

HUANGHE DIANXING SHUIKU YUJI NISHA SHENCENG QUYANG JISHU

黄河典型水库 淤积泥沙深层取样技术

杨勇 张雷 郑军 高航 著



黄河水利出版社

黄河典型水库淤积泥沙 深层取样技术

杨勇 张雷 郑军 高航 著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书主要包括黄河流域水库概况、水库淤积泥沙取样技术、淤积泥沙层理结构、深水库区取样设备设计、取样操作、取样器扰动性分析、水库取样及泥沙样品特性、水库淤积泥沙干密度特性和水库淤积层理。

本书可供从事水利工程泥沙量测和研究的工程技术人员参考使用,也可供相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

黄河典型水库淤积泥沙深层取样技术/杨勇等著. —郑州:黄河水利出版社,2015. 1

ISBN 978 - 7 - 5509 - 1012 - 6

I. ①黄… II. ①杨… III. ①黄河流域 - 水库泥沙 - 取样法 - 研究 IV. ①TV145

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 017596 号

组稿编辑:贾会珍 电话:0371 - 66028027 E-mail:xiaojia619@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:8

字数:185千字

印数:1—1 000

版次:2015年1月第1版

印次:2015年1月第1次印刷

定价:32.00元

前 言

我国许多河流每年输送大量泥沙,河流的泥沙状况不仅反映了河流本身的发展演变,也反映了流域的环境特性、水土流失程度及人类活动的影响。在规划、防洪、水沙资源利用以及水土保持等方面的工作中,河流泥沙是必须考虑的因素。治水必先治沙,这是多泥沙河流治理的特点也是难点。准确获取深层淤积泥沙资料与分析成果,研究淤积泥沙层理结构,为水库分层清淤提供重要技术支撑,是泥沙研究和泥沙治理的重要基础工作。

在借鉴深海淤积泥沙取样技术的基础上,设计了基于大型重力活塞原理,由配重装置、触发装置、取样装置等部分组成的深水库区取样器。另外,通过机械设计理论对其结构、强度、稳定性及取样性能等进行了分析。结果表明:设计的内径 90 mm、外径 114 mm,总装配长度 13 m 的取样器能够满足要求(深水库区深层取样的)。研制出深水库区取样器,开展了性能试验,针对存在的密封性、成功率及效率等问题,改进了导流装置、取样刀头、密封装置以及触发装置等,改进后取样器能够满足现场试验要求。

采用孔扩张理论分析了取样器对淤积泥沙样品的径向扰动情况,结果表明:样品径向受扰动比例变化范围为 14.2% ~ 22.6%。采用非线性有限元方法模拟了取样器冲击取样过程,分析了取样器对样品垂向扰动状况,结果表明:对于轴心线上的样品,径向没有受到扰动,垂直向扰动比例范围约为 20%,最大扰动量为 0.075%;下端 30% 范围内的样品的边壁受到一定扰动,样品边壁的垂直向最大扰动量为 0.3%,径向最大扰动为 1.93%。对比分析取样器和常规环刀取样器得到的泥沙样品密度试验,结果表明:在密度试验中,用全部 20 组样品平均变化率作为推算密度的标准,取样器比环刀测量湿密度平均增大率为 11.3%,干密度平均增大率为 12.1%,可以用此作为推算样品真实湿密度和干密度计算参数。

在研制成功的取样装置基础上,根据研制的淤积泥沙低扰动取样装置特点和船舶现状,设计加工起吊能力 5 t、起吊高度 13 m 的起吊装置及配套设备,形成了能够用于深水水库作业的取样船只及取样装置,并制定了详细的作业操作流程。在三门峡库区的滩地和主河槽进行了取样性能验证试验,测试取样设备及配套装置的性能。试验结果表明:对于软质河床取样效果较好,样品扰动性较低;对于硬质河床,取样效果不甚理想,通过对取样器及作业方式的改进,达到了取样试验要求。

分别在三门峡库区和小浪底库区进行了取样试验,取得了水下深层淤积泥沙样品。对获取的淤积泥沙样品进行了样品特性试验,分析了淤积泥沙比重、密度、干密度、含水率、颗粒的级配组成等参数。结果表明:上游的颗粒中粗颗粒所占比例总体上高于下游,符合水库淤积规律;三门峡库区淤积泥沙的比重为 2.68 ~ 2.75,小浪底库区淤积泥沙的比重为 2.68 ~ 2.73;考虑取样器的挤密作用,对干密度值进行了合理修正,推算三门峡库区淤积泥沙干密度为 1.08 ~ 1.54 g/cm³,推算小浪底库区淤积泥沙干密度为 1.17 ~ 1.54 g/cm³。

从河床物质颗粒组成、力学特性等角度,研究库区内淤积泥沙颗粒分层特点。结果表明:沿深层方向泥沙颗粒组成分层明显,但分层趋势规律不明显,拐点出现位置不同,其分层特点与历年来水来沙量及周边地形环境等因素有关;按照样品摩擦角、黏聚力及泥沙临界起动切应力等力学特征进行分析,结果表明淤积泥沙沿深层方向均有明显分层现象。

作 者

2014 年 11 月

目 录

前 言

第 1 章 黄河流域水库概况	(1)
1.1 黄河流域概况	(1)
1.2 万家寨水库泥沙概况	(2)
1.3 三门峡水库泥沙概况	(3)
1.4 小浪底水库泥沙概况	(4)
第 2 章 水库淤积泥沙取样技术	(7)
2.1 水下淤积物取样技术及设备	(7)
2.2 取样器扰动性理论	(11)
2.3 淤积泥沙干容重理论	(13)
第 3 章 淤积泥沙层理结构	(15)
3.1 河道淤积泥沙层理结构	(15)
3.2 水库淤积泥沙层理结构	(19)
3.3 湖泊淤积泥沙层理结构	(22)
第 4 章 深水库区取样设备设计	(26)
4.1 取样设备原理及工作过程	(26)
4.2 深水库区取样装置设计	(28)
4.3 取样器强度校核	(39)
4.4 取样器稳定性校核	(40)
4.5 取样器部件	(42)
4.6 姿态记录仪	(46)
第 5 章 取样操作	(48)
5.1 取样操作流程	(48)
5.2 取样装置装配	(50)
5.3 船只及配套装置	(52)
5.4 样品处理及保存	(55)
第 6 章 取样器扰动性分析	(57)
6.1 取样扰动性理论分析	(57)
6.2 取样扰动性数值模拟	(60)
6.3 取样扰动性对比试验	(66)
6.4 低扰动取样技术措施	(71)
第 7 章 水库取样及泥沙样品特性	(72)
7.1 水库取样	(72)

7.2	泥沙样品物理特性	(77)
7.3	泥沙样品矿物组成及化学特性	(85)
第8章	水库淤积泥沙干密度特性	(93)
8.1	淤积泥沙干密度理论	(93)
8.2	泥沙样品干密度	(94)
8.3	泥沙样品固结试验	(98)
第9章	水库淤积层理	(103)
9.1	水文常规测验资料	(103)
9.2	河床泥沙颗粒分层	(104)
9.3	河床淤积泥沙力学特征分层	(109)
参考文献		(118)

第1章 黄河流域水库概况

1.1 黄河流域概况

黄河是我国第二条大河,发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓的约古宗列盆地,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东九省(区),在山东省垦利县注入渤海。黄河干流全长 5 464 km,流域面积 79.5 万 km^2 (包括内流区 4.2 万 km^2)。与其他江河不同,黄河流域上中游地区的流域面积占总面积的 97%,西部地区属青藏高原,海拔为 3 000 m 以上;中部地区绝大部分属黄土高原,海拔在 1 000 ~ 2 000 m;东部属黄淮海平原,河道高悬于两岸地面之上,洪水威胁十分严重。自河源至内蒙古托克托县的头道拐为上游,河长 3 472 km,面积 42.8 万 km^2 ;头道拐至河南省郑州市的桃花峪为中游,河长 1 206 km,面积 34.4 万 km^2 ;桃花峪至入海口为下游,河长 818 km,面积 2.3 万 km^2 。

黄河下游是黄河的重要防洪河段,目前黄河下游河床已高出大堤背河地面 4 ~ 6 m,局部河段达 10 m 以上,严重威胁着黄淮海平原的安全。从桃花峪至河口,除南岸东平湖至济南为低山丘陵外,其余全靠堤防挡水。目前,悬河、洪水依然严重威胁着黄淮海平原地区的安全,是中华民族的心腹之患。

黄河下游两岸大堤之间滩区面积为 3 160 km^2 ,有耕地 375 万亩(1 亩 = 1/15 hm^2 ,下同),居住人口 189.5 万。东坝头至陶城铺河段,主槽淤积和生产堤的修建,造成槽高、滩低、堤根洼“二级悬河”的局面,严重威胁防洪安全。

黄河流域支流众多,一级支流达 111 条,其中流域面积大于 1 000 km^2 的支流有 76 条。流域面积大于 1 万 km^2 或入黄泥沙大于 0.5 亿 t 的一级支流有 13 条,上游有 5 条,其中湟水、洮河天然来水量分别为 48.8 亿 m^3 、48.3 亿 m^3 ,是上游径流的主要来源区;中游有 7 条,其中渭河是黄河最大一条支流,天然径流量、沙量分别为 92.5 亿 m^3 、4.43 亿 t,是中游径流、泥沙的主要来源区;下游有 1 条,为大汶河。

黄河流域水资源贫乏,属资源性缺水地区。黄河流域现状下垫面条件下,多年(1956 ~ 2000 年)平均天然河川径流量为 534.8 亿 m^3 ,占全国河川径流量的 2%。

黄河洪水包括暴雨洪水和冰凌洪水。黄河上游暴雨洪水历时长、洪峰低、洪量大,为矮胖型。中游暴雨频繁、强度大、历时短,洪水具有洪峰高、历时短、陡涨陡落的特点。下游的暴雨洪水主要来自中游,是下游的主要致灾洪水。黄河的冰凌洪水主要发生在宁蒙河段和黄河下游。

黄河是世界上输沙量最大、含沙量最高的河流。据 1919 ~ 1960 年实测资料统计,三门峡站的多年平均输沙量约 16 亿 t。黄河泥沙具有输沙量大、水流含沙量高、水沙异源、年内分配集中、年际变化大的特点。近期由于降雨因素和人类活动对下垫面的影响,以及经济社会的快速发展、工农业生产和城乡生活用水大幅度增加,河道内水量明显减少,加

之水库工程的调蓄作用,黄河水沙关系发生了较大的变化,主要表现为来水来沙量明显减少、径流年内分配均匀化、汛期有利于输沙的大流量历时和水量减少,水沙关系更加不协调。为此,在黄河干流上已建有龙羊峡、刘家峡、万家寨、三门峡和小浪底等水库,近年来,通过水库或水库群的合理调度运用,进行调水调沙、水量调度、防洪防凌调度、兴利调度等,对优化配置水资源、保护生态环境、维护河流健康、促进社会经济的健康发展等都发挥了重要作用,社会、经济和生态效益显著。

1.2 万家寨水库泥沙概况

万家寨水利枢纽位于黄河北干流上段托克托至龙口峡谷河段内,是黄河中游梯级开发的第一级。坝址左岸为山西省偏关县,右岸为内蒙古自治区准格尔旗。坝址控制流域面积 39.5 万 km^2 ,距黄河入海口 1 888.3 km,坝址河段河道比降为 1.24‰,河宽为 300 ~ 500 m,河谷呈 U 形,河底为基岩,两岸滩地为砂卵石淤积物。其主要任务是供水结合发电调峰,同时兼有防洪、防凌作用。枢纽年供水量 14 亿 m^3 ,其中向内蒙古自治区准格尔旗供水 2 亿 m^3 ,向山西省供水 12 亿 m^3 。枢纽水电站装机 108 万 kW,年发电量 27.5 亿 kWh。黄河干流三湖河口至头道拐河段长 300 km,河道平缓开阔,比降 1‰,为平原河流;头道拐至大榆树湾为平原型向山区型转变的过渡段,其中大石窑子至大榆树湾河段为转折段,称为拐上河段,河段长 10 km,比降 2.85‰;大榆树湾至坝址为山区型河流,河谷狭窄陡峻,比降 11.7‰。库区最大支流为红河,流域面积 5 530 km^2 。万家寨水库入库泥沙分为两部分:一是头道拐以上黄河干流来沙;二是头道拐至坝址区间来沙。研究发现,若是万家寨水库泥沙淤积末端不上延至拐上河段,即可保持头道拐的输沙能力,避免对上游河道的不利影响。

万家寨水利枢纽属一等大(1)型工程,永久性主要建筑物为一级水工建筑物,设计洪水标准为千年一遇,校核洪水标准为万年一遇。入库洪峰流量分别为 16 500 m^3/s 和 21 200 m^3/s 。多年平均入库径流量为 248 亿 m^3 (河口镇 1952 ~ 1986 年实测年径流系列),设计多年平均径流量为 192 亿 m^3 (1919 ~ 1979 年设计入库系列),设计多年平均入库沙量为 1.49 亿 t,设计多年平均含沙量为 6.6 kg/m^3 。水库总库容为 8.96 亿 m^3 ,调节库容为 4.45 亿 m^3 。水库最高蓄水位为 980.00 m,正常蓄水位为 977.00 m。水库采用“蓄清排浑”的运用方式,排沙期运用水位 952.00 ~ 957.00 m。坝址岩层由寒武系灰岩、白云岩、页岩等组成,岩性致密坚硬,岩体完整,断层不发育。工程地质条件优良。场地地震基本烈度为 6 度。

万家寨水利枢纽由拦河坝、坝后式电站厂房、电站引水系统、泄水建筑物、引黄取水建筑物、厂坝间全封闭组合电器(GIS)开关站等建筑物组成。拦河坝为半整体式混凝土直线重力坝,坝顶高程 982.00 m,坝顶长 443 m,最大坝高 105 m,拦河坝自左向右共分为 22 个坝段,依次为左岸挡水坝段、泄水坝段、隔墩坝段、电站坝段、右岸挡水坝段。引黄取水口设于大坝左岸边坡坝段,2 条引水钢管直径均为 4.0 m,单孔引水流量 24 m^3/s ,取水口采用分层取水方式以引取水库表层清水。泄水建筑物位于河床左侧,包括 8 个 4 m × 6 m 底孔、4 个 4 m × 8 m 中孔、1 个 14 m × 10 m 表孔,其中表孔主要担负枢纽宣泄超标洪水

和部分排冰任务;中孔为枢纽重要泄洪排沙建筑物,也是主要的排漂建筑物;底孔为枢纽主要泄洪排沙建筑物;泄水坝段下游均采用长护坦挑流消能,同时为避免溢流坝泄流对电站尾水的影响,在厂房尾水平平台后布置长 46 m 的尾水导墙。电站厂房为坝后式,位于河床右侧,单机单管引水,压力钢管直径 7.5 m。主厂房长 196.55 m,上部宽 27.00 m,下部宽 43.75 m,总高度 56.30 m,安装 6 台单机容量为 18 万 kW 水轮发电机组。GIS 开关站位于电站主厂房上游厂坝之间。各组成部分具体位置分布情况如图 1-1 所示。

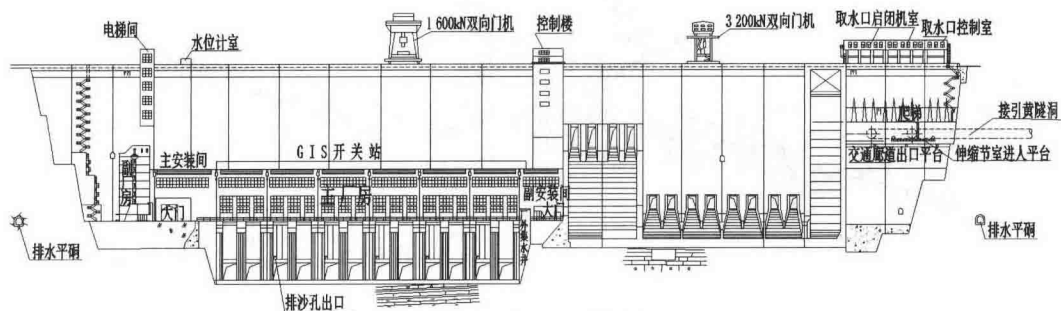


图 1-1 万家寨水利枢纽大坝立面布置图

1.3 三门峡水库泥沙概况

三门峡水利枢纽是黄河干流上修建的第一座大型水利枢纽工程,控制了黄河流域面积的 91.5%、来水量的 89%、来沙量的 98%,工程的任务是防洪、防凌、灌溉、发电和供水。枢纽工程位于黄河中游下段的干流上,连接豫、晋两省。库区遍布在中条山和秦岭之间的山间盆地中。库区的西部有黄河最大的支流渭河自西而东穿行,在潼关处汇入黄河,渭河下游地势较平坦,河道平缓。潼关以上的黄河河谷较宽,且有辽阔的渭河平原。在潼关处,黄河受秦岭阻挡,转折向东流,中条山和华山将该处的河槽宽度压缩到约 900 m,形成了一个卡口。从潼关到三门峡坝址,河槽变窄,两岸地面沟壑冲刷,高低起伏,河道上宽下窄,滩高槽深,主流被缩束在狭窄的河槽内,蜿蜒曲折。

三门峡水库库区范围包括自黄河龙门、渭河临潼、汾河河津和北洛河淤头 4 个水文站到大坝区间的干支流,流域概况图如图 1-2 所示。在此区间内加入的集水面积为 29 688 km²,其中,潼关以上为 23 408 km²,潼关以下为 6 280 km²。库区按河道特点可分为四大库段:①黄河龙门至潼关库段长 134.4 km,河宽为 4~19 km,穿行于陕、晋两省之间,是两省界河,属游荡型河段。②黄河潼关至大坝库段长为 113.2 km,河宽为 1~6 km,河槽宽度为 500 m 左右,属峡谷型河段。③渭河临潼至汇入黄河口库段长为 127.7 km 左右,河宽为 3~6 km,两岸是河谷阶地,流经陕西省的临潼、渭南、华县、大荔、华阴和潼关 6 县,该库段地处关中平原,土地肥沃,为陕西省粮仓之一。④北洛河淤头至汇入渭河口库段长为 121.9 km,河宽为 1~2 km。两岸为黄土台塬,高出河床 50~100 m,土地肥沃,也是陕西省粮仓之一,该库段流经陕西省的蒲城和大荔两县。

三门峡枢纽坝址两岸为地势峻峭的峡谷地带,左岸大部分为陡崖峭壁,右岸稍为平



图 1-2 三门峡库区情况

缓。黄河流至三门峡峡谷处,河道由向东流急转为向南流,约成 90° 拐弯。枢纽坝址坐落在坚硬的闪长玢岩岩体上,地质地形条件优良。河流在峡谷中受矗立河中的鬼门和神门所挡,将河水劈为鬼门、神门和人门三股激流,故名“三门峡”。三门峡水势湍急,浊浪排空,惊涛拍岸,向有“三门天险”之说,拦河大坝就横亘在鬼门岛上游,穿越神门岛尖和左岸人门半岛上游。三门峡水利枢纽工程的大坝和水电站委托苏联专家设计,原设计主要指标为:将千年一遇洪峰(推算洪峰流量为 $37\,000\text{ m}^3/\text{s}$)削减至下游堤防安全泄量为 $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$,灌溉农田为 $6\,500$ 万亩,水电站安装发电机组 8 台,总装机容量为 116 万 kW,年发电量 60 亿 kWh,厂房为坝后式,调节下游河道水深常年不小于 1 m ,从邙山到入海口通航 500 t 拖轮,设计正常高水位为 360 m ,总库容为 647 亿 m^3 ,淹没耕地 325 万亩,移民 87 万人。

为了确保西安市安全和减少近期水库淹没损失,确定三门峡水利枢纽工程分期修筑、分期移民和分期抬高水位运用。按正常高水位 360 m 高程设计,第一期工程先按正常高水位 350 m 施工,运用水位 340 m 。大坝坝顶实际浇筑高程为 353 m ,相应库容为 354 亿 m^3 。 335 m 高程的库水位,相应库容为 96.4 亿 m^3 ,水库面积为 $1\,076\text{ km}^2$ 。

三门峡水利枢纽工程主要由大坝、泄流建筑物和电站组成,如图 1-3 所示。大坝为混凝土重力坝,主坝长 713.2 m ,最大坝高 106 m 。其中,左岸有非溢流坝段、溢流坝段、隔墩坝段、电站坝段,右岸非溢流坝段;右侧副坝为双绞心墙斜丁坝,在溢流坝段 280 m 高程设 12 个施工导流底孔,在 300 m 高程设 12 个深水孔,在 338 m 高程设有 2 个表面溢流孔。水电站为坝后式电站,设有 8 条压力发电钢管。

1.4 小浪底水库泥沙概况

黄河小浪底水利枢纽是一座以防洪、减淤为主,兼顾供水、灌溉、发电,除害兴利,综合

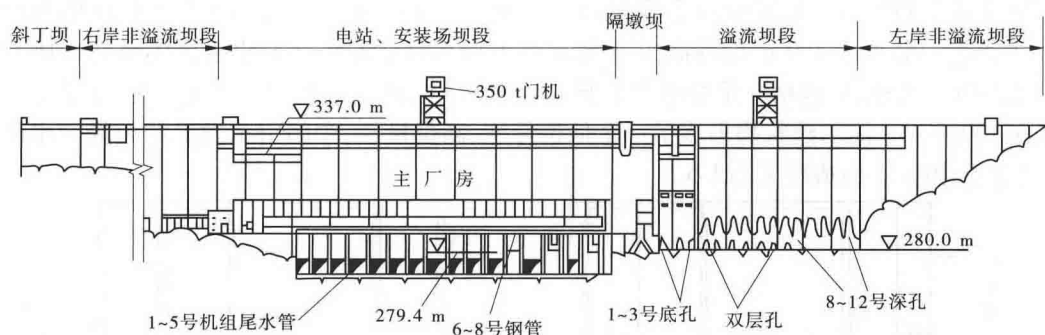


图 1-3 三门峡枢纽下游立视图

利用的枢纽工程,在黄河治理开发的总体布局中具有重要的战略地位。小浪底水库总体处于峡谷地带,库区基本为石山区,库区河谷上窄下宽,平面形态狭长弯曲,入汇支流较多,大支流与干流交接处多为开阔地带,如图 1-4 所示。上距三门峡水库 130 km,下距花园口 130 km,控制流域面积 69.4 万 km^2 ,占花园口以上流域面积的 95%,控制了黄河径流的 90% 和几乎全部的泥沙,处在控制进入黄河下游水沙的关键部位,在黄河水沙调控体系中具有重要作用。库区干流河段为峡谷型山区河流,正常情况下河道宽 400 ~ 800 m,其中距坝 26 km、长约 4 km 的八里胡同最为狭窄,河宽仅 200 ~ 300 m,受其影响,八里胡同上下游各 10 km 河段淤积较大。库区河道地形有收缩、扩展、弯道等变化。八里胡同以上库区比降为 1.14‰,八里胡同以下库区比降为 0.98‰。

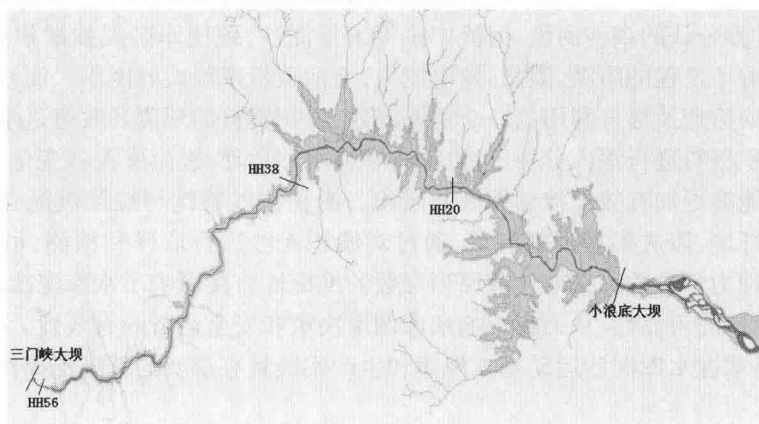


图 1-4 小浪底库区平面图

小浪底水库总库容 126.5 亿 m^3 ,包括拦沙库容 75.5 亿 m^3 、防洪库容 40.5 亿 m^3 、调水调沙库容 10.5 亿 m^3 ,可使黄河下游防洪标准由 60 年一遇提高到千年一遇;小浪底水库 2001 年投入防洪调度运用,采用蓄清排浑的运作方式,利用 75.5 亿 m^3 的调沙库容滞拦泥沙,可使下游河床 20 年不淤积抬高,坝址实测平均径流量 405.5 亿 m^3 ,输沙量 13.47 亿 t,平均含沙量 30 ~ 35 kg/m^3 。在水库最高蓄水位 275 m 时,回水到三门峡水库坝下,区间流域面积 5 730 km^2 。

小浪底水利枢纽工程泄水建筑物包括 3 条进口高程 175.0 m 的三级孔板泄洪洞,3

条进口高程 175.0 m 的排沙洞,3 条进口高程分别为 195.0 m、209.0 m、225.0 m 的明流洞,1 条进口高程 223.0 m 的灌溉压力洞,1 座进口高程 258.0 m 的正常溢洪道和 1 座非常溢洪道。另外,还包括 6 条发电引水洞,其中 1~4 号进口高程 195.0 m,5 号、6 号进口高程 190.0 m。泄水建筑物形成了一个低位排沙、高位排污、中间引水发电的布局。水库泄水建筑物正立面情况见图 1-5。

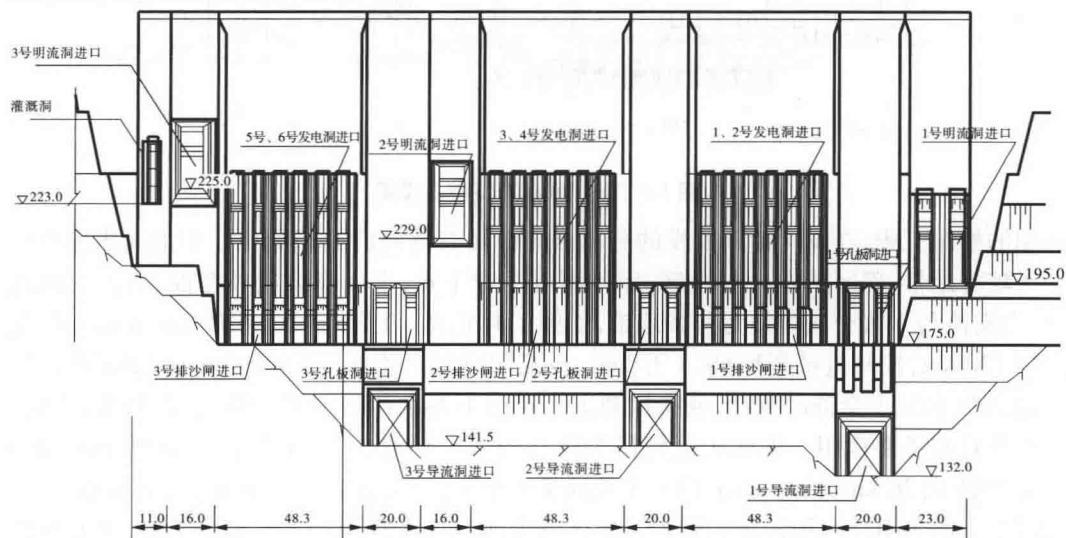


图 1-5 水库泄水建筑物正立面图

黄河是世界公认的多沙河流,河流中挟带大量泥沙,致使库区泥沙淤积严重,缩短了工程寿命,影响了工程的防洪、灌溉、发电能力,给治黄带来很大的困难。泥沙问题是河流发展演变、规划治理及综合利用的一个重要问题,淤积资料的观测和收集是水库淤积研究的基础,对淤积资料进行深入分析,可以深入掌握水沙运动、进出库泥沙变化、库内冲淤变化规律,进而能够更加有效地控制库区的淤积。淤积泥沙特性与粒径级配、淤积时间、埋置深度、堆放环境、渗透率等因素有关,通过对淤积泥沙进行取样和检测,可以获取其组成、密度等物理力学参数。获取这些原型参数的准确性直接影响了水库泥沙设计、计算和模型试验相似比的可靠性,从而将影响水库调度决策和安全运行的有效性。因此,水库原型水文资料对掌握水库泥沙运动基本规律和生产实践具有重要的基础支撑作用。

第2章 水库淤积泥沙取样技术

对于具有干作业测验时机的库区,可以通过取样或同位素方法获取淤积泥沙组成、密度等参数的垂线特征,三门峡、官厅等水库自20世纪60年代起开展过此类作业,但是取样范围和位置有所限制;对于常年蓄水的库区或者库段,水下原状淤积泥沙取样难度大,这方面资料极其匮乏。只有突破泥沙原型测验手段落后的技术瓶颈,才能获取准确详细的相关资料,满足科学研究的更高要求。目前泥沙测验工作主要是对河床表层约5 cm的沙样进行采样和处理,以获得泥沙颗粒级配组成情况。采样仪器多采用锚式采样器和丁字型采样器,个别情况也有直接用横式采样器在河床挖取水样的。这些采样器的主要问题在于:一是采样仪器为开放式的,采样过程对土体扰动大,采样后仪器在提出水面前受水流冲刷,一部分泥沙被涮掉,采样结果不是完整的原状沙样;二是目前采样仅限于表层淤积泥沙,采样深度太浅,加之泥沙淤积的复杂性,所取采样样品的代表性值得商榷;三是缺乏采取深层河床质的仪器,使河床的淤积演变分析存在困难。对此,正确测试淤积泥沙的天然特性,需要改善取样的设备和工艺及试验水平。

2.1 水下淤积物取样技术及设备

目前,黄河淤积泥沙除了常采用的锚式采样器等设备外,其深层取样技术研究尚未见诸于文献,其他领域用于获取水下淤积物的取样器主要有抓斗式、箱式、重力式和振动式等,阐述如下。

2.1.1 抓斗式取样器

抓斗式取样器主要用于较硬质底层沉积物取样,一般在码头或小船上使用,如图2-1所示。

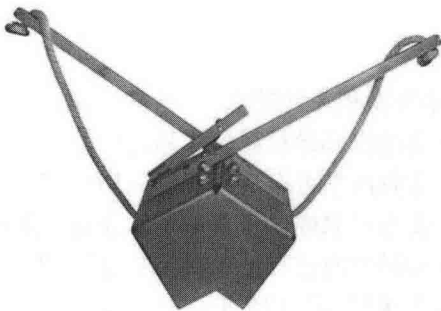


图2-1 抓斗式取样器

该取样器具有一个双向机械装置,能够防止取样器下降时意外关闭,底泥取样器对底面的冲击可触发负载弹簧释放机制。该取样器对于较软淤积泥沙,在从水中提出过程中泄漏厉害。

2.1.2 箱式取样器

箱式取样器以它的取样箱为四方体而得名,主要由底座、取样箱、铲刀、中心体、释放系统以及罗盘六部分组成。它主要依靠重力使取样箱贯入海底淤积泥沙中,然后借助绞车提升使铲刀臂转动 90° ,扣住取样箱的底部,采上底质样品,如图2-2所示。

电视抓斗取样器主要是通过铠装电缆把抓斗下放至海底,在甲板上可视的情况下,通过指令控制抓斗的开合,如图2-3所示。它是集多种设备于一体的深海底泥取样设备。主要由抓斗、铠装电缆和船上操控系统组成。抓斗上装有海底电视摄像头、光源及电源装置,通过铠装电缆将抓斗与船上操控板及显示器相连接,工作时,用绞车将抓斗下放到离海底5~10 m的高度上,以慢速航行并通过船上的显示器寻找取样目标,一旦找到目标立即下放抓斗,并通过操控板关闭抓斗,完成一次取样。

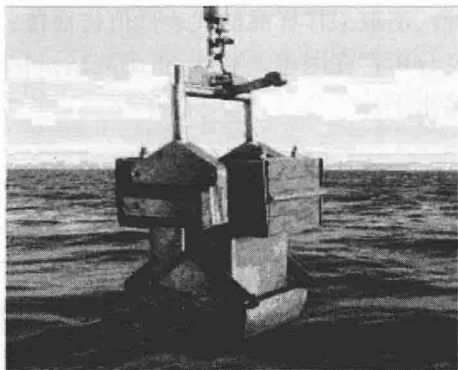


图2-2 箱式取样器效果图

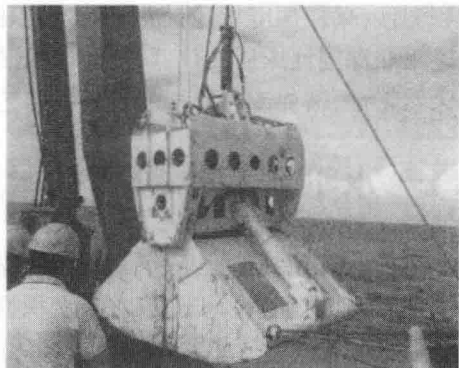


图2-3 电视抓斗取样器

但是,抓斗式取样器和箱式取样器在进行淤积泥沙取样时对样品扰动较大,且其取样成功率较低。

2.1.3 重力式取样器

重力式取样器可用于水底淤积泥沙的取样,其基本原理是取样器靠自身的重力作用贯入水底,得到近似贯入深度的水底淤积泥沙样品,贯入深度取决于底质的硬度和取样器的结构形状与配重,根据取样管内是否有活塞,又可以分为普通重力式取样器和重力式活塞取样器两种。相对而言,重力式取样器是获取深水条件下淤积泥沙的一种比较常用的方法,目前在海洋淤积泥沙取样方面已有运用,框架式活塞重力取样器如图2-4所示。

国外早在20世纪五六十年代,就开始进行重力式活塞取样器的理论研究和科学实验,如法国调查船上使用的Kullenberg取样器,该取样器的取样长度最大达60 m,适合深水取芯,但是该取样器的质量达到12 t,不适合在普通的小船上作业,极大地限制了其使用范围。浙江大学“十五”期间在“863”计划的支持下开发了深海淤积泥沙重力式保真取

样器,但该设备没有很好地解决样品扰动的问题,经过持续资助和不断改进,针对深海可燃冰,在保真保压取样技术和设备方面取得了大量研究成果。

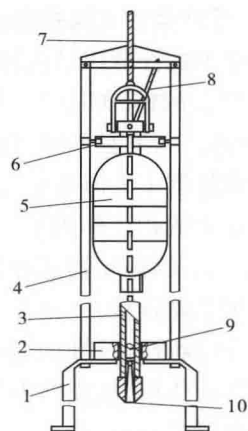
但是,这些针对海洋淤积泥沙的取样设备由于外形大、重量重、价格昂贵等因素,无法满足内陆河流深水水库淤积泥沙样品采集的要求。

2.1.4 振动式取样器

振动式取样器的特点是当取样管作纵向振动时,会使淤积泥沙对取样管的沉入阻力大大降低,而且振动频率愈高,阻力降低得愈显著。使用机械振动式取样器时,必须解决电机的密封和激振频率的确定问题。常用的振动式取样器有刚性支架式振动取样器和浮球柔性支架式振动取样器两种。

2.1.4.1 刚性支架式振动取样器

这种取样器靠振动器来实现取样管的贯入,用引绳将取样管内的活塞固定在导向管上,如图2-5所示。通过活塞可有效地保护样品。俄罗斯的 БИИТ-56 型振动式取样器在水深 500 m 的条件下,可贯入砂性淤积物 6 m。

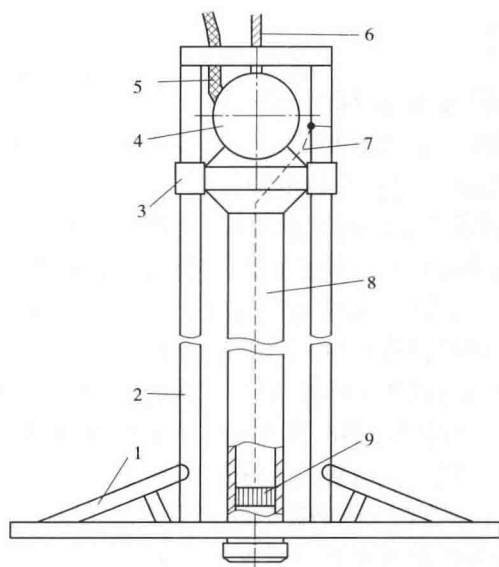


1—支撑腿;2—配重;3—取样管;

4—框架;5—配重;6—可移框架;

7—钢缆;8—活塞引绳;9—活塞;10—细卡子

图 2-4 框架式重力取样器



1—支架;2—导向管;3—滑座;4—振动器;5—电缆;

6—钢丝绳;7—活塞引绳;8—取样管;9—活塞

图 2-5 刚性支架式振动取样器

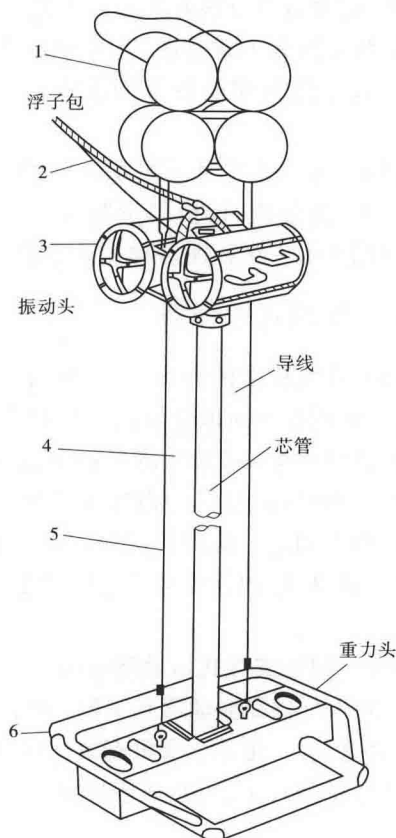
2.1.4.2 浮球柔性支架式振动取样器

该取样器的浮球组是由轻质高强度材料做成的空心球体,如图 2-6 所示。底盘的重量较大,浮球组与底盘间通过两根导向钢绳连成一体。取样器下入海水后,钢绳在底盘重力和浮球组浮力的相互作用下,在垂直方向始终处于绷紧状态,给振动器起导向作用。取芯管的上部与振动器连接,下部穿过底盘中心。由于浮球组、底盘重力及导向钢丝绳对振动器和取芯管的扶正作用,从而能不受海底地形的影响,保证较好地取到垂直方向的芯样。这种取样器的特定结构,使其在运输中可非常方便地解体成 4 大件,可在一个很小的空间内组(拆)装,甚至可在不平的月台或直升机上装拆,从而具有很好的携带性。加之其重量只相当于固定支架式振动取样器的 80%,故运输成本较低。加拿大 P-6 型浮球柔性支架式海底取样器在海水深度为 500 m 时,采用直径 102 mm 和 141 mm 的取样管,可分别采取 10 m 和 6 m 长的砂质芯样。

2.1.5 回转式取样器

回转式取样器包括回转器、钻探泵、动力机(一般为电机或水力机械)、监测和控制钻进过程的执行机构、辅助设施和铠装承载电缆,船上装有可升降钢丝绳或承载电缆的专用绞车。承载电缆不仅是从船上向水下送能源的载体,还是监测和控制钻进过程的信号通道。钻进所需的冲洗液可沿软管从船上供给,也可由水下钻探泵来提供。钻进过程的监控由船上控制台来实现,可监测取样器是否适应海底的地形,可以发出令回转器或其他辅助设备启动、反转和停止的命令,发出钻探泵启动或关闭的命令,可记录钻进过程中的机械转速、泵压、孔深和海底钻孔的倾角等参数,其工艺流程如图 2-7 所示。根据回转器的类型可以把取样器分成立轴式、转盘式和动力头式,最常用的是动力头式。提供轴向载荷的方式有液压式、链条式和螺旋差动给进式,一般采用硬质合金钻头或金刚石钻头来破碎海底岩石。

由上述可知,这些取样器有各自的使用条件和应用范围,不能直接用于黄河库区深层泥沙的取样,但其机械原理和工作原理可为取样器研制提供设计思路和借鉴。



1—浮球;2—钢绳和电缆;3—振动器;
4—取芯管;5—导向钢绳;6—底盘

图 2-6 浮球柔性支架式振动取样器