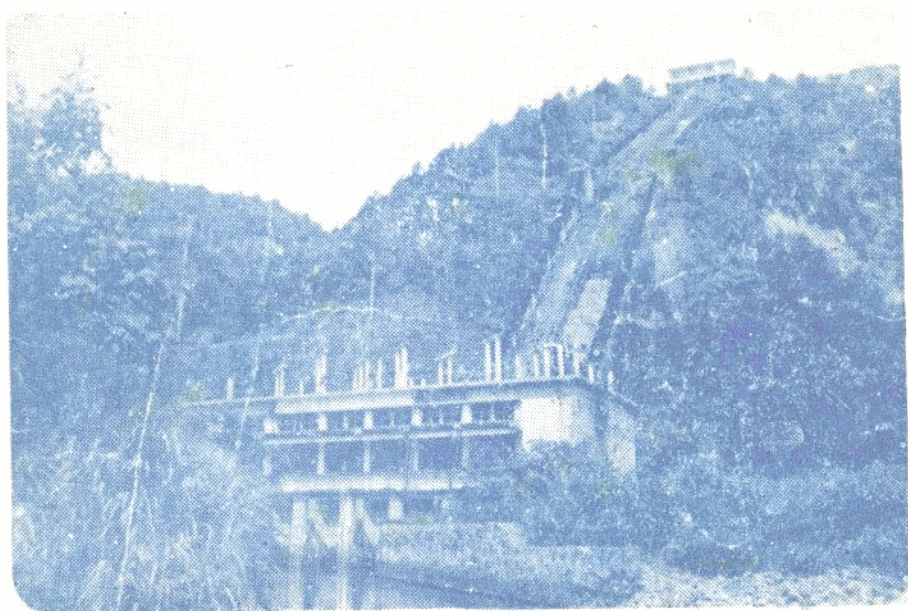


全国小水电水力机械技术经验交流会

文 章 选 编



水 利 电 力 部 农 电 司
全国水利水电水力机械情报网

一九八五年十月

PDG

前 言

我国水力资源丰富，发展小水电的条件很好。积极发展小水电事业，对促进乡镇企业的发展，繁荣农村经济，具有重大意义。中央对解决农村用电问题十分重视。各地坚持国家办电与地方办电相结合和贯彻执行小水电“自建、自管、自用”的方针，以及“以电养电”的政策，调动了地方、群众办电的积极性，使小水电建设事业得到了迅速的发展。到1984年35周年国庆前夕，全国已建成小水电近77,000座，装机容量达875万千瓦，为全国大中小水电总容量的1/3。我国小水电建设的成就和经验，为我国实现农村电气化奠定了良好的基础。

随着小水电建设事业的发展，小水电水力机械设计工作也取得了很大成绩。为了总结和交流经验，讨论小水电水力机械方面的关键问题。由水力机械情报网建议，在水利水电规划设计院和水利电力部农电司共同主持下，于一九八四年十月在四川省乐山市召开了“小水电水力机械技术经验交流会”。水利水电水力机械情报网《水力机械技术》编辑部在水电部农电司的关心和支持下，将这次会议的有关文件和文章进行了审选汇编，供有关单位参阅。由于编者水平有限，不妥之处，请批评指正。

编 者

一九八五年九月



前 言

水利电力部司局文件	····· (1)
小水电水力机械技术经验交流会纪要	····· (2)
峨眉山水系小水电的梯级开发	····· 汪农庄 (4)
水轮机调节与经济开发问题	····· 寿梅华 (11)
对国内水电站设计中现行调节保证计算方法的若干意见	····· 常近时 牛笑莲 (16)
对小型水电站200—400米水头段的水轮机机型选择的探讨	····· 胡思月 (21)
小型水电站机组的选型及其辅助设备设计运行调查总结	····· 耿素珍 王才宏 (29)
利用改型转轮提高水轮机运行效益	····· 李国梁 (35)
山西省汾河水电站设计中的若干改进	····· 龙国瑞 (42)
新疆胜利渠一级水电站1*机组增容改造情况简介	····· 新疆水利水电设计院 (48)
福建连城水电厂的技术改造	····· 童润幸 (56)
福建向阳水电站水力机械设计总结	····· 福建省水利水电勘测设计院 (60)
农村小型水电站自动化程度的探讨	····· 四川省涪陵水电勘测设计队 凌则鑫 (67)
改进设计, 提高效益	····· 广东省水电厅农电局 (73)
部分混流式水轮机汽蚀破坏的调查	····· 乌定康 (76)
江西庐山水电厂二级站机组运行情况	····· 江西省水利规划设计院 (80)
对小水电站噪音问题的初步分析	····· 孙立成 (86)
四川羊子口水电站DT—1800调速器抽动原因分析	····· 陈其秋 (89)
水轮机流量的简易测定方法	····· 张 利 (93)
河南薄山水电站应用调压阀情况介绍	····· 张玉森 (96)

水利电力部司局文件

(84)农电水字第33号

转发小水电水力机械技术经验交流 会 议 纪 要

各省、市、自治区水利（水电）厅（局）：

我部在水利水电规划设计院、农电司的共同主持下，于1984年10月中旬在四川省乐山市召开了“小水电水力机械技术经验交流会”。现将会议纪要转发给你厅（局）。请结合你省、市、自治区的具体情况，切实做好水力机械的设计选型、施工安装、运行管理工作，以提高机组设备效率和经济效益。

为适应小水电建设中国式农村电气化试点县的发展，要切实加强技术情报工作，不断总结小水电水力机械设计技术先进经验。结合有待解决的关键问题，与有关设计、科研、生产、管理部门密切联系，明确主题，有计划有步骤的攻关，为小水电水力机械技术现代化作出新贡献。

附件：小水电水力机械技术经验交流会议纪要

水利电力部农电司

一九八四年十二月三十日

抄送：水利（水电）厅（局）设计院、部属水电设计院、高等院校、设备制造厂所、水电期刊出版情报所。

小水电水力机械技术经验交流会议纪要

由全国水力机械设计专业情报网的建议，在水利水电规划设计院、水利电力部农电司共同主持下。于一九八四年十月中旬在四川省乐山市召开了“小水电水力机械技术经验交流会”。参加会议的有部分省、市、自治区水利（水电）厅（局），省、市、自治区水利（水电）厅（局）设计院。少数地区水电局和设计队，部属设计单位，高等院校，设备制造部门，水电期刊、出版、情报等七十个单位的代表共一百余人。会议交流了经验、讨论了如何提高水机设计质量，以提高小水电效益、降低造价、选择最优方案和保证电站安全可靠运行等问题。

水电部农电司的同志介绍了建国三十五年来我国小水电的发展情况及建设具有中国特色的100个农村电气化试点县等问题。代表们认为，我国水能资源丰富，发展小水电的条件很好。各地坚持国家办电与地方办电相结合和贯彻执行小水电“自建、自管、自用”的方针，以及“以电养电”的政策，调动了地方、群众办电的积极性，使小水电建设得到了迅速的发展。到35周年国庆前夕，全国已建成小水电近77,000座。装机容量达875万千瓦。我国小水电建设的成就和经验，为我国发展农村电气化奠定了良好的基础。

随着小水电建设事业的发展，水力机械设计工作同样也取得了很大成绩。小水电的机组容量从小到大，从简单技术到采用转为先进的技术，设计队伍不断壮大，有了水轮发电机组的型谱系列，小水电设备年利用小时和运行效率逐年提高。小水电的水力机械设计工作，是联系小水电科研、制造、安装、运行部门之间的纽带，对促进我国小水电事业的发展起到了应有的作用。

这次会议的主要讨论意见如下：

一、经验与体会

1. 小水电站的机型选择，必须进行方案比较和技术经济论证。择优选用。有的地区根据河床比较开阔、水头低、流量大的特点。研制使用贯流式水轮机，降低了电站投资，提高了机组效率。对较高水头的电站，以往多选用水斗式机组，有的地区在设计中进行水斗式和混流式两种机型的方案比较来选定。经验表明在一定的条件下，选用混流式水轮机，可以多利用几米水头。提高比转速，改善运行条件，降低造价。对于低水头梯级开发的小水电站。为简化枢纽布置和机电设计，便于安装检修和管理，尽可能选用同一种机组是有利的。

2. 单机容量或机组台数的选择，必须结合小水电的特点，以能做到安全运行、提高经济效益为前提。对于无调节能力的径流式水电站，选择机组台数时既要照顾到丰水期能充分利用季节性电能，又要避免积压设备容量。对于单机容量的选择，要考虑到供电负荷的情况和枯水期保证出力的要求。一般情况下，可考虑采用两台容量相同的机组。

3. 电站的自动化程度，应因地制宜地确定。对于小水电的油、水、气系统等厂用辅助设施，可适当简化。对于并入电网运行的机组，当机组和电网解列后可通过接通水阻解决飞车问题

时,可考虑用电动或油压操作机构代替自动调速器,以利节省投资。但对于较大容量机组,必须装置自动调速器,并注意提高电站的自动化水平。

4.根据具体情况,以提高小水电的经济效益和降低工程造价的适当工程措施。如在一定的条件下,采用虹吸式进水口,可以取消进口闸门或水轮机进水阀;对于取消调压井或调压阀后,调节保证尚难以满足要求的小水电站,可研究采用导水叶的分段关闭或延长导水叶的关闭时间的措施,以满足运行要求,对运行电站中有缺陷的机组进行技术改造和完善化,更换质量差、效率低、不能满足运行要求的水轮机转轮,可提高电站效益。

5.在研讨工程设计方案时,应充分吸取水机专业人员的意见。对于小水电站,机电部分特别是机组部分,在整个工程投资中所占的比重较大,又是发挥效益的重要环节。因之,必须重视水机设计人员对设计方案提出的意见。

二、存在问题及今后发展方向

1.要加强小水电设备的技术改造和完善化工作。对于转轮方面应以性能优良的转轮去替换陈旧过时的转轮;增加适合小水电特点的新水轮机的品种研制工作,以提高产品质量和满足用户的需求;对于较大容量机组实行招标选厂;小型水轮机暂行系列型谱已不能满足要求,应抓紧修改和完善。

2.要加强工程规划设计工作,及时制定有关规程和严格执行审批制度。要加强小水电的科研工作,增加科研经费;对小水电机组方面存在的问题,要组织力量攻关;设计工作中要大力推广应用电子计算机;研究抽水蓄能技术。

3.加强培训,提高小水电水机设计水平。通过轮训、办短训班、脱产学习等办法,努力提高业务技术水平,促进设计人员有目的、有重点地对一些典型小水电站进行回访。每隔2~3年召开一次小水电水力机械设计技术经验交流会,探讨小水电建设中共同关心的问题。下次设计技术经验交流会初拟以小水电水机方面的技术改造和完善化的技术问题为主要内容。

4.加强小水电水力机械设计方面的基础工作。组织出版小水电设计图集、编制定型设计,及时修订小水电设计方面有关规程规范和设计手册,及时交流小水电的科技情报和有关信息。以更快的速度适应积极发展小水电建设中国式农村电气化试点的形势,为四化建设作出更大的贡献。

峨眉山水系小水电的梯级开发

汪 农 庄

(四川省乐山地区水利水电勘测设计队)

峨眉山位于川西平原西缘,北靠青衣江,南邻大渡河。青衣江至峨眉山区间为四川最大的降雨地带,由于植被良好,山系小流域落差超万米,构成了高水头梯级电站群的开发条件。

峨眉山水系的中、小水电蕴藏量达 100 万千瓦,可开发容量为 63 万千瓦,已投产与在建项目的总装机容量为 7.7 万千瓦,其中小水电容量超过 2 万千瓦的洪雅、峨眉两县被列为全国农村电气化试点县。1983 年联合国专门小组曾来峨眉山区参观和考察小水电的建设情况。

三十年来,峨眉山小流域高水头电站群的连续开发取得了显著的技术经济效益,同时,在规划、勘测设计、施工安装及运行管理各方面均积累了地方办电的经验。

一、梯级开发状况

(一) 龙池河

峨眉山水系梯级开发布置见下图。

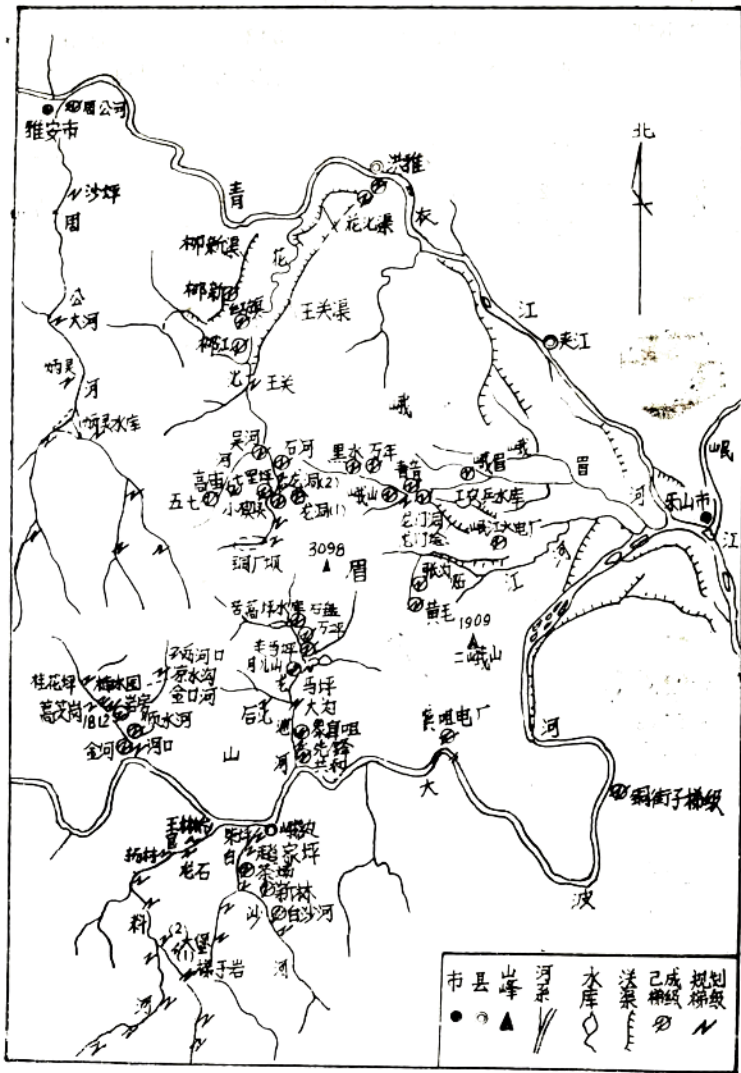
龙池河位于峨眉山南麓,为大渡河下游左岸的一条支流,集雨面积为 328 平方公里,多年平均降水量为 1,033 毫米。干流长 27 公里,落差为 880 米,平均比降为 32.6%,多年平均流量为 8.32 米³/秒,流域水能蕴藏量为 3.3 万千瓦,可开发容量为 2.5 万千瓦。1955 年至 1967 年建成了 5 个主要梯级(见表 1),共装机 9 台,装机容量 17,560 千瓦,待装机容量为 2,160

龙池河梯级电站规划与开发情况

表 1

梯级电站名称	设计水头(米)	引用流量(米 ³ /秒)	装机容量(台×千瓦)	设计年发电量(万度)	年利用小时数(小时)	工程投资(万元)	投产年份
苦 蒿 坪						505	1967
石 盘	265	2.1	2×2160	3160	7320	277	1958
万 坪	265	2.1	2×2160	3360	7752	260	1957
走 马 坪	100	2.1	1×1580	1163	7370	86	1960
月 儿 山	60	3.0	2×630	858	6820	168	1967
马 坪	42	1.5	2×200				规划
大 为	34	4.2	2×500				设计
后 溪	140	1.4	2×630				规划
象 鼻 咀	95	7.7	1×4500 1×1580	4510	7400	850	1966
先 峰 岗	18	7	2×500				规划
共 和	7	3	1×160				1980
合 计	1026		21380				

千瓦，近期拟建装机容量3,580千瓦。在梯级上游海拔1,420米处的苦蒿坪，兴建了一座不完全年调节水库，总库容为474万立方米，主要起调节流量、防洪削峰的作用，可调水头810米。龙池湖是天然湖泊，通过恢复配套，调节库容有180万立方米，可调水头220米。



峨眉山水系梯级开发布置图

龙池河梯级是我国开发较早的小流域水电工程之一。水库和电站总投资2,337.6万元，至1983年底共发电20.56亿度，累计产值为13,364万元，已上缴的利润约为造价的2.7倍，年平均纯利润300万元左右。梯级平均每千瓦装机需开挖的工程量为15立方米，砌筑量为5.6立方米，混凝土1.8立方米，耗用钢材66公斤、木材0.27立方米，水泥0.79吨。5级电站平均千瓦造价947元。主要梯级和水库仅用8年建成。

(二) 峨眉河与临江河

峨眉河与临江河平行汇流于大渡河口附近。峨眉河河长约50公里,集雨面积为486公里,总落差为1000米,多年平均流量为17米³/秒。由于落差集中的上游汇水面积较小,支流较多,宜于分散开发小型梯级电站。临江河集雨面积为342平方公里,总落差约为700米,中、下游开阔平坦,上游具备建小(2)型水库电站的条件。峨眉山与临江河梯级电站情况见表2。

表2中,峨山电站为全省最大的区办电站,由集体及群众、厂矿和企业集资245万元,两年建成。到1983年已完成产值250万元,为基层办电的典范。张沟电站设计水头为140米,装机容量为820千瓦,运行两年,其年利用小时数达5,000小时,是村办电站的典型工程。

峨眉河(临江河)梯级开发情况

表2

梯级电站名称	设计水头(米)	引用流量(米 ³ /秒)	装机容量(台×千瓦)	年利用小时数(小时)	工程投资(万元)	投产年份
万年	64	0.1	1×55			1975
黑水	35	0.7	2×75			在建
峨山	217	1.7	2×1250	7557	245	1979
青音	120	0.7	3×320	4170	60	1979
龙门洞 ^①	40	2.2	2×320			规划
龙门洞 ^②	20	3.0	2×250	3960	50	1959
黄毛 ^①	63	0.3	2×65			在建
黄毛 ^②	75	0.3	2×75			在建
张沟	140	0.85	1×320 2×250	5000	80	1981
合计	774		5905			

(三) 花溪河

花溪河发源于峨眉山西北面的毡帽山和弓背山,干流长56公里,总落差为1,240米,是青衣江下游右岸支流。花溪河集雨面积达730平方公里,流域雨量充沛,植被良好,地下水发育。水力蕴藏量为10.6万千瓦,可开发容量为7.5万千瓦,目前已开发2.64万千瓦,正在开发的有1.1万千瓦(见表3)。其中吴河电站,其工作水头为205米,引用流量为12.6米³/秒,装机容量2万千瓦。花溪电厂(包括吴河与高庙电站的2,500千瓦)从1970年投入运行,至1983年已完成发电量15.29亿度,累计纯利润3,778万元,为总投资2,058万元的1.83倍。

花溪梯级上游(吴河以上)规划兴建一座年调节水库——铜厂坝水库,其占地面积小且动能指标优越。在王关、柳新梯级下游是沿河一级阶地的农业高产区,已建成花溪渠、柳新渠和王关渠中型引水工程,控制和灌溉农田约10万亩。待流域综合开发完成后,可实现上游水库调洪补枯、养殖与旅游,中游多级开发,下游灌溉和多种经营的兴旺局面。

花溪河梯级电站开发情况

表 3

梯级电站名称	设计水头 (米)	引用流量 (米 ³ /秒)	装机容量 (台×千瓦)	设计年发电量 (万度)	年利用小时数 (小时)	工程投资 (万元)	投产年份
铜厂坝水库	35	3.0	2×320	388	6070		规划
小楔头①	215	3.0	2×2000				规划
小楔头②	249	3.0	2×3000	3122	5204	703	在建
七里坪	85	2.3	4×320	922	7200	157	1980
冷水沟	70	3.0	2×800				规划
龙洞①	33	2.3	1×160 1×250	310	7560	37	1977
龙洞②	124	2.4	2×1000	1152	5720		设计
石河	142	4.6	2×2500	3361	6722	673	在建
五七	42 72	0.17 0.20	1×50 1×160				1971 1975
高庙	214	1.6	2×1250	1900	7600	245	1967
吴河	205	12.2	2×10000	14383	7190	1805	1970
王关	123	12.6	2×6300	8012	6360		1971
江咀	22	11.0	2×800				规划
柳江	96 43	0.15 0.15	1×125 1×125				1978 1975
花溪红旗	90 210	0.2 3.5	2×125 1×250				1961~1973
柳新	214		4×1250	3321	6650	391	1979
合 计	2284		63590				

白沙河梯级电站规划与开发情况

表 4

河 段	梯级电站名称	设计水头 (米)	引用流量 (米 ³ /秒)	规划装机容量 (千瓦)	多年平均年发电量 (万度)	年利用小时数 (小时)
白沙河上游	霍麻湾	160	1.40	1600	1275	7969
	白沙河(已成)	218	1.54	2500	2060	8242
	新林(在建)	142	3.80	4000	2470	6140
白 扬 河	白扬	135	1.53	1260	1011	8028
	大泉山	135	1.53	1430	1117	7818
白沙河下游	庙子岗	90	4.60	3200	2193	6854
	茶场(已成)	30	6.50	1300	917	7054
	赵家坪	45	5.00	1600	1223	7645
	柒坪	45	5.00	1600	1223	7645
流域小(1)型以上梯级		1000		18490	13489	7295

(四) 白沙河

白沙河是大渡河右岸的一条支流，梯级开发情况见表4。河长38公里，可利用水头在1,400米以上，年平均流量为7.47米³/秒。其水力蕴藏量为3.3万千瓦，可开发容量为2.4万千瓦，白沙河电站投资330万元，自1979年投产以来，除全部还清了借贷外，每年可得净利润50万元，对转变彝汉地区经济面貌起了重要作用。白沙河35千伏线路已与龙池河梯级并网。

(五) 金口河

金口河为大渡河左岸支流，集雨面积237平方公里，该河两条主要水系各可利用水头约1,000米，年平均流量为9.8米³/秒。由于顺水河上游有四个天然湖泊可用来调节径流，故枯水期保证流量为2.76米³/秒左右。同时，因梯级靠近工业区，兴建小水电除满足农业与地方企业外，还可补充电网基荷，具有较好的经济效益。

金口河流域可建骨干电站约10个以上（见表5），按保证出力的一半规划的梯级装机容量为24,575千瓦，目前已投产1,040千瓦。

金口河梯级电站规划与开发情况

表5

河 段	梯级电站名称	设计水头 (米)	引用流量 (米 ³ /秒)	装机容量 (千瓦)	年发电量 (万度)	年利用小时数 (小时)
野 牛 河	两河口	240	0.9	2×800	1055	6540
	凉水沟	213	1.00	2×800	1100	7000
顺 水 河	桂花坪	355	0.94	2×1250	1630	6510
	芝蒿岗	150	1.78	2×1000	1360	6360
	楠木园	185	2.24	2×1600	2100	6860
	岩房	350	1.22	2×1600	2240	7000
	4812 (已成)	23.5	3.20	2×250	300	6000
	顺水河 (在建)	253	3.20	2×3200	5020	7843
	金河 (已成)	18	2.70	$\begin{cases} 2 \times 160 \\ 1 \times 55 \end{cases}$	243	6500
金 口 河	河口	40	10.0	2×1600	1070	6760
合 计		1832.5		22957	17248	

(六) 官料河与炳灵河

官料河为大渡河右岸支流，干流长88公里，多年平均流量为51.1米³/秒。规划20个主要梯级，累计工作水头达2,700米，水电理论蕴藏量为36万千瓦，可开发容量在19万千瓦以上（见表6）。官料河下游可建5座坝后式电站，合计装机容量5万千瓦。目前小（2）型工程装机不到1,000千瓦，优越的水力条件尚待开发。

炳灵河又名周公河，多年平均流量为3.93米³/秒，总落差在3,300米以上，流域可开发容量

约31万千瓦。炳灵河上游3条支流有建立旬调节水库的条件，中游计划兴建一座大型水库。官料河梯级电站情况见表6。

官料河梯级电站规划情况

表 6

河 段	电 站 名 称	设 计 水 头 (米)	引 用 流 量 (米 ³ /秒)	规 划 装 机 容 量 (千瓦)
西 河	拉曲姑	90	5	3200
	母举	90	6	4000
	勒乌	150	8	10000
	顺河	150	10	12000
	瓦基	300	3	7500
	依乌	100	3	2500
	西河	270	15	24000
	金岩	100	20	16000
	双溪	100	25	20000
长 滩 河	万坦坪	240	2	3200
	万坪	70	4	2000
	梯子岩	150	5	6000
	大堡 ^①	255	6	12000
	大堡 ^②	255	6	12000
官 料 河	茨竹	250	2	4000
	官料河	32	35	8000
	西溪河	40	40	12000
	杨村	40	40	12000
	龙石	32	40	10000
	王林桥	32	40	10000
合 计		2766		190400

二、几点体会

(一) 高水头引水式电站的开发原则

1. 实行流域统一规划，灌溉、发电、防洪、及水土保持相结合。
2. 做好水文、地质勘测的前期工作，以保证总体开发的顺利进行。
3. 充分利用山区水头高的特点，在工程设计中做到经济合理。
4. 中、小水电站并举。省、地、区、乡及村应实行自办或联办，尽量统一联网、分级调

度和经济核算。水力资源不平衡的应实行跨区开发。

5.要重质量、重工期、重经济效益。应有一个稳定的机构抓基建与电网供销,保证梯级开发的连续性。

(二) 建立“龙头水库”和“龙尾水库”

山区小流域一般多采用小流量、高水头引水式电站,且上游修建“龙头水库”以调节径流是发展地方水能的有效途径。例如,龙池河梯级的苦蒿坪水库库容仅474万米³,经过多年运行,枯水期水量调节增加了35%,加上中水期复蓄应用,龙池梯级出力比建库前提高1.5倍,梯级电站多年平均利用小时数达到5,239小时。规划的花溪河铜厂坝水库,总库容2,000万立方米,水库建成后,枯水期可调流量增加至2米³/秒,梯级9个电站的保证出力可增加16,500千瓦,对提高地方电力系统供电的质量和节约燃料具有重要的作用。

在有条件的地方,也可兴建“龙尾水库”。例如洪雅总岗山水库,灌溉渠系前有落差120米,电站处有建立下游水库的条件,以形成小型抽水蓄能梯级电站。

(三) 电站布置与水机选择

1.梯级电站的分级应在水能指标合理的前提下,结合建筑物基础条件和水轮机特性加以选择。流域分级开发不宜过多,以减少枢纽工程的重复投资和精简运行管理机构。

2.主、副厂房布置在洪水位以上,以降低防洪墙高度,改善通风、采光条件,利于检修,剩余水头由下级电站引用。

3.采用合理的吸出高度,以降低工程造价和方便运行管理。

4.选择最优工况区的水轮机转轮。采用合金钢或不锈钢材料,与铸钢比较,其增加的差价仅相当一次停机检修的发电损失。

5.目前,国内水轮机型谱系列已基本适应小水电站不同水头的开发规模。在高水头中小容量区段,水轮机型式、型号、台数、效率的选择应与投资和设计制造技术难度等进行综合比较,使电站建设达到造价低、效益高的目的。

水轮机调节与经济开发问题

寿 梅 华

(北京农机学院水力机械研究所)

一、引 言

现在, 小型水电站正面临迫切需要解决经济开发问题。机型、结构形式和材料的正确选择, 以及设备的合理操作和使用。固然涉及工程的经济性, 但在工程设计时按照正确的设计方法论, 也会产生相当的经济效益。本文拟从水轮机调节这个角度讨论水电站工程经济开发问题。

技术评价活动是任何工程最基本的内容之一, 水电工程开发设计评价的一个基本方面, 也是最重要的方面, 就是性能评价, 即用某些技术指标来描述经济技术条件。

具有压力引水系统的大、中、小型水电站, 均须正确处理水轮机调节问题。水轮机调节是水电站运行管理中涉及供电品质和运行安全可靠性的一个重要问题。

水轮机调节保证的技术指标是用下列准则来描述的:

(一) 在给定的引水系统水流惯性常数 T_w 值条件下, 选定合理的导叶开启和关闭时间 T_s 值和机组惯性时间常数 T_J 值, 在水轮机甩全负荷时保证机组安全可靠运行, 引水系统的压力变化和机组的转速变化在允许范围内。

(二) 在 T_w/T_s 比值下, 保证调节系统在所有运行工况下是稳定的。水轮机的频率调节和有功功率调节符合动态品质要求。

T_w 值和 T_s 值包含有工程投资问题, 因此, 调节保证准则中也含有工程经济意义。尤其对于非常规的调节条件下节约工程投资具有明显的现实意义。

二、非常规的调节条件

对于一些中、高水头的小型水电站, 往往具有很长的引水管道, 例如 $T_w = 4 \sim 6$ 秒, 机组的 $T_s = 7$ 秒, 当接力器全行程时间 $T_r = 20 \sim 50$ 秒, 此时保证甩全负荷时压力上升值 $\zeta = \Delta H_{max}/H_0 = 0.20$, 而机组转速已达到或接近水轮机飞逸转速。这个调节条件是完全非常规的, 超过了现在推荐值 $\beta_{max} = 0.4 \sim 0.55$ 。显然, 在这样长的引水管道下, 减短接力器关闭时间, 对转速上升不会显著降低, 反而使水锤值有很大的增加, 这对水电站造价是很不利的。

延长水轮机关机时间后, 会提出下列一些问题:

1. 甩全负荷时水轮机和发电机在飞逸转速下延续运行60秒对机械强度和安全可靠性有保证吗? 根据水轮发电机组技术条件规定, 机组的强度保证要求在飞逸转速下安全运行 $2 \sim 5$

分钟。主要困难可能在于电站运行人员的思想顾虑和心理状态不习惯于在超过额定转速下长时间运行。

这个问题下面还要进一步分析。

2. T_v 值远大于 $2 \sim 2.5$ 秒的调节品质能保证吗？

这里的调节品质是指下列实际内容：

第一，在空载运行时水轮机运行稳定性。

有关文献表明， $T_v = 4 \sim 6$ 秒， $T_r = 43$ 秒，在 $b_r = 0.5$ ， $T_d = 3$ 秒时空载几乎没有超调量，调节品质是能保证的。

第二，并入电网后的运行稳定性。只要水电站不是在孤立电网中运行，稳定性也是保证的。

第三，能满足担任调频和负荷调节的任务。对于这种电站的水轮机调节性能一般要求：

a) 随着负荷扰动应保持频率瞬间偏差为最小值；b) 调节过程结束后，电网频率应尽可能接近标准值。

为了说明这个问题，我们不妨将电网中的水电厂分为两类。第一类对于 $T_v \leq 2 \sim 2.5$ 秒的水电站，称为调节性能好的水电站，可以将调节参数 b_r 、 b_t 、 T_d 和 T_r 值整定在快速档。这类电站，根据电网频率变化，显然能快速响应负荷扰动，从而能够保持电网频率偏差为最小。第二类为 $T_v \geq 4 \sim 6$ 秒的长引水管道调节性能差的水电站，应该最后承担大部分负荷，如果这些电厂的永态调差率 b_r 整定得较小是很容易安排的。这样，调节性能好的电厂紧随负荷变化而很快承担负荷变化部分，以后逐渐将负荷重新转移到其它电厂。

因此，即使没有调压井，采用比较长的导叶关闭时间，电站还可以满足条件 (b) 的要求。

应该指出，设置了调压井，旨在限制调压井的上游隧洞或管道系统的压力波传播。事实上，低压隧洞能够承受压力波动，而且不会额外增加费用。而调压井对低压系统的保护，并不是确实可靠的，这一点，近年来的水力系统发生共振现象，对低压隧洞的破坏已经表明了。

三、水轮机调节的实际条件

目前，评价水轮机调节性能通常假定每台水轮机在孤立系统中运行。负荷条件也考虑有同样的特点。这样的假定条件认为是研究问题的最不利情况。这种思想方法导致恶劣的稳定条件，因而结果要求装置调压井或调压阀，用来减小 T_v 值以改善调节条件。显然增加了水电站的建造费用。实际情况是，即使对于农村小电站，首先由于工农业的发展，形成联合电网的条件总是存在的。因此，对瞬变负荷 ΔP 总的趋势只有负荷的一个很小的百分比，大概与系统容量 P 的平方根成比例，即

$$\Delta P = r \sqrt{P}$$

如果某个 100MW 的系统，记录过 1 MW 的骤变负荷，若过了一个时期电网扩大了一倍，负荷变化仅为 1.4 MW。为对付小负荷变化而在引水系统中专门设置调压井则没有必要。其次，孤立运行假定的现实性，根据系统运行实践证明也是很罕见的。当然，在农村完全单机运行也是有的，这种特殊情况则当别论。

四、导叶接力器全行程时间的意义

一般认为导叶开启时间的快慢，标志了水轮机的负荷调节能力，为了增大水轮机增负荷的速动性，对于长引水系统的水电站，往往要求增设调压井，而且作为确定调压井尺寸的一项主要因素。然而，这个结论不一定可靠。试看下列分析：

设一合理的PI调速器，接力器运动方程可用简化式描述：

$$\frac{dy}{dt} = - \left(\frac{x}{btT_d} + \frac{1}{bt} \frac{dx}{dt} \right) \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{p}{T_a} \quad (2)$$

式中 y — 接力器位移相对偏差， T_a — 机组惯性时间常数，
 x — 转速相对偏差， p — 负荷相对偏差，
 bt — 暂态调差率， t — 时间。
 T_d — 缓冲时间常数；

如果系统总的自调节系数有一定数值，可以认为调节作用是随着负荷的突然变化而产生的，导叶运动的最大速率也是在负荷骤变后立即产生的：在此调节瞬间， $x = 0$ 。因此，导叶运动的初始速率为

$$\frac{dy}{dt} = - \frac{1}{bt} \frac{p}{T_a}$$

因为 $dy/dt > 1/T_s$ 式中 T_s 为接力器开启或关闭时间：所以

$$\frac{1}{T_s} = \frac{p}{btT_a} \quad (3)$$

式中右边的符号表示导叶运动方向与转速变化方向相反。如果调速器的工作特性是正常的，因此，允许的负荷变化由下式决定：

$$p = \frac{btT_a}{T_s} \quad (4)$$

若负荷变化超过此值，调速器的导叶运动将会很慢。因为导叶接力器的运动速度是受 T_s 限制的。正常的负荷变化大约仅为总负荷的百分之一、二。例如取 $p = 5\%$ ， $bt = 0.3$ ， $T_a = 7$ 秒，得出

$$T_s = \frac{btT_a}{p} = \frac{0.3 \times 7}{0.05} = 42 \text{ 秒}$$

这就是说，对于负荷变化 5% ，可以延长 $T_s = 42$ 秒，不致于影响调速器的调节工作。可以看出，长的开启或关闭时间不会对水轮机的调节能力有显著影响，因为在很少情况下，需要导叶运动有很高的速度。

有关文献证明了这点，当 $T_s = 24 \sim 52$ 秒时，在电模拟装置验算结果指出，若选择适当的 T_d 和 bt 值。例如 $bt = 0.5$ 和 $T_d = 3$ 秒，能获得很好的调节品质。

用 ΔE 表示负荷突然变化时水轮机在调节过程中的剩余或缺额能量，则：

$$\Delta E = \int_0^{\infty} m_a dt$$

式中 m_a 为负荷突变的标么值, 故 ΔE 有时间秒的量纲。表示水轮机适应负荷变化的滞后时间。 ΔE 越小, 表示电网功率平衡的调节性能越好。当水轮机平均负荷 $m_e > 0.4$ 时, 令 $x = 0$, 对上式取积分限为 0 到 T_s , 得出

$$\Delta E = 0.5(1 - \alpha_k)m_a T_s + (m_e + 0.5e_x)T_w \quad (5)$$

式中 α_k ——空载开度; m_e ——水轮机工作范围、全负荷 $m_e = 1$;
 $e_x = \alpha_m / \alpha_x$ 为 $\alpha =$ 常数时水轮机自调节系数。

(5) 式说明在额定工况下, 以秒表示的水轮机所做的功, 相当于总的剩余或差额能量, 即水轮机力矩变化适应负荷变化的滞后时间。但是, 即使 $T_s = 0$, ΔE 也可能较大。因为水轮机的调节条件, 根本不同于其它原动机的调节条件, 水轮机力矩变化调节滞后时间不仅与 T_s 有关, 而且与引水系统和排水系统的水流惯性时间 T_w 值有关。应注意 (5) 式仅在开度偏离平衡值不大于 0.2~0.3 时才正确。

现研究 T_s 对 ΔE 的影响。从 (5) 式可看出, 当水轮机调节过程中由于水流惯性 (T_w , 水锤) 引出的能量, 与由导水机构调节时间 T_s 有关的能量接近时, 即

$$K_E = \frac{0.5(1 - \alpha_k)m_a T_s}{(m_e + 0.5e_x)T_w}$$

接近于 1 时, ΔE 可能具有最小值, 例如在这样的条件下: $m_a = 0.4$, $m_e = 0.8$, $e_x = 0.9$, $\alpha_k = 0.15$; 最大滞后时间 ΔE 大约为 15 秒, 即 $T_{s\min} \cong 5 T_w$ 。此值对频率调节和有功调节的电网工作条件是允许的。

显然可看出, 水轮机装置调压阀对于降低 ΔE 来说, 本质上并不能改善调节品质。

五、水轮机特性的差异

从上述分析可见, 延长导叶接力器启闭时间, 在甩全负荷条件下保证降低水轮机引水系统的压力上升, 从而降低水电站的造价显然是有利的。但是, 机组甩负荷时转速上升可能远远超过常规允许值。为此为了降低转速上升值, 要求缩短关机时间, 即要求减小 T_{w_2} 值, 从而需要装置调压井或调压阀。若具体分析一下水轮机特性, 其中包括水轮机飞逸特性, 可以找到一些影响工程经济性的规律来。

根据最近的研究, 通过水轮机调节动态品质分析得出, 在相同的最优调节动态品质衡量标准下, PID 调速器允许的 T_w/T_a 值几乎为 PI 调速器的 1.5~2.0 倍; 在相同的调速器控制下, 不同水轮机型式 (性能) 的调节动态品质的差别十分大。低比速混流式水轮机允许的 T_w/T_a 值几乎为高比速混流式水轮机的 2 倍。

对于高比速轴流式水轮机, 单位飞逸系数 n_{11} 的值, 主要取决于轮叶的转角 φ° 值, 对于转浆式水轮机还取决于甩负荷时是否保持协联关系和工况参数 (n'_{12} , φ° , a_0), 而 n'_{11} 值随 φ° 角的增大而降低。因此, 对于长引水管的轴流式水轮机, 为了降低水电站的造价, 在延长导叶关闭时间后, 降低转速上升的有利条件, 就是增大轮叶转角。对于转浆式水轮机则