

# 深溪沟水电站建设过程中的重点、 难点及相应对策分析

程 可

(国电大渡河猴子岩水电建设有限公司,四川 康定 626005)

**摘 要:**深溪沟水电站地处大渡河大峡谷腹地,山高坡陡、地势险要,河道两岸场地极为稀缺,峡谷巨风严重影响着工程施工,“布置难、施工难”在全国水电行业实属少见,工程建设的艰难程度非常具有代表性。在工程建设中遇到了很多的施工布置难题和施工过程中高难度的技术问题,业主、设计、监理、施工单位群策群力,克服了重重困难,开展了大量的科研工作,采取了及时有效的措施,实现了深溪沟水电站优质高效地建设目标。

**关键词:**深溪沟水电站;重点;难点;对策及措施

**中图分类号:**TV7;TU72;C931

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2012)02-0082-10

## 1 概 述

深溪沟水电站位于泸定~铜街子段的大渡河中游的四川省汉源县和甘洛县接壤处,是大渡河22级规划开发方案中的第18个梯级。电站以发电为主,兼备上游瀑布沟水电站反调节作用。利用落差40 m,总装机容量660 MW,共装4台165 MW轴流转桨式机组,年利用小时数4 900 h,年发电量32.4亿kW·h。水库正常蓄水位高程660 m,库容0.32亿m<sup>3</sup>。工程防洪标准按百年一遇设计,流量9 400 m<sup>3</sup>/s,千年一遇校核,流量10 800 m<sup>3</sup>/s。深溪沟水电站枢纽建筑物从左至右依次布置有:左岸挡水坝段、3孔泄洪闸、1孔排污闸、河床式厂房、右岸接头坝段、窑洞式安装间和两条泄洪冲沙洞等建筑物。完成主体工程量:土石方明挖466万m<sup>3</sup>,石方洞挖180万m<sup>3</sup>,混凝土浇筑166万m<sup>3</sup>,钢筋制安6.8万t,金结制安1.25万t,锚杆及锚索13.5万根,固结及帷幕灌浆10.24万m,回填灌浆7万m<sup>2</sup>,排水孔3.58万m。

2006年3月22日,深溪沟水电站工程顺利通过国家发改委的核准,同年4月12日工程正式开工。2007年11月6日,顺利实现河道截流,2010年6月27日,首台机组发电,2011年6月29日,4台机组全部发电,2011年底完成工程的竣工结算。

深溪沟水电站地处大渡河大峡谷腹地,两岸悬崖绝壁、山高坡陡、地势险要,河道两岸场地极

为稀缺,峡谷风巨大,施工区还有成昆铁路大动脉和省道S306线穿过,“布置难、施工难”被全国水电行业所公认。中国工程院院士、著名水电专家谭靖夷来工地视察时,称深溪沟工程建设环境及施工强度“在国内同行业中艰难程度是具有代表性的,工程建设是具有挑战性的”。正是受其特殊的地理、地质条件限制,工程在建设过程中遇到了很多的施工布置难题和施工过程中高难度的技术问题。业主、设计、监理、施工单位群策群力,克服了重重困难,开展了大量的科研工作,采取了极为有效的措施,工程从正式开工到大江截流仅仅用了一年半的时间,实现了当年下基坑、当年完成基坑开挖、当年浇筑混凝土、当年开始金结机电安装。2010年6月27日首台机组发电,2011年6月29日四台机组全部投产发电,较可研报告确定的工期整整提前了1年,创造出让深溪沟建设者倍感自豪的“深溪沟速度”,实现了深溪沟水电站优质高效的建设目标,为大渡河流域水电开发建设管理探索出一条创新的道路。

## 2 工程建设中的三大客观难题及采取的相应对策

### 2.1 施工场地异常狭窄的难题

#### 2.1.1 起 因

深溪沟水电站工程最典型的是其所处的峡谷环境,崇山峻岭,工区地势狭窄,大渡河两岸山势陡峭,左岸有成昆铁路和省道穿过,工程的施工环境条件差,给工程施工布置、开挖爆破作业带来了极大地挑战。

收稿日期:2012-03-25

## 2.1.2 采取的解决措施

### 2.1.2.1 “化零为整”,优化临建布置

因地制宜在施工区沿河两侧布置临时施工场地;利用坝址左岸下游的深溪沟小溪做适当的沟水处理后将开挖料堆存,并将砂石加工、拌和系统也集中布置在内;同时,对岸坡实施挡墙加固和水土保持措施。施工营地只能布置在距坝址较远的左岸山顶处的苏古村内。

### 2.1.2.2 “桥隧结合”,解决施工交通瓶颈问题

#### (1)改线公路工程。

省道穿过坝址区,不仅对工程建设有干扰,也影响了地方交通。因左岸山体内有成昆铁路通过,故只能在右岸山体内修筑一条长 4 350 m 的交通隧洞,在坝址上下游设计了两座永久大桥横跨大渡河与隧洞连接,将省道从左岸移至右岸山体内,既解决了深溪沟水电站枢纽工程区施工期的交通运输通道和电站正常运营期的管理交通通道,又保证了地方交通公路的正常运营。

#### (2)深溪沟渣场交通隧洞。

由于深溪沟水电站坝址处非常狭窄,弃渣场、砂石骨料加工及混凝土拌和场地都只能布置在大渡河旁的深溪沟内。为连接沟内至坝址交通,由金乌公路起线以隧道方式下穿成昆铁路及深溪沟左侧山体到达深溪沟渣场,形成深溪沟水电站工程施工期场内的主要交通运输通道,隧道全长 1 790 m。

#### (3)施工临时索道桥。

该工程的导流洞及改线公路全部布置在右岸山体内,为方便右岸导流洞工程和改线公路工程施工,工区共布置了 6 座跨大渡河临时桥。0#~5#临时索道桥工程分别于 2005 年~2006 年 7 月份完成,主要解决截流前出渣和左右岸交通问题。施工临时桥采用的是柔性钢索桥,行车道宽 4.5 m,两侧设 75 cm 的人行道,全长 99~200 m,设计荷载汽-40 t,截流前将其全部拆除。

## 2.2 施工现场风大且持续时间长的难题

### 2.2.1 起因

由于峡谷环境的因素,深溪沟水电站现场施工区春、秋、冬季有经常性大风,一般每天下午都会出现 4 级以上的大风,持续时间也较长,特别是秋冬季节风力更大,最大风力可达 6~9 级,实测最大风速达 21 m/s,给工程施工中的大型设

备——门塔机的安全及正常运行带来重大考验。

### 2.2.2 采取的解决措施

(1)分时安排高空作业。根据大峡谷风力的特性,在混凝土浇筑施工作业中,采取分时段安排高空起吊作业,尽量利用上午和晚间时段安排高空作业,以减少风力对施工作业的影响。

(2)对门塔机增设抗风措施。在主体施工区坝上游布置了两台 MD 1100 波坦塔机,提升高度达 86.7 m,坝下游布置了两台 MQ 540/30 高架门机,提升高度 70 m。现场结合门塔机结构强度、刚度、稳定性和动态特性及整机的抗倾覆稳定性和防风抗滑等因素,首先对门塔机进行了有限元分析计算,对门塔机的加固方式和安全防护措施进行了研究,确定了切实有效的加固方案;其次,进一步优化门塔机的布置形式,以满足高峰时段大坝混凝土浇筑需要。

具体防范措施为:(1)加装风速仪,对设备抗风能力设置风速报警,报警风速为 13~14 m/s。(2)加装夹轨器。(3)加强夜间现场照明。(4)门塔机在高度上错开,选择不同的使用高度(错开两节,标准节为 11.56 m),尽可能减少相邻两机间的干扰,特别是在有风的情况下,便于门塔机控制操作。(5)加强天气预警预报工作。(6)合理安排生产。采用坝前近侧取料,避免大回转以减少设备间的干扰,加快入仓速度;另一方面,为确保大风来临时门塔机能迅速脱离生产状态,要求回转伸臂至下游方向,以减少风的阻力,相邻两机应保持 50 m 的最小距离;在塔机浇筑仓位的安排上,应避免相邻(垂直水流方向)仓位同时开仓,控制仓内混凝土的浇筑顺序,尽可能地减少门塔机间的干扰。(7)要求承包商对员工进行防风专项培训。

## 2.3 基坑超大量渗水给施工作业造成的严重影响

### 2.3.1 起因

深溪沟水电站工程基坑位于深覆盖层、强透水区域。自然河谷宽度仅 90 余 m,基坑深达 70 m 以上,开挖深度达 65 m,地质条件差,使基坑渗水量大。随着工程开挖的进展,渗水量最高超过 4 000 m<sup>3</sup>/h,是原投标合同中约定 150 m<sup>3</sup>/h 的 20 多倍。工期紧、强度大、渗水多,对能否按期完成基坑开挖是极大的考验。

### 2.3.2 采取的解决措施

(1)在基坑开挖阶段:根据深溪沟水电站工程地质条件及施工特点,结合现场实际情况,开挖施工中采用分层分区开挖的施工方法,覆盖层按5 m一层,左右岸边坡按10 m为一个梯段,基坑覆盖层超前边坡10 m深度先行施工,以便于为两岸边坡开挖提供良好的临空面。基坑开挖按顺水流方向抽槽,以利于降水和排水,在其上下游各布置分级抽水站,以保证基坑开挖在干地进行。

(2)在基础固结灌浆环节:针对深溪沟深基坑强渗水特点,深入开展了坝基固结灌浆工艺研究和探索,同时,结合工程物探试验检测研究成果,确保了对固结灌浆工程质量进行有效控制,确保了大坝在蓄水后稳定运行。

(3)在混凝土浇筑阶段:由于3#、4#机组地形地貌较原设计图纸出入较大,基坑最深处在4#机组,因此,基坑内的所有外来水几乎全部集中到了4#机组,造成后期4#机组混凝土施工和排水难度成倍增加,严重制约了坝内永久集水井的上升进度,同时也制约了4#机组主机间混凝土的施工。根据现场情况,采取了将4#机永久集水井与主机间混凝土分开施工的措施,即在4#机高程586.5~608 m、(坝)0+00~0+90、(厂横)0+141.5与(闸)0+40之间设置施工缝,在施工缝中设置键槽和过缝筋,使坝内永久集水井与主机间分开施工。两者分开施工后,为坝内永久集水井部位深井泵的安装赢得了时间。

### 3 工程建设中的重大技术难题及相应的解决对策

#### 3.1 高边坡开挖施工安全控制难题

##### 3.1.1 起因

厂坝枢纽工程右岸边坡垂直高差达170 m,而且边坡表层岩石裂隙发育。右坝肩边坡开挖的特点是马道高差大,坡面长,施工场地狭窄,施工机械设备布置困难,而且开挖出渣还影响下部导流洞的施工。

厂坝枢纽工程左岸边坡开挖方量虽小,但坡高陡峻、坡面倒悬,卸荷裂隙非常发育,挖装设备无法到达开挖部位,施工极为困难,且因成昆铁路从左岸山体穿行,平均距离仅100 m左右,开挖的最大难点是避免对成昆铁路的运营造成影响。

##### 3.1.2 采取的解决措施

(1)厂坝右岸高边坡开挖施工。浅表覆盖层

开挖和下游侧顶部覆盖层开挖采用反铲逐层剥离,辅以人工配合反铲进行清除。石方采用分层梯段爆破开挖,若梯段马道高度 $\geq 20$  m,为控制钻孔角度、减少超欠挖,预裂分两次钻爆,中间预留0.4 m宽施工平台作为第二次预裂的操作平台。若梯段马道高度 $< 20$  m,预裂采用整段一次性成孔、爆破。开挖设缓冲孔、坡面预裂孔。马道预留2 m厚保护层,采用水平光面爆破一次成型。

(2)厂坝左岸高边坡开挖施工。根据现场实际情况,采用分段分单元进行开挖,沿水流方向布置爆破孔。为保证成昆铁路的安全,控制爆破振动加速度不大于0.1 g,逐排进行钻爆。整个爆破采用单排爆破开挖,多循环控制爆破规模,约20 m为一个梯段,将钻孔深度控制为前排孔大于后排孔,使爆破后底部平台倾向下方,保证爆渣既抛掷出去且堆渣量最小,从而降低了人工清渣的难度。实践证明,采用逐排进行钻爆的方法,保证了成昆铁路安全运行,有效降低了人工清渣量,达到了快速、高效的开挖目的。

针对高边坡开挖施工,主要在过程控制上做文章,在如何发挥钻机的最佳效率,如何进行钻孔角度和深度控制,如何对装药量和装药结构进行合理调整等制定了一整套技术措施和“样板坡控制程序和控制标准”,定人定岗,分工明确。严格过程控制,特别是针对边坡预裂钻爆,从造孔、验孔、装药、爆破、检查、评定等工序上做到全过程受控,确保了施工质量和施工进度。经过一年多时间的施工,深溪沟水电站边坡开挖顺利实现了节点目标。

#### 3.2 导流洞进口边坡高排架上锚索安全施工难题

##### 3.2.1 起因

导流洞进口边坡呈前缓后陡之势,在高程665~740 m处存在着巨大的陡倾角断裂破碎带,边坡陡倾卸荷严重,发育有四组优势裂隙,形成了巨大的、倾向闸室的危岩体,随着导流洞进口开挖危岩体有向进口闸室倾滑坍塌的危险,为确保导流洞进口施工期和泄洪冲沙洞的永久运行安全。必须对其上部高边坡进行锚固施工。设计在高程665~720 m处增设了259根长40~60 m、3 000 kN预应力锚索等处理措施加固进口边坡。边坡锚索施工的最大难题是高排架施工的安全,导流

洞进口地面高程为 665 m, 预应力锚索作业排架搭设面积为 5 000 余  $\text{m}^2$ , 最大高度近 70 m, 其距大渡河边也仅为 20 多 m, 高排架的稳固、安全是确保边坡锚索施工顺利进行的保证。如此大面积的高排架搭设带来了重大的安全技术难题。

### 3.2.2 采取的解决措施

(1) 方案的确定。首先结合施工现场对导流洞进口自然边坡锚索排架进行安全稳定计算, 计算校核按《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》执行。由于进口危岩为高层排架, 加之有重型钻机及灌浆施工设备, 排架设计选取上荷载均按偏大的情况选取。如人均重 100 kg, 竹排为 44 层满铺, 钻机按整体考虑; 钻机与钻杆施工时为简支架形式, 计算以整体作用在平台上, 安全系数取偏大值。排架步距、档距计算均按 1.5 m 计。最终确定的各种参数为: 钢管规格  $\varphi 48 \times 3.5 \text{ mm}$ , 钢管横、竖排间距为 1.2 ~ 1.5 m。使用钢管近 1 000 t, 扣件 60 000 个。

为确保排架方案科学、可靠, 深溪沟水电有限公司还专门组织召开了专家咨询会, 召集相关单位对排架的设计方案、施工质量、安全措施制定了具体的实施方案, 确保了工程质量和施工安全。

(2) 排架的实施。采用  $\varphi 48 \times 3.5 \text{ mm}$  钢管搭设锚索排架(基础必须嵌入插筋), 所有插筋必须插入排架竖杆中或与竖杆焊接牢固。地基软弱地段浇筑厚 15 cm 的 C20 混凝土, 使其保持稳定。排架每隔一层在岩面上打入  $\varphi 25$  锚筋并焊接在斜拉钢管上。在钻孔位置铺设竹跳板作为操作平台。在排架搭设过程中, 定期检查扣件, 确保螺栓紧固。为了增加排架整体的稳定性, 提高其抗剪能力, 在岩壁上拉  $\varphi 25$  斜拉筋, 每 2 档(步)布置一根, 并双面焊接在岩壁锚筋的根部。

(3) 锚索施工过程中对排架采取的监控措施。为确保高排架在锚索施工中的安全, 采取了多项措施: 其一, 加强对员工的安全教育工作, 对高排架上、下部位作了详细规定和标注, 严禁发生不规范、不符合安全要求的作业和操作; 其二, 加强监测和监管。对高排架在运行期的维护保持高度的重视, 设置了多个观测点, 对锚筋变形情况、立柱脚点变位情况进行严密监测, 特别是在锚索钻孔过程中, 加强对排架整体的振动监测, 发现问题及时整改解决。

预应力锚索作业排架搭设面积大, 高度超常, 该工程从开始施工至高排架全部拆除, 历时近 9 个月, 在长达 270 d 的高空作业中未发生一起安全、质量事故, 创造了特大型承重排架安全零事故施工的全国企业新纪录。

### 3.3 导流洞进口围堰爆破拆除重大技术难题

#### 3.3.1 起因

深溪沟水电站导流洞进口围堰在招标阶段采用的是预留岩坎作为围堰挡水, 在施工过程中发现导流洞进口地质条件特别差, 预留岩坎裂隙发育, 不能独立作为围堰挡水体, 需要在岩坎内侧增加混凝土形成挡水堰体, 最终采用了预留岩坎 + 混凝土重力坝型式的挡水围堰, 围堰按照十年一遇洪水标准进行设计, 堰顶高程为 636.5 m, 围堰混凝土为 C15(三级配)混凝土。围堰顶宽 4 m, 形状基本呈梯型结构。围堰的结构改变增加了爆破拆除的技术难度。

#### 3.3.2 爆破拆除难点

(1) 由于预留岩坎裂隙发育, 施工中采用增加  $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  的锚杆和锚筋束进行加固, 同时因度汛设计洪水标准提高, 还增加了预应力锚索, 锚索深 32 m, 2 000 kN, 其中 1#闸室围堰增加了 15 根, 2#闸室围堰增加了 12 根。围堰体内的预应力锚索和锚杆对爆破效果影响大、预应力锚索的卸荷程序及方式对施工安全的影响亦较大, 从而加大了围堰体爆破的难度。

(2) 预留岩坎紧挨闸室, 最近处不足 0.3 m, 爆区正上方仅 20 m 处有消涡梁, 爆破时对闸室混凝土的影响大。

(3) 成昆铁路距围堰爆破点仅一河之隔, 爆破飞石对左岸的成昆铁路的影响也是爆破控制的难点。

#### 3.3.3 采取的解决措施

##### 3.3.3.1 爆破方案的制定

针对导流洞进口围堰拆除的特殊性, 国电大渡河公司委托长江水利委员会长江科学院对进口围堰的爆破拆除进行了专项研究。考虑到围堰周围的复杂地形及建筑物, 进口围堰分三步进行爆破拆除。第一步对高程 636.5 ~ 628.5 m 范围的围堰混凝土进行爆破拆除; 其次进行围堰内侧的削薄爆破; 最后进行高程 628.5 ~ 616 m 处的爆除拆除。

### 3.3.3.2 方案的实施

#### (1) 高程 636.5 ~ 628.5 m 范围的爆破拆除。

导流洞进口围堰第一部分爆破钻孔主要利用手风钻机和快速钻机进行,深孔及底部的水平预裂孔主要用快速钻机造孔,浅孔则主要用手风钻机造孔,第一部分最大拆除高度为 8 m。

##### ① 进口围堰深孔爆破参数的确定:

a. 布孔方式:全部采用垂直孔,均布置在锚索孔中心连线上;

b. 钻孔直径:  $D = 90 \text{ mm}$ ;

c. 钻孔深度:孔深  $L = 7.5 \text{ m}$ ;

d. 孔网参数:最小抵抗线  $W = 1.2 \text{ m}$ ;当锚索孔间距  $< 2.5 \text{ m}$  时,中间不布置炮孔;

e. 炸药单耗:靠锚索部位为  $0.75 \text{ kg/m}^3$ ,其余部位为  $0.6 \text{ kg/m}^3$  左右。

为避免第 I 层爆破对其下部混凝土的破坏,以免影响围堰的临时挡水功能,同时,为了使第 II 层爆破有一个较好的钻孔作业面,在 628.5 m 处布置了一排水平预裂孔。

##### ② 锚索切断爆破方案的确定。

如何切断锚索是本次围堰拆除爆破的难点之一,在炮孔布置上采用了以下两种方案:

a. 每个围堰选取四个锚索孔进行试验,在锚索孔的前后左右紧靠锚索孔分别布置了 4 个深孔,且在炮孔的底部连续装药;其余锚索孔均在锚索孔中心连线上左右各布置一个深孔。

b. 在两个围堰的第一部分拆除爆破中分别采用两种不同的装药结构。一种是对称装药,主要利用炸药的爆炸能力将锚索直接炸断;另一种是非对称装药,主要利用炸药的爆炸能力将锚索剪切断。

#### (2) 围堰内侧的削薄爆破。

##### 削薄爆破参数的确定:

a. 炸药单耗  $K$ :  $0.6 \sim 0.75 \text{ kg/m}^3$ ;

b. 炸药直径:选用直径为  $\varphi 32$  的药卷;

c. 布孔方式:全部采用垂直孔、梅花形布孔;

d. 钻孔直径  $D$ :手风钻钻孔,  $D = 42 \text{ mm}$ ;

e. 孔网参数:孔距取  $a = 1.25 \text{ m}$ ,排距取  $b = 0.6 \text{ m}$ ;

f. 装药结构:连续装药;

g. 孔深:根据需爆破的混凝土厚度确定,最大孔深不超过 3 m。

为了确保围堰混凝土的安全,在进行围堰附近的混凝土围堰爆破拆除中,采用类似光面爆破的孔网参数和装药结构逐层剥离。

#### (3) 高程 628.5 ~ 616 m 范围的爆破拆除。

第三部分爆破拆除仍采用与第一部分相同的炮孔布置方式,全部采用垂直孔。深孔采用潜孔钻钻孔,浅孔采用手风钻钻孔。围堰第三部分拆除高程从 628.5 ~ 616 m,拆除高度为 12.5 m。围堰的爆破参数与第一部分基本相同。

#### (4) 爆破防护。

爆破飞石预计是本次围堰爆破拆除时主要的有害效应,必须严格控制装药量和堵塞长度及质量。

防护包括两方面的内容:其一为大渡河左岸的成昆铁路,其二为对导流洞进口围堰、消涡梁、闸门槽和底板混凝土等的影响。爆破防护主要考虑采用柔性性与刚性相结合的方式。

① 紧邻爆区的围堰:采用柔性垫层和刚性垫层组合防护。

② 闸室及导流洞内:闸室底板钢衬、门槽底坎及导流洞内混凝土底板满铺竹跳板等柔性防护材料,对门槽上部已安装的主轨、反轨和侧轨暴露部位同样采用柔性垫层和刚性垫层组合的方式进行防护。

③ 其余临近爆区的保护物:对需要保护的部位采用一层柔性垫层和刚性垫层组合防护,每个防护层都必须固定并紧贴在被保护体的上面。

④ 成昆铁路等远区需保护物:主要在爆区进行防护,爆破时在爆区上部和最小抵抗线方向覆盖一层胶皮(管)帘,控制爆破飞石,确保成昆铁路等需保护建筑物的安全。

此 A 级拆除爆破工程圆满成功,被誉为“大渡河第一爆”。深溪沟导流洞预应力围堰爆破拆除项目被评为第四届中国工程爆破协会科学技术奖一等奖。

## 3.4 围堰高水流下截流的施工难题

### 3.4.1 起因

深溪沟水电站位于大渡河大峡谷中,坝址区河谷两岸山体雄厚,谷坡陡峻,河谷深切,呈现出典型的“V”型峡谷、嶂谷地貌景观。枯水期河面宽 75 ~ 80 m,水深一般为 5 ~ 8 m。河床覆盖层局部最大厚度约 60 m。围堰地基结构较复杂,与国

内外同类工程比较,其具有三大特点:深厚的覆盖层;场地狭窄,只能单戗堤单进;高流速(根据深溪沟截流模型试验提供的数据,截流龙口流速将达到 $8.6\text{ m/s}$ ,堪比三峡截流龙口流速,而在实际围堰截流实施中,截流龙口落差达 $4.93\text{ m}$ ,高于模型试验 $0.36\text{ m}$ ,流速达到了 $10.2\text{ m/s}$ 的更高流速,高于模型试验的 $2.16\text{ m/s}$ ,龙口进占最困难段为 $20\sim 15\text{ m}$ 之间,最困难段持续时间约 $6\text{ h}$ ,平均进占速度为 $0.367\text{ m/h}$ )。高流速刷新了国内截流流速的新记录。深溪沟复杂的地质条件和狭窄的施工场地给截流工作增添了极大的难度。

### 3.4.2 难点

(1)由于其特殊的地形和地质条件,大渡河水经过峡谷区段水流急,流态变化大,给工程截流带来了较大的难度。

(2)场地狭小,导流洞的施工均由临时跨河桥与左岸连接,右岸形成戗堤十分困难,截流只能采用左岸单戗堤进占。

(3)围堰地基由河床含漂砂卵石层组成,一般厚 $30\sim 50\text{ m}$ 。勘探揭示其颗粒粗、结构较复杂,覆盖层中孤石分布较多,孤石块径一般为 $1000\sim 2500\text{ mm}$ ,因此,该地基存在的最大问题是架空现象较普遍,从而进一步加大了截流的难度。

(4)根据深溪沟坝址1937~2003年径流资料统计,11月10年一遇洪水流量为 $1360\text{ m}^3/\text{s}$ 。枯水期河面高程 $620\text{ m}$ 左右,河床水面宽 $75\sim 80\text{ m}$ ,水深为 $5\sim 8\text{ m}$ ,水流急,流速大,冲刷严重,因此,截流的时段选择十分重要。

(5)备料场地狭窄且分散,仅备料场就准备了6处,而最大备料场仅能存放 $2\text{万 m}^3$ ,从而进一步增加了运料的难度。

### 3.4.3 采取的解决措施

(1)做好截流前的准备工作。为保证截流工程成功实施,特委托长江科学院对大渡河深溪沟水电站进行了整体水工截流模型试验,对截流时段和截流方式、戗堤型式及进占程序、龙口段合龙、戗堤进占及截流用料情况进行了深入分析,并针对试验中出现的问题以及工程实施中可能遇到的难题进行了深入的研究,制定了详细的方案,对截流前期准备和截流实施过程起到了很好的指导作用。

(2)充分认识工程风险,做好技术准备。面

对深溪沟坝址处水流急、流速大,工程场地异常狭窄,施工布置困难,技术难题集中等这些难题,国电大渡河公司十分重视,组织专家、设计、监理、施工单位多次研究论证,针对截流中可能遇到的各种问题所制定的预案措施多达十多个,如在截流关键的戗堤进占过程中,龙口流速超过 $8.6\text{ m/s}$ ,现场及时启动预案措施,马上增加大马力的推土机、增加抛石的强度、加大块石串、混凝土四面体的抛投,经过 $8\text{ h}$ 奋勇拼搏,度过了截流的最困难段。龙口流速达到 $10.2\text{ m/s}$ 是已知世界水电建设史上最高的截流龙口流速,截流难度在世界已知水电站中屈指可数。由于预案措施准备充分,圆满实现了“安全、正点、有序、漂亮”的高标准截流目标,创造出水电建设的又一个奇迹,也为在大渡河复杂的水文、气候条件和 $50\text{ m}$ 深覆盖层地质条件下的安全截流摸索出一点经验。

(3)做好截流设备管理。设备管理组负责施工设备的配置、维护和检修等日常管理工作,保证施工设备的完好率、出勤率和利用率,并保证截流时段设备的备用和应急维护。在截流期间,共投入各类设备 $75$ 台(套),人员 $300$ 多人,平均抛投强度约 $2400\text{ m}^3/\text{h}$ 。

(4)做好各类备料工作。首先,深溪沟场地狭窄,截流戗堤 $6\text{万 m}^3$ 的备料分散在 $6$ 个备料场地,而最大的备料场也只能备 $2\text{万 m}^3$ 的料;其次,工区右岸山坡陡峻,只有左岸一条道路贯穿上下游,抛投石料要从上下游 $6$ 个备料场调运,道路运输拥挤。为确保截流成功,成立了以业主为首,设计、监理、施工单位共同参与的深溪沟截流领导小组,制定了严格的组织管理规定和作业程序,对所有备料进行归类堆放,对车辆进行统一编号识别,对全体参建单位实行垂直指挥,统一调度,从而使整个截流时段做到了步调一致,按计划、成功地实现了河道截流目标。

## 3.5 持续高强度混凝土施工难题

### 3.5.1 起因

深溪沟水电站是其上游瀑布沟电站的调节电站。在可研设计阶段,从截流到发电计划工期为 $42.5$ 个月。在招标设计阶段,将首台机组的发电时间确定在2010年11月30日,工期压缩 $7$ 个月,从截流到发电计划工期为 $35.5$ 个月。随着工程的顺利进展,为了最大效益地发挥两个电站的

协调功能,深溪沟水电站的发电工期从初设的2011年6月30日提前到2010年7月1日。因此,混凝土浇筑工期压缩较多,浇筑强度从平均5万 $\text{m}^3$ 提高到平均6万 $\text{m}^3$ 。特别是2009年,主体工程混凝土浇筑要完成70万 $\text{m}^3$ ,平均月强度超过6万 $\text{m}^3$ ,实际高峰月强度达7.8万 $\text{m}^3$ ,高峰强度持续时间长,给工程建设管理带来极大地挑战。

### 3.5.2 难点

(1)混凝土总量约105万 $\text{m}^3$ ,工期24个月。混凝土浇筑量大、工期紧、强度高、高峰强度持续时间长,基础交面至提交首台机组安装工作面的有效施工时间仅为18.5个月;

(2)混凝土工程施工场地狭窄,设备选型局限性大,垂直手段布置困难,设备相互干扰大,设备能力不能充分发挥,长时间高强度混凝土浇筑要求设备必须有很高的完好率;

(3)结构工序复杂,材料、人员投入大;仓面小,备仓难度大,平均日浇筑8~10个仓次,各个工序交叉作业面多,协调难度大;

(4)2#~4#机组基础回填后,进尾水口段与1#机组相比滞后工期4个多月,因此必须加大局部施工强度,合理安排浇筑仓位,确保同时下闸要求;

(5)混凝土施工期间机电安装作业也带来相互干扰的矛盾;

(6)混凝土施工质量要求高,外观质量要达到“旅游厂房”要求。

### 3.5.3 采取的解决措施

(1)为确保深溪沟水电站2010年7月1日首台机组发电的目标,深溪沟水电有限公司与成勘院一起联合相关水泥厂、混凝土外加剂厂、三峡大学及北京航空航天大学开展了普硅、中热和低热水泥的水泥水化热对比试验研究、配合比优化试验研究、河床料碱活性抑制性试验研究、大坝混凝土温控监测和预报研究等科研项目,其研究成果在深溪沟厂坝大体积温控混凝土施工中得到了成功应用和实施,确保了大体积温控混凝土的施工质量和施工进度,为大坝温控混凝土的快速施工提供了技术依据和可靠保证。

(2)深溪沟水电有限公司联合设计院开展了多项设计优化工作。如左岸泄洪闸混凝土施工分层分块分缝优化、厂坝4#机左岸贴坡混凝土优

化、4#机和集水井分块分缝优化、坝体混凝土施工分层分块分缝优化,优化成果的采用加快了工程建设进度,确保了工程质量。

(3)结合门塔机工作特点和不同坝块结构及工期要求,深入研究了布料机、泵送、长臂反铲、汽车直接入仓等多种辅助入仓方式,有效降低了施工难度,节约了工期。

(4)调整了分层分块方式,如泄洪闸坝段底板以上闸墩部位分层厚度由1.5m调整为3m,4#机组高程580m以上大体积混凝土分层厚度由1.5m调整为3m。

(5)针对厂房进水口流道以上,发电机层风罩、机墩、发电机层楼板,副厂房板梁柱、4#机集水井等温控要求较低的部位,研究了泵送入仓方式,开展了二级配、三级配和两级半配泵送混凝土水泥用量、设备选型和温度应力计算等方面的研究工作。

(6)加强设备的保养,提高设备的利用率。通过对门塔机运行进行的统计,门塔机等起吊设备的利用率达到82%,其中上游塔机利用率达到了91%,在设备的使用上达到了一个非常高的水平。此外,在混凝土运输汽车车身上加装附着式振捣器以降低卸料难度,减少卸料时间,进而提高了门塔机的利用率。

## 3.6 导流洞闸门在动水中启闭的难题

### 3.6.1 起因

2009年11月1日,为配合瀑布沟水电站下闸蓄水,保证下游生产、生活用水,深溪沟工程利用当时的上游围堰及两孔导流洞(后期为泄洪洞)的进口事故检修闸门作为蓄水、供水设施。

首先进行了上游围堰内的蓄水,待瀑布沟水电站下闸时,利用深溪沟水电站已蓄的临时库水由2#泄洪洞进口平板事故闸门继续向下游供水,待瀑布沟水电站库水位上升到泄洪洞底坎并保证向下游供水后,深溪沟水电站的临时供水任务结束。2009年11月1日凌晨1时,深溪沟水电站2#泄洪洞进口平板事故闸门开始下闸控泄,闸门底部据底坎相差约3m。下闸后,上游围堰水位迅速抬高,当日上午10点47分,深溪沟水电站泄洪洞进口水位达到650.6m高程、下游水位为625m高程,2#泄洪洞进口平板事故闸门开度为3m,随着瀑布沟水电站的供水中断,深溪沟水电站2#

泄洪洞进口平板事故闸门开度根据实际供水量要求调整为1.7 m,继续向下游供水。当日晚22点58分,瀑布沟下泄水流到达深溪沟,深溪沟水电站上游水位高程为636 m,上下游水位差为11 m,满足动水启门条件,2#泄洪洞进口平板事故闸门完全提起,深溪沟向下游供水任务圆满完成。深溪沟水电站2#泄洪洞进口平板事故闸门从下落至完全提起非正常工况运行近22 h。

### 3.6.2 采取的解决措施

(1)泄洪洞进口事故闸门技术特性。

结构形式:潜孔、平面、滑动闸门。

孔口尺寸:15.5 m×18.12 m-44 m(宽×高-水头)。

门槽地坎高程:616 m。

门体支承:增强四氟板材或工程塑料合金滑道、反向钢滑块、筒支式侧轮。

水封装置:顶、侧止水采用橡塑水封P60A、底止水为条形橡皮。

门体吊点:双吊点。

启闭条件:动水闭门、静水启门(考虑11.6 m水头差),充水阀充水平压。

门叶主要材料:Q345B。

(2)2×8 000 kN固定卷扬式启闭机主要技术特性。

持住力:2×8 000 kN。

扬程:47 m。

吊点距:10.3 m。

起升速度:1.58~1.77 m/min。

滑轮倍率:12。

钢丝绳:56ZAB6×49SWS+IWR1870ZS。

对1#泄洪冲沙洞进口事故检修闸门(共6节)进行改造,上2节进行焊接连接,下4节焊接连成一体。上2节与下4节间加工止水平面,第4节上口高程627.275 m;设节间橡皮止水,以销轴联接,其目的是:在紧急情况下,可以动水提升上两节门叶进行泄水。当瀑布沟水电站下闸完成后,将闸门提出门槽孔口后进行改造,恢复设计原图纸要求。

1#泄洪冲沙洞进口闸门下闸后,潜土工从洞口下水,潜入销轴联接处进行脱销。瀑布沟水电站下闸完成后,潜土工再次潜水,实施销轴连接提门进行闸门改造。

2#泄洪冲沙洞进口事故检修闸门下闸前,在门槽顶662 m高程设置标记。将50 m卷尺的零标记点固定于闸门门叶距底止水边缘18 m高的位置,卷尺随门垂直拉直到门槽顶部以上,派专人观测卷尺刻度与662 m高程点对齐,当卷尺30 m刻度与槽顶高程点对齐时闸门全闭,28.5 m刻度与槽顶高程点对齐时闸门开度为1.5 m,以此类推。

深溪沟水电站泄洪洞事故闸门配合下闸操作人员在接到现场指挥的下闸指令后,对2#泄洪洞事故闸门进行了下闸操作,待闸门开度达到规定值时,停止落门,监测上游水位上涨情况,随时向现场指挥汇报水位信息并接收现场指挥下达的下一步操作指令,直至瀑布沟水电站下闸成功。

2#泄洪洞事故闸门下闸时,1#泄洪洞闸门操作人员处于待命状态,如有特殊需要,1#泄洪洞闸门操作人员在接到操作指令时,立即进行提门操作。

在下闸及提门的整个过程中,由专人对启闭机及闸门进行监测,专人对水封浇水润滑,对出现的异常现象及时上报现场指挥。

备用电源方案:用已采购的800 kW柴油发电机作为备用电源方案,主要用作1#泄洪洞闸门应急操作。在容量容许的情况下,兼顾2#泄洪洞闸门操作。

其他保障措施:上游围堰检查及补强、沿岸撤退告知、通讯保障方案等。

在深溪沟水电站2#泄洪洞事故闸门下闸、1#泄洪洞事故闸门节间开启向下游供水方案实施前,业主于2009年上半年委托南京水利科学研究院对该方案进行了理论上的计算和详细论证,并组织设计、监理、安装、制造等单位进行了实施方案的反复讨论,利用泄洪洞事故闸门具有动水闭门、可在11.6 m水头差的情况下启门的条件,最终认为:在水头差为11.6 m内的情况下可以进行动水启门。同时,考虑到上游围堰的挡水水头和蓄水容量及瀑布沟水电站的蓄水时间等综合因素,最终确定利用深溪沟工程向下游供水的临时方案可行。

当时的监测数据表明:深溪沟工程上游围堰渗水量没有明显增加,泄洪洞基础结构无损坏,闸门原型观测数据正常,工程质量经受住了考验;该项目的顺利实施,不仅节省了工程投资,更为平板闸门控制泄流课题研究提供了宝贵的第一手科研



数据资料,为水库联合调度提供了宝贵的经验。

### 3.7 机组安装中的困难

#### 3.7.1 难点

##### (1) 交通不便。

虽然深溪沟工程上游距汉源火车站只有十几公里,距下游乐山市金口河区只有25 km,但其道路狭窄,最窄处路面只有不足5 m的宽度,且向下游金口河区还需穿过5条山洞,且洞高和洞宽均不能满足大件运输的要求。特别是雨季时,经常发生道路塌方或路基沉降。

##### (2) 场地狭窄。

深溪沟工程地处大渡河大峡谷之中,地理位置十分狭窄,成规模的设备堆放场地无法在现场找到。同时,设计方案为设备从坝顶吊物孔吊入,造成对坝顶土建、金结施工和坝顶交通形成很大干扰。

##### (3) 工位受限。

深溪沟水电站主厂房安装间长66 m、宽25 m,只设有一个定子安装工位、一个转轮安装工位、一个转子安装工位、一个下机架安装工位、一个支持盖安装工位和一个顶盖安装工位。由于安装间下游墙土建施工及机电设备运输需要,在土建开挖时,已开挖出一条宽约6 m的通道,车辆进出厂均从该通道通过,因此,安装间的下机架、支持盖工位在施工期间基本上被车辆通道占用。鉴于上述因素,深溪沟工程机电安装工位较其它电站紧张。

##### (4) 起吊设备使用受限。

大件设备主要是利用坝顶400 t门机卸车后从吊物孔进入安装间运输台车上,运输台车将大件运至安装间2×400 t大桥机或50 t/10 t小桥机下后,由大桥机或小桥机运至相应的工位。但坝顶门机和小桥机均担负着金结设备转运或混凝土浇筑任务,因此,在起吊设备使用上受到相当大的限制。

##### (5) 工期短。

2009年9月18日完成1#机座环安装;2010年4月17日完成1#转轮吊装;2010年4月28日完成1#转子吊装;2010年6月27日完成1#机组72 h试运行。从上述工期可以看出,深溪沟水电站的机电安装工期在同类型电站中是比较短的。

##### (6) 机电与土建施工干扰大。

由于土建、机电、金结的施工部位比较集中,且三者相互交叉使用通道和施工部位也较多。因此,三者的相互干扰比较大。

#### 3.7.2 采取的解决措施

(1) 交通方面:提前与机电设备的各个供货厂家、大件运输公司联系,现场考察地形、道路情况,与当地交警部门配合,做好运输方案。对受阻路段进行临时性维护,利用已协调好的运输时机尽量一次通过较多的大型设备;同时了解天气变化情况,避免在雨季或冬季冰雪天气时运送大件设备,尽量规避因天气影响而导致大件运输受阻。

(2) 场地方面:鉴于深溪沟工地无法找到一定规模的设备堆放场地,业主方与监理、土建施工单位和机电安装单位进行前期协调,通过以下几方面进行解决:利用施工道路边缘的有效场地,在保证车辆通行的前提下进行规划利用,解决可在露天进行堆放的设备;寻找土建施工时留下的施工支洞进行场地平整并加以简单改造后存放电气盘柜等较轻的设备;利用营地的有效空地,搭建简易的开敞式库房进行设备存放;及时协调土建施工,提早将安装部位交面,将设备直接运入就位处;对于运输难度较低的设备,协调好厂家按照安装时间较准时的到货,避免库存量加大。

(3) 工位方面:与土建协调,及早提交机坑工作面,利用机坑内的场地进行安装工作。在安装计划中,提前做好工序衔接安排,充分利用工位占有率,尽量避免安装间工位空缺现象的发生。

(4) 起吊设备使用方面:安排机电设备吊运时,与土建施工、金结安装单位及时沟通,掌握使用起吊设备单位的施工计划,采取穿插使用、无缝衔接的方式合理安排起吊设备的使用;同时,与厂家沟通,做好设备的备品、备件的准备和起吊设备的维护、保养工作,确保设备的有效使用率。

(5) 工期与相互干扰方面:将已制定好的发电目标确定为最终节点目标,协调土建、机电、金结制定各自的施工计划,组织各方召开施工计划协调会,汇总各方的计划,找出相互矛盾的地方,协调解决存在的矛盾,业主此时应发挥主导作用,在施工方面给予各方合理的便利支持,最终达成各方共识,形成指导工程施工的总体计划。监理在总体计划的指导下,按照不同分工,每天进行现场监督检查;特别是在临近发电的前两个月,每天

在现场召开协调会,及时解决当天存在的如相互干扰问题、工期影响问题等,做到当天问题当天发现,当天提出解决办法,当天将实施工作布置下去,当天现场跟踪解决的情况,使问题不过夜。每天统计土建、金结、机电的施工完成情况,找出问题的症结,提出解决的办法、提醒影响的程度和剩余的工期数据,将上述情况汇总成当天的现场工作情况表,及时印发到各个施工单位,使得参与施工的人员掌握整体的动态,看清自身所从事的工作对大局的影响程度,从而有效促进相互协调的效果并降低相互干扰的影响,解决工期和干扰之间的矛盾。

#### 4 结 语

(1)深溪沟水电站在水电建设项目中属于中等常规电站,但因其独特的地理、地质条件,使电站在建设中遇到了许多超常规的高难度技术施工难题,在设计院及有关院校的技术支持和帮助下,我们一一攻克了这些难题,并为大渡河流域类似

(6)当槽底高差大于0.25 m时,将导管置于控制范围的最低处。

(7)塑性混凝土的浇筑应保证连续进行,若因故中断,中断时间不超过40 min。

(8)混凝土面的上升速度不小于2 m/h并应均匀上升,高差控制在0.5 m以内。

(9)至少每隔30 min测量槽孔内混凝土面深度,每隔2 h测量一次导管内混凝土面深度,并及时填绘混凝土浇筑指示图。

(10)槽孔口应置盖板,避免混凝土由导管外撒落至槽孔内。

(11)防止混凝土将空气压入导管内。

(12)混凝土浇注完毕后顶面应高出施工图

$q_2 = 5 \times 1.4 \times 0.85 \times 1.5 \approx 9$  (kN/m)

荷载分布情况见图3。

(2)计算过程及结果。采用结构力学求解器进行计算,计算简图及力学模型分别如图4、5所示。使用状况下的计算模型见图5。

经计算,结构整体最大变形为1.5 mm,满足设计规范的变形最大限度要求;所有构件均满足材料受力要求。

#### 3 应用情况

电站的建设管理积累了宝贵的经验。

(2)在深溪沟工程建设中,我们始终坚持技术创新,坚持新技术、新工艺的引进和应用。通过开展大量的科研技术创新工作,为解决深溪沟电站建设中的“布置难、施工难”提供了强有力的技术支持。

(3)建设管理者——业主要充分发挥主导作用,要有大局观,多动脑,勤思考,抓大事,抓重点,抓难点,理清每个接口、每个关系,树立起正确的建设服务理念,做到服务到位,协调及时,管理有序,监督和检查参建单位只做对的事和正确的事。

(4)从深溪沟电站建设中可见,水电建设中出现很多这样或那样不可预见的问题,作为建设管理者——业主来说,做好管理预案以及各种风险管理预案是十分重要的。

作者简介:

程 可(1956-),男,河南滑县人,总经理,教授级高工,硕士,从事水电工程建设管理工作。(责任编辑:李燕辉)

纸规定的顶面高程50 cm。防渗墙墙体均匀完整,不得有混浆、夹泥、断墙及孔洞。

(13)浇注结束时,及时拔出导管,清理并冲洗干净导管、漏斗、储料斗等浇筑设备,以备下一槽使用。

#### 5 结 语

通过采取钻孔取芯、注水试验等检测方法进行检测得知:防渗墙墙体的物理力学性能指标、墙段连接均满足质量要求,为今后同类工程施工提供了一定的借鉴。

作者简介:

罗嗣松(1979-),男,江西上高人,工程师,学士,从事水电工程施工技术管理工作。(责任编辑:李燕辉)

按该设计生产的台阶模板已在沐若水电站大坝施工中应用,该模板很好地满足了碾压混凝土连续施工的要求,并且结构变形小、预埋螺栓拆除后混凝土表面仅局部需要修补,从而有效地保证了混凝土的外观质量,受到了业主的好评。该模板的成功应用对研究大坝台阶施工具有重要意义。

作者简介:

耿 越(1962-),男,河南郑州人,高级工程师,从事水电工程施工技术工作。(责任编辑:李燕辉)