

广蓄电站建设中若干重大技术问题的决策

广东抽水蓄能电站联营公司

罗绍基 叶冀升

【提要】 广蓄电站建设管理工作中一条重要经验是简化技术决策程序，工程初步设计阶段重大方案性问题已由国家主管部门组织审查评估确定，在技施设计和施工过程中，广蓄联营公司作为建设业主，及时对设计、施工中出现的技术问题作出决策，从而为加快工程建设速度和节约工程投资提供了必要条件。

【关键词】 广蓄电站 技术决策 蚀变带 斜井衬砌 斜井滑模 岔管 面板堆石坝

广蓄电站是在深化改革的形势下，优质高速建设的我国首座大型高水头地下式抽水蓄能电站。国家主管部门对工程初步设计重大方案性问题审查评估以后，广蓄联营公司作为建设业主，按照领导小组（董事会）授权，对建设过程中出现的技术问题有决策权，简化了决策程序，缩短了决策过程，为加快工程建设速度提供了条件。

也正是由于广蓄联营公司对电站建设实行集资贷款、建设管理、运行经营、还贷付息四位一体的建设管理模式，它必然要全面综合考虑工程建设中质量和速度的统一，技术和经济的统一，力求最佳总体效益。技术决策力求谨慎、果断、科学、准确。具体决策方式如下：

1. 工程初步设计阶段及以前的重大方案性问题依靠国家主管部门组织审查、评估决策。

2. 在技施设计和施工过程中出现的问题由联营公司决策，对一些涉及原初设审定的重大问题的修改，专题上报原审单位核批或备案。

3. 对重大技术问题，联营公司先邀请中、外专家咨询，再组织监理、设计、施工三方讨论，在此基础上由联营公司作出决策。

4. 联营公司每月主持一次由监理、设计、施工三方面总工程师及有关技术负责人参加的例会，研究设计、施工中出现的技术问题，及

时作出决策。

5. 联营公司领导具备较高的技术素质，并对决策效果承担全部技术经济责任，因此，虽允许参建各方保留不同意见，但必须执行决策意见。

以下仅列举十项重大技术问题，说明决策情况和决策效果。

（一）站址方案选择

可行性研究阶段，设计从4个站址方案（见图1）中筛选出II、IV方案作进一步比较，最终选定站址IV方案。

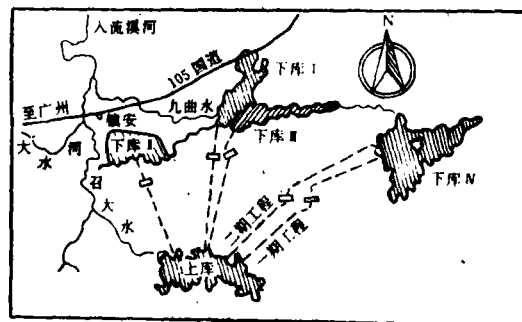


图1 广州抽水蓄能电站站址方案

4个方案的上库，皆选定召大水上游海拔750m高程以上的天然优良库盆陈禾洞盆地。方案II下库选择在海拔220m高程的镇安盆地边缘台地上，引水直线距离1.9km，移民和耕地极少，但需围堤建库，且库盆为石灰岩溶蚀

洼地, 岩溶发育, 坝工及库盆防渗处理量大; 方案IV下库选择在九曲水上游海拔 250m 高程的小杉盆地, 天然库盆, 峡口建坝, 花岗岩地质, 坝工简单, 但引水直线距离 3.4km, 需移民 1000 人, 淹地 1000 亩。

经专家考察, 认为方案IV地质条件良好, 施工简单, 而且发展余地大, 由于广蓄二期工程很快又获国家批准, 二期工程的进出口及上、下库大坝加高在一期建设中一次完成, 投资大为节省, 更显示选定站址方案 IV 是正确决策。

(二) 地下厂房位置和轴线方向选择

电站的厂房及引水系统深埋于燕山三期花岗岩岩体中, 花岗岩蚀变现象发育, 分布面广, 成为特殊的工程地质问题。依据长达 2km 的地质探洞揭示的地质情况, 分析花岗岩蚀变成因、机理和分布规律, 将厂房洞室群选择在蚀变相对轻微的第三地质块体范围内, 为大跨度地下厂房开挖和围岩稳定提供了良好的地质条件。这一正确决策, 还应归功于地质勘查资料准确和水利水电规划设计总院审查专家们的正确分析和判断。实践证明, 利用探洞资料决定厂房位置是个成功的经验。

在厂房轴线方向选择问题上, 专家们认为, 厂区地应力量级不高, 厂房轴线应主要考虑地质构造条件, 建议将原设计布置的南北向轴线改为 NE80° 方向布置, 综合照顾到厂区分布的 NW、NNW、NNE 三组陡倾角构造面的影响。整个开挖过程十分顺利, 厂房顶拱和高边墙围岩稳定条件良好。

(三) 一洞四机布置方案

电站一期工程装机 4 × 30 kW, 引水系统布置是采用 1 洞 4 机还是 2 洞 4 机, 国内外专家和国外厂商均存在两派意见, 能源部审查将这一问题下放由业主决策。

1 洞 4 机布置, 施工条件简化, 投资相对省 15%, 问题是一旦引水系统出现事故, 需要全厂停机检修, 电网将难以承受。联营公司经认真研究认为: 引水系统土建工程事故极为罕见; 4 台机组的球阀系进口设备, 可靠度高;

作为主要提供低谷电的大亚湾核电站每年有两个月以上的停机换核原料时间, 给本电站检修带来方便; 万一要全厂停机检修, 届时广东、香港、广西电网也已联网, 可发挥电网统调能力解决; 再则, 本电站二期扩建当时已在酝酿, 从总体上讲, 2 洞 8 机布置更为合理。因此, 决定承担风险, 选择 1 洞 4 机方案。从一期工程实际施工情况看, 若采用 2 洞 4 机, 则无法达到现有施工速度, 3、4 号机投产时间将大大拖后, 仅斜井施工就要推迟一年时间。目前, 二期扩建工程已开始兴建, 更充分说明采用 1 洞 4 机决策是正确合理的。

(四) 蚀变岩的工程处理和对策

本区花岗岩蚀变现象极为罕见, 它是在特定的地质环境下形成的一种特殊地质现象, 曾一度严重困扰工程进展。联营公司为此专门邀请中、外专家咨询, 并采取果断对策。

1. 根据专家们对花岗岩蚀变成因、机理和分布规律的分析判断, 及时调整某些洞室的位置(如尾水调压井), 尽量避免蚀变发育地段。

2. 根据蚀变带(主要是含蒙脱石矿物成分较多的)开挖暴露后易吸水膨胀崩解的特性, 及时喷锚支护, 限制蚀变带膨胀剥落。在高压斜井扩挖中, 还采用水压膨胀锚杆, 以加快喷护速度。

3. 强调做好洞挖施工排水, 部分洞段提前浇筑洞底垫层混凝土保护围岩。

4. 由于对含蚀变岩的洞挖渣料作为混凝土骨料的质量难以掌握和控制, 特别是含蒙脱石矿物的膨胀性对混凝土长期时效性能的影响, 一时尚难以通过试验作出结论, 从工期要求和长期运行安全出发, 联营公司果断决定, 改变原定洞渣料作为混凝土料源, 及时组织人力勘察并开采天然河滩砂石料, 满足了工程要求。

诚然, 对含少量蚀变岩的洞渣花岗岩能否作为混凝土粗骨料, 部分专家和设计单位还持有保留意见, 但联营公司考虑长期运行安全, 不留隐患, 还是果断决策, 并对此承担全部技术经济责任。

(五) 岩壁吊车梁方案

联营公司从工期要求和地质条件出发,一开始就主张地下厂房支承 $2 \times 200t$ 吊车的行车大梁采用岩壁吊车梁方案,这是目前国内跨度和荷载最大的岩壁吊车梁。

为了谨慎地进行岩壁吊车梁设计和施工,联营公司先后听取了挪威、瑞典、法国、澳大利亚等国专家和国内专家的咨询意见,并组织监理、设计、施工各方研究,对岩壁吊车梁设计、施工的主要技术参数和技术要求作出了决策。

岩壁梁施工由工程监理跟班严格控制质量,经过静荷 $560t$ 、动荷 $480t$ 的荷载试验证明,岩壁梁质量优良,安全可靠,提前提供设备安装使用,缩短工期一年以上。

(六) 高压斜井衬砌设计的改进

由于抽水蓄能电站建设正在我国兴起,高水头、大直径水工隧洞不断发展,我国原有的《水工隧洞设计规范》已不能适应这一要求。广蓄电站水工高压隧洞衬砌设计,在吸取国内外经验的基础上,采取“限裂设计”的理论和方法,较之以往有了一定的突破和改进,受到国内同行的较高评价。但在高压斜井衬砌设计中,由于设计理论方法上存在的缺陷和问题,对部分较软弱围岩地段,按计算要配置双层钢筋,这将给斜井衬砌滑模施工带来困难,并将制约滑模的上升速度。

联营公司反复研究,多次听取专家咨询意见,并考察了国外几个工程,认为问题所在还是我国水工隧洞设计理论和方法的保守,设计思想及概念上的混乱和不解放。在满足上抬理论准则(最小覆盖比准则)和水力劈裂准则(地应力场最小主应力准则),围岩地质条件良好的情况下,我国《规范》虽也承认主要靠围岩承担绝大部分内水压力,甚至也可以设计不衬砌隧洞,但实际上又希望衬砌不透水,或者限制裂缝,减少内水外渗,未充分考虑发挥围岩承载能力,在依靠围岩抑或依靠衬砌问题上含糊不清,其实质还是迷信衬砌和钢筋。然而,在高水头作用下,衬砌必然开裂,混凝土也会透水,从根本上讲,还是靠围岩承担内水压力。

国外有不少高水头不衬砌隧洞在长期运行,我国在50年代建成的一些不衬砌隧洞都证明了这一点。

基于上述分析,联营公司决定简化斜井衬砌配筋方案,将原设计双层钢筋改为单层钢筋,全线调整斜井钢筋布置,以适应滑模施工要求,并对此承担技术经济责任。仅此举措,就节省钢筋 $1900t$ 。水道充水后的监测说明,斜井运行情况良好。这项决策的实际意义也在于给我国高压水工隧洞设计提供了新的经验,其经济价值亦十分可观。

(七) 高压斜井衬砌滑模施工

本工程高压斜井采用两级 50° 布置,直线段上斜井为 $346.86m$,下斜井为 $288.12m$,最大内压静水头 $600m$,内径 $8.5m$,设计衬砌厚度 $60cm$,配置单层钢筋。

斜井钢筋混凝土衬砌施工,条件非同一般,而本工程斜井规模大、条件更为艰巨,若采用针梁钢模衬砌,钢模重百余吨,安全和工期难以保证。联营公司为此广泛向国外征询,最终决策引进英国C.S.M公司和瑞典B.U公司的斜井衬砌滑模技术和设备。这两家公司尽管有斜井滑模实践经验,但对广蓄电站如此大型斜井滑模也是第一次。联营公司作出这一决策经过了深思熟虑,承担了极大的风险,付出了非凡的勇气。联营公司派专人全过程组织和指挥,实施滑模质量监督和施工,发挥了中国人的聪明才智和吃苦耐劳精神,对滑模设备和技术不断加以改造和完善,令外国专家也为之钦佩,终于用了 $115d$ 时间,安全顺利地完成了上、下斜井总长 $613.2m$ 的直线段衬砌滑模施工,日平均滑升速度 $3.4m$,月最高滑升速度 $149m$ 。

广蓄电站斜井衬砌滑模施工的成功,使我国乃至世界地下长斜井衬砌施工技术提高到一个新的水平。

(八) 高压钢筋混凝土岔管

本电站采用1洞4机布置,主、支管分岔处内径由 $8m$ 变至 $3.5m$,体型结构复杂,承受最大内压水头 $725m$, $P \cdot D$ 值达 $58000kN \cdot m$,

按常规设计需要采用钢板内衬, 板材厚达44~60mm左右, 而且洞内钢衬安装、焊接、退火热处理十分困难, 同时又要加大运输洞室尺寸, 投资昂贵, 工期也不能满足要求。

考虑到岔管地段上覆岩体厚, 围岩地质良好, 地应力场最小主应力又稍大于内压静水头, 参考国外近年来的成功经验, 在原能源部领导支持下, 联营公司积极组织实施钢筋混凝土岔管方案, 经中国人民银行总行的努力, 获亚洲开发银行技术援助赠款, 通过国际招标, 委托美国哈扎公司承担咨询设计任务, 联营公司派员率领由设计、监理人员组成的中国工程师小组赴美哈扎公司总部进行联合设计和接受技术培训。

在岔管施工中, 联营公司根据岔管围岩地质条件, 取消了哈扎公司原要求采用的预应力锚杆, 节省了开挖工期, 并注意严格控制施工质量。哈扎公司派驻现场专家, 对岔管的开挖控制、混凝土试验和施工质量、监测仪器埋设质量等全过程施工质量表示满意。目前, 水道已完成充水, 岔管已投入工作, 观测资料表明, 岔管质量良好, 从而在我国水电工程地下高压岔管的设计和施工技术方面有了新的突破。

(九) 水道围岩高压固结灌浆和排水问题

我国水工隧洞围岩固结灌浆长期以来一直维持在中、低压水平。本工程水道洞径大、水头高, 为了加固围岩, 提高围岩承载能力, 设计提出较高的灌浆压力要求。联营公司积极帮助解决灌浆机具, 并会同监理、设计、施工各方, 在灌浆试验基础上, 确定灌浆的范围、技术参数和施工方法。

本工程水道围岩固结灌浆实现了6.5MPa的最大灌浆压力, 保证了重点地段的灌浆质量, 效果良好。尤其是斜井灌浆施工, 采用液压爬升灌浆平台, 解决了灌浆作业问题, 对于今后地下长斜井的灌浆施工提供了一些经验。

在高压水道排水设计方案问题上, 联营公司多次听取中、外专家咨询意见, 最后决策采用原有303m高程地质探洞作为排水洞方案, 并取消了较大数量的垂直和水平排水孔。

水道系统充水后的运行观测资料说明, 利用303m高程探洞和厂周边上下层排水廊道及排水孔幕的排水方案, 取得了良好效果, 有效地控制了高压水道外渗水流, 局部沿 $f_{7,12}$ 断层渗水辅助以排水孔能有效排出, 大多数垂直排水孔水位皆低于303m排水洞高程, 主厂房边墙、顶拱基本上看不到渗水现象。据此推断, 原决定在450m高程设置的一条排水洞, 可以考虑取消。

(十) 上库混凝土面板堆石坝

上库因地制宜采用混凝土面板堆石坝, 总填筑量 91m^3 , 混凝土 $2.45\text{万}\text{m}^3$ 。联营公司十分关注这一筑坝新技术, 尤其在國內某坝的面板混凝土出现大量裂缝之后, 更为注意控制质量, 先后多次请中、外专家现场研究筑坝技术, 并针对施工中出现问题慎重决策。

1. 由于上库天然径流量小, 为满足试机水量要求, 必须提前两年蓄水, 联营公司决定大坝分两期填筑, 第一期先填筑经济断面, 历时14个月, 满足了1991年4月汛前蓄水要求, 然后边蓄水边填筑加高大坝, 面板两期分缝设在受压区, 澳大利亚专家葛拉维克认为, 该缝可按一般施工缝处理, 无需特殊止水措施。

2. 本区花岗岩蚀变现象普遍, 填筑料中不可避免, 专家咨询认为没有问题, 但联营公司还是谨慎对待, 决定尽量利用备用料场蚀变岩含量较少的石料。并组织监理、设计、施工三方, 在填筑试验基础上, 确定了坝基处理和坝体填筑的技术参数和要求。

3. 对面板和趾板联接下方小区料的要求, 先是参照国内经验用洞渣料过筛掺5%水泥填筑, 后因变模过大(1000MPa), 影响面板受力, 容易裂缝, 几经研究, 决定对已填筑的小区料凿除20cm, 置换预制沥青砂砖(变模 $<100\text{MPa}$)处理。

4. 面板混凝土施工采用天津基础公司设计、施工单位自制的无轨滑模设备, 溜槽输送混凝土, 严格控制塌落度(白天高温控制6~7cm, 夜间低温控制4~5cm), 并在混凝土中掺加粉煤灰、缓凝高效减水剂和引气剂等,

广蓄电站工程质量监理

广蓄电站工程监理 朱 允 中

广蓄电站工程量大,工期紧,技术要求高,施工难度大,经过建设单位各方53个月的奋力拼搏,第一台机组于1993年3月3日启动。引水系统一次充水成功,整个工程质量良好(合格率100%,优良率91%)。在第一台机组并网发电之际,本文拟从工程质量监理这个侧面谈一些认识和体会。

(一) 指导思想和方针

广蓄电站工程是以整体最佳效益为目标来组织建设的,理所当然把工程质量放在首位。在工程监理方面,提出了以质量为中心,抓好三个控制(即质量、进度、投资),加强两个管理(即合同与信息),作好一个协调,以实现工程建设最佳整体效益。监理工作的具体方针是监督、管理、协调、帮助、服务。监理工程师将严把质量关作为自己的中心工作。我们实行全方位、全天候、全过程的全面质量管

浇筑后铺草袋洒水养护,极少出现裂缝,混凝土质量良好,受到中、外专家一致好评。

大坝施工于1992年3月基本结束,1991年4月蓄水至今已两年,观测资料说明,大坝运行正常,是国内近年来建成的优质面板堆石坝之一。

总之,在广蓄电站建设中,广蓄联营公司作为业主,除履行管理设计、工程招标、设备引进、对外合作、资金筹措及贷款、宏观进度控制和资金控制等建设管理的艰巨任务之外,在技术管理决策中也起到核心作用,这是深化基本建设管理体制改革的,实行业主责任制所赋予建设管理单位的重大职责和使命。水电工程建设受自然条件因素制约较多,建设过程会出现大量技术问题和众多未知因素,这对业主的技术素质提出了较高要求,业主还应具备较强的组织协调能力,善于听取各方面意见,果断决策,在实际工作中取得参加建设各方的充分

理,对确保工程质量起到了很好的作用。

(二) 具体做法和体会

1. 增强全员质量意识,建立健全质量管理体系和规章制度

质量工作是一项群众性工作,只有动员群众,依靠群众才能真正把质量工作做好。因此,我们把帮助施工承包单位建立健全质量管理体系,落实专职、兼职质检人员,增强全员(包括民工)的质量意识和建立健全各项质量管理制度作为首要任务来抓,使施工单位的三级质检(施工队一检、公司二检、十四局广东分局三检)制度真正正常运转,以搞好质量为荣,树立全员“百年大计,质量第一”的观念

2. 施工前作好充分准备

在重要部位和单项工程的施工前,工程监理和水电十四局广东分局共同召开各种小型会议,从统一认识,组织设计交底,到研究具

信任和支持,形成一个以业主为中心,团结、协调、进取的建设环境和氛围,才有利于保证工程质量,加快建设速度,早日发挥工程效益。

当然,联营公司在技术管理和决策中也存在着缺点和失误。例如,尾支管钢衬渐变段在去年12月下游水道试充水过程中发生失稳压屈事故,原因是设计上的失误及钢衬和尾闸槽混凝土回填施工质量低劣,联营公司原虽有觉察,但终未一抓到底,也疏忽于该部分的施工质量控制和监督,因此对此承担全部责任,并立即请专家咨询,加固钢衬和处理混凝土缺陷,并吸取绿水河电站钢衬内排水的经验,认真处理,终于在1993年3月11日充水时获得成功。联营公司吸取这一教训,认真改进自身管理工作,并要求参建各方都要以“自以为是”的态度,总结改进各自的工作,把水电工程建设不断推向新的水平。