

能源部·水利部西北勘测设计院论文集(2)

大中型水电站规划

PLANNING FOR
LARGE AND MEDIUM SCALE
HYDROPOWER PROJECTS



河海大学出版社

TV 731-53
12

能源部、水利部西北勘测设计院论文集

第 二 卷

大 中 型 水 电 站 规 划

PLANNING FOR
LARGE AND MEDIUM SCALE
HYDROPOWER PROJECTS

河 海 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书选编了河流水能利用和大中型水电站规划的论文共40篇,包括西北大中型水电建设综论、规划、水文、泥沙和冰情、水库环保以及专题论述等内容。论文密切结合黄河上游、白龙江、汉江等骨干河流水能规划的实践,进行了系统的经验总结 and 介绍,并附有大量的规划数据和图表。本书可供从事水利水电规划设计、施工、运行、科研、教学等各方面的专业人员参考。

大中型水电站规划

能源部
水利部 西北勘测设计院 编著

主 编: 王维第 孙 瑜 于凤义

责任编辑: 吴俊燕

特约编辑: 陈吉平 舒 剑

责任校对: 张世立

河海大学出版社出版发行

(210024 南京西康路一号)

金坛县彩印一厂排版

国营扬中县印刷厂印装

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 21 字数 524 千字

1991年7月第1版 1991年7月第1次印刷

印数 1—1200 册

ISBN 7—5630—0340—1/TV·43

定价: (精装)25.00 元 (平装)20.00 元

前 言

继 1988 年我院论文集第 1 卷出版之后,第 2 卷又和读者见面了。按原定计划,第 1 卷为以水工专业为重点的综合卷,其后将陆续编辑出版包括各种专业和具体工程的一些专辑。本卷即为水电站规划专辑,以大中型水电站和河流水能规划为中心,收入了包括总论、规划、水文、泥沙和冰情、水能、水库环境保护以及专题研究等内容的论文共 40 篇,其范围主要涉及黄河上游、白龙江、汉江以及黄河北干流;有些论文,例如水火电经济论证、跨区联网效益以及一些技术途径和方法性论文,就没有地区性限制了。其中还有一篇总结建国 40 年来西北地区的大中型水电建设的文章,从中可以对西北水电建设的规模、水平和进程,获得一个概括的了解。

和第 1 卷一样,本文集的一部分论文,过去曾公开发表,以页下注说明出处;一部分论文过去进行过内部交流,这次公开发表;还有几篇论文,是这次有计划组织编写的。由于各论文写作的年代不同,有些数据和论点,根据新的情况作了适当的修改或补充;有些则保留原貌,未予改动。

在论文集第 1 卷出版之后,编辑部收到了不少读者的宝贵信息,对改进我们的工作有很大帮助。本卷的出版,也得到了各方面的大力协作和配合,在此一并表示深切的谢意。我们诚恳希望广大读者,对本卷的出版继续给以宝贵的批评和建议,并对今后的出版工作继续给以热情的支持。

石瑞芳

1990年9月于西安

目 录

前 言

综 论

- 西北大中型水电建设的回顾与展望……………石瑞芳 王维第 (1)
加强宏观研究,优化规划设计,全面提高设计质量、水平和效益……………吕祖珩 (11)

规 划

- 关于加快黄河上游水电综合开发的建议……………黄河上游水电经济开发综合考察团 (19)
加速开发黄河上游水电,迎接我国经济开拓重点的战略转移……………石瑞芳 万景文 (23)
黄河干流龙—青河段梯级开发规划的若干经验……………方润生 (32)
青铜峡水利枢纽规划问题……………夏季华 (40)
论综合开发黄河北干流对国家能源基地建设的战略意义……………王宝基 (47)
开发陕西境内汉江干流的水力资源……………石瑞芳 吴孝仁 (54)
加快开发白龙江丰富的水能资源……………何承义 (61)

水 文

- 黄河上游水文……………王维第 董德兰 (67)
梯级水库下游断面洪水概率分布的计算方法……………王锐琛 陈源泽 孙汉贤 (79)
黄河上游龙—刘段梯级水库施工洪水分析……………熊炳烜 董德兰 (94)
1904 年黄河上游特大洪水分析……………巫和琼 (99)
黄河上游扎陵湖、鄂陵湖地区的水文及水资源特征……………王维第 梁宗南 (106)
黄河上游径流随机模拟及其初步应用……………孙汉贤 王锐琛 (113)
龙羊峡、刘家峡两库洪水过程的模拟及调节……………陈源泽 (123)
模糊聚类法在龙羊峡径流长期预报中的应用……………杨百银 (133)

泥沙·冰情

- 刘家峡水电站水库泥沙淤积和排沙问题……………吴孝仁 (146)
青铜峡枢纽排沙问题及其措施……………杨赉斐 (154)
碧口水电站水库淤积和排沙效益分析……………余厚政 (167)
刘家峡河段冰塞问题的初步研究……………杨赉斐 (175)

水 能

- 西北与华北、西南(四川)联网补偿充分发挥三大电网不同电源的优势……………万景文 (184)

黄河刘、盐、八梯级水电站可用电量的计算.....	许德彪 (190)
论跨大区联网中若干动能经济问题的设计原则和方法.....	刘文彬 刘玉珍 (196)
龙羊峡水电站的巨大作用和效益.....	万景文 刘文彬 于凤义 (206)
应用电子计算机进行黄河龙一青段梯级水电站群的水能计算.....	胡泽华 (211)

水 库 环 保

黄河龙一青段水质现状评价.....	雷振宇 张瑞佟 (219)
龙羊峡水电站工程的环境影响.....	张瑞佟 (231)
模糊数学在龙羊峡水库水质评价中的应用.....	雷震宇 (238)
龙羊峡水库淹没处理规划设计经验总结.....	宋恩益 (245)
刘家峡水库对库周陆生植物的影响.....	李西京 黄玉胜 (253)
大峡水电站水库水质评价.....	李西京 (259)
从碧口水库环境效应预测宝珠寺建库后局地气候及水质变化趋势...	王祝安 牛天祥 (267)

专 题 研 究

刘家峡水库防洪判别方式的初步探讨.....	王锐琛 (276)
利用洪水时序规律解决水库调洪计算的原理和方法.....	陈天兴 (287)
西北干旱半干旱地区设计净雨模型探讨.....	王维第 许翼正 (294)
坝前冲刷漏斗形态的分析研究.....	苏凤玉 任宏斌 (303)
水电建设经济性的正确评价.....	宋泽敏 (311)
关于水、火电经济性的比较.....	万景文 (316)
论有计划商品经济体制下水电的经济性.....	宋泽敏 (322)

CONTENTS

Preface

GENERAL PRESENTATIONS

- Review and perspective of the large and medium scale hydropower construction in Northwest China.....Shi Ruifang, Wang Weidi (10)
- Strengthen macro researches, optimize planning and design, raise high the designing quality, level and benefit.....Lü Zuheng (18)

PLANNING

- A proposal about speeding up the hydropower development in the upper reaches of the Yellow River.....The Surveying Group on the hydro economic development in the upper reaches of the Yellow River (22)
- Meet the transference of focal point of national economy by speeding up hydropower development on the upper Yellow River
.....Shi Ruifang, Wan Jingwen (31)
- Experiences of the cascade development planning on the trunk stream of the Yellow River from Longyangxia to Qingtongxia
..... Fang Runsheng (39)
- On planning of Qingtongxia water Conservancy Project.....Xia Jihua (46)
- Strategy importance of overall development of Bei-Gan-Liu Stretch of the Yellow River..... Wang Baoji (53)
- Tap hydropower resources of the trunk Hanjiang River in Shaanxi.....
.....Shi Ruifang, Wu Xiaoren (60)
- Speeding up development of the abundant hydropower resources on the Bailongjiang River.....He Chengyi (66)

HYDROLOGY

- Hydrology of the upper Yellow River.....Wang Weidi, Dong Delan (78)
- Calculation of design floods for cascade reservoirs
.....Wang Ruishen, Chen Yuanze, Sun Hanxian (93)
- Analysis of design floods for construction of cascade reservoirs on the upper Yellow River.....Xiong Bingxuan, Dong Delan (98)

Analysis of an extraordinary flood on the upper reaches of the Yellow River in 1904.....	Wu Heqiong (105)
Hydrology and water resource features of the region of the Zhaling and Eling Lakes on the upper Yellow River.....	Wang Weidi, Liang Zongnan (112)
Stochastic modeling of streamflows and its initiative application on the upper reaches of the Yellow River.....	Sun Hanxia, Wang Ruishen (122)
Simulation and analysis of flood processes for Guide and Shangquan hydrologic stations.....	Chen Yuanze (132)
Application of fuzzy clustering method to Longyangxia long-term runoff forecasting	Yang Baiyin (145)

SILTATION AND ICE REGIME

Problems of silt deposit and release of Liujiaxia Reservoir	Wu Xiaoren (153)
Sluicing sediment problems and measures on Qingtongxia Project	Yang Laifei (166)
Analysis of reservoir sedimentation and silt sluicing effect of Bikou Reservoir.....	Yu Houzheng (174)
Preliminary investigation of the ice jam problem at Liujiaxia section	Yang Laifei (183)

WATER POWER

Make full advantages of different power sources by interconnecting Northwest, Southwest and North China power grids.....	Wan Jingwen (189)
Calculations of usable electric energy of Liujiaxia, Yanguoxia and Bapanxia cascade hydropower stations.....	Xu Debiao (195)
Design principle and method for kinetic energy economic problems in interconnection of regional power grids.....	Liu Wenbin, Liu Yuzhen (205)
Functions and enormous benefit of Longyangxia Hydropower Station	Wan Jingwen, Liu Wenbin, Yu Fengyi (210)
Calculating water power for cascade hydropower stations by computer	Hu Zehua (218)

PROTECTION OF RESERVOIR ENVIRONMENT

Evaluation of water quality status on the upper Yellow River from Longyangxia to Qingtongxia.....	Lei Zhenyu, Zhang Ruidong (230)
Environmental impact of Longyangxia Hydropower Project.....	Zhang Ruidong (237)
Application of fuzzy mathematics in water quality evaluation of Longya-	

ngxia Reservoir.....	Lei Zhenyu (244)
A summary of planning and design of reservoir inundation treatment for Longyargxia Hydropower Station.....	Song Enyi (252)
Impact of Liujiaxia Reservoir on plant community around it	Li Xijing, Huang Yusheng (258)
Water quality evaluation of Daxia Reservoir on the Yellow River	Li Xijing (266)
Prediction of local climate and water quality variation trend of Baozhusi Reservoir.....	Wang Zhuan, Nu Tianxiang (275)

SPECIAL RESEARCHES

Preliminary study of flood control criterion for the Liujiaxia Reservoir	Wang Ruishen (286)
Principle and method of reservoir flood-regulation calculation by applying the rule in time series of flood.....	Chen Tianxing (293)
A research on the design net rainfall model for arid and semi-arid areas in Northwest China.....	Wang Weidi, Xu Yizheng (302)
Analysis of the shape of erosion cone before dams	Su Fengyu, Ren Hongbin (310)
On proper economic evaluation of hydro project.....	Song Zemin (315)
Comparison of economics between hydropower and thermal power stations	Wan Jingwen (321)
Economic evaluation of hydro project under the condition of planned commodity economy.....	Song Zemin (326)

综 论

西北大中型水电建设的回顾与展望*

石瑞芳 王维第

我国大西北的社会主义水电建设,在党和政府的亲切关怀和大力扶植下,经历了将近40个年头了。从无到有,从小到大,水电已成为西北经济建设中的一个强大的因素,在能源组成中,它已占有举足轻重的地位。回顾这一时期西北水电的发展历程,并展望未来的前景,将是很有意义的。

本文重点对黄河上游、白龙江流域、汉江上游以及黄河北干流的大中型水电建设情况,进行一些简要的介绍和总结。新疆水力资源非常丰富,但水电开发比重尚较小,且电网自成体系,限于篇幅,本文暂不列入。

一、西北水电的现状

(一) 丰富的水力资源

我国西北地区的水力资源非常丰富,水能蕴藏量的理论出力为8418万kW,可开发的装机容量为4194万kW,分别居全国各大区的第二位和第三位。其中陕、甘、青、宁四省区理论出力为5062万kW,可开发装机为3340万kW;而尤以青海省为最丰(表1)。表1还显示出,在丰富的水力资源中,黄河上、中游干流、汉江上游干流和白龙江干流的水力资源最为集中,特别是黄河上游龙羊峡—青铜峡河段,规划装机1393.6万kW,被称为水电“富矿”,成为我国优先开发的一个重要的水电基地。

西北四省区水电站平面位置见图1。

(二) 已经建成和正在兴建一批大中型水电站骨干工程

自1961年盐锅峡水电站第一台机组发电以来,西北四省区已建成大中型水电站8座,总装机容量372万kW,在建大型水电站2座,装机容量280万kW。根据1989年8月统计,四省区水电装机约占全部电网总装机的50%,远远超过全国水火电装机比30%的平均水平,这充分说明西北四省区的水电建设是卓有成效的。特别是黄河上游的龙羊峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡、青铜峡等五座大中型水电站,总装机324.4万kW,成为我国当前规模最大的梯级水电站群。四省区大中型水电站的主要技术经济指标见表2~5。

* 本文原发表在《陕西水力发电》1990年第1期。

表 1

陕、甘、青、宁水力资源及开发情况(单位:万kW)

省 区	理论蕴藏量	可开发装机	已 开 发	正 开 发	待 开 发	待开发占 可开发(%)	备 注
陕 西	1274.88	550.71	—	—	—	—	按陕西、山西各半计
汉江上游干流	147.4	198	13.5	80	104.7	52.9	
黄河北干流	258.05	218.6	6.4	—	212.2	97.1	
甘 肃	1426.40	910.97	—	—	—	—	麒麟寺以上
黄河干流	534.65	384.9	169.2	—	215.7	56.0	
白龙江干流	165.90	174.5	30.0	—	144.5	82.8	
青 海	2153.66	1799.08	—	—	—	—	寺沟峡按青、甘各半计, 不包括龙羊峡
黄河龙一刘段	—	937.5	128	160	649.5	69.3	
黄河龙羊峡以上	—	635.1	—	—	—	100	
长江上游	434.87	188.62	—	—	—	100	
宁 夏	207.30	79.50	—	—	—	—	
黄河干流	202.90	71.20	27.2	—	44.0	61.8	
合 计	5062.2	3340.3	—	—	—	—	

注:表中理论蕴藏量以及分省区的可开发装机数字,取自 1979 年水力资源普查成果,其中黄河龙一青段,黄河干流,汉江上游和白龙江等河段的可开发装机,系按最新规划数字填列。

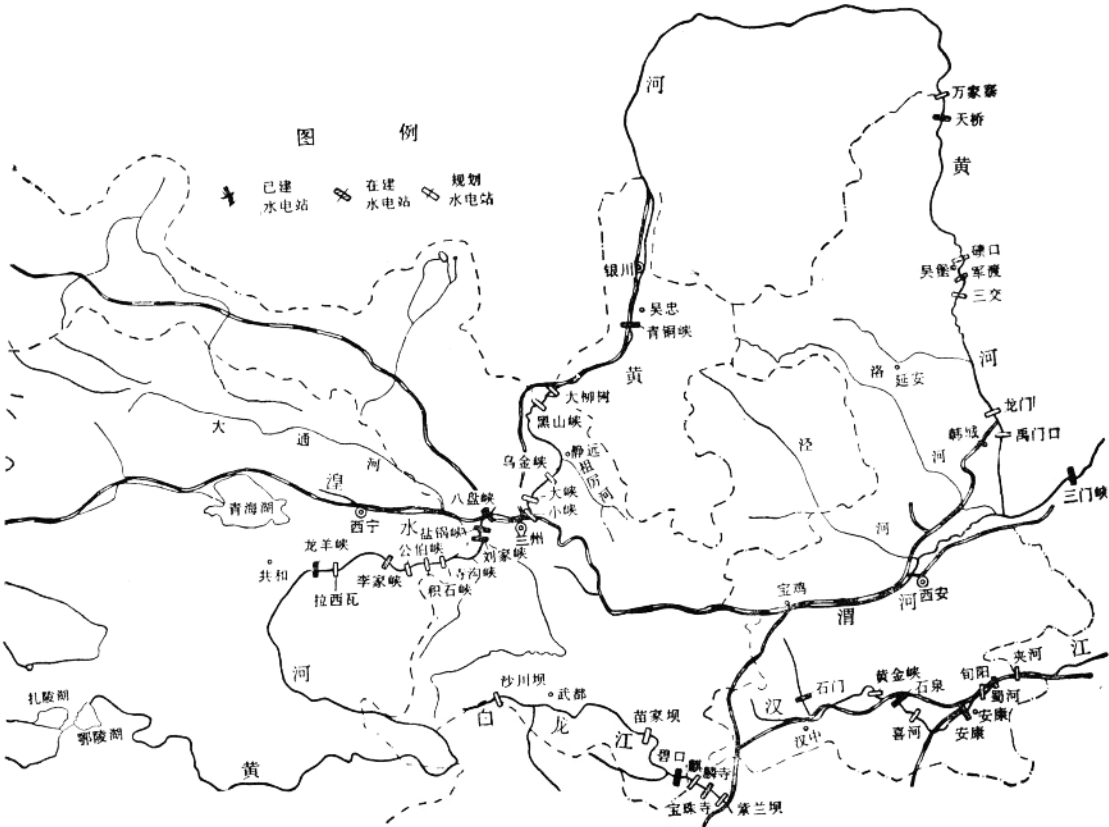


图 1 西北四省区梯级水电站平面位置图

表 2

黄河上游龙—青段梯级水电站主要技术经济指标

电站名称	多年平均流量 (m^3/s)	正常蓄水位 (m)	正常蓄水位以下库容 (亿m^3)	调节库容 (亿m^3)	装机容量 (万千瓦)	保证出力 (万千瓦)	年发电量 ($\text{亿kW}\cdot\text{h}$)	最大水头 (m)	淹没耕地 (亩)	迁移人口 (人)	总投资 (亿元)	单位千瓦投资 (元/ kW)	设计和建设阶段
龙羊峡	650	2600	247	193.5	128	59.98	58.42	148.5	86700	29700	23.72	1853.1	已建成
拉西瓦	650	2452	10	1.5	372	92.74	97.4	220.0	186	173	27.5	739	初 设
李家峡	662	2180	16.5	0.6	200	58.10	59.2	135.0	5039	3916	16.63	832	在 建
公伯峡	672	2005	2.9	1.97	150	47.0	47.0	103.0	5348	2990	15.05	1003	初 设
积石峡	678	1856	4.2	2.2	80~100	33.8	33.7~34.4	73.9	1150	2283	11.0	1100~1375	可行性研究
寺沟峡	678	1760	—	—	25	9.2	10.0	24.0	8970	7600	5.25	2099	规 划
刘家峡	877	1735	57	41.5	116	55.7	55.8	114.0	77223	32623	6.35	547	已建成
盐锅峡	877	1619	2.2	—	39.6	19.0	21.5	39.5	11258	8861	1.48	420	已建成
八盘峡	1039	1578	0.4	—	18	10.7	10.5	19.5	4183	3950	1.45	805	已建成
小 峡	1039	1495	—	—	18	7.47	8.1	11.6	0	0	4.21	2339	可行性研究
大 峡	1039	1480	0.9	—	30	14.3	14.65	31.4	4026	0	4.55	1516	筹 建
乌金峡	1039	1435	—	—	13.2	5.4	5.7	8.6	0	0	3.26	2470	可行性研究
小观音	1050	1380	70.2	56.49	140	39.43	46.0	105.0	46112	55329	17.99	1285	可行性研究
大柳树	1050	1276	1.52	—	44	18.37	19.1	38.0	2310	3015	6.41	1457	可行性研究
青铜峡	1050	1156	5.65	3.2	27.2	9.3	10.4	22.0	65688	19315	2.51	923	可行性研究
合 计	—	—	418.6	301.0	1401~1421	479.47	498.5~499.2	1094.6	310193	169755	147.36	1051.82~1037.02 (平均)	已建成

资料来源:根据西北院有关设计文件,黑山峡河段一级或两级开发待定。

表 3

白龙江干流梯级水电站技术经济指标

电 站 名 称	沙 川 坝	苗 家 坝	碧 口	麒麟寺	宝 珠 寺	紫 兰 坝	合 计
多年平均流量(m^3/s)	81.8	146.8	278	278	336	336	—
正常蓄水位(m)	1548	940	704	618	588	488	—
正常库容(亿 m^3)	17.6	35.0	4.5	0.27	20.7	0.24	78.3
调节库容(亿 m^3)	8.0	23.40	2.21	0.10	13.2	0.11	47.02
装机容量(万kW)	37.5	100	30	15	70	10.8	263.3
保证出力(万kW)	11.01	23.46	16.65	4.81	17.8	3.37	77.1
年发电量(亿kW·h)	12.54	24.16	16.64	5.0	20.45	3.9	82.69
最大水头(m)	219	236	86	27	103	20.5	691.5
淹没耕地(亩)	12742	17495	6032	1230	31510	1794	70803
迁移人口(人)	11887	15159	4592	1427	29476	1775	64316
总投资(亿元)	12.18	20.08	4.7	3.09	9.71	2.99	52.8
单位千瓦投资(元/kW)	3248	2183	1600	2060	1518	2769	2005.3
设计和建设阶段	规划	可行性 研究	已建成	初步 设计	在建	可 行 性 研 究	

注：此表根据西北院有关设计文件整理，其中宝珠寺、紫兰坝在四川省境，不属西北范围。

表 4

汉江上游干流梯级水电站技术经济指标

电 站 名 称	黄 金 峡	石 泉	喜 河	安 康	旬 阳	蜀 河	夹 河	合 计
多年平均流量(m^3/s)	259	364.5	416	603	679	757	782	—
正常蓄水位(m)	450	410	364	330	240	218	196	—
正常库容(亿 m^3)	1.90	4.7	1.7	25.85	2.08	1.92	1.40	39.60
调节库容(亿 m^3)	0.84	2.72	0.15	16.7	0.46	0.37	0.29	21.50
装机容量(万kW)	10	13.5	10.5	80	30	27	27	198.0
保证出力(万kW)	1.5	3.2	2.65	17.5	5.7	5.5	4.8	40.9
年发电量(亿kW·h)	4.64	6.3	5.13	28	8.24	9.48	7.8	69.6
最大水头(m)	36.9	47.5	31.05	88	24	22.3	17.6	267.4
淹没耕地(亩)	1173	7466	4571	45900	5224	1000	1458	66792
迁移人口(人)	1290	6454	5993	50500	10284	3003	1445	78969
总投资(亿元)	4.18	1.93	3.68	14.52	8.39	10.45	9.44	52.6
单位千瓦投资 元/kW)	4181	1430	3506	1815	2796	3870	3496	2656.6
设计和建设阶段	规划	已建成	初步可行 性 研 究	在建	初步 设计	规划	规划	—

注：表中资料来自北京勘测设计院：汉江上游干流综合利用规划报告，1988年。

表 5

黄河北干流梯级水电站主要技术经济指标

电 站 名 称	万家寨	龙 口	天 桥	磧 口	军 渡	三 交	龙 门	禹门口	合 计
多年平均流量(m ³ /s)	990	990	1050	1140	1140	—	1230	1230	—
正常蓄水位(m)	980	897	834	785	665	638	590	390	—
正常库容(亿m ³)	9.0	1.8	0.71	24.8	1.5	1.3	114	0.7	253.8
调节库容(亿m ³)	4.5	0.9	0.4	27	0.9	1.1	43.6	—	78.4
装机容量(万kW)	102	40	12.8	150	30	20	210	14.4	579.2
保证出力(万kW)	18.7	8.8	3.6	34.9	4.5	4.3	54.5	2.4	131.7
年发电量(亿kW·h)	28.2	12.4	6.1	51.5	9.2	7.0	79.5	6.1	200
最大水头(m)	80.5	35.5	20.2	120.4	26.0	21.0	199.3	23.5	526.4
淹没耕地(亩)	3400	—	400	78600	3300	2100	18600	—	106400
迁移人口(人)	2200	100	—	53700	2100	4100	3600	—	65800
总投资(亿元)	10.76	4.62	1.65	24.36	5.97	4.40	43.14	7.26	102.16
单位千瓦投资(元/kW)	1055	1155	1289	1624	1990	2200	2054	5042	1763.8
设计和建设阶段	初设	规划	已建成	规划	初设	规划	初 设	规划	—

注：此表根据黄委会最新规划资料整理。

(三) 已完成大量前期工作，为加速西北水电开发创造了条件

在待开发的水能规划中，分别由西北院、北京院、黄委设计院和天津院做了大量的前期工作。提出了不同设计阶段的报告。其中近年来由我院完成的主要项目有：黄河龙~青段梯级开发规划和白龙江水能规划；小观音、大柳树、拉西瓦三个水电站的可行性研究，合计装机 572 万 kW；大峡、小观音、李家峡三个水电站的初步设计，合计装机 370 万 kW。我院正在进行的前期工作有：白龙江梯级规划；公伯峡、积石峡、苗家坝、小峡、乌金峡、尼那、麒麟寺七个水电站的可行性研究，合计装机 393.2~418.2 万 kW；拉西瓦、紫兰坝两个水电站的初步设计，合计装机 382.8 万 kW。

大量的勘测工作，已探明了绝大部分规划坝址的地质情况。许多设计工作已经或正在继续为西北大中型水电站建设储备项目。只待国家决策，随时都可以开工建设新的水电站。

二、西北水电建设对国民经济发展的巨大贡献

已建水电站的陆续投产，为西北地区工农业的迅速发展，作出了巨大的贡献，特别表现在下列几个方面。

(一) 出现了全国最早最大的梯级水电站群，获得了最大的水电经济效益

已建成的龙羊峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡、青铜峡五座大中型水电站，总装机容量为 324.4 万 kW，为目前国内最大的梯级水电站群，担负着全网的调峰任务。其中投产较早的刘、盐、八、青四座水电站，自 1961 年盐锅峡水电站第一台机组发电以来，截至 1985 年底，四站累计发电 1218 亿 kW·h，总产值 79.18 亿元；提供利税累计 54.69 亿元，为四站总投资 12.29 亿元的 4.4 倍。甘肃省一大批有色冶金、铁合金、石油化工，乃至新兴工业城市兰州的形成，都是和刘、盐、八三水电站提供的优质、廉价的大量电力分不开的。青铜峡水利枢纽的建成，结束了灌区无坝引水的历史，粮食单产成倍增长；对推动宁夏回族自治区的工业发展，也发挥了重大作用。特别是刘家峡水电站和水库的建成，实现了甘肃和关中的联网，并

使甘、宁、蒙三省(区)扩灌了 336~600 万亩,年增产粮食约 150 万 t。刘家峡水库还承担了下游的防洪任务,使兰州百年一遇天然洪峰流量 $8080\text{m}^3/\text{s}$ 削减到 $6500\text{m}^3/\text{s}$;而在春季解冻的凌汛期间,由于适当控制了刘家峡水库的下泄流量不超过 $500\text{m}^3/\text{s}$,基本上解除了宁、蒙沿河的凌汛灾害。这个梯级电站群发挥的巨大的发电和综合效益,在国内是罕见的。

(二) 龙羊峡水电站的兴建,把黄河上游水电的效益推上了一个新的台阶

龙羊峡水电站位于龙~刘河段之首,特别是由于它拥有一座总库容达 276亿m^3 的巨型水库,其中有效库容达 193.5亿m^3 ,可以进行多年径流调节,被称为“龙头”工程。它的 4 台总装机容量为 128 万 kW 的水轮机组,已全部安装完毕发电,联入西北电网,进入了初期蓄水运行阶段。到达正常运行阶段时,不仅其本身的年发电量近 60 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,每年可提供利税近 3 亿元,而且通过径流调节,还可以提高其下游刘、盐、八、青四座水电站的保证出力 25.48 亿 kW,增发年电量 5.13 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。它不仅是青海省的主力电站,而且是西北电网的主力电站,还为将来西北与华北、西北与四川联网创造了有利条件。此外,还可以进一步提高其下游各个梯级电站以及兰州等沿岸城市的抗洪和防凌的能力,进一步扩大综合利用的效益。例如,可以使刘家峡水库的防洪标准,由目前的 5000 年一遇提高到可能最大洪水,盐锅峡水库由 1000 年一遇提高到 2000 年一遇,八盘峡水库由 300 年提高到 1000 年一遇。另外,龙羊峡水库的灵活运用,还可为下游新建梯级降低施工洪水的导流标准,从而可以显著降低施工费用和缩短施工期限。

(三) 碧口、石泉、石门水电站的兴建,也对地区的经济发展作出了很大贡献

位于白龙江的碧口水电站,装机 30 万 kW,已于 1976 年开始发电,并已初步实现了陇南、川北和陕南的电网联结。位于汉江上游的石泉水电站,1973 年开始发电,虽然装机只有 13.5 万 kW,但由于陕西电网水电比重很小,在龙羊峡水电站投入以前,其调峰作用正在超标准发挥,效益十分显著。位于汉江支流褒河上的石门水电站,装机 4.12 万 kW,它除了供给当地以廉价电力外,还有发展灌溉和防洪等的综合效益。

三、西北水电建设对我国水电科技发展的推动作用

刘家峡、龙羊峡等一批大中型水电站的建设,在推动我国水电科技的发展上,也做出了很大贡献。

(一) 刘家峡水电站

刘家峡水电站位于黄河兰州以上永靖县境,50 年代末开工,主体工程和投产发电完成于 60 年代,而由于“文革”的干扰,竣工于 70 年代中期。在它的工程技术指标中,有不少当时在国内领先的项目。

它的混凝土重力坝,最大坝高 147m,是当时国内最高的。它的 $8\times 9.5\text{m}$ 单孔泄洪洞,设计高速水流达 $40\sim 45\text{m/s}$,单宽流量 $276\text{m}^3/\text{s}$;泄水道流速达 38m/s ,单宽流量 $258\text{m}^3/\text{s}$ 。在运行中已出现了接近设计条件的高速水流,并取得了运行与维修的重要经验。

水电站的设计装机容量为 116 万 kW,单机最大为 30 万 kW 双水内冷机组,地面、地下混合式厂房在当时国内为首次采用,厂房的最大跨度 38.5m、高度 58.75m,都属当时国内最大和技术最复杂的厂房结构。输电线路采用了 330kV,也是当时国内最高的等级。

水电站在运行过程中,还取得了异重流排沙以及对出口形成泥雾采取防范措施的经验,

对多沙河流的水电站建设,都具有重要的科学意义和现实意义。

水电站的全部设备,都是由国内自行研制生产的,其中不少设备,例如大机组、超高压输电成套设备以及高压阀门等,在国内还无先例,都是先研制、后生产,有力地带动了有关工业部门和国内水电建设的发展。

(二) 龙羊峡水电站

龙羊峡水电站位于青海省共和县境。这里海拔在 2400~2700m,高寒缺氧,进行大规模水电站建设,难度很大。工程兴建于 70 年代中期,完成于 80 年代。目前还有一些尾工正在进行。该电站在技术上,有不少在目前国内领先的项目。

水电站的混凝土重力拱坝,最大坝高 178m,为目前国内最高。基岩地质条件复杂,断裂发育,两岸坝肩被多条大断层和裂隙所切割。对它的试验、计算和采取的处理措施,保证了大坝的安全,被一些外国专家称作挑战性工程。电站总装机 128 万 kW;单机 32 万 kW,为目前国内最大。为适应大容量、高电压和高海拔的要求,电器系统的设计,吸取国内外科学研究成果,进行了技术开发。它有 6 回路 330kV 出线,高压开关为 363kV 配电装置,选用了 SF₆ 绝缘全封闭组合电器,处于全国的先进行列。

在校核洪水位以下,水库总库容为 276 亿 m³,有效库容 193.5 亿 m³,库容系数高达 0.94,可以进行径流多年调节,为国内库容最大、调节性能最高的巨型水库。由于地处高寒,在工程施工方面,需要解决一系列独特的技术问题。

龙羊峡水库坝前库岸有高达 500m 的陡削黄土岸坡,1943 年曾发生过国内有名的查纳大滑坡,掩埋了一个村庄,并迫使黄河一度断流。这个大滑坡对施工和初期蓄水期间,都构成很大威胁。因此,对它的监测和涌浪试验、预测,组织了专门的科技协作,坚持长期观测研究,积累了丰富的资料和经验。

1981 年 9 月,在施工过程中的围堰挡水阶段,黄河上游曾发生了有实测水文记录以来的最大的洪水,洪峰和洪量都超过了百年一遇,远远大于施工设计洪水标准。在作了溃堰的最坏打算的同时,进行了及时正确的计算分析,采取了紧急的抢险措施,取得了施工工期超标准防洪的重大胜利和经验。

龙羊峡水电站的投入,使黄河上游已建的梯级水电站达到了 5 个。在梯级水文计算、梯级出力计算和梯级联合调度方面,都积累了一些新的经验。

(三) 其它水电站

在已建的其它一些大中型水电站中,科技方面也有不少可资借鉴的先进经验。例如,在黄河上游最早建成并于 1961 年底发电的盐锅峡水电站快速施工的经验;石泉水电站的空腹坝和石门水利枢纽的高双曲拱坝的筑坝技术;碧口水电站和石头河水利枢纽的高土石坝筑坝技术,等等,当时在国内都处于先进地位,其中 1975 年竣工蓄水高 101m 的碧口土石坝和 1981 年竣工蓄水高 114m 的石头河土石坝,当时都曾是国内最高的土石坝。

四、西北水电建设具有投资省、工期短和淹地少的显著优越性

随着时间的推移,现在已有越来越多的人逐渐认识到水电的明显的优越性。但是,过去有人不加分析、笼统地强加给水电的“三顶帽子”,即投资大、工期长和淹地多的三大缺点,至今还有一定影响,有待不断地进行宣传 and 澄清。西北水电建设的实践,则是水电优越性最有力的见

证。完全可以这样说：在西北大中型水电建设中，根本不存在“三顶帽子”的问题，相反地，恰恰是投资较低、周期较短和淹地较少。下面通过事实加以说明。

（一）投资相对较低

我们曾对 60 年代建设的甘肃刘家峡、盐锅峡和八盘峡三座水电站（总装机 169.2 万 kW）和西固、永昌和连城三座火电站（总装机 59.9 万 kW）的投资，进行过分析比较。按单位千瓦投资计算，水电平均为 569 元/kW，而火电平均则为 631 元/kW。水电的投资明显低于火电。需要指出，在上述的水电投资中，还包括了灌溉、防洪的投资，如果按经济效益实行投资分摊，则水电的单位千瓦投资，将降低到 504 元/kW，就更低于火电的投资了。

（二）建设周期不长

水、火电建设周期长短的比较，要有一个统一的标准，才能达到客观公正。批评水电工期长的人们，至少有两点是不够公正的。其一，对火电建设周期的计算，仅仅就火电论火电，而没有把需要同步开发煤矿的时间计入，这就模糊了火电是二次能源开发，水电是一、二次能源同步开发的根本区别；如果煤炭产量富裕，可以充分供应，上述计算方法，还勉强说的过去，但我国的情况是，可以供应火电的煤炭不足，而且其紧张程度与日俱增，因此不考虑同步开发煤炭，则火电建设无异纸上谈兵。其二，计算火电和煤炭只从正式开工之日算起，而对水电则从准备工作开始，这也是不公正的，如果从正式开工（基坑开挖）之日算起，刘家峡水电站从 1965 年 10 月进入基坑开挖，到 1969 年 4 月第一台机组发电，只用了 3.5 年的时间；算到 1974 年 12 月 5 台机组全部投产，则为 9 年。龙羊峡 1981 年正式开工，1986 年开始蓄水，1987 年第一台机组发电，历时 7 年；如算至 1989 年 4 台机组全部投产，也是 9 年。为供应同级火电厂所需的煤矿建设，一般需要 10 年以上，因而火电及配套煤矿的建设工期，并不比水电为短，甚至更长一些。此外，装机 35.2 万 kW 的盐锅峡水电站和装机 13.5 万 kW 的石泉水电站，从开工到第一台机组发电，均只用了 3 年的时间，应该属于快速施工的典型了。

（三）淹地不多，在多沙河流上且有很强的恢复再生能力

黄河龙一青段梯级水电站的水库淹没土地，平均为 73 亩/万 kW，仅为全国平均数的 3%，特别是黄河上游最大的拉西瓦水电站尤为突出，设计装机 372 万 kW，仅淹没一个 150 人的村庄和 300 亩土地，在国内外都是罕见的。在黄河修建水电站淹没问题的另一个特点是，土地淹没后，还有很强的恢复再生能力，过不了几年，又会淤出新的土地。特别是径流电站，不仅淹没土地的恢复再生的速度很快，而且再生的土地，有的还会大于淹没的土地。青铜峡、盐锅峡、八盘峡都发生过类似现象。刘家峡水电站是高坝大库，被淹土地无法完全恢复，但淹了 7 万亩，黄土原上却新发展了 11 万亩水浇地。所以总起来讲，在西北地区进行水电站建设，淹地问题是不难解决的。

其实，水电的优越性，从根本上来讲，还在于它运行的经济效益上。水电站以人员少，成本低和综合效益显著，具有无可争辩的经济效益。仍以前述甘肃的水火电站为例，根据 1985 年统计，刘、盐、八三座水电站的运行人员为 12.52 人/万 kW，而西、永、连三座火电站的运行人员为 72.27 人/万 kW，水电单位装机运行人员数只及火电的 17.2%。三水电站的生产成本为 59.1 元/万 kW，而三火电站的生产成本则为 326.8 元/万 kW，水电生产成本仅为火电的 18.1%。对比一下，水电的经济效益高于火电，已是毋庸置疑的事实了。其它如水电站的灌溉效益、防洪效益和清洁再生等社会效益，均为火电所不及，就不再一一列举了。