

金沙江溪洛渡水电站坝址选择

王仁坤

(成都勘测设计研究院, 成都, 610072)

提 要 溪洛渡水电站是以发电为主, 兼有拦沙、防洪、漂木、航运等综合利用效益的巨型水电站; 担负着西电东送, 实现国家能源战略平衡, 充分发挥三峡工程效益等具有重要意义的水电工程。几年来, 经过大量的地质勘探和设计工作, 通过对坝段、坝址的地形地质条件的比较, 并结合水工枢纽布置的研究, 选定河道顺直, 谷坡陡峻, 基岩裸露的玄武岩坝段及其中坝址作为溪洛渡水电站坝址。

关键词 溪洛渡水电站 坝段选择 坝址选择

1 概 述

溪洛渡水电站是金沙江干流梯级开发的倒数第二个梯级, 位于四川省雷波县和云南省永善县接壤的溪洛渡峡谷, 距离下游宜宾市河道里程 184km。水库正常蓄水位 600m, 拦河坝最大坝高 283m, 总库容 115.7 亿 m^3 , 初拟电站装机容量 1 200~1 500 万 kW, 年发电量 543.8~655 亿 kW·h。本工程的发展任务是以发电为主, 兼有拦沙、防洪、漂木、航运等综合利用效益。

该工程规模巨大, 并具有动能经济指标优越, 发电效益显著, 控制水沙能力大, 水库淹没损失小, 施工交通方便等优点。它是西电东送华东、华中地区十分理想的能源基地和促进西南地区经济发展, 缓解三峡水库泥沙淤积, 充分发挥三峡工程效益等具有重要意义的水电工程; 是继三峡之后, 金沙江开发最理想的第一期工程。

该电站自 1952 年规划选点以来, 特别自 1986 年开展可行性研究至今, 对坝址河段开展了大量地质勘探工作, 截止 1993 年底, 共完成钻探 23 395m/143 孔, 硐探 7 537.4m/45 硐, 于 1993 年底编制完成坝址选择报告, 并于 1994 年 4 月选坝审查通过。本文将坝址比选研究作一介绍。

2 坝段选择

溪洛渡水电站坝址区位于金沙江下游溪洛渡峡谷, 上起燕子崖, 下至颜家坝, 全长约 12km。根据该河段的地形、地质条件的差异, 共分 3 段: 上段自燕子崖至豆沙溪沟口为石灰岩坝段, 顺河长约 4km; 中段自豆沙溪沟口至溪洛渡沟口为玄武岩坝段, 顺河长约 3.8km; 下段自溪洛渡沟口至颜家坝, 为砂页岩坝段, 顺河长约 4.5km。见图 1。

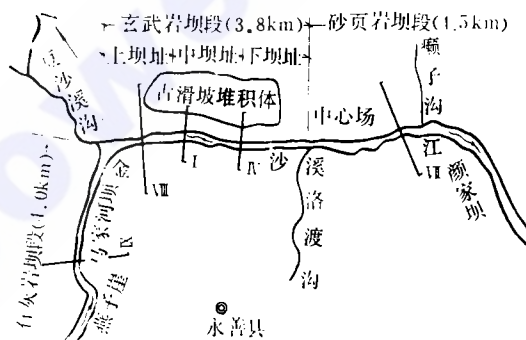


图 1 金沙江溪洛渡水电站坝段坝址平面示意图

2.1 石灰岩坝段

金沙江以 $N30^{\circ}\sim 60^{\circ}E$ 流经该坝段, 枯期江水位 376m, 江面宽 50~60m, 正常蓄水位 600m 时谷宽 800m。临江坡高 500~600m, 左岸平均坡度 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$; 右岸为阶梯状, 高程 550~650m 间为一宽约 400m、长约 800~1000m 的缓坡台地既称马家河坝, 台

地以下为陡崖,以上为 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的岸坡。河谷断面呈不对称“V”型。该段下游为弯道,左岸有豆沙溪沟深切。

河床覆盖层厚度 $6\sim 45\text{m}$ 。河床及两岸坝肩大部分基岩由二迭系下统茅口组灰岩组成,岩性致密坚硬,厚层块状、完整性较好。但存在①规模不小的逆断层 F_1 、马家河坝台地既为该断层上盘,伏于岸坡;②沿河两岸阳新灰岩岩溶发育;③左岸坝前分布有大片堆积体。

根据该坝段的地形、地质条件,比较适宜布置土石坝方案枢纽,并利用马家河坝台地布置岸边溢洪道。但因坝址灰岩岩溶发育,水库蓄水后,存在库水向下游渗漏的可能,相应的坝基、坝肩及地下厂房的防渗处理工作量大;并且断层 F_1 为顺河断层,上盘伏于岸坡,蓄水后的稳定性对大坝的威胁、断层带的防渗处理、溢洪道纵向受该断层切割等问题,导致水工设计难度增大;以及坝前大片堆积体使得地下厂房和泄洪洞的进水口布置难度较大,开挖边坡在 $200\sim 250\text{m}$ 以上。枢纽工程土石挖方 $7\,427\text{万}\text{m}^3$,矸 $983\text{万}\text{m}^3$,较玄武岩坝段多。

2.2 砂页岩坝段

该坝段河道弯曲、地形不规则,上游谷宽,下游狭窄,成倒喇叭形,且左岸有癞子沟深切。在代表勘探线Ⅵ线处,枯期水位 365m ,江面宽 160m ,相应正常蓄水位 600m 高程的谷宽为 735m ,谷肩高程 $800\sim 1\,100\text{m}$,河谷断面呈不对称“U”型。

坝段基岩由砂页岩组成,岩体软硬相间,弱面较多,整体强度较低,对于高近 400m 的溢洪道边坡及大跨度地下洞室的稳定条件极为不利。河床覆盖层厚达 $60\sim 70\text{m}$,且含有粉细沙层厚度为 $11\sim 24\text{m}$,做为高土石坝坝基的基础处理工程量巨大。河床为砂页岩,抗冲刷能力弱,难以适应高水头、大泄量的要求。左岸癞子沟深切也使得水工枢纽布置难度加大。砂页岩坝段的地形、地质条件是三坝段中

最差的坝段,枢纽工程量为最多的坝段。

2.3 玄武岩坝段

金沙江以 $S50^{\circ}\sim 60^{\circ}E$ 流经本段。该坝段河道顺直,谷坡陡峻,基岩裸露,山体浑厚,地形完整,为一基本对称“V”形峡谷。枯期水位 370m ,江面宽 $70\sim 140\text{m}$,相应正常蓄水位 600m 时的谷宽 $500\sim 610\text{m}$ 。谷肩高程为 $600\sim 950\text{m}$,上游端高,逐渐向下游变低。谷肩以上的左右岸皆为宽缓台地,场地开阔;其中左岸台地为古滑坡堆积体,处于整体稳定状态。

坝段基岩除上游端河床灰岩出露外,其余皆为二迭系上统峨眉山玄武岩,岩体坚硬,块状结构,完整性好。玄武岩强度高微风化岩体单轴湿抗压强度 $110\sim 177\text{MPa}$ 。岩体内虽存在层间、层内错动带及古风化壳等,但未发现有较大的断层和软弱面切割。玄武岩似产状与河谷斜交或大角度相交,缓倾下游偏左岸。河床覆盖层浅薄,一般厚度为 $20\sim 25\text{m}$,下游局部厚约 40m 。弱风化水平深度 $50\sim 60\text{m}$,弱卸荷水平深度 40m 左右。该坝段完全具备修建高 300m 级的砼拱坝或堆石坝和布置大型地下洞室群的地形地质条件,泄洪消能条件也比灰岩坝段和砂页岩坝段有利。

综上所述,玄武岩坝段的建坝条件显著优于灰岩坝段和砂页岩坝段,故选用玄武岩坝段。

3 坝址选择

玄武岩坝段上游端位于河流弯道的下游侧,且上游谷肩最高,逐渐向下游变缓,坝段岩体为一缓倾下游的单斜构造,上、下坝址附近的岩层倾角略有增大。结合水工枢纽布置的研究,该坝段分为上、中、下三个坝址。

上坝址:以Ⅷ—Ⅷ线为代表,位于河流弯道的下游侧,临近豆沙溪沟口约 800m 。该坝址无论布置砼重力拱坝方案,还是布置土石坝方案,均可利用弯道地形,裁弯取直布置泄洪设施,可减少枢纽的工程量。但该坝址临江

坡高达 500~600m,河床灰岩出露,且灰岩顶分布有软弱的泥页岩沉积层 $P_2\beta_1$,以及玄武岩各岩层处于褶曲的转折部位,构造发育,岩层倾向下游,倾角达 15° 。

中坝址(I—I线):长约 1km,位于峡谷中段,河谷狭窄,坝顶高程处的河谷宽度仅 510~530m,比上、下坝址略有收缩。河床灰岩埋深 80m 以上,坝基、坝肩皆为玄武岩,且岩层产状平缓,倾角 $3^\circ\sim 5^\circ$,层间层内错动带相对上、下坝址较弱,是布置砼拱坝方案最为理想的地形、地质条件。

下坝址(IV—IV线):位于峡谷出口区,左岸下游略有撒开,右岸末端有溪洛渡沟深切,两岸谷肩变缓,临江坡高为 150~300m,至溪洛渡沟附近,仅坡高几十米,是布置岸边溢洪道相对上、中坝址最为有利的地形条件。河床灰岩埋深 150m 以上,但坝肩玄武岩地层处于背斜褶曲的转折部位,层间层内错动带相对发育,岩层倾向下游,倾角 $5^\circ\sim 8^\circ$,往下游增至 18° ;坝顶高程以下的部分岩层顶部还出现有古风化壳,对坝肩抗力体的稳定明显不利。因此,下坝址以研究土石坝并布置岸边溢洪道的枢纽方案为代表。

3.1 砼重力拱坝方案,上、中坝址的比较

3.1.1 中坝址的枢纽布置

根据中坝址的地形地质条件,其枢纽布置经初步研究,拦河大坝采用砼重力拱坝,坝顶高程 610m,最大坝高 283m,坝顶弧长 743.2m。泄洪建筑物按千年一遇洪峰流量 $43\ 800\text{m}^3/\text{s}$ 设计,万年一遇洪峰流量 $52\ 300\text{m}^3/\text{s}$ 校核。由于河谷狭窄、泄洪流量大,泄洪消能问题最为突出。目前布置采用砼重力拱坝内设 10 个表孔($10\text{—}15\text{m}\times 12.5\text{m}$,宽 \times 高。下同)和 9 个中孔($9\text{—}5\text{m}\times 6\text{m}$)以及 6 条泄洪隧洞(左岸 3 条由 $D=13\text{m}$ 变为 $12\text{m}\times 16\text{m}$ 的有压接无压洞,右岸 3 条为 $13\text{m}\times 18\text{m}$ 的无压洞)等三套泄洪设施分散泄洪。电站厂房近期装机 1 200 万 kW,为全地下式,左右岸对称布置,各装机 8 台单机 75 万 kW 的水轮发电机组。主厂房尺寸为 $2\text{—}277\text{m}\times 30\text{m}\times 75\text{m}$ (长 \times 宽 \times 高);主变室亦布置在地下,下游设尾水调压室($2\text{—}280\text{m}\times 22\text{m}\times 107\text{m}$)及尾水隧洞(左右岸各两条 $D=20\text{m}$)。为减少地下工程量,初期导流洞与尾水洞相结合,后期导流洞与永久泄洪洞相结合。木材过坝建筑物布置在左岸地下洞室群的外围,以减少过木与发电、泄洪之间的干扰。远景通航过坝设施的位置预留在右岸主体建筑物的外围,有利裁弯取直,布置较短的过坝建筑物长度。中坝址的枢纽布置及

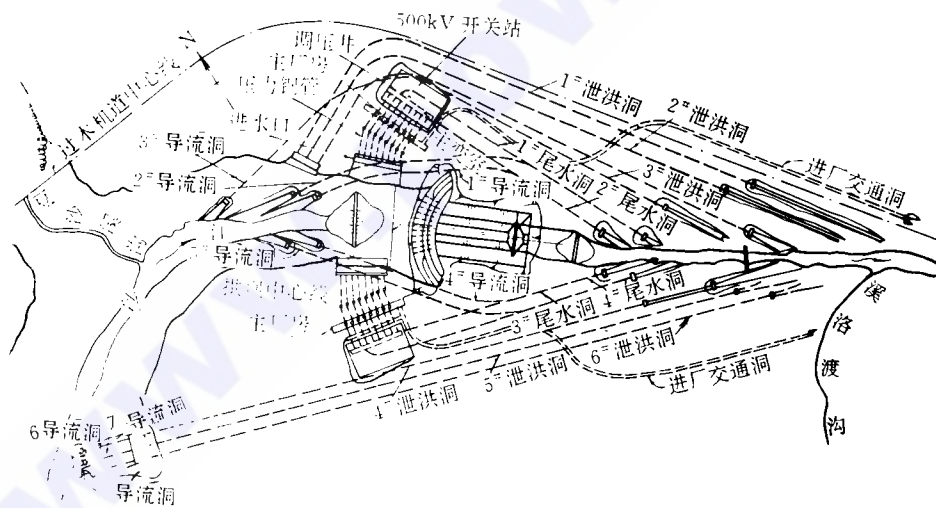


图 2 重力拱坝方案 I 坝线枢纽平面布置图

剖面图参见图 2、图 3。

3.1.2 上坝址砼重力拱坝方案的枢纽布置

上坝址重力拱坝方案枢纽布置的基本格局与中坝址基本相同，仍采用重力拱坝及坝上 10 个表孔 9 个中孔和 6 条泄洪隧洞(左岸 2 条、右岸 4 条)泄洪，左右岸地下引水发电系统，左岸设漂木道，右岸预留通航设施位置。

3.1.3 上、中坝址砼重力拱坝方案的比较

1. 从砼重力拱坝的建坝条件而论，中坝址优于上坝址。

a. 中坝址河谷对称，基岩岩性均一，坝体应力条件较好，而上坝址河谷对称性差，拱坝体形调试的难度较大，坝体应力分布条件较差。

b. 上坝址河床基岩为灰岩，两岸坝肩为玄武岩，玄武岩地层处于褶曲的上挠段，倾向下游，倾角达 15°，且构造发育。而中坝址河床灰岩埋深达 80m 以上，坝基坝肩皆为玄武岩，地层平缓，倾角仅 3°~5°，层间层内错动带相对上坝址为弱。因此，中坝址的坝肩抗滑稳定条件优于上坝址；同时在坝肩处理、基础

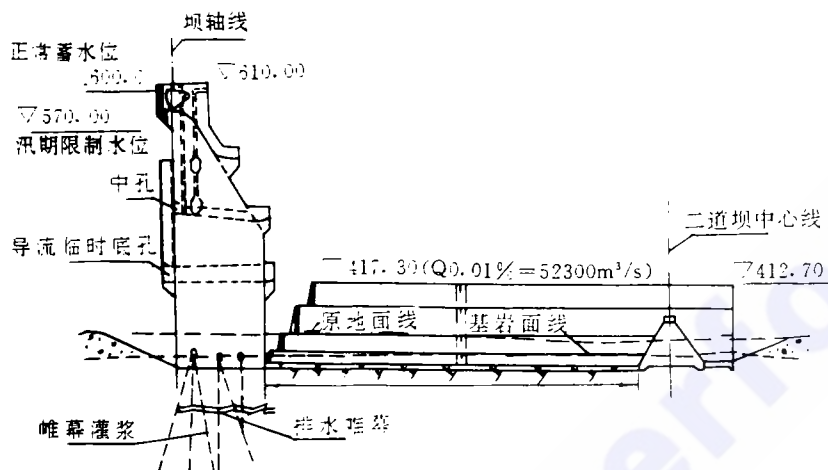


图 3 重力拱坝方案剖面图

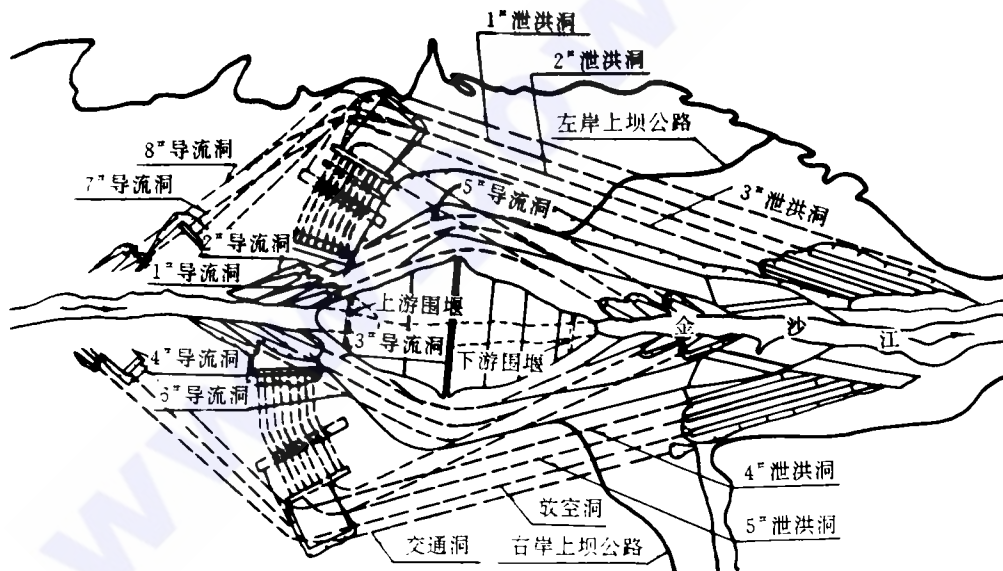


图 4 下坝址土石坝方案枢纽布置图

防渗方面、中坝址也相对为优。

c. 由于上坝址的地形、地质条件相对较差,其重力拱坝体形比中坝址重力拱坝宽大,砼方量为 1 255.9 万 m^3 ,而中坝址砼重力拱坝方量为 835.5 万 m^3 。

2. 虽然上坝址可以利用河弯地形,裁弯取直,布置导流洞和泄洪洞洞线相对较短,但由于工程规模巨大,上坝址洞挖工程总量仅比中坝址洞挖量少 4 万 m^3 。相反,上坝址的导流洞及右岸泄洪隧洞的进口段,位于灰岩并穿过软岩 $P_2\beta_1$ 沉积层,洞室处理的工作量大,而中坝址不涉及这一不利地质因素。

3. 上坝址地下厂房的三大洞室群的洞体上部为玄武岩,属层间层内错动发育、层厚较薄的第一、二、三岩流层;洞体下部为灰岩,存在岩溶问题,且 $P_2\beta_1$ 层软岩穿过主厂房顶,成洞条件较差,防渗处理和施工问题复杂。而中坝址正好避开了上坝址的这些问题,洞室群都在玄武岩内,且地层平缓,层间层内错动相对微弱,成洞条件相对优越。

4. 上、中坝址方案均存在地下工程进出口开挖的高边坡问题,最高达 150~200m 以上;其中,因上坝址谷坡高陡,谷肩高程高于中坝址,高边坡问题更为突出。

5. 上坝址的枢纽工程量比中坝址多。其中,土石明挖量:上坝址为 4 542 万 m^3 ,中坝址为 4 108 万 m^3 ;石方洞挖量:上坝址 1 196 万 m^3 ,中坝址为 1 200 万 m^3 ;砼:上坝址为 1 840 万 m^3 ,而中坝址为 1 384 万 m^3 。

综上所述,中坝址的枢纽布置条件优于上坝址,既作为砼重力拱坝方案推荐中坝址。

3.2 土石坝方案,上、下坝址的比较

3.2.1 下坝址土石坝方案的枢纽布置

下坝址的拦河大坝采用碎石土心墙土石坝,坝顶高程 614m,最大坝高 288m,坝顶长 629.0m,坝底宽 1 212.0m。坝体填筑总量 4 442.0 万 m^3 。泄洪建筑物按二千年一遇洪峰流量 46 400 m^3/s 设计,可能最大洪水 61 700 m^3/s 校核。经多种方案比较,左右岸各设 5 孔溢洪道,孔口尺寸为 2—5—20 \times 15m;以及左岸 3 条泄洪隧洞、右岸 2 条泄洪隧洞。引水发电系统亦采用左、右岸分设地下厂房,各装机 8 台单机 75 万 kW 的水轮发电机组;左、右岸各两条尾水洞与初期导流洞相结合。左岸主体水工建筑物的外围布置漂木隧道,右岸预留通航过坝建筑物的位置。下坝址的枢纽布置及土石坝方案剖面图参见图 4、图 5。

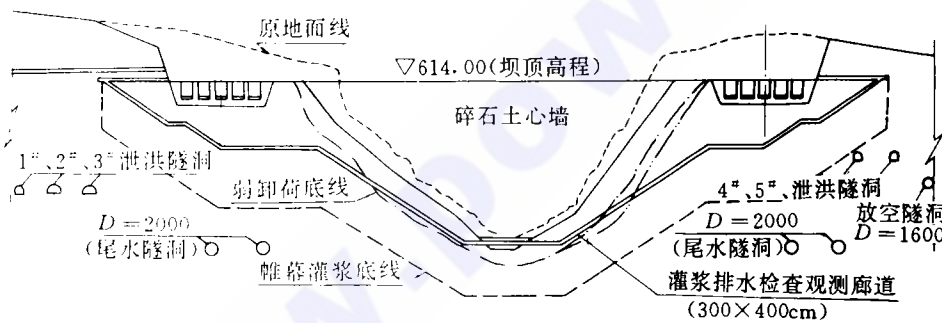


图 5 土石坝方案剖面图

3.2.2 上坝址土石坝方案的枢纽布置

拦河坝仍采用碎石土心墙堆石坝,坝顶高程 614m,最大坝高为 284m,坝顶长 720m。泄洪建筑物,左岸布置 7 孔 20 \times 15m 开敞式溢洪道,右岸布置 8 条泄洪隧洞。左右岸地下

厂房,各装机 8 台机组,首部开发。

3.2.3 土石坝方案,上、下坝址的比较

下坝址位于峡谷河段的出口区,河道顺直,两岸谷肩逐渐变缓,是布置岸边溢洪道最为理想的地形条件。坝址基岩为玄武岩,对土

石坝及大型地下洞室群的成洞条件具有较好的适应性。但存在的工程问题有：

a. 左岸溢洪道开挖将削去青杠堡古滑坡堆积体的前缘及次级滑体，加上基岩边坡总高度达 150m 以上。边坡处理难度大；

b. 右岸溢洪道及泄洪洞的出口段将跨越溪洛渡沟，存在跨沟及沟水处理等问题；

c. 泄洪洞泄洪的落水区进入砂页岩河床，消能防冲保护难度较大。

上坝址枢纽可以利用弯曲河道的有利地形，裁弯取直布置泄洪设施。但因岸坡陡峻，谷肩高程在 850m 以上，以及河床灰岩出露，导致枢纽布置又存在如下不利：

a. 岸边溢洪道的开挖边坡高度达 400m，高边坡问题十分突出；

b. 河床基岩为灰岩，增加了大坝基础防渗处理的难度；

c. 左右岸地下厂房的中、下部都将位于灰岩中， $P_2\beta_1$ 沉积层穿过洞身，其成洞条件比下坝址更差。

两坝址的枢纽工程量相比较，上坝址明显增多。其中，大坝填筑总量上坝址为 5 185 万 m^3 ，比下坝址多 743 万 m^3 ；溢洪道开挖量，上坝址达 9 505 万 m^3 为下坝址溢洪道开挖的 3 倍多。

综合比较，作为土石坝方案，下坝址为优。

3.3 中坝址砼重力拱坝方案与下坝址土石坝方案的比较

1. 溪洛渡水电站泄洪流量大，水头高，而坝址河谷狭窄，因此泄洪消能问题十分突出。由于中坝址与下坝址采用不同的坝型，其泄洪消能的难易程度又有所不同：

a. 下坝址土石坝的设计洪水标准高于中坝址砼拱坝方案，相应的设计、校核洪水流量分别比中坝址方案多 2 600 m^3/s 和 9 400 m^3/s ，泄洪消能布置的难度更大；

b. 中坝址砼重力拱坝方案采用坝上表孔、中孔及两岸泄洪隧洞泄洪，即分散泄洪，

又对消能有利，而且整个泄洪设施及消能区均位于抗冲性能好的玄武岩区。而下坝址土石坝方案采用岸边溢洪道及 5 条泄洪隧洞泄洪，尽管泄洪建筑物大多位于玄武岩中，但消能区涉及到抗冲性能较差的砂页岩，消能保护问题相对突出；

c. 下坝址的右岸泄洪设施需要跨越溪洛渡沟，存在跨沟及沟水处理问题。

2. 尽管中、下坝址可修建大型地下洞室群，但因地质条件的差异，成洞条件有所不同。中坝址地层平缓，层间层内错动较弱；下坝址处于玄武岩地层褶曲部位，层间层内错动相对发育，尤其在主厂房至尾水调压室区段。因此，下坝址方案的成洞条件相对较差。

3. 中、下坝址均存在高达 150~200m 的高边坡开挖及处理问题。其中，下坝址因岸边溢洪道的开挖，高边坡区域多，开挖面大；而且溢洪道开挖涉及到玄武岩第 11、13、14 层顶部的古风化壳，增加了边坡处理的难度。

4. 左岸谷肩以上的古滑坡堆积体，据初步查勘，整体是稳定的，仅前缘局部存在蠕动及次级滑体，主要分布在青杠堡前缘。中坝址的枢纽布置不直接接触及古滑坡堆积体，且距离青杠堡前缘达 500m 以上。而下坝址的溢洪道开挖直接接触及青杠堡古滑坡堆积体，存在堆积体开挖边坡的处理问题，以保证溢洪道及其运行安全；右岸溢洪道开挖也存在堆积体的边坡处理问题。

5. 两坝址方案的土建工程量对比，各有多寡。其中，土石明挖，下坝址方案多 1 964.4 万 m^3 ；石方洞挖，下坝址方案多 204.3 万 m^3 ；砼量，中坝址多 496.5 万 m^3 ；但下坝址土石坝填筑总量达 4 442.0 万 m^3 。

6. 从施工布置与进度比较，中坝址两岸谷肩以上的台地适宜揽机平台的布置，拟定的砼浇筑方案易于实现，砼重力拱坝的浇筑工期 74 个月，第一台机组发电工期为 11 年，完建工期为 15 年。（下转第 95 页）

(上接第 53 页)

下坝址土石坝坝体的填筑,按月平均 62.3 万 m³/月及 10.4 万 m³/(月 100m 坝长)的填筑强度,大坝工期为 68 个月,发电工期及工程完建工期与中坝址相同。但由于下坝址河谷仍属狭窄,两岸坡陡,施工上坝交通难度大,且受两岸溢洪道及大量地下工程进出口交通施工影响干扰大。同时,土石坝方案不仅施工场地规模相对较大,而且心墙防渗土料取自雷波县城附近的大片良田,施工征地问题相对突出。

综上所述,中坝址砼重力拱坝枢纽优于下坝址土石坝枢纽。即从枢纽布置及水工设计的难易程度表明,推选中坝址。

4 结 语

中坝址地形完整,河谷狭窄,岸坡陡峻,基岩裸露,地层平缓倾角仅 3°~5°,层间层内错动相对较弱,是修建坝高 300m 量级的砼拱坝及大型地下洞室群较为理想的坝址。在选坝阶段,重点研究了该坝址的砼重力拱坝方案枢纽,随着研究工作的不断深入,将开展双曲拱坝的研究及建基面的优化,以及分期发电方案的研究,将进一步显示出中坝址的优越性。

(收稿日期:19940730)

Dam Site Selection of Xiluodu Waterpower Project on the Jinsha River

Wang Renkun

(Chengdu Hydroelectrical Investigation and Design Research Institute)

Abstract Xiluodu Waterpower Project is a large multi-purpose project with main purpose of power generation, and other functions of the project are silt arresting, flood control, log passing and navigation. It is the very important hydroelectric project to transmit electricity from West China to East China, to realize energy balance in China, and to make the most of Three Gorges Project. In recent years, a large numbers of geological investigation and designs have been conducted. The dam site of Xiluodu Waterpower Project was selected at exposed basalt area with steep slopes and straight river valley on the basis of comparison between topographical and geological conditions at dam area and dam site and arrangement of hydraulic structures.

Key Words Xiluodu Waterpower Project, selection of dam area, selection of dam site.



大渡河瀑布沟水电站初步设计通过审查

1994 年 6 月 16 日至 25 日,水利水电规划设计总院同四川省建委、计委在成都召开了大渡河瀑布沟水电站初步设计报告审查会。参加会议的有:电力部水农司等 46 个单位共 188 人。会议期间马麟副省长亲临会议指导,并作了重要讲话。代表听取了成都勘测设计研究院关于瀑布沟水电站初步设计的介绍,查勘了现场,并分专业组进行了讨论和审查。瀑布沟水电站是大渡河梯级开发中的骨干电站,位于四川省汉源、甘洛两县交界处,距成都约 200km。电站以发电为主,并兼有漂木、防洪等综合利用。最大坝高 186m,总库容 51.77 亿 m³,装机 3 300MW,保证出力 926MW,年发电量 145.8 亿 kW·h。电站地理位置适中,靠近负荷中心,交通便利,水库具有较好的调节性能,可以改善电力系统的运行,使下游已建的龚嘴水电站和铜街子水电站增加保证出力 215MW,年电量 7.8 亿 kW·h,并能改善下游梯级电站的泥沙淤积问题。瀑布沟水电站虽水库淹没稍大,但单位千瓦的淹没指标不高,且技术经济指标优越。为促进四川省经济的持续发展,满足四川电力工业在下世纪初负荷增长的要求,该电站是继二滩水电站之后,近期急待开发、条件成熟、唯一较好的大型电源点。

自 1983 年以来,成都勘测设计研究院做了大量勘测设计科研工作,在 1988 年 12 月审查批准瀑布沟水电站可行性研究报告的基础上,对勘测、设计、科研工作又作了大量的补充优化,于 1993 年提出了瀑布沟水电站初步设计报告,会议认为该报告基础资料充实、方案比较全面、研究论证充分,其内容、深度满足初步设计要求,会议基本同意该报告。

(四川省电力工业局 何学民)