮				⋮			
10				20			

- 回差

表 2 回差检测记录表

水位测试点 (m)	3.00			6.00			9.00		
	1次	2次	3次	1次	2次	3次	1次	2次	3次
水位上升读数 (m)									
水位下降读数 (m)									
上升与下降水位差值 (m)									
上升与下降水位差值的平均值(m)									

- 重复性误差

表 3 重复性误差检测记录表

水位测试点 (m)		3.00	6.00	9.00
升至测试点读数 (m)	1次			
	2次			
	3次			
	4次			
	5次			
同一测试点最大最小值之差 (m)				
三测试点差值最大值 (m)				

- 浮子防水密封性

- 绝缘性能

仪器绝缘电阻 _____ MΩ。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J.28 气介质超声波水位计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用的仪器及编号：_____

1. 测量误差（分辨力、测量范围、盲区、准确度）

表 1 水位计测量误差检测记录表

测次	标准水位 (cm)	测量水位 (cm)	误差 (cm)	测次	标准水位 (cm)	测量水位 (cm)	误差 (cm)
1				11			
2				12			
3				13			
⋮				⋮			
10				20			

2. 重复性误差

表 2 重复性误差检测记录表

水位测试点 (m)	3.00			6.00			9.00		
	1次	2次	3次	1次	2次	3次	1次	2次	3次
水位计上升（或下降）读数（m）									
水位计上升（或下降） 读数平均值（m）									
水位计上升（或下降）读数 与均值的差值（m）									

3. 再现性误差

表 3 再现性误差检测记录表

水位测试点（m）			
水位计读数 (m)	1次		
	2次		
	3次		
	4次		
水位计读数与约定真值 之差的最大值（m）			

4. 绝缘电阻

传感器两信号线之间电阻为_____MΩ，机壳与电源线之间电阻为_____MΩ。

检验测试人：_____ 计算人：_____ 校核人：_____ 日期：_____

J. 29 翻斗式雨量计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用的仪器及编号：_____

1. 承雨口内径测量

表 1 承雨口内径测量记录表

测量次数	1	2	3	4	5
测量数值 (mm)					
测量平均值 (mm)					

2. 准确度

表 2 准确度检测记录表

降雨强度 (mm/min)	0.3~0.5	1.5~2.5	3.8~4.2
翻斗实际翻转水量 (mL)			
(准确度) 翻斗计量误差 E_c (%)			

3. 重复性误差

表 3 准确度、重复性误差检测记录表

降雨强度 (mm/min)		0.3~0.5	1.5~2.5	3.8~4.2
翻斗实际翻转水量 (mL)	1 次			
	2 次			
	3 次			
重复性误差 (%)		δ_1	δ_2	δ_3

4. 输出端与外壳间绝缘电阻 _____ $M\Omega$

5. 输出端开路电阻 _____ $M\Omega$

6. 输出端接触电阻 _____ Ω

检验测试人：_____ 计算人：_____ 审核人：_____ 日期：_____

J. 30 虹吸式雨量计检验测试记录格式

仪器编号：_____ 环境条件：室温：__℃；相对湿度：__%RH

检验测试中使用仪器及编号：_____

1. 承雨口内径测量

表 1 承雨口内径测量记录表

测量次数	1	2	3	4	5
测量数值 (mm)					
测量平均值 (mm)					

2. 虹吸时间

表 2 虹吸时间测量记录表

测量次数	1	2	3
虹吸时间 (s)			

3. 记录误差、零点和虹吸点的不稳定性

表 3 记录测试记录表

记录值	降雨量 (mm)		
	1	5	10
1			
2			
3			
记录误差			

检验测试人： 计算人： 校核人： 日期：

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

大坝安全监测仪器检验测试规程

SL 530—2012

条 文 说 明

目 次

1 总则	109
2 术语与定义	111
3 检验测试通用条款	112
4 变形监测仪器静态特性检验测试	113
5 渗流监测仪器静态特性检验测试	116
6 力、应力、应变及温度监测仪器检验测试	117
7 环境量监测仪器检验测试	118
附录 A~G	119

1 总 则

1.0.1 “大坝安全监测仪器埋设前”规定为安装埋设前一年内，即监测仪器经检验测试合格的有效期限为一年，超过有效期限未实施安装埋设的监测仪器应重新检验测试。

1.0.3 本条中的实验室资质指经过行业计量认证/审查认可（验收）并获得大坝安全监测仪器参数检验测试资质的、能够对监测仪器或其参数进行检验测试以及提供具有法律效力的数据或报告的实验室。

1.0.5 本标准的制定参照了下列标准：

《岩土工程仪器系列型谱》（GB/T 21029）

《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》（GB/T 15406）

《水文仪器基本环境试验条件及方法》（GB/T 9359）

《压力传感器性能试验方法》（GB/T 15478）

《土工试验仪器 岩土工程仪器振弦式传感器通用技术条件》
（GB/T 13606）

《大坝监测仪器 应变计 第1部分：差动电阻式应变计》
（GB/T 3408.1）

《大坝监测仪器 应变计 第2部分：振弦式应变计》（GB/
T 3408.2）

《大坝监测仪器 钢筋计 第1部分：差动电阻式钢筋计》
（GB/T 3409.1）

《大坝监测仪器 测缝计 第1部分：差动电阻式测缝计》
（GB/T 3410.1）

《大坝监测仪器 测缝计 第2部分：振弦式测缝计》（GB/
T 3410.2）

《大坝监测仪器 孔隙水压力计 第1部分：振弦式孔隙水
压力计》（GB/T 3411.1）

- 《差动电阻式孔隙压力计》(GB/T 3411)
- 《大坝监测仪器 埋入式铜电阻温度计》(GB/T 3413)
- 《大坝安全监测系统验收规范》(GB/T 22385)
- 《水位测量仪器 第1部分:浮子式水位计》(GB/T 11828.1)
- 《翻斗式雨量计》(GB/T 11832)
- 《超声波水位计》(SL/T 184)
- 《电容式位移计》(DL/T 1017—2006)
- 《电容式测缝计》(DL/T 1018—2006)
- 《电容式引张线仪》(DL/T 1016—2006)
- 《电容式垂线坐标仪》(DL/T 1019—2006)
- 《电容式静力水准仪》(DL/T 1020—2006)
- 《电容式量水堰水位计》(DL/T 1021—2006)
- 《光电式(CCD)垂线坐标仪》(DL/T 1061—2007)
- 《差动电阻式位移计》(DL/T 1063—2007)
- 《差动电阻式锚索测力计》(DL/T 1064—2007)
- 《差动电阻式锚杆应力计》(DL/T 1065—2007)
- 《光电式(CCD)静力水准仪》(DL/T 1086—2008)
- 《钢弦式钢筋应力计》(DL/T 1136—2009)
- 《钢弦式土压力计》(DL/T 1137—2009)

2 术语与定义

2.0.6 差动电阻式仪器标准未规定分辨率要求，本标准中的差动电阻式仪器的分辨率指标计算方法为最小读数除以仪器量程。

2.0.7 传感器工作直线拟合方法有最小二乘直线法、端基（点）直线法和独立直线法等，相对应的线性度分别称为最小二乘线性度、端基线性度和独立线性度。本标准传感器静态特性计算中，推荐最小二乘法直线法，差动电阻式传感器可采用端基直线法，温度测量仪器可采用独立直线法。

非线性度又称非直线度、线性度误差、非线性误差等，线性度与非线性度之和为 100%。本标准非线性度符号均以 L 表示，与差动电阻式的 α 、电容式的 δ_1 等为同一指标。

2.0.8 传感器工作特性采用曲线拟合时，以符合度表征传感器平均校准曲线与工作曲线间的不一致程度。曲线拟合时的符合度相当于直线拟合时的非线性度。

2.0.9 不重复度又称重复性误差，本标准不重复度符号均以 R 表示，与差动电阻式的 α'' 、电容式的 δ_2 等为同一指标。

2.0.10 滞后又称回差、迟滞误差，本标准滞后符号均以 H 表示，与差动电阻式的 α' 、电容式的 δ_3 等为同一指标。

3 检验测试通用条款

3.2 外观及标志

3.3.2 传感器防水密封性包括传感器和信号电缆的防水密封性。在此项检验时，“传感器置于水压力罐水中，电缆线端应引出压力罐外或露出水面”包括两层含义：将传感器信号电缆端引出水压力罐外的方式直接加压，而电缆线端在水压力罐内通过转接装置将传感器信号引出罐外的检验方式，罐内水面不得淹没电缆线端头，避免在线头浸水且在压力作用下破坏传感器绝缘性。

非水压力式传感器“规定的防水密封压力”包括浸入水中 0.1m、0.5m、1.0m 以及在 0.25MPa、0.75MPa、1.00MPa、1.50MPa、2.00MPa、2.50MPa 和 3.00MPa 等水压力下。

为规约传感器信号输出的稳定性，以传感器读数仪测读读数的个位数在 15s 内首尾两次测值之差不大于读数仪 10 倍的分辨力作为定量考核依据。如差动电阻式仪器读数变化量不大于 1 个电阻比，振弦式仪器不大于 1Hz 或 1kHz^2 ；电容式仪器读数变化量不大于 1 个电容比，电位器式仪器不大于 1mV。

3.4 绝缘性

3.4.3 绝缘性检验测试时，应将传感器芯线可靠并联后施测”的含义为：并联的信号电缆芯线接兆欧表接线端，传感器外壳或信号电缆外护套接兆欧表接地端，然后按绝缘电阻测试方法检测传感器绝缘电阻，避免损坏传感器敏感元件。

3.7 温度影响

3.7.5 传感器温度影响试验与温度测量误差试验可合并进行。因低温试验消耗资源大，历时长，一般情况下温度试验的温度测试点宜在 0°C 以上选取，温度间隔可适当调整。

4 变形监测仪器静态特性检验测试

4.1 测缝计和变位计

4.1.1~4.1.5 测缝计一般不进行压缩性检测，即仅在零开度以上进行检测；位移计检测参照测缝计检测方法执行。

4.1.6 变位计由位移计改装而成，即将位移计与单点、双点或多点型式的变形传递杆固联组合后，嵌置于保护套管内。常用的变位计有振弦式变位计、差动电阻式变位计和电位器式变位计，分别由振弦式位移计、差动电阻式位移计和电位器式位移计改装而成，因此，变位计的检验测试除变形传递杆、保护套管、锚栓的外观检查及组合机构灵活性检验外，其检验测试的实质内容是相应型式的位移计的检验测试。因此，变位计的检验测试参见4.1节。

4.2 垂线坐标仪和引张线仪

4.2.1~4.2.5 光电式（CCD）垂线坐标仪静态特性的检验测试方法与电容式垂线坐标仪的相近，可参照执行。需要说明的是：电力行业标准《光电式（CCD）垂线坐标仪》（DL/T 1061—2007）给出的光电式（CCD）垂线坐标仪的性能参数包括通信接口、分辨力、基本误差和不重复度。其中，通信接口应满足坐标仪与计算机或专用接收设备信号传输要求；分辨力的检测以坐标仪分辨力最大值作为步长，在选定测点同方向复测5次，结果单调且不大于标称分辨力；基本误差的定义为“循环重复检测时各测试点最大测值与最小测值之差的最大值与坐标仪量程之比”，相当于常规仪器的最大“非线性度”；不重复度的定义为“循环重复检测时各测试点测值与给定值（约定真值）之差的最大值与坐标仪量程之比”相当于常规仪器的“不重复度”和“滞后”两项误差的最大综合误差。光电式垂线坐标仪的基本误差和不重复

度的计算方法见 DL/T 1061—2007 第 6.1.4 条和第 6.1.5 条。

4.2.6 引张线仪的位移量可采用人工观测，也可采用仪器实现自动化或半自动化监测。常用的监测仪器型式有电容式和步进电机式，分别名之为电容式引张线仪和步进电机式引张线仪。

电容式引张线仪和步进电机式引张线仪的测量仪器分别与电容式垂线坐标仪和步进电机式垂线坐标仪相同，检验测试方法亦同，仅线体状态不同，引张线仪线体为水平，垂线坐标仪线体为铅直。引张线仪的检验测试参见 4.2.1~4.2.5 条。

4.3 静力水准仪

光电式（CCD）静力水准仪静态特性的检验测试方法与电容式静力水准仪的相近，可参照执行。电力行业标准《光电式（CCD）静力水准仪》（DL/T 1086—2008）给出的性能参数要求与光电式（CCD）垂线坐标仪的基本相同，参见条文说明 4.2.1~4.2.5 条。

4.4 沉降仪

用于土石坝、边坡或填方内部设定点竖向位移监测的仪器或装置统称沉降仪。常用的沉降仪有电磁式、干簧管式、水管式和振弦式沉降仪。

干簧管式沉降仪的构造与电磁式沉降仪基本相同，不同的是测头用干簧管制成，示踪环为永久磁铁。

水管式沉降仪主要由沉降测头、管路、测量板三部分组成，是利用连通管在同一大气环境下管内水位处于同一大地水准面的原理进行沉降测量的装置，可以直接测读出结构物各沉降点沉降量，因此，其检验测试主要是管路密封性检验测试，采用测量仪器自动测量水管水位的水管式沉降仪的检验测试将其归类于相应水位监测仪器的检验测试。

4.5 测斜仪

测量倾斜的仪器通常可分为两大类：一类是用于钻孔安装的

测斜管内的测斜仪器，习惯上称为测斜仪；一类是设置在基岩或建筑物表面，测量某一点相对于仪器所在平面的偏转量，或某一点相对于另一点垂直位移量的仪器，称为倾斜仪。

测斜仪固定于测斜管内某一高程点连续、自动或遥测其所在位置的倾角变化，通常称为固定式测斜仪；而带有导向轮、用于逐点测量测斜管全程沿测斜管导向槽方向相对于管轴线偏移量的测斜仪，通常称之为移动式、便携式或滑动式测斜仪。

同一类型的测斜仪器不管采用何种测量方式，其检验测试方法基本相同，故本规程不再对测量方式进行区分。

5 渗流监测仪器静态特性检验测试

5.1 孔隙水压力计

孔隙水压力计型式众多，有竖管式、水管式、气压式和电测式几类。电测式孔隙水压力计又称渗压计，根据其工作原理分为振弦式、差动电阻式、压阻式和电阻应变片式等。电阻应变片式在国内罕用，本规程仅规范振弦式、差动电阻式、压阻式孔隙水压力计的检验测试。

5.2 量水堰水位计

渗流量是反映大坝渗流状态的重要参数之一，一般通过测量堰上水头的方式计算渗流水量，本规程仅介绍测量堰上水头的渗流量监测仪器的检验测试。

土石坝和混凝土坝监测技术规范要求量水堰水位计监测的准确度不大于 1mm，因此，对水位计的检测装置的准确度要求较高。为避免或消除水位变动的误差，本规程检测用水箱工作方式为非溢流式，为此，要求式 (4.3.4-1) 和式 (4.3.4-2) 的振弦式水位计浮筒截面积和电容式量水堰仪进水筒（外筒）内截面积 S 与水箱水面面积 S_1 之比小于 0.1，即 $S_1 : S \leq 1 : 10$ ，且水箱深度及水位变幅大于传感器量程，在传感器全量程范围内，水箱内水面应低于其上口。

6 力、应力、应变及温度 监测仪器检验测试

在实际应用中，锚杆测力计、锚索测力计等计算结果是“力”，试验中对传感器施加的也是“力”，因此，本章的标题将“力”监测仪器单列名目。

6.2 土 压 力 计

根据其监测方式不同，土压力计分为埋入式和边界式土压力计。埋入式土压力计是埋入土体中测量土中的应力分布情况，也称土中土压力计或介质式土压力计；边界式土压力计是安装于刚性结构物表面，传感器承力面朝向土体测量结构物与土体的接触应力，也称界面式或接触式土压力计。

土压力计有立式、卧式和分离式三种结构型式，从结构上讲，埋入式土压力计（盒）直径与其厚度之比为 $10:1\sim 20:1$ ，边界式土压力计一般不作要求。

6.3 钢 筋 计

钢筋计又称钢筋应力计，用于测量钢筋混凝土内的钢筋应力。常用的钢筋计有振弦式和差动电阻式钢筋计。

钢筋计一般仅进行拉应力试验，在实际应用中，压应力计算引用拉应力试验参数。被要求进行压应力试验的钢筋计，其整体应非细长杆结构，且应制备相应的夹具，使钢筋计在受压试验中均衡受力，避免偏心载荷。

7 环境量监测仪器检验测试

7.1 水 位 计

水位计的检验测试主要依据《浮子水位计》(GB/T 11828.1—2002)、《超声波水位计》(SL/T 184—1997)、《水文仪器基本环境试验条件及方法》(GB/T 9359—2001)等标准规定进行检验测试。

本规程浮子式水位计回差和重复性误差选择 3.00m、6.00m 和 9.00m 作为水位测试点,实际操作中,三测试点可任意选择,其原则是应尽可能覆盖全测量范围。

采用超声波水位计监测环境量中的水位时,一般选用气介质的,故本规程仅规定气介质超声波水位计的检测。

7.2 雨 量 计

雨量计的检验测试主要依据《翻斗式雨量计》(GB/T 11832—2002)、《水文仪器基本环境试验条件及方法》(GB/T 9359—2001)等标准规定进行检验测试。

附录 A~G

传感器静态特性检验测试时，曲线拟合可采用本标准推荐的曲线拟合公式，也可根据用户要求、或参照厂家提供的方式，进行二次或多次拟合。

中国水利水电出版社

水利水电技术标准咨询服务中心简介

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其它学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已经出版近三万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（第三水利水电编辑室）主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责编辑出版水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的咨询服务，进一步做好标准出版工作。

联系电话：010—68317913（传真）

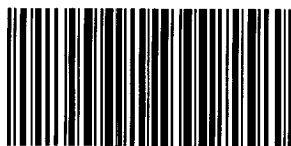
主 任：王德鸿 010—68545951 wdh@waterpub.com.cn

主任助理：陈 昊 010—68545981 hero@waterpub.com.cn

策划编辑：林 京 010—68545948 lj@waterpub.com.cn

王 启 010—68545982 wqi@waterpub.com.cn

杨露茜 010—68545995 ylx@waterpub.com.cn



155084.944

中华人民共和国水利行业标准
大坝安全监测仪器检验测试规程
SL 530—2012

*

中国水利水电出版社出版发行
(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)
网址: www.waterpub.com.cn
E-mail: sales@waterpub.com.cn
电话: (010)68367658(发行部)
北京科水图书销售中心(零售)
电话: (010)88383994、63202643、68545874
全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售
三河市鑫金马印装有限公司印刷

*

140mm×203mm 32开本 4印张 108千字
2012年6月第1版 2012年6月第1次印刷
印数 0001—2000册

*

书号 155084·944
定价 40.00元

凡购买我社规程,如有缺页、倒页、脱页的,
本社发行部负责调换
其他问题,请与本社水利水电技术标准咨询服务中心联系
电话(传真):(010)68317913
E-mail: jwh@waterpub.com.cn

版权所有·侵权必究