

# 竖井开挖支护及混凝土衬砌施工工法技术

刘 伟 熊富有

(中国水利水电第十四工程局有限公司, 云南 昆明 650051)

**【摘要】** 水电站竖井施工利用反井钻机进行导井施工,根据实际情况分一次或两次采用正井法或正井法与反井法相结合的施工方法扩挖至设计断面,最终利用滑模从下而上全断面一次浇筑成型。竖井施工采用上述施工方法能够加快施工速度,减少安全隐患,获得较好的施工质量,代表目前最先进的施工方法。

**【关键词】** 水利水电工程;竖井;开挖支护;混凝土;滑模

中图分类号: TV554

文献标识码: B

文章编号: 1005-4774(2017)010-0095-06

## Shaft excavation support and concrete lining construction technique

LIU Wei, XIONG Fuyou

(Sinhydro Bureau 14 Co., Ltd., Kunming 650051, China)

**Abstract:** A raise-boring machine is utilized for pilot well construction during shaft construction of hydropower station. Upright well method or upright well and back well combination construction method is adopted for excavation expansion to the designed cross section in one time or two times according to concrete condition. Slip form is finally utilized for full-section one-time pouring and shaping from top to bottom. The above construction method is adopted for shaft construction for accelerating the construction speed, reducing safety hidden danger, and obtaining excellent construction quality. It represents the most advanced construction methods at present.

**Key words:** water conservancy and hydropower engineering; shaft; excavation support; concrete; slip form

## 1 竖井施工技术概述

### 1.1 竖井开挖支护施工技术概述

竖井开挖施工方法有全断面一次开挖法和导井开挖法两种方式,其中传统导井开挖法开挖方式有正井法、正反井结合法、深孔爆破法、吊罐法、爬罐法<sup>[1-2]</sup>。反导井施工通常采用吊罐法、爬罐法或普通掘进反井法,传统导井法施工目前在水利水电工程中应用比较普遍,施工工艺较为成熟,但需要人员及设备至开挖掌子面进行钻爆施工,因此在施工过程中不可避免存在安全隐患,而通风散烟困难,进度也容易受限制<sup>[3]</sup>。反

井钻机导井法施工,于1950年在北美首先发展,20世纪60年代中期,这种方法在欧洲,特别是德国受到欢迎。中国自20世纪70年代开始研制反井钻机,先后在煤炭和冶金系统中应用。1992年水电系统第一次引进反井钻机并迅速推广使用,目前反井钻机施工导井法已广泛用于竖井实际施工中,技术成熟,工艺完备<sup>[4]</sup>。

地下式竖井开挖前先开挖支护完成井口及井底通道,敞口式竖井开挖前开挖支护完成井底通道,然后在井口竖井设计中心位置安装反井钻机进行竖井导井施工,导井施工先利用反井钻机自上而下施工导孔,导孔

贯通后在竖井底部安装反拉钻头,将导孔自下而上反拉至直径为1.4m或更大。导井施工完成后根据围岩情况及设计开挖洞径等因素采用一次或两次将导井扩至设计断面。其中一次扩挖至设计断面采用自上而下方式;两次扩挖中第一次采用自下而上方式,第二次采用自上而下方式扩至设计断面。

## 1.2 竖井衬砌施工技术概述

竖井混凝土衬砌最早利用脚手架固定组合钢模板进行浇筑,衬砌的方法有两种,一种是随着掌子面的掘进,搭设脚手架,边掘边衬;第二种是将竖井开挖完成后从井底边搭设脚手架边浇筑混凝土。以上两种方法均存在浇筑效率低、劳动强度大、现场施工环境差、安全风险高、施工缝较多等缺点,在深度较大的竖井衬砌中,利用该法衬砌竖井混凝土已经很难满足现在施工进度要求,随着滑模技术的出现,采用滑模衬砌竖井混凝土成为可能,经过近20年的发展,水电站地下厂房竖井滑模衬砌施工技术日趋成熟<sup>[5]</sup>。从材料的运输,滑模的安装、滑升、拆除及混凝土抹面收光、养护等方面均实现程序化、流水化作业,且各道工序间相互不影响,使得竖井混凝土的衬砌速度和质量均有了空前的提高<sup>[6]</sup>。

## 2 竖井施工工艺原理

### 2.1 竖井开挖支护施工工艺原理

地下厂房竖井导井施工完成后,根据设计开挖断面、地质条件等因素考虑是否进行一次扩挖,设计开挖断面大或地质条件较好,采用反井法将导井一次扩挖至直径3~3.5m,然后再利用正井法将竖井扩挖至设计断面。设计开挖断面小或地质条件较差则直接利用正井法将导井全断面扩至设计断面,竖井未经一次扩挖进行全断面扩挖施工时要采取措施防止爆破石渣堵塞导井。一次扩挖及全断面扩挖(或二次扩挖)均在竖井井口布置提升系统,施工人员、材料及小型机具均通过吊笼运至作业面。

### 2.2 竖井混凝土衬砌施工工艺原理

竖井滑模通过千斤顶沿爬杆爬升而顶升模板装置

衬砌混凝土,混凝土经安装固定于井壁的溜管输送至作业面,为防止混凝土在溜管中发生骨料分离,溜管每隔10~15m安装一个缓降器。钢筋、爬杆及其他器具和人员通过吊笼送至作业面。爬杆采用1.5寸(1寸=3.333cm)钢管制作,爬杆接头处通过螺纹连接。混凝土入仓经振捣后达到起滑条件(仓内混凝土面距离模板顶部30cm左右),启动液压千斤顶提升滑模装置,位于滑模底部抹面平台上的施工人员立即对新露出的混凝土成型面采用原浆进行抹面收光处理,布置于抹面平台底部的养护水管(花管)不间断喷水对混凝土进行养护。

## 3 竖井施工流程及方法

地下厂房竖井开挖支护施工包括导井(含导孔)施工、扩挖井口设施施工、一次扩挖施工及全断面扩挖与支护施工。混凝土衬砌施工包括滑模的安装、拆除,钢筋绑扎,混凝土下料、入仓、振捣,模板的滑升与混凝土抹面收光、养护等内容。

### 3.1 地下厂房竖井开挖支护施工

#### 3.1.1 竖井导孔施工

目前水电站地下厂房竖井导井施工采用的反井钻机一般为LM型,具体型号根据井深值确定,成型后的导孔一般比钻杆直径大5cm左右。反井钻机采用液压马达驱动水龙头,后者将扭矩传递给钻具系统,带动钻具旋转,破岩采用镰齿盘形滚刀,滚刀在钻压的作用下沿井底滚动,对岩石产生冲击、挤压和剪切作用,使其破碎。钻导孔时碎屑沿钻杆与孔壁间的空间由洗井液提升到井口循环水池中,经沉淀后从水池中掏出运走<sup>[7]</sup>。采用反井钻机进行竖井导孔施工工艺流程图如图1所示。反井钻机导井施工照片如图2所示。

导孔钻进过程中随着钻进逐节加长钻杆,导孔钻透后,停止泥浆循环,但钻机不能停转,向进水孔加清水,直到钻机转动平稳,扭矩变化不大时停钻。停钻后安装反拉钻头准备导井反拉。

#### 3.1.2 竖井导井施工

反井钻机钻通导孔后,在竖井底部安装扩孔钻头,

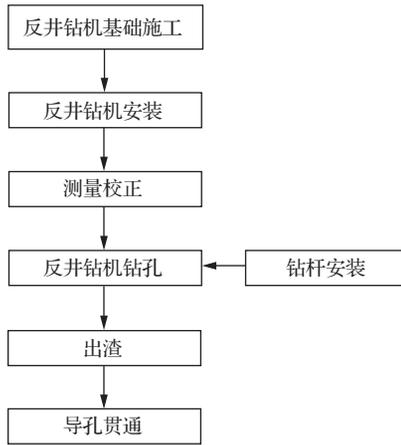


图1 竖井导孔(反井钻机)施工工艺流程



图2 反井钻机导孔施工照片

进行导井的扩孔施工。导井施工按照开孔、扩孔钻进、完孔、拆机、出渣的流程组织施工。

当扩孔钻头接好后,慢速上提钻具,直到滚刀开始接触岩石,然后停止上提,用最低转速(5~9rpm)旋转,并慢慢钻进,保证钻头滚刀不受过大的冲击破坏,待刀齿把凸出的岩石破碎后继续钻进。开始扩孔时,下部设观察人员将情况及时通知操作人员,待钻头全部均匀接触岩石后正常扩孔钻进。

### 3.1.3 竖井一次扩挖施工

设计开挖断面直径在8m以上且地质条件较好的竖井有必要进行一次扩挖施工,一次扩挖采用反井法施工,将导井直径扩至3~3.5m,能够很大程度减小全断面开挖施工时的扒渣量,并杜绝全断面扩挖导井堵井的风险。竖井导井一次扩挖施工工艺流程如图3所示。

地下厂房竖井一次扩挖时在井口安装吊笼提升系

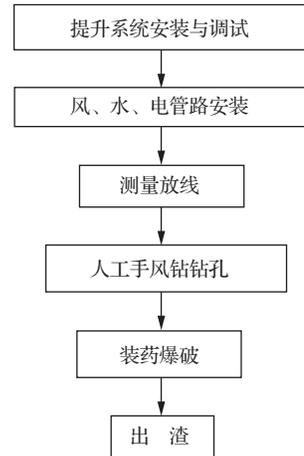


图3 竖井一次扩挖施工工艺流程

统,吊笼由钢丝绳通过绞车牵引提升,井口安装井架,井架顶部布置转向滑轮,提升钢丝绳经井架顶部转向滑轮导向后提升吊笼。施工人员乘吊笼沿导井下至竖井底部,从下到上采用反井法对竖井进行一次扩挖,扩挖时钻工站在吊笼中进行打钻、装药等工作。地下厂房竖井一次扩挖施工示意图如图4所示。

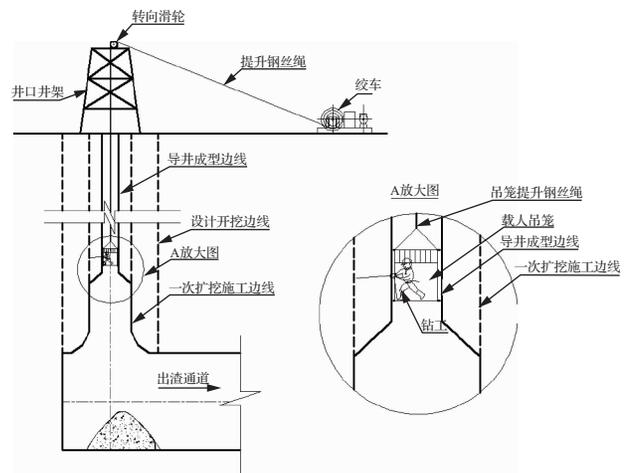


图4 地下厂房竖井一次扩挖施工示意图

### 3.1.4 竖井全断面开挖(二次扩挖)支护施工

对于设计开挖断面不大的竖井,可以不用进行一次扩挖。地质条件较差的竖井由于成型后的导井井壁围岩破碎、危石较多,对该井壁进行支护比较困难,利用吊笼在导井中人工对竖井进行一次扩挖风险较大,不具备一次扩挖施工的条件。上述两种情况下不进行

一次扩挖,而在反井钻将导井反拉成型后,直接全断面

正井法进行扩挖支护施工。为减少这种情况下堵井的风险,除通过爆破参数控制爆破块石的最大块径外,也可以利用现有设备,在反井钻机反拉时安装大的钻头,尽量使导井的成型直径较大。

具备一次扩挖条件的竖井完成一次扩挖后,从井口开始正井法二次扩挖,二次扩挖至设计开挖洞径,不管竖井是否经过一次扩挖施工,在按照设计开挖断面进行最终全断面扩挖施工时,其施工方法、流程均一致。竖井全断面开挖支护施工流程如图5所示。

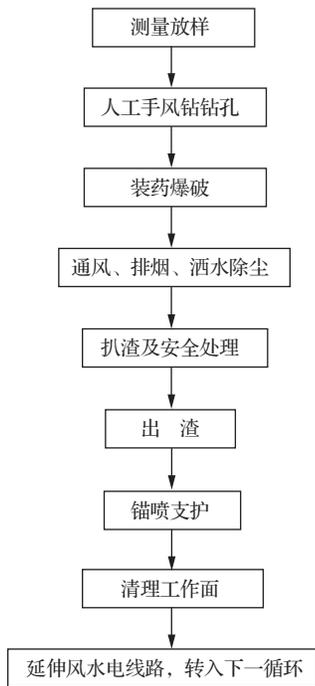


图5 竖井全断面开挖支护施工流程

竖井全断面开挖支护施工时,先扩挖竖井上井口5m,浇筑一期锁口混凝土,然后再向下扩挖15m后安装井口施工平台及提升系统。吊笼利用一台双筒绞车用两根钢丝绳同步牵引,井盖利用一台卷扬机进行牵引,井盖为施工人员在掌子面上进行打钻、支护、装药时封堵导井井口的防护设施,在进行爆破作业时利用卷扬机提升至爆破飞石影响区外(距离爆破面约30m),在爆破提升时将掌子面上所有设备及施工用风、水、电管路等全部放至井盖上一同提升至爆破飞石影响区外。吊笼作为施工人员、设备、材料等上、下井的运输设备。竖井全断面开挖支护施工示意图(提升

系统布置图)如图6所示,竖井全断面开挖支护井口提升系统布置照片如图7所示,全断面开挖支护施工照片如图8所示。

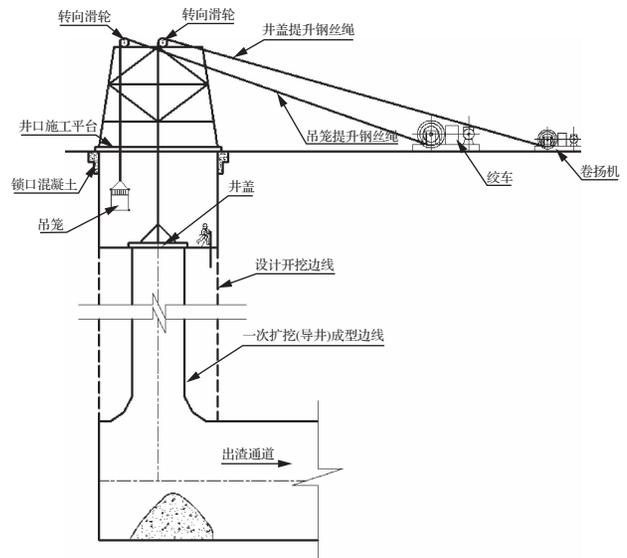


图6 竖井全断面开挖支护施工(提升系统布置)示意图



图7 竖井全断面开挖支护井口提升系统布置照片

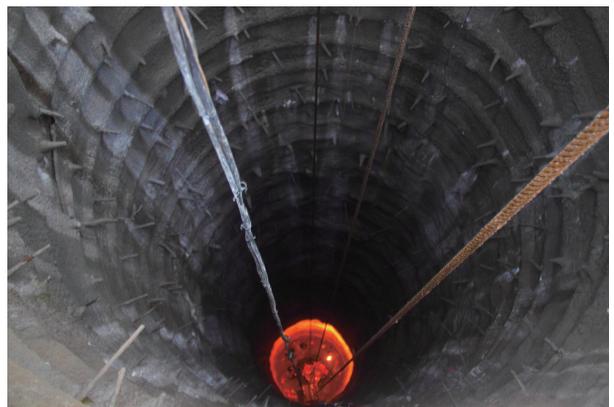


图8 竖井全断面开挖支护施工照片

### 3.2 地下厂房竖井混凝土衬砌施工

与常规脚手架分段浇筑施工方法相比,采用滑模浇筑竖井混凝土具有一次浇筑成型、施工速度快、无施工缝、表观质量好、周转材料消耗少、节省大量拉筋和架立筋、大幅减少施工脚手架搭设工程量等优点。因此,在水电工程中,对于深度较大的竖井选用滑模进行混凝土衬砌施工是最好的选择<sup>[8-9]</sup>。

#### 3.2.1 施工流程

采用滑模浇筑地下竖井混凝土时,从下往上进行浇筑,浇筑至井口拆除滑模,施工流程如图9所示,滑模安装施工照片如图10所示。

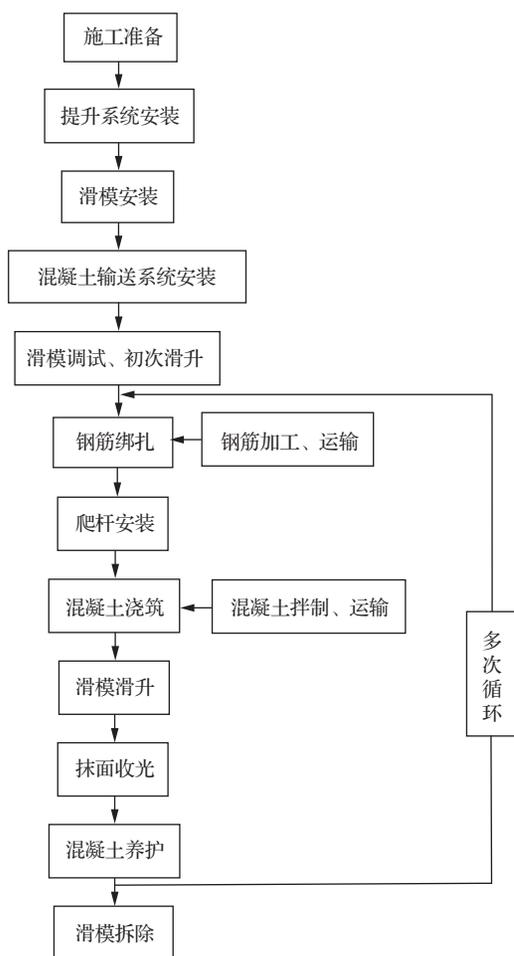


图9 竖井滑模混凝土衬砌施工流程

#### 3.2.2 施工方法

**a. 提升系统布置。**吊笼提升系统的布置与二次扩挖提升系统基本相同,为减少后期施工不必要的改动,竖井提升系统的布置要根据竖井各阶段施工的特



图10 竖井滑模安装施工照片

点,统筹考虑,尽量做到各阶段施工时其提升系统不做改动或改动较小就可继续使用,以节省时间和资源。

为防止吊笼提升钢丝绳断裂后吊笼沿竖井坠落,造成施工人员伤亡,吊笼上安装防坠系统,制动钢丝绳一端固定在井口井架上,另一端固定在竖井井底底板上。竖井滑模混凝土衬砌施工示意图如图11所示,竖井滑模衬砌混凝土施工照片如图12所示。

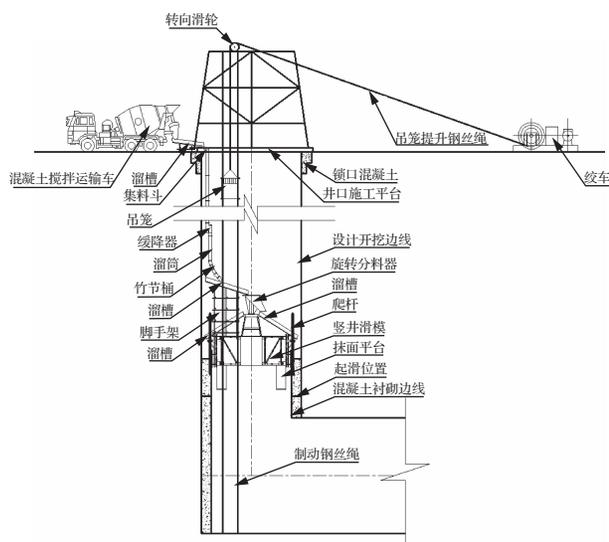


图11 竖井滑模混凝土衬砌施工示意图

**b. 混凝土输送系统布置。**采用滑模浇筑地下厂房竖井混凝土时,利用混凝土搅拌运输车将混凝土运至竖井井口,然后经溜槽溜至集料斗,集料斗固定在井口施工平台上,集料斗底部与混凝土溜管相连,为防止混凝土在溜管中垂直输送时发生骨料分离,溜管每隔



图 12 竖井滑模衬砌混凝土施工照片

10~15m 安装一个缓降器,溜管间及溜管和缓降器间采用法兰通过螺栓连接,在靠近滑模处的溜管端头利用铁丝绑扎安装竹节桶,竹节桶底部安装溜槽,溜槽将混凝土输送至滑模顶部中心的旋转分料器。旋转分料器出料口可通过人工转动转盘绕其支座中心转动,沿竖井滑模圆周仓面均布一定数量溜槽,混凝土下料入仓时通过人工转动将旋转分料器出料口转至各个溜槽,均匀下料。

#### c. 滑模正常滑升浇筑混凝土。

④ 钢筋加工、运输、安装。钢筋表面应洁净,不应有污垢、油渍、漆垢及其他杂质等。钢筋经除锈后进行调直,为便于井内运输,钢筋下料时根据设计要求及井内运输要求,单根长度控制在 4~6m。钢筋运至井口后通过吊笼运至衬砌作业面。滑升过程中,严格控制滑模平台上钢筋堆放量,以免造成过大的集中荷载而导致滑模偏斜。为保证钢筋安装的速度能够满足滑模衬砌的要求,钢筋一般采用绑扎的方式。

⑤ 爬杆安装。爬杆采用标准的 1.5 寸焊管制作,单根长 6m。爬杆是滑模千斤顶爬升的支撑体,爬杆接头处采用螺纹进行连接并安装。

⑥ 混凝土拌制、运输、浇筑。拌和混凝土时必须严格遵守实验室出具的混凝土配料单进行配料,定时测定砂、石骨料的含水量。实验室必须进行与滑模滑升速度相匹配的混凝土出模强度关系试验,并在施工过程中随时进行调整。混凝土水平运输选用 8m<sup>3</sup> 混

土搅拌车,由混凝土搅拌车将混凝土运至井口,通过安装在井壁带有缓降器的 8 寸溜管将混凝土溜至井下料平台上的中心旋转分料器,再通过溜槽溜至仓面内。

⑦ 滑模滑升。滑模从初次滑升正常后施工转入正常滑升,应保持连续施工,根据现场条件确定合理的滑升速度和分层浇筑厚度,日滑升高度控制在 5~7m。

⑧ 抹面收光。滑模底部设计有专门的抹面平台,施工人员在抹面平台上对每次滑模爬升后初露出模板的混凝土立即用人工采用原浆进行抹面。

⑨ 混凝土养护。混凝土养护设置在抹面平台底部,沿周边布置一趟花管通水养护。

竖井滑模混凝土浇筑完成施工照片如图 13 所示。



图 13 竖井滑模混凝土浇筑完成施工照片

## 4 结 语

在竖井工程施工过程中,根据工程施工特点,通过一系列技术创新工作,圆满完成了工程施工任务,其施工过程中采用的施工方法和技术是对国内现有竖井施工技术的一种提高,确保了工程施工质量及安全。工程施工技术人员通过对现场所采用的施工方法与技术进行总结,申请并上报“地下厂房竖井开挖支护及混凝土衬砌施工工法”的工法,该工法被中国水利工程协会授予 2016 年度施工工法,工法成果的形成将进一步推进该施工技术在水电工程竖井施工中的应用。◆

(下转第 105 页)

队伍。

工人数量程度加强,节省时间,加快了施工进度。

通过 QC 小组活动,小组成员在质量意识、个人能力等方面均有不同提高,对此小组进行了自我评价,见表 6、图 5。

表 6 小组成员自我评价

评价项目	自我评价	
	活动前/分	活动后/分
质量意识	5	9
个人处理问题能力	5	9
TQC 知识	3	7
团队精神	4	9

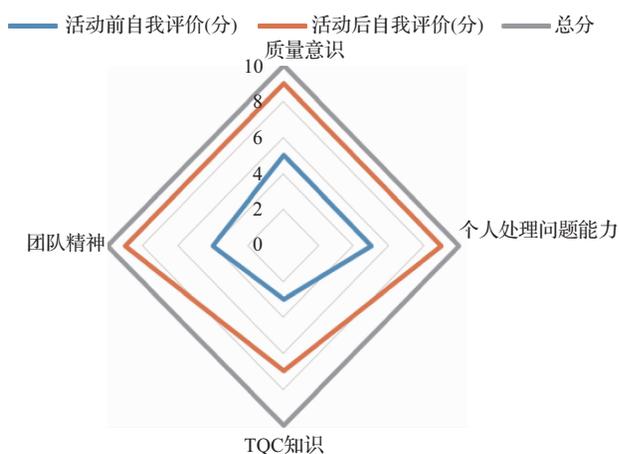


图 5 小组成员自我评价分析

## 11 巩固措施

a. 编制完善详细合理的施工方案及技术交底,加强过程控制,遇到问题及时纠正,及时做好记录,把问题消灭在萌芽状态。

b. 进一步加强各个施工工序的质量控制,建立一个比较完善的、系统的质量保证体系,完善技术质量管理实施细则。

c. 继续实施质量责任制,制定切实可行的奖罚措施,将工序一次验收合格率与绩效考核挂钩,调动大家积极性。

d. 加强测量检查工作,做好详细记录,做到现场超挖信息及时反馈给施工员,做好方案的优化及调整。

## 12 工作计划

该次 QC 小组活动,紧紧围绕“减少复杂地质隧洞超挖”这一主题,通过一个完整的 PDCA 循环活动,运用各种质量管理工具与办法成功实现预期目标,有效控制了施工成本,提高了复杂地质洞室开挖循环的连贯性,得到了业主及监理单位的肯定,小组成员各方面能力也得到了极大提高。

小组打算将该次 QC 活动成果运用到后续滑坡治理排水洞施工当中,进一步提高施工效率,节约施工成本,为滑坡体处理复杂地质排水隧洞施工提供先进的经验。◆

(上接第 100 页)

### 参考文献

- [1] 许东,高新永. 竖井开挖方案选择及施工工法浅析[J]. 科技创新导报, 2012(23):103-104.
- [2] 田梦. 浅谈竖井开挖工程[J]. 科技信息, 2011(17): 304-305.
- [3] 刘富强,龙鑫. 竖井开挖施工中堵井预防和和处理技术[J]. 中国水运(下半月刊), 2010,10(8): 169-170.
- [4] 高彬. 浅谈某水电站竖井开挖施工技术[J]. 科技信息, 2009(22): 296-297.
- [5] 陈献中. 水利水电工程滑模施工技术的应用[J]. 低碳世界, 2016(22): 103-104.
- [6] 石忠宝. 水利水电工程施工中滑模施工技术探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2015(35): 233.
- [7] 韩建平. 高原水电站竖井开挖施工技术[J]. 四川水泥, 2015(12): 269.
- [8] 姜东旭. 论述水利水电工程施工中滑模施工技术[J]. 黑龙江科技信息, 2014(6): 157.
- [9] 吴晓峰. 滑模施工技术中水利水电工程施工中的应用[J]. 中华民居(下旬刊), 2013(5): 62.