

水闸工程观测

杨士斌 伍志刚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



主要内容

本书主要介绍水闸工程观测的基本理论、基本方法和基本程序。全书共分4章。第1章为绪论，第2章为水闸工程观测的基本理论，第3章为水闸工程观测的基本方法，第4章为水闸工程观测的基本程序。

水闸工程观测

杨士斌 伍志刚 编著

1. 水... 2. 水... 3. 水... 4. 水... 5. 水... 6. 水... 7. 水... 8. 水... 9. 水... 10. 水...

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第073029号



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据《水闸技术管理规程》要求,对水闸的稳定性监测进行了阐述,并附有观测实例加以说明,通俗易懂,有很好的可读性。

本书可供水闸管理人员参考,也可作为培训水闸监测人员的教材。

图书在版编目(CIP)数据

水闸工程观测/杨士斌,伍志刚编著. —北京:中国水利水电出版社, 2007

ISBN 978-7-5084-4628-8

I. 水... II. ①杨... ②伍... III. 水闸—观测
IV. TV698.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 073020 号

书 名	水闸工程观测
作 者	杨士斌 伍志刚 编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@ waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京市展博雅图文设计制作中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 32 开本 4.25 印张, 98 千字
版 次	2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	15.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

水闸是调节水位，控制流量的低水头水工建筑物。主要依靠闸门控制水流，具有挡水和泄（引）水的双重功能，在防洪、治涝、灌溉、供水、航运、发电等方面应用十分广泛。

水闸在复杂的自然条件影响下及人类活动（如车辆交通等）作用下，其状态随时都在发生变化，当设计、施工不够完善或管理运用不当，则很容易发生缺陷，如果不及时维护，缺陷必将逐渐发展，影响安全运用，严重的导致失事。所以必须注重管理，防止缺陷的发生和发展。

一个工程有缺陷，如果能管好用好，在管理运用的过程中，不断加以改善，则仍然可以发挥很好的效益；相反，一个质量较好的水利工程，如果管理不善，则不但不能充分发挥其效益，还会不断损坏，甚至造成事故。

我国广大平原地区的水闸，大都建在松散的软土地基上，而这种软土具有变形大、不均匀沉降和易液化的特征，如遇地震、洪水和地基渗漏等外力作用，对水闸的安全性造成影响，严重时乃至破坏。因此，加强对这类水闸枢纽的安全监测工作是十分重要的。

根据 SL 75—94《水闸技术管理规程》规定，水闸必须观测项目有：垂直位移、扬压力、裂缝、混凝土碳化、河床变形、水位流量。水闸专门性观测项目有：水平位移、绕渗、伸缩缝、水流形态、水质、泥沙、冰凌等。由于工程原型观测是工程施工和运行安全监测的重要手段，因此，水闸

的观测项目是水闸管理不可缺少的组成部分。

限于篇幅，本书仅对水闸技术管理必须检查的垂直位移、水平位移、河床变形、渗流及水闸两侧堤防的安全监测项目作必要的阐述，为帮助读者便于理解，在书末附了一些有关的示例。

在本书的编写过程中，周通高工、李秀明教授提出了宝贵的意见，在此表示感谢。

由于编写者水平有限，如有不当和疏漏之处，真诚欢迎同仁们指正。

编写者

2007年3月20日

目 录

前言

第一章 水闸垂直位移观测	1
1.1 概述	1
1.2 水闸的组成和垂直位移观测点的布设	2
1.3 水闸垂直位移观测的特点	3
1.4 水闸垂直位移观测的方法和要求	4
1.5 水闸垂直位移观测精度指标的确定	5
1.6 采用水准测量进行水闸垂直位移观测的精度分析	7
1.7 垂直位移观测水准测量等级、限差及测次的规定	11
1.8 水闸垂直位移观测资料的整理及分析	12
1.9 海河委下游局五闸枢纽垂直位移观测的特殊性	16
第二章 水闸水平位移观测	20
2.1 概述	20
2.2 视准线法测量水平位移的原理、方法、精度分析及测次··	20
2.3 工作基点位移的检查	32
2.4 软土地基区水闸水平位移观测基准点漂移计算	33
2.5 水闸水平位移观测与垂直位移观测资料的整理与分析 ···	35
2.6 采用 GPS 测量进行水闸水平位移和垂直位移观测的研究	35
第三章 渗流与扬压力观测	40
3.1 渗流与扬压力观测项目分类	40
3.2 绕闸渗流观测	40

3.3	扬压力观测	41
3.4	观测仪器设备与观测方法	43
3.5	闸体孔隙压力	49
3.6	闸基扬压力	52
3.7	资料整理与计算	54
第四章	河床变形测量	60
4.1	河床变形测量的目的	60
4.2	河床变形测量的方法、范围及测次	60
4.3	固定断面测量	60
4.4	河床地形测量	67
4.5	河床淤积或冲刷变化量的计算	74
第五章	水闸两侧堤防安全监测	75
5.1	目的	75
5.2	堤防安全监测类型	76
5.3	巡视检查	76
5.4	现场检查	78
5.5	变形监测	79
5.6	渗流监测	82
5.7	监测资料的整编与分析	82
附录一	某水闸监测点实测位移过程线图变化规律分析 (模拟示例)	87
附录二	某水闸各测点位移观测值年际变化情况 (模拟示例)	104
附录三	嶂山闸扬压力异常原因分析(实例)	107
附录四	某滞洪水库中堤表面位移、渗流观测和 水闸绕渗观测技术设计方案(实例)	119
参考文献		127

第一章 水闸垂直位移观测

1.1 概述

水工建筑物的一部分观测项目如垂直位移、水平位移等，都是先在建筑物外表面设置测点，后在这些测点上安装仪器进行观测。因此，习惯上称其为外部观测项目。外部观测项目使用的仪器有水准仪、全站仪、GPS 接收机等。因外部观测项目中的观测比较直观，能够反映水工建筑物的宏观状态，所以对大中型水利工程是必要的。水闸变形观测是外部观测项目中的一个重要方面，必须予以重视。

水闸垂直位移观测是利用水准仪等设备，连续定期测量水闸工程上的特定测点在垂直方向上的变化，以分析水闸整体垂直方向的状态变化。一般规定向下的垂直位移为正值，向上的垂直位移为负值。影响水闸垂直位移的因素很多，作用在闸身上的各种荷载都有可能引起垂直位移的变化，也影响垂直位移观测的准确性。水闸垂直位移是由于水闸自荷重作用下的闸体压缩变形，以及温度、湿度变化而引起水闸混凝土的胀缩等原因所造成的。垂直位移的异常变化，预示着某种原因或综合影响的发展。因此，配合其他有关项目（上、下游水位、过闸流量及气温等）的观测资料进行分析，可以掌握水闸地基的异常状态，及时发现险情。垂直位移观测是水闸安全监测的基本项目，对判断水闸工程是否安全和评价其设计施工质量具有重要的意义。

1.2 水闸的组成和垂直位移观测点的布设

水闸的主体由闸身和上、下游连接建筑物的翼墙所组成，如图1-1所示。闸身由闸门、闸底板、闸墩和岸墙组成，其上架设工作桥和公路桥。闸的进口和出口筑成八字形的翼墙，以防水流冲刷。

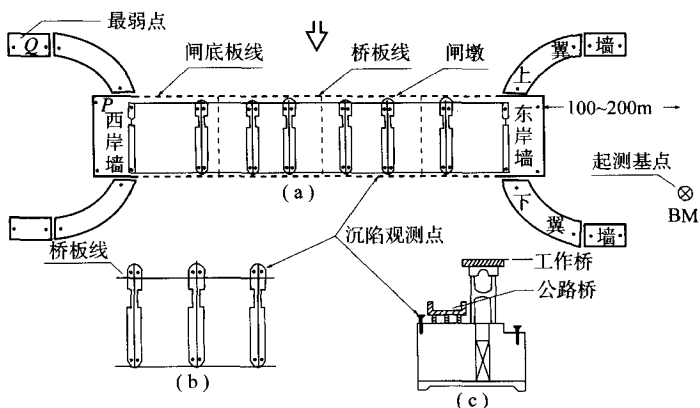


图 1-1 水闸工程及沉陷观测点布置示意图

水闸的垂直位移观测就是观测闸墩、岸墙和翼墙三大部位的垂直位移。

水闸建成后，沉陷观测点布设在建筑物的上部。图1-1是一座具有7个闸孔的水闸。沉陷观测点布设在公路桥和工作桥分块桥板的4个棱角处，用以监视闸墩的垂直变量。除此之外，在岸墙和翼墙上也埋设一定数量的观测点。图1-1所示的水闸共埋设了48个沉陷观测点。

至于水闸沉陷观测点的数目与布设部位，应视观测目

的、土质情况、闸身受力的部位和观测方法而定。一般较长的水闸在每隔 2 孔或 3 孔的块板上布设测点。当水闸闸墩的尖端伸出桥边一段长度时, 沉陷观测点直接埋设在尖端处, 如图 1-1 (b)。

为了测定沉陷观测点的高程, 在河两岸离岸墙 100 ~ 200 m 处各埋设一个起测基点, 又称工作基点。起测基点必须由高级的水准点 (水准基点) 每年引测一次, 以便验证其高程有无变动。

1.3 水闸垂直位移观测的特点

水闸垂直位移的变化比较复杂。水闸建成后, 闸的上、下游形成一定的水位差, 闸室承受巨大的水平推力, 使闸室向下游受压, 甚至滑动。由于地基压缩性大, 承载力低, 在闸室自重以及外荷的作用下, 地基有可能产生一些部位的升 (降) 和不均匀沉陷。根据实测资料分析, 水闸的垂直位移有以下特点:

1.3.1 水闸的不均匀沉陷性

实践表明: 岸墙和翼墙的沉陷量比闸室部位的沉陷量大。闸墩最大的沉陷量发生在靠两岸的岸坡处, 中间部位的下沉量较小。由于上、下游水位的变化 (挡潮闸下游的水位经常高于上游水位), 使闸室产生横向倾斜, 例如上游端下沉, 下游端上升, 或者相反。在靠岸处的闸底板, 其纵向倾斜 (垂直河流的方向) 比横向倾斜大。大多数水闸汛前上升, 而汛后下沉。

1.3.2 沉陷观测点具有密度小、高差大的特点

由于水闸产生各种不均匀的沉陷, 所以沉陷观测点布设的密度要大些, 一般 10 ~ 30 m 设一点, 而块缝的棱角处均

布有很近的两个点。另外上、下游翼墙的高差很大，伸出桥边外闸墩尖端与上游翼墙的高差也很大，一般在 $0 \sim 10 \text{ m}$ 之间。这就使水准测量工作量有所增加。

1.3.3 水准测量的不等距性

由于沉陷观测点的数目较多，水准测量不可能在每两个观测点之间安置一次仪器，一般要在一个测站上观测若干点。因此，观测工作必须在不影响精度的情况下，限制间视距、前视距和后视距不等差的限差。

1.4 水闸垂直位移观测的方法和要求

水闸沉陷观测主要采用水准测量方法。即以水准基点高程为基准，引测至起测基点高程，再以起测基点高程，引测水闸变形前后测点的高程变化，求得该点的垂直位移。垂直位移观测采用三级测点，两级控制。三级测点即水准基点、引测基点和垂直位移标点；两级控制即由水准基点校测起测基点，再由起测基点观测位移标点。进行水准测量之前，先要检校水准仪和水准尺，使其符合要求后，再进行水准测量。观测前，先校核水准基点高程，然后将水准基点与起测基点组成水准环线或水准网进行接测。根据调查，各水闸工程管理部门采用的水准测量方法各不相同，有普通水准、三等水准、三丝读数法和精密水准等。究竟采用何种精度施测，本文将在下面讨论。这里主要根据沉降观测点的分布情况阐述观测方法。

图 1-1 中沉降观测点的布设是有代表性的。观测时不必专门布置高程控制网。一般自起测基点开始，沿公路桥和工作桥（包括两岸的岸墙）组成一条长条形的闭合环线。为了提高精度，可变换仪器高观测或进行往返观测。观测翼

墙上的点时，可以从岸墙上一点开始，向上游或向下游组成 4 条支水准路线，支线水准必须变换仪器高观测或进行往返观测，每条支线安置仪器的次数随岸墙到翼墙端点的高差而定，一般 1~2 站就可完成。

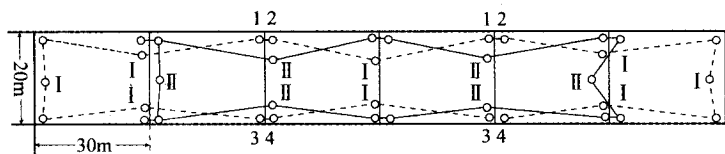


图 1-2 跳点观测方法闭合水准路线图

如果河流的两岸均布设有起测基点，主线的观测可按附合水准路线进行。

如果水闸较长，块板观测点间距为 30~40 m，可考虑用跳点观测法，如图 1-2 所示的块板尺寸为 20 m × 30 m，块板接缝的两个观测点（图 1-2 中的 1、2 或 3、4）靠得很近，施测时，选择一点当作转点，另一个作为间视点。这种观测方法可以保证前、后视距相等的条件。图 1-2 中 I 路线和 II 路线为两个闭合环线。

水闸垂直位移观测应遵循下面基本要求：

(1) 根据理论研究，水准仪的 i 角控制在 $10''$ 之内，干线水准前、后视距不等差小于 1 m。间视点前、后视距不等差小于 5 m。

(2) 首次观测时，应做到 4 个固定：人员固定、仪器固定、测站固定、转点固定。

1.5 水闸垂直位移观测精度指标的确定

判断建筑物安全的依据，一般以地基的沉降量和地基的

差异沉降（不均匀沉降）为标准。观测精度的确定以这两个标准为依据。SL 265—2001《水闸设计规范》第 8.3.6 条规定：“土质地基允许最大沉降量和最大沉降差，应以保证水闸安全和正常使用为原则，根据具体情况研究确定。天然土质地基上水闸地基最大沉降量不宜超过 150mm，相邻部位的最大沉降差不宜超过 50 mm。”地基沉降值是用土力学理论公式计算出来的（见 SL 265—2001《水闸设计规范》）。其差异沉降值还不能用理论公式计算，但与我国 GBJ 7—89《建筑地基基础设计规范》要求一致，规定差异沉降允许变形值为 $0.002L$ 或 $0.003L$ （ L 为两点之间距离，即闸室横向宽度）。例如，闸室的横向宽度（上、下游方向）一般为 15~20m，现取 $L=17\text{m}$ ，分别算得： $0.002 \times 17 = 34\text{mm}$ ， $0.003 \times 17 = 51\text{mm}$ ，两本规范取差异沉降允许变形值为 50mm。

至于观测中误差与差异沉降允许变形值之间的关系，可采用国际测量联合会（FIG）1971 年大会上提出的取允许变形值的 $1/10 \sim 1/20$ 作为观测精度指标，此处采用允许变形值的 $1/10$ ，即： $50/10 = 5\text{mm}$ 。

沉降差是由两个沉降点两次观测平均值之差求得的，故一个沉降点的观测中误差应为： $m_{\text{点}} = 2.5/2 = \pm 1.25\text{mm}$ 。

因此，水闸沉降观测必须保证上述精度。也就是说，必须保证最弱点的观测中误差小于 $\pm 1.25\text{mm}$ 。

水闸垂直位移观测精度指标总结如下：

- (1) 水闸地基最大沉降量允许值为 150 mm。
- (2) 水闸的地基差异沉降允许值为 50 mm。
- (3) 差异沉降观测值的限差为 $m_{\text{限}} = 50/10 = 5 \text{ mm}$ 。
- (4) 差异沉降观测中误差为 $m_{\text{中}} = 5/2 = 2.5 \text{ mm}$ （中误

差为限差 $1/2$)。

(5) 一个沉降观测点的观测中误差 $m_{\text{点}} = 2.5/2 = 1.25$ mm。

1.6 采用水准测量进行水闸垂直位移观测的精度分析

根据调查,我国各地大中型水闸的长度为 $100 \sim 1000$ m 左右,多数为 $100 \sim 400$ m。起测水准基点在闸岸墙 $100 \sim 200$ m,如果组成闭合水准路线,则水准路线的长度为 $200 \sim 2000$ m,属于多测站、短线路的水准测量。

1.6.1 测站高差中误差的确定

根据生产单位采用的水准测量方法,对普通水准(三等红、黑面水准和三丝读数法水准)及精密水准作如下计算。

水准测量的精度主要取决于气泡的置中误差和照准标尺估读误差。现采用契巴塔廖夫提出的估算公式,即:

$$m_{\text{置}} = (0.21 + 0.035\tau)S/\rho$$

$$m_{\text{照}} = 0.04t + 0.156S/V$$

$$m_{\text{观}} = \pm \sqrt{m_{\text{置}}^2 + m_{\text{照}}^2}$$

$$m_{\text{站}} = m_{\text{观}}\sqrt{2}$$

式中: τ 、 V 、 t 和 S 分别为水准管分划值、望远镜放大倍数、水准尺最小分划宽度(以 mm 计)和水准尺到水准仪的距离。 $m_{\text{观}}$ 为在水准尺上读数的中误差(精密水准取基辅尺读数的平均值;三等水准取红、黑面读数的平均值,则 $m_{\text{站}} = m_{\text{观}}$)。现以 S1 型水准仪($\tau = 10''/2\text{mm}$, $V = 40$ 倍, $t = 0.05$ mm)和 S3 型水准仪($\tau = 20''/2\text{mm}$, $V = 30$ 倍, $t = 10$ mm)

的技术参数代入上面 4 式，分别算得精密水准、三丝读数法水准、三等双面尺中丝法水准和普通单面一次读数水准的 $m_{\text{观}}$ 和 $m_{\text{站}}$ 列于表 1-1。

表 1-1

测站高差中误差表

单位: m

测 量 方 法	中误差 m	S (m)				
		10	20	30	40	50
精密水准	$m_{\text{站}} = m_{\text{观}}$	0.05	0.09	0.14	0.19	0.24
三等中丝法水准 (双面尺)	$m_{\text{站}} = m_{\text{观}}$	0.45	0.51	0.58	0.63	0.70
三丝读数法水准 (单面尺)	$m_{\text{观}}$	0.26	0.29	0.33	0.36	0.40
	$m_{\text{站}}$	0.37	0.41	0.47	0.51	0.56
普通一次读数水准 (单面尺)	$m_{\text{观}}$	0.45	0.51	0.58	0.63	0.70
	$m_{\text{站}}$	0.63	0.72	0.82	0.89	0.99

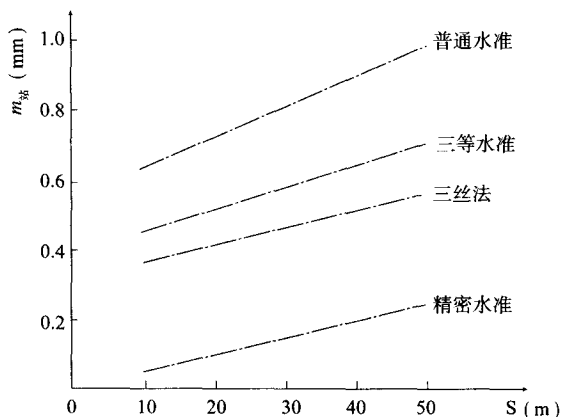


图 1-3 不同水准测量方法测站高差中误差示意图

1.6.2 最弱点的观测中误差

根据上面介绍的观测方法，水闸沉陷观测分为两部分，一是施测长条形的闭合水准干线（或附合水准）；二是测定翼墙上各个观测点的高程。例如图 1-1 中，闭合环线的最弱点是 P 点，由 P 点测至翼墙的 Q 点，在测定 Q 点时，可能存在 i 角对间视点不等差的影响。故在最不利的情况下， Q 点的总误差为

$$m_Q = \pm \sqrt{m_P^2 + m_Q^2(\text{支}) + m_Q^2(i)}$$

1. 闭合水准路线最弱点 P 的中误差 m_P

众所周知，水准路线平差后最弱点的中误差由下式计算：

$$m_P = \pm m_{\text{站}} \sqrt{n/2}$$

式中： n 为测站数（偶数）。

现以不同的情况，算得 m_P 值见表 1-2 所示

表 1-2 闭合水准路线最弱点 m_P 的计算表 单位：mm

测量方法	距离 S 与 $m_{\text{站}}$	n								
		2	4	6	8	10	15	20	30	40
普通水准	$S = 30\text{m}$, $m_{\text{站}} = 0.82$	0.59	0.82							
三等水准	$S = 30\text{m}$, $m_{\text{站}} = 0.58$	0.41	0.58	0.71						
三丝读数法	$S = 40\text{m}$, $m_{\text{站}} = 0.51$	0.29	0.41	0.50	0.58	0.65	0.79			
精密水准	$S = 50\text{m}$, $m_{\text{站}} = 0.24$	0.17	0.24	0.29	0.34	0.38	0.46	0.53	0.65	0.76

2. 支水准路线 $m_{Q(\text{支})}$ 的计算

从岸墙上 P 点测向 Q 点，仪器安置 1~2 次，现以两次

计算不同情况的 $m_{Q(\text{支})}$ 值:

普通水准: 取 $S=30\text{m}$, $m_{Q(\text{支})} = \pm 0.82 \sqrt{2} = \pm 1.16 \text{ mm}$

三等水准: 取 $S=30\text{m}$, $m_{Q(\text{支})} = \pm 0.58 \sqrt{2} = \pm 0.82 \text{ mm}$

三丝法: 取 $S=40\text{m}$, $m_{Q(\text{支})} = \pm 0.51 \sqrt{2} = \pm 0.72 \text{ mm}$

精密水准: 取 $S=50\text{m}$, $m_{Q(\text{支})} = \pm 0.24 \sqrt{2} = \pm 0.34 \text{ mm}$

3. 间视不等差 $m_{Q(i)}$ 的计算

设水准仪的 i 角为 $10''$, 不等差 $\Delta S = 10\text{m}$, 算得 $m_{Q(i)} = \pm 0.48 \text{ mm}$

4. 总的误差 m_Q

普通水准: 取 $S=30\text{m}$, $n=2$,

$$m_Q = \pm \sqrt{0.59^2 + 1.16^2 + 0.48^2} = \pm 1.38 \text{ mm}$$

三等水准: 取 $S=30\text{m}$, $n=6$,

$$m_Q = \pm \sqrt{0.71^2 + 0.82^2 + 0.48^2} = \pm 1.19 \text{ mm}$$

三丝法: 取 $S=50\text{m}$, $n=15$,

$$m_Q = \pm \sqrt{0.79^2 + 0.72^2 + 0.48^2} = \pm 1.17 \text{ mm}$$

精密水准: 取 $S=50\text{m}$, $n=40$,

$$m_Q = \pm \sqrt{0.76^2 + 0.34^2 + 0.48^2} = \pm 0.96 \text{ mm}$$

上面计算可以看出:

(1) 除普通水准 $m_Q = \pm 1.38 \text{ mm}$ 外, 其余情况均未超过沉降点观测中误差 $\pm 1.25 \text{ mm}$ 的精度指标。

(2) 普通水准测量方法一般不宜采用, 但可考虑用于长度不超过 100m ($n < 4$) 的水闸, 但支站以一站为宜。

(3) 三丝法观测可用于长度不超过 400 m 的水闸, 视距 S 控制在 $30 \sim 40\text{m}$, 测站数 n 控制在 15 个以内。

(4) 三等水准测量用于长度不超过 200m 的水闸, 视距