

# 溪洛渡、向家坝水电站开发顺序的探讨

黄永绥

(成都勘测设计研究院,成都,610072)

**摘要** 本文根据“金沙江溪洛渡、向家坝水电站‘西电东送’初步研究”的研究成果及溪洛渡、向家坝水电站可行性研究资料,分析了先建溪洛渡水电站或先建向家坝水电站两种开发顺序方案的优缺点及存在的问题。提出先建溪洛渡水电站的建议,提供领导及上级机构决策时参考。

**关键词** 开发顺序 投资费用 现值 经济效益 防洪 水库淤积 航运

溪洛渡、向家坝为金沙江下游最末两个梯级水电站,开发条件好,均为向华中、华东“西电东送”的第一期工程。这两个水电站哪一个先开工、先投产?哪一个后开工、后投产为当?开发顺序如何?是值得探讨的问题。

## 1 溪洛渡、向家坝水电站简介

### 1.1 溪洛渡水电站

溪洛渡水电站位于金沙江下游,是金沙江干流梯级开发方案中倒数第二个梯级电站,上接白鹤滩尾水,下接向家坝梯级。左岸为四川省雷波县,右岸为云南省永善县。距宜宾市河道里程184km,距华东地区上海市直线距离约2000km,距华中地区武汉市直线距离约1000km。坝址控制流域面积45.44万km<sup>2</sup>,多年平均流量4580m<sup>3</sup>/s。

据可行性研究初步成果,水库正常蓄水位600m,死水位540m;水库正常蓄水位以下总库容115.7亿m<sup>3</sup>,调节库容64.6亿m<sup>3</sup>,可进行季调节。电站装机容量1200万kW,当上游有雅砻江二滩(正建),锦屏一级及两河口水电站和金沙江白鹤滩水电站联合运行时,年发电量627.4亿kW·h,枯水期平均出力546.8万kW。

溪洛渡枢纽两岸地形陡峻,河谷坡顶高

出水面300~500m,呈对称的“V”形河谷。坝址地质为岩性坚硬而较完整的玄武岩。经过多年来勘测、设计、科研表明可以修建高双曲拱坝。全国高级专家多次来溪洛渡考察,都认为可以修建300m左右的高坝;特别是全国著名的水工专家潘家铮1994年5月在溪洛渡水电站选坝会议上指出可以修建高双曲拱坝。

溪洛渡枢纽两岸及坝址下游台地开阔。提供了很好的施工场地,施工布置方便。

溪洛渡枢纽对外交通尚称方便。坝址距雷波县城约20km,距永善县城仅7km;且在紧靠坝址下游溪洛渡沟口处金沙江上已建有公路索桥,使两县交通联成一体,两县城均有数条公路与区外相通。

溪洛渡水电站水库淹没损失较小,淹没耕地仅2.51万亩,迁移人口仅2.77万人,每万千瓦装机淹没耕地及迁移人口分别仅20.92亩及23.12人;淹没损失指标之小,是国内已建、正建和规划水电站中少见的。

溪洛渡水电站水库所控制的流域面积为长江三峡所控制流域面积的46%,金沙江含沙量约为长江宜昌站的50%,对分担三峡防洪任务,减少三峡水库淤积,增加三峡和葛洲坝水电站发电效益均起着一定的作用。

1989年以来,全国著名专家多次到溪洛

渡考察时都指出,溪洛渡水电站开发条件这样好,是国内难得的电源点;特别是全国政协副主席钱正英、坝工专家潘家铮、水电专家罗西北等同志都对溪洛渡枢纽给予了很高的评价。

### 1.2 向家坝水电站

向家坝水电站为金沙江下游最末一个梯级。其左岸为四川省屏山县,右岸为云南省盐津县。距宜宾市河道里程 33km,距华中、华东直线距离基本上与溪洛渡相同。坝址控制流域面积 45.88 万 km<sup>2</sup>,多年平均流量 4 580 m<sup>3</sup>/s。据可行性研究初步成果,正常蓄水位 380m,死水位 370m,正常蓄水位以下总库容 47.7 亿 m<sup>3</sup>,调节库容 9.1 亿 m<sup>3</sup>,可进行日、周调节。电站装机容量 500 万 kW,当上游仅有雅砻江二滩电站(正建)时,年发电量 282 亿 kW·h,枯水期平均出力 139.4 万 kW;当其上游再出现溪洛渡、雅砻江锦屏一级和两河口时,年发电量 307.4 亿 kW·h,枯水期平均出力 250.3 万 kW;当其上游再出现白鹤滩水库时,年发电量 331.7 亿 kW·h,枯水期平均出力 294.5 万 kW。

两水电站主要技术经济指标见表 1。

表 1 溪洛渡、向家坝水电站主要技术经济指标

项 目	单 位	溪 洛 渡	向 家 坝
控制流域面积	km <sup>2</sup>	454400	458820
多年平均流量	m <sup>3</sup> /s	4580	4580
正常蓄水位	m	600	380
死水位	m	540	370
总库容	亿 m <sup>3</sup>	115.7	47.7
调节库容	亿 m <sup>3</sup>	64.6	9.1
调节性能		季	日、周
最大水头	m	231	112.9
装机容量	万 kW	1200	500
淹没耕地	亩	25071	22400
迁移人口	人	27738	63800
总投资	亿元	147.70	97.33
单位千瓦投资	元/kW	1230	1950
前期工作深度		可行性	可行性

注:总投资计算为 1990 年价格水平

向家坝水电站枢纽工程地质条件尚可,坝基为砂岩和灰岩,枢纽布置河段未见大断层。

向家坝枢纽地形开阔,有较好的施工场地,距宜宾市很近,水陆交通方便。

向家坝水电站淹没损失也较少,淹没耕地 2.24 万亩,迁移人口 6.38 万人,每万千瓦容量淹没耕地及迁移人口分别为 44.8 亩及 127.6 人。

## 2 溪洛渡、向家坝水电站投产顺序及时间方案

根据溪洛渡、向家坝水电站前期工作现状及施工期的初步安排,这两个水电站都有可能于 2010 年以前投产。因此,根据此两座水电站可能投产的时间和可能出现的情况,拟定了五个方案,再计入溪洛渡、向家坝两水电站不投产共六个方案进行分析比较计算,详见表 2

表 2 溪洛渡、向家坝投产时间方案

方 案	溪 洛 渡	向 家 坝
	投产时间(年)	投产时间(年)
I	2006~2010	2011~2015
Ⅰ	2011~2015	2006~2010
Ⅱ	2011~2015	2016~2020
Ⅳ	2016~2020	2011~2015
V	2011~2015	2011~2015
Ⅵ	—	—

方案 I 为溪洛渡水电站于 2006~2010 年先投产,向家坝水电站于 2011~2015 年后投产。方案 Ⅰ 为将溪洛渡和向家坝两电站的开发顺序对换,即向家坝水电站先投产,溪洛渡水电站后投产。方案 Ⅱ 及方案 Ⅳ 分别为方案 I 及方案 Ⅰ 推后 5 年。方案 V 为两座电站都于 2001~2015 年投产。

### 3 计算成果

本次计算采用电力工业部成都勘测设计研究院专为“西电东送”研制的“跨大区电力规划及巨型电站送电规划(EPTP)模型”。该模型是总结和吸收国内外研究类似问题模型的经验和成果,进一步修改完善而研制的。该模型的功能是:优化电力系统规划期内各类电源的结构、各类电源的开发程序及建设规模、各类电源的运行方式、水电站群梯级和跨流域补偿调节方式等。

#### 3.1 计算基本条件

根据溪洛渡、向家坝两座水电站的特性及考虑长距离输电等特点,溪洛渡、向家坝水

电站送到华中、华东地区,宜担负该两地区的基、腰荷;送电方案主要与华中、华东地区就地建火电作比较。因此,华中、华东地区的水电电源、抽水蓄能电站和核电的发展规划均采用各地区电源规划成果不作变动。三峡工程国家已定近期开工建设,本文研究将三峡电站作为已定项目处理。

参加计算比较的各种投资均按影子价格计算,其财务投资采用1990年价格水平。社会折现率采用12%,系统的投资及运行费(含已建、已定将建项目的投资及运行费)现值为折算到2006年初值。

#### 3.2 计算成果

各方案的外送电力电量及潮流交换见表

3。

表3 溪洛渡、向家坝水电站外送电力电量及潮流交换表

项 目		水 平 年		2010 年					2015 年					2020 年				
		I	II	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
溪洛渡	装机容量(万 kW)	1050		1125	900	1200		850	1200	1200	1200	1200	1200					
	发电量(亿 kW·h)	565.4		588.1	575.6	589.3		560.8	588.7	588.7	588.7	588.7	588.7					
向家坝	装机容量(万 kW)		550	450	550		500	420	500	550	500	470						
	发电量(亿 kW·h)		286.9	302.2	308.2		302.1	293.3	308.2	308.2	308.1	308.1	308.2					
合 计	装机容量(万 kW)	1050	550	1575	1450	1200	500	1270	1700	1750	1700	1700	1670					
	发电量(亿 kW·h)	565.4	286.9	890.3	883.8	589.3	302.1	854.1	896.9	896.9	896.8	896.8	896.9					
外 送 电 力	电 力(万 kW)	7	69.8	0	0	0	0	0	6.85	6.85	0	0	0					
	电 量(亿 kW·h)	0.8	3.4	0	0	0	0	0	0.3	0.3	0	0	0					
	电 力(万 kW)	61	101.1	0	0	0	0	0	7.2	10.3	0	0	0					
	电 量(亿 kW·h)	9.0	17.9	0	0	0	0	0	0.3	0.7	0	0	0					
	电 力(万 kW)	0	0	339	281.6	396	321.1	197.8	674	494.5	593.4	593.4	593.4					
	电 量(亿 kW·h)	0	0	86.2	77.2	90.8	80.5	56.5	145.8	126.6	139.6	139.6	139.6					
送入电量合计(亿 kW·h)		9.8	21.3	86.2	77.2	90.8	80.5	56.5	146.4	127.6	139.6	139.6	139.6					
送 出 电 力	电 力(万 kW)	750	250	1000	500	500	250	500	1000	1000	1000	1000	1000					
	电 量(亿 kW·h)	334	56.5	509.9	222.8	199.1	105.6	241.6	472.3	475.3	476.8	476.8	476.8					
	电 力(万 kW)	200	200	600	800	800	400	800	800	800	800	800	800					
	电 量(亿 kW·h)	59	60.7	381.4	532.9	382	219.5	564.2	424.2	365.0	469.8	469.8	469.8					
	电 力(万 kW)	300	300	600	500	400	400	200	800	800	600	600	800					
	电 量(亿 kW·h)	182.1	191	85.2	175.7	99	47.9	104.8	136.8	184.2	89.8	89.8	89.8					
送出电量合计(亿 kW·h)		575.2	308.2	976.5	931.4	680.1	373	910.6	1033.3	1024.5	1036.4	1036.4	1036.4					
弃水电量(亿 kW·h)					29.6		9.6	0	10.0									

各方案投资费用现值见表 4。

表 4 各方案投资费用现值表

单位:亿元

项	方	案					
		I	II	III	IV	V	VI
费用现值	溪洛渡	183.11	101.98	105.12	58.74	101.46	0
	向家坝	59.53	108.91	33.17	59.34	58.80	0
	新建水电站	475.33	628.98	718.31	771.40	718.31	1035.68
	火电燃料费	3267.12	3335.35	3463.43	3508.07	3437.67	3719.40
	输变电工程	244.06	189.75	150.82	125.64	149.26	0
	总计	4229.15	4364.97	4470.85	4523.19	4465.5	4755.08
总现值与方案 VI 之差		-525.93	-390.11	-284.23	-231.89	-289.58	0

注:1. 所有费用现值均为按 12% 社会贴现率贴现到 2006 年初;2. 水电站燃料费包括已建水电站的费用;3. 输变电工程系指溪洛渡、向家坝水电站的送出工程。

## 4 溪洛渡、向家坝水电站投产顺序比较分析

### 4.1 溪洛渡水电站先投产经济效益显著

从表 4 可以看出,方案 I 溪洛渡先投产总费用现值最小,较方案 VI 即溪洛渡、向家坝水电站不投产少 525.93 亿元,说明“西电东送”是经济的。方案 I 也较方案 II 向家坝先投产少 135.82 亿元,即使方案 I 推后 5 年,方案 II 也推后 5 年,即方案 III 溪洛渡先上也较方案 IV 向家坝先上有利,其总费用现值相差 52.34 亿元。

从表 4 也可以看出,方案 VI 溪洛渡、向家坝水电站不投产是不利的,也说明溪洛渡、向家坝水电站越早投产越有利。

### 4.2 溪洛渡水电站先投产,替代火电容量效益较大

溪洛渡、向家坝水电站不同投产顺序即方案 I 及方案 VI 所替代三大区火电装机见表 5。

表 5 溪洛渡、向家坝水电站替代三大区火电总装机表

单位:万 kW

水平年(年)	2010	2015	2020
方案 I	1121	1920	2086
方案 II	463	1567	1953

从表 3 及表 5 可以看出,方案 I 由于工

程规模巨大的溪洛水电站于 2010 年前投产,2010 年送四川、华中、华东的容量分别达 300 万 kW、200 万 kW 及 750 万 kW;2015 年送四川、华中、华东的容量分别达 600 万 kW、600 万 kW 及 1 000 万 kW。因此,2010 年及 2015 年分别替代三大区火电总装机分别为 1 121 万 kW 及 1 920 万 kW。方案 II 2010 年、2015 年送四川、华中、华东的容量均较小,因此 2010 年及 2015 年替代三大区火电总装机分别仅为 463 万 kW 及 1 567 万 kW。

### 4.3 溪洛渡水电站先投产,替代火电发电量较大

溪洛渡、向家坝水电站不同投产顺序即方案 I 及方案 II 所替代三大区火电发电量见表 6。

表 6 各方案不同水平年替代三大区火电总发电量

单位:亿 kW·h

水平年(年)	2010	2015	2020
方案 I	537.8	891.7	944.6
方案 II	283.1	830.8	942.1

从表 3 及表 6 可以看出,方案 I,2010 年及 2015 年外送电量分别达 575.2 亿 kW·h 及 976.5 亿 kW·h。因此,2010 年、2015 年替代三大区火电发电量分别达 537.8 亿 kW·h 及 891.7 亿 kW·h。方案 II,2010 年、2015 年替代三大区火电发电量仅 283.1 亿 kW·h 及 830.8 亿 kW·h。



## 5 结束语

### 5.1 溪洛渡先投产发电效益及经济效益较好

综合分析,溪洛渡先投产由于较早地发挥这个巨型电站的作用,送电华中、华东后,可获得较好的发电效益及经济效益,其总费用现值最小。向家坝水电站先投产,由于该电站规模较小,发电效益及经济效益都较溪洛渡先投产方案小得多。因此,从发电效益及经济效益方面来看,溪洛渡较向家坝先上有利是不容置疑的。

### 5.2 溪洛渡先投产能较好地满足华中、华东急需用电要求

华中、华东地区需电量很大,就是三峡建成后,电力供需矛盾仍然较突出。溪洛渡水电站先投产,可于2010年及2015年向华中、华东地区输送较大的电力和电量,满足急需用电要求,从满足华中、华东急需用电要求方面,也是溪洛渡水电站先上有利。

### 5.3 溪洛渡水电站先投产,早日发挥对三峡电站的作用

5.3.1 分担三峡防洪任务 长江中下游平原地区洪灾频繁且严重,长江三峡水库尚不能完全满足长江中下游防洪要求;要求长江上游及支流建水库共同分担三峡防洪任务。溪洛渡水库防洪库容达36亿 $m^3$ ,如果超高10m防洪库容可达50亿 $m^3$ 。如能做好中期洪水预报,做好水库调度,溪洛渡水库便可为长江中下游拦蓄部分洪水发挥一定的作用。

5.3.2 减少三峡水库淤积 长江含沙量较大,宜昌站多年平均年输沙量达5.33亿t,为三峡死库容的3%,三峡水库淤积问题十

分严重。金沙江年输沙量为2.43亿t,溪洛渡水库建成后,每年可拦截泥沙约2亿t,如溪洛渡水电站先投产5年,即多拦截泥沙10亿t。

### 5.3.3 增加三峡、葛洲坝水电站发电效益

由于溪洛渡水电站的调节作用,增加三峡和葛洲坝水电站枯水期平均出力47.6万kW,年发电量9.4亿 $kW \cdot h$ 。如果溪洛渡水电站先投产5年,将增加发电量达47亿 $kW \cdot h$ 。

### 5.4 溪洛渡电站先建,可解决向家坝水库淤积问题,并为向家坝施工创造条件

金沙江的含沙量较大,年输沙量达2.43亿t,如果向家坝水电站先建,由于水库库容较少,将很快被淤满;溪洛渡水电站先建,由于水库库容较大,可拦截泥沙,避免向家坝水库淤满。同时先建上游的溪洛渡水库调节径流,可为向家坝水电站施工创造有利条件。因此,为避免向家坝水库淤积问题和便于施工,必须先建溪洛渡水电站为宜。

### 5.5 溪洛渡水电站先开发有利于长江下游航运

溪洛渡水电站具季调节水库,调节库容64.6亿 $m^3$ ,它的调节可使金沙江下游设计枯水年枯水期的流量由1345 $m^3/s$ 提高到2344 $m^3/s$ ,增加了1000 $m^3/s$ 。加大了长江河道枯水期水深,同时由于溪洛渡水库的拦沙作用,减少了长江航道的泥沙淤积,给改善下游航运创造了条件。而向家坝水库仅能进行日、周调节,如它先建,必然恶化下游航运条件,综合利用问题较难解决。

综上所述,我们的意见是:在溪洛渡与向家坝的开发顺序上,应该先开发溪洛渡。

(收稿日期:19940530)

Study on Developing Sequence for Xiluodu and  
Xiangjiaba Waterpower Projects

Huang Yongsui

(Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Research Institute)

(下转第83页)

$L = 4.2\text{m}$ 。

### 3.4 其它

由于穹顶位于  $f_1$  与  $F_1$  断层的下盘,其中  $F_1$  断层距井边只有 19m,且穹顶结构面相互切割,对检修洞与穹顶交叉口处围岩稳定极为不利,为确保施工安全和穹顶稳定,对交叉口处的洞段进行了混凝土衬砌。检修洞为方圆型断面,宽高均为 5m,交叉口处衬砌 8m 长,衬厚 60cm,配置双层钢筋,配筋率为 0.82%。

穹顶的联合支护设计见图 3。

## 4 围岩监测情况

为了监测  $f_1$  和  $F_1$  断层在开挖后的变位,检验支护设计的合理性,指导施工以及确定是否进一步采取加强支护措施,并提供定量的信息,在穹顶布置了两支 30m 深的多点位移计,穿过断层,设置了一些收敛标点,进行围岩变位收敛监测。但由于工期较紧,多点位移计未能实施,只进行了收敛监测。

根据 1993 年 3~8 月圈梁断面 4 点收敛标点的持续观测,收敛位移曲线已趋于收敛,最大收敛值为 5.42mm,围岩变位在大井开挖结束后已趋于基本稳定。

## 5 结 语

1、应用壳体薄膜理论分析,调压室穹顶设计成近似球壳的旋转壳体是合理的,壳体基本上处于内力不大的受压状态。

2、穹顶采用锚喷支护是可行的,目前调压室已开挖完毕,围岩基本上稳定,且比现浇混凝土衬砌施工简单,工期短。

3、在拱脚设置圈梁,不仅使穹顶的锚喷结构构成一完整壳体,有利于穹顶围岩的稳定,而且对井筒的开挖和混凝土浇筑都起着巨大作用。

4、穹顶虽然采用锚喷加圈梁的联合支护后围岩基本稳定,但鉴于大井开挖跨度大,工程还未竣工,地质条件亦比较复杂,必须加强观测,并根据观测资料,确定是否进一步加固。

### 参 考 文 献

- 1 范钦珊著.《轴对称应力分析》.高等教育出版社,1985 年
- 2 潘家铮主编.《水工隧洞和调压室》.水利电力出版社,1990 年
- 3 王建宇编著.《喷锚支护原理和设计》.中国铁道出版社,1980 年
- 4 胡育林等著.《硬质岩中浅埋地下洞室围岩稳定 and 支护设计和探讨》.地下工程技术,1992(3)

(收稿日期:19931105)

(上接第 33 页)

**Abstract** Based on research achievement from preliminary study on transmitting electricity from West China to East China by Xiluodu and Xiangjiaba Waterpower Stations and feasibility study on Xiluodu and Xiangjiaba Waterpower Stations, the disadvantages and advantages and the existed problems are compared in two schemes, e.g. construct Xiluodu first or construct Xiangjiaba first. Finally, the proposition of constructing Xiluodu first was provided for the reference to leaders and higher authorities when decisions are made.

**Key Words** developing sequences, current price of capital cost, economy benefit, flood control, reservoir sediment, navigation.