

中华人民共和国水利行业标准

SL 548—2012

替代 SD 140—85

泵站现场测试与安全检测规程

The code of practice of field testing of performance
and safety for pumping station

2012-04-23 发布

2012-07-23 实施



中华人民共和国水利部 发布

前 言

《泵站现场测试规程》(SD 140—85)颁布 27 年来,对我国泵站现场测试工作发挥了重大的作用。随着我国泵站建设和科学技术的进步,以及泵站更新改造工作对泵站现场安全检测提出的新要求,迫切需要对原规程进行修订,并扩充泵站现场安全检测的相关内容。根据水利部 2008 年水利技术标准制(修)订计划,和《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求,修订《泵站现场测试规程》(SD 140—85),并将标准名称改为《泵站现场测试与安全检测规程》(SL 548—2012)。

本标准共 9 章 30 节 4 个附录,主要内容有:总则、基本规定、流量测定、扬程测定、转速与功率测定、其他参数测量、建筑物安全检测、电气设备安全检测和机械设备与金属结构安全检测等。

本标准修订的主要内容有:

- 对原规程的内容进行了扩充,名称做了变更;
- 对原规程框架、结构进行了调整;
- 对总则内容进行了调整、修改,删除了原规程总则中对术语定义、测量误差等的规定;
- 增加了基本规定、其他参数测量、建筑物安全检测、电气设备安全检测、机械设备与金属结构安全检测等章,删除了“柴油机抽水装置效率的测定”一章;
- 删除了原标准中的有关测试原理的内容;
- 将原规程中测试原理相同的测试方法进行了归并,对其他相关标准中规定的测试方法,直接引用其标准名及标准号;
- 增加了泵站现场性能测试不确定度评定内容,增加了附录 D 水泵轴功率测定方法等。
- 将原规程部分附录中的内容写入了标准的条文说明;

——更正了原标准公式、图表和文字中的错误。

本标准所替代标准的历次版本为：

——SD 140—85

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部农村水利司

本标准解释单位：水利部农村水利司

本标准主编单位：中国灌溉排水发展中心

本标准参编单位：中国农业机械化科学研究院

水利部泵站测试中心（武汉大学）

中国农业大学

中国灌溉排水中心水机现场检测站（山西）

扬州大学测试中心

广东省水利厅农村机电局

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：李琪 许建中 兰才有 李端明

刘德祥 汤方平 张泽良 王福军

古智生 储训

本标准审查会议技术负责人：窦以松

本标准体例格式审查人：窦以松

目 次

1	总则	1
2	基本规定	3
3	流量测定	4
3.1	一般规定	4
3.2	流速仪法	5
3.3	超声波法	7
3.4	食盐浓度法	8
3.5	差压法	9
3.6	其他测流方法	10
4	扬程测定	11
4.1	水位测量	11
4.2	压力测量	11
4.3	扬程计算	12
5	转速与功率测定	14
5.1	转速测量	14
5.2	电动机输入功率测定	14
5.3	水泵轴功率测定	15
5.4	其他电量参数测定	16
6	其他参数测量	17
6.1	振动测量	17
6.2	噪声测量	17
6.3	温度测量	17
6.4	压力脉动测量	17
7	建筑物安全检测	19
7.1	一般规定	19
7.2	混凝土结构	19

7.3	砌体结构	20
8	电气设备安全检测	21
8.1	一般规定	21
8.2	主电动机	22
8.3	电力变压器	23
8.4	高压开关设备	25
8.5	低压电器	25
8.6	电力电缆线路	25
8.7	接地装置	27
9	机械设备与金属结构安全检测	28
9.1	一般规定	28
9.2	机械设备	28
9.3	金属结构	29
附录 A	泵站现场性能测试不确定度评定	31
附录 B	泵站现场性能测试不确定度评定范例	33
附录 C	流速仪法测流的测点布置与流量计算	53
附录 D	水泵轴功率测定方法	62
	标准用词说明	65
	条文说明	67

1 总 则

1.0.1 为了规范泵站现场性能测试和安全检测的内容与方法，提高泵站运行安全性和可靠性，促进泵站节能降耗，充分发挥泵站工程效益，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于大中型泵站的现场性能测试和安全检测。小型泵站的现场性能测试和安全检测可参照执行。

1.0.3 泵站等级的划分，应按《泵站设计规范》（GB/T 50265）的规定执行。

1.0.4 本标准引用标准主要有：

《一般压力表》（GB/T 1226）

《精密压力表》（GB/T 1227）

《产品几何量技术规范（GPS）形状和位置公差 检测规定》（GB/T 1958）

《水泵流量的测定方法》（GB/T 3214）

《回转动力泵水力性能验收试验 1级和2级》（GB/T 3216—2005）

《铸钢件渗透探伤及缺陷显示迹痕的评级方法》（GB/T 9443）

《轴中心高为56mm及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值》（GB 10068/IEC 60034—14）

《旋转电机噪声测定方法及限值》（GB/T 10069）

《潜水电泵 试验方法》（GB/T 12785）

《水力机械振动和脉动现场测试规程》（GB/T 17189）

《电气装置安装工程 电气设备交接试验标准》（GB 50150）

《泵站设计规范》（GB/T 50265）

《建筑结构检测技术标准》（GB/T 50344）

《水位观测标准》（GBJ 138）

- 《泵站安全鉴定规程》(SL 316)
- 《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02)
- 《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03)
- 《现场绝缘试验实施导则 绝缘电阻、吸收比和极化指数试验》(DL/T 474.1)
- 《现场绝缘试验实施导则 直流高电压试验》(DL/T 474.2)
- 《现场绝缘试验实施导则 介质损耗因数 $\tan \delta$ 试验》(DL/T 474.3)
- 《现场绝缘试验实施导则 交流耐压试验》(DL/T 474.4)
- 《接地装置特性参数测量导则》(DL/T 475)
- 《压力钢管安全检测技术规程》(DL/T 709)
- 《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》(DL/T 835)
- 《承压设备无损检测 第5部分 渗透检测》(JB/T 4730.5)
- 《焊缝渗透检验方法和缺陷迹痕的分级》(JB/T 6062)
- 《阀门铸钢件液体渗透检查方法》(JB/T 6902)
- 《泵的振动测量与评价方法》(JB/T 8097)
- 《泵的噪声测量与评价方法》(JB/T 8098)
- 《泵产品零件无损检测 渗透检测》(JB/T 8543.2)
- 《建筑变形测量规程》(JGJ/T 8)
- 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23)
- 《混凝土中钢筋检测技术规程》(JGJ/T 152)

1.0.5 泵站现场性能测试和安全检测除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 基本规定

2.0.1 泵站现场性能测试和安全检测，应根据泵站等级、检测内容、检测目的和要求等，由具有相应资质的检测单位进行。

2.0.2 性能测试和安全检测前，检测单位应会同泵站管理单位制定测试大纲或测试实施方案。

2.0.3 性能测试和安全检测前，泵站管理单位应协助检测单位制定安全保护措施，对检测人员进行必要的安全培训。

2.0.4 性能测试和安全检测过程中，检测人员应遵守泵站的安全规章制度，保证人身、检测仪器设备和泵站设施设备的安全。

2.0.5 性能测试和安全检测的内容应符合下列规定：

1 现场性能测试内容应根据检测目的确定；

2 现场安全检测内容应按《泵站安全鉴定规程》(SL 316)的规定执行。

2.0.6 应根据泵站现场条件选择符合测量不确定度要求、对泵站设施设备破坏小、检测成本低的测试和检测方法。

2.0.7 性能测试和安全检测用的仪器、仪表和设备，除本标准其他条款另有规定外，宜使所测数值在其量程的 30%~95% 范围内；并应经法定计量检定机构校准或检定合格，且在规定的有效期内。对于某些专用仪器、仪表或设备，当检定机构不能检定时，可采用实验室间比对的方式校准。

2.0.8 性能测试和安全检测过程中，应实时观察测量仪器、仪表和设备的工作状态，判定数据的有效性。

2.0.9 性能测试和安全检测工作完成后，检测单位应及时清理并恢复现场，并将原始检测记录整理归档，提交检测报告。检测报告的内容宜包括泵站概况、检测目的与任务、检测依据、检测内容、检测方法、检测数据、检测成果及分析评价等。泵站管理单位应对以上工作予以必要的配合。

3 流量测定

3.1 一般规定

3.1.1 泵站流量测量宜采用流速仪法、超声波法、食盐浓度法或差压法。

3.1.2 实际采用的泵站流量测量方法，应根据泵站现场条件、检测方法的经济性及不确定度要求等，按照表 3.1.2 对各种测量方法的分析与评价，通过综合分析对比确定。

表 3.1.2 泵站流量主要测量方法的分析与评价

序号	测量方法	对水质的要求	对装置的要求	经济性	不确定度	其他
1	流速仪法	水中水草、塑料袋等纤维状或形体大的杂物较少；水质无污染或污染较轻	具有较长的顺直管段，且断面规则，几何尺寸易于测量	成本较高，工作量较大	较低	
2	超声波法	水中纤维状或颗粒状杂物较少	具有一定长度的顺直管段，且断面规则，几何尺寸易于测量	成本低，简便易行	低	易受泵站振动和噪声的影响
3	食盐浓度法	水中氯离子含量较低且稳定	无要求	成本高，工作量大	低	
4	差压法	无要求	具有形成差压的条件	成本低，简便易行	较低	应与其他测试方法配合

3.1.3 当泵站现场装有符合测量不确定度要求的流量测量装置时，可直接利用，但应符合本标准 2.0.7 的规定。

3.1.4 流量测量应与当次测试目的相关的参数的测量同步进行，

并宜与泵站其他性能测试参数的测量同步进行。

3.1.5 每个测量工况的稳定时间不宜少于 15min。

3.1.6 流量测量的不确定度应按附录 A 的规定，并参照附录 B 进行评定。

3.1.7 流量测量的不确定度不应大于 3.5%。

3.2 流速仪法

3.2.1 采用流速仪法测量流量时，应符合下列规定：

- 1 水体温度不应超过 30℃；
- 2 水中的水草、塑料袋等纤维状或形体大的杂物应较少；
- 3 水质无污染或污染应较轻；
- 4 泵站应具有满足流速仪布置要求的测流断面。

3.2.2 测流断面的选择应符合下列规定：

- 1 应优先选择在进出水流道（管道）中；
- 2 断面规则，几何尺寸应易于测量；
- 3 流态稳定，流速分布应相对均匀；
- 4 应垂直于水流方向；
- 5 对于进出水流道或有压流管道，测流断面上游应具有长度不少于 20 倍管径（或 80 倍水力半径）、下游不少于 5 倍管径（或 20 倍水力半径）的顺直段；
- 6 对于明渠，测流断面上下游应具有长度不少于 15 倍水面宽度的顺直段。

3.2.3 流速仪的选用应符合下列规定：

- 1 宜采用旋桨型流速仪；
- 2 流速仪检定的有效测量范围应能涵盖测点的流速变化范围；
- 3 流速仪检定的不确定度不应大于 1.5%。

3.2.4 对于明渠，当水面宽度和水深均不小于 0.8m 时，测点数量应按式（3.2.4）确定，且不应少于 25 个。

$$24 \sqrt[3]{A} < n < 36 \sqrt[3]{A} \quad (3.2.4)$$

式中 A ——测流断面面积, m^2 ;

n ——测点数量, 个。

3.2.5 对于有压流圆形管道, 当直径大于 250mm 时, 测点数量应按式 (3.2.5) 确定。

$$4\sqrt{R} < n < 5\sqrt{R} \quad (3.2.5)$$

式中 R ——测流断面半径, m;

n ——每条半径上的测点数量, 个。

3.2.6 对于矩形流道 (管道), 当短边长度大于 0.8m 时, 测点数量不应少于 26 个。

3.2.7 应制作用于固定流速仪的测流架。测流架应具有足够的刚度和强度, 并能有效固定。测流时, 测流架不应有影响测量不确定度的变形和振动。

3.2.8 流速仪和测流架对被测流道 (管道) 的阻塞率不应大于 6%。

3.2.9 流速仪法测流的测点布置应符合附录 C 的规定。

3.2.10 流速仪安装完成后应进行检查, 并应符合下列规定:

- 1 安装位置应准确;
- 2 与测流架连接应紧固、牢靠;
- 3 流速仪旋桨轴线与测量断面法线的夹角不应大于 5° ;
- 4 流速仪位置编号应与信号采集系统通道编号一一对应;
- 5 流速仪输出信号应正常。

3.2.11 测试前应测量测流断面的形状和面积。

3.2.12 测量时, 测流断面的水流应稳定。对于明渠, 当上游水流波动或风浪较大时, 宜在测流断面上游 10 倍水力半径处加设稳流栅、稳流板等稳流装置。

3.2.13 宜采用计算机同时对所有流速仪的信号进行采集, 一次采集的时间不宜少于 120s。

3.2.14 在进行下一个工况测量前, 应及时对上一个工况采集的数据进行检查和分析。当发现有明显不正常的读数时, 应将流速仪吊出水面进行检查和处理。当不正常数据的个数大于总个数的

10%时，应重新进行测量；当少于 10%时，可对比相似位置的流速仪读数对其进行修正。

3.2.15 测点流速应按安装在该测点处的流速仪检定公式进行计算。

3.2.16 流速仪法测流的流量计算应符合附录 C 的规定。

3.3 超声波法

3.3.1 采用超声波法测量流量时，被测水体应符合下列要求：

- 1 水中不夹带气泡；
- 2 水中夹带的纤维状或颗粒状杂物较少；
- 3 在每个工况点的每次测量过程中，水温变化的允许偏差宜为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

3.3.2 采用超声波法测流时，宜优先选用外夹式多声道超声流量计。

3.3.3 测流断面应符合下列规定：

- 1 应符合 3.2.2 条 2~4 款的要求；
- 2 上下游均应具有一定长度的顺直段，长度满足流量计制造厂家规定的使用要求；
- 3 应远离振动源和噪声源。

3.3.4 多声道流量计各声道形成的测量轴线与水流方向的夹角不应大于 3° 。

3.3.5 流量计安装点上下游顺直段管道的内壁应清洁，不应有明显凹痕、锈蚀、结垢和起皮等缺陷。

3.3.6 流量计探头的安装位置应避开焊缝、接头、管道底部以及易受管道内滞留气体影响的部位。

3.3.7 当采用速度面积法时，应实测测流断面的面积，且面积测量的不确定度不应大于 1%。

3.3.8 对于外夹式超声流量计，应实测探头安装处的管道壁厚，其测量不确定度不应大于 0.3mm。

3.3.9 测量过程中，测流断面的水流应稳定。

3.3.10 每个测量工况的测试时间不宜少于 60s，且读数不宜少于 10 个。测量结果应采用各次测量读数的算术平均值。

3.4 食盐浓度法

3.4.1 当泵站的进出水流道（管道）顺直段长度较短或断面不规整时，宜采用食盐浓度法测量流量。但对于原水中氯离子浓度较高或不稳定的水体，不宜采用食盐浓度法测量流量。

3.4.2 测试前，应根据流量及流道（管道）尺寸加工制作盐水溶液注入装置。盐水溶液喷射栅宜固定在进水流道（管道）进口附近。

3.4.3 盐水溶液喷射口应根据流速分布情况布置，且正对水流方向。盐水溶液喷射口数量应按式（3.4.3）确定：

$$n_1 = k_1 S_1 \quad (3.4.3)$$

式中 n_1 ——盐水溶液喷射口数量，个；

S_1 ——盐水溶液喷射栅处的流道（管道）断面面积， m^2 ；

k_1 ——盐水溶液喷射口布置系数，个/ m^2 ，宜取 $k_1=3$ 。

3.4.4 混合水取样点宜均匀布置在出水流道（管道）出口断面处或其附近。取样点数量应按式（3.4.4）确定：

$$n_2 = k_2 S_2 \quad (3.4.4)$$

式中 n_2 ——取样点数量，个，当 n_2 小于 3 时，取 $n_2=3$ ；

S_2 ——取样点所在的流道（管道）断面面积， m^2 ；

k_2 ——取样点布置系数，个/ m^2 ，宜取 $k_2=0.8$ 。

3.4.5 用于测量盐水溶液注入流量的流量计的测量不确定度不应大于 0.5%。

3.4.6 测量时，盐水溶液的注入时间不宜少于 90s，且其浓度和注入流量应稳定。

3.4.7 原水和盐水溶液的取样应与盐水溶液的注入同步进行，取样次数不应少于 3 次。

3.4.8 混合水取样次数不应少于 10 次，其中盐水溶液浓度达到最大值并稳定的次数不应少于 3 次。

3.4.9 对同次取样，各取样点 100mL 水样的硝酸银滴定量与平均滴定量的允许偏差为±2%。

3.4.10 采用食盐浓度法测流时，水泵流量应按式（3.4.10）计算：

$$Q_p = \frac{c_1 - c_0}{c_2 - c_0} q \quad (3.4.10)$$

式中 Q_p ——水泵流量，L/s；

c_0 ——原水中氯离子的浓度，实际测量时常用中和 100mL 原水的硝酸银滴定量表示，mL；

c_1 ——注入盐水溶液中氯离子的浓度，实际测量时常用中和 100mL 盐水溶液的硝酸银滴定量表示，mL；

c_2 ——混合水样中氯离子的浓度，实际测量时常用中和 100mL 混合水样的硝酸银滴定量表示，mL；

q ——盐水溶液注入流量，L/s。

3.5 差 压 法

3.5.1 水泵装置中下列部位的差压可用于流量测量：

- 1 进出水管道中弯头的内外侧之间形成的差压；
- 2 水泵进口与进水池之间形成的差压；
- 3 水泵进水喇叭口与进水池之间形成的差压；
- 4 大型泵站进水流道进出口之间的差压。

3.5.2 差压测流装置应符合下列规定：

- 1 取压孔应位于水流稳定区，且不在管道（流道）的顶部或底部，其中心线应垂直于管道（流道）壁面；
- 2 取压孔内部应光滑无毛刺，孔径为 4~6mm；
- 3 取压处为负压时，取压管不应采用软管；
- 4 差压传感器检定的不确定度不应大于 0.5%。

3.5.3 差压测流装置应通过现场标定并符合 3.5.5 条的规定。

3.5.4 差压测流装置的现场标定应符合下列规定：

- 1 应采用 3.2 节、3.3 节或 3.4 节规定的测流方法进行

标定；

- 2 标定的工况不应少于 9 个，且流量间隔均匀；
- 3 应通过幂指数回归法确定差压测流装置的流量系数；
- 4 标定的最小流量和最大流量即为差压测流装置的有效测试范围。

3.5.5 差压测流装置流量系数的不确定度不应大于 3%。

3.5.6 测试过程中，应保证取压孔和取压管内无空气，且无堵塞。

3.5.7 流量应按式 (3.5.7) 计算：

$$Q = k\Delta h^n \quad (3.5.7)$$

式中 Q ——流量， m^3/s ；

k ——流量系数；

Δh ——压差， Pa ；

n ——指数，宜取 0.48~0.52。

3.6 其他测流方法

3.6.1 当采用量水堰法测量流量时，应按 GB/T 3214 的规定执行。

3.6.2 当电磁流量计、涡轮流量计、均速管流量计等测流方法能够满足测量不确定度要求时，也可用于测量流量。

4 扬程测定

4.1 水位测量

- 4.1.1 泵站水位测量应以标准水准点为基准。
- 4.1.2 泵站下列部位可用于水位测量：
 - 1 进水池靠近进水流道（管道）进口处；
 - 2 出水池靠近出水流道（管道）出口处；
 - 3 进水池首端或引水渠末端；
 - 4 出水池末端或输水干渠首端。
- 4.1.3 当测量部位的水面不平稳时，应设置稳定水面的测井或测筒。
- 4.1.4 测量水位宜采用下列仪器：
 - 1 水位尺；
 - 2 液位传感器；
 - 3 压力传感器；
 - 4 浮子水位计；
 - 5 电子水位计；
 - 6 水柱差压计；
 - 7 测针和钩形水位计；
 - 8 超声波水位计。
- 4.1.5 水位测量仪表的不确定度应按 GBJ 138 的规定执行。

4.2 压力测量

- 4.2.1 测量压力的取压孔应布置在流速和压力分布相对均匀和稳定的断面。对于离心泵和涡壳式混流泵，进口压力测量断面宜选在与泵进口法兰相距 2 倍管道直径的上游处，出口压力测量断面宜选在与泵出口法兰相距 2 倍管道直径的下游处；对于轴流泵和导叶式混流泵，进口压力测量断面可选在进口座环处，出口压

力测量断面可选在泵出口弯头下游 2 倍管道直径处。

4.2.2 测量进出水流道（管道）水力损失时，宜测量进水流道（管道）进口、出水流道（管道）出口和进出水流道（管道）中间等部位的压力。

4.2.3 测量压力宜采用真空表、压力表、压力传感器、差压传感器等仪器仪表。

4.2.4 压力测量前，应测量被测量断面中心处的高程和测量用仪器仪表基准面的高程。

4.2.5 当测量断面中心处与压力测量仪器仪表基准面之间存在高程差时，压力值应按 GB/T 3216—2005 第 8.4.2 条的规定进行修正。

4.2.6 当实际测量断面与应测量断面不重合而影响测量不确定度时，应对压力测量值进行修正。其中，水力损失应按 GB/T 3216—2005 附录 E 计算。

4.2.7 压力测量时，应保证引压管路畅通并可靠排除管路内的空气。

4.2.8 压力测量仪表的不确定度评定应按 GB/T 1226 和 GB/T 1227 的规定执行。

4.3 扬程计算

4.3.1 当采用压力表（计）测量水泵进出口测量断面压力时，水泵扬程应按式（4.3.1）计算：

$$H = H_2 - H_1 = \left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right) - \left(\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) \quad (4.3.1)$$

式中 H ——水泵扬程，m；

H_1 、 H_2 ——水泵进口、出口测量断面中心处的总水头，m；

v_1 、 v_2 ——水泵进口、出口测量断面的平均流速，m/s；

ρ ——被测水体的密度，kg/m³；

g ——自由落体重力加速度，m/s²；

p_1 、 p_2 ——水泵进口、出口测量断面中心处的压力，Pa；

z_1 、 z_2 ——水泵进口、出口测量断面中心处的高程，m。

4.3.2 当采用差压传感器直接测量水泵进出口测量断面之间的压差时，水泵扬程应按式（4.3.2）计算：

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (4.3.2)$$

式中 Δp ——水泵出口测量断面与进口测量断面之间的压差，Pa。

4.3.3 当需要计算装置扬程时，装置扬程应为泵站进水池末端与出水池首端之间的水位差。

4.3.4 当需要计算泵站扬程时，泵站扬程应为泵站进水池首端与出水池末端之间的水位差。

4.3.5 扬程测量的不确定度应按附录 A 的规定，并参照附录 B 进行评定。

4.3.6 扬程测量的不确定度不应大于 1.0%。

5 转速与功率测定

5.1 转速测量

5.1.1 转速测量宜采用数字式转速仪直接测量。

5.1.2 转速仪的不确定度不应大于 0.2%。

5.2 电动机输入功率测定

5.2.1 电动机输入功率宜采用瓦特表法、电能表法、功率变送器或多功能电量测量仪测量。

5.2.2 测量用仪器仪表的不确定度等级应符合下列规定：

1 仪用电流互感器不应大于 0.2%，电压互感器不应大于 0.5%；

2 功率变送器不应大于 0.2%；

3 多功能电量测量仪不应大于 0.5%。

5.2.3 同步电动机输入功率应为同时测量的定子输入功率和励磁功率之和。励磁功率应按式 (5.2.3) 计算：

$$P_{LC} = \frac{I_{LC}U_{LC}}{1000} \quad (5.2.3)$$

式中 P_{LC} ——同步电动机励磁功率，kW；

I_{LC} ——同步电动机励磁电流，A；

U_{LC} ——同步电动机励磁电压，V。

5.2.4 电量测量宜在电动机的接线端附近测量。

5.2.5 测量同步电动机输入功率时，功率因数宜保持额定值；当现场条件难以满足时，功率因数应接近额定值并保持不变。

5.2.6 电动机输入功率测量的不确定度应按附录 A 的规定，并参照附录 B 进行评定。

5.2.7 电动机输入功率测量的不确定度不应大于 2.0%。

5.3 水泵轴功率测定

5.3.1 水泵轴功率测定宜采用负载率换算法，也可采用应变片法和扭矩测功法。

5.3.2 测量水泵轴功率所用仪器仪表的不确定度应符合下列要求：

- 1 扭矩仪不应大于 1.5%；
- 2 二次仪表不应大于 0.2%。

5.3.3 采用应变片法测定水泵轴功率时，测量方法和轴功率的计算方法见附录 D。

5.3.4 采用应变片法测定水泵轴功率时，应符合下列要求：

- 1 泵轴上应有不小于 200mm 长的等径轴段，且表面平整光滑；
- 2 应测量粘贴应变片处的泵轴直径，确定泵轴的弹性模量；
- 3 应变片的粘贴方向应与泵轴长度方向成 45° 夹角；
- 4 应在泵轴上粘贴四片应变片组成全桥电路，并对输出信号进行放大；

- 5 扭矩信号传输应采用拉线式集流环方式或无线遥测方式。

5.3.5 采用扭矩测功法测定水泵轴功率时，测量方法和轴功率的计算方法见附录 D。

5.3.6 采用扭矩测功法测定水泵轴功率时，应符合下列要求：

- 1 泵轴上应有不小于 200mm 长的等径轴段位置，且表面平整光滑；
- 2 应根据被测轴的功率和转速，选用适宜的传感器；
- 3 在被测轴受力之前，应先调整传感器的“零点”；
- 4 正式测试前应进行盘车；
- 5 扭矩信号传输应采用拉线式集流环方式或无线遥测方式。

5.3.7 采用负载率换算法测定水泵轴功率见附录 D。

5.3.8 水泵轴功率测量的不确定度应按附录 A 的规定，并参照附录 B 进行评定。

5.3.9 水泵轴功率测量的不确定度不应大于 3.5%。

5.4 其他电量参数测定

5.4.1 其他电量参数应包括电压、电流、功率因数和频率等。

5.4.2 电压和电流测量应采用不确定度等级不大于 0.5% 的仪器仪表；当采用互感器扩大仪表量程时，配套互感器的不确定度等级宜比相应仪器仪表的不确定度等级高一级。

5.4.3 功率因数测量应采用不确定度等级不大于 1.0% 的仪器仪表。

5.4.4 频率测量应采用不确定度等级不大于 1.0% 的仪器仪表。

6 其他参数测量

6.1 振动测量

- 6.1.1 宜测量泵站中的主水泵、主电动机和压力管道的振动。
- 6.1.2 测量的振动量应包括位移、速度和加速度。
- 6.1.3 所用传感器的线性频率范围应覆盖被测信号的有用频率范围。
- 6.1.4 水泵振动的测量应按 JB/T 8097 的规定执行。
- 6.1.5 电动机振动的测量应按 GB 10068/IEC 60034—14 的规定执行。
- 6.1.6 压力管道振动测量的测点应选在压力脉动较高的管段，测量方法宜按 JB/T 8097 的规定执行。

6.2 噪声测量

- 6.2.1 宜测量泵站中的主水泵和主电动机的噪声。
- 6.2.2 水泵噪声的测量应按 JB/T 8098 的规定执行。
- 6.2.3 电动机噪声的测量应按 GB/T 10069 的规定执行。

6.3 温度测量

- 6.3.1 宜测量泵站中下列部位的温度：
 - 1 现场气温；
 - 2 水泵轴承（轴瓦）和润滑油的温度；
 - 3 电动机定子、轴承（轴瓦）、润滑油、冷却水、进出风口等部位的温度；
 - 4 被测水体温度。
- 6.3.2 温度测量应采用不确定度等级不大于 1.0% 的仪器仪表。

6.4 压力脉动测量

- 6.4.1 宜测量泵站中下列部位的压力脉动：

- 1 水泵叶轮进口处；
 - 2 离心泵和蜗壳式混流泵的蜗壳隔舌处；
 - 3 轴流泵和导叶式混流泵的导叶进出口处；
 - 4 压力管道内部。
- 6.4.2** 测量压力脉动的传感器应符合下列要求：
- 1 线性频率范围应能覆盖信号的有用频率范围；
 - 2 工作压力应能满足测点处可能出现的最高压力和最低压力；
 - 3 灵敏度应根据压力脉动信号的强弱选择。
- 6.4.3** 传感器安装后应与流道（管道）内壁齐平。
- 6.4.4** 压力脉动的测量及数据处理应按 GB/T 17189 的规定执行。

7 建筑物安全检测

7.1 一般规定

- 7.1.1 泵站建筑物安全检测的内容应符合 SL 316 的规定。
- 7.1.2 建筑物结构变形检测应包括结构的倾斜和基础不均匀沉降；检测方法应按 JGJ/T 8 的规定执行。
- 7.1.3 建筑物材料性能和结构缺陷的检测宜采用非破损或半破损检测法。
- 7.1.4 检测点应布置在具有代表性的部位，且不影响建筑物的结构安全。
- 7.1.5 检测结束后，应及时修复检测中所造成的破损部位。

7.2 混凝土结构

- 7.2.1 混凝土结构检测内容应包括混凝土强度、碳化深度、钢筋保护层厚度及锈蚀、变形、表面剥蚀、裂缝、渗漏、缺损等。
- 7.2.2 混凝土强度检测应符合下列规定：
 - 1 采用回弹法时，检测方法应按 JGJ/T 23 的规定执行；
 - 2 采用超声回弹综合法时，检测方法应按 CECS 02 的规定执行；
 - 3 当被测混凝土的表层质量不具有代表性时采用钻芯法，检测方法应按 CECS 03 的规定执行。
- 7.2.3 混凝土碳化深度检测的测点布置宜与强度检测的测点布置相对应；检测方法应按 JGJ/T 23 中的有关规定执行。
- 7.2.4 混凝土钢筋保护层厚度及锈蚀检测宜按 GB/T 50344 和 JGJ/T 152 的规定执行。
- 7.2.5 混凝土裂缝检测宜按 JGJ/T 8 的规定执行，并应符合下列规定：
 - 1 检测项目应包括裂缝的部位、数量和分布，以及主要裂

缝的宽度、长度、深度、形状和走向等；

2 裂缝长度应采用钢卷尺或直尺测量，裂缝宽度应采用塞尺、刻度放大镜或检验卡测量，裂缝深度应采用超声法检测；

3 应定期观测仍在发展中的裂缝，提供裂缝发展趋势的数据。

7.2.6 混凝土表面的剥蚀、渗漏、缺损等，宜采用目测与度量相结合的方法检测。

7.2.7 当建筑物水下部位发生止水失效、结构断裂、基土流失、冲坑、塌陷等缺陷时，宜采用水下探测或排水后目测、度量等方法检测。

7.2.8 当主水泵梁、主电动机梁、结构柱等重要混凝土构件发生破坏时，宜进行内部缺陷的检测；检测方法宜采用超声回弹综合法、冲击反射法等。采用超声回弹综合法检测时，宜按 CECS 02 的规定执行。

7.3 砌体结构

7.3.1 砌体结构检测内容应包括裂缝、沉陷、坍落、滑坡、倾斜、错位、破损、松动、空鼓、表面风化和渗水程度等。

7.3.2 砌体裂缝检测应符合下列规定：

1 应测定裂缝的位置、长度、宽度和数量；

2 应定期观测仍在发展中的裂缝，提供裂缝发展趋势的数据。

7.3.3 砌体的沉陷、坍落、滑坡、错位、破损、松动、空鼓、表面风化和渗水程度，宜采用目测与度量相结合的方法检测。

8 电气设备安全检测

8.1 一般规定

8.1.1 泵站电气设备安全检测对象应包括主电动机、电力变压器、高压开关设备、低压电器、电力电缆线路和接地装置等。

8.1.2 除本标准另有规定外，电气设备各项参数的检测方法应符合下列规定：

- 1 绝缘电阻和吸收比检测应按 DL/T 474.1 的规定执行；
- 2 直流高电压检测应按 DL/T 474.2 的规定执行；
- 3 介质损耗因数 $\tan \delta$ 检测应按 DL/T 474.3 的规定执行；
- 4 交流耐压性能检测应按 DL/T 474.4 的规定执行；
- 5 潜水电动机检测应按 GB/T 12785 的规定执行。

8.1.3 当检测结果受温度及湿度影响时，应同时测量被检测体和现场的温度及湿度。温度的测量应符合 6.3 节的规定。

8.1.4 检测绝缘电阻时，除制造厂出厂前已组装好的成套设备外，宜将与被检测体连接在一起的各种电气设备分离开，单独进行检测。同一检测电压等级的电气设备可连在一起进行检测。

8.1.5 对多绕组电气设备进行绝缘性能检测时，非被测绕组应短路接地。

8.1.6 检测绝缘电阻时所用的兆欧表，除本标准另有规定外，其参数应符合表 8.1.6 的规定。

表 8.1.6 检测绝缘电阻时的兆欧表参数

电气设备或回路的电压等级 (V)	检测用的兆欧表参数
<100	250V、50M Ω
100~500	500V、100M Ω
500~3000	1000V、2000M Ω
3000~10000	2500V、10000M Ω
≥ 10000	2500V 或 5000V、10000M Ω 及以上

8.1.7 检测交流耐压性能时，除本标准另有规定外，加至检测标准电压后的持续时间应为 1min。

8.2 主电动机

8.2.1 主电动机宜检测下列项目：

- 1 绕组的绝缘电阻和吸收比；
- 2 绕组的直流电阻；
- 3 定子绕组的直流耐压性能和泄漏电流；
- 4 定子绕组的交流耐压性能；
- 5 绕线式电动机转子绕组的交流耐压性能；
- 6 同步电动机转子绕组的交流耐压性能；
- 7 可变电阻器、起动电阻器和灭磁电阻器的绝缘电阻；
- 8 可变电阻器、起动电阻器和灭磁电阻器的直流电阻；
- 9 电动机轴承绝缘垫的绝缘电阻。

注：对额定电压低于 1000V 的电动机，可仅检测本条第 1~3 款规定的项目。

8.2.2 定子绕组直流耐压和泄漏电流的检测应符合下列规定：

- 1 检测电压应为定子绕组额定电压的 2.5 倍；
- 2 额定电压高于 1000V、额定功率大于 1000kW 且中性点连线已引出至出线端子板的电动机的定子绕组，应分相进行直流耐压性能检测；

3 检测电压应按 0.5 倍额定电压分阶段升高，每阶段停留 1min，并记录泄漏电流。

8.2.3 电动机定子绕组的交流耐压性能检测电压应符合表 8.2.3 的规定。

表 8.2.3 电动机定子绕组交流耐压性能检测电压 单位：kV

额定电压	3	6	10
检测电压	5	10	16

8.2.4 绕线式电动机转子绕组的交流耐压性能检测电压应符合

表 8.2.4 的规定。

表 8.2.4 绕线式电动机转子绕组交流耐压性能检测电压 单位: V

转子工况	检测电压
不可逆的	$1.5U_k + 750$
可逆的	$3.0U_k + 750$

注: U_k 为转子静止时, 在定子绕组上施加额定电压, 转子绕组开路时测得的电压。

8.2.5 同步电动机转子绕组的交流耐压性能检测电压应为额定励磁电压的 7.5 倍, 且不应低于 1200V, 但不应高于出厂试验电压值的 75%。

8.2.6 可变电阻器、起动电阻器及灭磁电阻器的绝缘电阻与回路一起检测时, 其绝缘电阻不应低于 $0.5M\Omega$ 。

8.2.7 检测可变电阻器、起动电阻器和灭磁电阻器的直流电阻值时, 调节过程中应保持接触良好、无开路现象, 电阻值的变化应有规律。

8.2.8 电动机轴承绝缘电阻的检测应采用 1000V 兆欧表。

8.3 电力变压器

8.3.1 电力变压器宜检测下列项目:

- 1 绕组连同套管的直流电阻;
- 2 绕组连同套管的绝缘电阻和吸收比或极化指数;
- 3 绕组连同套管的介质损耗因数 $\tan \delta$;
- 4 绕组连同套管的直流泄漏电流;
- 5 绕组连同套管的交流耐压性能;
- 6 所有分接头的变压比;
- 7 绝缘油击穿电压。

注: 干式变压器和容量为 1600kVA 及以下的油浸式变压器, 可仅检测本条第 1 款、第 2 款和第 5 款规定的项目。

8.3.2 绕组连同套管的直流电阻的检测应符合下列规定:

- 1 应在各分接头的所有位置上进行检测;

2 不同温度下的电阻值应按 GB 50150 的规定进行换算。

8.3.3 绕组连同套管的绝缘电阻和吸收比的检测应符合下列规定：

1 电压等级为 35kV 以下或容量为 4000kVA 以下的变压器，可仅进行绝缘电阻检测；

2 电压等级为 35kV 及以上、且容量为 4000kVA 及以上的变压器，应进行绝缘电阻和吸收比检测；

3 当检测温度与产品出厂试验时的温度不一致时，应按 GB 50150 的规定换算到同一温度下的数值。

8.3.4 绕组连同套管的介质损耗因数 $\tan \delta$ 的检测应符合下列规定：

1 对电压等级为 35kV 以下或容量为 8000kVA 以下的变压器，不应进行介质损耗因数 $\tan \delta$ 检测；

2 对电压等级为 35kV 及以上、且容量为 8000kVA 及以上的变压器，应进行介质损耗因数 $\tan \delta$ 检测；

3 当检测时的温度与产品出厂时的试验温度不一致时，应按 GB 50150 的规定换算到同一温度下的数值。

8.3.5 绕组连同套管的直流泄漏电流的检测应符合下列规定：

1 对电压等级为 35kV 以下或容量为 8000kVA 以下的变压器，不应进行直流泄漏电流检测；

2 对电压等级为 35kV 及以上、且容量为 8000kVA 及以上的变压器，应进行直流泄漏电流检测；

3 检测电压应按 GB 50150 的规定执行；

4 施加检测电压达 1min 时，应在高压端读取泄漏电流。

8.3.6 绕组连同套管的交流耐压性能检测应符合下列规定：

1 绕组额定电压低于 110kV 的变压器，应进行线端交流耐压性能检测；

2 绕组额定电压为 110kV 及以上的变压器，应进行中性点交流耐压性能检测；

3 检测电压应按 GB 50150 的规定执行。

8.3.7 绝缘油击穿电压的检测应符合 GB 50150 的规定。

8.4 高压开关设备

8.4.1 高压开关设备应检测下列项目：

- 1 绝缘电阻；
- 2 开关导电回路的电阻；
- 3 交流耐压性能。

8.4.2 开关导电回路的电阻的检测，宜采用电流不小于 100A 的直流压降法。

8.4.3 交流耐压性能的检测应符合下列规定：

- 1 应按产品技术条件进行每个断口的交流耐压性能检测；
- 2 三相安装于同一箱体的开关设备，进行相间及各相对地耐压性能检测；
- 3 其余开关设备，应进行各相对地或各相对外壳耐压性能检测。

8.5 低压电器

8.5.1 低压电器应检测下列项目：

- 1 低压电器连同所连接电缆及二次回路的绝缘电阻；
- 2 电阻器和变阻器的直流电阻；
- 3 低压电器连同所连接电缆及二次回路的交流耐压性能。

8.5.2 进行低压电器连同所连接电缆及二次回路的交流耐压性能检测时，检测电压应为 1000V。当二次回路的绝缘电阻值在 10M Ω 以上时，可采用 2500V 兆欧表检测绝缘电阻 1min 时间代替耐压性能检测。

8.6 电力电缆线路

8.6.1 电力电缆线路宜检测下列项目：

- 1 绝缘电阻；
- 2 直流耐压性能及泄漏电流；

3 交流耐压性能。

注 1：橡塑绝缘电力电缆可仅检测本条第 1 款、第 3 款规定的项目。

注 2：纸绝缘电缆和自容式充油电缆可仅检测本条第 1 款、第 2 款规定的项目。

注 3：对额定电压 U_0/U 为 18kV/30kV 及以下的电力电缆，可用直流耐压性能及泄漏电流检测代替交流耐压性能检测。

8.6.2 电力电缆线路检测应符合下列规定：

1 对电缆的主绝缘进行绝缘电阻或耐压性能检测时，应分相进行检测；

2 对金属屏蔽或金属套一端接地、而另一端装有护层过电压保护器的单芯电缆的主绝缘进行耐压性能检测时，应将护层过电压保护器短接，并将电缆金属屏蔽或金属套临时接地；

3 对额定电压 U_0/U 为 0.6kV/1kV 的电缆线路，应采用 2500V 兆欧表检测导体对地绝缘电阻代替耐压性能检测。

8.6.3 检测电缆导体对地或对金属屏蔽层之间以及各导体之间的绝缘电阻时，所采用的兆欧表应符合下列规定：

1 对额定电压 U_0/U 为 0.6kV/1kV 的电缆，应采用 1000V 兆欧表；

2 对额定电压 U_0/U 为 0.6kV/1kV 以上的电缆，应采用 2500V 兆欧表；额定电压 U_0/U 为 6kV/6kV 及以上的电缆，应采用 5000V 兆欧表；

3 对橡塑电缆外护套和内衬套，应采用 500V 兆欧表。

8.6.4 直流耐压性能及泄漏电流检测应符合下列规定：

1 检测电压标准应按 GB 50150 的规定执行；

2 检测时，检测电压分 4~6 个阶段均匀升高，每个阶段停留 1min，并读取泄漏电流值。检测电压升高到最大规定值后保持 15min，并读取 1min 和 15min 时的泄漏电流。

8.6.5 交流耐压性能检测应符合下列规定：

1 宜进行 20~300Hz 交流耐压性能检测，检测电压及持续时间应按 GB 50150 的规定执行；

2 当不具备上述检测条件时，可采用施加正常系统相对地电压 24h 方法代替交流耐压性能检测。

8.7 接地装置

8.7.1 接地装置应检测下列项目：

- 1 接地网电气完整性；
- 2 接地阻抗。

8.7.2 接地装置的检测应按 DL/T 475 的规定执行。

9 机械设备与金属结构安全检测

9.1 一般规定

- 9.1.1 泵站机械设备与金属结构安全检测应包括几何量检测和缺陷检测。
- 9.1.2 除本标准另有规定外，对具有形状和位置公差要求的几何量检测，应按 GB/T 1958 的规定执行。
- 9.1.3 除本标准另有规定外，缺陷检测宜采用无损检测方法中的渗透检测法，并按 GB/T 9443 和 JB/T 6062 的规定执行。
- 9.1.4 检测用仪器仪表应与被测体的外形、位置、尺寸以及被测参数的特征相适应。

9.2 机械设备

- 9.2.1 泵站机械设备安全检测对象宜包括主水泵、主电动机和传动装置。
- 9.2.2 主水泵应检测下列项目：
- 1 叶片、叶轮室、导叶等过流部件的磨蚀、变形等；
 - 2 泵壳的磨蚀及变形；
 - 3 泵轴的弯曲、裂纹及轴颈的磨损等；
 - 4 轴流泵和导叶式混流泵叶片与泵壳的间隙；
 - 5 叶片调节机构的灵活度、回复杆的行程以及调节装置的渗漏；
 - 6 轴承（轴瓦）磨损。
- 9.2.3 主水泵无损检测应按 JB/T 8543.2 的规定执行。
- 9.2.4 主电动机应检测下列项目：
- 1 主轴的弯曲、裂纹及轴颈磨损等；
 - 2 机座、机架及油箱（轴承室）的裂纹、变形等；
 - 3 气隙；

- 4 推力头、镜板及轴瓦（轴承）磨损；
- 5 滑环接触表面的烧蚀和磨损；
- 6 风扇叶片的变形及裂纹。

9.2.5 传动装置应检测下列项目：

- 1 传动轴的裂纹、磨损及变形；
- 2 联轴器的缺陷、同轴度等；
- 3 齿轮磨损；
- 4 齿轮箱裂纹及漏油；
- 5 轴承箱裂纹及漏油；
- 6 轴承的磨损、失效等。

9.3 金属结构

9.3.1 泵站金属结构安全检测对象宜包括闸门、拍门、启闭机、拦污栅、清污机、压力管道、阀门和水锤消除器等。

9.3.2 闸门应检测下列项目：

- 1 门体的变形、裂纹、锈蚀及门板的局部不平度；
- 2 吊耳变形、裂纹及轴孔磨损；
- 3 门槽变形、锈蚀和脱落；
- 4 止水的完整性、磨损、老化和龟裂。

9.3.3 拍门宜检测下列项目：

- 1 门体及附件的变形、裂纹、锈蚀及门板的局部不平度；
- 2 支铰的变形、裂纹、松动、锈蚀及卡阻；
- 3 止水及缓冲件的老化及损坏。

9.3.4 启闭机应检测下列项目：

- 1 卷扬式启闭机的机架裂纹，卷筒裂纹、磨损，制动器可靠性，钢丝绳磨损及断丝，吊板和吊钩变形、裂纹等；
- 2 螺杆式启闭机的机箱和机座裂纹、锈蚀，螺杆弯曲、变形及锈蚀，螺纹工作面的缺损；
- 3 液压式启闭机的缸体和活塞杆裂纹、磨损及锈蚀，油箱、油泵、阀件及管路的腐蚀、泄漏等。

- 9.3.5** 拦污栅应检测下列项目：
- 1 栅体的变形、裂纹及锈蚀等；
 - 2 栅片的折断及缺失。
- 9.3.6** 清污机应检测下列项目：
- 1 主要结构件的变形、裂纹及锈蚀；
 - 2 传动装置的灵活性和可靠性；
- 9.3.7** 压力管道应检测下列项目：
- 1 管道及附件的磨损、变形、裂纹及锈蚀；
 - 2 接头密封性。
- 9.3.8** 阀门和水锤消除器应检测下列项目：
- 1 阀门的裂纹、磨蚀、密封性及可靠性；
 - 2 水锤消除器的锈蚀和工作可靠性。
- 9.3.9** 闸门、拍门、启闭机、拦污栅和清污机的检测应按 DL/T 835 的规定执行。
- 9.3.10** 钢制压力管道检测应按 DL/T 709 的规定执行。
- 9.3.11** 压力管道、阀门和水锤消除器的无损检测应按 JB/T 6902 和 JB/T 4730.5 的规定执行。

附录 A 泵站现场性能测试 不确定度评定

A.0.1 流量、扬程、功率和装置效率等泵站现场性能测试参数的测量不确定度应分别进行评定。

A.0.2 各测试参数的测量不确定度应按下列步骤进行评定：

1 应根据实际采用的测量方法，建立被测量与各输入量之间的函数关系；

2 应分析识别不确定度来源，可对预估值小于最大分量 1/3 的不确定度分量不予评定；

3 观测列的算术平均值应按式 (A.0.2-1) 计算：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{A.0.2-1})$$

式中 i ——测量读数序号；

n ——测量读数次数；

x_i ——第 i 个测量数据；

\bar{X} ——输入量 x 的算术平均值。

4 观测列的实验标准偏差应按式 (A.0.2-2) 计算：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{A.0.2-2})$$

5 观测列算术平均值的 A 类评定的标准不确定度应按式 (A.0.2-3) 计算：

$$u_A(x) = s(\bar{X}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.0.2-3})$$

6 应依据校准证书、检定证书、生产厂的说明书、测试依据的标准、以前测量的数据等资料，推算 B 类评定的标准不确定度。

7 合成不确定度应按式 (A. 0. 2 - 4) 计算:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)} \quad (\text{A. 0. 2 - 4})$$

A. 0. 3 扩展不确定度应按式 (A. 0. 3) 计算:

$$U = ku_c(y) \quad (\text{A. 0. 3})$$

式中 k ——因子, 宜按正态分布、95%的置信区间考虑, 取 $k=2$ 。

A. 0. 4 检测报告中, 应采用扩展不确定度 U 表示测量不确定度。

A. 0. 5 测量结果及不确定度报告中应写明“测量结果 $Y = \dots$, 扩展不确定度 $U = \dots$, 它是由合成标准不确定度 $u_c = \dots$ 乘以包含因子 $k=2$ 而得到的”。

附录 B 泵站现场性能测试 不确定度评定范例

B.1 测量方法及测量数据

B.1.1 某泵站采用肘形进水流道进水，在其进水流道进口符合 3.2.2 条规定的断面处采用流速仪法测量流量。采用 26 测点法布置流速仪；测流断面宽度和高度采用钢卷尺测量。流速仪测量结果见表 B.1.1-1；测流断面宽度和高度的测量结果见表 B.1.1-2。

表 B.1.1-1 流速仪测量结果表

流速仪 编号 i	测点加权 系数 k_i	流 速 (m/s)				
		1	2	3	4	平均值 \bar{v}_i
1	2	0.393	0.387	0.376	0.392	0.387
2	2	0.412	0.415	0.412	0.412	0.413
3	5	0.460	0.460	0.462	0.458	0.460
4	6	0.469	0.463	0.463	0.456	0.463
5	5	0.449	0.434	0.438	0.451	0.443
6	2	0.425	0.411	0.417	0.411	0.416
7	2	0.387	0.385	0.390	0.388	0.388
8	3	0.460	0.461	0.466	0.468	0.464
9	3	0.476	0.493	0.487	0.488	0.486
10	6	0.500	0.496	0.503	0.501	0.500
11	6	0.527	0.523	0.524	0.526	0.525
12	3	0.533	0.528	0.530	0.535	0.532
13	3	0.539	0.526	0.513	0.526	0.526
14	3	0.485	0.489	0.482	0.486	0.486

表 B.1.1-1 (续)

流速仪 编号 i	测点加权 系数 k_i	流 速 (m/s)				
		1	2	3	4	平均值 \bar{v}_i
15	3	0.501	0.502	0.497	0.492	0.498
16	6	0.501	0.506	0.504	0.508	0.505
17	6	0.521	0.523	0.511	0.517	0.518
18	3	0.531	0.512	0.516	0.529	0.522
19	3	0.512	0.518	0.527	0.523	0.520
20	2	0.477	0.479	0.487	0.476	0.480
21	2	0.491	0.478	0.480	0.478	0.482
22	5	0.472	0.483	0.479	0.480	0.479
23	6	0.465	0.466	0.458	0.462	0.463
24	5	0.439	0.443	0.430	0.451	0.441
25	2	0.412	0.422	0.419	0.413	0.417
26	2	0.381	0.387	0.379	0.381	0.382

表 B.1.1-2 测流断面宽度和高度的测量结果表

参 数	测 量 值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
宽度 (m)	5.010	5.006	5.015	4.994	4.993	5.004	5.002	4.988	4.995	5.003
高度 (m)	2.806	2.812	2.798	2.788	2.793	2.805	2.810	2.800	2.792	2.796

B.1.2 主电动机的绕组功率、励磁电压和励磁电流采用三相电力分析仪进行测量。测量结果见表 B.1.2。

表 B.1.2 主电动机功率测量结果表

序 号	绕组功率 (kW)	励磁电压 (V)	励磁电流 (A)
1	559	185	53
2	562	179	56
3	563	182	53

表 B. 1. 2 (续)

序 号	绕组功率 (kW)	励磁电压 (V)	励磁电流 (A)
4	560	176	56
5	555	178	54
6	562	180	55
7	554	181	54
8	560	178	57
9	556	183	55
10	560	177	56
平均值	559.1	179.9	55.0

B. 1. 3 装置扬程采用液位传感器进行测量。通道 1 传感器位于进水池，通道 2 传感器位于出水池；地面高程采用水准仪进行测量，传感器测线长度采用钢卷尺测量。液位传感器测量结果见表 B. 1. 3。

表 B. 1. 3 液位传感器测量结果表

参 数	测 量 值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
通道 1 液位 (m)	2.002	1.996	1.992	1.993	1.998	1.996	1.995	2.183	2.002	1.993
通道 2 液位 (m)	2.004	2.005	2.033	2.027	2.026	2.017	2.006	2.011	2.016	2.005
通道 1 线长 (m)	2.503	2.504	2.509	2.512	2.495	2.498	2.502	2.492	2.499	2.502
通道 2 线长 (m)	2.502	2.503	2.509	2.498	2.495	2.504	2.492	2.499	2.502	2.508
地面高程 ∇_1 (m)	9.568	9.548	9.565	9.551	9.561	9.552	9.558	9.561	9.562	9.558
地面高程 ∇_2 (m)	15.213	15.218	15.209	15.220	15.216	15.214	15.218	15.197	15.194	15.213

B. 2 流量测量的不确定度评定

B. 2. 1 采用流速仪 26 测点法测量流量时, 流量应按式 (B. 2. 1 - 1) 和式 (B. 2. 1 - 2) 计算:

$$Q = \bar{v}BH \quad (\text{B. 2. 1 - 1})$$

其中

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^N k_i v_i}{\sum_{i=1}^N k_i} \quad (\text{B. 2. 1 - 2})$$

式中 Q ——流量, m^3/s ;

B ——测流断面宽度, m ;

H ——测流断面高度, m ;

\bar{v} ——测流断面平均流速, m/s ;

v_i ——第 i 台流速仪测得的流速, m/s ;

k_i ——对应于第 i 台流速仪测点的加权系数;

N ——流速仪台数。

B. 2. 2 流量测量的不确定度应包括下列主要来源:

- 1 流速测量的测量不确定度分量 $u(v_i)$;
- 2 测流断面宽度测量的测量不确定度分量 $u(B)$;
- 3 测流断面高度测量的测量不确定度分量 $u(H)$;
- 4 由流速仪引入的不确定度分量 u_1 ;
- 5 由钢卷尺引入的不确定度分量 u_2 ;
- 6 由测流断面形状引入的不确定度分量 u_3 ;
- 7 由流速仪测线位置引入的不确定度分量 u_4 ;
- 8 由流速仪安装位置引入的不确定度分量 u_5 ;
- 9 由采集记录仪引入的不确定度分量 u_6 ;
- 10 由水流波动引入的不确定度分量 u_7 ;
- 11 由测流断面平均流速的计算方法引入的不确定度分量 u_8 。

B. 2. 3 流量测量的标准不确定度分量应按下列方法评定:

- 1 流速测量的测量不确定度分量 $u(v_i)$ 。各台流速仪测得的

流速平均值 \bar{v}_i 见表 B. 1. 1 - 1。

1) 流速测量的实验标准偏差应按式 (B. 2. 3 - 1) 计算：

$$s(v_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - \bar{v}_i)^2}{n-1}} \quad (\text{B. 2. 3 - 1})$$

式中 j ——测量读数序号；

n ——测量次数；

v_{ij} ——第 i 台流速仪第 j 次测得的流速，m/s。

将表 B. 1. 1 - 1 中的数据代入式 (B. 2. 3 - 1)，计算结果见表 B. 2. 3。

2) 流速测量的算术平均值的标准偏差应按式 (B. 2. 3 - 2) 计算：

$$s(\bar{v}_i) = \frac{s(v_i)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 2. 3 - 2})$$

计算结果见表 B. 2. 3。

表 B. 2. 3 流速测量的不确定度分量计算结果表

编号 i	$s(v_i)$	$s(\bar{v}_i)$	$u(v_i)$	编号 i	$s(v_i)$	$s(\bar{v}_i)$	$u(v_i)$
1	0.0078	0.0039	0.0039	14	0.0029	0.0014	0.0014
2	0.0015	0.0008	0.0008	15	0.0045	0.0023	0.0023
3	0.0016	0.0008	0.0008	16	0.0030	0.0015	0.0015
4	0.0053	0.0027	0.0027	17	0.0053	0.0026	0.0026
5	0.0083	0.0041	0.0041	18	0.0094	0.0047	0.0047
6	0.0066	0.0033	0.0033	19	0.0065	0.0032	0.0032
7	0.0021	0.0010	0.0010	20	0.0050	0.0025	0.0025
8	0.0039	0.0019	0.0019	21	0.0062	0.0031	0.0031
9	0.0072	0.0036	0.0036	22	0.0047	0.0023	0.0023
10	0.0029	0.0015	0.0015	23	0.0036	0.0018	0.0018
11	0.0018	0.0009	0.0009	24	0.0087	0.0044	0.0044
12	0.0031	0.0016	0.0016	25	0.0048	0.0024	0.0024
13	0.0106	0.0053	0.0053	26	0.0035	0.0017	0.0017

2 测流断面宽度测量的测量不确定度分量 $u(B)$ 。

- 1) 测流断面宽度测量的平均值应按式 (B. 2.3 - 3) 计算。

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \quad (\text{B. 2.3 - 3})$$

式中 B_i ——第 i 次测量值。

将表 B. 1.1 - 2 中的数据代入式 (B. 2.3 - 3)，计算得 $\bar{B} = 5.001\text{m}$ 。

- 2) 测流断面宽度测量的实验标准偏差应按式 (B. 2.3 - 4) 计算。

$$s(B) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2}{n - 1}} \quad (\text{B. 2.3 - 4})$$

将表 B. 1.1 - 2 中的数据代入式 (B. 2.3 - 4)，计算得 $s(B) = 0.0084\text{m}$ 。

- 3) 测流断面宽度测量的算术平均值的标准偏差应按式 (B. 2.3 - 5) 计算：

$$s(\bar{B}) = \frac{s(B)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 2.3 - 5})$$

计算得 $s(\bar{B}) = 0.0027\text{m}$ ，则 $u(B) = 0.0027\text{m}$ 。

3 测流断面高度测量的测量不确定度分量 $u(H)$ 。

- 1) 测流断面高度测量的平均值应按式 (B. 2.3 - 6) 计算：

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \quad (\text{B. 2.3 - 6})$$

式中 H_i ——第 i 次测量的断面高度值。

将表 B. 1.1 - 2 中的数据代入式 (B. 2.3 - 6)，计算得 $\bar{H} = 2.800\text{m}$ 。

- 2) 测流断面高度测量的实验标准偏差应按式 (B. 2.3 - 7) 计算：

$$s(H) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n-1}} \quad (\text{B. 2. 3 - 7})$$

将表 B. 1. 1 - 2 中数据代入式 (B. 2. 3 - 7), 计算得 $s(H) = 0.008\text{m}$ 。

- 3) 测流断面高度测量的算术平均值的标准偏差应按式 (B. 2. 3 - 8) 计算:

$$s(\bar{H}) = \frac{s(H)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 2. 3 - 8})$$

计算得 $s(\bar{v}) = 0.0025\text{m}$, 则 $u(H) = 0.0025\text{m}$ 。

4 由流速仪引入的不确定度分量 u_{11} 。根据校准证书, 26 台流速仪的校准不确定度均小于 1.0%, 故取流速的变化半径 $\alpha = 0.006\text{m/s}$; 均匀分布, 即 $k = \sqrt{3}$; 故 $u_{11} = \alpha/k = 0.0035\text{m/s}$ 。

5 由钢卷尺引入的不确定度分量 u_2 。根据钢卷尺的校准证书, 其不确定度 $U = 0.03\text{mm}$, $k = 2$ 。则钢卷尺的标准不确定度 $u_2 = U/k = 0.015\text{mm}$ 。

6 由测流断面形状引入的不确定度分量 u_3 。测流断面形状偏差导致流量计算不准确的影响不大于 0.3%, 故取引入流量的变化半径 $\alpha = 0.025\text{m}^3/\text{s}$; 均匀分布, 即 $k = \sqrt{3}$; 故 $u_3 = \alpha/k = 0.014\text{m}^3/\text{s}$ 。

7 由流速仪测线位置引入的不确定度分量 u_4 。流速仪测线位置不准确导致断面平均流速计算不准确, 取断面平均流速的变化半径 $\alpha = 0.001\text{m/s}$; 均匀分布, 即 $k = \sqrt{3}$; 故 $u_4 = \alpha/k = 5.8 \times 10^{-4}\text{m/s}$ 。

8 由流速仪安装位置引入的不确定度分量 u_5 。流速仪安装位置不准确导致断面平均流速计算不准确, 取断面平均流速的变化半径 $\alpha = 0.001\text{m/s}$; 均匀分布, 即 $k = \sqrt{3}$; 故 $u_5 = \alpha/k = 5.8 \times 10^{-4}\text{m/s}$ 。

9 由采集记录仪引入的不确定度分量 u_6 。采集记录仪引入

的不确定度导致断面平均流速计算不准确，取断面平均流速的变化半径 $\alpha=0.001\text{m/s}$ ；均匀分布，即 $k=\sqrt{3}$ ；故 $u_6=\alpha/k=5.8\times 10^{-4}\text{m/s}$ 。

10 由水流波动引入的不确定度分量 u_7 。水流波动导致流量计算不准确的影响不大于 0.5% ，故取引入流量的变化半径 $\alpha=0.035\text{m}^3/\text{s}$ ；均匀分布，即 $k=\sqrt{3}$ ；故 $u_7=\alpha/k=0.020\text{m}^3/\text{s}$ 。

11 由测流断面平均流速的计算方法引入的不确定度分量 u_8 。测流断面平均流速的计算方法、权重系数的取值等对断面平均流速计算的影响不大于 0.2% ，取测流断面平均流速变化半径 $\alpha=1.2\times 10^{-4}\text{m/s}$ ；均匀分布，即 $k=\sqrt{3}$ ；故 $u_8=\alpha/k=6.9\times 10^{-5}\text{m/s}$ 。

B. 2. 4 流量测量的合成标准不确定度应按下述方法评定：

1 测流断面平均流速、断面宽度和断面高度的合成标准不确定度应分别按式 (B. 2. 4 - 1)、式 (B. 2. 4 - 2) 和式 (B. 2. 4 - 3) 计算：

$$u_c(\bar{v}) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{k_i}{\sum_{j=1}^N k_j} \right)^2 u^2(v_i) \right] + \sum_{i=1}^N \left(\frac{k_i}{\sum_{j=1}^N k_j} u_{1i} \right)^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_8^2} \quad (\text{B. 2. 4 - 1})$$

$$u_c(B) = \sqrt{u^2(B) + u_2^2} \quad (\text{B. 2. 4 - 2})$$

$$u_c(H) = \sqrt{u^2(H) + u_2^2} \quad (\text{B. 2. 4 - 3})$$

计算得 $u_c(\bar{v})=0.0013\text{m/s}$, $u_c(B)=0.0027\text{m}$, $u_c(H)=0.0025\text{m}$ 。

2 流量测量的合成标准不确定度按式 (B. 2. 4 - 4) 计算：

$$\begin{aligned} u_c(Q) &= \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial \bar{v}} \right)^2 u_c^2(\bar{v}) + \left(\frac{\partial Q}{\partial B} \right)^2 u_c^2(B) + \left(\frac{\partial Q}{\partial H} \right)^2 u_c^2(H) + u_3^2 + u_7^2} \\ &= \sqrt{(BH)^2 u_c^2(\bar{v}) + (\bar{v}H)^2 u_c^2(B) + (\bar{v}B)^2 u_c^2(H) + u_3^2 + u_7^2} \end{aligned} \quad (\text{B. 2. 4 - 4})$$

计算得 $u_c(Q)=0.031\text{m}^3/\text{s}$ 。

B. 2. 5 流量测量的扩展不确定度应按下述方法评定：

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度 $U = ku_c(Q)$ ，即 $U = 0.062\text{m}^3/\text{s}$ 。

B. 2. 6 流量测量结果及不确定度报告应采用下述方式：

流量测量结果 $Q=6.679\text{m}^3/\text{s}$ ，扩展不确定度 $U=0.062\text{m}^3/\text{s}$ ，它是由合成不确定度 $u_c(Q) = 0.031\text{m}^3/\text{s}$ 乘以包含因子 $k=2$ 而得到的。

B. 3 主电动机输入功率测量的不确定度评定

B. 3. 1 主电动机输入功率应按式 (B. 3. 1) 计算：

$$P = P_{\text{绕}} + UI/1000 \quad (\text{B. 3. 1})$$

式中 P ——主电动机输入功率，kW；

$P_{\text{绕}}$ ——测得的绕组功率，kW；

U ——测得的励磁电压，V；

I ——测得的励磁电流，A。

B. 3. 2 主电动机输入功率测量的不确定度应包括以下主要来源：

- 1 绕组功率测量的不确定度分量 $u(P_{\text{绕}})$ ；
- 2 励磁电压测量的不确定度分量 $u(U)$ ；
- 3 励磁电流测量的不确定度分量 $u(I)$ ；
- 4 由功率测量仪器引入的不确定度分量 u_1 ；
- 5 由电压测量仪器引入的不确定度分量 u_2 ；
- 6 由电流测量仪器引入的不确定度分量 u_3 ；
- 7 由电压互感器引入的不确定度分量 u_4 ；
- 8 由电流互感器引入的不确定度分量 u_5 。

B. 3. 3 主电动机输入功率的标准不确定度分量应按下述方法评定：

- 1 绕组功率测量的标准不确定度 $u(P_{\text{绕}})$ 。

1) 绕组功率测量的实验标准偏差应按式 (B. 3. 3 - 1) 计算：

$$s(P_{\text{绕}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{绕}i} - \bar{P}_{\text{绕}})^2}{n-1}} \quad (\text{B. 3.3-1})$$

式中 i ——测量读数序号；

n ——测量次数；

$P_{\text{绕}i}$ ——第 i 次测得的绕组功率。

将表 B.1.2 中的数据代入式 (B.3.3-1)，计算得

$$s(P_{\text{绕}}) = 3.1 \text{kW}。$$

- 2) 绕组功率测量的算术平均值的标准偏差应按式 (B.3.3-2) 计算：

$$s(\bar{P}_{\text{绕}}) = \frac{s(P_{\text{绕}})}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 3.3-2})$$

计算得 $s(\bar{P}_{\text{绕}}) = 1.0 \text{kW}$ ，故 $u(P_{\text{绕}}) = 1.0 \text{kW}$ 。

- 2 励磁电压测量的标准不确定度 $u(U)$ 。

- 1) 励磁电压测量的实验标准偏差应按式 (B.3.3-3) 计算：

$$s(U) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}{n-1}} \quad (\text{B. 3.3-3})$$

式中 U_i ——第 i 次测得的励磁电压。

将表 B.1.2 中的数据代入式 (B.3.3-3)，计算得

$$s(U) = 2.8 \text{V}。$$

- 2) 励磁电压测量的算术平均值标准偏差应按式 (B.3.3-4) 计算：

$$s(\bar{U}) = \frac{s(U)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 3.3-4})$$

计算得 $s(\bar{U}) = 0.9 \text{V}$ ，故 $u(U) = 0.9 \text{V}$ 。

- 3 励磁电流测量的标准不确定度 $u(I)$ 。

- 1) 励磁电流测量的实验标准偏差应按式 (B.3.3-5) 计算：

$$s(I) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \quad (\text{B. 3.3-5})$$

式中 I_i ——第 i 次测得的励磁电流。

将表 B.1.2 中的数据代入式 (B.3.3-5)，计算得 $s(I) = 1.3\text{A}$ 。

- 2) 励磁电流测量的算术平均值标准偏差应按式 (B.3.3-6) 计算：

$$s(\bar{I}) = \frac{s(I)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 3.3-6})$$

计算得 $s(\bar{I}) = 0.4\text{A}$ ，故 $u(I) = 0.4\text{A}$ 。

4 由功率测量仪器引入的不确定度 u_1 。根据三相电力分析仪校准证书，其功率测量的相对不确定度 $U_{\text{rel}} = 0.03\%$ ， $k = 2$ 。则功率测量仪器的不确定度 $u_1 = \overline{P}_{\text{测}} U_{\text{rel}} / k = 0.08\text{kW}$ 。

5 由电压测量仪器引入的不确定度 u_2 。根据三相电力分析仪校准证书，其电压测量的相对不确定度 $U_{\text{rel}} = 0.03\%$ ， $k = 2$ 。则电压测量仪器的不确定度 $u_2 = \overline{U} U_{\text{rel}} / k = 0.03\text{V}$ 。

6 由电流测量仪器引入的不确定度 u_3 。根据三相电力分析仪校准证书，其电流测量的相对不确定度 $U_{\text{rel}} = 0.03\%$ ， $k = 2$ 。则电流测量仪器的不确定度 $u_3 = \overline{I} U_{\text{rel}} / k = 0.01\text{A}$ 。

7 由电压互感器引入的不确定度 u_4 。根据电压互感器检定证书，所使用的电压互感器不确定度等级不大于 0.5% ，故其最终对绕组功率测量结果的影响不超过 0.5% 。取其变化半径 $\alpha = 2.8\text{kW}$ ，均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ；故 $u_4 = \alpha / k = 1.6\text{kW}$ 。

8 由电流互感器引入的不确定度 u_5 。根据电流互感器检定证书，所使用的电流互感器等级不大于 0.2% ，故其最终对功率测量结果的影响不超过 0.2% 。取其变化半径 $\alpha = 1.2\text{kW}$ ，均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ；故 $u_5 = \alpha / k = 0.7\text{kW}$ 。

B.3.4 主电动机输入功率测量的合成标准不确定度应按下述方

法评定：

1 绕组功率、励磁电压和励磁电流的合成标准不确定度应分别按式 (B. 3. 4 - 1)、式 (B. 3. 4 - 2) 和式 (B. 3. 4 - 3) 计算：

$$u_c(P_{\text{绕}}) = \sqrt{u^2(P_{\text{绕}}) + u_1^2 + u_4^2 + u_5^2} \quad (\text{B. 3. 4 - 1})$$

$$u_c(U) = \sqrt{u^2(U) + u_2^2} \quad (\text{B. 3. 4 - 2})$$

$$u_c(I) = \sqrt{u^2(I) + u_3^2} \quad (\text{B. 3. 4 - 3})$$

计算得 $u_c(P_{\text{绕}}) = 2.0\text{kW}$, $u_c(U) = 0.9\text{V}$, $u_c(I) = 0.4\text{A}$ 。

2 主电动机输入功率测量的合成不确定度应按式 (B. 3. 4 - 4) 计算：

$$\begin{aligned} u_c(P) &= \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial P_{\text{绕}}}\right)^2 u_c^2(P_{\text{绕}}) + \left(\frac{\partial P}{\partial U}\right)^2 u_c^2(U) + \left(\frac{\partial P}{\partial I}\right)^2 u_c^2(I)} \\ &= \sqrt{u_c^2(P_{\text{绕}}) + \left(\frac{\bar{I}}{1000}\right)^2 u_c^2(U) + \left(\frac{\bar{U}}{1000}\right)^2 u_c^2(I)} \end{aligned} \quad (\text{B. 3. 4 - 4})$$

计算得 $u_c(P) = 2.00\text{kW}$ 。

B. 3. 5 主电动机输入功率测量的扩展不确定度应按下述方法评定：

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度 $U = k u_c(P)$ ，即 $U = 4.00\text{kW}$ 。

B. 3. 6 主电动机输入功率测量结果及不确定度报告应采用下述方式：

主电动机输入功率测量结果 $P = 568.99\text{kW}$ ，扩展不确定度 $U = 4.00\text{kW}$ ，它是由合成标准不确定度 $u_c(P) = 2.00\text{kW}$ 乘以包含因子 $k = 2$ 而得到的。

B. 4 装置扬程测量的不确定度评定

B. 4. 1 装置扬程应按式 (B. 4. 1) 计算：

$$H = (\nabla_2 - L_2) - (\nabla_1 - L_1) + h_2 - h_1 \quad (\text{B. 4. 1})$$

式中 ∇_1 ——下游（泵站进口）地面高程，m；
 ∇_2 ——上游（泵站出口）地面高程，m；
 L_1 ——通道 1 传感器测线长度，m；
 L_2 ——通道 2 传感器测线长度，m；
 h_1 ——通道 1 液位，m；
 h_2 ——通道 2 液位，m。

B. 4. 2 装置扬程测量的不确定度应包括以下主要来源：

- 1 液位测量的不确定度分量 $u(h)$ ；
- 2 传感器测线长度测量的不确定度分量 $u(L)$ ；
- 3 高程测量的不确定度分量 $u(\nabla)$ ；
- 4 由水准尺引入的不确定度分量 u_1 ；
- 5 由水准仪引入的不确定度分量 u_2 ；
- 6 由钢卷尺引入的不确定度分量 u_3 ；
- 7 由采集系统引入的不确定度分量 u_4 ；
- 8 由水面波动引入的不确定度分量 u_5 ；
- 9 由水准仪安装位置的影响而引入的不确定度分量 u_6 ；
- 10 由信号干扰引入的不确定度分量 u_7 。

B. 4. 3 装置扬程测量的标准不确定度分量应按下述方法评定：

- 1 液位测量的不确定度分量 $u(h)$ 。
 - 1) 通道 1 液位测量的平均值应按式 (B. 4. 3 - 1) 计算：

$$\bar{h}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (\text{B. 4. 3 - 1})$$

式中 i ——测量读数字号；
 n ——测量次数；
 h_i ——第 i 次测量的液位值。

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 1)，计算得 $\bar{h}_1 = 2.015\text{m}$ 。

- 2) 通道 1 液位测量的实验标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 2) 计算：

$$s(h_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_1)^2}{n-1}} \quad (\text{B. 4. 3 - 2})$$

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 2), 计算得 $s(h_1) = 0.0591\text{m}$ 。

- 3) 通道 1 液位测量的算术平均值标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 3) 计算:

$$s(\bar{h}_1) = \frac{s(h_1)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 4. 3 - 3})$$

计算得 $s(\bar{h}_1) = 0.0197\text{m}$, 则 $u(h_1) = 0.0197\text{m}$ 。

- 4) 通道 2 液位测量的平均值应按式 (B. 4. 3 - 4) 计算:

$$\bar{h}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (\text{B. 4. 3 - 4})$$

将表 B. 1. 3 中数据代入式 (B. 4. 3 - 4), 计算得 $\bar{h}_2 = 2.015\text{m}$ 。

- 5) 通道 2 液位测量的实验标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 5) 计算:

$$s(h_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_2)^2}{n-1}} \quad (\text{B. 4. 3 - 5})$$

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 5), 计算得 $s(h_2) = 0.0106\text{m}$ 。

- 6) 通道 2 液位测量的算术平均值标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 6) 计算:

$$s(\bar{h}_2) = \frac{s(h_2)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 4. 3 - 6})$$

计算得 $s(\bar{h}_2) = 0.0035\text{m}$, 则 $u(h_2) = 0.0035\text{m}$ 。

- 2 传感器测线长度测量的不确定度分量 $u(L)$ 。

- 1) 通道 1 传感器测线长度测量的平均值应按式 (B. 4. 3 - 7) 计算:

$$\bar{L}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (\text{B. 4. 3 - 7})$$

式中 L_i ——第 i 次测量的测线长度值；
 n ——测量次数。

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 7)，计算得 $\bar{L}_1 = 2.502\text{m}$ 。

- 2) 通道 1 传感器测线长度测量的实验标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 8) 计算：

$$s(L_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L}_1)^2}{n - 1}} \quad (\text{B. 4. 3 - 8})$$

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 8)，计算得 $s(L_1) = 0.0003\text{m}$ 。

- 3) 通道 1 传感器测线长度测量的算术平均值标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 9) 计算：

$$s(\bar{L}_1) = \frac{s(L_1)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 4. 3 - 9})$$

计算得 $s(\bar{L}_1) = 0.0001\text{m}$ ，则 $u(L_1) = 0.0001\text{m}$ 。

- 4) 通道 2 传感器测线长度测量的平均值应按式 (B. 4. 3 - 10) 计算：

$$\bar{L}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (\text{B. 4. 3 - 10})$$

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 10)，计算得 $\bar{L}_2 = 2.501\text{m}$ 。

- 5) 通道 2 传感器测线长度测量的实验标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 11) 计算：

$$s(L_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L}_2)^2}{n - 1}} \quad (\text{B. 4. 3 - 11})$$

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 11)，计算得

$$s(L_2) = 0.0053\text{m}。$$

- 6) 通道 2 传感器测线长度测量的算术平均值标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 12) 计算:

$$s(\overline{L_2}) = \frac{s(L_2)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 4. 3 - 12})$$

计算得 $s(\overline{L_2}) = 0.0018\text{m}$, 则 $u(L_2) = 0.0018\text{m}$ 。

3 高程测量的不确定度分量 $u(\nabla)$ 。

- 1) 上游地面高程测量的平均值应按式 (B. 4. 3 - 13) 计算:

$$\overline{\nabla}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nabla_i \quad (\text{B. 4. 3 - 13})$$

式中 i ——测量读数序号;

n ——测量次数;

∇_i ——第 i 次测量的高程值。

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 13), 计算得 $\overline{\nabla}_1 = 9.558\text{m}$ 。

- 2) 上游侧地面高程测量的实验标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 14) 计算:

$$s(\nabla_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\nabla_i - \overline{\nabla}_1)^2}{n-1}} \quad (\text{B. 4. 3 - 14})$$

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 14), 计算得 $s(\nabla_1) = 0.0064\text{m}$ 。

- 3) 上游侧地面高程测量的算术平均值标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 15) 计算:

$$s(\overline{\nabla}_1) = \frac{s(\nabla_1)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 4. 3 - 15})$$

计算得 $s(\overline{\nabla}_1) = 0.0021\text{m}$, 则 $u(\nabla_1) = 0.0021\text{m}$ 。

- 4) 下游地面高程测量的平均值应按式 (B. 4. 3 - 16) 计算:

$$\bar{\nabla}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nabla_i \quad (\text{B. 4. 3 - 16})$$

将表 B. 1. 3 中数据代入式 (B. 4. 3 - 16), 计算得 $\bar{\nabla}_2 = 15.211\text{m}$ 。

- 5) 下游地面高程测量的实验标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 17) 计算:

$$s(\nabla_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\nabla_i - \bar{\nabla}_2)^2}{n-1}} \quad (\text{B. 4. 3 - 17})$$

将表 B. 1. 3 中的数据代入式 (B. 4. 3 - 17), 计算得 $s(\nabla_2) = 0.0089\text{m}$ 。

- 6) 下游地面高程测量的算术平均值标准偏差应按式 (B. 4. 3 - 18) 计算:

$$s(\bar{\nabla}_2) = \frac{s(\nabla_2)}{\sqrt{n}} \quad (\text{B. 4. 3 - 18})$$

计算得 $s(\bar{\nabla}_2) = 0.0028\text{m}$, 则 $u(\nabla_2) = 0.0028\text{m}$ 。

4 由水准尺引入的不确定度分量 u_1 。根据水准尺校准证书, 其不确定度 $U = 0.09\text{mm}$, $k = 2$ 。则水准尺的标准不确定度 $u_1 = U/k = 0.045\text{mm}$ 。

5 由水准仪引入的不确定度分量 u_2 。根据水准仪的校准证书, 其不确定度 $U = 0.26''$, $k = 2$ 。则水准仪的标准不确定度 $u_2 = U/k = 0.13''$ 。取测量距离 $L = 50\text{m}$, 则水准仪的不确定度 $u_2 = L \cdot \sin(0.13'') = 3 \times 10^{-5}\text{m}$ 。

6 由钢卷尺引入的不确定度分量 u_3 。根据钢卷尺的校准证书, 其不确定度 $U = 0.03\text{mm}$, $k = 2$ 。则水准尺的标准不确定度 $u_1 = U/k = 0.015\text{mm}$ 。

7 由采集系统引入的不确定度分量 u_4 。根据以往经验, 采集系统对液位测量产生的影响不超过 0.2% 。故取其变化半径 $\alpha = 0.040\text{mm}$, 均匀分布, 即 $k = \sqrt{3}$; 故 $u_4 = \alpha/k = 0.023\text{mm}$ 。

8 由水面波动引入的不确定度分量 u_5 。根据以往经验, 水

面波动对液位测量产生的影响不超过 1%。故取其变化半径 $\alpha = 0.010\text{m}$ ，均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ；故 $u_5 = \alpha/k = 0.0058\text{m}$ 。

9 由水准仪安装位置的影响而引入的不确定度分量 u_6 。根据以往经验，其对高程测量产生的影响不超过 0.5%。故取其变化半径 $\alpha = 0.005\text{m}$ ，均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ；故 $u_6 = \alpha/k = 0.0029\text{m}$ 。

10 由信号干扰引入的不确定度分量 u_7 。现场信号干扰对液位测量产生的影响可以进行有效控制。取其变化半径 $\alpha = 0.010\text{m}$ ，均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ；故 $u_7 = \alpha/k = 0.006\text{m}$ 。

B.4.4 装置扬程测量的合成标准不确定度应按下述方法评定：

1 液位传感器通道 1 及通道 2 的液位值、传感器测线长度和地面高程的合成标准不确定度应分别按式 (B.4.4-1) ~ 式 (B.4.4-6) 计算：

$$u_c(h_1) = \sqrt{u^2(h_1) + u_4^2 + u_5^2 + u_7^2} \quad (\text{B.4.4-1})$$

$$u_c(h_2) = \sqrt{u^2(h_2) + u_4^2 + u_5^2 + u_7^2} \quad (\text{B.4.4-2})$$

$$u_c(\nabla_1) = \sqrt{u^2(\nabla_1) + u_1^2 + u_2^2 + u_6^2} \quad (\text{B.4.4-3})$$

$$u_c(\nabla_2) = \sqrt{u^2(\nabla_2) + u_1^2 + u_2^2 + u_6^2} \quad (\text{B.4.4-4})$$

$$u_c(L_1) = \sqrt{u^2(L_1) + u_3^2} \quad (\text{B.4.4-5})$$

$$u_c(L_2) = \sqrt{u^2(L_2) + u_3^2} \quad (\text{B.4.4-6})$$

计算得 $u_c(h_1) = 0.0214\text{m}$ ， $u_c(h_2) = 0.0091\text{m}$ ， $u_c(\nabla_1) = 0.0036\text{m}$ ， $u_c(\nabla_2) = 0.0004\text{m}$ ， $u_c(L_1) = 0.0001\text{m}$ ， $u_c(L_2) = 0.0018\text{m}$ 。

2 装置扬程测量的合成标准不确定度应按式 (B.4.4-7) 计算：

$$u_c(H) = \sqrt{u_c^2(h_1) + u_c^2(h_2) + u_c^2(\nabla_1) + u_c^2(\nabla_2) + u_c^2(L_1) + u_c^2(L_2)} \quad (\text{B.4.4-7})$$

计算得 $u_c(H) = 0.0236\text{m}$ 。

B.4.5 装置扬程测量的扩展不确定度应按下述方法评定：

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度 $U = ku_c(H)$ ，即 $U = 0.047\text{m}$ 。

B.4.6 装置扬程测量结果及不确定度报告应采用下述方式：

装置扬程测量结果 $H = 5.654\text{m}$ ，扩展不确定度 $U = 0.047\text{m}$ ，它是由合成标准不确定度 $u_c(H) = 0.0236\text{m}$ 乘以包含因子 $k=2$ 而得到的。

B.5 装置效率测量的不确定度评定

B.5.1 装置效率测量的不确定度，应根据本标准 D.2~D.4 中对流量、主电动机输入功率和装置扬程的测量不确定度评定结果（测量结果汇总见表 B.5.1）进行评定。

表 B.5.1 流量、主电动机输入功率和装置扬程测量结果汇总表

参 数	测 量 结 果		
	数值	扩展不确定度	包含因子
流量	6.679m ³ /s	$U=0.062\text{m}^3/\text{s}$	$k=2$
主电动机输入功率	523.50kW	$U=3.68\text{kW}$	$k=2$
装置扬程	5.654m	$U=0.047\text{m}$	$k=2$

B.5.2 装置效率应按式 (B.5.2) 计算：

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{1000 P} \times 100\% \quad (\text{B.5.2})$$

式中 η ——装置效率；

ρ ——水的密度， kg/m^3 ；

g ——重力加速度， m/s^2 ；

Q ——出水管流量， m^3/s ；

H ——装置扬程， m ；

P ——主电动机输入功率， kW 。

B.5.3 装置效率测量的不确定度应包括以下主要来源：

- 1 由流量测量引入的不确定度分量 $u(Q)$ ；
- 2 由主电动机输入功率测量引入的不确定度分量 $u(P)$ ；
- 3 由装置扬程测量引入的不确定度分量 $u(H)$ ；

4 由重力加速度引入的不确定度分量 $u(g)$;

5 由水体密度引入的不确定度分量 $u(\rho)$ 。

B.5.4 装置效率的标准不确定度分量应按下述方法评定:

1 由流量测量引入的不确定度分量 $u(Q)$ 。用表 B.5.1 中的流量测量扩展不确定度除以对应的包含因子, 得出由流量测量引入的不确定度分量 $u(Q) = 0.031\text{m}^3/\text{s}$ 。

2 由主电动机输入功率测量引入的不确定度分量 $u(P)$ 。用表 B.5.1 中的主电动机输入功率测量扩展不确定度除以对应的包含因子, 得出由功率测量引入的不确定度分量 $u(P) = 1.84\text{kW}$ 。

3 由装置扬程测量引入的不确定度分量 $u(H)$ 。用表 B.5.1 的装置扬程测量扩展不确定度除以对应的包含因子, 得出由装置扬程测量引入的不确定度分量 $u(H) = 0.024\text{m}$ 。

4 由重力加速度引入的不确定度分量 $u(g)$ 。采用低纬度、低海拔地区重力加速度值进行分析, 取重力加速度引入的标准不确定度分量 $u(g) = 0.014\text{m/s}^2$ 。

5 由水密度引入的不确定度分量 $u(\rho)$ 。采用 $0\sim 25^\circ\text{C}$ 水体密度值进行分析, 取水体密度引入的标准不确定度分量 $u(\rho) = 1.67\text{kg/m}^3$ 。

B.5.5 装置效率测量的合成标准不确定度应按式 (B.5.5) 计算:

$$u_c(\eta) = \sqrt{\left(\frac{gQH}{1000P}\right)^2 u^2(\rho) + \left(\frac{\rho QH}{1000P}\right)^2 u^2(g) + \left(\frac{\rho g H}{1000P}\right)^2 u^2(Q) + \left(\frac{\rho g Q}{1000P}\right)^2 u^2(H) + \left(-\frac{\rho g QH}{1000P^2}\right)^2 u^2(P)} \quad (\text{B.5.5})$$

计算得 $u_c(\eta) = 0.005$ 。

B.5.6 装置效率测量的扩展不确定度应按下述方法评定:

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度 $U = ku_c(\eta)$, 即 $U=1\%$ 。

B.5.7 装置效率测量结果及不确定度报告应采用下述方式:

装置效率测量结果 $\eta=65.1\%$, 扩展不确定度 $U=1\%$, 它是合成标准不确定度 $u_c(\eta) = 0.005$ 乘以包含因子 $k=2$ 而得到的。

附录 C 流速仪法测流的测点布置 与流量计算

C.1 圆形管道单测点测量

C.1.1 圆形管道单测点测量流量时，流速仪应布置在管道中心线上。

C.1.2 流量应按式 (C.1.2) 计算：

$$Q = kv_c A \quad (\text{C.1.2})$$

式中 Q ——流量， m^3/s ；

k ——流速系数，当测流断面上游具有长度大于 15 倍管径的直管段时，宜取 $k=0.88$ ；

v_c ——管道中心流速， m/s ；

A ——测流断面面积， m^2 。

C.2 圆形管道多测点测量

C.2.1 圆形管道多测点测量流量时，宜采用圆环等面积法、圆环等流量法、对数—线性法或对数—车比雪夫法布置测点并计算流量。

C.2.2 采用圆环等面积法或圆环等流量法时，测点布置应符合图 C.2.2、表 C.2.2-1 和表 C.2.2-2 的规定。

表 C.2.2-1 圆环等面积法测点位置表

每根半径上的测点数 n	总数	r_n/R	r_{n-1}/R	r_{n-2}/R	r_{n-3}/R	r_{n-4}/R	r_{n-5}/R	r_{n-6}/R	r_{n-7}/R
3	13	0.913	0.707	0.408					
4	17	0.935	0.791	0.612	0.354				
5	21	0.949	0.837	0.707	0.548	0.316			
6	25	0.957	0.866	0.764	0.645	0.500	0.289		
7	29	0.964	0.886	0.802	0.707	0.598	0.463	0.267	
8	33	0.968	0.901	0.829	0.750	0.661	0.559	0.433	0.250

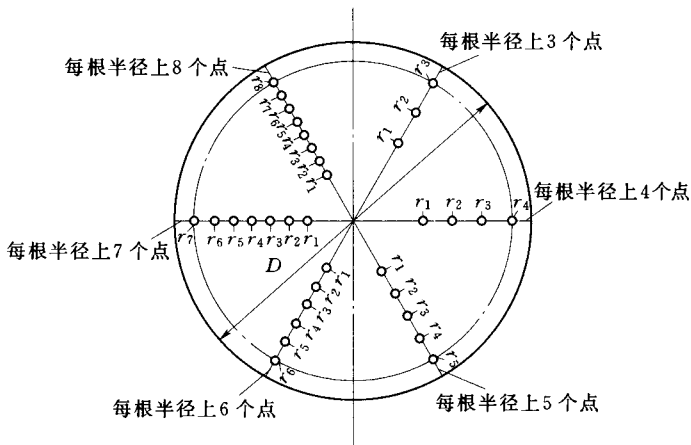


图 C. 2. 2 圆形管道多测点布置图

表 C. 2. 2-2 圆环等流量法测点位置表

每根半径上的测点数 n	总数	r_n	r_{n-1}/r_n	r_{n-2}/r_n	r_{n-3}/r_n	r_{n-4}/r_n	r_{n-5}/r_n	r_{n-6}/r_n	r_{n-7}/r_n
3	13	$D/2 - 0.75d$	0.816	0.577					
4	17	$D/2 - 0.75d$	0.866	0.707	0.500				
5	21	$D/2 - 0.75d$	0.894	0.775	0.632	0.447			
6	25	$D/2 - 0.75d$	0.912	0.816	0.707	0.577	0.408		
7	29	$D/2 - 0.75d$	0.926	0.845	0.756	0.655	0.535	0.378	
8	33	$D/2 - 0.75d$	0.936	0.866	0.791	0.707	0.613	0.500	0.354

C. 2. 3 采用圆环等面积法或圆环等流量法布置测点时，流量应按式 (C. 2. 3-1) ~ 式 (C. 2. 3-3) 计算：

$$Q = 2\pi \int_0^R v_i r_i dr \quad (C. 2. 3-1)$$

式中 R ——圆管半径，m；

v_i ——测点流速，m/s；

r_i ——该测点所对应的半径，m。

$$Q = \pi \int_0^{R^2} v_i dr^2 \quad (\text{C. 2. 3 - 2})$$

$$Q = A \left[\int_0^{(r_n/R)^2} v d\left(\frac{r}{R}\right)^2 + \frac{m}{m+1} v_n \left(1 - \frac{r_n^2}{R^2}\right) \right] \quad (\text{C. 2. 3 - 3})$$

式中 v ——沿半径为 r 的周线上的平均空间流速，m/s；

r_n ——最靠近管壁的测点所对应的半径，m；

v_n ——半径为 r_n （即最靠近管壁）的圆周上测点流速的算术平均值，m/s；

m ——系数，取决于管壁糙度和水流条件，取值区间在 4（粗糙管壁）与 10（光滑管壁）之间。

C. 2. 4 采用对数—线性法时，测点位置应符合表 C. 2. 4 的规定，流量应按式 (C. 2. 4) 计算：

$$Q = \bar{v}A \quad (\text{C. 2. 4})$$

其中
$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

式中 \bar{v} ——平均流速，m/s；

n ——测点数，个；

A ——测流断面面积， m^2 。

表 C. 2. 4 对数—线性法测点位置表

每根半径上的测点数 n	r/R	y/D
3	0. 3586 ± 0. 0100	0. 3207 ± 0. 0050
	0. 7302 ± 0. 0100	0. 1349 ± 0. 0050
	0. 9358 ± 0. 0032	0. 0321 ± 0. 0016
5	0. 2776 ± 0. 0100	0. 3612 ± 0. 0050
	0. 5658 ± 0. 0100	0. 2171 ± 0. 0050
	0. 6950 ± 0. 0100	0. 1525 ± 0. 0050
	0. 8470 ± 0. 0076	0. 0765 ± 0. 0038
	0. 9622 ± 0. 0018	0. 0189 ± 0. 0009

C. 2. 5 采用对数—车比雪夫法时，测点位置应符合表 C. 2. 5 的

规定，流量应按式（C.2.4）计算。

表 C.2.5 对数一车比雪夫法测点位置表

每根半径上的测点数 n	r/R	y/D
3	0.3754 ± 0.0100	0.3123 ± 0.0050
	0.7252 ± 0.0100	0.1374 ± 0.0050
	0.9358 ± 0.0032	0.0321 ± 0.0016
4	0.3314 ± 0.0100	0.3343 ± 0.0050
	0.6124 ± 0.0100	0.1938 ± 0.0050
	0.8000 ± 0.0100	0.1000 ± 0.0050
	0.9524 ± 0.0024	0.0238 ± 0.0012
5	0.2866 ± 0.0100	0.3567 ± 0.0050
	0.5700 ± 0.0100	0.2150 ± 0.0050
	0.6892 ± 0.0100	0.1554 ± 0.0050
	0.8472 ± 0.0076	0.0764 ± 0.0038
	0.9622 ± 0.0018	0.0189 ± 0.0009

C.3 矩形管道多测点测量

C.3.1 矩形管道多测点测量流量时，宜采用对数—线性法或对数—车比雪夫法布置测点并计算流量。

C.3.2 采用对数—线性法时，矩形断面测点布置应符合图 C.3.2 和表 C.3.2 的规定。

表 C.3.2 矩形断面对数—线性法布置的测点布置及对应的加权系数 k_i 表

测杆号	x/L	y/H								
		0.034	0.092	0.250	0.3675	0.500	0.6325	0.750	0.908	0.966
I	0.092	2	2	5	—	6	—	5	2	2
II	0.3675	3	—	3	6	—	6	3	—	3
III	0.6325	3	—	3	6	—	6	3	—	3
IV	0.908	2	2	5	—	6	—	5	2	2

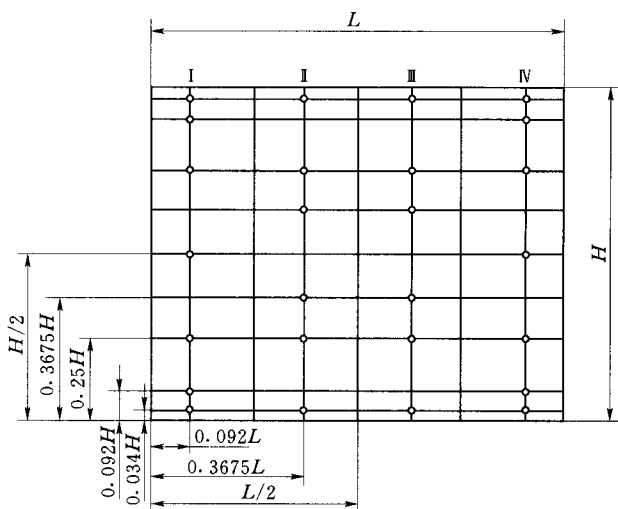


图 C. 3. 2 矩形断面对数—线性法测点布置图

C. 3. 3 采用对数—线性法布置测点时，平均流速应按式 (C. 3. 3 - 1) 计算，流量应按式 (C. 3. 3 - 2) 或 C. 5 节的规定计算：

$$\bar{v} = \frac{\sum k_i v_i}{\sum k_i} \quad (\text{C. 3. 3 - 1})$$

$$Q = \bar{v} A \quad (\text{C. 3. 3 - 2})$$

式中 k_i ——加权系数，应按表 C. 3. 2 的规定取值。

C. 3. 4 采用对数—车比雪夫法时，矩形断面测点布置应符合图 C. 3. 4 和表 C. 3. 4 的规定。

表 C. 3. 4 矩形断面对数—车比雪夫法测点布置表

水平测线或垂直测线的数目	X/L
5	0, ± 0.212 , ± 0.426
6	± 0.063 , ± 0.265 , ± 0.439
7	0, ± 0.134 , ± 0.297 , ± 0.447

C. 3. 5 采用对数—车比雪夫法布置测点时，流量应按式 (C. 2. 4) 或 C. 5 节的规定计算。

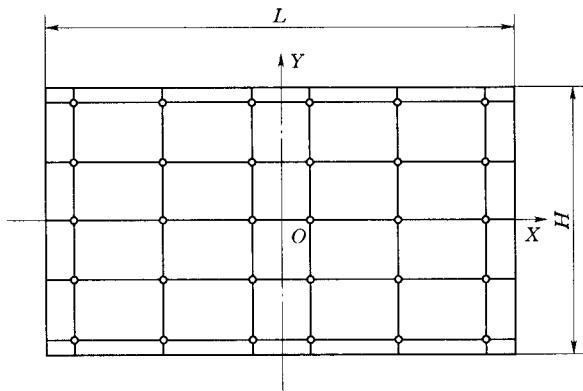


图 C.3.4 矩形断面对数一车比雪夫法测点布置图

C.4 明渠多测点测量

C.4.1 明渠多测点测量流量时，应根据现场条件和流速仪数量选用一点法、二点法、三点法、五点法或六点法。对应的测点布置应符合图 C.4.1 的规定。

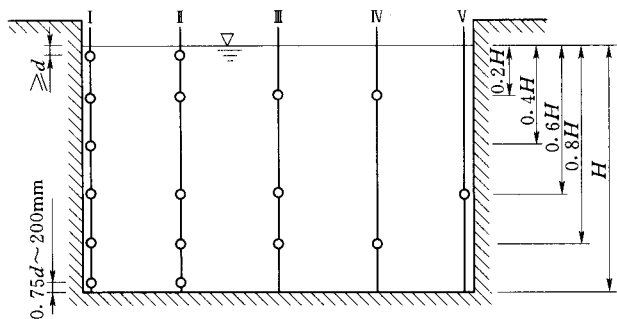


图 C.4.1 明渠多测点布置图

C.4.2 测线平均流速应按式 (C.4.2-1) ~ 式 (C.4.2-5) 计算：

1 六点法：

$$v = 0.1(v_{\text{水面}} + 2v_{0.2} + 2v_{0.4} + 2v_{0.6} + 2v_{0.8} + v_{\text{渠底}}) \quad (\text{C.4.2-1})$$

2 五点法:

$$v = 0.1(v_{\text{水面}} + 3v_{0.2} + 3v_{0.6} + 2v_{0.8} + v_{\text{渠底}}) \quad (\text{C. 4.2-2})$$

3 三点法:

$$v = 0.25(v_{0.2} + 2v_{0.6} + v_{0.8}) \quad (\text{C. 4.2-3})$$

4 二点法:

$$v = 0.5(v_{0.2} + v_{0.8}) \quad (\text{C. 4.2-4})$$

5 一点法:

$$v = v_{0.6} \quad (\text{C. 4.2-5})$$

式中 $v_{0.2}$ 、 $v_{0.4}$ 、 $v_{0.6}$ 、 $v_{0.8}$ ——各相对水深处的测点流速，m/s；
 $v_{\text{水面}}$ 、 $v_{\text{渠底}}$ ——水面和渠底处的测点流速，m/s；
 v ——第 i 条测线的平均流速，m/s。

C. 4.3 应按图 C. 4.3 的规定，以测线为界将测量断面划分为若干部分；各部分的面积应按式 (C. 4.3) 计算：

$$A_i = b_i h_i \quad (\text{C. 4.3})$$

式中 A_i ——第 i 部分面积， m^2 ；
 b_i ——第 i 部分断面宽度，m；
 h_i ——第 i 部分断面平均水深，m。

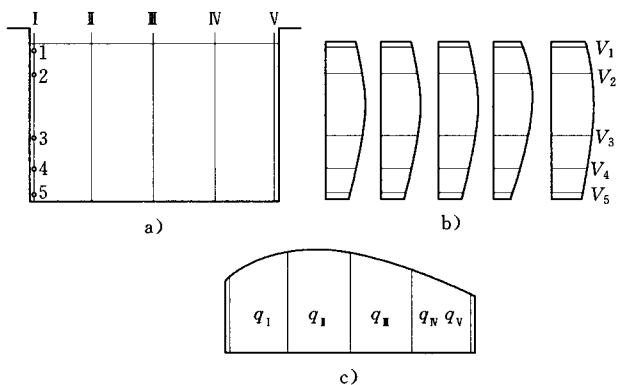


图 C. 4.3 测流断面划分计算图

C. 4. 4 两条测线中间部分的平均流速应按式 (C. 4. 4) 计算:

$$V = \frac{v_{i-1} + v_i}{2} \quad (\text{C. 4. 4})$$

式中 V ——第 i 部分断面平均流速, m/s;

v_i ——第 i 条测线平均流速, m/s。

C. 4. 5 测线与渠道边壁中间部分的平均流速应按式 (C. 4. 5 - 1) 和式 (C. 4. 5 - 2) 计算:

$$V_1 = \alpha v_1 \quad (\text{C. 4. 5 - 1})$$

$$V_n = \alpha v_{n-1} \quad (\text{C. 4. 5 - 2})$$

式中 α ——边壁流速系数, 宜按表 C. 4. 5 的规定取值。

表 C. 4. 5 明渠边壁的流速系数 α 值

边 壁 情 况		α 值
斜坡边坡		0.83~0.91
陡峭边壁	粗糙	0.85
	光滑	0.90

C. 4. 6 各部分流量应按式 (C. 4. 6) 计算:

$$q_i = V_i A_i \quad (\text{C. 4. 6})$$

式中 q_i ——第 i 部分流量, m^3/s 。

C. 4. 7 测量断面的流量应按式 (C. 4. 7) 或 A. 5 节的规定计算:

$$Q = \sum_1^n q_i \quad (\text{C. 4. 7})$$

C. 5 网格法计算流量

C. 5. 1 采用矩形管道多测点法和明渠多测点法测量流量时, 可采用网格法计算流量。

C. 5. 2 网格的划分应符合下列规定:

1 应以水深为纵坐标、宽度为横坐标建立坐标系。

2 应用 Δh 将测流断面水深刻分为 m 个等份, 并用 ΔB 将测流断面宽度划分为 n 个等份, 形成 $n \times m$ 个网格, 每个网格的

面积 ΔS 为 $\Delta h \times \Delta B$ 。

C. 5. 3 对于中心坐标为 (h_i, B_j) 的网格，平均流速应按下列方法计算：

1 用插值法计算与 B_j 相邻的 3 条测线在水深为 h_i 处的流速；

2 利用求出的 3 条测线上的流速，用插值法计算宽度为 B_j 处的流速 $v(i, j)$ ；该流速即为网格 (h_i, B_j) 的平均流速。

C. 5. 4 对于中心坐标为 (h_i, B_j) 的网格，流量应按式 (C. 5. 4) 计算：

$$dQ = v(i, j)dS \quad (\text{C. 5. 4})$$

C. 5. 5 矩形管道或明渠的流量应按式 (C. 5. 5) 计算：

$$Q = \int_{i=1}^m \int_{j=1}^n dQ \quad (\text{C. 5. 5})$$

附录 D 水泵轴功率测定方法

D.1 应变片法

D.1.1 采用应变片法测定水泵轴功率时,应按图 D.1.1 的规定在泵轴上粘贴并连接应变片。

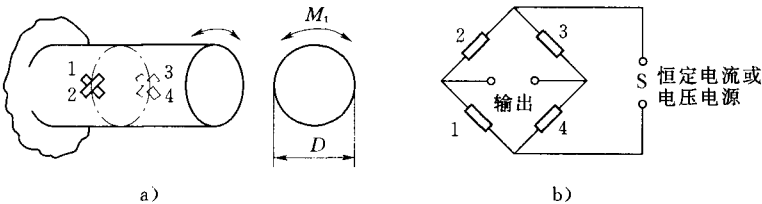


图 D.1.1 泵轴上扭矩测量的应变片连接

D.1.2 泵轴上的扭矩应按式 (D.1.2-1) 计算:

$$M_1 = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^3 G \frac{\sum \epsilon_{45^\circ}}{4} \quad (\text{D.1.2-1})$$

其中

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{D.1.2-2})$$

式中 M_1 ——泵轴上的扭矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

D ——泵轴直径, m ;

$\sum \epsilon_{45^\circ}$ ——应变片实测应变值, 见 D.1.3 条;

G ——切变模量;

E ——泵轴材料的弹性模量, N/m^2 ;

ν ——泵轴材料的泊松比。

D.1.3 应变片的应变值 $\sum \epsilon_{45^\circ}$ 应通过测量图 D.1.1b) 规定的全桥电路的输出值得出。在每一个工况点, 应在平稳时至少测量 3 次, 求其算术平均值作为该工况的测量值。

D.1.4 应在测量应变片应变值的同时测量水泵转速。

D.1.5 水泵轴功率应按式 (D.1.5) 计算:

$$P_a = \frac{2\pi M_t n}{60 \times 10^3} \approx \frac{M_t n}{9550} \quad (\text{D. 1. 5})$$

式中 P_a ——水泵轴功率，kW；

n ——水泵转速，r/min。

D. 2 扭矩测功法

D. 2. 1 采用扭矩测功法测定水泵轴功率时，应根据测算的水泵最大扭矩，选择适宜量程的扭矩仪或钢弦测功仪传感器。

D. 2. 2 应按照扭矩仪或钢弦测功仪的使用说明书，将其可靠安装在水泵轴的适当位置。

D. 2. 3 应在读取扭矩仪或钢弦测功仪读数的同时测量水泵转速。

D. 2. 4 水泵轴功率应按式 (D. 2. 4) 计算：

$$P_a = \frac{2\pi M_t n}{60 \times 10^3} \approx \frac{M_t n}{9550} \quad (\text{D. 2. 4})$$

式中 M_t ——测得的扭矩，N·m。

D. 3 负载率换算法

D. 3. 1 采用负载率换算法测定水泵轴功率时，电动机负载率应按式 (D. 3. 1-1) 计算：

$$\beta = \frac{-\frac{P_N}{2} + \sqrt{\frac{P_N^2}{4} - (\sum P_N - P_0)(P_{gr} - P_0)}}{\sum P_N - P_0} \quad (\text{D. 3. 1-1})$$

其中 $\sum P_N = \left(\frac{1}{\eta_N} - 1\right) P_N \quad (\text{D. 3. 1-2})$

式中 β ——电动机负载率，%；

P_{gr} ——电动机输入功率，kW；

P_N ——电动机额定功率，kW；

P_0 ——电动机空载损耗，kW；

$\sum P_N$ ——电动机额定负载时的有功损耗，kW；

η_N ——电动机额定效率，%。

D. 3. 2 应根据电动机制造厂提供的产品说明书查出该电动机的额定效率，并按式 (D. 3. 2 - 1) 和式 (D. 3. 2 - 2) 计算不同负载下的电动机效率：

$$\eta_x = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_N} - 1\right)b} \quad (\text{D. 3. 2 - 1})$$

$$b = \frac{\beta + \frac{k_2}{\beta}}{1 + k_2} \quad (\text{D. 3. 2 - 2})$$

两式中 η_x ——任一负载下的电动机效率，%；

k_2 ——电动机恒定损耗与可变损耗之比，转速为 750r/min 及以下的异步电动机， $k_2 = 0.5$ ；转速为 750~1500r/min 的异步电动机， $k_2 = 1.0$ ；同步电动机和转速为 1500r/min 以上的异步电动机， $k_2 = 2.0$ 。

对于三相异步电动机，也可按负载率 β 查取修正值，然后按式 (D. 3. 2 - 3) 计算不同负载下的电动机效率：

$$\eta_x = \eta_N k_\eta \quad (\text{D. 3. 2 - 3})$$

式中 k_η ——效率修正值，%。可从异步电动机通用效率曲线图 D. 3. 2 中查得。

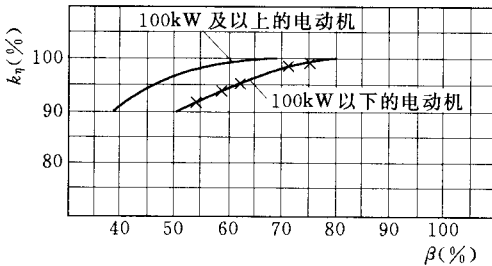


图 D. 3. 2 异步电动机通用效率曲线图

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

泵站现场测试与安全检测规程

SL 548—2012

条 文 说 明

目 次

1	总则	69
2	基本规定	70
3	流量测定	71
4	扬程测定	73
5	转速与功率测定	75
6	其他参数测量	76
7	建筑物安全检测	77
8	电气设备安全检测	79
9	机械设备与金属结构安全检测	80

1 总 则

1.0.1 规范泵站现场性能测试和安全检测的内容与方法，目的是准确测算泵站技术经济指标、为泵站安全鉴定提供依据、制定泵站经济运行方案、监视设备运行状况、检查和评定设备性能、实现泵站自动化监控等，以满足泵站安全运行和节能的需要。

1.0.2 本条所指的泵站主要包括灌溉、排水、调（引）水及工业、城镇供排水泵站。

2 基本规定

2.0.1 各泵站的规模、结构形式等千差万别，检测的目的、性质也各不相同，例如有的是为泵站工程建设或更新改造验收进行泵站装置效率测试，而有的只是为进行局部技术改造进行部分设备或建筑物安全检测，还有的则是为大规模的全面更新改造或拆除重建进行泵站工程全面安全检测，故本条未规定检测单位的具体资质等级。执行时，应根据检测内容、检测目的、检测性质和重要性等确定检测单位的资质等级。泵站规模大、结构复杂、检测目的的重要性高的，应选资质等级较高的检测单位；反之，可选资质等级较低的检测单位。

2.0.3 根据国家有关安全生产属地管理的原则，本条主要强调了泵站管理单位的安全责任。

2.0.4 泵站现场情况较为复杂，本条主要强调了检测人员的安全责任。

2.0.8 即使是经过标定并在有效期内的测试用仪器、仪表和设备，也可因现场条件变化而影响其测量不确定度，故作本条规定。

3 流量测定

3.1.1 泵站流量测量除可用本条提到的测量方法外，也可考虑采用本标准 3.6 节中提到的测量方法。对于进出水流道较短的泵站，可借助内部流场数值模拟结果来帮助确定测量断面。

3.1.2 泵站现场条件、检测成本及不确定度要求等对选择测量方法影响很大。因此，应在满足测量不确定度要求的前提下，根据现场条件选择成本较低的测量方法。

3.1.4 测量流量大多是为计算泵站装置效率。因此，测量流量时，与计算流量和效率相关的泵站进出口水位或压力、水泵轴功率或主电动机功率等参数要同时测量，才能保证泵站装置效率测定的准确性。

3.1.5 不同类型泵站装置在调节工况后，需要持续一段时间，流量才能基本稳定。大多数泵站在调节工况后，从流量变化到稳定的时间通常需要 15min。

3.1.7 限于目前流量测量仪器、仪表和设备的精度，以及泵站现场测试条件和经费等原因，流量测量的不确定度难以达到很小。经对多家泵站现场测试单位的调查，流量测量的不确定度一般能控制在 3.5% 以内，因此本条对流量测量的不确定度的上限进行了规定。

3.2.1~3.2.3 流速仪使用条件得不到满足时，难以保证测试不确定度要求。

3.2.4~3.2.6 测点数量过少不利于流速分布测量，过多则会使阻塞率增大。阻塞率是指同一测量断面的流速仪迎流面面积之和与测量断面面积的比值。流速仪的阻塞会破坏原有水流的流动状态。式 (3.2.4) 和式 (3.2.5) 引自原标准。

3.2.11 有压测流断面面积可在测试前进行测量；对自由水面的测流断面面积应和流速测量同步进行。

3.2.14 少量流速仪在测量过程中难免失灵，现场修复难度大，故允许剔除少量无效数据。

3.3.1 测量条件得不到满足时，难以保证测试不确定度要求。

3.3.2 外夹式超声流量计便于安装，以声速比较为基础对流量计进行在线检验也比较容易。

3.3.4~3.3.6 换能器应按产品说明书的要求进行安装和使用。

3.4.1 现行的泵站流量测量方法，大多需要测量泵站流道（管道）的尺寸，并对顺直段的长度有较严格的要求。而食盐浓度法采用测定盐溶液稀释倍数的方式测定水泵流量，不需要量测测量断面的几何尺寸，对泵站流道（管道）顺直段的长度也没有要求；另外，弯管、异径管等复杂管路更有利于注入的盐水溶液与原水的均匀混合。

3.4.3 试验表明，同一喷射栅上的喷射口朝向一致，且正对水流方向时，盐水溶液与原水的混合效果最好。

3.4.6 维持注入盐水的浓度和流量稳定，是保证食盐浓度法测流精度的前提。通常采用设置溢流箱和机械搅拌装置等手段，保证盐水溶液的注入流量和浓度稳定。

3.4.7 为防止混合前水体，即原水中氯离子浓度变化对测量不确定度造成影响，应在盐水溶液注入的同时对原水进行取样，取样点应位于喷射栅之前一定的距离。

3.4.8 取样断面氯离子浓度随时间的变化过程可分为3个阶段，即浓度上升阶段、稳定阶段和下降阶段。当连续3次取样的浓度都维持不变时，即可判断氯离子浓度已处于稳定阶段。

3.4.9 本条是对混合不均匀度进行控制。当取样断面各取样点的水样浓度差异较大，不满足本条规定时，应增加喷射口的数量、改进喷射口的布置方案或向出水方向重新确定取样断面的位置。

4 扬程测定

4.1.1 如果泵站兴建时在进出水池附近设有固定的水准点，可直接利用；如果没有水准点，可选定一个参考点。进水池和出水池均按参考点作相对校核，施测时应按四等水准测量要求进行。

4.1.2 对于水面较宽的进出水池，应在两边分别设置测点，取两测点读数的平均值作为水池的水位。

4.1.3 测压井的面积宜为 0.1m^2 ；测压井与水池之间设连通管，连通管与测量断面联接处应垂直于池壁，其截面积不应小于测井面积的 10%。当水面较宽或水流不对称时，应在两边各设一测井。

4.1.4 本条所涉及的部分水位测量仪器适用范围及特点、技术要求如下：

(1) 测针、钩形水位计和浮子水位尺用于在测压井中测量水位，适用于水位变化小的场合。

(2) 在设测压井的地方，可采用浮子水位指示器测量测压井中的水位。这种水位指示器分远传和现场记录两类。直接读数时，其灵敏度在 5mm 范围内。

(3) 当用固定水位尺测量进出水池水位时，所用水位尺必须经过校正。水位尺应紧靠池壁垂直安装，并用水准仪测量水位尺零点高程。

(4) 当直接观测进出水池水位有困难或不方便时，可借助于参比水位筒测量，利用水柱差压计测量水位。

4.2.1 压力是指测点处的静压力，是相对于大气压的数值，不包括速度头在内；如果为负值，说明低于大气压。对于离心泵和涡壳式混流泵，进口压力测量断面，若现场条件确不能满足本条要求，取压孔位置也可选择在水泵进出口法兰处，但会增大压力测量的不确定度。

4.3.1 对于离心泵和蜗壳式混流泵，水泵进口是指水泵进口法兰处，水泵出口是指水泵出口法兰处；对于轴流泵和导叶式混流泵，水泵进口是指吸入喇叭管的进口，或进水流道与泵段相交位置。

4.3.3 对于不设进水池或出水池的加压泵站，可不计算装置扬程。

5 转速与功率测定

5.1.1 除本条规定的转速测量仪表外，还可采用具有同时测量转速功能的扭矩仪测量转速，但其不确定度应符合 5.1.2 条的要求。

5.2.1 瓦特表法测定电动机输入功率包括双瓦特表法和三瓦特表法。当负载的 $\cos\varphi$ 低于 0.85（滞后）时，由于采用双瓦特表法会使瓦特表附加误差增大，故宜采用三瓦特表法。

(1) 采用功率变送器法测定电动机输入功率时，包括采用电量综合测试仪测量。

(2) 采用电能表法测定电动机输入功率适用于中小型泵站。

5.2.3 测量同步电动机的励磁功率时，励磁电流和励磁电压宜直接取自励磁母线。励磁电流宜在直流分流器的二次侧，采用直流毫伏表（我国生产的直流分流器二次侧电压一般为 75mV）测量；励磁电压采用直流电压表测量。

当采用计算机采集、处理测试数据时，应使用直流电流和电压变送器测量励磁功率。由于励磁电流中的交流成分较大，应注意选择适宜的电流和电压变送器。

5.2.5 测量同步电动机输入功率时，整个测试过程中同步电动机的功率因数应保持同一数值。因此，当测试工况改变时，应及时调整同步电动机励磁电压，以满足功率因数保持稳定值的测试条件。

5.3.1 扭矩测功法指采用扭矩仪、钢弦测功仪等仪器直接测量泵轴扭矩，进而计算水泵输入轴功率的测量方法。采用上述仪器测量泵轴扭矩时，现场条件应满足仪器的安装布置。测量用的扭矩仪、钢弦测功仪的不确定度应符合 5.3.2 条的规定。当采用拉线式集流环或遥测法采集扭矩时，应采取相应技术措施，保证测试数据不失真。

5.3.6 传感器的“零点”是指钢弦测功仪的钢弦未受力时仪器刻度盘上的读数。

6 其他参数测量

6.1.3 采用专门支架安装传感器时，应保证支架有足够的刚度，使传感器安装后支架的固有频率远大于被测频率的最高值。

6.1.4 测量主轴的径向振动时，应优先选用非接触式传感器，如涡流传感器。

6.2.1 当环境条件对测量传声器有影响时（例如强电、磁场、风、被测设备空气放电的冲击、高温或低温等），应适当选择或定位传声器加以避免。

6.3.2 按测量方式，温度测量仪表可分为接触式和非接触式两大类。接触式温度测量仪表有热电偶、热电阻、双金属温度计等，非接触式有远红外测温仪等。

6.4.2 安装于管道或流道上的传感器应能承受最高水头和最大水锤压力之和而不改变其灵敏度及固有频率，且应保证在负压状态下正常工作。

6.4.3 注意避免连接管的共振及阻尼的影响，减小传感器对机械冲击的灵敏度，避免连接管的次生振荡。测量时注意排空管路中的空气。

7 建筑物安全检测

7.1.1 《泵站安全鉴定规程》(SL 316)对泵站建筑物安全检测内容做出了相关规定,故本章规定检测内容应符合 SL 316 的规定。

7.1.3 采用非破损或半破损检测法进行检测,其检测仪器设备应具有制造厂的产品合格证及检定合格证书,并在有效期内使用。混凝土内部缺陷的检测,可采用超声法、冲击反射法等非破损方法,必要时可采用局部破损检测方法对非破损检测结果进行验证。采用超声法检测时,可按《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21)的有关规定执行。

7.1.4 检测点应布置在具有代表性的部位,是指能代表泵站建筑物结构安全的部位,例如水泵梁、电机梁、压力水箱、闸墩、吊车梁及立柱等构件。

7.2.5 钢筋的锈蚀检测包括保护层厚度、钢筋锈蚀程度等。宜采用非破损的钢筋位置测定仪、混凝土保护层厚度测定仪进行检测,必要时可凿开混凝土进行钢筋直径或保护层厚度的验证。钢筋锈蚀情况检测可按《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344—2004)附录 D 的有关规定进行。

7.2.7 检测裂缝深度时应注意裂缝是否贯通。对于大体积混凝土,当裂缝深度不明确时,可用超声波进行检测,必要时可钻芯样予以验证。检测裂缝形状时,应注意观测裂缝上宽下窄或下宽上窄、中间宽两端窄、八字形、网状形等。检测裂缝走向时,应注意观测裂缝方向是斜向、纵向或沿钢筋方向等。对仍在发展中的裂缝,应设置专门的裂缝观测装置,由管理单位进行定期观测及记录数据,以供测算裂缝发展的速度。

7.2.8 当泵站地基及进出水池流态异常时,应检测水下部位有无止水失效、结构断裂、基土流失、冲坑和塌陷等异常现象。缺

陷的评定方法可按《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204—2002）的有关规定执行。

7.3.3 砌体缺陷主要是指砌体的沉陷、坍落、滑坡、错位、破损、松动、空鼓、表面风化和渗水等，可直接采用目测法。对沉陷的深度、坍落的高度、破损的面积等，可采用度量法。

8 电气设备安全检测

8.1.1 本条仅列出了泵站的主要电气设备，其他电气设备可根据实际情况及需要进行安全检测。

8.2.1 本条适用于各种类型的泵站，执行时应根据泵站的设备状况、检测目的等具体调整。

8.2.2 本条第1款参照《电气装置安装工程 电气设备交接试验标准》(GB 50150)制定。GB 50150规定检测电压应为定子绕组额定电压的3倍。考虑到本标准现场安全检测主要适用于已经运行了一段时期的泵站，为技术改造、更新改建等目的进行的测试和检测，另外泵站的环境条件一般也较差，故适当放宽，规定为2.5倍。

8.2.3 虽然额定电压为3kV和6kV的电动机正逐步被淘汰，但目前泵站中仍有一批正在应用，故本条保留了这2个电压等级。

9 机械设备与金属结构安全检测

9.2.2 实际检测中，根据主水泵性能参数的下降程度以及运行中的振动、噪声、轴承发热等情况确定检测项目。

9.2.4 实际检测中，根据主电动机运行中的振动、噪声、温升等情况，以及主要部件的磨损、变形、锈蚀、破损程度等确定检测项目。

9.2.5 实际检测中，根据传动装置传动设备运行中有否异常声音，以及主要部件的锈蚀、缺损程度等确定检测项目。

9.3.1 本条列出了不同类型泵站金属结构的安全检测对象。实际检测中，根据泵站金属结构的设置情况确定检测对象。

9.3.2~9.3.8 实际检测中，分别根据闸门、拍门、启闭机、拦污栅、清污机、压力管道、阀门、水锤消除器等的主要部件的变形、裂纹、折断、锈蚀、磨损、漏水程度等确定检测项目。

9.3.2 止水装置效果不好，不仅会严重漏水，还可能引起闸门的振动，引起汽蚀等。

9.3.9 目前，我国还没有关于清污机检测的相关标准，但清污机的结构与启闭机相似，因此本条规定清污机的检测按《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》(DL/T 835)的规定执行。

9.3.11 目前，我国还没有关于水锤消除器检测的相关标准，但水锤消除器的结构与阀门相似，因此本条规定水锤消除器的无损检测按《阀门铸钢件液体渗透检查方法》(JB/T 6902)和《承压设备无损检测 第5部分 渗透检测》(JB/T 4730.5)的规定执行。