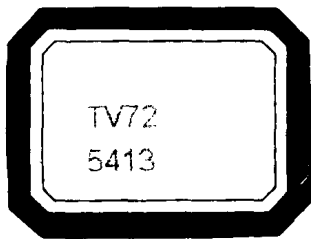


黄河龙羊峡水电站 勘测设计 重点技术问题总结

第一卷

电力工业部西北勘测设计研究院

中国电力出版社



176900

黄河龙羊峡水电站勘测设计 重点技术问题总结

第一卷

电力工业部西北勘测设计研究院

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是黄河龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结的第一卷,全书共十个专题,涉及勘测、规划、水文、水库、地质、机电和金属结构等专业。本书结合龙羊峡水电站的工程实践,准确反映了龙羊峡电站的设计水平和工程特色,对我国水电建设有着极其重要的借鉴作用。

本书适合水利水电勘测、设计技术人员阅读,也可供水利水电科研人员、相关专业大中专师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结第一卷/电力部西北勘测设计研究院编.-北京:中国电力出版社,1998.8

ISBN 7-80125-720-0

I. 黄… II. 西… III. ①水力发电站-水利工程测量-龙羊峡②水力发电站-设计-龙羊峡 IV. TV72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 11794 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市地矿印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1998 年 9 月第一版 1998 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 398 千字 1 插页

定价 38.00 元

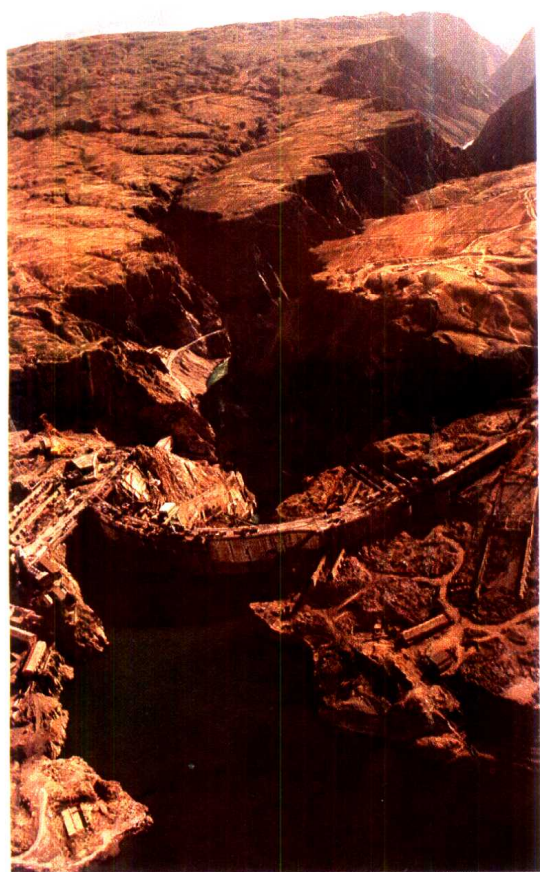
版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



龙羊峡水电站及水库鸟瞰图

(张福全 摄)



龙羊峡大坝及深切陡峭的龙羊峡谷
(张福全 摄)



运行中的龙羊峡大坝上游

(张福全 摄)



龙羊峡水电站雄姿



(张福全 摄)



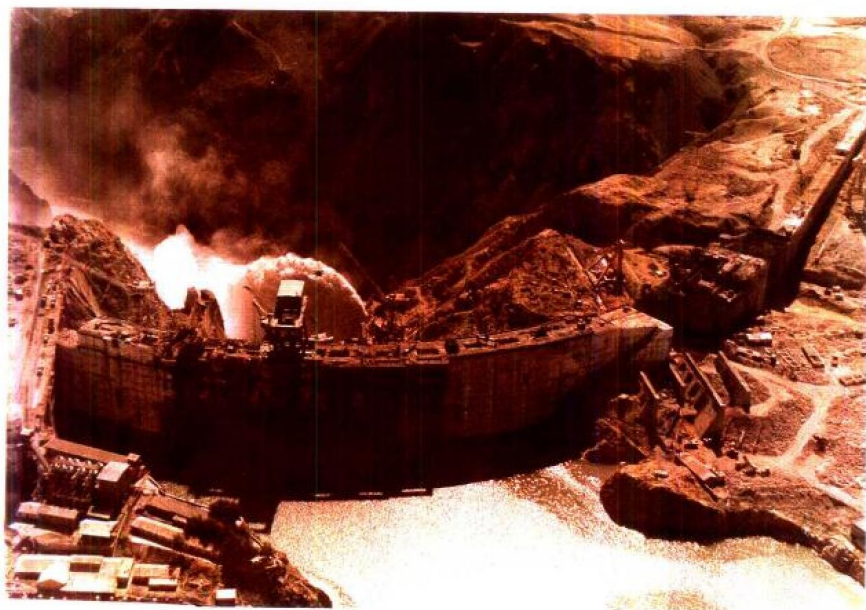
龙羊峡水电站厂房机组

(张福全 摄)



龙羊峡水电站中央控制室

(张福全 摄)



龙羊峡大坝底孔泄水道泄洪

(张福全 摄)

序 言

龙羊峡水电站位于青海省海南藏族自治州龙羊峡峡谷进口段，是黄河已规划河段最上游的一个梯级，是黄河上游的龙头水电站。其任务以发电为主，并兼顾防洪、灌溉等综合利用效益。

50年代末和60年代，原水电部西北勘测设计院曾进行过龙羊峡水电站的查勘，北京院曾进行过龙羊峡水电站的初步设计工作。1976年以后，原水电部第四工程局勘测设计研究院又在龙羊峡工地进行电站补充初步设计和技施设计工作。1979年我院经上级批准恢复重建，龙羊峡水电站的技施设计工作划归我院负责。

龙羊峡水电站正常蓄水位2600m，最大坝高178m，总库容276亿 m^3 ，调节库容193.5亿 m^3 ，电站装机容量128万kW，保证出力58.98万kW，多年平均发电量59.42亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，是黄河干流唯一可以进行多年调节的水电站。由于库容大且又位于诸梯级电站的最上游，目前水库调蓄电能量居全国第一，并属世界前列，可以大大提高下游各梯级和邻近流域水电站的保证出力并增加其年发电量。

龙羊峡坝址工程地质条件十分复杂，基本地震烈度高，重力拱坝的坝肩稳定和基础处理设计、窄深峡谷高坝的泄洪消能以及近坝库岸大方量高速滑坡涌浪等高难度重大设计技术问题都需要深入研究解决。此外，限于当时国内机电设备和金属结构的设计制造水平，龙羊峡水电站的许多重大设备，如32万kW的水轮发电机组、5m $\times$ 7m-120m高水头大孔口偏心铰弧形闸门、厂房和坝顶500t桥吊和门机等均需重新研制。同时，电站位于青藏高原，海拔高、气候恶劣、交通不便、条件艰苦，施工中也有许多新的技术难题有待解决。

在电力部、青海省和水电规划设计总院的领导下，我院历届领导都十分重视龙羊峡水电站的勘测设计工作。从我院恢复重建之日开始，到龙羊峡水电站4台机组全部投产基本建成，全院的工作安排均以确保龙羊峡的勘测、设计工作为中心，集中了全院主要技术力量、高度发挥了科技人员的积极性和创造性，与许多高等院校、科研单位、设备制造厂家及施工单位协作攻关，依靠国内自己的技术力量（在当时的历史条件下也只能如此），高质量地完成了龙羊峡水电站的勘测设计工作。对现场设代工作我院也十分重视，在第一台机组投产以前，我院在龙羊峡工地经常保持着60~100人的设计代表组（处），100人以上的地质勘测队伍。

龙羊峡水电站由水电四局施工，龙羊峡水电厂负责运行。电站于1977年正式开工，1987年第一、二台机组投产，1989年四台机组全部并网发电。至今已安全运行了10年。1993年库水位曾蓄至2577.59m，相应库容为168亿 m^3 （正常蓄水位时相应库容为247亿 m^3 ）。到1996年年底止，累计已发电量377.4亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，并在防洪、灌溉、防凌等综合利用方面发挥了重要的作用，取得了很大的社会和经济效益，对黄河流域上、中、下游的社会主义建设和工农业生产的发展发挥了巨大的促进作用。

需要补充强调的是：龙羊峡水电站还为黄河龙羊峡—刘家峡河段水力资源的开发开创了新局面。黄河龙刘河段长约340km，天然落差共720m，水力资源丰富，开发条件优越，共规划有12个梯级，总装机容量为974.5万kW。其中百万级上的水电站有4座，总装机容量为

822 万 kW，其余 8 座为低水头中型水电站，总装机容量为 152.5 万 kW。这些电站均为径流式水电站，天然情况下，保证出力很低。龙羊峡水电站建成投产以后，天然洪水大幅度削减，径流得到多年调节，这些电站的保证出力大为提高，工程量减少，技术经济指标非常优越，真正成为黄河上游水电富矿中的富矿。实际情况也是如此，如该河段的李家峡水电站（装机容量 200 万 kW）目前正在施工，1997 年 2 月第一台机组已经投产发电。又如公伯峡水电站（150 万 kW）的可行性研究报告（相当原初步设计）已经上级审批，只要资金落实立项，已完全具备开工的条件。拉西瓦水电站（372 万 kW）和积石峡水电站（100 万 kW）的可行性研究报告也均已上报。中型水电站中，尼那水电站（16 万 kW）已经开工，直岗拉卡水电站（19 万 kW）正在筹集资金。

由于种种原因，龙羊峡水电站的尾工工期拖的较长，至今仍有少量尾工尚待完成。我院本着为国家为人民高度负责的精神，一定要密切配合建设单位和施工单位善始善终地完成我院应该完成的设计和设代工作，并按照上级颁发的规程，做好国家验收的准备工作。

龙羊峡水电站的勘测设计工作，前后历时 30~40 年。花了一代人的心血和艰苦努力，终于建成了被外国专家称之为“挑战性工程”的龙羊峡水电站。

在龙羊峡水电站漫长而艰辛的勘测设计过程中，我们积累了大量丰富宝贵的经验，也培养了一批人才，这些是国家的宝贵财富。但是随着时光的流逝，当年承担龙羊峡设计的大量技术骨干已经退休或即将退休。因此，将龙羊峡水电站的勘测设计经验加以认真总结显得非常必要和迫切。为此，我院设立了一笔专项资金，并委托有关同志负责此项工作。

为了避免总结一般化，龙羊峡水电站的勘测设计总结力求按照有重点和少而精的精神进行，要求尽量结合科研成果和施工运行实践，正确反映龙羊峡水电站的设计水平和工程特色。

现将龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结第一卷献给各级有关领导和读者，以期能对我国水电建设发挥其应有的借鉴作用。总结中如有不妥之处望不吝赐教和指正。

张庆堂

1997 年 5 月 1 日

编 者 的 话

龙羊峡水电站是黄河干流已规划河段最上游一级水电站，具有目前国内最大的库容，也是黄河干流唯一可以汛期大量蓄水进行多年调节的大水库。由于地处龙头位置和特有的自然、水文条件，龙羊峡水库又是我国最大的蓄能库，其可调蓄电能量在世界上亦名列前茅。龙羊峡水电站的设计任务以发电为主，并兼顾防洪和灌溉等综合利用效益。电站十年的初期运行表明，龙羊峡水电站在水能利用和水资源利用等方面的效益，还惠及黄河中、下游。

电站地处青藏高原，海拔高、气候条件严酷。坝址位于高地震区，工程地质条件十分复杂，近坝库岸有大规模高速滑坡涌浪的潜在威胁，因此有许多高难度复杂的设计施工技术问题需要研究解决，被外国专家称为“挑战性工程”。同时，限于当时的历史条件，电站许多主要机电设备和大型金属结构设备均需立足国内研制。经鉴定有些研制项目已达到国际首创和国际先进水平。

龙羊峡水电站的勘测设计工作经历较长时间。1976年进点。1977年动工兴建，1982年主坝开始浇筑混凝土，1987年第一台机组发电，1989年4台机组全部投产，水库蓄水量最大达168亿 m^3 。至今工程已安全运行10年，积累了丰富的勘测设计施工和运行经验。因此，结合施工和运行实践，对龙羊峡水电站的设计工作进行认真的总结显得十分必要。

为了避免总结一般化，设计技术总结按照有重点和少而精的原则进行。

重点总结的专题，我们注意到一般应为有创新的，有龙羊峡水电站特点的，为国内首次引进的，或者该项设计工作是比较出色的。

专题设计技术总结以设计技术为主，尽量结合科研成果、施工实践和运行监测资料分析研究进行，力戒空谈。

龙羊峡水电站设计技术专题总结初步拟定约50余项。鉴于近几年我院生产任务繁重，人员变动很大，总结工作只能逐年安排，拟分2~3卷陆续出版。

第一卷共10篇，涉及勘测、规划、水文、水库、地质、机电和金属结构等专业。各篇主要内容如下：

“龙羊峡水电站勘测设计技术工作总结”，着重论述龙羊峡水电站勘测设计工作的基本经验和教训，并提出一些建议。对建设过程中和初期运行中遇到或涉及的重点研究的设计技术难题、工程地质问题、主要机电设备和金属结构的设计和研制、电站的初期运行等几个方面做了讨论。

“龙羊峡水库蓄丰补枯运用对黄河中下游影响的初步研究”，是新的研究课题。龙羊峡水电站投产以后，各有关部门对龙羊峡水库蓄水运用对黄河中下游影响的認識存在分歧。作者在调查研究的基础上，以实际资料为依据，分析研究后指出：龙羊峡水库蓄丰补枯运用对中、下游河道增淤、防洪、防凌等负面影响较小，而对提高黄河水资源利用率、缓解下游水量供需矛盾、缩短黄河断流时间和增加中游水电效益等做出了重要贡献。

龙羊峡水库淹没耕地8.67万亩，移民2.97万人，数量较大。在青海省各级地方政府的具体领导下，水库移民工作取得了很大的成绩，得到了有关方面的好评。在“龙羊峡水库淹

设处理规划与库盘清理设计总结”一文中，主要论述了在淹没处理设计中贯彻以农为主、开发性移民的方针，因地制宜用建设新灌区和改善老灌区的办法来安置移民的经验。对淹没处理和库盘清理工作中一些具体技术问题，也做了论述和总结。

黄河上游是否存在11年连续枯水段及其重现期的确定，一直是一个与龙羊峡设计和运行密切相关的热门话题。在“黄河上游连续11年枯水段的分析探讨”中，作者根据以往院所做的工作，参考其他单位的研究成果，对此问题做了较全面深入的分析论证，认为像1922~1932年这样连续11年枯水段的出现频率为千年一遇，并对由此而可能给龙羊峡水电站带来的经济效益做了初步分析。

我院40年来一直从事龙青段梯级滚动规划和梯级水电站的勘测设计工作，积累了丰富的经验和教训。鉴于龙羊峡水电站在黄河上游规划中具有举足轻重的作用，龙羊峡水电站的设计和黄河上游梯级规划密切相关。因此本卷中列入了“黄河龙羊峡—青铜峡河段梯级规划总结——兼论促进黄河全流域共同发展的初步设想”一文，主要从龙羊峡、刘家峡等水电站的建设和运行实践，对该河段的梯级规划工作进行了总结。根据黄河流域发展出现的新情况，作者还提出进一步发挥龙、刘两库蓄丰补枯作用的建议。

龙羊峡水电站位于高地震区，区域稳定问题和水库诱发地震问题，始终引起人们的高度重视。“龙羊峡水电工程区域稳定和地震活动研究”，是在1976年兰州地震大队对龙羊峡坝址基本地震烈度鉴定意见和1996年塘格木发生7级地震后，兰州地震研究所对龙羊峡水电站地震安全性评价工作的基础上，结合我院多年有关工作，所做的综合论述。并对施工期和初期运行期的水库诱发地震做了分析。

龙羊峡近坝库岸的稳定和滑坡涌浪问题直接关系到大坝和电站的运行安全，也是一个高难度探索性课题。“龙羊峡水电站近坝库岸稳定及滑坡涌浪评价”一文，对各设计阶段近坝库岸的稳定分析和滑坡涌浪的勘测设计研究成果，以及施工导流期和电站运行期近坝库岸的安全监测和科研成果，作了较全面的分析总结，并对近期库岸的稳定性做了初步预测。

龙羊峡水电站成功地采用了当时国内单机容量最大的320MW新型水轮发电机组。“龙羊峡水电站水轮发电机组优化选择设计和技术总结”一文，重点论述了龙羊峡机组参数的合理选择，单机容量的确定，机组优化和提前发电低水头运行等问题的研究，论述分析了运行工况、出现的问题及其改进，并对机组的技术水平和质量做了评价。

“龙羊峡水电站机组继电保护设计及科研总结”一文，主要对龙羊峡机组多分支差动、单元件内部短路和失励磁三套主要保护的设计、研究、安装和工业运行情况做了较全面的总结。上述三种继电保护可以共同构成大、巨型水轮发电机组的主要继电保护系统，或单独作为水轮发电机组的主要保护装置使用。

“龙羊峡水电站底、深孔5m×7m—120m(95m)偏心铰弧门研制总结”一文，以设计为主，结合制造安装，分析论述了偏心弧门的关键技术问题，通过运行初期各种复杂工况的运行实际情况分析，证实底深孔偏心铰弧门的研制是成功的。

通过生产实践和研究工作，人们对龙羊峡水库巨大作用的认识不断深化。陆钦侃、万景文在“水库调蓄电能是水电规划中一项重要指标”(原载《水力发电》，1992年第9期)中，提出龙羊峡水库是我国最大的蓄能库，也属世界前列的论断。经作者同意，作为附录也予以转载。

张庆堂院长对本卷的总结和出版一直很重视很支持。

本卷第一篇“龙羊峡水电站勘测设计技术工作总结”曾请前院长王宝基和石瑞芳，以及丁国强、万景文、庆祖荫等教授级高工审阅。第三篇“龙羊峡水库淹没处理规划与库盘清理设计总结”曾请万景文教授级高工审阅。第四篇“黄河上游连续 11 年枯水段的分析探讨”曾请王维第、万景文、方润生教授级高工审阅。第五篇“黄河龙羊峡—青铜峡河段梯级规划总结”曾请方润生、於凤仪教授级高工审阅。第八篇“龙羊峡水电站水轮发电机组优化选择设计和技术总结”曾请宋泽敏教授级高工审阅。第九篇“龙羊峡水电站机组继电保护设计及科研总结报告”曾请吕六和教授级高工审阅。在此一并深致谢意。

本卷各篇均经主管生产的郑建波副院长和秦湘总工程师最终审阅。

由于水平限制，各篇设计技术总结中不当或不尽完善之处在所难免，敬请各位专家和读者批评指正。

陈飞 李璜

1997 年 4 月 20 日

黄河龙羊峡水电站简要工程特性表

序 号 及 名 称	单 位	数 量	备 注
一、水文			
1. 全流域面积	万 km ²	75.2	
2. 坝址以上流域面积	万 km ²	13.1	
3. 多年平均年径流量	亿 m ³	205	
4. 多年平均流量	m ³ /s	650	
5. 设计洪水标准及流量($P=0.1\%$)	m ³ /s	7040	相应枢纽下泄流量 4000
6. 校核洪水标准及流量(可能最大洪水)	m ³ /s	10500	相应枢纽下泄流量 6000
7. 多年平均悬移质输沙量	万 t	2490	
二、水库			
1. 校核洪水位	m	2607	
2. 正常蓄水位	m	2600	
3. 死水位	m	2530	
4. 总库容 (校核洪水位以下)	亿 m ³	276.0	
(正常蓄水位以下)	亿 m ³	247.0	
5. 调节库容	亿 m ³	193.5	
6. 死库容	亿 m ³	53.43	
7. 水库调节特性		多年	
三、发电效益			
1. 装机容量	万 kW	128	
2. 保证出力	万 kW	58.98	
3. 多年平均发电量	亿 kW·h	59.42	
四、淹没损失			
1. 淹没耕地	万亩	8.76	
2. 迁移人口	万人	2.97	
五、主要建筑物及设备			
1. 重力拱坝			
坝基特性		花岗闪长岩	
坝顶高程	m	2610	
最大坝高	m	178	
坝顶前沿长度	m	396	拦河坝前沿总长度 1227
2. 泄水建筑物			

续表

序 号 及 名 称	单 位	数 量	备 注
(1) 开敞式溢洪道			
堰顶高程	m	2585.50	单孔溢流净宽
孔数—溢流宽度	孔—m	2—12	
校核泄洪流量	m ³ /s	4493	
(2) 坝内中孔泄水道			
孔口底槛高程	m	2540	偏心铰弧形工作闸门
孔数—尺寸	孔—m×m	1—8×9	
校核泄洪流量	m ³ /s	2203	
(3) 坝内深孔泄水道			
孔口底槛高程	m	2505	偏心铰弧形工作闸门
孔数—尺寸	孔—m×m	1—5×7	
校核泄洪流量	m ³ /s	1304	
(4) 坝内底孔泄水道			
孔口底槛高程	m	2480	偏心铰弧形工作闸门
孔数—尺寸	孔—m×m	1—5×7	
校核泄洪流量	m ³ /s	1498	
3. 坝式电站进水口			
底槛高程	m	2511.5	快速平板门
事故闸门：型式		快速平板门	
数量—尺寸	扇—m×m	4—7.5×8.5	
设计水头	m	90	
4. 压力管道			
型式		坝内埋管	4"管出坝后为地下埋管
管道数量	条	4	
内径	m	7.5	
5. 厂房			
型式		坝后封闭式	未含安装间长度 45m
主厂房尺寸（长×宽×高）	m×m×m	97.5×51×61	
6. 开关站			
型式		户内 SF6 全封闭	

续表

序 号 及 名 称	单 位	数 量	备 注
7. 主要机电设备			
(1) 水轮机			
台数	台	4	
型号		HLD06A— LJ—600	
单机出力	万 kW	32.65/35.61	额定出力/最大出力
(2) 发电机			
台数	台	4	
型号		SF320—48/ 12800—G	
单机容量	kVA	355600/ 378380	额定容量/最大容量
(3) 主变压器			
型号		SSP— 360000/363	
容量	kVA	360000	
台数	台	4	
8. 输电线			
电压	kV	330	
回路数	回路	6	
六、主体工程量			
明挖石方	万 m ³	298.1	
洞挖石方	万 m ³	29.2	
其中：基础处理	万 m ³	14.8	
混凝土和钢筋混凝土	万 m ³	316.1	
其中：重力拱坝	万 m ³	153.9	
基础处理地下混凝土	万 m ³	10.3	
金属结构安装	万 t	1.62	
帷幕灌浆	万 m	17.84	含化灌 1.87 万 m
固结灌浆	万 m	21.15	
接缝灌浆	万 m ²	18.15	
七、总投资	亿元	28.2426	1993 年 9 月经国家能源投 资公司审定（不包括虎山坡不 稳定岩体处理工程）

目 录

序言

编者的话

黄河龙羊峡水电站简要工程特性表

一、龙羊峡水电站勘测设计技术工作总结 撰稿 陈飞 核稿 李瓚 (1)

二、龙羊峡水库蓄丰补枯运用对黄河中下游影响的
初步研究 撰稿 万景文 核稿 王维弟 (46)

三、黄河龙羊峡水库淹没处理规划与库盘清理设计
总结 撰稿 宋恩益 核稿 王祝安 (60)

四、黄河上游连续 11 年枯水段的分析探讨
..... 撰稿 杨百银 核稿 孙汉贤 (76)

五、黄河龙羊峡—青铜峡河段梯级规划总结——兼论
促进黄河全流域共同发展的初步设想 万景文 何承义 (100)

六、龙羊峡水电工程区域稳定和地震活动研究
..... 撰稿 余仁福 柳培坤 核稿 李天扶 (120)

七、龙羊峡水电站近坝库岸稳定及滑坡涌浪评价
..... 撰稿 庆祖荫 核稿 李天扶 (139)

八、龙羊峡水电站水轮发电机组优化选择设计和
技术总结 撰稿 黄开继 朱振豪 核稿 李明松 (170)

九、龙羊峡水电站机组继电保护设计及科研总结报告
..... 撰稿 李振华 核稿 谈金安 (201)

十、龙羊峡水电站底、深孔 $5\text{m} \times 7\text{m} - 120\text{m}$ (95m)
偏心铰弧门研制总结 撰稿 张之涓 核稿 罗同喜 (223)

附录

水库调蓄电能是水电规划中一项重要指标

原载《水力发电》，1992 年第 9 期 陆钦侃 万景文 (242)

一、龙羊峡水电站勘测设计技术 工 作 总 结

撰稿 陈 飞 核稿 李 瓚

摘 要

本文回顾了龙羊峡水电站的勘测设计过程,论述了主要工程地质问题和技施设计中着重研究解决的重大技术问题,分析了电站初期运行情况,阐述了初期运行中发生的工程问题及其处理,提出了勘测设计工作的基本经验和教训、结语和几点建议。

1 工 程 概 况

龙羊峡水电站位于青海省海南藏族自治州黄河龙羊峡峡谷进口,距铁路中转站湟源车站公路里程 96.8km。

电站位于青藏高原东部牧区,气候属半干旱大陆性气候,年降水量 271mm,蒸发量 2030mm,平均相对湿度 52%,全年寒冷期长,气温变差大。年平均气温 5.8℃,一月份最低,平均为-9.3℃,7 月份最高,平均为 18.2℃。最大风速 34m/s,6 级以上大风每年为 80 天。工程区海拔高程 2460~2640m,平均缺氧 27%。

坝址控制流域面积 13.1 万 km²,约占全流域面积的 18%。多年平均流量为 650m³/s,多年平均径流量为 205 亿 m³,约占全流域年径流量的 36%。多年平均含沙量为 1.15kg/m³。年输沙量为 2490 万 t,仅为三门峡年平均输沙量的 1.56%。

本工程的任务以发电为主,兼顾防洪、灌溉等综合利用效益。

龙羊峡水电站按千年一遇洪水设计,按可能最大洪水校核。千年一遇设计洪水流量为 7040m³/s,可能最大洪水流量为 10500m³/s,经水库调节后,最大下泄流量分别为 4000m³/s 和 6000m³/s,均减少了 43%。

电站正常蓄水位 2600m,相应库容为 247 亿 m³。死水位 2530m,相应死库容为 53.43 亿 m³。调节库容为 193.5 亿 m³,库容调节系数为 0.94,具有良好的多年调节性能。龙羊峡水库调蓄电能量居我国第一和世界前列。

坝址峡谷窄深,深切 150 余米,岸顶地形平坦,为良好施工场地。

坝址工程地质条件十分复杂,基岩为花岗闪长岩,岩性坚硬,饱和抗压强度在 100MPa 以上,但断裂很发育,库区近坝库岸存在滑坡涌浪问题。

1976 年国家地震局兰州地震大队鉴定的坝址区基本地震烈度为 8 度。大坝按 9 度设防。

电站枢纽由混凝土重力拱坝、左右岸重力墩、左右岸副坝、泄水建筑物、水电站引水系统、坝后厂房、厂坝间副厂房等组成(图 1~图 6)。

挡水建筑物前缘长度 1226m,其中重力拱坝长 396m。重力拱坝采用扁平定圆心定半径体型,坝顶实体宽度 15m,坝顶中心角为 85°,大坝上游面铅直,下游坝坡 1:0.4,最大坝底宽