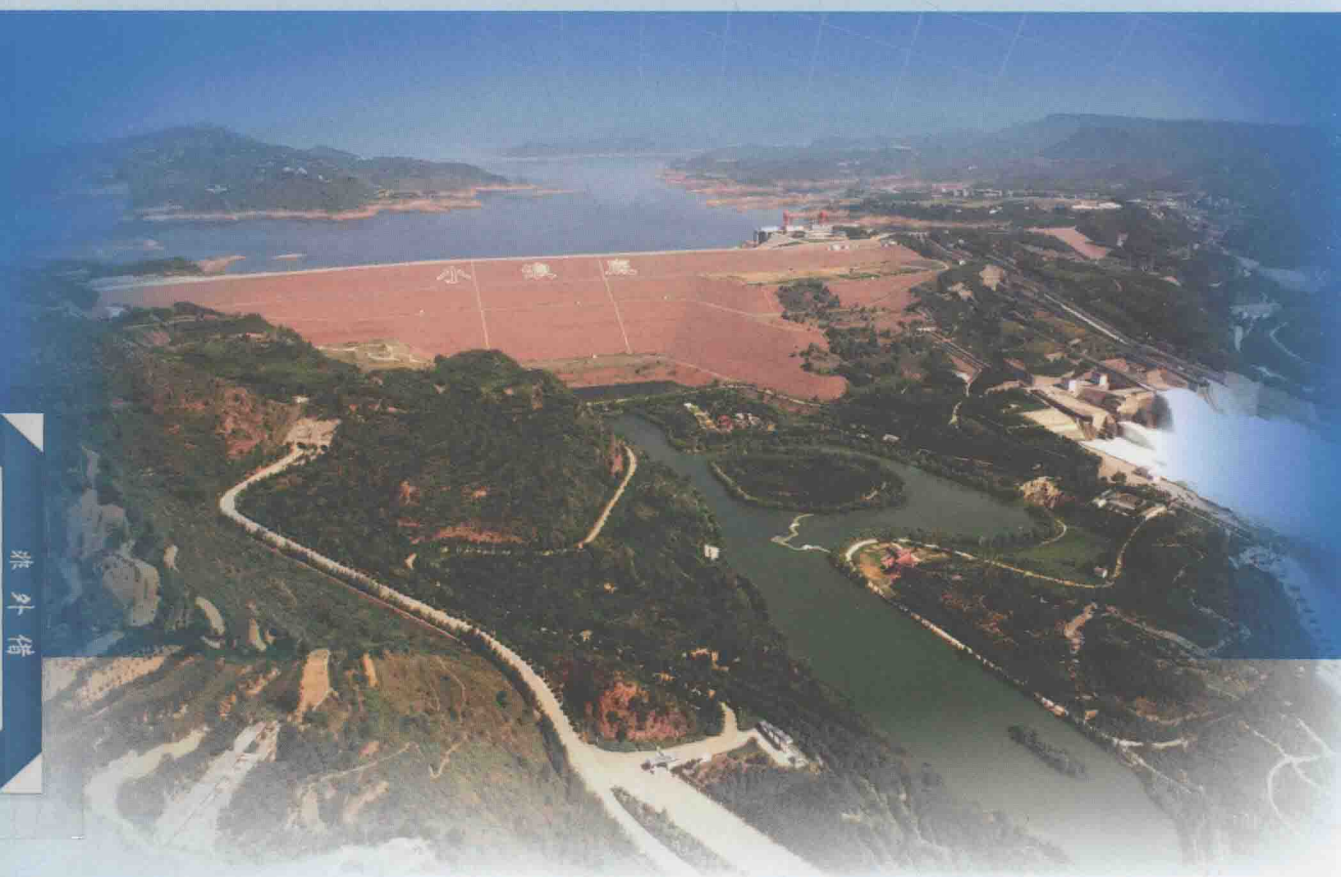


XIAOLANGDI SHUILI SHUNIU JINSHUITAQIAN NISHA CHONGYU YANJIU

小浪底水利枢纽

进水塔前泥沙冲淤研究

付 健 陈翠霞 罗秋实 梁艳洁 等 著



黄河水利出版社

淤冲

小浪底水利枢纽进水塔前 泥沙冲淤研究

付 健 陈翠霞 罗秋实 梁艳洁 等著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内容提要

本书在充分吸收以往研究成果的基础上,采用理论和实测资料分析、数学模型计算和实体模型试验等多种研究手段,系统分析了小浪底水库泥沙冲淤情势,总结了已建水库的泄水孔洞淤堵成因及防淤堵经验,研发了小浪底水库坝区立面二维水沙数学模型,构建了小浪底水库坝区正态动床浑水实体模型,研究了新水沙情势下底孔前允许淤沙高程值,提出了近期小浪底水库兼顾防淤堵与综合效益发挥的孔洞调度和淤堵应急处理方案。

本书可供广大水利工作者尤其是青年工作者及高等院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

小浪底水利枢纽进水塔前泥沙冲淤研究/付健等著. —郑州:
黄河水利出版社,2017.4

ISBN 978-7-5509-1739-2

I. ①小… II. ①付… III. ①黄河-水利枢纽-进水塔-泥沙冲淤-研究 IV. ①TV142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 090171 号

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:hhsclbs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:13.75

字数:318 千字

版次:2017 年 4 月第 1 版

印数:1—1 000

印次:2017 年 4 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

前 言

黄河小浪底水利枢纽地处黄河中游最后一个峡谷段的出口,上距三门峡水利枢纽 130 km,下距花园口水文站 128 km,控制流域面积 69.4 万 km^2 ,占黄河流域总面积(不包括内陆区)的 92.3%,控制了约 90% 的黄河径流和几乎全部的泥沙,是黄河干流的关键控制性骨干工程,在黄河治理开发中具有十分重要的战略地位。其开发任务为以防洪(包括防凌)、减淤为主,兼顾供水、灌溉、发电,除害兴利,综合利用。小浪底水利枢纽工程于 1997 年 10 月截流,1999 年 10 月下闸蓄水运用,目前水库运用处于拦沙后期第一阶段。

小浪底水利枢纽主要包括挡水建筑物、泄洪排沙设施、发电引水系统和灌溉供水系统等主要建筑物,共同运用完成工程的开发任务。为了满足工程开发任务需要,在小浪底水利枢纽共设置了 3 条孔板洞、3 条排沙洞、3 条明流洞、6 条发电洞和 1 条灌溉洞共 16 条洞,安排了 47 个不同高程的进水口控制进水。3 条孔板洞、3 条排沙洞共 24 个进水口的高程最低,底板高程均为 175 m,3 条明流洞进水口高程依次逐渐抬高,分别为 195 m、209 m、225 m,6 条发电洞 18 个进水口高程分别为 190 m(5 号、6 号)和 195 m(1~4 号)。所有进水口集中布置在“一”字形排列的 10 座进水塔群内,根据各隧洞不同要求设有工作、事故、检修闸门,控制各条泄水洞的进水“咽喉”,担负着完成枢纽任务和确保工程安全的重要使命。

黄河来水含沙量高,来沙量大,自 1999 年小浪底水利枢纽投入运用至 2014 年 4 月,库区共淤积泥沙 30.15 亿 m^3 ,三角洲顶点高程达 214.62 m,距坝里程 11.42 km,坝前 1.32 km 处淤沙高程由 137.50 m 抬高至 185.12 m,淤积抬升了 47.62 m,高于最低进水口底板高程 10.12 m。由于泥沙淤积影响,可能导致枢纽进水口淤堵、闸门启闭困难等问题出现。随着库区泥沙淤积发展,三角洲顶点进一步向坝前推进,淤积面不断淤积抬高,泄水建筑物进水口泥沙淤堵的风险也越来越大,从而影响工程效益发挥甚至影响枢纽工程安全运行。因此,开展小浪底水利枢纽进水塔前泥沙冲淤研究,制订合理的泄水孔洞运用方案,保证进水口前形成稳定的冲刷漏斗形态,对有效防止进水口淤堵、确保水库安全运行和充分发挥工程效益具有重要意义。

本书主要是作者在总结近几年研究成果的基础上完成的,共分为 9 章,主要内容及编写人员分工如下:第 1 章绪论,由安催花、付健执笔;第 2 章设计阶段泄水孔洞防淤堵措施,由付健、吴默溪执笔;第 3 章水库运用及泥沙淤积分析,由陈翠霞、罗秋实执笔;第 4 章已建其他水利枢纽泄水孔洞淤堵及坝前泥沙冲淤分析,由付健、罗秋实执笔;第 5 章模型构建与验证,由梁艳洁、孙东坡执笔;第 6 章底孔前允许淤沙高程值研究,由陈翠霞、郭选英执笔;第 7 章进水塔群前防淤堵及淤堵后冲刷效果研究,由付健、梁艳洁执笔;第 8 章进水塔泄水孔洞防淤堵及应急处理方案,由付健、张羽执笔;第 9 章主要结论,由安催花、陈翠霞执笔。全书由付健、陈翠霞、罗秋实、梁艳洁统稿。

本研究成果是许多同事共同努力完成的,参加研究的主要人员有安催花、付健、孙东

坡、刘继祥、陈翠霞、陈洪伟、梁艳洁、罗秋实、张羽、吴默溪、张厚军、郭选英、刘强中、谢慰、蔡勤学。在研究过程中,全体人员密切配合,相互支持,圆满完成了研究任务,在此对他们的辛勤劳动表示诚挚的感谢!研究成果得到中国水利水电科学研究院胡春宏院士、黄河水利委员会科技委主任陈效国教授、武汉大学韦直林教授、国际泥沙培训中心陈建国教授、郑州大学杨玲霞教授、黄河水利科学研究院曲少军教授和陈书奎教授、黄河勘测规划设计有限公司洪尚池教授和李世滢教授的指导,黄河勘测规划设计有限公司、小浪底水利枢纽管理中心、黄河水利水电开发总公司、华北水利水电大学等单位的领导和专家对书稿的编写、修改、完善提出了诸多宝贵意见和建议,另外还得到了刘树君、董泽亮、肖强、李珍、赵珂、万占伟、靖娟、张冉、江颖、鲁俊、韦诗涛、钱裕、钱胜、盖永岗、陈松伟、崔振华等诸多同仁的支持与帮助,在此表示衷心的感谢!向所有支持本书出版的单位及个人一并表示感谢!

限于作者水平,书中欠妥之处敬请读者批评指正。

作 者

2016 年 12 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目标和内容	2
1.3 研究技术路线	2
1.4 研究取得的主要成果	3
1.5 研究成果的创新性	4
1.6 推广应用情况	5
第2章 设计阶段泄水孔洞防淤堵措施	6
2.1 泄水建筑物布置	6
2.2 采用合理的泄水孔洞运用方式	9
2.3 其他防淤堵措施	10
第3章 水库运用及泥沙淤积分析	11
3.1 入出库水沙特性	11
3.2 水库坝前水位变化	21
3.3 泄水孔洞调度运行情况和效果	31
3.4 库区泥沙淤积特性	39
3.5 坝区泥沙淤积特性	53
3.6 淤积物变化特性	60
3.7 调水调沙水库排沙效果	62
第4章 已建其他水利枢纽泄水孔洞淤堵及坝前泥沙冲淤分析	65
4.1 三门峡水利枢纽	65
4.2 万家寨水利枢纽	68
4.3 龙口水利枢纽	75
4.4 天桥水利枢纽	80
4.5 王瑶水利枢纽	84
4.6 青铜峡水利枢纽	90
4.7 刘家峡水利枢纽	95
4.8 小 结	100
第5章 模型构建与验证	102
5.1 坝区立面二维水沙数学模型构建与验证	102
5.2 坝区动床浑水实体模型制作与验证	111
5.3 小 结	132

第 6 章 底孔前允许淤沙高程值研究	133
6.1 研究方案	133
6.2 设计水沙条件	133
6.3 河床边界条件	134
6.4 泄水孔洞调度方案	134
6.5 数学模型计算结果	134
6.6 实体模型试验结果	139
6.7 底孔前允许淤沙高程值结果	150
6.8 小 结	151
第 7 章 进水塔群前防淤堵及淤堵后冲刷效果研究	152
7.1 不同调度方案条件下底孔防淤堵研究	152
7.2 底孔淤堵后冲刷研究	192
第 8 章 进水塔泄水孔洞防淤堵及应急处理方案	209
8.1 水文泥沙信息获取与监测	209
8.2 闸门调度	210
8.3 应急处理	210
第 9 章 主要结论	211
参考文献	213

第1章 绪论

1.1 研究背景

黄河小浪底水利枢纽地处黄河中游最后一个峡谷段的出口,上距三门峡水利枢纽 130 km,下距花园口水文站 128 km,控制流域面积 69.4 万 km^2 ,占黄河流域总面积(不包括内陆区)的 92.3%,控制了约 90% 的黄河径流和几乎全部的泥沙,开发任务是以防洪(包括防凌)、减淤为主,兼顾供水、灌溉、发电,除害兴利,综合利用,是黄河干流的关键控制性骨干工程,在黄河治理开发中具有十分重要的战略地位。工程于 1997 年 10 月截流,1999 年 10 月下闸蓄水运用。水库设计正常蓄水位 275 m,千年一遇设计洪水位 274 m,万年一遇校核洪水位 275 m,总库容 126.5 亿 m^3 。水电站装机 6 台,总容量 1 800 MW。

小浪底水利枢纽主要包括挡水建筑物、泄洪排沙设施、发电引水系统和灌溉供水系统等建筑物,共同运用完成工程开发任务。为了满足工程开发任务需要,在小浪底水利枢纽共设置了 3 条孔板洞、3 条排沙洞、3 条明流洞、6 条发电洞和 1 条灌溉洞共 16 条洞,安排了 47 个不同高程的进水口控制进水。3 条孔板洞、3 条排沙洞进水口高程最低,24 个进水口底坎高程都是 175 m,3 条明流洞进水口高程依次逐渐抬高,分别为 195 m、209 m、225 m,6 条发电洞 18 个进水口高程分别为 190 m(5 号、6 号)和 195 m(1~4 号)。所有进水口集中布置在“一”字形排列的 10 座进水塔群内,根据各隧洞不同要求设有工作、事故、检修闸门,控制各条泄水洞的进水“咽喉”,担负着完成枢纽任务和确保工程安全的重要使命。

根据《小浪底水利枢纽拦沙初期运用调度规程》和《小浪底水利枢纽拦沙后期(第一阶段)运用调度规程》,小浪底水利枢纽运用分为三个时期,即拦沙初期、拦沙后期和正常运用期。拦沙初期是指水库泥沙淤积量达到 21 亿~22 亿 m^3 以前;拦沙后期是指拦沙初期之后至库区形成高滩深槽,转入正常运用期止,相应坝前滩面高程达 254 m,其中水库泥沙淤积总量达到 42 亿 m^3 以前为拦沙后期第一阶段;正常运用期在长期保持 254 m 高程以上 40.5 亿 m^3 防洪库容的前提下,利用 254 m 高程以下 10 亿 m^3 的槽库容长期进行调水调沙运用。

截至 2014 年 4 月,小浪底水库库区淤积泥沙 30.15 亿 m^3 ,占水库设计拦沙库容的 40% 左右,其中干流淤积 24.31 亿 m^3 ,占总淤积量的 80.6%,支流淤积 5.84 亿 m^3 ,占总淤积量的 19.4%,水库运用处于拦沙后期第一阶段。

小浪底水利枢纽拦沙后期运用调度的目标为按设计确定的条件、指标及有关运用原则,考虑近期和长远利益,合理利用淤沙库容,塑造合理的库区泥沙淤积形态,保持长期有效库容,正确处理各项开发任务的需求,充分发挥枢纽以防洪减淤为主的综合利用效益。根据小浪底水库开发目标以及近期入库水沙特点,其拦沙后期的运用方式为:汛期采取防洪、拦沙和调水调沙的运用方式,非汛期按照防断流、灌溉、供水、发电要求进行调节,即

“多年调节泥沙,相机降低水位冲刷,拦沙和调水调沙运用”的防洪减淤运用方式。

黄河来水含沙量高,来沙量大。至2014年4月,库区三角洲顶点高程达214.62 m,距坝里程11.42 km,坝前1.32 km处淤沙高程由137.50 m抬高至185.12 m,淤积抬升了47.62 m,高于最低进水口底板高程10.12 m;进水塔前60 m处淤沙高程为178.89 m(2014年5月),高于最低进水口底板高程3.89 m。由于泥沙淤积影响,可能导致枢纽进水口淤堵、闸门启闭困难等问题出现。如2013年7月12日以后水库入库沙量较大,至7月底入库含沙量中有9天超过了 50 kg/m^3 ,其中7月19日入库含沙量高达 163.6 kg/m^3 ,该时段约1.88亿t泥沙淤积在库区,进水塔前60 m处淤积河底高程由5月份实测的177.49 m抬升到8月初的179.54 m,抬升幅度达2 m以上,大量泥沙在坝前淤积;靠近风雨沟里侧的3号排沙洞工作闸门关闭后,由于闸门前有淤沙,3号排沙洞B事故闸门落闸时受泥沙淤积顶托,造成门机提门钢缆脱槽发生缠绕。

随着小浪底水库库区泥沙淤积发展,三角洲顶点进一步向坝前推进,淤积面不断淤积抬高,泄水建筑物进水口泥沙淤堵的风险也越来越大,影响工程效益发挥甚至影响枢纽工程安全运行。开展小浪底水利枢纽进水塔前泥沙冲淤研究,制订合理的泄水孔洞运用方案,保证进水口前形成稳定的冲刷漏斗形态,对有效防止进水口淤堵、确保水库安全运行和充分发挥工程效益具有重要意义。

1.2 研究目标和内容

采用理论与实测资料分析、数学模型计算和实体模型试验相结合的手段,研究小浪底水利枢纽进水塔前泥沙冲淤,提出小浪底水利枢纽进水塔群前防淤堵方案和淤堵后的应急处理方案。

通过现场调研和实测资料分析,总结设计阶段小浪底水利枢纽泄水孔洞防淤堵措施,系统、深入地分析小浪底水库运用及泥沙淤积,系统分析已建水利枢纽泄水孔洞淤堵的主要影响因素和防淤堵措施,构建坝区立面二维水沙数学模型和动床浑水实体模型,提出不同的设计水沙条件和河床边界条件,开展底孔前允许淤沙高程研究、进水塔群前防淤堵及淤堵后冲刷效果研究,最终提出进水塔泄水孔洞防淤堵方案和淤堵应急处理方案。

1.3 研究技术路线

基于理论探讨、实测资料分析、数学模型计算和实体模型试验等手段,开展小浪底水利枢纽进水塔前泥沙冲淤和防淤堵措施研究,分调研与资料收集、理论与实测资料分析、模型计算与试验、成果提出四个研究阶段。

调研与资料收集阶段,调研了小浪底、三门峡、万家寨、龙口、天桥、王瑶、青铜峡、刘家峡水库等多个水库,收集了水库运用、泥沙淤积及泄水孔洞淤堵资料;理论与实测资料分析阶段,研究了小浪底水库运用及泥沙淤积,分析了已建其他水库泄水孔洞淤堵情况及坝前泥沙淤积特性,总结分析了水利枢纽泄水孔洞淤堵的主要影响因素和防淤堵措施;模型计算与试验阶段,构建了坝区立面二维水沙数学模型和动床浑水实体模型,提出了设计水沙条件和河床边界条件,研究了底孔前允许淤沙高程、进水塔群前防淤堵及淤堵后冲刷效

果;成果提出阶段,提出进水塔泄水孔洞防淤堵方案和孔洞淤堵后的应急处理方案。
研究技术路线见图 1.3-1。

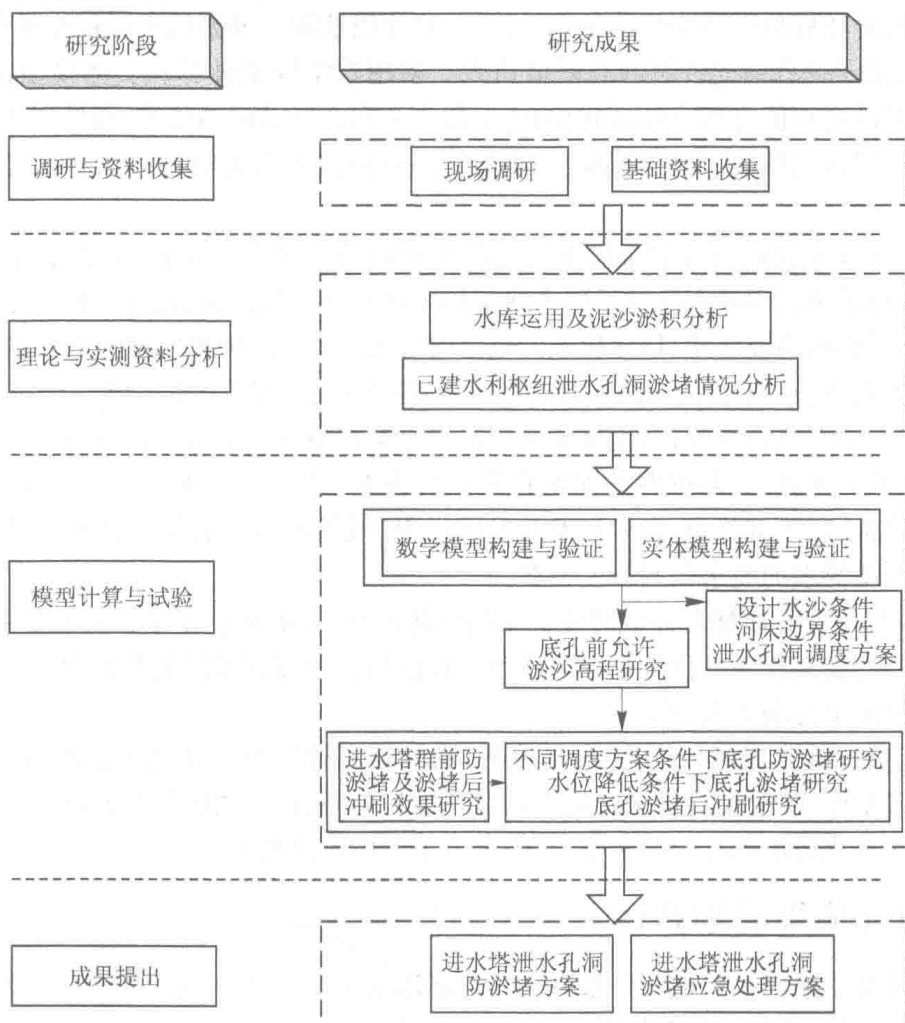


图 1.3-1 研究技术路线

1.4 研究取得的主要成果

通过研究,采用理论与实测资料分析、数学模型计算和实体模型试验相结合的手段,取得了以下主要研究成果。

(1)根据小浪底水利枢纽投入运用以来的实测资料,系统分析了水库入出库水沙、坝前水位、库坝区冲淤、排沙效果和孔洞调度等实测资料,结合对三门峡、万家寨、龙口、天桥、王瑶、青铜峡、刘家峡等水库的坝区淤积分析,揭示了小浪底水库坝区纵剖面、横断面边坡比降具有“越靠近坝前越大”和“随着水库淤积发展逐渐增大”的变化特征。

(2)根据小浪底、三门峡、万家寨、龙口、天桥、王瑶、青铜峡、刘家峡水利枢纽实际运用经验,系统总结了水利枢纽泄水孔洞的淤堵教训和防淤堵经验,分析提出了造成孔洞淤堵的主要影响因素,总结提出了防淤堵措施及淤堵后的应急处理措施,对小浪底水利枢纽泄水孔洞防淤堵具有重要的借鉴意义。

(3) 构建了坝区立面二维水沙数学模型和动床浑水实体模型,模型模拟范围为小浪底水库坝区 4.5 km 范围,上起大峪河口,下至小浪底大坝。经实测资料验证,数学模型和实体模型均可较好地模拟坝区水沙运动,满足进水塔前泥沙冲淤的模拟精度要求。

(4) 开展了底孔前允许淤沙高程值研究。采用数学模型计算和实体模型试验,通过不同允许淤沙高程值方案比较,同时结合工程安全和金属结构的要求,复核了进水塔泄水孔洞前允许淤沙高程值。经研究复核,小浪底水利枢纽泄水建筑物底孔前允许淤沙高程值采用 187 m。

(5) 开展了不同调度方案条件下底孔防淤堵研究。采用数学模型,开展了不同水沙条件、河床边界条件和泄水孔洞运用方案条件下底孔防淤堵研究,通过不同方案坝区冲淤发展、塔前淤积面高程变化、排沙比及发电量等方面的比较,在满足近期进水塔群前防淤堵要求的前提下,提出了底孔防淤堵泄水孔洞调度方案,即“出库流量小于发电洞泄量时,可优先启用发电洞泄流;当出库流量超过发电洞泄量时,超出部分应尽量通过排沙洞、明流洞、孔板洞泄流”。对推荐的泄水孔洞调度方案,开展了实体模型试验,研究了进水塔前水流结构、含沙量分布、淤积形态及发展过程,最终提出了满足小浪底水利枢纽进水塔群前防淤堵要求的泄水孔洞调度方案。

(6) 开展了底孔淤堵后冲刷研究。采用实体模型,开展底孔淤堵后冲刷试验,研究提出了进水塔群前淤积面高程超过允许淤沙高程值后,可开启明流洞、孔板洞和排沙洞恢复正常泄流的泄水孔洞调度方案。

(7) 综合已建水库调研、实测资料分析、数学模型计算和实体模型试验等研究成果,结合小浪底水库实际情况,从水文泥沙信息获取与监测、闸门调度等方面拟订了近期小浪底水利枢纽进水塔泄水孔洞防淤堵方案,提出了淤堵应急处理方案。

1.5 研究成果的创新性

紧密围绕小浪底水利枢纽进水塔群前防淤堵的关键技术问题深入研究,取得了多项创新性研究成果,主要创新点如下:

(1) 系统分析了小浪底水库泥沙冲淤情势,揭示了孔洞调度对坝区淤积形态的作用机制,深化了对水库坝区泥沙冲淤规律的认识。

(2) 系统总结了三门峡等水库的泄水孔洞淤堵成因及防淤堵经验,提出了闸门关闭时间过长和杂物清理不及时是导致淤堵的主要因素,对枢纽防淤堵具有重要借鉴意义。

(3) 建立了小浪底水库坝区立面二维水沙数学模型,提出了明流、异重流不同输沙流态条件下的模型边界处理模式,解决了深水水库坝区水沙运动模拟的难题。构建了小浪底水库坝区正态动床浑水实体模型,解决了极细颗粒泥沙沉降与起动相似的模拟技术难题;研发了流速、含沙量、水下地形一体化实时采集系统,实现了对动床模型流场及河床变形的全过程实时监测。

(4) 深入研究了不同水沙条件下塔前达到不同淤积面高程时开启孔洞后的坝区淤积形态、孔洞泄流状态等,综合考虑金属结构安全运行,提出了新水沙情势下底孔前允许淤沙高程值。

(5) 提出了近期小浪底水库兼顾防淤堵与综合效益发挥的孔洞调度和淤堵应急处理

方案,为小浪底水利枢纽进水塔群前防淤堵调度提供了重要的技术支撑。

1.6 推广应用情况

本研究紧密结合生产实践开展,研究成果为小浪底水利枢纽进水塔群前防淤堵调度提供了重要的技术支撑。研究提出的新水沙情势下进水塔群前允许淤沙高程值、近期防淤堵调度方案等成果已成功应用于近两年水库实际调度中,成功避免了水库泄水孔洞淤堵,产生了显著的社会、经济效益。研究成果对其他多沙河流水库防淤堵具有指导作用,推广应用前景广阔。

第2章 设计阶段泄水孔洞防淤堵措施

2.1 泄水建筑物布置

在多泥沙河流上建设水利枢纽,对泄水建筑物的进水口,不论是开敞式、浅孔式进水孔,还是深孔式进水口,都应认真处理好进水口防沙问题,处理不当将会给工程带来危害。小浪底水利枢纽几乎控制了黄河全部的泥沙,枢纽建成后,大量泥沙在库区淤积,进水口泥沙问题显得更加严重。泄水建筑物进水口的布置,要有利于枢纽泥沙淤堵进水口问题的解决。

2.1.1 泄水建筑物进水口集中分层布置

进水口布置一般有两种方式:一是发电洞进水口与排沙洞进水口采用集中布置方式,而泄洪洞进水口与灌溉洞进水口因地制宜地分散布置;二是泄洪洞、排沙洞、发电洞、灌溉洞进水口全部集中布置。前一种布置方式的优点是选择进水口位置的自由度较大,主要缺点是分散布置的泄洪洞、灌溉洞进水口必须都有各自的防淤堵措施,否则进水口及前面的引水渠容易被泥沙淤堵,很难维持水道通畅。后一种布置方式的优点很明确,它克服了前者的缺点,只要各进水口在平面和立面安排合理并协调各进水口的运用程序,合理调度,就可以保证塔前不断流,进水口水道畅通不淤堵。因此,小浪底水利枢纽采用进水口集中布置方式。

根据坝址地形地质条件,小浪底水利枢纽进水塔布置在大坝上游左岸与黄河几乎正交的风雨沟内。为了满足工程开发任务需要,进水塔共设置3条孔板洞、3条排沙洞、3条明流洞、6条发电洞和1条灌溉洞共16条洞,安排了47个不同高程的进水口控制进水。进水塔群平面布置图和正面立视图见图2.1.1-1和图2.1.1-2。

3条排沙洞,除排沙外还担负着排出从6条发电洞进水口拦污栅拦下来的污物的任务,因此将3条排沙洞与6条发电洞的进水口平均分为3组,分别置于3座发电塔内。每座发电塔上层为2条发电洞进水口、6扇拦污栅和2扇事故检修门,发电洞进水口高程为190 m(5号、6号,为满足初期提前发电需要)或195 m(1~4号);下层为1个排沙洞进水口、6扇检修门和2扇事故门,排沙洞进水口高程均为175 m,进水口高程最低。塔宽(垂直流向)为48.3 m,塔下部长为60 m。

3条孔板消能泄洪洞,进水口高程为175 m,分别设在3座孔板塔内,每座塔设置2扇事故门及2扇检修门。塔宽(垂直流向)为20 m,塔下部长为60 m。

3条明流泄洪洞,进水口设置在3座进水塔内,进水口高程依次逐渐抬高,分别为195 m、209 m、225 m,满足泄流能力和排漂要求。1号明流洞进水塔内设1扇工作门、2扇事故门及2扇检修门,塔宽(垂直流向)为20 m,塔下部长为70 m。2号和3号明流洞进水塔内各设1扇工作门、1扇事故门及1扇检修门,塔宽(垂直流向)为16 m,塔下部长分

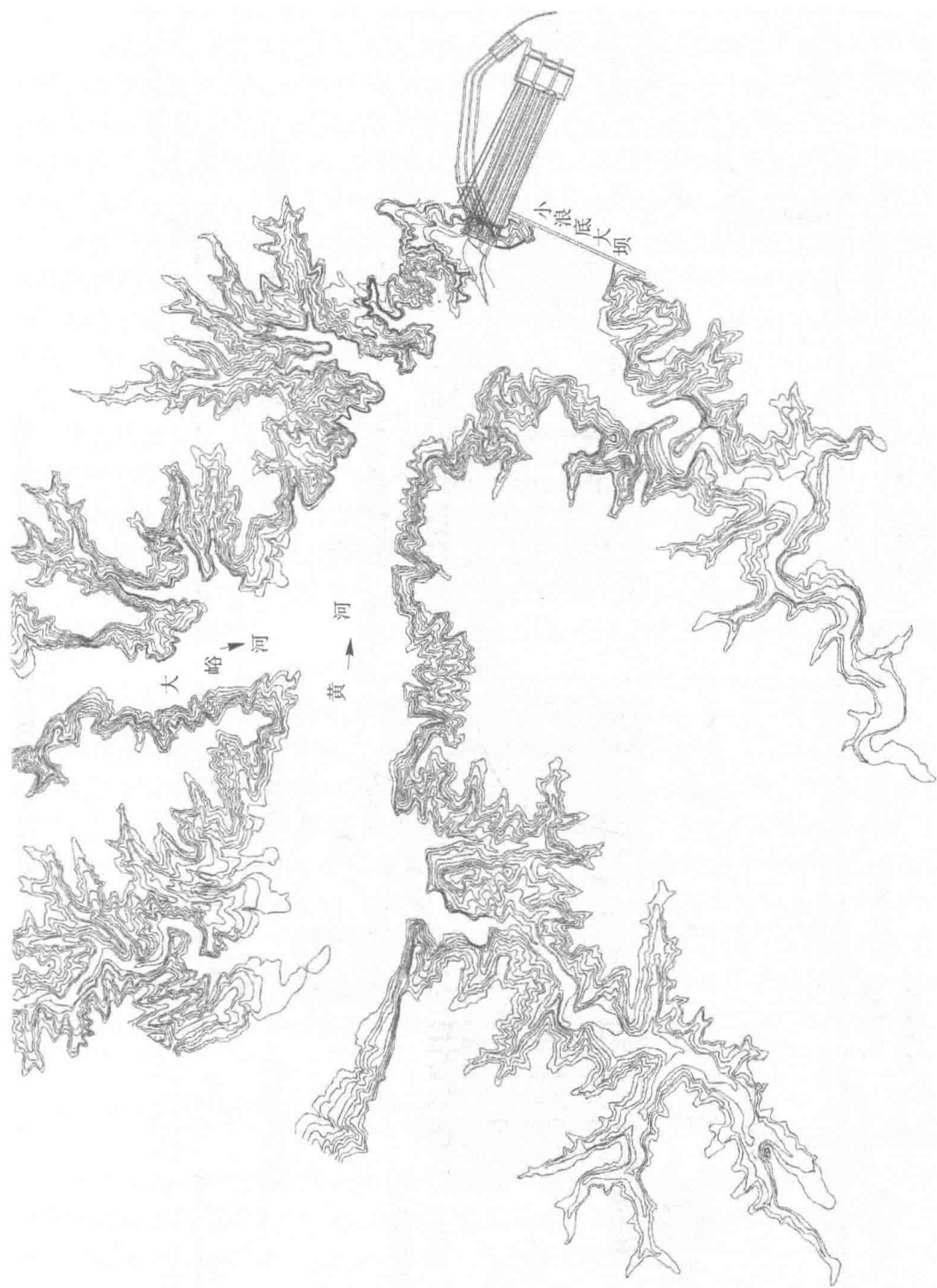


图2.1.1-1 小浪底水利枢纽进水塔群平面布置图

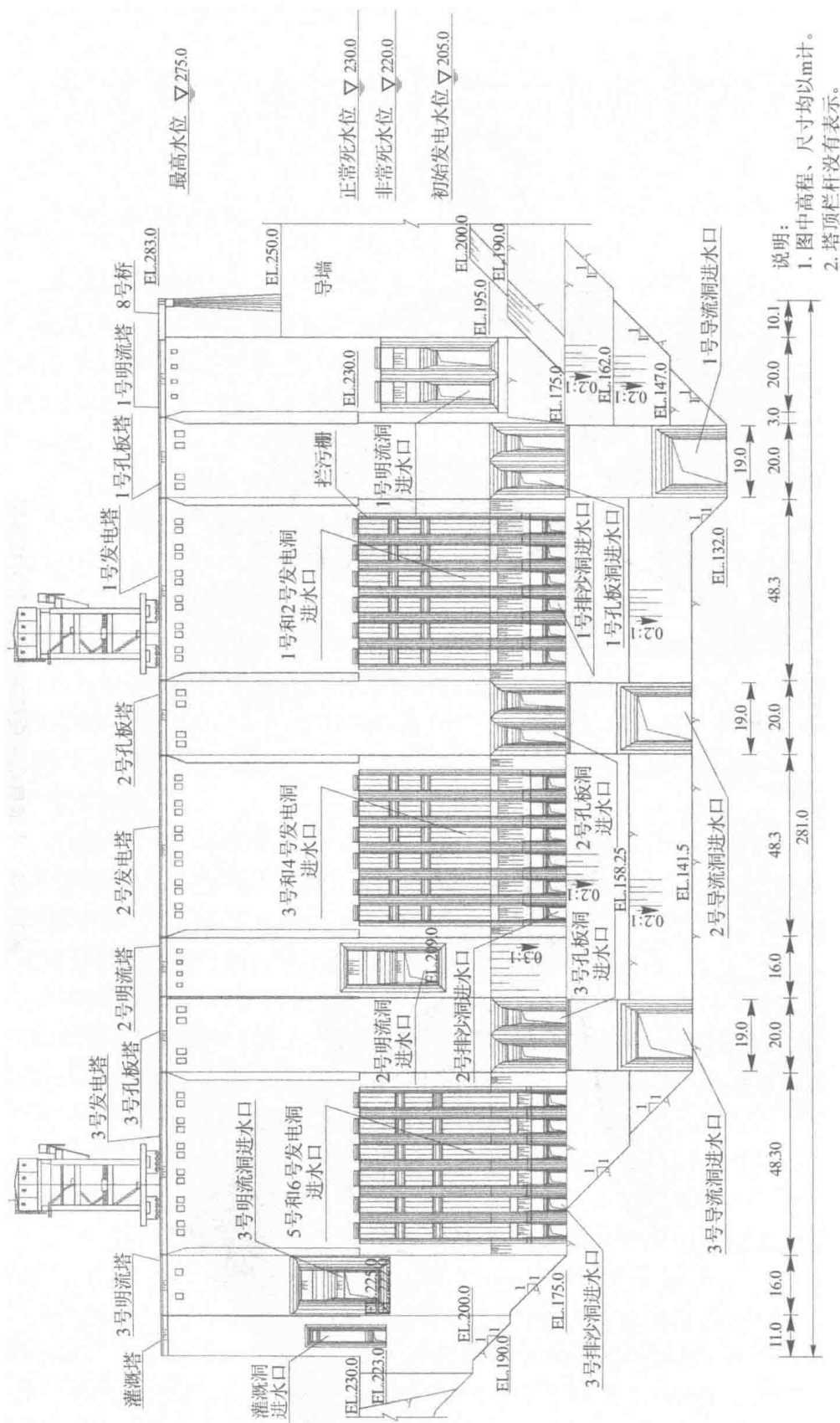


图 2.1.1-2 小浪底水利枢纽进水塔群正面立视图

别为 54 m 和 52.8 m。

灌溉洞进口设单独的进水塔,进水口高程为 223 m,满足引水流量要求。灌溉进水塔内设事故检修门和拦污栅。塔宽(垂直流向)为 15.5 m,塔下部长为 56.8 m。

10 座进水塔总宽度为 275.4 m,为“一”字形排列,较好地满足了进水口防沙要求。从进水塔群正面立视图来看,16 条泄水孔洞的进水口大致分为 3 层,下层为排沙洞和孔板泄洪洞的进水口,上层为明流泄洪洞的进水口,中层为发电引水洞的进水口,即下层有排沙排污口,上层有排漂口,中层取水发电,各个进水口相互保护,为发电引水口防沙防污创造了较好的条件。下层 3 条排沙洞的进水口分布在塔群内 16 条进水洞的合适位置,而且每条排沙洞可调控下泄流量,为进水口“门前清”创造了良好的条件,当来沙量过大或塔前淤沙高程超过警戒线时,还可以开启另外泄量较大的孔板泄洪洞进行冲沙。当塔前冲刷漏斗边坡因地震或库水位降落过程中突然坍塌堵塞进水口时,可自上而下相继开启各层进水口逐步冲刷淤堵的泥沙,恢复正常运用。

2.1.2 进水塔群右端设置导流墙

进水塔群右端设置导流墙,导流墙高程为 250 m。当库水位在 245 m 及其以下,塔群侧向进水泄流时,导流墙可引导水流,使上游来水至坝前顺畅地进入风雨沟并形成单一的逆时针向回流,塔前进水口处流态平稳,漂浮物也可行至塔前并排放到下游;当库水位超过 245 m 时,塔前变为正向进流。

导流墙的设置使进水塔群前能形成并长期保持相对稳定的冲刷漏斗,实现进水口防沙。导流墙是解决小浪底水利枢纽工程进水口泥沙问题和调节进水口流态的关键性建筑物。

导流墙墙体结构根据地形地质条件自左向右分为四段。第一段长 58.70 m,为岩石陡坡和坡顶平台(高程 230 m)上半重力式混凝土墙的组合结构,合计最大高度 50 m,坡度由垂直变为 1:0.35,陡坡岩体采用预应力锚索等喷锚措施;第二段扭曲渐变段长 69.20 m,为重力式混凝土结构,坡比由 1:0.35 渐变至 1:1.50,背面直坡处回填石渣;第三段长 104.63 m,在 200 m 高程以下为混凝土基座,以上为六边体混凝土预制块护面的堆石体,迎水面坡比为 1:1.50,最大高度为 80 m 左右;第四段为岩坡及坡顶小型混凝土挡墙,岩坡按裹头要求进行整治,坡比为 1:1.50,采用喷锚措施保护,合计最大高度 50 m。混凝土基座和半重力式混凝土墙分别按重力坝和挡土墙要求设计,堆石体按土石坝考虑稳定,前者有关部位布置有排水设施,后者内部设多层排水层、钢筋网,顶部设反滤与加筋土工布防护层。

2.2 采用合理的泄水孔洞运用方式

在小浪底水利枢纽工程设计阶段,南京水利科学研究院、黄河水利科学研究院和中国水利水电科学研究院进行了小浪底水利枢纽进水口泥沙问题动床模型试验研究,研究范围为坝区 4 km 长的河段,上起大峪河口,下至小浪底坝址。

各单位模型试验研究得到,进水塔前泥沙淤积高程的变化取决于泄水孔洞的运用情况。为防止进水塔前淤堵,应采取合理的泄水孔洞运用方式:

(1) 不同水沙条件下应轮流开启底孔排沙,使进水塔前形成低平淤积面或呈锯齿状

起伏淤积面,防止长时间关闭底孔而使底孔前淤积面普遍升高,尤其是要杜绝淤积物固结严重的情况。

(2)在调度运用中,要利用埋设的监测仪器监测底孔前泥沙淤积,控制底孔前淤沙高程在临界淤积面高程以下,同时应合理调度各泄水建筑物。当泄流流量在 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下时,发电洞过流量为 $400 \text{ m}^3/\text{s}$,排沙洞不开启或分流小于 $200 \text{ m}^3/\text{s}$;当泄流流量在 $600 \sim 2\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,发电洞过流 70%,排沙洞分流 30%;当泄流流量大于 $2\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,发电洞过流 $1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,剩余由排沙洞泄流,流量更大时则开启明流洞、孔板洞泄流。

(3)在进水塔群为侧向进水的条件下,拟定各泄水孔洞按照“先左后右,先低后高”的顺序开启泄流,此与进水塔群前形成的逆时针向大回流的水流流态匹配,有利于泄水孔洞防淤堵和电站防沙。在进水塔群前为正向进水时,泄水孔洞开启泄流顺序可不变,但须加强监测,以防不利淤积形态发生。

2.3 其他防淤堵措施

小浪底水利枢纽工程设计阶段,除上述防淤堵措施外,还要求采取以下措施:

(1)设立泥沙自动监测报警装置。当淤积面达到设计规定的高度时,可及时开门冲沙。

(2)在闸门附近闸墩或胸墙内设高压水冲沙系统,如闸门前淤积超过临界值,及时启门排沙,必要时利用高压水冲动淤沙。

(3)泄水孔口的闸门采用前止水,防止在闭门期间泥沙进入门槽。