

HUANGHE LONGKOU SHUILI SHUNIU GONGCHENG
JISHU YANJIU

杜雷功 余伦创 著

黄河龙口水利枢纽工程 技术研究



黄河水利出版社

黄河龙口水利枢纽工程 技术研究

杜雷功 余伦创 著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书系统全面地介绍了黄河龙口水利枢纽工程有关勘测设计及工程技术经验成果,全书分两大部分内容,第一部分为工程勘测设计,主要包括工程设计基本情况、水文及工程规划、工程地质、工程布置及建筑物、水力机械与电气、金属结构、主要设计变更及设计优化等勘测设计成果;第二部分为工程技术论文,内容涵盖本工程有关工程规划、工程地质、工程布置及建筑物、建筑与消防、机电设备与金属结构、施工组织与概算以及有关科研试验等相关专业技术成果。

本书以黄河龙口水利枢纽工程为实例进行勘测设计成果与经验总结,内容全面,专业性和实用性强,可供水利水电工程勘察、设计、施工、科研等部门技术人员和管理人员使用,同时也可供水利水电院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

黄河龙口水利枢纽工程技术研究/杜雷功,余伦创著.
郑州:黄河水利出版社,2011.12
ISBN 978-7-5509-0171-1

I. ①黄… II. ①杜… ②余… III. ①黄河-水利
枢纽-工程技术-研究-忻州市 IV. ①TV632.253

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 263073 号

组稿编辑:简群 电话:0371-66026749 E-mail: w_jq001@163.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: hhsclbs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:29.75

字数:724千字

印数:1—1 000

版次:2011年12月第1版

印次:2011年12月第1次印刷

定价:88.00元

序

黄河是中国的“母亲河”，它从青海省巴颜喀拉山脉北麓的卡日曲奔腾向东，呈“几”字形蜿蜒穿越中国北方9省区，最后流入渤海。黄河流域上中游水能资源蕴藏丰富，根据黄河流域水能资源规划，全河干流规划建设数十级水电站。在九曲黄河中游北干流“几”字形拐弯的南流段，巍然耸立着黄河龙口水利枢纽。

作为历次黄河治理开发规划中确定的梯级工程之一，开发建设龙口工程符合历次黄河流域规划的要求。龙口水利枢纽位于黄河北干流托克托—龙口段尾部、山西省和内蒙古自治区的交界地带，坝址距上游已建的万家寨水利枢纽25.6 km，距下游已建的天桥水电站约70 km。龙口水库总库容1.96亿 m^3 ，工程规模为大(II)型，电站总装机容量为420 MW。开发建设龙口工程可充分利用黄河北干流丰富的水能资源，为晋蒙电网提供清洁、可靠的调峰容量和电量，从而改善电网电源结构，增强调峰能力，优化运行条件；能够对万家寨水电站发电流量进行反调节，确保黄河龙口—天桥区间不断流，兼有滞洪削峰等综合作用；能够促进地区经济发展，有利于西部大开发战略的实施；水库建成后可改善周边环境。因此，龙口工程是功在当代、惠泽千秋的重要水利工程。

继万家寨水利枢纽之后滚动开发龙口工程，可充分利用万家寨水利枢纽已有的资源优势，实现缩短工期、节省投资的目标，具有显著的经济效益和社会效益。龙口水利枢纽工程是水利部与山西省、内蒙古自治区政府继成功建设运营万家寨水利枢纽之后又一团结治水、共同兴建的重大工程，是三方鼎力合作的又一成功典范。

龙口工程前期勘测设计工作始于20世纪50年代，中水北方勘测设计研究有限责任公司(原水利部天津水利水电勘测设计研究院)自20世纪80年代开始开展了大量地质勘察工作。龙口工程凝聚着几代水利水电科技工作者的心血，也寄托着他们的美好愿望与梦想。龙口工程的前期工作时间跨度长，研究范围广，前期积累的大量翔实基础资料为龙口工程的顺利实施打下了坚实的基础。

从坝型、坝高、电站装机容量等参数来看，龙口工程属于比较常规的水利水电工程，但龙口工程地质、泥沙、电站送出等特性使得工程设计面临着一系列难题，如坝基岩体中存在着影响大坝深层抗滑稳定的泥化软弱夹层，黄河高含沙量带来的水库淤积和排沙问题，含沙高速水流对泄水建筑物的磨蚀问题，钢筋混凝土蜗壳承受较高水头作用问题，电站发电分送晋、蒙两网的控制与保护问

题等。针对这些工程中的特殊技术问题,设计人员集思广益、深入研究、科学论证,采取了一系列的工程措施,逐一解决上述工程难题,从而确保工程建设顺利实施。当然,龙口工程也展示出诸多的亮点和特色,比如,龙口电站采用“四大一小”(4×100 MW+1×20 MW)组合装机方式,其中20 MW小机组在电网基荷运行,其瞬时下泄流量不小于 $60\text{ m}^3/\text{s}$,能够实现非调峰期间龙口—天桥河段河道不断流,满足黄河水利委员会及黄河防总对河段下泄生态流量的要求;龙口对万家寨电站调峰发电流量具有反调节作用,使得龙口—天桥河段河道流量波动减小,水流条件得到改善,天桥电站入库流量更趋均匀,水库弃水减少且电站可以保持高水位运行,从而增加发电量,因此能够提高梯级电站的综合效益;首次研究并采用UF500纤维素纤维作为添加料,辅以一定量的硅粉、粉煤灰等配置成抗冲磨混凝土,解决了含沙高速水流对泄水建筑物的磨蚀问题;将河床坝段横缝设计成铰接缝,并对横缝下部一定区域进行灌浆处理,使得相邻坝段相互帮助,从而提高坝的整体性和均一性;工程开工后,审时度势调整变更部分设计,分别在枢纽左、右岸边坡坝段预留取水口,有力地配合了山西省、陕西省和内蒙古自治区地方经济长远发展。

龙口主体工程2006年初开工,2009年9月首台机组发电,建设工期较原定计划缩短1年,实现提前1年建成和发挥效益的建设目标。从龙口工程建成后观测资料分析,各观测点温度、应力、变形、渗透压力以及大坝外部变形等数据均在设计预想范围之内,枢纽运行状况优良。龙口电站投运以来,机组运行平稳,发电量已基本达到设计年均发电量。因此,龙口水利枢纽的设计、施工和建设的经验经受了实践的检验。

龙口工程的实践经验,值得包括设计方在内的参建各方认真总结。这本《黄河龙口水利枢纽工程技术研究》内容较为丰富,既有关于龙口的工程勘测设计成果的总结,也有工程技术的分析探讨,因此具有一定的学术价值,是一本实用的书籍。

作为一名从事水利水电工作数十年的技术工作者,非常希望看到更多的设计人员能够及时对自己所完成的工程进行总结,这样,广大水利水电科技工作者也可以从中学习和借鉴,从而更好地促进我国水利水电科学技术的发展。

中国勘测设计大师

王宏斌

2011年11月于天津

目 录

序	王宏斌
---------	-----

第一部分 工程勘测设计

第一章 工程设计概况	(3)
第一节 工程概况	(3)
第二节 勘测设计及审批	(3)
第二章 水文及工程规划	(7)
第一节 设计洪水	(7)
第二节 水库泥沙冲淤分析	(12)
第三节 水库防凌	(14)
第四节 水利和动能	(16)
第五节 水库回水计算	(19)
第六节 水库调度运行方案	(19)
第三章 工程地质	(20)
第一节 勘察工作简介	(20)
第二节 区域地质	(20)
第三节 水库区工程地质	(25)
第四节 枢纽区工程地质	(34)
第五节 天然建筑材料	(52)
第六节 综合评价	(53)
第四章 工程布置及建筑物	(55)
第一节 工程等级标准及设计依据	(55)
第二节 枢纽布置	(60)
第三节 挡水建筑物设计	(61)
第四节 泄水建筑物设计	(84)
第五节 发电建筑物设计	(101)
第六节 副厂房设计	(116)
第七节 开关站设计	(116)
第八节 基础处理	(116)
第九节 安全监测设计	(122)
第五章 水力机械与电气	(129)
第一节 水力机械	(129)
第二节 电气一次	(133)
第三节 电气二次与通信	(136)

第六章 金属结构	(141)
第一节 枢纽金属结构设备概况	(141)
第二节 底孔系统金属结构设备	(141)
第三节 表孔系统金属结构设备	(143)
第四节 发电系统金属结构设备	(144)
第五节 排沙系统金属结构设备	(149)
第六节 左、右岸取水口金属结构设备	(151)
第七节 坝顶门机及尾水门机	(152)
第七章 主要设计变更及设计优化	(156)
第一节 预留左、右岸取水口	(156)
第二节 基础处理	(156)
第三节 厂前区布置	(159)
第四节 220 kV 开关站电气主接线	(159)
第五节 电站拦污、清污设施	(160)

第二部分 工程技术论文

黄河龙口水利枢纽工程设计过程回顾	杜雷功	(163)
黄河龙口水利枢纽主要技术问题与对策	陆宗磐 余伦创	(168)
黄河龙口水利枢纽总体布置设计	余伦创 门乃姣	(173)
黄河龙口水利枢纽建设在地区经济发展中的作用	王晓云 田水娥 李志鹏	(179)
黄河龙口水利枢纽工程特征水位选择	金 鹏 王晓云 邹月龙	(183)
黄河龙口水利枢纽下泄河道基流分析	田水娥 汪学全	(159)
黄河龙口水利枢纽调峰非恒定流沿程坦化情况及影响分析	田水娥 金 鹏 翁建平	(194)
黄河龙口水利枢纽水库泥沙设计	马喜祥 冯德光	(198)
黄河龙口水利枢纽坝基软弱夹层研究	苏红瑞 刘 拥 张贺飞	(205)
黄河龙口水利枢纽工程坝体结构设计	王 浩 李洪蕊 吴桂兰	(212)
黄河龙口水利枢纽工程抗滑稳定分析	王晓辉 马妹英 范瑞鹏	(217)
黄河龙口水利枢纽工程边坡坝段稳定分析	迟守旭 刘 岩 朱 涛	(222)
黄河龙口水利枢纽工程电站主厂房设计	任智锋 谢 坤 于 野	(226)
黄河龙口水利枢纽工程底孔坝段设计	苗 青 高文军 张 晓	(229)
黄河龙口水利枢纽工程表孔坝段设计	刘顺萍 赵 健 陆永学	(233)
黄河龙口水利枢纽工程小机组坝段设计	任 杰 曹 阳 李 梅	(236)
黄河龙口水利枢纽工程主安装间坝段设计	苗 青 陈 浩 谢居平	(241)
黄河龙口水利枢纽工程副安装间坝段设计	高 诚 张 晓 袁素梅	(245)
黄河龙口水利枢纽工程隔墩坝段设计	王永生 尹桂强 田玉梅	(248)
黄河龙口水利枢纽工程排沙洞设计	胡彬彬 于 野 顾小兵	(254)
黄河龙口水利枢纽工程消能建筑物设计	高文军 蒋志勇 李 梅	(258)

黄河龙口水利枢纽工程泄水建筑物水力计算及水工模型试验

.....	刘顺萍	余伦创	蔡胜利(262)
黄河龙口水利枢纽工程左岸取水口设计	曹 阳	鲁永华	刘伯春(269)
黄河龙口水利枢纽工程右岸取水口设计	韩 强	李会波	柴玉梅(272)
黄河龙口水利枢纽工程表孔、底孔坝段坝后尾岩加固设计	谢 坤	孙小虎	刘春锋(275)
黄河龙口水利枢纽工程大机组坝段进、出口三维有限元计算	王 浩	余伦创	赵新波(278)
黄河龙口水利枢纽工程大机组坝段蜗壳三维有限元计算	马妹英	王立成	刘艳艳(284)
黄河龙口水利枢纽工程大机组机墩与风罩结构分析	韩 强	陈 浩	余新启(288)
黄河龙口水利枢纽工程大机组坝段尾水管结构分析	高 诚	李洪蕊	柴玉梅(291)
黄河龙口水利枢纽工程底孔坝段三维有限元结构分析	赵小娜	邹月龙	庄小军(294)
黄河龙口水利枢纽工程坝体止、排水系统设计	高文军	尹桂强	田玉梅(298)
黄河龙口水利枢纽工程大坝温控设计	王永生	谢居平	汪云芳(301)
黄河龙口水利枢纽工程基础处理设计	任 杰	门乃姣	吴桂兰(308)
黄河龙口水利枢纽工程接缝灌浆设计	任智锋	赵小娜	郭西方(314)
黄河龙口水利枢纽工程3 [#] 、4 [#] 机组尾水临时封堵设计	迟守旭	汪云芳	刘 岩(318)
黄河龙口水利枢纽工程原型监测设计	门乃姣	李志鹏	谢广宇(321)
黄河龙口水利枢纽工程左岸引黄灌溉线路研究	王晓辉	赵 健	韩 强(227)
黄河龙口水利枢纽工程左岸引黄灌溉渡槽设计	胡彬彬	都桂芬	陆永学(331)
黄河龙口水电站建筑设计	郭晓利	刘建超	张金洲(335)
黄河龙口水利枢纽工程GIS开关站设计总结	朱 琳	吕中维	张建坤(339)
黄河龙口水利枢纽工程电站厂房发电机层环氧地坪处理工艺	王春龙	张建国	杨海宁(342)
黄河龙口水利枢纽工程建筑消防设计探讨	郭晓利	李东昱	尹长英(345)
浅谈黄河龙口水利枢纽工程消防给水设计	马 站	王宏伟	刘建超(349)
黄河龙口水利枢纽工程暖通设计综述	吕晓腾	马 站	王艳娥(353)
黄河龙口水利枢纽工程机电设计综述	郑淑华	李力伟	林 宁
黄河龙口水电站水轮机选型设计		马韧韬	郑淑华(364)
黄河龙口水电站技术供水系统设计		高普新	刘 婕(369)
黄河龙口水电站排水系统设计与思考	杨富超	杨 旭	刘 婕(373)
黄河龙口水利枢纽工程厂用电设计	林 顺	梁帅成	刘新军
黄河龙口水利枢纽工程照明设计		梁帅成	刘新军
黄河龙口水电站母线保护互联的解决方案	程晓坤	林 宁	郑 伟(387)
黄河龙口水利枢纽工程电站进口闸门设计	郑向晖	江 宁	周陈超(390)
黄河龙口水利枢纽工程表孔系统金属结构设计		刘淑兰	吕传亮(393)
黄河龙口水利枢纽工程排沙系统金属结构设计	莘 龙	杨海宁	尹凤刚(396)
黄河龙口水利枢纽工程施工组织设计	李学启	赵立民	郭端英
			王贤忠(402)

黄河龙口水利枢纽工程建设期特种设备的过程控制	张建国	何 辉	王春龙(412)
黄河龙口公路桥设计与施工	陈华兵	郭春雷	王彩艳(416)
黄河龙口水利枢纽工程混凝土骨料加工工艺设计	钱肖萍	王维忠	李志鹏
.....	尹凤刚		(424)
黄河龙口水利枢纽工程施工缆机布置设计	赵立民	洪 松	吴云凤
黄河龙口水利枢纽工程施工供水系统兼顾永久供水工艺设计	钱肖萍	张 宁	吴 全
.....			(431)
从黄河龙口水利枢纽工程看水利工程设计概算编制需解决的几个问题	周陈超	聂学军	邹月龙
.....			(434)
水电站温控措施价格因素探讨	崔海涛	王光辉	何 辉
低水头消能防冲试验研究	郑慧洋	王英伟	安 伟
黄河龙口水利枢纽工程抗冲磨混凝土试验研究	张中炎	王维忠	王 瑛
黄河龙口水利枢纽工程招标设计混凝土配合比试验研究	李 昆	翟中文	都桂芬
.....			(455)
物探在黄河龙口水利枢纽工程的应用	魏树满	王志豪	刘栋臣
后记			苏红瑞
			(461)
			(466)

第一部分

工程勘测设计

第一章 工程设计概况

第一节 工程概况

黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽(以下简称龙口水利枢纽)位于黄河北干流托龙段尾部,左岸是山西省忻州市的偏关县和河曲县,右岸是内蒙古自治区鄂尔多斯市的准格尔旗。坝址距上游已建的万家寨水利枢纽 25.6 km,距下游已建的天桥水电站约 70 km。龙口水利枢纽总库容 1.96 亿 m^3 ,电站总装机容量 420 MW。本枢纽工程属大(II)型工程,枢纽主要建筑物大坝、电站厂房、泄水建筑物按 2 级建筑物设计,其洪水标准按 100 年一遇洪水设计,1 000 年一遇洪水校核,相应下泄流量分别为 7 561 m^3/s 和 8 276 m^3/s 。

水库正常蓄水位 898 m,采用“蓄清排浑”运行方式,排沙期运行水位 888 ~ 892 m,冲刷水位 885 m。

工程区位于华北地台之山西台背斜与鄂尔多斯台向斜之间的过渡地带,属于相对稳定地块。地震动峰值加速度为 0.05g,反应谱特征周期为 0.45 s,相当于地震基本烈度 VI 度。

坝址区地层主要由奥陶系中统马家沟组(O_2m)、石炭系本溪组(C_2b)、太原组(C_3t)和第四系($\text{Q}_3 + \text{Q}_4$)构成。坝基持力层岩性为中厚层灰岩、豹皮灰岩夹薄层灰岩、白云岩,岩体较完整,强度较高。坝基下存在多层连续性较好的泥化夹层,形成坝基深层抗滑稳定滑动面。

龙口水利枢纽基本坝型为混凝土重力坝,水工建筑物包括拦河坝、泄流底孔、表孔、河床式电站厂房、副厂房及 GIS 开关站等。拦河坝坝顶高程 900 m,坝顶全长 408 m,最大坝高 51 m。大坝自左至右共分 19 个坝段,分别为左岸非溢流坝段、主安装场坝段、大机组坝段、小机组坝段、副安装场坝段、隔墩坝段、底孔坝段、表孔溢流坝段和右岸非溢流坝段。

龙口工程原设计施工总工期为 60 个月,其中施工准备期为 12 个月。在工程建设进入实施阶段后,根据建设管理单位意见,经过认真分析研究将施工总工期调整为 4 年,其中施工准备与右岸大坝主体工程施工同步开展。2006 年 2 月 19 日,右岸坝肩开挖开始施工,拉开龙口主体工程建设序幕,2007 年 4 月 14 日实现二期截流,2009 年 9 月 18 日龙口水利枢纽工程首台机组实现并网发电,2010 年 6 月 2 日龙口电站 5[#]机组正式投运,实现全部机组投产发电。

第二节 勘测设计及审批

一、勘测设计过程

托龙段的规划设计,自 20 世纪 50 年代至 70 年代相继做过不少勘测设计工作。

1984 年 5 月原水电部以(84)水电规字 38 号文对“黄河万家寨水利枢纽可行性研究报

告”的审查批示:关于托龙段开发,现结合晋蒙两省(区)能源基地供水,确定选用万家寨高坝,配合龙口低坝的两级开发方案。1988年12月中水北方勘测设计研究有限责任公司(原水利部天津水利水电勘测设计研究院,以下简称中水北方公司)完成了“黄河龙口水电站工程可行性研究报告”,原能源部、水利部水利水电规划设计总院于1992年11月进行了技术审查,认为“龙口水电站建设条件较好,技术经济指标优越”。

2003年1月水利部水利水电规划设计总院对《黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽项目建议书》进行了技术审查,“基本同意该项目建议书”。水利部以水规计[2003]190号文《关于报送黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽项目建议书及审查意见的函》上报国家发展和改革委员会,“基本同意该审查意见”。

受国家发改委的委托,中国国际工程咨询公司于2003年9月对龙口水利枢纽项目建议书进行了评估,认为“建设该项目是必要的,也是可行的”,并以咨农水[2003]310号文《关于龙口水利枢纽工程项目建议书的评估报告》上报国家发改委。

2004年5月水利部水利水电规划设计总院对《黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽可行性研究报告》进行了审查,以水总设[2005]41号文上报水利部,审查意见为“基本同意该可研报告”。

水利部水利水电规划设计总院于2005年6月30日至7月2日在北京召开会议,对中水北方公司编制的《黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽初步设计报告》进行了审查。经审查,认为该报告基本达到了初步设计要求,基本同意初步设计报告。2005年12月水利部以《关于黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽初步设计报告的批复》(水总[2005]556号)对龙口工程进行了批复。

二、环境影响报告书审批

2004年6月2~3日,水利部水规总院在北京召开了“龙口水利枢纽环境影响报告书”预审会议,于2004年11月1日向水利部上报了《关于报送黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽环境影响报告书预审意见的报告》(水总环移[2004]148号)。2004年11月30日水利部向国家环境保护总局报送了《关于报送黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽环境影响报告书预审意见的函》(水函[2004]258号)。

2004年12月3日内蒙古自治区环保局向国家环境保护总局报送了《关于〈黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽环境影响报告书〉的审查意见》(内环函[2004]451号)。

2004年12月10日山西省环保局向国家环境保护总局报送了《关于〈黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽环境影响报告书〉的审查意见》(晋环函[2004]512号)。

2005年1月19日国家环境保护总局以环审[2005]42号文对《黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽环境影响报告书》提出审查意见,原则同意水利部的预审意见及内蒙古自治区、山西省环保局的初审意见,在落实报告书和环保总局审批提出的环境保护措施前提下,同意该项目建设。

三、建设用地预审手续办理

2004年10月18日,工程地质灾害危险性评估单位中水北方公司邀请有关专家组成专家组对龙口水利枢纽建设用地预审报告中的工程地质灾害危险性评估专题报告进行审查,专家认为地质灾害危险性小。

龙口水利枢纽工程地质灾害危险性评估专题报告审查通过后,分别在山西、内蒙古两省区填写了地质灾害危险性评估报告备案登记表,经两省(区)签署意见,报国土资源部备案。

经晋蒙两省(区)国土资源主管部门审核,未发现龙口水利枢纽工程压覆重要矿产资源,按要求填写了建设用地压覆矿产资源核实申报表,并在两省(区)国土资源厅及国土资源部分别备案。

2004年11月24日、12月10日内蒙古自治区和山西省国土资源厅分别出具了对龙口水利枢纽工程建设用地的初审意见。12月10日,在汇总两省(区)的有关初审文件后,业主向国土资源部上报了龙口水利枢纽工程用地预审申请。

2005年1月11日国土资源部以国土资厅函[2005]26号文同意该项目通过用地预审。

四、建设项目的水资源论证

建设项目的水资源论证是国家从2003年7月开始实施的新内容,2004年5月16日,黄河水利委员会受水利部委托,在郑州召开了“黄河龙口水利枢纽工程水资源论证报告书审查会”。2004年9月黄委会核定了龙口水利枢纽下泄基流,批复了水资源论证报告。

五、水土保持方案审批

2004年4月5~6日,水利部水利水电规划设计总院组织召开了“黄河万家寨水利枢纽配套工程龙口水利枢纽水土保持方案大纲评审会议”,审查通过了该项目的水土保持方案大纲。

2004年5月29~30日,水利部水利水电规划设计总院在呼和浩特主持召开了“龙口水利枢纽水土保持方案报告书审查会议”,审查通过了项目的水土保持方案报告书。

六、招标与技施设计

2005年12月~2007年12月,中水北方公司进行主体工程招标设计。根据建设单位的意见,龙口水利枢纽工程划分为A、B、C、D、E、F六个标段。其中:

- A 标段为右岸11[#]~19[#]坝段建筑、安装工程标段;
- B 标段为左岸1[#]~10[#]坝段和发电主、副厂房建筑、安装工程标段;
- C 标段为主要机电设备(材料)采购标段;
- D 标段为主要金属结构及主要起重、启闭设备采购标段;
- E 标段为工程建设管理标段及水土保持、环境保护工程标段;

F 标段为前期准备工程标段。

七、主要施工进度

2006 年 2 月 19 日,右岸坝肩开挖开始施工,2006 年 3 月 26 日,右岸一期施工导流开工,2006 年 8 月 25 日,右岸主体第一仓混凝土开始浇筑。

2007 年 4 月 14 日实现二期截流,2007 年 5 月 1 日二期基坑开挖施工开始,2007 年 7 月 25 日,左岸主体第一仓(3[#]坝段)混凝土开始浇筑,2007 年 11 月 4 日,13[#]坝段率先浇筑到坝顶 900.00 m 高程。

2009 年 5 月 5 日,1[#]~19[#]坝段主体混凝土重力坝全线浇筑到坝顶 900.00 m 高程,2009 年 6 月 17 日,排沙洞投入使用验收通过,左岸基坑具备过流条件。

2009 年 9 月 1 日,龙口水利枢纽工程通过下闸蓄水验收,2009 年 9 月 18 日,龙口水利枢纽工程首台机组实现并网发电。

2010 年 6 月 2 日龙口电站 5[#]机组完成 72 h + 24 h 带额定负荷连续运行试验,正式并网投运,标志着龙口全部机组投产发电。

第二章 水文及工程规划

第一节 设计洪水

一、水文基本资料

(一) 黄河托龙段干流主要水文测站

河口镇水文站位于龙口坝址上游 128 km 处,设站于 1952 年 1 月,1958 年 4 月上迁 10 km 到头道拐站,观测水文资料至今。

万家寨站 1954 年 6 月设水位站,进行水位观测,1955 年 11 月停止观测。1957 年 7 月设立水文站,1962 年 1 月改为水位站,1967 年 6 月撤销。1993 年 7 月设水位站,1994 年 7 月设水文站,观测至今。万家寨水文站测得的水位、流量、含沙量均参与黄委会中游水文水资源局统一整编。

河曲水文站设于 1952 年 3 月,在龙口坝址下游 23 km 处,1956 年 5 月停止观测,1976 年 6 月恢复水位观测,1978 年 1 月改为水文站,观测至今。

义门水文站设于 1954 年 7 月,在龙口坝址下游 71.3 km 处,因天桥水电站的兴建,于 1975 年 5 月改为水位站,1982 年停测,并在其下游 8 km 处的府谷设立水文站继续观测水位、流量及含沙量等。

(二) 龙口坝址水文观测资料

黄河龙口坝址以上流域面积 397 406 km²。为配合龙口水利枢纽工程设计,原水利部天津水利水电勘测设计研究院(以下简称天津院)委托黄委会中游水文水资源局于 1993 年 7 月在龙口六 II 坝线下 125 m 处设立水位站,进行水位观测,1995 年 10 月停止观测。天津院于 1985 年和 1993 年 5 月对龙口坝址大断面进行测量,根据两次测量结果,断面变化不大。

(三) 黄河托龙段支流的水文资料

黄河中游托龙段左岸主要支流有红河、杨家川和偏关河。

红河全长 219.4 km。1954 年 9 月设放牛沟水文站,控制面积 5 461 km²,占全流域的 98.7%,1977 年 6 月 1 日改为汛期水位站。实测最大流量为 5 830 m³/s(1969 年 8 月 1 日)。

杨家川河长 69.5 km,流域面积 1 002 km²,属间歇性河流,无水文观测资料。

偏关河全长 128.5 km。1956 年 9 月设关河口水文站,1957 年 7 月上迁 9 km 到沈家村为偏关水文站,控制面积 1 915 km²。1982 年又上迁 3 km 至偏关县偏关镇为偏关(三)站,控制面积 1 896 km²,占万家寨—龙口区间 2 600 km² 的 72.9%。实测最大流量 2 140 m³/s(1979 年 8 月 11 日)。

黄河中游托龙段干、支流的各水文站观测资料年份,见表 2-1。

表 2-1

黄河中游——托龙段主要水文测站资料一览

河 名	站 名	流域面积 (km^2)	设站时间 (年.月)	资料年限	备 注
黄河	河口镇	385 966	1952.1	1952.1 ~ 2007.12	1958.4 上迁到头道拐
红河	放牛沟	5 461	1954.9	1954.9 ~ 1977.5	1977.6 改为汛期水位站
黄河	万家寨	394 813	1954.6	1957.7 ~ 1961.12 1994.7 ~ 2005.12	1954.6 ~ 1955.10 1962.1 ~ 1967.5 有水位资料
偏关河	偏关	1 896	1956.9	1956.9 ~ 2007.12	—
黄河	龙口	397 406	1993.7	1993.7 ~ 1995.10	只有水位资料
黄河	河曲	397 643	1952.3	1952.3 ~ 1956.4 1978.1 ~ 2003.12	1976.6 ~ 1977.12 有水位资料
黄河	义门	403 877	1954.7	1954.7 ~ 1975.4	1975.5 改为水位站,1982 年停测

二、暴雨特性

黄河中游的暴雨特点是:暴雨强度大、历时短,且多为局部地区性暴雨,笼罩面积小。这种暴雨的天气系统主要有:西南东北向切变线,东西向切变线及南北向切变线暴雨。以西南东北向切变线暴雨出现的机会较多。这类天气系统有强劲的西南风,有利于水汽输送,再遇有冷空气和有利地形配合,往往会造成强度大、呈西南东北向的大暴雨带。如 1977 年 8 月 1 日内蒙古乌审旗特大暴雨,一次降雨历时 10 h 左右,降雨量达 1 400 mm(调查值),平均降雨强度 140 mm/h。

万家寨及龙口地区常发生局部暴雨,而大面积长历时的降水较少。每当夏季,在灼热的日照下,常造成气流激烈的辐合抬升作用,产生局部强对流性暴雨。这种暴雨的特点是:强度大、降雨历时短,多则几小时、十几小时,少则几分钟,可造成某一支流或某一地段的特大洪水。如 1969 年 8 月 1 日杨家川的大暴雨,造成万家寨河段 11 400 m^3/s 的最大流量,1979 年 8 月 11 日的暴雨,造成偏关河发生有实测资料以来的最大流量 2 140 m^3/s 。

三、洪水特性

龙口坝址的洪水由两部分形成,一是河口镇以上黄河上游产生的洪水,二是托龙段区间发生的洪水。这两部分洪水均由降雨形成,但洪水特性有很大的差别。

河口镇以上黄河上游来的洪水,主要来源于兰州以上广大地区。该地区降水笼罩面积大,历时长,且沼泽湖泊多,河槽调蓄作用大,形成了洪量大、洪水历时长、洪水涨落平缓的肥胖型洪水过程。如 1964 年、1967 年及 1981 年洪水,河口镇站 45 d 洪量分别为 110.4 亿 m^3 、142.9 亿 m^3 和 136.3 亿 m^3 ,最大洪峰流量分别为 4 510 m^3/s 、5 310 m^3/s 和 5 150 m^3/s ,大于 2 000 m^3/s 的历时均超过 45 d。