

龙河石板水水电站工程优化设计述评

陶斯樾

(重庆涪陵石板水电站工程指挥部, 重庆涪陵, 408000)

摘要 龙河水能资源丰富, 开发条件优越。近 20 年来, 地区力争按原干流规划方案和停工的一期工程复工, 但因淹没损失、政策和行政区划等因素始终不能实现。后经过优化一期开发工程继而调整了干流规划方案, 从而启动了龙河开发。在一期工程石板水混合式电站建设中, 又进一步完成了多项工程优化设计, 确保了工程质量, 节省了工程投资, 促进了电站提前上网发电, 为龙河梯级滚动开发奠定了坚实的基础。

关键词 龙河干流规划方案 一期开发工程 石板水电站工程 优化设计 述评

1 前 言

龙河是长江右岸的一级支流, 位于石柱与丰都两县境内, 流域面积 $2\ 810\ \text{km}^2$, 干流全长 $114\ \text{km}$, 天然落差 $550\ \text{m}$, 河口多年平均流量 $58\ \text{m}^3/\text{s}$, 水能资源丰富, 地理位置适中, 开发条件优越, 长期引人注目。50 年代末开始对龙河水力资源进行普查规划, 至 70 年代初成勘院提出了以芭蕉滩和石板水两级为一期开发工程的龙河干流两库八级电站的开发规划方案, 同时提出了两工程的初步设计。1971 年至 1972 年国家曾拨款做了大量的施工准备工作, 1973 年因故停工。在以后长达 15 年时间里, 涪陵地区一直力争两工程复工。尽管委托成勘院作出了两工程的优化设计, 水电部领导也多次考察过现场, 但始终未能复工建设。其主要原因除行政和政策性因素外, 芭蕉滩水库淹没损失过大, 所推荐的一期工程中的芭蕉滩电站为坝后式、石板水电站为引水式, 两级电站必须同步建成, 否则将难以发挥设计和投资效益也是其中重要的因素之一; 1988 年又遇涪陵行政区划一分为二, 原位于石柱县境内的芭蕉滩电站划入了黔江地区, 从而更加增大了恢复一期工程建设和按干流规划方案实施的难度。

为从根本上解决电力对地区经济社会发展的制约, 优越的电源点首推龙河, 故 1987 年涪陵地区水电局提出了优化一期开发工程并调整干流梯级开发规划方案的建议, 进而委托省水电院和成勘院作了大量的优化与调整工作, 经省主管部门审定将石板水混合式电站作为一期开发工程, 从而启动了龙河开发。在石板水混合式电站建设过程中, 进一步完成了多项工程优化设计, 促进了工程进度快、质量好、费用省。石板水电站的建成发电, 为滚动龙河干流梯级开发打下了坚实的基础。

2 石板水电站工程概况

石板水电站位于丰都县龙河镇境内, 龙河下游江池至南江渡河段上, 属混合式电站, 由大坝枢纽、引水系统和厂区枢纽三大部分组成。坝址以上集雨面积 $1\ 640\ \text{km}^2$, 多年平均流量 $34\ 20\ \text{m}^3/\text{s}$, 天然落差 $230\ \text{m}$ 。区域内地层处于侏罗系沙溪庙组砂、泥岩互层区, 地质构造稳定性好, 地震烈度小于六度。

大坝枢纽由挡、泄水建筑物, 二坝及下游保护工程组成。大坝为碾压混凝土重力坝, 坝顶高程 $482.6\ \text{m}$, 最大坝高 $84\ \text{m}$, 坝顶长 $448\ \text{m}$, 共分 9 个坝段, 5 和 6 坝段为表孔溢流坝段, 溢流段长 $83\ \text{m}$, 坝顶高程 $467\ \text{m}$, 设 5 孔 $12\ \text{m} \times 13\ \text{m}$ 的工作弧门, 宽尾墩鼻坎挑流, 二坝水垫消能; 7 坝段为中孔泄流坝段, 在 $420\ \text{m}$ 高程开设孔口 $3.5\ \text{m} \times 6.0\ \text{m}$, 设弧门一扇。水库正常蓄水位 $480\ \text{m}$, 与设计洪水位同一高程, 相应库容 $1.05\ \text{亿}\ \text{m}^3$, 死水位 $450\ \text{m}$, 调节库容 $0.77\ \text{亿}\ \text{m}^3$, 具季调节能力, 校核洪水位 $480.62\ \text{m}$ 。

引水系统为右岸引水, 由进水口、压力隧洞、调压井和压力管道组成。引水隧洞进水口位于大坝上游 $450\ \text{m}$ 处的龙河右岸陡崖, 底板高程 $440\ \text{m}$; 压力隧洞全长 $6\ 045.5\ \text{m}$, 混凝土和钢筋混凝土衬砌段内径为 $4.6\ \text{m}$; 喷混凝土段为 $5.7\ \text{m}$; 双室式调压井由内径为 $8.7\ \text{m}$ 的竖井、容积分别为 $5970\ \text{m}^3$ 与 $1\ 320\ \text{m}^3$ 的上下室组成, 上室顶部高程 $493\ \text{m}$; 埋藏式钢衬压力管道单管联合供水, 主管内径 $3.7\ \text{m}$, 倾角 46° , 长度 $348.95\ \text{m}$, 进出口中心高程分别为 $420\ \text{m}$ 和 $215.5\ \text{m}$ 。

厂区枢纽为地面式, 位于南江渡口下游 $100\sim 500\ \text{m}$ 内的龙河右岸斜坡上, 由主厂房(含尾水建筑与空调室)、安装间、副厂房(含油处理室)、升压站(含主变场与开关站)、综合楼(含办公、生活、机修和车库)和永久交通工程等建筑群组成, 并自上游向下

游顺序沿龙河右岸呈“一”字形排列布置,占地面积 3.08 hm^2 。正常尾水位 251.7 m ,最大水头 229.5 m ,校核洪水位 266.08 m ,防洪墙顶部高程 269 m ,设计水头 200 m ,装机容量 $(3\times 35)+(1\times 10)=115\text{ MW}$,年发电量 $5.22\text{ 亿 kW}\cdot\text{h}$ 。

工程总计明挖土石方 59.69 万 m^3 ,洞挖石方 18.58 万 m^3 ,浇筑混凝土和碾压混凝土 68.39 万 m^3 ,喷混凝土 0.64 万 m^3 ,浆砌条块石 2.4 万 m^3 ,帷幕灌浆 2.4 万 m^3 ,固结灌浆 4.84 万 m^3 ,回填灌浆 2.44 万 m^3 ,钢筋制安 0.31 万 t ,钢管制安 0.1 万 t 。工程总投资 7 亿多元 。工程自1993年12月15日大坝开盘混凝土浇筑正式开工起,至1997年底全面完工,历时48个月。

3 干流梯级开发方案调整

3.1 梯级布置调整

根据河流的自然条件,在基本遵守地县行政区划,尽可能减少淹没损失,最大限度利用天然落差的前提下,将干流调整分四段开发。

首段。桥头镇至芭蕉滩河段长 28.75 km ,落差 246 m ,河床坡降 8.56% ,原为四方石($664\sim 620\text{ m}$)和芭蕉滩($620\sim 554\text{ m}$)两级。四方石装机规模小,又未按设计规模建设,效益差;芭蕉滩为坝后式,水库总库容 3.16 亿 m^3 ,具不完全多年调节能力,但淹没损失过大;四方石以上干流尚有百余米落差未被利用。调整方案有二:(1)在四方石以上增设藤子沟坝后式梯级($750\sim 670\text{ m}$),改扩建四方石引水式梯级($670\sim 620\text{ m}$),暂时保留芭蕉滩坝后式梯级($620\sim 554\text{ m}$),视地区经济发展情况决定取舍;(2)兼并四方石,引水道伸入芭蕉滩库区,扩大藤子沟为混合式梯级,其正常蓄水位为 $780\sim 765\text{ m}$,正常高尾水位为 $590\sim 580\text{ m}$,缩小芭蕉滩梯级规模,改为引水式($590\sim 554\text{ m}$)。经比较后认为:第二方案优越。

第二段。芭蕉滩至下路镇河段长 17.39 km ,落差 39 m ,河床坡降 2.24% ,原为南宾河($554\sim 538\text{ m}$)和上街($538\sim 522\text{ m}$)两级。该河段坡降平缓,河谷开阔,两岸一级阶地发育,只高出河床枯水位 $5\sim 10\text{ m}$,阶地上广布农田,并有石柱城、双庆及下路等场镇,故原布局基本不变,只将上街与跳蹬河两级间未被利用的 7 m 落差收入扩大上街梯级规模($538\sim 515\text{ m}$)。

第三段。下路镇至南江渡河段长 31.44 km ,落差 265 m ,河床坡降 8.34% ,原为跳蹬河($515\sim 427\text{ m}$)和石板水($427\sim 270\text{ m}$)两级。跳蹬河混合式梯级工程规模相对较大(大坝雍水高 66 m ,引水隧洞长 5 km)、库容小(总库容 0.66 亿 m^3)、淹没损失较大(耕地 131.3 hm^2 ,人口 1989 人),又属跨县工程;石

板水为高水头引水式电站,装机容量达 105 MW ,但必须依赖芭蕉滩大型水库的同步建成;石板水与鱼剑口两级间尚有 20 m 落差未利用。调整方案以丰、石两县交界点湖海场(相应水位 480 m)为线,将下路镇至湖海场河段($515\sim 480\text{ m}$)划出,新设置牛栏口梯级;跳蹬河坝址下移至石板水拦河坝处,石板水引水道下伸至南江渡,收入石板水与鱼剑口两级间未被利用的 20 m 落差,组成新的石板水混合式梯级($480\sim 250\text{ m}$)。

第四段。南江渡至金竹滩河段长 33.28 km ,落差 110 m ,河床坡降 3.31% ,原为鱼剑口($250\sim 175\text{ m}$)和金竹滩($175\sim 140\text{ m}$)两级。该河段为一大弯道,母猪沱至安宁场为狭谷,属灰岩区,母猪沱以上和安宁场以下为宽谷,属砂泥岩区,耕地、居民较多;南江渡至马良大桥河段曾因马良山崩堵塞河道造成河床淤积,据钻探揭示河床覆盖深,在九溪沟大桥前达 42 m ,向上游逐渐变浅,至南江渡为零。根据河流自然条件,鉴于金竹滩梯级处在三峡水库正常蓄水位以下,故将鱼剑口坝址上移至韩家沱,厂址下移至安宁场,右岸隧洞截弯取直扩大鱼剑口梯级规模($250\sim 168\text{ m}$),缩小金竹滩梯级($168\sim 140\text{ m}$)。

综上所述,干流梯级开发调整方案为两库八级电站,总库容 2.85 亿 m^3 ,调节库容 2.03 亿 m^3 ,淹没耕地约 301.6 hm^2 ,迁移人口 3474 人 ,总装机容量 266.2 MW ,年发电量 $11.64\text{ 亿 kW}\cdot\text{h}$,利用水头 625 m 。较原规划方案多利用水头 125 m ,装机容量增加 20 MW ,年发电量增加 $1.95\text{ 亿 kW}\cdot\text{h}$,耕地减少 434.2 hm^2 ,人口减少 6563 人 。

3.2 调节水库优选

选取藤子沟和石板水替换芭蕉滩和跳蹬河作为干流调节水库。石板水电站位于干流下游丰都河段首端,总库容 1.05 亿 m^3 ,具季调节能力,是丰都河段3个梯级的主要调节水库;藤子沟水库处于干流梯级的龙头位置,总库容约 1.8 亿 m^3 ,具年调节能力,是上游石柱河段5个梯级的主要调节水库,又对下游丰都河段各梯级补充调节。梯级装机容量与年发电量分别增加 8.5% 和 20% ;淹没损失减少 60% 左右,减少后的淹没损失又分属两个县分担;分别处于两县各自河段首端的藤子沟和石板水两座混合式电站,水库为大型,电站为中型,这种布局有利于干流梯级的整体联合开发,也有利于分河段分县单独开发,适应两地区社会经济发展的需要,大为简化了上下游投资与效益分摊等矛盾。

3.3 一期开发工程优化

原一期开发工程推荐同步开发芭蕉滩与石板水两级,是因为芭蕉滩具有一座不完全多年调节的大型水库,调节库容 2.7 亿 m^3 ,但电站装机容量仅为 22 MW ;石板水电站为 157 m 落差的高水头电站,

装机容量达 105 MW, 但为引水式, 二者同步开发, 其电力与经济效益十分显著。由于政策因素, 芭蕉滩水库淹没耕地 569.5 hm², 迁移人口 7 680 人, 全由一个国定贫困的石柱县承担, 加上涪陵行政区划变动频繁等而上不去; 单独开发石板水引水式电站, 难以发挥设计与投资效益。故提出首先调整下路镇至南江渡河段, 将原跨县工程跳蹬河混合式梯级一分为二, 划出属于石柱县的跳蹬河库区上段(515~480 m), 设置牛栏口梯级; 跳蹬河坝址下移至原石板水引水式梯级的拦河坝下游 50 m 处, 雍水高 74 m, 延长石板水引水道至南江渡建厂房发电, 组成新的石板水混合式梯级, 并推荐作为一期工程开发。它具有 5 个优点: 水库调节库容 0.77 亿 m³, 具季调节能力, 可担负系统调峰、调频和事故备用; 设计水头 200 m, 装机容量 115 MW, 年发电量 5.22 亿 kW·h, 适应地区中近期社会经济发展要求, 有利于龙河梯级滚动开发; 淹没损失较小, 淹没耕地 119.5 hm², 迁移人口 633 人, 主要由丰都县承担, 上下游间矛盾微小; 开发条件好, 地质条件单一, 施工导流简单, 对外交通方便, 施工就近供电, 输电距离较近; 工程造价低, 初设审定总投资为 4.95 亿元, 工程调概为 6.85 亿元。

4 石板水电站工程优化设计

石板水电站工程筹建之初, 涪陵地委、行署就指示抓好工程优化设计。几年来, 承担工程技设任务的成勘院和涪陵地区水电院, 在工程建设指挥部的组织、支持和参与下, 进行了多项工程的优化设计, 为石板水电站工程建设作出了大的贡献。下面述评的是主要优化项目。

4.1 碾压混凝土骨料优选

通过地勘与试验, 碾压混凝土骨料改为在左岸坝头开采加工砂岩作粗骨料, 仍采用距大坝 17 km 处的茶园灰岩加工作细骨料的组合方案, 其物理力学性能满足技术要求, 符合就地取材原则, 后经钻孔取芯试验, 亦满足设计要求, 从而减少了龙茶 17 km 乡村公路改扩建和粗骨料 1 280 万 t 公里运输等费用。采用砂岩作粗骨料建成 84 m 高度的碾压混凝土重力坝, 在全国尚属首例。

4.2 优化导流方案并延长小龙河电站发电时间

技设设计阶段在坝体增设中孔, 施工期用作导流, 运行期排沙、放空、控制库水位; 将原设置在右岸的导流洞移至左岸, 断面由 42 m² 减至 13 m², 同时提高上游围堰高度 1.8 m。这一联合导流方案布局合理, 增加了运用功能, 提高了枯期导流的可靠性, 简化了施工封堵, 还促成了在右岸新开隧洞引水, 延长小龙河电站发电时间达两年半。不仅节省了导流

工程投资, 延长发电时间两年半, 免除了因坝基开挖即终止小龙河电站发电的补偿费用, 还为丰都县电网提供了 0.67 亿 kW·h 的发电量。

4.3 挡、泄水建筑物尺寸调整

通过大坝枢纽整体和中孔水力学模型试验论证以及设计计算, 缩短了中孔坝段长度 23 m, 中孔弧门移至下游坝面; 表孔闸墩采用宽尾墩, 缩短闸墩长度 1.9 m, 降低溢流导墙高度 12 m; 优化了坝体设计断面, 取消了上游坝坡, 下游坝坡减少 0.1。在进一步进行地勘与试验论证工作的基础上, 提高一至三坝段建基面高程平均达 3.8 m。优化结果增强了坝体整体的稳定, 简化了下游保护工程, 节省开挖与回填量各为 5 万 m³, 为全坝顺利展开碾压混凝土施工创造了条件。

4.4 夏季碾压混凝土施工

龙河地区 6~9 月各月平均气温为 24~29℃, 月极端最高气温均超过 40℃。初设方案取回避措施, 规定 6~9 月大坝停止碾压混凝土施工。为了充分利用每年夏季宝贵的 4 个月时间, 业主委托成勘院科研院所进行试验, 论证提出了夏季碾压混凝土施工配合比, 再加上合理分块, 仓面控制在 1 500 m² 左右; 仓面喷雾, 可降低仓面气温 3~5℃; 日气温超过 32℃ 时就改为夜间浇注, 白天冲毛养护; 增加堆料高度, 地笼取料; 洒水养护至 28 d 等简易措施。夏季碾压混凝土用茶园中热水泥, R₉₀ 100 号和 R₉₀ 200 号碾压混凝土水泥用量分别为 50 kg 和 108 kg, 掺加粉煤灰量分别为 100 kg 和 72 kg, 初凝时间达 14 h 以上, 绝热温升为 14℃ 和 18℃, 满足设计技术要求。实施结果表明因温度产生的裂缝甚少, 促进了施工进度。

4.5 压力引水隧洞轴线优选

技设设计阶段补作了 1/5000 平面地质测绘 7.1 km² 及 6 条地质剖面共计 8 200 m, 又在初设洞轴线上钻孔 6 个, 共计进尺 1 169.1 m, 水压试验 61 段。从而查明了原轴线穿越的砂岩层只为压力隧洞总长度的 18.6%, 泥岩层占 81.4%; 过石板水沟的上覆岩体厚度为 12 m, 加之岩体裂隙发育, 裂隙密度为 0.5~1.0 m, 岩体稳定性差。由于高倾角裂隙的切割, 沟通了地表水, 地下水较丰富。为改善隧洞围岩的地质状况, 又在保持进水口与调压井位置不变, 洞身最大内移 500 m 的新洞轴线上钻孔 2 个, 共进尺 500 m, 结合原洞线上的 6 个钻孔资料及地表地质测绘组成的 6 条剖面资料推测, 新轴线穿越的砂岩层由原 18.6% 增至 49.95%, 过石板水沟的上覆岩体厚度由原来的 12 m 增到 20 m, 从而改善了隧洞围岩的地质条件, 节省了洞挖、衬砌和临时支护的工程量。

4.6 隧洞衬砌结构方案优化

本工程为圆形有压隧洞,内水压力为0.4~0.7MPa,垂直埋深20~400m,水平埋深150~1500m,轴线穿越砂、泥岩不等厚互层,施工采用光面爆破,洞壁起伏差为3~13cm,根据围岩地质状况,围岩自承作用强,为此,对隧洞衬砌结构重新分段,改单一的钢筋混凝土衬砌为素混凝土、喷混凝土和钢筋混凝土3种衬砌结构形式。对上覆岩体较薄、裂隙发育、地下水较丰的石板水沟等地段,采用钢筋混凝土衬砌,厚度为0.6~1.0m,长度194m;0+800m至2+800m段埋深大,为厚层石英砂岩,岩石坚硬完整,裂隙不发育,地下水轻微,故采用喷混凝土衬砌,厚度0.1m,长度2000m;其余各段为砂、泥岩不等厚互层,砂、泥岩层交替频繁,交接带软弱,部分岩层面与隧洞轴线平行,有地下水出露,采用素混凝土衬砌,厚度按砂岩、上为砂岩下为泥岩、下为砂岩上为泥岩,全泥岩分别为0.25m、0.3m、0.35m和0.4m,长度为3851.5m。按有限元法,限裂计算,最大裂缝宽度喷混凝土段为0.035mm,素混凝土段为0.387mm,满足规范要求。由于97%的洞段为素混凝土和喷混凝土衬砌,故节省钢筋量0.2万t;由于衬砌厚度减薄,减少混凝土衬砌量2.2万m³;同时简化了施工工艺,从而加快了施工进度,隧洞工期提前半年以上。运行一年后经检查,衬砌结构无损,集石坑无渣沉积,效果较明显。

4.7 压力管道设计方案优选

埋藏式钢衬压力管道主管内径为3.7m,倾角46°,穿越侏罗系沙溪庙组砂、泥岩互层,泥岩层占主管长度的70%,地面坡度35°,覆盖层厚3~8m。技施设计阶段比较了钢管与围岩承担内水压力,衬砌混凝土起传力作用,常规灌浆和钢管、围岩与衬砌混凝土共同承担内水压力,常规灌浆以及钢管、围岩与微膨胀混凝土共同承担内水压力,取消灌浆等方案,用有限元法计算,最后决定选用钢管与围岩承担内水压,衬砌混凝土起传力作用,常规灌浆方案。由内水压力控制的钢管壁厚为12~26mm,围岩分担比在21~40%间;若考虑外压力,则管壁厚度小于20mm管段不能满足稳定要求,必须加箍;而厚度大于20mm管段可满足稳定要求,考虑到简化钢管制作,便利洞内运输,方便混凝土回填质量控制,决定采用管壁厚度为20~26mm的光滑钢管。实施后节省钢材385t。

4.8 压力管道施工方案优化

压力斜管段长246.13m,原按常规的短安装回填单元工程施工方案,分为18个单元(单元长度13.6m),单元工程施工循环周期长且繁琐;钢管与混凝土运输均自上而下,并与主洞、调压井衬砌施工共用3号支洞,施工交叉干扰特别大,工期长。经反复计算论证,决定采用加长安装回填单元长度,定点

给料、反向回填的施工方案,即自下而上分为26.12m、50m、60m和110m四个单元工程;钢管由3号支洞自上而下运入安装;拌和站在4号支洞口,HB T-80型混凝土泵设在主管与4号支洞交点外侧,自下而上输送混凝土入仓浇注。在实施过程中改进了钢管组焊工艺,解决了长钢管组焊期变形问题;长钢管内外支撑加固,控制高流态混凝土初凝时间和浇注速度,克服了钢管位移与变形;防止了高压管运行震动对长钢管支撑的破坏等,确保了钢管稳定,混凝土回填质量优良,排除了3号支洞施工干扰,加快了施工进度,原定半年工期3个月完成,并且成功地创造了国内地下埋管混凝土回填单元长度达110m,混凝土泵送高度达185m的新记录。

4.9 厂区枢纽总布置优化

厂区位于龙河右岸南江渡口下游100~500m,地面坡度为25°~35°的狭长地带,河床枯水位250m,丰石省道公路从280m高程通过,出露侏罗系沙溪庙组砂、泥岩互层,倾向上偏右岸,覆盖层厚3~6m。技施设计中对厂区枢纽总布置作了如下改动:原主厂房与安装间顺河岸布置的形式及位置不变,只缩窄宽度,增加长度;副厂房从主厂房的右侧搬走,紧靠安装间下游端设置;将原设于安装间右侧并与河流向呈垂直布置的主变场搬走,将原设于305m高程的开关站下移,主变场与开关站并排平行错层布置,紧靠副厂房的下游端设置;将原分散布置在下游的办公、机修、车库和生活及福利设施,集中紧靠升压站下游端布置;将原布置在350m高程的丰石改线公路下移,紧靠厂区右侧,仍由280m高程通过;取消进开关站公路。厂区枢纽总布置的这一改变,实际上是将厂区的主厂房(含尾水建筑物及空调室)、安装间、副厂房(含油处理室)、升压站(含主变场及开关站)、综合楼(含办公、宿舍、机修及车库)以及永久交通工程等建筑群,由“L”形改为顺河“一”字型排列布置。这个布置符合厂区实际地形地质条件,厂区布置紧凑规则,改善了主副厂房的通风采光条件,有利于厂区后壁边坡的稳定,减少了占地面积4.42hm²,节省了土石方开挖和公路里程2.14km。

4.10 主厂房内布置及结构尺寸优化

初设主厂房内安装3台水轮发电机组,水机层平面尺寸为47.47m×30.89m,发电机层平面尺寸为47.47m×33.99m,安装间平面尺寸为20.34m×19.60m。技施设计中作了如下变动:主厂房安装4台水轮发电机组;将副厂房从主厂房右侧(靠山一侧)搬至紧靠安装间下游端布置;水机油水气管路集中布置在主厂房右侧的管道间内,电缆及电气屏柜集中布置在主厂房左侧(靠河边一侧)的机旁屏柜室内;将球阀改为蝶阀,长度缩短2m余;安装间平面

尺寸以满足发电机四大件(定、转子,上、下机架)放置及组装需要为准,缩小为 $14.40\text{ m} \times 15.5\text{ m}$;;行车轨距由 16 m 减至 12.5 m 。上述改动完成后,水机层平面尺寸变为 $61.2\text{ m} \times 28.3\text{ m}$,发电机层尺寸变为 $61.2\text{ m} \times 23.6\text{ m}$ 。水机层中间 15.5 m 宽度布置水轮机及蝶阀,右侧 4.7 m 宽度设置上下两层管道间,左侧 8.1 m 宽度为机旁屏柜,防洪墙及尾水门槽;下游安装间楼下为空压机室与透平油处理室;发电机层中间 15.5 m 宽度布置发电机及调速器,右侧临空采光,左侧 8.1 m 宽度为两层电气间、防洪墙及尾水平台,下游端为安装间。主厂房内布置简洁规则;电气与水机布置各占一侧,避免了相互干扰,使维修方便;主厂房内宽度缩窄,水机层为 2.59 m ,发电机层为 10.39 m ,长度在增装1台机组下只增长 7.79 m ,主厂房宽度缩窄既满足功能要求,又减少了后壁高陡边坡的开挖量,还促进了行车跨度的减小、屋盖大梁跨度减小、行车柱断面尺寸减小,主厂房通风采光条件得到了改善。

4.11 水机设备优选

通过进一步调研论证,机型采用了效率高(最高效率 93.9%)、高效区宽(各出力范围效率高 $1.5\% \sim 3\%$)、出力裕度大(比额定出力多发 $8.6\% \sim 15\%$)、稳定性好(振动轻微)、抗冲磨蚀性好的HLA351机型,其设备价格与其他机型基本一致,因吸出高低 1 m 引起土建投资增加不多,但由于效率高,出力裕度大,其收益远超出付出。主阀改球阀为重量轻(比球阀轻 43 t)、尺寸小(短 2 m 余)、密封性好、用油量少、可靠性高(在失去油压和电源时仍能动水关闭)的水力自闭双平板蝶阀,节约了设备投资,为主厂房宽度缩窄创造了条件。此外,还优化了中央空调系统及气流组织,提高了空调利用率,空凋制冷量由 700 kW 减至 400 kW 。

4.12 电气设备优选及布置优化

根据实际厂用电负荷统计,经计算分析,改3台 800 kVA 干式变压器为2台。厂用变主结线改1、3

号发变组为带有厂变分支的发变组单元结线,2号发变组则为不带厂变分支的发变组单元结线。根据机修车间、空压机间、绝缘油和透平油处理室、蝶阀坑和空调室等处负荷集中的特点,改低压配电屏在副厂房集中布置为分散布置,从而减少了厂用低压中心配电室的屏柜,缩小了占地面积,节省动力电缆 5 km 。此外,在电气设备中采用了六氟化硫、真空等断路器,多米诺屏、带全控制的免维护铅酸蓄电池等先进设备,无疑提高了电站运行的可靠性。也研制了微机中央监测控制系统和非电量监测系统,机组可频繁迅速启动,能担任系统调峰、调频和事故备用,对提高电能质量起到了重要作用。

5 结束语

由于首先调整了龙河干流第三段下路镇到南江渡河段,优化了干流梯级开发一期工程,提出了石板水混合式电站作为一期工程开发,得到了上级主管部门的审批立项建设,从而启动了龙河开发,结束了20余年的徘徊局面。石板水电站能够保质提前建成,工程设计的优化起到了很大作用,电站的提前建成发电,从资金、技术、经验等方面为龙河梯级滚动开发奠定了坚实基础。

在石板水电站建设的同时,工程建设指挥部开展了下游鱼剑口(装机容量 48 MW)的前期工作,已于1997年完成初步设计待审批;也积极促进上游龙头梯级藤子沟水利枢纽工程(总库容 1.8 亿 m^3 ,装机容量 $50 \sim 60\text{ MW}$)前期工作的开展,已完成可研审批,正进入初设阶段。相信借助石板水电站建设所积累的经验、技术和经济实力,定能促进龙河水力资源的滚动开发,造福于人民。

作者简介
陶斯樾 男 重庆涪陵石板水水电站工程指挥部副指挥长 总工程师 教授级高级工程师

(收稿日期:1999-01-15)