

泵站 测试 技术

李继珊 主编

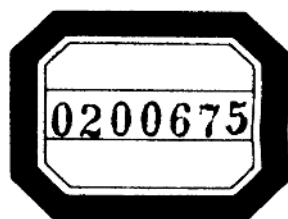
水利电力出版社



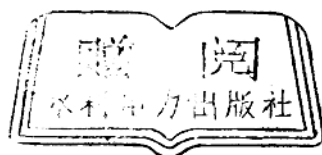
14055

泵站测试技术

李继珊 主编



006236 水利部信息所



水利电力出版社

泵站测试技术

李继珊 主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

北京昌平建华印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 12印张 264千字

1987年4月第一版 1987年4月北京第一次印刷

印数00001—6100册 定价2.80元

书号 15143·6350

内 容 提 要

本书讲述泵站有关参数的测试原理和测试方法，讲述流量、扬程、功率、转速、振动与噪音的测量设备、测量方法、显示及记录仪表，并对测量误差及数据处理作了论述。还附有泵站现场测试的工作程序、常用法定计量单位等。

本书主要是供从事机电排灌的工程技术人员阅读，也可供大专院校机电排灌专业和农田水利专业的师生参考。

31161/28

前 言

为了加强科学管理，国民经济各个部门都十分重视计量问题，发展计量技术。水利电力部最近颁发了《泵站现场测试规程》，将是对我国正在兴起的泵站技术改造和泵站技术经济指标的考核工作的一大推动。为配合各地执行部颁规程，促进泵站经济效益的提高，在总结生产、科研和教学实践的基础上，并吸收有关方面的成果，编写成《泵站测试技术》这本书。

本书的读者对象主要从事机电排灌的工程技术人员，也可供水利院校机电排灌和农田水利专业的师生参考。

编者在从事泵站测试技术的生产、科研和教学实践活动中，得到了许多工程技术人员，院校教授、专家的大力支持，在此一并表示感谢。

本书由武汉水利电力学院李继珊主编。各章节的编者分别为：李继珊（第一章，第二章第一、三、六节，第七章）；汪益三（第二章第二、四、五节）；冯心宽（第二章第七、八节，第六章）；石义华（第四、第五章）；何忠仁（附录）。全书由水利电力部农田水利司黄林泉同志审定。

由于泵站测试技术涉及的知识面很广，鉴于编者水平所限，错误之处，恳请读者批评指正，不胜感谢。

编 者

1986年4月

目 录

前 言

第一章 概论	(1)
第一节 泵站测试的目的和意义	(1)
第二节 泵站测试的参数	(2)
一、扬程	(2)
二、流量	(4)
三、功率	(5)
四、转速	(6)
五、效率	(6)
六、水泵及装置性能曲线	(8)
第三节 测试的基本方法及其分类	(12)
第四节 泵站测试标准	(13)
第二章 流量的测量	(16)
第一节 概述	(16)
一、流量测量方法的分类	(16)
二、流量测量的原理与流量计	(17)
三、泵站测流的特点和要求	(19)
第二节 流速仪法测量流量	(21)
一、流速仪及其应用	(21)
二、用流速仪测定明渠中的流量	(27)
三、用流速仪测定压力管道中的流量	(41)
第三节 差压测流	(65)
一、文丘里管流量计	(65)

二、弯头流量计	(67)
三、用进水流道差压法测量流量	(71)
四、其它差压测流装置	(74)
五、差压计	(76)
六、差压表计的选择及安装	(82)
七、流量系数的确定及误差分析	(84)
第四节 均速管测定流量	(87)
一、均速管测流装置组成	(88)
二、均速管测流的基本原理	(89)
三、均速管流量系数 C 的标定	(91)
四、用均速管测定水泵的流量	(92)
五、均速管测流的误差分析	(92)
第五节 量水堰与量水槽测定流量	(95)
一、薄壁堰	(96)
二、其它类型的堰	(105)
三、文丘里槽	(111)
四、巴歇尔槽	(112)
第六节 食盐浓度法测流	(119)
一、测量原理	(120)
二、测量装置	(121)
三、注入装置	(123)
四、混合距离与注入方式	(129)
五、稀释倍数的选择和盐水的配制	(131)
六、喷射栅设计	(133)
七、注入历时的确定	(136)
八、现场测量	(138)
九、误差分析	(145)
十、食盐渡度法的应用范围、条件和优点	(151)
第七节 超声波流量计	(153)

一、概况	(153)
二、超声波流量计用于管道测流的基本原理	(153)
三、在明渠中用超声波测量流量的基本原理	(157)
四、换能器的安装方式	(158)
五、超声波流量计的主要特点	(160)
六、超声波流量计的标定	(160)
七、超声波多普勒流量计	(161)
第八节 其它测流方法	(167)
一、 涡轮流量计	(167)
二、 电磁流量计	(173)
三、 涡街流量计	(178)
四、 示踪物运送时间法	(180)
第三章 扬程测量	(183)
第一节 水位测量	(183)
一、 测量位置	(183)
二、 测量方法和设备	(184)
第二节 压力测量	(191)
一、 测量位置的确定	(191)
二、 测压仪表	(193)
第三节 扬程测量误差估算	(197)
一、 水泵工作扬程测量的误差估算	(197)
二、 装置扬程及泵站扬程测量误差的估算	(199)
第四章 功率和转速的测量	(202)
第一节 功率测量的方法	(202)
第二节 输入功率电测法	(204)
一、 两瓦特表法测量电动机输入功率	(205)
二、 电度表法测定电动机输入功率	(217)
第三节 电动机输出功率的测量	(218)
一、 损耗分析法测定电动机输出功率	(218)

二、用电阻应变片测量扭矩·····	(231)
三、振弦式扭矩仪测功法·····	(238)
第四节 转速测量·····	(260)
一、手持转速表·····	(260)
二、闪光测速法(日光灯测速法)·····	(260)
三、感应线圈法·····	(262)
四、数字测速仪·····	(263)
第五章 振动与噪音的测量·····	(265)
第一节 振动的测量·····	(266)
一、振动规律的一般描述·····	(266)
二、振动传感器·····	(269)
三、测振仪·····	(272)
四、泵的振动测量·····	(274)
第二节 噪音的测量·····	(275)
一、评价噪音的技术参数·····	(275)
二、噪音测量的仪表及其组成·····	(280)
三、噪音测量方法·····	(284)
第三节 振动及噪音测试示例·····	(286)
一、振动及噪音的幅值分析·····	(288)
二、振动及噪音的频谱分析·····	(288)
第六章 显示及记录仪表·····	(292)
第一节 信号显示仪表·····	(292)
一、数字频率计的用途·····	(292)
二、测频原理·····	(293)
三、频率计的使用·····	(294)
第二节 信号记录仪表·····	(295)
一、记录仪表的分类·····	(295)
二、SC16型光线示波器·····	(395)
第七章 测量误差及数据处理·····	(308)

第一节	测量误差	(308)
一、	误差的分类	(308)
二、	一些术语的含义	(310)
三、	随机误差的估算	(319)
四、	系统误差	(326)
五、	误差的合成	(332)
第二节	数据处理	(335)
一、	观测数据合理性的检验	(335)
二、	实验数据拟合曲线	(340)
三、	数据处理中的近似计算	(345)
附录 A	泵站现场测试的工作程序	(350)
附录 B	水泵装置特性曲线的测绘	(353)
附录 C	泵站测试的精度标准	(355)
附录 D	常用法定计量单位	(358)
附录 E	泵站现场测试设备参考表	(362)

第一章 概 论

第一节 泵站测试的目的和意义

解放以来,我国机电排灌事业发展很快,装机容量和灌排面积成百倍地增长。1949年全国机电排灌动力71万千瓦,排灌面积378万亩,1984年已发展到5800万千瓦,提灌面积3.9亿亩,提排面积6000万亩。实践证明,机电排灌工程在发展农业生产,改变农村面貌,提供城乡用水等方面发挥了重大作用。取得了显著的经济效益。

但是,由于种种原因,当前各地机电排灌泵站的效益较低,能源消耗较大,与我国目前的科学技术水平相比,存在较大差距。为了查清排灌泵站的技术状态,研究泵站技术改造的措施和经济运行方式,加强经济核算和科学管理方面的工作,必须对泵站运行的主要技术参数进行测定,通过监测和监控,调节泵站运行工况,以达到经济、安全、节能、高效的目的。

另一方面,为了总结泵站设计经验,提高设计水平,在泵站现场进行装置原型试验,验证模型试验成果,也是一项具有重要意义的工作,特别是对于大型水泵和水泵站,由于模型与原型尺寸相差较大,有些泵站在实际运行中已经发现水泵性能与模型试验的结果存在较大的差别,这就说明水泵和流道的模拟试验还有待进一步提高。在开展泵站节能技术改造中,不仅要根据模型试验或泵样本提供的性能资料进行

分析。还应对泵站运行特性进行测试，找出问题症结，采取有效措施进行改造，以便取得较高的经济效益。

第二节 泵站测试的参数

根据测试目的和现场条件，主要对扬程、流量、功率、转速、机组振动和噪声等参数进行测量，机械设备的力学性能和电气设备的耐电压试验应分别按照机械和电气的有关技术规程进行。

一、扬程

下面所要描述的扬程不能直接理解为水泵的扬水高度。按照定义，扬程实质上是表征能量的一个参数。根据运行管理的需要，把扬程分为水泵工作扬程、装置扬程和泵站扬程，这与过去有些提法不同，请读者注意弄清上述三种扬程的概念。如图1-1所示，可以应用能量方程导出三种扬程的计算公式。

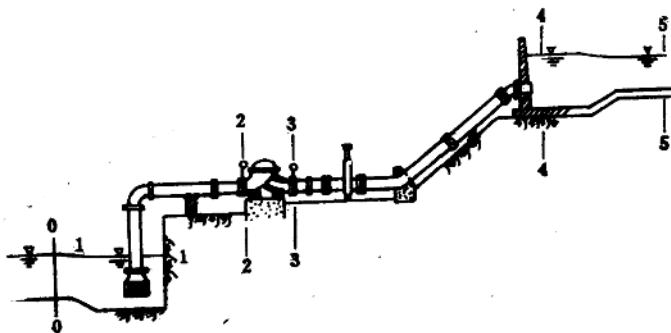


图 1-1 泵站各种扬程计算测试断面位置示意图

1. 水泵工作扬程

水泵工作扬程是指水泵装置在给定条件下运行时，水泵进口与出口（即2-2与3-3）断面单位重量水流的能量之差。它与水泵铭牌上或水泵性能曲线上所标明的扬程不同，后者是指水泵可能产生的扬程（或总扬程），而前者是指水泵在工作状态下的扬程，其数值在水泵铭牌或性能曲线给出的扬程范围内，根据定义，水泵工作扬程的计算公式为：

$$\begin{aligned} H &= E_3 - E_2 \\ &= \left(\nabla_3 + \frac{p_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g} \right) - \left(\nabla_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \right) \\ &= \nabla_3 - \nabla_2 + \frac{p_3 - p_2}{\rho g} + \frac{v_3^2 - v_2^2}{2g} \quad (1-1) \end{aligned}$$

式中 E_2 、 E_3 —— 分别为水泵进、出口断面的总能量；

∇_2 —— 当进口测压断面为真空时， ∇_2 为测压点的中心高程，若进口测压断面为正压时，则 ∇_2 为测压仪表的中心高程；

∇_3 —— 水泵出口测压仪表中心高程；

$\frac{p_2}{\rho g}$ —— 水泵进口压力，以米水柱计，如用真空表测出真空度则以负值代入；

$\frac{v_3^2 - v_2^2}{2g}$ —— 进出口测压断面的流速水头差。

2. 装置扬程

装置扬程（即实际扬程），是指泵站中抽水装置进水管进口处水位高程与出水管出口处水位高程之差，对于出水管出口淹没在水面以下的抽水装置，实际提水高度为出水池水位与进水池之差。如果出水管出口高于水池水面，实际提水高度则为出口断面中心高程与进水池水位之差。从节能的观

点来说，水管出口一般应淹没在水面以下，对于这种情况，可以通过能量方程来推导装置扬程公式：

$$H_{d,r} = E_4 - E_1$$

$$= \nabla_4 - \nabla_1 + \frac{p_4 - p_1}{\rho g} + \frac{v_4^2 - v_1^2}{2g} \quad (1-2)$$

式中 p_1 , p_4 均为自由水面的压力，即大气压力；且进水和出水池中的流速很小，可以忽略，则上式中右边的第二项第三项均为零，由此可得抽水装置扬程为该两断面的水位之差，即

$$H_{d,r} = \nabla_4 - \nabla_1 \quad (1-3)$$

3. 泵站扬程

泵站扬程（即净扬程）是引渠末端即0-0断面水位与出水干渠渠首即5-5断面水位之差，也可通过能量方程导出泵站扬程：

$$H_{s,r} = E_5 - E_0$$

$$= \nabla_5 - \nabla_0 + \frac{p_5 - p_0}{\rho g} + \frac{v_5^2 - v_0^2}{2g} \quad (1-4)$$

式中 p_0 , p_5 均为自由水面的压力，即大气压力，且断面流速很小，其流速水头之差就更小，可忽略不计，所以上式右边第二，第三项为零。因此，泵站扬程应为该两断面的水位之差，即：

$$H_{s,r} = \nabla_5 - \nabla_0 \quad (1-5)$$

可见，泵站扬程是装置扬程扣除了进、出水池水头损失之后的净扬程。

二、流量

流过某一固定截面的流体体积（或重量）与时间之比称为流量。如果以 V 表示流过的体积，以 t 表示时间，则体积

流量 Q 可用下式求得:

$$Q = \frac{V}{t}$$

这就是用体积法测量流量的计算公式。如果采用速度面积法测量流量, 流量计算应按下式进行:

$$Q = \bar{v}A$$

式中 A —— 过流面积 (m^2);

$\bar{v}$ —— 垂直于过流断面的平均流速 (m/s)。

在每台水泵出水管道上测得的是单台水泵的流量, 在出水池出口的渠道上测得的是泵站流量。在泵站管理上有时需要知道某一时段内一台水泵或一座泵站输送的灌溉或排水总量, 所谓总量即累积流量, 可根据下式求得:

$$V_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n Q_i t_i$$

式中 Q_i —— 相应于时段 t_i 的平均流量 (m^3/s);

$V_{\text{总}}$ —— 泵站输水总量 (m^3 或 t);

t_i —— 泵站稳定在某一状态下运行的历时 (s)。

三、功率

在单位时间内所做功的大小称为功率。

泵站的功率通常分为水泵的有效功率、轴功率、配套功率, 动力机的输入功率和输出功率。

1. 有效功率

水泵有效功率 P_u 是指单位时间内流过水泵的水体从水泵获得的能量, 可用下式计算:

$$P_u = \rho g H Q \quad (\text{W}) \quad (1-6)$$

式中 ρ —— 水的密度 (kg/m^3);

g —— 当地重力加速度 (m/s^2);

Q —— 水泵的流量 (m^3/s) ;

H —— 水泵的总扬程 (m) 。

2. 轴功率

水泵的轴功率 P_a 是指动力机传给水泵轴上的功率，单位是千瓦，其单位符号为 kW 。

3. 配套功率

水泵的配套功率是指用于拖动水泵的动力机应该具有的额定功率，配套功率的数值一般比水泵轴功率大 $1.05 \sim 1.3$ 倍，也就是选用动力机时要考虑的功率备用系数。

4. 输入功率

实际运行时动力机消耗的功率称为输入功率 $P_{m.i}$ 。对电动机来说是指从电网吸收的功率。因为通过电动机把电能转化为机械能的过程产生能量损耗，所以输入功率总是大于输出功率，当电机完全达到额定负载运行时，输入功率大于额定功率，若实际运行出现这种情况不应认为电动机过载。

5. 输出功率

在输入功率中扣除动力机内部的各种损耗功率即为输出功率，它等于输入功率乘以动力机相应的效率。当采用直接传动时，输出功率在数值上与水泵的轴功率相等。

四、转速

转速是指叶轮每分钟的转数，它是水泵性能的一项重要指标，单位为转每分，其单位符号为 r/min 。水泵的流量、扬程、功率和汽蚀余量等随水泵转速的改变而改变，采用间接传动或可调速的机组，要特别注意测量水泵的转速，使水泵叶轮在最适宜的转速下运行。

五、效率

效率是指对能量的有效利用程度。为了掌握泵站各部分

工程或设备的技术指标，把效率分为以下八项进行计算：

1. 水泵效率 η_p

$$\eta_p = \frac{\text{水泵有效功率}}{\text{水泵轴功率}} = \frac{P_u}{P_o} \times 100\% \quad (1-7)$$

2. 传动效率 $\eta_{i n t}$

$$\eta_{i n t} = \frac{\text{水泵轴功率}}{\text{电动机输出功率}} = \frac{P_o}{P_{g r u}} \times 100\% \quad (1-8)$$

3. 电动机效率 $\eta_{m o t}$

$$\eta_{m o t} = \frac{\text{电动机输出功率}}{\text{电动机输入功率}} = \frac{P_{g r u}}{P_{m o t}} \times 100\% \quad (1-9)$$

4. 机组效率 $\eta_{g r}$

$$\eta_{g r} = \frac{\text{水泵有效功率}}{\text{电动机输入功率}} = \eta_p \eta_{i n t} \eta_{m o t} = \frac{P_u}{P_{m o t}} \times 100\% \quad (1-10)$$

5. 管路效率 $\eta_{p i}$

$$\eta_{p i} = \frac{\text{装置扬程}}{\text{水泵扬程}} = \frac{H_{s y}}{H} \times 100\% \quad (1-11)$$

6. 进出水池效率 $\eta_{p o}$

$$\eta_{p o} = \frac{\text{泵站扬程}}{\text{装置扬程}} = \frac{H_{s t}}{H_{s y}} \times 100\% \quad (1-12)$$

7. 装置效率 $\eta_{s y}$

$$\eta_{s y} = \frac{\text{装置的有效功率}}{\text{电动机输入功率}} = \frac{\rho g Q H_{s y}}{P_{m o t}} \times 100\% \\ = \eta_{m o t} \eta_{i n t} \eta_p \eta_{p i} \times 100\% \quad (1-13)$$

8. 泵站效率 $\eta_{s t}$

$$\eta_{s t} = \frac{g \Sigma \rho_i Q_i H_{s t i} t_i}{E_i} \times 100\% \quad (1-14)$$