

# 枢纽总体布置及设计过程

杨渭汶 鲁慎吾

(水利电力部成都院) (水利电力部贵阳院)

南垭河是大渡河中游右岸的一条支流,在石棉(距成都公路里程360 km)县城西注入大渡河。三级电站闸址处截水面积862 km<sup>2</sup>,利用8 km河段的天然落差约280 m,在姚河坝筑低闸抬高水位,经长约7 km的引水隧洞,到南瓜桥上游地面厂房发电,多年平均流量37.9 m<sup>3</sup>/s,电站装4万kW机组三台,总容量12万kW,多年平均发电量6.5亿kWh。

## 一、枢纽总体布置

### 1. 首部枢纽

首部枢纽由拦河闸坝、右岸引渠及沉沙池等组成。自右至左,第一坝段设2孔2.5×4 m弧形门小冲沙孔,坝段宽12.5 m;第二坝段为溢流坝,设6×6 m平板闸门,坝段宽9.0 m;第三、四坝段各设2孔6×11 m平板闸门的大冲沙孔,坝段均宽11 m;四个坝段总宽43.5 m。最大闸高21 m,闸基为第四纪漂卵石夹粗沙层,最大层厚25 m,基础防渗采用全封闭混凝土防渗墙,设计施工有以下特点:

(1) 引水防沙 在多沙石的山区河流引水发电,防沙是个突出问题。根据多次水力模型试验,汛期水库低水位1363.50 m运行时,以2个2.5×4.0 m的小冲沙孔为主冲沙通道,但试验证明仍有粒径8 cm以下的少量底砂、石,经高差为5 m的坎高及粗格拦污栅孔跃入明渠,因此在明渠中部设置了拦截小粒径底砂、石的拦沙设备。只有在以上两道防

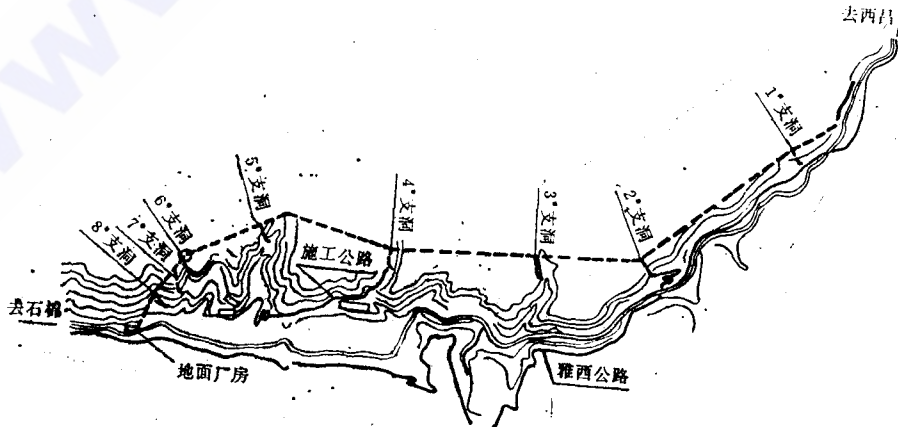


图1 南垭河三级水电站枢纽总布置图

线联合运行时,才能取得理想的防、排推移质的效果。悬沙则靠沉沙池来沉淀。沉沙池总长 179.92 m,其中正身段长 103 m,宽 26 m,平均流速 0.34 m/s,悬沙沉降保证率:

当粒径  $d \geq 0.25$  mm,计算保证率为 82%;

当粒径  $d \leq 0.10$  mm,计算保证率为 66%。

经水力模型悬沙沉降试验证明,能够满足设计要求。

(2) 高引水明渠及其内坡防护 右岸低引水明渠,全长 407 m 傍山开挖而成。其内挡墙顶宽度较大形成一平台,其上一封闭式框架型涵洞称为高引水渠。枯水期泥沙含量低,库水位抬高到 1369.50 m 运行,两台机组的引用流量为  $36 \text{ m}^3/\text{s}$  时,水流呈无压状态,不经沉沙池直接进入隧洞。该封闭型涵洞,独立于内边坡,还可防护内边坡少量崩塌物。

引水渠首沿线内坡一般高 40 ~ 60 m,其中隧洞进口前长约 22 m 段,开挖内坡高达 90 m,进水建筑物浇筑以后坡高仍有 70 m,顶部厚约 36 m 为松散堆积层。出露基岩高 30 m 左右,顺裂隙层面开挖边坡采用 1:0.4,可满足稳定要求。但在混凝土浇筑高度近 20 m 的范围内,开挖边坡为 1:0.2,切断了天然裂隙面的坡脚。为了防止额外岩石侧压力,在该段埋设 22 根锚固钢筋。同时作了大面积的喷混凝土防护,直到坡顶,包括堆积层在内,运行以来情况良好。

(3) 右岸小冲沙闸结构设计 小冲沙闸与进水口毗邻,闸底板长 25 m,宽 12.5 m。实际开挖揭露的基础与提供的资料出入较大,致使软硬基分界线基本上在该闸底板中心线上、两者的变形模量相差达 100 倍之多,这在水工建筑史上是罕见的。设计先用初参数法试算,适当加厚底板并增加配筋,进行一定的基础处理,处理后能够满足强度要求,但可能产生裂缝。详情参见本刊“不均匀地基变模比 1/100,小冲砂闸结构计算及观测成果分析”。

(4) 防渗墙造孔粘土 规范规定,混凝土防渗墙造孔粘土的粘粒含量应大于 50%。本电站是火成岩地区,很难找到高粘粒含量的粘土,在 30 km 以外的石灰岩地区,其粘粒含量只有 40 ~ 45%,小于规范规定。考虑到本电站防渗墙最大深度为 25 m 左右,且漂、卵沙石层沉积相对比较紧密,施工中试用上述粘土未出现坍孔。

## 2、引水系统

详见南垭河三级电站枢纽总布置图。

(1) 引水隧洞 内径 4.5 m、全长 7 018 m。隧洞沿线高程设计,考虑洪水期水库低水位运行,糙率  $n = 0.017$ ,电站负荷由二台增加到三台,洞顶压力余幅最小为 4.6 m。沿程内水压力根据枯水期水库高水位运行,  $n = 0.014$ ,三台机组满负荷到全甩负荷时的最高涌浪线,并进一步合理地分为五段:

桩号 0+000~1+300 长 1 300 m,最大内水压 20 m,

桩号 1+300~2+600 长 1 300 m,最大内水压 27 m,

桩号 2+600~4+300 长 1 700 m,最大内水压 35 m,

桩号 4+300~5+703 长 1 403 m,最大内水压 42 m,

桩号 5+703~7+016 长 1 313 m,最大内水压 50 m。

衬护型式,原设计为混凝土及钢筋混凝土衬砌。后曾分析研究过在岩石比较完整洞

段,改用锚喷、不衬不喷的问题。但地下水及河水的水质分析表明,两者都具有一定的溶出性侵蚀,当时即使是铁路隧洞,亦规定不能用喷混凝土作为支护。加上糙率增加,洞径要再度扩挖,难度亦大,故最后仍维持原方案不变。至于隧洞衬砌结构设计原则,后阶段改为全线除过沟、交岔口及地质条件  $f \leq 2$  的地段按不允许开裂设计外,其余均按限裂的标准设计。

隧洞顶部回填灌浆,按惯例全线进行,固结灌浆只限于过沟、交岔口及  $f \leq 2$  的地段。固结灌浆孔的深度,根据钻孔声波测试,爆破对围岩的松动影响深度,一般不超过 2.5 m,故孔深定为 3 m。

全线岩层由于构造作用,花岗岩中有辉绿及闪长岩脉侵入,经统计全线出露岩脉 160 条,总长度约 523 m,占洞长的 7.5%,加上局部地段断层切割,故裂隙发育,岩体破碎,尤以首、尾两端为多。加上开挖以后有的支护不及时,有的支护作用发挥得不够,引起规模较大洞顶塌方有 13 处,一度曾成为电站建设中的“拦路虎”。粉碎“四人帮”以后,各项规章制度逐步建立,在分局党委的重视下,加快了塌方处理及电站建设的步伐,特别是 1979~1980 两年内,成绩更为显著。

(2) 调压井 根据部对初设审查意见,在可能选择调压井的部位,作了比较充分的地质勘探工作,提供了可靠的资料供设计作方案比较之用。经综合分析,推荐了位置紧接 6° 支洞上游山沟内、结构型式为上部开敞式的差动式调压井,如总布置图所示。大井内径 14 m,高约 45 m,露出地面约 2 m。升管下游设挡水面积为  $3.6 \times 4.5$  m 的快速闸门一扇,在动水中下降,静水中开启,由井顶的  $2 \times 80$  t 固定式启闭机操纵。

调压井地区地质构造发育,由于多条断层的切割,岩体稳定性差,设计及施工选用自上而下逐步开挖、逐步衬砌,井壁外围固结灌浆,以防止每层井围接缝处漏水。运行以来,情况正常。

大井平台以上,两侧开挖后形成 30~80 m 的高边坡,右侧沿山坡又有一薄层滑坡,山沟中存有约 3 万  $m^3$  的崩坍物,经四川地理研究所现场鉴定:历史上曾发生过泥石流及滑坡,需要采取相应防护措施,以保证长期运行中的安全。因此在大井顶加设井盖以防泥石流,右边薄层滑坡用混凝土贴坡面拱支护,两侧高边坡用挂钢筋网锚喷或喷浆保护。为防止泥石流,在调压井以上山沟流域面积内(约 0.2  $km^2$ )进行封山育林。

(3) 压力钢管 新管线从调压井到最远一台机组总长 327 m,其中斜井段长 518 m,高差 259.65 m。由于机组的转动惯量早于 1972 年订货时确定,已开挖的下平段又不便扩挖,根据水力调节保证计算,斜井钢管内径应由原设计 3.50 m 增加到 4.30 m,才能满足调节保证的要求。

斜井原设计从 9° 及 8° 支洞分别向上开挖,其中 9° 支洞以上长 292 m,开挖比较顺利。8° 支洞以上约 226 m,开挖不久,由于打穿断层交汇组成的“倒锥体”型储水构造带,塌方及涌水同时发生,其中最大涌水量约 200~300  $l/s$ ,稳定后仍有 3  $l/s$  左右,塌方于 1975 年 4 月开始,几经处理效果不佳。最后只得再增加一条 7° 支洞,把上段 226 m 分成两段开挖,于 1979 年 6 月全线挖通,1980 年 8 月处理完毕,才开始钢管安装。钢管先用内水压力计算板厚,再用外水压力 50~140 m 水头分别校核放空时的稳

定性,在正常钢板加劲圈不够时,再用蛇形钢筋圈来补其不足。

压力钢管的两个岔管,最大内水压力与管径的乘积  $H \times D = 1365 \text{ m}^2$ ,为国内当时已投产电站中的最大值。在国外70年代先进的月牙肋岔管的基础上增加了贴边,结构型式上有所创新,称为混合加强型月牙肋岔管,对降低“钝角区”管壁应力的峰值,效果明显。安装就位以前,经过  $50 \text{ kg/cm}^2$  (为最大内水压力的1.28倍)的水压试验,进行了比较齐全的原型测试,各部位应力绝大部分在钢材弹性范围以内,经过五年运行情况正常,这项设计当时处于国内领先地位,曾于1984年获得水电总局优秀设计三等奖。

### 3. 厂房区及永久性生产、生活建筑

厂区建筑物布置在长200~300 m、宽30~50 m的狭长地带。地表为第四纪沙卵(块)石层,基岩线较陡。建筑物布置遵循下列三原则。

- (1) 主机间、安装间及中央控制室建在基岩上;
- (2) 不能影响现存的山体边坡及已建通车的公路;
- (3) 临河面地形狭窄,无修筑围堰的位置,只能利用尾水渠通过的滩地,作为主厂房的施工围堰。

按照上述原则,结合厂区地形条件,厂区布置以主厂房为核心。地面厂房长64.94 m,其中主机间长38.40 m,安装间(在主机间右侧)长14.10 m,中控楼(在主机间左侧)长12.42 m,主机间距11 m。厂房纵轴线方向  $N34^\circ E$ ,厂房最大基础开挖宽度34.0 m,总高30.5 m。主机间安装3台4万kW竖轴混流式水轮发电机组。然后向上下游延伸布置开关站、同向流制水车间等辅助建筑物。

基础开挖后期,内外高差增大,作为施工围堰的滩地,汛期管涌梯度经常达到0.4左右,河面水流冲刷急剧。为防止围堰破坏,水淹基坑,汛期基坑暂停施工,这是因为厂房工程不控制发电工期。

厂区给水工程采用了先进的同向流制水车间。三台机组满负荷运行的冷却水、密封水及消防用水,在高峰时需水量约  $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ ,连同生活用水总供水量为  $1390 \text{ m}^3/\text{h}$ 。由于厂区地形狭窄,常规沉淀或过滤等办法远不能满足要求,与重庆建工学院合作研究成功了同向流制水新工艺,这个科研成果在1980年曾得到四川省科技成果三等奖。

永久性生产生活建筑总计  $15450 \text{ m}^2$ 。厂本部及全部家属均在石棉县城附近河口区,其他根据生产、生活需要分散在首部枢纽、厂区及调压井等处。

## 二、主要设计过程

南坪河一、三两梯级电站于1969年开始勘探、设计及筹建工作,1970年11月决定先开发三级电站,并于次年6月提出了“南坪河三级电站开发方案”报告(设计深度相当于可行性研究)。经四川省电力局审批,确定了以下三点设计原则:

1. 引水系统采用有压隧洞接竖井方案;
2. 厂房按地面厂房进行设计;
3. 同意闸坝加高,其高度按实际情况确定。



根据上述审批意见,全面开展设计工作,为选择最佳设计方案提供科学数据,同时进行首部枢纽、沉沙池及厂房尾水等水工模型试验。三级电站初步设计于1973年6月审批获准。

本电站投资基本上是按初步设计概算拨款。开工以来,由于初设时对复杂的地质条件估计不足,技术措施不当,造成多处大规模塌方;特别是后期物价调整,历年投资不足,不但影响工程进度,且有突破概算之危。因此于1980年编制了调整总概算,及时解决了工程资金问题,1983年又增编了尾工概算,三级电站最后调整的概算为20 921.9万元。

### 三、总体竣工验收

1982年11月水电部委托西南电管局组织有关单位组成南垭河三级电站3<sup>#</sup>机组启动验收委员会。1983年7~8月,在第一台机组并网发电三个半月后进行了各单项工程验收。

1986年初,根据水电部“关于委托组织南垭河三级电站总体竣工验收”通知的要求,由西南电管局会同四川省建委、水电总局、水电部七工程局、成勘院、七局南垭河分局、川西电业局、四川省雅安地区、南垭河发电厂、石棉县人民政府、建设银行石棉县支行等有关单位组成了三级电站总体竣工验收委员会。经过2天的检查,作出了验收决定:“南垭河三级电站施工质量符合设计要求,工程质量鉴定良好”。

### 四、结束语

三级电站从投产以来,1983年边安装边发电2.32亿kWh,1984年发电5.62亿kWh,1985年发电6.59亿kWh,1986年发电6.01亿kWh,1987年1月到9月,已发电3.90亿kWh,预计全年发电可接近6亿kWh,总的来说每年实际发电可稳定在6亿kWh左右的水平上,较快地达到了预期效果,取得了良好的经济效益。

三级电站从施工进点到全部投产,历时12年。施工头五年,正值“四人帮”严重干扰,年投资只1000万元左右不能按设计进度施工,另外一些行之有效的规章制度不能实行,这是工期拖长的主要原因。从勘测设计上检查,整个引水系统没有做必要的重型勘探,沿线地质资料是从施工开挖中逐步取得,调压井位置中途改变,增加了施工困难。施工开挖中,安全支护措施不当,质量不佳,造成隧洞及压力钢管沿线较大或大的塌方16处之多,不仅拖延了施工时间,亦增加了混凝土衬砌工作量增加了投资。这些教训都是值得认真吸取的。即使这样,电站竣工决算,单位kW投资仅1750元,仍然在合理范围以内。

三级电站工期拖长,不是固有规律,只要严格按照基本建设程序,加上新奥法等地下工程施工新技术的应用,认真作好前期工作,采用新的管理方法,缩短工期的潜力是很大的。

南垭河梯级规划分六级开发,总装机约57万kW,年发电量约31亿kWh,特别是补偿出力高达43万kW之多,开发条件之优越,是国内、省内所少有。如果事前做好施工准备,余下的几个梯级,5年左右完成一个是可能的。