

四川安谷水电站勘探竖井及试验平硐施工工艺

付兵, 陈红卫, 陈达

(四川省水利水电勘测设计研究院勘察分院, 四川成都 611731)

摘要:四川安谷水电站勘探竖井所处地层河床砂卵石层深厚,采用传统的人工挖掘护壁或沉井施工工艺,施工难度大。针对地层的特点,采用冲击钻机成孔的方式施工。同时,在竖井中开挖试验平硐,遵循多炮眼、小进尺、小药量,光面爆破的施工方式,圆满完成试验平硐的开挖。介绍了其施工技术及注意事项。

关键词:勘探竖井;平硐;冲击成孔;光面爆破;深厚砂卵石层;水电站

中图分类号:P633 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)06-0080-05

Construction Technology of Exploration Shaft and Test Adit of Hydropower Station in Sichuan/FU Bing, CHEN Hong-wei, CHEN Da (Investigation Branch, Sichuan Provincial Investigation, Design and Research Institute of Water Conservancy and Electric Power, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: The sand-and-cobble layer of river bed is thick in the exploration shaft of Anghu hydropower station of Sichuan, the construction was difficult to use traditional wall protection by manual digging. According to the formation characteristics, boring was constructed with percussion drill. And test adit was dug in the shaft, following the construction of scheme of more blast hole, small scale of drilling footage, small charge and smooth blasting.

Key words: exploration shaft; adit; impact holing; smooth blasting; thick sand-and cobble layer; hydropower station

1 概况

安谷水电站位于四川省乐山市沙湾区嘉农镇(左岸)和安谷镇(右岸)接壤的大渡河干流上,距两镇分别为1.5~4.0 km和4~6 km。坝址距上游正在修建的沙湾水电站约35 km,下游距乐山市区15 km,有省道S103从枢纽区左岸通过,对外交通较方便。工程开发任务为发电、防洪、航运、灌溉、供水等,电站采用混合式开发方式,设计水库正常蓄水位398.00 m,电站装机容量680 MW。工程枢纽由砼闸坝、非溢流坝、电站厂房、船闸、副坝及尾水渠等建筑物组成,最大坝高58 m。

可行性研究阶段在上坝址厂房轴线布置一个勘探竖井,其主要目的是为了查明厂房地基中厚层砂岩、薄层砂岩、泥岩、软弱夹层的分布,以及其物理力学性质。同时,通过在竖井中开挖试验平硐进行现场承载力试验、砼/岩石的现场大剪试验、岩体变形试验和声波测试,用以确定厂房地基中薄层砂岩的承载力、岩体变形及声波波速指标和砼与岩石之间的抗剪强度指标。因此,其工程意义非常重大。

2 地质条件及技术要求

2.1 地质条件

竖井位于安谷水电站上坝址厂房轴线上,距安上ZK24钻孔约2 m,根据钻孔揭示,竖井所处地层其上部为砂卵石层,厚度21.6 m,下伏基岩为夹关组(K_{1j})之砂岩夹薄层或透镜体状泥岩。孔深25.34~25.52、34.90~36.20 m为泥岩夹层;孔深22.80~25.34、28.98~29.35、31.60~34.2、36.70~37.10 m为薄层状构造弱胶结细砂岩;孔深25.16~25.52 m有泥化夹层;37.84~37.93 m发育岩块岩屑型破碎带。岩体无强风化,弱风化带下限深度29.40 m。

在孔深36.2 m附近揭露有承压水,承压水头约37.12 m,流量4.5 L/min。

受河水涨落的影响,孔内地下水水位为0.5~3.0 m。

2.2 竖井及试验平硐施工技术要求

2.2.1 竖井施工技术要求

设计竖井深度为40 m,直径 ≤ 1.2 m。

2.2.2 平硐施工技术要求

在竖井中不同深度施工2个试验平硐,长度约

收稿日期:2011-11-09

作者简介:付兵(1966-),男(汉族),四川成都人,四川省水利水电勘测设计研究院勘察分院副院长、高级工程师、注册岩土工程师,注册安全工程师,钻探工程、地质工程专业,工程硕士,从事水利水电勘察技术与管理工作,四川省成都市郫县犀浦镇国宁路56号,373266175@qq.com;陈红卫(1967-),男(汉族),湖南蓬源人,四川省水利水电勘测设计研究院勘察分院工程师,钻探工程专业,从事水利水电钻探技术工作;陈达(1966-),男(汉族),四川广安人,四川省水利水电勘测设计研究院勘察分院助理工程师,钻探工程专业,从事水利水电钻探技术工作。

为8 m,高1.8 m,宽2.4 m。掘进方向与坝轴线平行,其底板高程由地质人员现场确定,但洞顶以上岩体厚度 ≤ 10.0 m。

试验平洞施工中,应采用光面爆破或预裂爆破,以尽量减少对岩体的人为破坏。同时,为了保证岩石变形试验的顺利进行和试验资料的准确性,在平洞底板处预留200 mm厚度,采用人工修整和凿平,以免底板岩体遭到人为松动破坏。

3 竖井施工

3.1 竖井施工工艺的选择

由于竖井所处地层砂卵石深厚,地下水丰富,若采用传统的人工挖掘护壁或沉井施工工艺,需先在竖井周边施工多口降水井,进行人工降水;然后采用人工挖掘、清渣,现场浇筑护壁筒。进入基岩后,需采用爆破掘进,人工清渣。此工艺施工速度慢、工程成本高、施工风险大,施工人员安全难以保证。为此,经过反复研究、论证,决定采用大口径冲击钻机成孔的方式施工竖井,在钻穿砂卵石层进入基岩一定深度后,下入护壁筒,并对护壁管管脚进行止水处理,然后换小一径的冲击钻头钻进至成井。

3.2 竖井施工主要设备

CZ22型冲击钻机1台套,75 kW发电机组1台, $\Phi 1500$ mm十字钻头1个, $\Phi 1200$ mm十字钻头1个,制浆和灌浆机1套。

3.3 竖井施工工艺

在钻机安装就位后,先人工开挖小井0.5 m深,埋好内径为1600 mm井口管。然后采用 $\Phi 1500$ mm十字钻头泥浆护壁冲击钻进,进入基岩约3.5 m后,下入外径为1300 mm的护壁管,并对管脚进行灌浆止水处理。最后,换用 $\Phi 1200$ mm十字钻头冲击钻进至40 m成井,竖井结构见图1。

钻进注意事项:

(1)在钻进过程中,要保持孔内泥浆高度及泥浆密度,同时跟进井口管至井深3~5 m,以防止钻孔垮塌。

(2)成井过程中应确保机架平稳,不产生移位,以保证成孔倾斜度 $\geq 1\%$ 。

(3)在砂卵石层钻进,要随时关注泥浆的性能,确保孔壁的稳定。特别是钻进至接近基岩界面时,应适当提高泥浆的浓度,加大黄泥的投入量,以防止泥浆在砂卵石层与基岩接触面突然大量漏失,从而引起井壁垮塌。

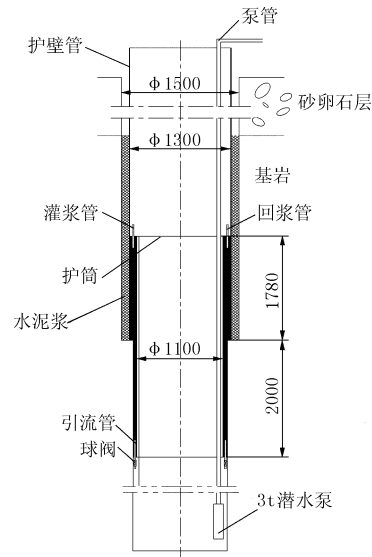


图1 竖井结构示意图

(4)换径后,应采用小冲程,防止钻头碰撞护筒管脚,而破坏止水效果。

3.4 护壁管的安装

(1)在钻穿砂卵石层进入基岩约3.5 m后,适当降低泥浆的浓度,对井深、井径及垂直度进行校核,经现场技术负责人确认达到要求后,即可进行下入护壁管的工作。

(2)护壁管由厚度为8 mm钢板卷制而成,内径为1300 mm,每节1260 mm。安装前,先在地面将护壁管平放进行3根对接,对接时应注意保持护壁管的水平度。

(3)在进行吊装时,应确保护壁管之间焊接牢固、安装垂直,防止安装过程中护壁管断裂或焊接不严密而产生漏水,影响下一步试验平洞施工的进行。

(4)安放时,应在护壁管四周每隔5 m左右焊接4个扶正块,使护壁管直立于竖井中心,上端保持水平,确保井管的偏斜度 $\geq 1\%$ 。

(5)护壁管应高于地面0.5 m,以防止地面异物掉入井中,确保下一步竖井中试验平洞施工的安全。

3.5 护壁管管脚止水

(1)在护壁管外侧下入2根 $\Phi 50$ mm的注浆管,距管脚约600 mm。

(2)为防止水泥浆从护壁管管脚处大量渗入井内,灌浆采用间歇施工法,水灰比为0.5,掺入3%水玻璃,灌浆压力控制在0.1 MPa以内。当出现较大渗漏时应暂停灌注,30~60 min后再重新灌浆。

(3)在水泥浆灌注过程中,间隔5 min观测一次管壁与井壁间水泥浆的注入深度,使管脚水泥止水厚度达到3.5 m以上,即可停止灌注。

(4)起拔注浆管,在管壁与井壁间回填砂卵石至井口。最大粒径控制在50~60 mm,以防止砂卵石井壁的坍塌,造成地面沉陷,影响后续施工。

(5)待凝3天后,即可换用 $\phi 1200$ mm十字钻头冲击钻进至40 m成井。

3.6 竖井施工中存在的问题及处理方法

在竖井施工完毕后,进行了换浆、清渣和井内抽排水工作。当井内水位降至11.6 m时(井内外水位差约为9.2 m),管脚止水突然失效,上部砂卵石层中的潜水大量涌入,经过2个多小时的抽水工作,排量60 t/h的水泵只能使井内水位降至4.5 m,竖井及试验平硐的施工工作被迫停止。

原因分析:在进行护壁管管脚止水过程中,由于管脚与基岩接触面并未完全密封,导致灌注的水泥浆从管脚渗入井内,形成了约1.5 m厚的水泥层。在后续的冲击钻进时,由于水泥层已达到一定的强度,在用冲击钻头破除水泥层以及进行基岩冲击钻进的过程中,必然会产生强烈振动,使护壁管管壁与井壁间的水泥止水层产生裂隙,最后在水柱压力下产生较大的破坏,造成管脚止水基本失效。

3.6.1 第一次护壁管管脚止水处理

根据现场实际情况,经过认真分析和讨论,确定如下处理方案。

第一步:护壁管四周锤击跟入4根 $\phi 50$ mm注浆管,深度为21.5~23.5 m;

第二步:用高压水泵向一个孔内压入清水,压力0.5~0.7 MPa,将夹泥和松散的水泥渣冲洗出来;

第三步:实施间歇灌浆,浆液水灰比为0.5,掺入3%水玻璃,每次灌浆约5 min,暂停30~60 min后再重新实施灌浆,如此反复多次,直至灌实为止;

第四步:待凝3天,下入潜水泵(60 t/h)进行抽水,水位降至35.3 m,经观察,止水效果较好,但护壁管管脚仍有上部潜水渗入,水量约5 t/h。

3.6.2 第二次护壁管管脚止水处理

虽然第一次护壁管管脚止水处理取得了一定的效果,地质人员可下入井中对地层进行详细的观察和描述,但护壁管管脚的渗水对下一步试验平硐的施工仍有较大的影响。因此,为了确保试验平硐施工的顺利进行,必须彻底封堵护壁管管脚的渗水,以保障施工人员的安全和良好的施工作业环境,决定在第一层护壁管内再下入一层护筒,对护壁管管脚进行第二次止水处理。具体方案如下。

(1)护筒结构:第二层止水护筒由护筒及上、下止水环组成。护筒的竖向和横向环型焊缝,需用厚

度为5 mm钢板覆盖,以防止焊缝破裂。

护筒外径为1100 mm,壁厚为8 mm,总长度为3780 mm,在护筒上、下端焊接止水环,其结构见图2。

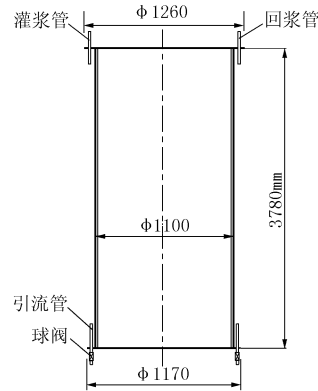


图2 护筒结构示意图

上止水环与护壁管连接,其外径为1260 mm,内径为1100 mm,厚度为8 mm,分为4段。在止水环上对称焊接2根 $\phi 20$ mm的钢管,分别作为灌浆管和回浆管,在止水环上、下部分长度均为200 mm。在护筒下入井中,并完成护筒管脚初步止水后,再与护筒及护壁管进行焊接。

下止水环与基岩井壁连接,其外径为1170 mm,内径为1100 mm,厚度为8 mm。在止水环上对称焊接2根 $\phi 20$ mm的钢管,作为引流管,以便将护壁管管脚渗水引入竖井。引流管在止水环上面部分长度为300 mm,下面部分长度为200 mm,并安装球阀,在灌浆时关闭。

(2)护筒安装位置:上端距护壁管管脚为1780 mm,下端距护壁管管脚为2000 mm。

(3)护筒安装和灌浆止水。

第一步:护筒吊装。在地面将护筒分节焊接,然后吊入井中相应位置,将上端与护壁管焊接固定,下端与基岩井壁用木楔固定。

第二步:护筒管脚止水。用编织袋和棉花将护筒下端与基岩井壁间隙做初步封堵,然后通过护筒上端的环状空间投入止水材料。止水材料由锚固剂掺入适量的水玻璃制成,边投边进行捣实,对护筒止水环与井壁间隙进行初步止水处理,止水厚度控制在200 mm以内,此时由护壁管管脚渗入的水可通过止水环上的引流管排入竖井中。

第三步:焊接上止水环。将分成4段的上止水环,在井下与护筒及护壁管进行焊接,使护筒与护壁管、基岩井壁间形成密封的空间。井下焊接时,要采取多种措施确保焊接的质量,以避免灌浆时压力过

大,导致焊缝破裂。

第四步:检查护筒密闭性。将护筒上止水环上的灌浆管、回流管与地面相应管路连接,并关闭护筒下止水环上的引流管阀门,利用井内外自然水头差进行试压,以检查护筒焊缝质量及管脚止水情况,确保护筒与护壁管、基岩井壁间的密闭性,避免灌浆时浆液渗入井内。

第五步:灌浆。试压结束后,即可进行灌浆止水。浆液水灰比为0.8~0.5,先清后浓,水玻璃的加入量为0.5%~3%,逐渐增加。待回出浓浆后,即可闭浆待凝。

第六步:待凝3天,下入潜水泵(60 t/h)进行抽水,水位降至38.7 m。经下井观察,护壁管脚渗水被完全封堵,止水效果良好。至此,竖井施工全部结束。

4 试验平硐施工

4.1 试验平硐位置的确定

通过地质人员下竖井后对地层认真观察和现场研究,1号试验平硐底板位置距井口地面34.40 m处,沿坝轴线向左岸掘进;2号试验平硐底板位置距井口地面34.60 m处,沿坝轴线向右岸掘进。其结构见图3。

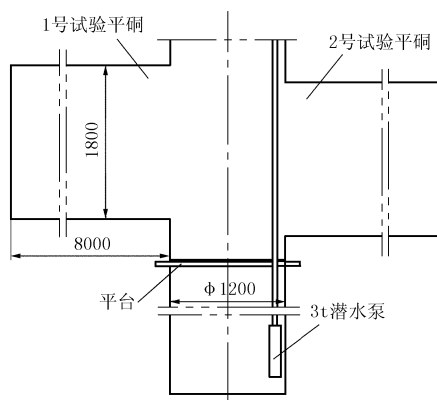


图3 试验平硐结构示意图

4.2 搭设试验平硐掘进平台

根据试验平硐底板高程,确定将试验平硐掘进平台搭设在距井口地面35.10 m处。先由施工人员在井壁对称位置钻孔,孔径50 mm,深度300 mm,共钻6对孔。然后插入 $\varnothing 48$ mm相应长度的钢管,每边入孔长度为150 mm,并用木楔固定。最后铺上木板,木板上再铺上篷布,再用编织袋将缝隙填塞,以防止爆破石渣落入井底。

4.3 试验平硐施工

根据施工区岩体较完整、风化较弱的特点,为尽量减少爆破对周围岩体及管护壁管脚止水的影 响,平硐施工遵循多炮眼、小进尺、小药量,光面爆破的实施方案。

由于2个试验平硐高差不大,决定沿垂直于坝轴线方向,以1号试验平硐底板高程为基准,先掘进一长2.4 m、宽1.2 m、高2.3 m的掘进洞室,然后再沿坝轴线方向分头掘进,先施工1号平硐,然后施工2号平硐。

4.3.1 试验平硐挂口

为了降低爆破产生的震动,减少对护壁管脚止水的影 响,有利于施工安全,在试验平硐挂口时,采用小断面、短进尺、小药量的掘进方式,即先在试验平硐中心钻空眼1个,四周间隔400 mm布置4个爆破眼,深度为500 mm,每孔装药75 g。然后按阶梯形方式,逐步加深和扩大断面,直至形成长2.4 m、宽1.2 m、高2.3 m的掘进洞室。

4.3.2 试验平硐掘进

在掘进洞室开挖完毕后进行试验平硐的掘进。根据地层情况,并参考试验平硐挂口爆破效果,试验平硐开挖掘进采用全断面光面爆破方案。采用光面爆破技术,能降低爆破产生的强烈震动,以减少对围岩破坏,确保平硐内试验数据准确、可靠。

4.3.2.1 钻孔及炮眼布置

钻孔采用YT-28型气腿式风钻,钻杆选用 $\varnothing 22$ mm六角空心工具钢,钻头选用D36 mm一字形硬质合金钻头,循环进尺取0.8 m,周边眼和底板眼深1.0 m,掏槽眼和辅助眼深取1.1 m,按《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》(SL 378-2007)要求,取周边眼距 $E=45$ cm,周边眼抵抗线 $W=50$ cm,周边眼密集系数 $m=E/W=0.9$,符合要求。

经计算炮眼总数为31个,其中周边眼12个,底板眼4个,辅助眼10个,掏槽眼5个(其中1个为空眼)。周边眼和底板眼在断面轮廓线上开孔,孔底落在设计轮廓线外5 cm处。

4.3.2.2 装药量

按规范要求,周边眼线装药密度按0.09 kg/m计算,其它眼线装药密度按0.12 kg/m计算,则周边眼单眼装药量为 $0.09 \text{ kg/m} \times 0.9 \text{ m} = 0.081 \text{ kg}$,装药总量为 $0.081 \text{ kg} \times 12 = 0.972 \text{ kg}$,其它眼单眼装药量为 $0.12 \text{ kg/m} \times 1.0 \text{ m} = 0.12 \text{ kg}$,装药总量为 $0.12 \text{ kg} \times (10 + 4 + 4) = 2.16 \text{ kg}$ 。每个循环的炸药单位消耗量为 $(0.972 + 2.16) \div (0.8 \times 4.1) = 0.95 \text{ kg/m}^3$ 。

4.3.2.3 装药参数

表1 为试验平硐施工爆破设计参数表。

表1 试验平硐施工爆破设计参数表

眼号	炮眼名称	段别	炮眼深度 /m	炮眼数量 /个	单眼装药 量/kg	总装药量 /kg
1	掏槽眼	1	1.1	4+1	0.12	0.48
2	辅助眼	3	1.1	10	0.12	1.2
3	周边眼	5	1.0	12	0.081	0.972
4	底板眼	7	1.0	4	0.12	0.48
合计				31		3.132

注:采用2号岩石硝铵炸药。

4.3.3 试验平硐施工注意事项

(1)布孔要精确。由技术人员严格按爆破设计在掌子面准确布出所有炮孔,要求误差 ≥ 2 cm,并在拱顶部位线方向布设一条钻孔方向控制线,所有炮孔和钻孔方向控制线均用红油漆标注,以便钻孔作业人员准确掌握钎杆方向和角度。

(2)确保钻孔质量。良好的钻孔质量,是保证平硐开挖轮廓线规则、光滑的关键,特别是周边光爆孔的钻孔质量。施工中,要求施钻人员必须做到开孔准确,其误差 ≥ 2 cm,为了保留下一循环的施钻净空及周边孔抵抗线一致,周边孔及次边孔以相同的斜率外插,根据爆破设计,外插角 $\geq 2^\circ$ 为宜,孔底不超过开挖断面轮廓线10 cm;当开挖面凹凸较大时,按实际情况调整炮孔深度,力求所有炮孔(掏槽眼除外)孔底处在同一垂直面上;钻孔完毕,按爆破设计图进行检查并做好记录,发现不符合要求的炮孔重新钻孔,经检查合格后方能装药爆破。

(3)要选用高精度的毫秒雷管,以减少起爆时差,确保周边孔同时起爆,只有相邻孔之间同时起爆才能形成叠加应力,在垂直中心线方向形成合应力,最终形成光滑的破坏面。

(4)加强排烟与通风,以确保试验平硐内氧气充足。

(5)定时抽排井底积水,定时清理井底沉渣。

5 结论与建议

(1)在较为深厚的河床砂卵石层中,采用大口径冲击钻机成井工艺施工勘探竖井,实践证明是切实可行的,对护壁管管脚所采取的止水措施,经受住了后续试验平硐爆破和汶川“5.12”地震的考验。

(2)历时47天,圆满完成了勘探竖井和试验平硐的施工,确保了现场承载力试验、砼/岩石的现场大剪试验、岩体变形试验和声波测试等工作的顺利进行,获得了真实、准确的试验资料,为后续厂房地

基的设计、施工打下了坚实的基础,取得了良好的施工效果及经济效益。

(3)护壁管焊接工作应由专业人员进行,以确保焊接的质量,以防止焊缝受挤压变形、开裂,影响施工安全。

(4)为便于试验平硐的施工,卵石层凿井口径增至2000 mm,护壁管外径为1800 mm,基岩口径为1500 mm较为适宜。

(5)加强护壁管管脚止水处理,建议在下入护壁管后,可先向护壁管和井壁间投入黄泥,厚度为1.5 m左右,边投边捣实,起到初步止水的作用,防止注浆时水泥浆液大量涌入井内。然后在护壁管外侧均匀布置9根直径为40 mm的注浆管,底部距护壁管管脚约为1.5 m,出浆孔长度约为4 m,并用橡胶环封住,以避免下入时出浆孔堵塞,最后在护壁管与井壁间回填粒径为10~30 mm的豆石至井口,以防止井壁坍塌。

在完成上述工作后,即可进行第一次护壁管管脚灌浆止水处理。通过3根对称注浆管向管脚进行间歇灌浆,水灰比为0.5,加入3%~5%的水玻璃。注浆时,应同时观测井内沉浆情况,如沉浆量较大,应适当延长注浆间歇时间,并增大水玻璃的加入量,直到注浆基本饱和,待凝3天后,恢复钻进至成井。

成井后,先进行清渣换浆处理,然后下入潜水泵抽水排浆,检查管脚止水效果,如止水效果较差,则选另3根对称注浆管对护壁管管脚进行第二次注浆,待凝3天后,再次抽水检查管脚止水效果。

如前两次对护壁管管脚进行灌浆止水处理效果不理想时,再采取下入第二层护筒的措施进行灌浆止水,最终达到管脚止水的目的。

(6)施工安全方面。本工程施工安全的重点在于爆破、施工人员上下井、井内用电以及应急保障措施。由于各项安全措施应对有效,执行到位,在整个施工过程中,未发生安全生产事故,但也存在不少隐患,需要在今后的工作中不断完善和提高,以确保工程施工安全。

参考文献:

- [1] 曹滨. 砂卵石河床冲击成孔施工[J]. 山西交通科技, 2012, (2).
- [2] 王俊利, 刘会林. 砂卵石地层中钻孔灌注桩成孔控制技术[J]. 施工技术, 2011, (13).
- [3] DL/T 5148-2001, 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [4] 马鞍山矿山研究院地下采矿研究室. 光面爆破[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1978.
- [5] SL 378-2007, 水工建筑物地下开挖工程施工技术规范[S].