

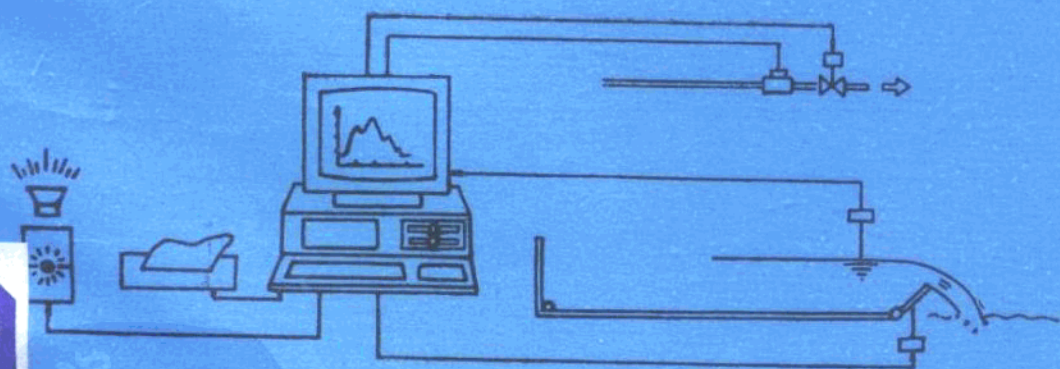


水利量测技术论文选集

(第二集)

1990—1992

中国水利学会水利量测技术研究会 编



兵器工业出版社

编辑委员会名单

主任委员：陈炳新

委 员：郭来骏 张训时 肖嘉祐 蒋 冰

李业彬 何德芬

总 编 辑：李业彬

责任编辑：聂笃克

序 言

水利量测技术作为水利水电科学技术的一个分支,对工程建设和科学研究有重大推动作用。它所包含的内容十分广泛,涉及多种学科和技术的应用,包括光、声、电磁、力学和机械等以及近代发展起来的高技术科学。

我国的水利量测技术起步较晚,由于受整个科学技术水平的制约,与国外先进水平相比,有较大差距。但是,我国科技人员本着自力更生精神,紧密结合实际需要,经过多年的努力,在这一领域取得了很大的技术进步。七十年代在原水电部支持下组织起来的“三工”(水工、河工、港工)仪器研究工作协调会及以此基础建立起来的水利学会水利量测技术研究会,有力地推动了这一技术的发展。八十年代以来,改革开放政策的贯彻,国外先进技术的引进,更促进了我国水利量测技术的提高。十余年来,大量的新仪器、新设备、新系统陆续研制成功,对我国的水利水电建设和科学研究起了重要作用。与此同时,一支从事水利量测技术研究与开发的队伍已成长起来。今天,当我们即将进入 21 世纪的时候,我们研究会已经拥有包括水工、河工、港工、岩石土工、结构力学、水利灌溉、水文、水质、水力机械等有关专业的室内外科学研究和原型观测仪器研制及资料分析人员在内的一支科技队伍,他们紧密结合生产和科研,每年提供大量科研成果,发表大量论文。

从 1985 年水利量测技术研究会成立以来,已先后举行过八次学术讨论会,会上交流的论文达数百篇。为了促进交流,我们受研究会的委托,陆续出版论文选集。第二集是从近三年提出的成果和论文中精选出来的,它基本上反映了我国当前水利量测技术研究与应用的现状和水平。我们相信本论文选集的出版,将有力地推动这一领域的技术交流。同时,我们预祝我国的水利量测技术取得日新月异的成就。

编辑委员会

1993 年 10 月

目 录

超声传感泥沙颗分新技术的研究.....	唐懋官 赵 玲(1)
高精度高稳定性的 SRZ 型电容感应式三向垂线坐标仪	郑延海(6)
快速反应旋桨流速仪及其在低频紊流量测中的应用	余明智 邓国英(11)
真三轴仪的研制与应用	刘凤德(16)
巴歇尔水槽累计量水器	张 保(21)
具有高稳定性能的 GY 型扬压力传感器	李载达 梅晓阳(30)
采用 F-V 转换器件的 WH-4 型电容式浪高仪	余明智 邓国英(37)
光学流速仪的研制	杜 军(45)
悬浮分散微粒系统的电导理论及应用	卢永生 江秀珍(50)
用于浮式沉井模型试验的数字式倾角传感器	胡 克 王 颖(55)
多级磁控转角编码器及其应用	朱登林(57)
磁传感器在水位量测中的应用	曾玄文(62)
精密温度巡回检测仪的研制	陈先朴 武 峰(65)
DS 型固态压阻式压力传感器的研制.....	王 芳 胡 克(69)
带率定装置的超声多普勒流速仪	何人杰 王素君(72)
介电式土壤水份传感器的研制	马孝义 熊运章 孙明勤 贺正中 李 坤(76)
管道淤积仪的研制	张银芬(80)
89-1 型激电式隐患探测仪的研制与应用	章西林 何 敏(84)
HD 型水位计	张 保 肖贵阳(90)
灌区量水结构优化选型问题	王长德(93)
水位跟踪升降器	李振邦(98)
U 型渠道抛物线形量水槽的研制与应用.....	王 智 朱凤书 刘晓明(102)
新型(平底)矩形无喉段量水槽的试验研究.....	朱嘉英(106)
量水槛的研究与应用.....	朱嘉英(112)
水位—压力测量仪.....	苏秀娥 曲伯涛(116)
CY-1 型低功耗流量计	王振铎 徐惠基(120)
伺服传感器动态模型的相关辨识方法.....	段尚书 王 平 郭振芹(124)
减小测量误差的 XLS-8 型旋桨流速仪	吕列民 蔡 华 颜承曜(129)
长线传输对传感器及系统测量精度的影响及修正方法.....	房纯纲 葛怀光 刘树棠(133)
长江三峡河段水深测量中回声测深仪的选型.....	左训青(141)
沙质推移质采样器的野外对比试验.....	周刚炎(145)
渠系量水建筑物流量公式的逐步图解法.....	郭宗信(150)
摄影技术在流场显示和量测中的应用.....	周春天 刘明明(156)
灌区原型渠道渗漏和糙率测试.....	马晓佳 张 保(159)

北京市城市地表水供水计量系统的研究与实施.....	张瑞生(163)
河道、水库测绘系统的研制与应用	长江水利委员会水文局(169)
低惯量电机驱动的不规则波造波机系统.....	王凤龙 李木国 李 黎 郭美谊(173)
河工模型浑水地形仪研制总结.....	马劲松 刘新合 高广智(180)
微型计算机在水工结构试验中的应用.....	李未显 张文翠(190)
挟沙水流脉动流速量测系统.....	吕宏兴 沙际德(197)
CS-1402 河床断面探测装量的研制	CS-1402 研究组(203)
长江三峡两坝间通航水流技术标准试验模型流量自控系统.....	丁生奇 吴 敏(206)
浸润线水位自动测量装置.....	王德玉 邓胜全(212)
多点自动采集和微机自动控制系统.....	孙汝建(216)
IBM 机在港工模型试验中控制造波机及数据采集处理.....	李木国 郭美谊(223)
供水排水流量监测系统.....	周益祺(228)
广州抽水蓄能电站模型试验自动控制系统.....	李振邦(233)
PC—STD 微机系统在九龙江西溪模型试验中的应用	王振东(237)

SELETED PAPERS OF HYDRAULIC MEASURING TECHNIQUE (II)

1990—1992

Contents

Development of New Technique for Sandsize Analysis using Ultrasonic Sensor	Tang Maoguan, Zhao Ling(1)
SRZ Capacitance Three Dimension Coordinatograph with High Accuracy and Stability	Zheng Yanhai(6)
Development of a Fast Response Propeller Type Current Meter and its Application in Measurement of Low Frequency Turbulent Flow	Yu Mingzhi, Deng Guoying(11)
Development of a Real Triaxial Soil Testing Machine and Its Application	Liu Fengde(16)
A Flow Meter for Parshell Flume	Zhang Bao(21)
A High Stability Sensor for Uplift Measurement	Li Zaida Mei Xiaoyang(30)
WH-4 Capacitance wave Gauge	Yu Mingzhi, Deng Guoying(37)
The development of an Optical Current Meter	Du Jun(45)
The Electric Conductivity Theory and Its Application To Dispersed Particle System in Suspension	Lu Yongsheng, Jiang Zhenxiu (50)
Digital Angle Sensor for Model Test of Floating Sinking Well	Hu Ke, Wang Ying(55)
The Application of Magnetic Cntroled Multisttage Angle of Rotation Coder	Zhu Denglin(57)
The Applicatoon of Magnetic Transducer in Water Level Gauging	Zeng Xuanwen(62)
Development of High precision Thermomeic Data Logger	Chen Xianpu, Wu Feng(65)
the Development of a silicon Resistance pressure transducer	Wang Fang ,Hu Ke(69)
A Study on Ultrasonic Doppler Current Meter with Calibrating Apparatus	He Renjin, Wang Sujun(72)
The Development of Dielectric Soil Moisture Sensor	Ma Xiaoyi, Xiong Yunzhang, Sun Mingqin, He Zhengzhong, Li Kun(76)
A Study on Sedimentation detctor for pipe flow	Zhang Yinfen(80)
An Excitativ Diagnostic Instrument for Embankment Hidden Defect	Zhang Xilin, He Min(84)
HD type Level Gange	Zhang Bao, Xiao Guiyang(90)
The Opfimization of Flow Measurement Structrue for Irrigation System	Wang Changde(93)
A Riser of Following Water Level	Li Zhenbang(98)
Development and Application of a Flat-bottomed Parabolic Flume in U-Channel	Wang Zhi, Zhu Fengshu, Liu Xiaoming(102)
A Study on a New Type Rectangular Cut-throat Flume	Zhu Jiaying(106)
Development and Application of a Sill for Flow Measurement	Zhu Jiaying(112)
Instrument for Water Level-pressure Measurement	Su Xiue, Qu Botao(116)
Cy-1 Low Power Consumption Intelligent Flowmeter	Wang Zhenduo, Xu Huiji(120)
Dynamic Model Correlation Identification for Servo-transducers	Duan Shangshu, Wang Ping ,Guo Zhenqin(124)
XLS-8 Self-correcting Propeller Current Meter	Lu Liemin, Cai Hua, Yan Chenyao(129)
On the Effect for Long Wire Transmission on Sensor and Its Measuring System Precision	Fang Chungang, Ge Huaiguang, Liu Shutang(133)
On Selection of Echograph Hydgroph for Three Gorges Reach in Yangtze River	Zuo Xunging(141)
Field Tests f the Comparison of Bedmaterial Sampler	Zhou Gangyan(145)
A Step by Step Graphic Analysis for flow calculation of Measurement Structures in Canal System	Guo Zongxin(150)
Application of Photography in Flow Visualization and Flow Measurement	Zhou Chuntian, Liu Mingming(156)
The Prototype Observation of Seepage and Roughness in Irrigation System	Ma Xiaojia, Zhang Bao(159)

The Measurement of Surface water Supply System in Beijing Municipal Engineering	Zhang Ruisheng(163)
The River And Reservoir Surveying and Mapping System for yangtze River	Hydrologic Bureau of Water Conservancy of The Yangtze River (169)
Irregular Wave Maker Driven by A Low Inertia Motor	Wang Fenglong,Li Muguo, Li Li,Guo Meiyi(173)
A Topography Measuring Device for Sediment Laden Flow Model test	Ma Jinsong,Liu Xinhe,Gao Guang zhi(180)
the Application of Microcomputer in Hydraulic Structure Model Tests	Li Weixian,Zhang Wencui(190)
The Measuring System For Velocity Fluctuation in Sediment Laden Flow	Lu Hongxing,Sha Jide(197)
Development of CS-1402 Echo Sounding Device for River Bed Profile	CS-1402 Research group(203)
The discharge control System for Model test to Investigate the Hydraulic Standards of Navigation in Yangtze River	Ding Shengqi ,Wu Min(206)
An Automatic Measuring Device for Water Level of Seepage	Wang Degu,Deng Shengquan(212)
Multiplex Auto Acquisition and Control System	Sun Ruijian(216)
The Application of Microcomputer in Wave Maker Control and Data Acquisition for Port Hydraulic Model test	Li Muguo, Guo Meiyi(223)
Discharge Monitoring System for Water Feeding and Drainage	Zhou Yiqi(228)
An Auto Control System for Guang Zhou Pumped Storage Plant Hydraulic Model test	Li Zhenbang(233)
The Application of PC-STD Microcomputer System in a Hydraulic Model Test	Wang Zhendong(237)

超声传感泥沙颗分新技术的研究

唐懋官 赵 玲

(武汉水利电力大学)

提 要

本文根据泥沙沉降理论,利用超声回波技术,提出超声泥沙颗分新技术方法。理论的推导,得到实验的验证。

一、概 述

泥沙颗粒分析是泥沙测验水文测验的一个重要内容,泥沙的颗粒级配特性是影响泥沙运动的主要因素,无论是研究泥沙在水流中的运动规律,还是为了充分利用河流的水利资源,进行流域规划和水利水运工程建设、水文测报等都需要泥沙级配资料。

要了解泥沙的颗粒级配,必须对泥沙进行颗粒分析。传统的颗分方法有筛分法、粒径计法、比重计法、移液管法等等。筛分法用于较粗泥沙的颗分,后三种方法则适合于小于1mm的细沙。这几种方法虽然常规有效,但有的存在着严重的系统误差和操作误差。水利部门颗粒分析的粒径范围很宽,要分析的数量很大,上述方法操作过程繁杂,测量时间长,工作量大。因而近几十年来为了减轻颗分的工作量,提高颗分的准确度,国内有些专家曾多方面探索进行颗分的新方法,其中主要的有光电法和同位素法。这两种方法均以泥沙沉降机理为基础。

本文所提出的超声颗分法也基于泥沙的沉降理论,却是利用了超声回波技术,按泥沙下沉的先后,分别记下其数量,达到颗分的目的。本文对所根据的理论,进行了简要的介绍,通过实验得到了验证。

二、超声颗分原理

超声波在媒质中传播时,在声阻抗相异的界面上会产生反射波和散射波,或统称为回波。超声波在含泥沙的水中传播时,在水和沙粒界面也会产生反射波和散射波。因此,如果靠近探头面附近,放入要进行颗分的沙样,让其自然下沉,粒径大者、重者沉得快,粒径小者、轻者沉得慢,则可以根据其下沉的速度,或沙粒达到某点的时间来区分其粒径的大小,沙粒的轻重。现在让我们先介绍一下泥沙在静水中沉降的机理。

泥沙在静止的清水中等速下沉时,称为泥沙的沉降速度。由于泥沙的重度大于水的重度,泥沙在水中受重力的作用自然下沉。初速为零,开始以加速度下沉,抗拒下沉的阻力随着沉速的增加而增加,当重力与阻力相等时,泥沙颗粒将以等速继续下沉。

泥沙在静水中下沉,从加速到等速十分短暂。一般泥沙,当 $d=3\text{mm}$ 时,这时间不到十分之一s。当 $d=1\text{mm}$ 时,不到二十分之一s。沙粒愈细,加速度时段愈短。

实践证明,泥沙颗粒在静水中下沉时的运动状态,与沙粒雷诺 $Re=\omega d/\nu$ 有关,式中 d 及 ω 分别为泥沙的粒径及沉速, ν 为水的运动粘滞性系数。当 Re 较小时(约小于0.5),泥沙颗粒基本上沿垂线下沉,当 Re 较大时(约大于1000)时,泥沙颗粒脱离垂线,以极大的紊动状态下沉;当 Re 介于0.5与1000之间时,泥沙运动状态属于过度状态,由不产生什么紊动,垂直下沉到 Re 增大时,由垂直下沉逐渐产生少量紊动。

关于在上述三种状态下泥沙的沉降问题,有不少专家学者进行了公式推导证明,我国水电部推荐使用的是下列公式:

(1) 滞流区 ($d < 0.1\text{mm}$) 采用斯托克斯 (G. G. Stokes) 公式,即

$$\omega = \frac{1}{18} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g \frac{d^3}{\nu} \quad (1)$$

其中 ν 水的粘滞系数; γ_s 、 γ 分别为泥沙和水的容重

(2) 过渡区 ($0.15 < d < 1.5\text{mm}$) 采用冈恰洛夫 (Гончаров) 早期过渡区公式:

$$\omega = 6.77 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} d + \frac{\gamma_s - \gamma}{1.92\gamma} \left(\frac{T}{26} - 1 \right) \quad (T \text{ 为水温以 } ^\circ\text{C} \text{ 计}) \quad (2)$$

(3) 紊流区 ($d > 1.5\text{mm}$) 采用冈恰洛夫紊流区公式

$$\omega = 1.068 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g d \quad (3)$$

上述三个公式表明了泥沙的沉降规律。可以看出,不论在那种情况下,沉速均与粒径成比例,对于滞流区,更与 d^3 成比例。沉速与粒径的关系十分灵敏。我们正是根据这一理论,结合超声技术,提出新的颗分方法。其具体公式推导如下:

设水中某一固定位置,离探头的距离为 S ,各种不同粒径的泥沙下沉到达 S 处的时间不同,分别为 $t_1, t_2, t_3, \dots$, 对应于 t_1 的回波数为 M_1 ,则由式 (1) 有:

$$\frac{S}{t_1} = \frac{1}{18} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g \frac{d_1^3}{\nu}$$

或

$$d_1^3 = \frac{S}{t_1 K} \quad (4)$$

这里

$$K = \frac{1}{18} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g \frac{1}{\nu}$$

其中 k 是与温度 T 直接相关的量,对于某一温度下 K 为常数。

对于过渡区有:

$$\frac{S}{t_1} = 6.77 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} d_1 + \frac{\gamma_s - \gamma}{1.92\gamma} \left(\frac{T}{26} - 1 \right)$$

则

$$d_1 = \frac{\frac{S}{t_1} - \frac{\gamma_s - \gamma}{1.92\gamma} \left(\frac{T}{26} - 1 \right)}{6.77 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}} \quad (5)$$

设 M_i 为某种粒径的沙粒数,则这种粒径的沙粒的总重量为

$$W_i = \gamma_s \cdot \frac{1}{6} \pi d_i^3 \cdot M_i \quad (6)$$

以同样表示方法,则被测全部沙粒的总重量应为各种沙粒的重量的总和 W 。

$$W_0 = \sum_{i=1}^n \gamma_s \cdot \frac{1}{6} \pi d_i^3 \cdot M_i \quad (7)$$

则某一粒径 d_i 在总沙样中的含量所占的成分应为

$$\frac{W_1}{W_0} = \frac{M_1 d_1^3}{\sum_{i=1}^n M_i d_i^3} 100\% \quad (8)$$

除去粒径= d_1 的沙粒外,剩下的含沙量的总和为

$$W_0 - W_1 = \sum_{i=2}^n \rho_s \frac{1}{6} \pi d_i^3 M_i \quad (9)$$

据此,我们已经推导出了超声颗分中计算其粒径及颗粒级配的原理性公式。根据这一原理,在进行颗分时,先将探头接触水面,再在探头下靠近探头面的中央区域,将待检测的沙样轻轻地无扰动的放入水中,让其自然下沉,再利用超声电路及微处理器检测按顺序到达离表面为 S 处的沙粒的数量和时间。再以采集到的这些数据为依据,计算得试样的颗粒级配。

三、量测系统及实验结果分析

我们知道要想知道泥沙粒径及其颗粒级配状况,必须要已知两个量,那就是沉降时间 t 和这一时刻对应的回波数 M ,由此我们设计了相应的量测系统和数据采集及处理软件,采集这两个量,从而实现了用超声进行颗粒分析。

量测系统组成框图如图1所示,它是由传感器(超声探头)、发射电路、同步电路、接收放大电路、取样电路、计数电路,对回波信号进行连续采集和处理,从而求得被测沙样的各种粒径和沙粒数。其中同步电路是整个量测系统的同步指挥中心,由它控制协调各部分电路的工作。

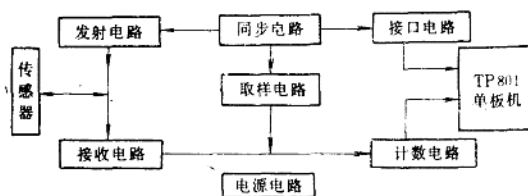


图1 量测系统组成框图

利用前面设计的量测系统,分别对粗沙和细沙进行了颗粒分析,鉴于粗细泥沙的沉降特性不同,因而进行颗分实验所采用的沉降体系也不同,粗沙(大于0.1mm)采用清水沉降体系,而小于0.1cm的细沙采用浑匀沉降体系。由硬件电路设置,可以人为控制沉降距离,实验中设沉降距离 S 为7cm(有的是6.44cm),取样范围为0~1.4cm可调,实际取样范围1cm。不论粗沙细沙,颗分实验中首先遇到的问题就是采样时间的选择问题,经理论计算及多次实验,最后确认粗沙颗分的采样时间为20ms,而细沙颗分的采样时间则取为2秒。由于同步信号频率为100Hz, $T=10ms$ 这就要求加一分频电路。粗沙分析具体框图如图2,具体电路从略。细沙颗分实验电路框图如图3,与粗沙所不同的是由于采样时间为2s,故未采用单板机进行采样,直接由计数显示电路显示回波脉冲数,每2s显示一次。

1. 粗沙实验分析:

粗沙颗分采用清水沉降体系,让探头接触水面,从探头的正下侧注沙,让泥沙颗粒集中在探头中心附近开始沉降,注意不要对水扰动过大,使其产生气泡尽可能少,最好不要产生气泡,注沙的同时运行采集程序,所选沙样为经过认真仔细地筛分而得,因而已知其真实级配,同我所设计的量测系统或说用超声回波法进行比测,结果如表1,表2。

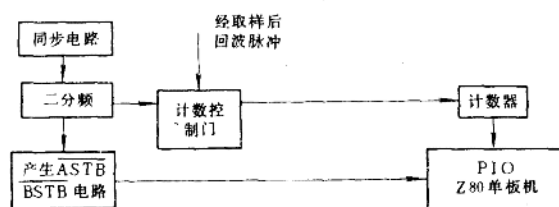


图2 粗沙分析框图

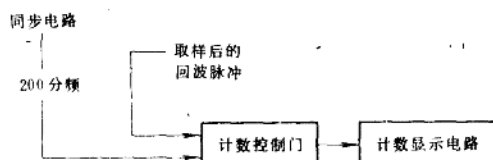


图3 细沙筛分电路框图

表1 第一组粗沙筛分结果

百分比 (%) / 组次 / 粒径 (mm)	真实级配	第一次	第二次	第三次	各次对比偏差 (max)
$d < 0.3175$	35.7	85.07	83.95	84.59	1.120
$d < 0.254$	57.13	58.65	45.62	53.15	13.03
$d < 0.2116$	34.27	35.19	23.96	35.32	11.36
$d < 0.1814$	22.85	26.04	13.49	22.46	12.55
$d < 0.15875$		17.05	6.07	16.28	10.98
$d < 0.14088$		12.16	2.26	11.27	9.9
$d < 0.1272$		9.5	0.45	7.69	9.05

($T=25^{\circ}\text{C}$, $\gamma_s=2.65$)

由上表可以看出, 超声回波法筛分结果绝大多数能与真实级配吻合, 也有小部分稍差一些。根据我国关于河流泥沙筛分的有关规定, 准确度指标要求多次试验平均值的系统偏差: 大于80%粗粒部分为 $\pm 2\sim 3\%$, 小于80%细沙部分为 $\pm 3\sim 4\%$; 单个测次对比偏差80%频率, 大于80%粗粒不大于8%, 小于80%细粒部分不大于10%, 而稳定性指标要求同一沙样分为至少30份进行实验统计, 对于大于80%粗粒部分, 同一沙样的多次重复试验, 各次与平均偏差80%的频率不大于 $\pm 4\%$, 小于80%细粒部分不大于 $\pm 5\%$, 根据这一规定, 对现有数据进行分析, 用超声反射法对粗沙进行筛分能达到上述规定, 是可行的。

2. 细沙的筛分实验分析

细沙筛分采用浑匀沉降体系, 实验中极易产生气泡, 而超声对气泡特别敏感, 为此实验中特别注意搅动时十分缓慢, 防止产生气泡, 为减少误差, 测量开始时只计时间, 而不计回波数(等气泡消失), 六秒钟开始

计回波数, 这样便可减小气泡对测量结果的影响。测量结果见表3。

由表中可以看出除极个别的数偏差较大, 对于同一沙样同一浓度, 测量的重复性比较好, 即其稳定性指标较好, 各次与平均值的偏差80%的频率小于4% (粗粒), 小于30%细粒部分小于5%, 符合筛分规定。

表2 第二组沙样筛分结果

百分比 (%) 组次 粒径 (mm)	真实级配	第一次	第二次	第三次	平均值	偏差
$d < 0.6335$	90	87.04	88.45	90.24	88.58	1.42
$d < 0.4233$	40	41.33	39.88	39.31	40.17	-0.17
$d < 0.3175$	20	22.46	20.4	20.54	21.13	-1.13
$d < 0.254$	10	10.59	11.8	11.254	11.25	-1.25
$d < 0.2116$	5	3.76	6.8	5.85	5.47	-0.47
$d < 0.1814$		1	2.78	3.06		

($T=18^{\circ}\text{C}$, $\gamma_s=2.65$)

表3 细沙筛分结果比较表 ($T=18^{\circ}\text{C}$, $\gamma_s=2.65$)

百分比 (%) 组次 粒径 d (mm)	$d < 0.097$	$d < 0.087$	$d < 0.074$	$d < 0.0616$	$d < 0.05$	$d < 0.04$	$d < 0.03$	$d < 0.025$
1	100	90	57.58	42.1	22.25	7.8	1.7	0
2	100	91.1	65.75	36.6	16.47	8.2	1.0	0
3	100	91.7	71.03	44.5	23.96	9.5	1.0	0
4	100	85.9	43.49	35.72	19.08	5.75	2.3	0.5
5	100	91.48	70.51	47.27	25.4	13.8	2.2	0
6	100	93.26	60	42.96	26.9	9.7	0.9	0
7	100	88.7	58.4	38.4	17.58	7.9	1.1	0
8	100	90.9	63.2	37.37	21.04	6.96	1.35	0
9	100	87.73	56.52	33.08	16.44	6.07	0.46	0
10	100	87.7	58.24	40.13	21.26	6.35	1.9	0
11	100	93.61	65.9	41.86	20	6.70	1.27	0
12	100	97.9	73.42	47.85	24.24	20.3	2.1	0
13	100	96.29	62.97	36.29	13.16	8.1	3.55	0
14	100	89.24	60.22	35.35	19.5	12.5	3.2	0
平均	100	91.15	61.9	39.96	20.52	8.18	1.716	0.03
最大偏差	100	6.75	18.41	7.89	7.36	5.7	1.8	0.03

四、结 语

本文根据泥沙沉降理论利用超声回波技术及微处理技术, 提出超声传感泥沙筛分新方法。通过大量的实验, 多次重复进行, 所得结果与预先给定的实际级配值相符, 误差在容许范围之内。但是, 这只是这个工作的开始, 还有待于进一步完善, 最终要使它成为一个实用的仪器, 那还要做大量的工作。

参 考 文 献

- 1 武汉水电学院泥沙教研室, 河流泥沙动力学, 北京: 水利电力出版社, 1989. 12
[下接第10页]

高精度高稳定性的 SRZ 型电容感应式 三向垂线坐标仪

郑 延 海

(能源部南京自动化研究所)

提 要

本文通过对 SRZ 型电容感应式三向垂线坐标仪的工作原理、性能特点及试验数据和现场运行结果的系统分析,充分地说明了该仪器具有精度高,长期测量稳定可靠等优点,并能在一台仪器内同时完成三维坐标方向的位移测量,它的研制成功在水工建筑物测量等领域内填补了一项空白。

一、前 言

大坝安全监测是确保大坝安全运行必不可少的手段,也是大坝安全管理的重要项目之一,目前国际上一直把大坝安全监测自动化作为该领域发展的方向,随着科学技术的发展和人们对大坝安全监测自动化日趋重视,我国在该领域的现状是起步晚但成效显著,已跨入世界先进行列,部分项目技术上超过国外现有水平。

本文讨论的三向垂线坐标仪是大坝变形测量中极为重要的仪器,它不仅能测量坝体的两个水平方向位移,而且还能够测量坝体基础沉降。然而,在本仪器诞生前,国内外对坝体三向测量通常采用两种类型的测量方式,即坝体水平测量方法(如双向垂线坐标仪等)和坝基垂直沉降方法(如水准测量、双金属标、双丝进行光学人工测量等),因此测量效率极低,精度较差,SRZ 型三向垂线坐标仪利用先进技术实现在一台仪器内同时精确测出三个方向位移量,并与双向引张线仪配合,实现坝体水平位移和坝体、基础沉降监测的自动化,为大坝安全监测提供了先进的设备,为我国大坝安全监测自动化达到国际先进水平奠定了基础。

二、仪器的工作原理、性能特点

(一) 仪器结构及工作原理

仪器结构见图 1。仪器由水平变形测量部件、垂直变形测量部件、标定部件、挡水部件及屏蔽罩等部分组成。系统测试原理框图见图 2。坐标测量利用电容感应原理,用变压器比率臂桥及三端测量技术。

如图 1 所示,三对平行极板安装在坐标仪器底板上,垂线上安装一中间极,坐标仪底板安装在坝体观测点的支架上。当坐标仪相对垂线位置发生变化时,中间极与三对极板间距离变化产生三对电容的差动变化。由图 2 可见,坐标极板与垂线上中间极构成电容 1、2,接线端 7、8 由电源 5 提供交流电压。电容比测试仪的感应分压器 3 的接线端 4 接地电位。两接线端 4、9 接到差分放大器 6 上,放大器输出接到伺服系统,调 4 的位置使放大器 6 的输出为零,则由 4 位置测定的感应分压器比率即为电容 1、2 之比值。以此方式测出坐标仪相对垂线的三向位移量。该测试系统见图 3 所示。

三向垂线坐标仪与 SRB-型电容式仪器自动检测装置, YKC-16 型遥测转换箱和电缆组成一完整的大坝三向位移测量系统。该系统具有巡检、单检、数显、打印、报警等功能, SRB-1 型检测装置有接口可与微机联接。 YKC-16 型遥测转换箱一台可接五台三向垂线坐标仪, 每台坐标仪测 X、Y、Z 三向位移一遍不到 9 秒钟, 采集数据快、测量准确, 为大坝实时安全监控提供了良好的手段。

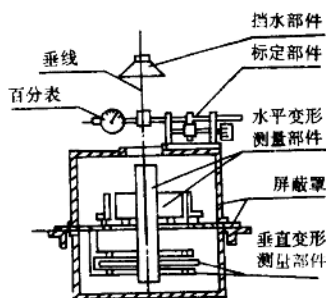


图1 仪器结构图

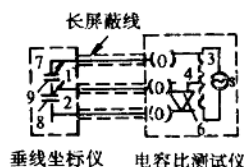


图2 系统测试原理框图

(二) 性能指标和技术关键

1. 主要技术指标

SRZ-25-10型三向垂线坐标仪技术指标见表1。

2. 技术关键

表1 SRZ-25-10型三向垂线坐标仪技术指标

测量范围 (mm)	X向	Y向	Z向
	25	25	10
最小读数 (mm)	<0.02		
总误差 (精度) (mm)	0.15		
温度附加误差	$<0.05\%F \cdot S/^{\circ}C$		
长期稳定性	$<0.05\%F \cdot S/0.5y$		
工作条件	环境温度 $-10 \sim +40^{\circ}C$ 能在潮湿环境下长期工作		
遥测距离 (m)	1000		

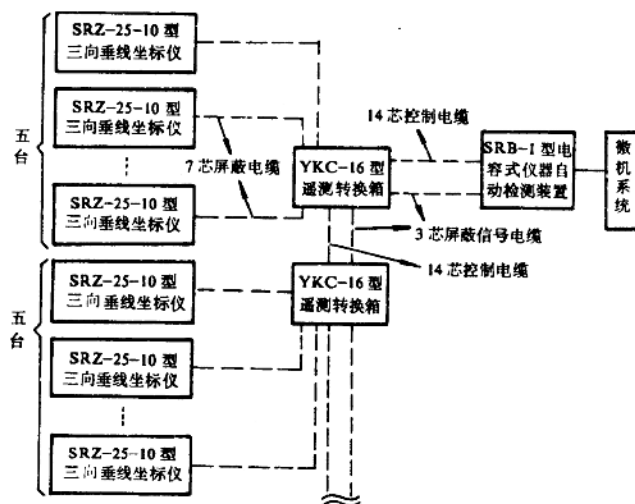


图3 测试系统图

(1) 三向垂线坐标仪通常在坝基廊道中使用，工作在长期高湿环境和带有一定碱性滴水的恶劣环境之中，然而大坝安全监测要求仪器长期测量稳定可靠，以确保采集数据准确，资料连续。为使仪器在这种十分恶劣

的环境下长期工作,必须对仪器的关键部件感应极板进行良好的防潮绝缘处理,经过反复试验,研制出具有一定冲击强度(40kg/cm²)和高绝缘性能(击穿强度态常为30kV/mm)的极板防潮绝缘处理工艺,在水下试验和现场考核中取得很好效果。

(2) 仪器的稳定性,包括仪器常温零点漂移和温度稳定性是大坝监测仪器的关键和技术难点。本仪器采用先进的电容传感技术和合理的结构设计。坐标仪中电容感应的电容值仅取决于坐标仪结构与极板几何尺寸,设计时只需考虑材料强度、抗蠕变能力及温度系数等机械特性,不用考虑材料的电磁特性。仪器传感部分采用差动结构,测量系统采用比率测量办法和平衡桥原理,测量装置采用高精度感应分压器及一系列稳定措施,使仪器温度系数 $<0.02\%F \cdot S/^{\circ}C$,比法国 Telemac 公司双向垂线坐标仪的指标 $0.1\%F \cdot S/^{\circ}C$ 低得多,仪器常温零飘 $<0.52\%F \cdot S/y$ 。由两台正样仪器 88003[#]、88004[#]在高低温试验箱中,经十次高低温循环试验(高温+50 $^{\circ}C$,低温-30 $^{\circ}C$)后,将仪器放入试验室进行稳定性考核,经过一年多稳定性试验,其长期稳定性如表 2。

表 2 长期稳定性试验结果

88003 坐标仪			88004 坐标仪			设计指标
X	Y	Z	X	Y	Z	
0.358%F·S/y (0.00895mm/y)	0.305%F·S/y (0.0763mm/y)	0.295%F·S/y (0.0295mm/y)	0.312%F·S/y (0.078mm/y)	0.519%F·S/y (0.130mm/y)	0.24%F·S/y (0.024mm/y)	0.45mm/0.5y

(3) 感应式垂线坐标仪具有结构简单,防潮性好,性能可靠、成本低等优点。而将安装在垂线上的一根中间极与安装在建筑物上的三对极板感应测出三向坐标位置变化就带来三个方向三对极板间及与中间极、展蔽罩间三维电场互相感应干扰的难题,使得测量产生较大误差,把感应式仪器存在的这种特殊误差称为互感应影响误差。法国 Telemac 公司的双向坐标仪无法解决双向之间互感应干扰而将二向感应部件结构重叠起来(即不在一个水平面内),但仍有较大的互感应影响误差。如果把三向坐标仪做成测 X、Y 两方向和测 Z 方向两台仪器,其研制的难度要低得多,但成本将提高,安装空间要加大,增加仪器安装工作量。

双向电容感应式坐标中的差动电容传感所形成的均是三维场,数值计算十分复杂、工作量大,在保证一定精密密度前提下,用二维场来近似可得较好效果。三向电容感应式坐标仪中的差动电容传感所形成的场是更复杂的三维场,边界条件特殊,在保证精度情况下简化很困难,计算繁复,工作量非常大。用三维电场进行理论分析来指导三向坐标仪设计,其难度和工作量是目前水平及人力物力难以实现的。因此在设计三向坐标仪时,主要依据理论定性分析,同时进行大量试验和优化设计,把这项主要影响仪器精度的三向互感应影响误差减少到最小,从而大大提高了仪器的精度。

(4) 三向垂线坐标仪中二对水平极板与中间极之间起始电容约为 0.5pF,垂直方向极板与中间极间为 1~2pF,而检测装置分辨率要 $<1 \times 10^{-4}pF$,这使得小信号、高容抗、上千米远距离传输信号衰减、抗干扰能力差等问题成了需要重点解决的技术关键之一。除了在遥控转换箱、检测装置中采用感应分压器电容桥和三端测量等技术外,整个坐标仪屏蔽和良好接地及非标特殊屏蔽电缆研制,也是确保坐标仪测量稳定可靠的重要条件。本仪器所采用的三芯和五芯屏蔽电缆,要求每芯单独屏蔽,信号线屏蔽层要与其它屏蔽层绝缘,这是保证仪器在坝上高低温循环、潮湿的特定环境里长期可靠而对电缆提出的特殊要求。

三、仪器现场运行情况

红石坝址(位于吉林省桦甸市境内)的地质条件比较差,它距辉发河深大断裂边缘约 5km,经多次构造运动,坝区断层岩脉繁多,节理发育、岩石完整性差,岩石风化深度相差悬殊,缓倾角节理于坝区普遍存在,局部密集成带,坝区最大断层 F₆宽 9~15m,斜穿坝基 9 个坝段,是该坝两个主要工程地质问题。为了测量出该区域的坝基变形,我们将两台编号为 88001[#]、88002[#]仪器于 1989 年 8 月分别安装在红石电站大坝断层廊道的六号坝段的 3[#]测点上和四号坝段的 5[#]测点上,并于 1989 年 10 月投入正式运行。

为了便于验证该仪器的精度和性能,我们在使用这两台三向垂线坐标仪的同时也进行人工光学的三向垂线同步测量。在整个测量过程中,伴有人工光学比测资料。从遥测三向垂线坐标一年的现场运行,和与光学三向垂线坐标仪、精密水准测量比测手段进行对照,可以说明目前 F_6 地质断层是稳定的,三向变形都很小,参见图4。由于精密水准测量误差较大,故仅将遥测和光学三向垂线坐标仪在四号坝段和六号坝段所测得的数据绘制成曲线进行比较,可看出六条曲线数据很吻合。遥测仪器曲线平滑,无跳变现象,说明其测量精度高。仪器在经过冬夏季高湿度环境考核,没有发生一次故障,充分说明该仪器运行可靠,数据连续性好。目前该仪器已推广应用,在数座大坝上安装运行。

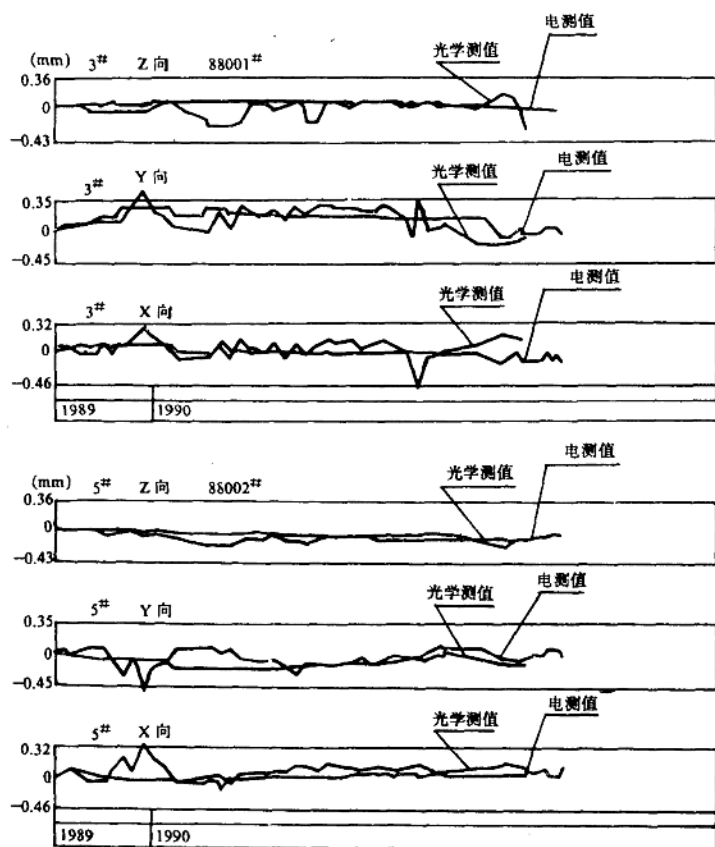


图4 原型观测结果, (时间一年)

四、结 论

(一) 仪器技术水平

SRZ型电容感应式三向垂线坐标仪于1990年3月13日由江苏省科学技术情报研究所进行国际联机检索,检索的系统文档为DIALOG系统中INSPEC(英国科学文摘)、EI(美国工程索引)、WPI(世界专利索

引), 检索结论: 没有检索到有关文献。

仪器确立在“三向电容传感测试装置”和“电容传感器感应极保护膜的涂覆方法”两项发明专利的基础上研制的。经过所质检中心的检验、试验室考核和现场运行, 各项性能指标达到或超过设计的指标, 且性能稳定可靠。1990年12月20日经专家鉴定认为: 1、SRZ-25-10型三向垂线坐标仪为国际上首次采用电容感应式原理的创新产品, 已获国家专利局授予的发明专利, 其技术先进, 温度系数小, 长期测量稳定可靠, 测量精度高; 2、仪器设计思想新颖, 结构合理, 一台仪器能完成三维方向位移的精确测量, 为坝体、坝基三向位移测量提供基准及三维测量提供了先进的监测设备; 3、仪器关键部件采用特殊绝缘防潮处理工艺, 确保仪器在大坝100%相对湿度下长期正常工作。经一年多现场考核, 运行稳定可靠, 适用于水工建筑物原型观测; 4、仪器结构简单, 成本低, 安装、使用、维护方便; 5、该仪器的使用对确保大坝安全有着显著社会效益和经济效益。根据上述情况和国际联机检索新资料, 证明其技术性能处于国际领先地位。建议早日批量生产, 以满足工程急需。

(二) 经济效益和社会效益:

本坐标仪测量范围大, 精确度高, 使得它能为光学仪器视准测量和坝体坝基提供三向参考基准, 由于测量系统采集数据快, 一台仪器测出三向坐标的时间不到9秒钟, 因此大大减轻了观测人员的劳动强度和节省大量观测时间。三向垂线坐标仪已能接入大坝安全监控微机系统, 它为大坝实时安全监控提供了先进的设备, 对确保大坝的安全有着极其显著的社会效益。

国外一台双向遥测坐标仪价格为5000~8000美元, 按这个价格推算一台三向坐标仪价格更昂贵。如一坝安装8台三向坐标仪, 包括遥测转换箱、测量装置、电缆等全套测量系统, 其价格约8万美元, 这还不包括软件费用和安装专家咨询费等。我们研制的仪器和系统不仅技术先进, 且价格不到国外价格的五分之一。我国有一百多座大中型老坝即将进行观测设备更新改造, 许多新建坝将需要安装观测设备, 如果这些坝都安装我们研制的技术先进、性能优良、价格低廉的大坝安全自动监测仪器及系统, 这将节省大量的外汇, 而且可取代精度不高, 费人费时的光学测量方法, 其推广的前景非常广阔, 经济效益则是十分可观的。

参 考 文 献

吕刚, 郑延海. SRZ-25-10型三向垂线坐标仪研制报告, 大坝观测与土工测试. 1992, 2.

[下接第5页]

- 2 华东水利学院, 模型试验量测技术, 北京: 水利电力出版社, 1984.
- 3 黄委会水文处, 华东水利学院物理室, 光电测分仪, 人民黄河, 1979, 1.
- 4 唐懋官、舒乃秋. 一种新的测沙方法, 武汉水利电力学院学报, 1982, 3.
- 5 Inman, D. L. "Measures for Describing the Size Distribution of Sediment", J. Sedim Petro Vol. 22, 1952.
- 6 Allerot. Particle size Measurement, third edition New York: London Chapman and Hall, 1981.
- 7 吴家坤等. 新型粒度分析仪, 河海大学学报, 1989, 11.
- 8 唐懋官. 水流电测技术, 北京: 水利电力出版社, 1991.