

重点水电工程报道

一库碧水写华章

——溪洛渡水电站蓄水至正常蓄水位、勘测设计科研攻关回眸

邱云

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川成都 610072)

2014年9月28日——这个日子必将为无数水电人所铭记。

就在这一天,中国目前第二大水电站——溪洛渡水电站库水位首次达到600 m正常蓄水位高程。

从此,金沙江航运与长江黄金水道终成一体,“直挂云帆济沧海”,这一千古绝唱已不再是梦想。

从此,“高峡出平湖”的伟大构想,在《水调歌头·游泳》这首豪迈诗篇吟唱半个多世纪之后,首次在长江上游段——金沙江,变为现实图景。

从此,让牵挂“金沙宝藏开工日”的潘家铮院士,有了“公祭无忘告逝翁”的慰藉;让力推“黄河拉西瓦,金沙溪洛渡”建设的张国宝,有了“调结构,兴科技”的强力支撑。

跨越千年的诗意与眼前的伟大创举,一旦完美融合,更加让国人振奋鼓舞。

巍巍大坝在高水位作用下,运行正常,滴水不漏,意味着我国自行设计建造的300 m级高拱坝成功建成,它是中国水电史上的巅峰之作,是繁荣富强“中国梦”的有力佐证!

1个目标,直指高峡平湖梦圆

历经一年多的分期蓄水,溪洛渡水电站库水位达到工程设计的正常水位,总库容达到126.7亿 m^3 ,相当于100多个西湖水量,全面具备机组满负荷运行条件,标志着这座双曲特高拱坝达到正常运行工况,可以全面发挥综合效益,电站由蓄水阶段转入正常运行阶段新的历史阶段,再次充分说明了我国水电开发建设与设计技术水平之先进,也为新中国65周年华诞献上了一份珍贵的

礼物。

就在半个月前,溪洛渡工程拿到了蓄水至600 m高程的“许可证”。9月10日至11日,由水电水利规划设计总院副总工、教授级高级工程师(简称“教高级”)魏志远担任组长,中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司设计大师石瑞芳等17位教高级、高级工程师为成员的蓄水验收专家组,对溪洛渡水电站蓄水至580 m以来的有关情况进行了现场检查和综合评审,一致同意水库继续抬升水位至正常蓄水位——600 m高程。

电站蓄水至正常蓄水位后,金沙江上首现高峡平湖的壮观景象。这是国人尤其是水电人孕育了半个多世纪的梦想。

3个阶段,成就今日壮阔美景

依据《金沙江溪洛渡水电站蓄水安全鉴定工作大纲》工作安排,溪洛渡水电站蓄水的安全鉴定工作分为四个阶段进行,分别为基坑进水,导流洞和1、2、5、6号导流底孔下闸,初期蓄水540 m水位并抬升至560 m水位安全鉴定,以及正常蓄水至600 m水位安全鉴定。

溪洛渡水电站蓄水经历三个阶段,历时近1年半。第一阶段从2013年5月4日开始蓄水,水位蓄至高程540 m;第二阶段从2013年11月1日开始蓄水,水位蓄至高程560 m;第三阶段从2014年8月20日开始蓄水,第三阶段蓄水至高程580 m后,暂停15天的观测期,然后继续蓄水至设计正常水位高程600 m,开创了300 m级高拱坝封顶当年完成蓄水至设计正常水位的先河。

“科学调度,统筹安排”,是溪洛渡工程蓄水

收稿日期:2015-03-21

总原则。

大坝一次建成,水库分阶段蓄水,既保证溪洛渡工程尽快发挥项目效益,更考虑了工程安全和对下游的影响。

让我们将目光指向第一阶段蓄水过程,感受金沙江水在雄伟大坝前缓缓抬升,成就今日壮阔平湖美景的精彩瞬间。

2013年5月4日上午,溪洛渡水电站开始第一阶段蓄水。操作员在坝上按下按钮,4号导流底孔的巨型弧形闸门缓缓下落,导流底孔过流面逐渐缩小,水柱越来越强劲,水声变得越来越轰鸣。20分钟后,弧形闸门将导流底孔完全封闭,上游水位开始抬升。为满足下游航运的要和保证大坝稳定及施工安全,蓄水期间将根据需要开启和关闭坝体上数个过流孔洞,让水位缓慢上涨。

6月23日,溪洛渡水电站的水库水位涨至540 m高程,第一阶段蓄水目标胜利完成,库容51.1亿 m^3 ,占整个库容的40%以上,成为金沙江上的第一大水库,水位满足首批机组发电的要求。

溪洛渡大坝,似一张镶嵌在金沙江上的巨大的弓,两头接口插进两岸的山体里,中间的弓弧是坝体本身。在蓄水过程中,双曲拱坝有一定变形,以更好地应对上游的压力。监测显示,拱坝累计向下游最大位移18.13 mm,小于设计预测最小值,也预示着溪洛渡大坝完美的设计体型与坚不可摧的浇筑质量,得到了实践的初步检验。同时地震监测显示,库首区微震频次有所增加,但未超出可行性报告的预测结果,属于正常的水库蓄水后库区地震活动变化过程。

水位到达540 m后,原本狭长的金沙江水面变宽了,浑黄的江水渐渐变得碧绿。一库清洁碧绿的江水掩映着两岸的青山,碧水、青山与远处姿态曼妙的溪洛渡大坝交相辉映,大坝直接嵌入两岸的青山,还在泱泱碧水中投下了时隐时现的倒影,形成一幅巨大的水电工程与大自然完美结合的现实画面。

蓄水过程也是电站发挥效益的过程。7月15日零点,溪洛渡水电站首台机组正式投产并网发电。到2014年6月30日,溪洛渡水电站实现了全部机组正式投产。

8月14日,长江防汛抗旱总指挥部组织召开

会议对三峡集团编制的《金沙江溪洛渡水电站2014年蓄水实施计划(审定稿)》进行审查,并于8月18日正式批复:同意溪洛渡水电站从目前水位开始进一步抬升水位至580 m和正常蓄水位600 m。

这一天,在人们的期盼中,如期到来了。

20 载论证攻关,描绘溪洛渡倩影

雄伟的大坝,昂然耸立在泱泱碧水之中,丰碑般记叙着铸就在其中的无数青春、血汗、智慧与梦想。那渴盼富足的眼神,那艰难前行的背影,那战天斗地的场面,那些为之奔走、奋斗的人们,仿佛从岁月深处浮现,穿越时空,萦绕在我们周围。

多少年来,滔滔的金沙江水白白流失,丰富的水能资源没有得到合理利用,加之地处深山峡谷,交通不便,两岸的各民族团结绝大多数过着贫困的生活。

1985年12月,在原水利电力部水电总局安排下成都院正式启动溪洛渡水电站前期勘测设计工作。

追梦人前进脚步不止。不到2年时间,成都院正式开展溪洛渡水电站地质勘探。

1994年5月,全国政协原副主席钱正英率团考察溪洛渡,看到溪洛渡是建巨型水电站的好坝址很高兴,“天生一个好坝址”,“溪洛渡坝址,天造地设”,钱副主席情不自禁的赞叹,催生了溪洛渡水电站的建设。水电专家们经过踏勘溪洛渡电站坝址认为:金沙江溪洛渡水电站是深藏在崇山峻岭中的水电明珠。

几多辛劳几多人,几多汗水几多情。

溪洛渡具有“窄河谷,高拱坝,巨泄量,多机组,大洞群,高边坡,高抗震”等工程特点,多项技术指标居于世界最高水平,综合技术难度最大。工程从规划选点、预可行性研究、可行性研究到招标、技施设计,针对不同阶段深度要求,开展了多方案比较,多方法分析,多手段论证。

溪洛渡前期勘察阶段的地理、气候环境十恶劣。身体的折磨尚可克服,心灵的创伤就只有靠时间来抚平。当时在工地往往要待上少则3个月多则半年,与家人长时间两地分居,照顾不了父母和孩子。把工地当成家,是成都院人的情怀!正是这种甘于奉献的精神,写下了大江大河上一个不朽的传奇。他们以义不容辞的抉择,取得了

溪洛渡珍贵的勘测设计资料。溪洛渡工程在他们手中一点点成形,曾风华正茂的他们却一个个换上了中年的容颜。水电精神,其实就是奉献精神,这种精神,从老祖宗大禹传下来,生生不息。

经过成都院艰苦卓绝的勘测、设计、研究工作,工程枢纽布置基本敲定,溪洛渡水电站神秘面纱向世人揭开。

1. 枢纽方案突显设计水平

潘家铮院士曾经评价说:“龚嘴是成都院设计水平打翻身仗的工程,二滩是成都院设计水平全面提升到一个新台阶的工程,溪洛渡将是成都院设计水平再上一个台阶、领先水电界的工程。”

潘院士的话语简短而有分量,而赢得赞誉的历程却往往走得万分艰辛,在“二滩”的光环下,成都院人默默耕耘的背影,清晰可辨。

从枢纽布置上,可以看出一个电站设计水平的高低。“枢纽布置方案选择是否满足安全可靠、经济合理、技术可行、施工方便、运行灵活、环境友好、资源节约这些指标,是否代表水电建设技术发展方向,考量一个设计院的实力。”溪洛渡项目设总王仁坤如是说。

一个世界级伟大工程,需要一流的业主,需要一流的施工,更需要一流的设计保障,设计无疑成为了工程的灵魂。要把溪洛渡水电站打造成为西部水电典范工程,这决定了溪洛渡的设计工作是一个充满创新与敢于挑战的技术革新的艰辛过程。

溪洛渡工程枢纽主要由挡水建筑物、泄水建筑物、引水发电建筑物组成。挡水建筑物最终采用拱坝,有着一个长时间的论证过程。从规划选点、预可行性研究到可行性研究,从坝址坝线比选,到各建筑物的布置设计,包括堆石坝、重力坝、拱坝等比选坝型的多种枢纽布置方案,进行了广泛而深入的设计分析比较,逐步逼近并遴选出最优的中坝址混凝土双曲拱坝枢纽格局。

在选定的枢纽格局的基础上,针对泄洪消能设施、引水发电建筑物及施工导流设施的布置研究,又拟定了一些原则。从这些原则中,可以清楚了解到溪洛渡的特点,成都院人的智慧。

——工程泄洪流量大、水头高,坝址区河谷狭窄,岸坡陡峻,枢纽泄洪应“分散泄洪、分区消能,按需防护”,做到安全可靠;由坝身溢流表孔和泄

洪深孔以及两岸泄洪隧洞共同担负泄洪,这样才能运行灵活;各泄洪建筑物的泄量分配,首先研究坝身孔口合理可行的布置方式及泄量规模,然后确定泄洪隧洞的布置型式与条数。同时为了增强枢纽超泄能力,适当增设表孔溢流宽度;利用水库调蓄作用,减少枢纽下泄流量,减少消能防冲压力的布置要求,这样做既经济又环保。

——电站装机规模大,发电厂房采用地下式,分左、右岸布置,各安装9台机组。

——施工导流采用断流围堰、隧洞导流、基坑全年施工方案。在满足大坝和水垫塘施工的前提下,优先考虑上下游围堰和左右岸导流洞的布置。可以推动工程截流目标早日实现,从而可以促进电站早日发挥效益。

——尽量利用导流洞改建为永久水工建筑物,减少工程投资。

——研究工程分期蓄水提前发电的可行性与措施。

——结合坝址地形地质条件,合理选择进、出口建筑物位置与型式,尽可能减小高边开挖与支护成本。

——合理布置各枢纽建筑物位置,避免施工及运行期的相互干扰。

这些原则,实际上是对自我的限制,限制越多,要求就越高。底蕴深厚的成都院人就是在自我挑战中,向世人描绘出一个无可挑剔的枢纽方案。

挡水建筑物为双曲拱坝,最大坝高285.5米。泄洪设施由拱坝坝身7表孔与8深孔,外加左右岸各2条有压接无压洞内龙落尾泄洪洞组成,坝后设水垫塘。左右岸地下引水发电建筑物均采用首部式开发,布置基本对称,分别由厂房进水口(左岸为露天竖井式,右岸为岸塔式),单机单管引水,主厂房、主变室和尾水调压室及尾水洞组成。其中尾水系统为“311组合”,即3台机组共用1个调压室和1条尾水洞,尾调室为长条形,每岸3个调压室成一字并行,中设隔墙;左右岸各3条尾水洞。GIS开关站布置在主变洞室内即位于主变室上部,出线竖井与地表出线场相连。上、下游土石围堰挡水,左右岸各布置3条导流洞,其中每岸靠山里的两条导流洞与厂房尾水洞结合。坝身设6个导流底孔和4个导流中孔,既能在导流

洞下闸水库蓄水期间确保金沙江不断流,又能分泄较大洪水,大坝连续浇筑不受影响,进而加快施工进度。

2. 攻坚克难方显灵魂作用

“攻坚克难,挺起中国水电在特高拱坝设计中的脊梁。”这是成都院作出的庄严承诺。一诺千金,落地有声,决不食言!复杂的地质条件,重重的技术关隘,沉重的社会责任……成都院人走的是前人没有走过的路。

溪洛渡到底存在哪些技术难题,那些关键问题如何影响工程,成都院人又是如何成功破解的呢?

(1) 大坝坝高高几许

——大坝身高多少合适?也就是建基面怎样确定的问题。

溪洛渡拱坝承受的总水推力高达1400万吨,对基础承载能力、抗滑稳定、变形协调、整体稳定要求极高。我们已经知道,溪洛渡坝址河谷狭窄,玄武岩地基强度高,整体块状结构,适宜300m级高拱坝建设。这只是整体概况,也是大前提,但地下的世界永远无法“看”清楚,坝址谷坡及河床浅表层岩体受风化卸荷影响,不可利用岩体必须挖除,才能满足大坝严苛的建基要求。通常情况下,拱坝建基面嵌入深度越大,基岩完整性越好,其承载力越高,基础安全越有保障。凡事一分为二,随之带来的负面效应是拱跨加大,承受的库水压力增大,坝体结构和坝肩抗滑稳定的负担加重,还有可能引发基础回弹变形和高边坡稳定等问题,此外开挖过深必然导致开挖和大坝混凝土工程量增加,经济性指标变差。将这个问题向另一个方向考虑——拱坝建基面嵌入深度浅一些。这样,开挖和大坝混凝土工程量减少,节省投资,但因风化卸荷影响基岩完整性变差,承载能力降低,基础变形量加大,对大坝的稳定运行会造成安全隐患。

不难发现,拱坝建基面的确定受到一些相互矛盾的因素制约。如何研究确定拱坝合理建基面成为特高拱坝设计最关键的技术问题之一。

这显然不是靠几个简单数学公式能得出答案的难题。过程也很复杂,此时,思路就很重要了。

既然与岩体有关,那么先要查清坝址岩体风化卸荷带划分、各级岩体质量空间分布以及玄武岩层间层内错动带和节理裂隙性状及其分

布,这个是基础,也是最重要的设计输入。再结合拱坝结构受力属性及其对基础相互作用的影响,拟定几套可能的建基面嵌深方案,通过受力分析、基础稳定、整体稳定、工期与投资等全面分析比较,这还不够,又对可选方案进行整体模型试验,最终才提出了大坝安全可靠、经济合理的建基面嵌深方案。

通过溪洛渡拱坝建基面的研究,成都院开创性地提出了“以岩级为基础,安全为准则,分坝高区段”确定特高拱坝建基面岩体等级的原则。

(2) 拱坝体型求最优

——建基面一旦确定,拱坝的高度就确定了。但拱坝设计成何种体型最优,是需要解决的第二个问题。

拱坝主要是以压力拱的形式,将水压荷载传到两岸山体,并与坝基础联合作用,承担正常的挡水任务。拱坝为空间壳体结构,属于高次超静定约束结构。拱坝有个现象,拱坝高度增加,坝体应力会增大,结构设计也就越难。因此,研究适宜的拱坝体型对工程安全与经济的统一尤为重要,这就要求设计、施工技术以及筑坝材料等具有较高水平。

二滩水电站拱坝设计为溪洛渡的拱坝设计提供了宝贵经验,并立足国内外拱坝建设技术的发展,以及现代计算机技术和试验科学的发展,成都院开展了多种体型方案的比选研究,包括水平拱圈为椭圆拱、多心圆弧拱、抛物线形拱等体型。采用拱梁分载法分析坝体应力,又通过有限元法、结构模型试验和整体地质力学模型试验进一步验证体型结构的合理可行性。在成都院牵头组织下,多家高校科研单位分别采用不同的方法分析论证,最终选定了抛物线形双曲拱坝。拱坝坝顶高程610m,顶拱弧长678.65m,拱冠顶厚14m,拱冠底厚61m,拱端最大厚度64m,厚高比0.216,弧高比2.44,至此,溪洛渡拱坝“曼妙”身材已形成。

大坝混凝土粗骨料采用玄武岩开挖料加工制作,坝址附近开采的灰岩加工制砂,尽量做到物尽其用,既环保又省钱。

两岸拱肩槽开挖揭示的建基岩体质量与设计勘探预期较为吻合,完全满足特高拱坝建基要求。正当人们松口气的时候,问题出现了。河床底部即360m高程以下的大坝建基面,岩体较为新鲜

但错动带发育,产状平缓,总体以Ⅲ1级岩体为主,但局部出露Ⅲ2级岩体和错动带风化夹层,这部分岩体为大坝不可利用岩体。

不可利用岩体分布范围超出设计预期,必须进行科学处理,才能确保大坝建基要求与大坝工程安全。通过分析,研究提出了河床基础整体适当深挖和加强固结灌浆等综合处理措施。

(3) 大坝安全又几何

——高耸拱坝在巨大水推力作用下,安全性又有多少保证呢?这无疑是许多人心中大大的问号。

我们也可以这么问:溪洛渡拱坝最小的安全系数是多少?如果这个数值能达到要求,那也可以“高枕无忧”了。

溪洛渡坝址岩体发育有多条缓倾角层间层内错动带及陡倾节理裂隙,是影响坝肩基础抗滑稳定和拱坝整体稳定的关键,是整个拱坝最薄弱的地方。

先进的数值计算分析,模型试验,这时就大有用武之地了。

先看坝肩抗滑稳定。坝肩抗滑稳定分析以三维刚体极限平衡法为主,同时辅以三维刚体弹簧元和三维非线性有限元法。针对坝肩岩体的层间层内错动带及结构面的分布与特征等,开展了大块体、阶梯状等各种可能滑块模式的三维分析,包括渗压、岩体及结构面的力学指标和结构面产状的敏感分析,得出了坝肩抗滑安全可靠的结论。

而拱坝整体稳定分析立足三维非线性有限元法和拱坝整体地质力学模型试验,考虑坝基不利地质缺陷的影响,研究大坝工作性态和超载能力。计算成果表明:大坝在设计工况下整体处于弹性工作状态,其应力、变形规律符合一般高拱坝的分布特征;通过地质力学模型试验超载破坏试验分析,结论让人欢欣鼓舞——超载至正常荷载的2倍,大坝结构起裂;超载至4倍时结构出现非线性变形。由此可见,大坝的整体稳定性好,具有较强的超载能力。

(4) 大震来袭不弯腰

——坝址地震基本烈度为8度,高坝在水推力作用下,正好遇到大地震,能否“泰山压顶不弯腰”呢?

由于溪洛渡拱坝高285.5 m,已超出现行水

工抗震设计规范的限定,也就是规范上找不到一个数字,能直接告诉你达到多少就是可靠的,只有开展专题研究论证。

思路再一次决定了出路。

拱坝抗震设计的基本思路是:静载设计,动载复核;若不满足抗震需要,重新调整体型或研究抗震措施。溪洛渡拱坝的抗震复核,首先按照现行水工抗震设计规范要求,开展拱梁分载法和有限元法动力反应分析以及坝肩三维刚体极限平衡法动力稳定分析,计算结果让人稍微放心:坝体应力与基础稳定均满足规范规定的容许应力和抗滑安全系数的要求;仅局部区域的拉应力超限,但范围不到坝面的5%。

针对此种情况,考虑各种影响因素的三维非线性有限元动力分析和三维整体动力模型试验,结合高坝抗震设计要求及工程类比分析,综合评价大坝抗震能力。

不论计算分析,还是模型试验的成果,均表明溪洛渡拱坝具有较好的抗震能力,模型动力超载至3倍设计动荷载以上,拱坝仍具有较好的整体抗震能力,仅左右拱端高程部位出现一定范围的开裂区,表明拱坝的动力极限承载能力很高。

(5) 温控防裂有妙招

——拱坝相对重力坝最大优点是混凝土用量少,但500多万方的体量仍旧不是小数,混凝土水化热带来的温度控制又成了一大难点,控制不当,拱坝易出现裂缝,而裂缝对拱坝的整体受力极其不利。曾有水电站因为拱坝坝身裂缝出现较多,蓄水进程一再推延。

溪洛渡拱坝当然不能出现这种情况。

拱坝设置29条横缝,将坝分割成30个坝段;不设纵缝,通仓浇筑,最大浇筑仓面超过1600 m²。这么做,相当于化整为零,混凝土体积越小,对温控越有利。

大坝混凝土弹性模量高,极限拉伸值和自身体积变形又极小,属于典型的高弹模、低极拉混凝土,且自身体积变形呈较大收缩性,虽线膨胀系数低,但混凝土总体抗裂性能不高。加上坝址气温昼夜温差大,气温骤降现象多。这些都注定了大坝混凝土温控防裂问题突出。尤其河床坝段基础混凝土浇筑块长,陡坡坝段坡度大,相应部位的温控防裂更是关键。

综合大坝混凝土抗裂能力以及水文气象环境和高坝库水温度分布特征,成都院人首次提出采用两套冷却水温度系统及通水降温方式,严格实施一期冷却、中期控温和适当降温,以及二期冷却方案,加上配套的表面养护与保温措施,保证浇筑块上下左右呈现较小温度梯度,力争避免不利温度裂缝的发生。

在浇筑过程中,温度计、光纤测温等手段全面了解混凝土温度变化情况,利用数字大坝体系研究实施了人工智能通水冷却降温控温,严格遵循设计要求的控制参数,确保大坝浇筑至今没有出现任何危害大坝结构安全的温度裂缝。

(6) 高坝泄洪最壮观

——在高拱坝领域,溪洛渡总泄量和泄洪总功率都远超世界最高水平。国外已建薄拱坝中泄洪功率最大的是洪都拉斯的埃尔卡洪拱坝,泄洪功率1 550万kW;国内已建工程中泄洪功率最大的是二滩水电站,泄洪功率为3 900万kW,均远远小于溪洛渡工程1亿kW的泄洪功率。如何研究落实并协调解决好各套泄洪消能建筑物适宜的流道体型、消能方式和安全可靠的结构措施,确保枢纽泄洪安全是本工程设计研究又一突出的关键技术问题。

坝身泄洪设施考虑坝身泄洪水流归槽及顺应下游河道行洪,将坝身孔口布置在河道中央坝段,采用“分层出流、空中碰撞、水垫塘消能”的布置形式,经多种布置方案比较及物理模型试验研究,坝身泄洪孔口布置7个表孔和8个深孔,平面上相间布置。

坝身孔口泄洪挑流水舌均匀归槽至坝下水垫塘,水垫塘末端设二道坝。坝身孔口最大泄量约占枢纽总泄量的60%。通过一系列模型试验和数值模拟研究,包括常规水力学模型试验和单孔减压箱模型试验,反复研究论证了各孔口流道体型及出流消能方式。实施方案的坝身孔口具备体型设计合理,进口水流条件良好,流态稳定,在各种水位工况下,坝身泄洪水流归槽良好,由于水垫塘水深达60~80m,水垫塘底板最大动水冲击压力不大,仅在宣泄校核洪水时测值与二滩水平相当。

左右岸各2条泄洪洞的进口置于大坝与厂房进水口之间,出口位于厂房尾水洞出口下游。泄

洪洞一般流速较大,处理不好会产生空蚀,对结构不利。溪洛渡设计了漂亮的“龙落尾”泄洪洞,在平面上呈内弯布置,为有压接无压洞,即进口至弯段末端为圆形有压洞,有压洞口设地下弧形工作闸间室,后接无压洞,无压洞后段为龙落尾型,出口设扭曲斜切挑坎,挑流水舌直接归槽至金沙江。将总能量的80%左右集中在尾部占全洞洞长的15%的洞段之内。泄洪洞洞内流速大多控制25m/s左右,仅在龙落尾段流速才由25m/s增加至反弧段末端的50m/s。

这种布置型式的优点显而易见,由于绝大多数洞段流速低,不致产生空化空蚀,衬砌要求低;另外,高速水流段集中,减少衬砌工程量与温控难度,增加了洞身运行的安全度。由于出口水流流速较大,挑射水舌能挑至主河床,水流归槽条件好。

泄洪洞出口对称挑流,水下碰撞消能。此种设计,使高速水流携带的巨大能量,在相互碰撞中,大大消减,对河床和库岸的冲刷影响微弱。已建工程实例表明,狭窄河谷中采用挑流的泄洪方式,泄洪雾化是不可避免的,雾化强度及范围均较大。在枢纽布置中首先考虑避让的原则,在强雾化区及较强雾化区不布置水工建筑物;其次对雾化区内的边坡不稳定岩体及其他存在地质缺陷的岩体采取挖除或其它工程加固措施,加强坡面排水,确保两岸边坡的稳定性。

对称的水舌撞击化成水雾,缓缓升腾,像极了巨大雄鹰从金沙江上展翅飞翔。

溪洛渡还面临超大型地下洞室群设计、巨厚复杂覆盖层大断面竖井设计与施工、谷肩巨厚覆盖层开挖边坡的治理等世界级难题。

成都院积几十年设计经验之大成,集中优势力量,针对工程规模大、技术难度高、设计周期短等问题,在设计中采用国内外最新的科研成果和新技术。针对重大技术问题列出专题,与国内的科研单位和大专院校通力合作,并依托“七五”、“九五”科技攻关,逐一攻克了这些技术难题,将中国水电设计水平进一步推向新高度。

4 000个日夜,谱写水电史上宏伟篇章

潘家铮称赞溪洛渡是世界级伟大的工程。“罗马非一日建成”,伟大的建筑离不开高超的设计,精湛的建设,也离不开时间的雕琢。

如今,展现在人们面前的全新的溪洛渡水电站,不是梦境,而是中国水电人用十余年时间,用智慧和汗水建造的人间奇境!

溪洛渡以巨大的张力吸引了中国水电界实力雄厚的建设队伍。

就是这些队伍,在4 000多个日夜的奋战中,用智慧与拼搏谱写了水电史上的宏伟篇章。

让我们从设计角度,“以管窥豹”,用点线脉络来透视这场伟大的奋斗史。

2003年8月5日,溪洛渡施工区第一条公路开始动工,溪洛渡建设正式进入实施阶段。

溪洛渡,有着许多世界级设计难题的巨型工程,成都院将其作为近百个勘测设计项目中的一号工程,派出副院长担任项目经理,院总工程师担任项目设计总工,并牢固树立“建一流工程,首先需要一流设计”的理念,激发员工对于溪洛渡工程建设的高度责任感和认真负责的态度,形成“干溪洛渡工程,实现个人理想、体现人生价值”、“干溪洛渡工程,就是长水平、出成绩、炼人才”的良好局面,把溪洛渡工程作为培养高层次水电技术专家和优秀技术人才的重要平台。

设计人员到位,设计人员思想到位,设计人员工作到位,为提供优质的设计产品和一流的技术服务奠定了基础。

考验无处不在,迎难而上,一贯是成都院可贵的品质。溪洛渡截流比原计划提前了整整一年,意味着开展准备工程设计和模型实验研究等工作也将压缩一年时间。同时原设计为六洞导流、六洞截流方案,调整为六洞导流、五洞截流方案,给设计管理和工作方法上带来了诸多难题。通过加强组织管理,增加人力资源投入,成都院人以顽强的意志与非凡的责任感,打赢了一场时间与速度较量的战斗,圆满实现了2007年大江截流目标。

溪洛渡工程开工后,工地到处进行开挖及混凝土浇筑,各个工作面都离不开设计人员,遇到的问题常常要求代设人员快速作出判断,提出处理方案。工程的环境艰苦,工作过程辉映着酸甜苦辣。领教了苦处和难处,读懂了什么叫“栉风沐雨”、“风餐露宿”,但是大家坚定了一个信念:干,就是硬道理!为此,加班加点是家常便饭,大家制订了一系列的现场工作要求、工作流程和方法、工作重点和技术标准等,坚持现场值班,及时解决施

工中出现的问题。

年轻设计人的身影在工地随处闪耀,他们善于学习,苦活累活抢着干,进步很快,不需多长时间的磨练,就能独当一面。

在溪洛渡工地,退而不休的大有人在。他们做事很认真,容不得半点瑕疵,只为溪洛渡完美建成贡献出自己的余热,爬边坡,钻洞子,完全不输年轻人,以对水电事业的热爱保留着自己记忆中最美的青春风采。

工程蓄水阶段,库岸稳定及大坝变形等方面最受关注。

溪洛渡蓄水对库岸的稳定影响到底有多大,哪些部位需重点监测和治理,不仅关系到溪洛渡的正常运行,也关系到两岸人们的生命财产安全。责任重大,负责库区地质调查的技术人员,几乎每天蹲守库区巡查,并制定了一系列处理方案。在溪洛渡整个蓄水过程中,没有出现影响工程的蓄水进程的滑坡、垮塌事件,这与地质勘测人员的常年研究和奔波付出分不开。

拱坝在巨大的库水推力作用下,位移、变形、渗水等方面的变化趋势怎样,需要对监测数据进行分析,以便为蓄水进程提供依据。设计人员在阴暗潮湿的坝体廊道里,收集上千个数据。

在溪洛渡,不论是哪个专业哪个部门,不论是领导还是一般员工,这样的事迹很多。从这一个个小的缩影中可以折射出成都院人的人格、品质、功绩,还有那只有奉献,别无索取的精神。

站在进水口610 m高程平台,望着一望无际的库水,禁不住浮想联翩。滔滔金沙江水,就是从这里起步,携乌蒙的云烟、山谷的倒影,也带着人们对能源的企盼,水电建设者的汗水,成都院人的深情、智慧与胸怀,款款流淌。

千里之外的霓虹闪烁,我们分明听到了那滚滚江水的奔流声!

60 000 移民,100 000 建设者,
托起溪洛渡的梦

水库蓄水,关系到库区的淹没,涉及库区移民工作,因此移民搬迁验收是蓄水的另一张重要“许可证”。

溪洛渡水电站的建设征地涉及四川、云南两省沿江的9个县(区),需搬迁安置6万多人。

2013年4月,四川省和云南省分别召开了金

沙江溪洛渡水电站工程蓄水移民安置专项验收工作会议。意见认为溪洛渡水电站库区移民安置工作基本结束,不影响电站工程蓄水。

从导流底孔下闸之日起,一库绿水在平静地稳步抬升,辉映着两岸的青山,一座美丽的溪洛渡水库逐渐形成。

大坝已高高耸立,金沙江已被拦腰截断。滔滔江水一寸接一寸地往上生长。

在第二阶段蓄水过程中,根据上游来水和下游需求的变化,坝体上的各个泄流孔洞也不断开启或关闭。坝体上飞流而下的巨大“水龙”根据需求不断变换着位置和流量,形成不同的壮丽景观。开启泄洪洞泄洪时,洪水宛如巨龙出海,空中对跃,一下子钻入水中,只留下铺天盖地的雨水,气势惊天动地。站立于大坝之上,俯瞰巨瀑飞流直下,疑是银河落九天,在你的眼前翻腾、滚动,看上去它是柔软的,酥松的,但它的力量却直达心灵深处;近三百米的落差,水流间碰撞的声音,水流触地的声音交织在一起,如雷鸣一般;水汽遮天蔽日,巨大的水流溅起的水雾,滋润着两岸的青山绿水,只要有阳光,就会有七色彩虹飞架两岸,雄伟壮观。

此刻,命运的保护神在峡谷站定,目光深沉而坚毅,她注视着这个峡谷深处每一个惊人变化,她看到了人们的笑脸,那是对幸福生活的表达。

来此参观的附近游客络绎不绝,人数比蓄水前成倍增长,有白发苍苍的老人,背着书包的孩子,或步行或坐车,他们相约来到坝区,默默注视着缓慢上升的江水,感受人类的宏伟巨制与自然力量的交融。

溪洛渡移民,离开故土,走向未知,既是剧烈的阵痛,又是希望的洗礼。

移民中有人搬迁至离溪洛渡咫尺的永善,这里已然是一座漂亮的县城。一幢幢别致的高楼拔地而起,各种造型的房顶在蓝天的衬托下,显得更加美丽。宽阔的大道,特色的街灯,白天车水马龙,夜晚霓虹闪烁,处处透出现代城市的韵味。和破败的旧县城形成更加强烈的对比。入夜,人们在崭新的街道上散步时,漂亮的街灯与天上的星月交相辉映,美丽的小城披上了夜幕的轻纱,在群山的呵护下,宛如神秘的仙宫。古老的永善县城正以崭新的面貌迎来一个高速发展期。

从2013年5月起,为了保证溪洛渡水电站7月份按时发电,大坝开始下闸蓄水。金沙江激荡的江水被巍峨的大坝拦腰截断,奔腾的江水被迫放慢了脚步,水面缓缓上升,淹没了两岸的荒山坡,也淹没了低处的破旧房子……

参观的游客里有不少移民。他们来到溪洛渡大坝前,这些世代代居住在荒山僻野里的农民,被溪洛渡宏伟的规模和雄壮的风姿彻底征服了。他们在惊奇之余,不住地啧啧赞叹。在那一刻,他们忘记了自身所有的困难和付出,黑色的脸上露出了纯朴的笑容。

祖先的荣耀,自己的辛劳,多少梦想与期盼,多少悲伤与欢乐,都慢慢地沉入了绿色的湖底。

是的,他们有理由激动与自豪,他们用自己的故土,甚至远迁他乡换来了溪洛渡的今天。

与他们同样有理由激动与自豪的是十万溪洛渡建设者,溪洛渡的任何部位,都带有他们的体温与汗水。

溪洛渡地处高原边缘,日照强烈。5~9月,峡谷无风时,毒辣的太阳火一样烤得施工人员汗流浹背。冬季,狂风乍起,呼啸呜咽着,让人冷到不停颤抖,施工人员还要与冰冷的水打交道,冲洗岩面,清扫浮渣。在地层深处的晦暗硐室里,有他们佝偻身子打钻的背影;在高高的门机驾驶舱里,有他们熟练操作设备的身姿;在陡峻的边坡顶端,有他们攀爬匍匐的身影……他们日复一日,一年又一年地劳动,让溪洛渡获得了翻天覆地的蝶变。

回味和感受一下工程宏大的场面吧!五台缆机拉起五条缆索,如巨大的五线谱,飞越大峡谷;一罐罐混凝土在坝块群中滑动、穿梭,像跳动的音符;仓面上弧光闪闪、马达轰鸣,大坝如雨后春笋,日新月异。两岸高耸的进水塔慢慢隐入水中,将携有巨大能量的金沙江水引入机组;地下厂房18台水轮机高速旋转,强大的电流源源不断地产生。

汗,是力的结晶、热的化身,是能放射巨大能量的镭。它伴随着劳动者神圣的劳动,创造了一个又一个人间奇迹。

溪洛渡刷新了诸多水电建设史纪录,随便列举一条,都让人惊奇。2010年起大坝进入浇筑高峰期,这一年完成混凝土浇筑159.9万 m^3 。2011年完成217万 m^3 ,最高月产量21万 m^3 。这是技

术进步,设备创新与建设者艰辛付出共同创造的奇迹。

这一群人,托起了溪洛渡梦想的魅力绽放。

无法估量的效益,力促中国梦温暖前行

蓄水至正常蓄水位是水电工程建设的重要里程碑。它的意义在于,溪洛渡工程发电、防洪、航运等巨大的综合效益从此显现,有力地推动着中国梦的实现。

1. 发电效益,世人瞩目

溪洛渡水电站是实施国家“西电东送”战略的骨干电站。电站总装机最大容量1386万kW,远期考虑上游梯级联合调度保证出力达到665.7万kW,多年平均年发电量初期576.7亿kWh,远期为640.6亿kWh,年利用小时数4530~5080h。众所周知,水电是清洁、可再生能源,溪洛渡水电站大量的优质电能代替火电后,每年可减少燃煤4100万t,减少二氧化碳排放量约1.5亿t,减少二氧化氮排放量近48万t,减少二氧化硫排放量近85万t,为我国的节能减排作出重要贡献。补偿效益,极其可观。长江水系汛期水量丰沛,各电站汛期电量比重较大,特别需要调节水库将汛期水量调配到枯水期发电。溪洛渡水库具有64.6亿m³的调节库容,经过水库的补偿调节可使下游向家坝水电站枯水期平均出力增加37.7万kW,增加枯水期电量16.4亿kWh;可使三峡、葛洲坝两水电站枯水期平均出力增加37.8万kW,有利于三峡、葛洲坝水电站在系统中容量效益的发挥。

2. 防洪效益,福泽下游

溪洛渡水库地理位置优越,控制了金沙江流域面积的96%,年径流量约占三峡水库入库流量的1/3。溪洛渡水库防洪库容46.5亿m³,控制洪水能力强,具有较大的防洪能力。“只要解决好长江中下游的堤防建设,溪洛渡及金沙江上的其他水电站与三峡联合调度,可使长江中下游防洪标准由百年一遇升为千年一遇。”谭靖夷院士谈到溪洛渡水电站时,颇为家乡湖南感到高兴。

3. 拦沙效益,叹为观止

由于溪洛渡水库的拦沙作用,50年内三峡库区段入库含沙量将比天然状态减少1/3强,有效

减少重庆市河段的泥沙淤积,可进一步降低重庆港的回水高程,对促进三峡工程效益的发挥和重庆港繁荣及可持续发展,有不可替代的作用。

4. 航运效益,初步显现

溪洛渡电站枢纽位于金沙江不通航河段,水库形成后,可以实现局部河段通航。包括溪洛渡在内的金沙江梯级电站相继建成,可以使云南的绥江、永善、巧家等县的航运通过能力大幅度提升,500t级以内的船舶能在库区内自由航行,1000t级船队,可由万里长江第一港——水富港直达东海之滨的上海港。

5. “力推发展,功不可没”

溪洛渡水库处于四川省凉山彝族自治州和云南省昭通市,该地区经济发展落后。伴随溪洛渡建设过程中库区对外、对内水陆交通条件改善,移民及工程开发建设资金的投入,对各县的基础设施建设、资源开发利用、产业结构的优化等都起到积极的推动作用,为库区各县脱贫致富创造机遇,也为攀西—六盘水地区的经济发展作出重大贡献。

溪洛渡造福人民的世纪夙愿,已变成美好的现实。

溪洛渡,这个曾经的渡口,随着溪洛渡全部机组发电和蓄水完成,带给世界一个魅力四射的形象,它像一轮冉冉升起的太阳,在金沙江上发出耀眼的光芒。这轮太阳承载的不仅仅是一个局部、一个群体的梦想,而是整个中华民族的复兴之梦的组成部分。溪洛渡,这座中国水电科学发展的新地标,表达了中国梦的力度与广度,谱就了水电发展史的新华章,展示了中华民族的自豪与骄傲。

记者真切希望,到2015年溪洛渡水电站全面竣工,当清洁而稳定的电能给缺电的省份带去光明与动力时,当人们欣喜地享受电能带来的方便与快捷时,当天空变蓝,河水变绿时,不要忘记为此奉献了家园和土地的库区人民,不要忘记为了工程的建设付出青春汗水乃至生命的建设者,不要忘记给予期望与指导的院士、专家、科研精英们,更不要忘记成都院几代人在近半个世纪里的付出、坚守与执着。

(责任编辑:卓政昌)