

# 小断面、大坡度隧洞顺坡开挖施工技术研究

刘乙宏

(中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局,四川 彭山 620860)

**摘要:**在工程施工中,斜井施工具有体型控制难度大、开挖出渣运输困难、支护难、安全隐患大的特点,往往制约着整个工程的进度。结合马来西亚胡鲁项目应急-电缆-通风隧洞工程实际,对小断面、大坡度隧洞顺坡开挖、支护及安全保障等方面进行了研究,解决了在隧洞爆破、出渣及支护等方面遇到的技术难题,可为类似工程提供借鉴。

**关键词:**斜井;小断面小;大坡度;钻爆;卷扬系统;安全

**中图分类号:**TV51;TV52;TV554

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2014)05-0060-03

## 1 概述

马来西亚胡鲁水电站位于马来西亚登嘉楼州境内的丁加奴河上游河段,发电厂房位于大坝右岸的火山岩体内,安装两台发电机组,总装机容量为25万kW。主变室与开关站相连接的应急-电缆-通风隧洞(图1)总长度为299.17m,坡度为50%,仰角26.57°,最高高程为288.2m,最低高程为156m,隧洞开挖断面型式原设计为马蹄型,后经设计变更为城门洞型,顶拱半径为2.3m,底宽4.6m,边墙高度为2.3m,开挖断面面积为18.89m<sup>2</sup>。该隧洞属于大坡度、小断面隧洞。此类隧洞的开挖钻孔、爆破、出渣和支护施工与常见平洞相比,存在相当大的困难。

## 2 斜井施工方案的调研及优选

地下斜井施工常采用的开挖方法主要有:反井钻机导井法、吊罐法、爬罐法和自上而下钻爆法。

(1)反井钻机导井法。采用反井钻导井、扩井,然后进行人工钻孔爆破开挖,通过溜渣井出渣,其开挖难度主要集中在导井开挖阶段。由于钻井方向和重力方向不在同一直线上,钻机如果控制不好,偏斜度过大,导井很容易超出结构边界线,且在开挖前期,斜井底部需提前形成临空面。

(2)吊罐法。吊罐法适用于中等硬度以上的岩石,对于松软、破碎的岩石不宜采用;不适宜打盲竖井和倾角小于65°的斜井。

(3)爬罐法。采用爬罐开挖方式,斜井的开挖由下至上进行施工。由于开挖是自下而上的,在开挖掌子面形成了封闭空间,因此施工中产生

的通风、排烟成为比较难处理的问题,需安设专门的排烟除尘系统以保证施工人员的安全。同样,其也需提前在斜井底部形成临空面。

(4)自上而下钻爆法。钻爆开挖采用人工钻孔、装药进行爆破开挖。对于坡度较大,不便于设备通行的斜井,出渣主要采用耙渣机装渣、矿车结合卷扬机出渣。该法的施工工序与平洞的开挖类似。

综合以上几种开挖方式,根据该隧洞倾角为26.57°、无法自行溜渣且斜井底部无临空面,故最终确定的开挖方式为自上而下钻孔爆破开挖。

## 3 施工方法

### 3.1 钻孔施工

由于该隧洞的特殊性——小断面、大坡度,钻孔较一般隧洞施工难度大,钻孔准确度不易控制。为施工方便,提高钻孔效率及钻孔质量,需专门设计用于斜井钻孔的施工钢平台,该平台在斜井中移动简便。台车在移动过程中,洞内的人员需进到避险洞内,待台车移动到位后,将台车用限位卡固定在轨道上,钻孔人员方能进行钻孔施工。钻孔方向需和洞轴线方向一致,以保证爆破效果。

### 3.2 斜井出渣

斜井中的出渣考虑到应急-电缆-通风隧洞断面小,坡度大,传统的大型施工机械设备,如装载机、反铲、卡车等均无法在隧洞中发挥作用。经过在现场实际进行试验、对比,总结出了两种较为实用的方案。

方案一:结合现场实际条件及施工要求以及

收稿日期:2014-08-14

隧洞的开挖方式,采用扒渣机配合矿车进行出渣。出渣方式如图1所示。

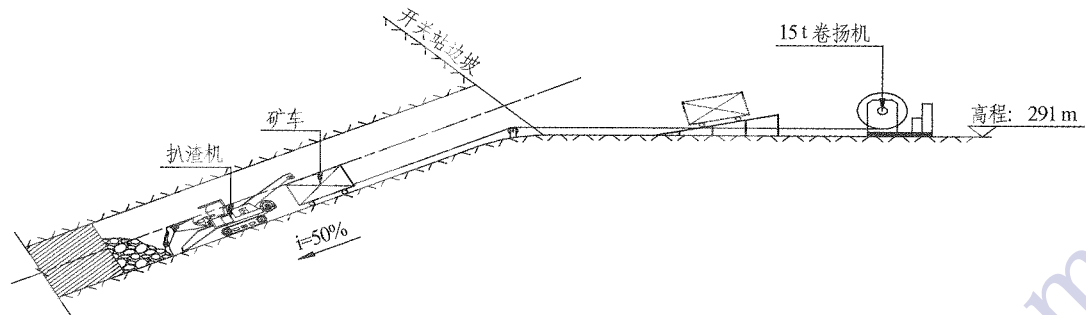


图1 扒渣机结合自卸矿车出渣示意图

在应急-电缆-通风隧洞开挖初期,采用这种办法效果良好,出渣速度较快。但在隧洞进尺到20 m后,采用这种出渣方式遇到了很大困难。究其原因是因为在开挖过程中底板不平整而导致坡度不一致,石渣不能被扒到传送带上面。由于坡

度太陡,时常会出现石渣自动下滑的情况,出渣速度缓慢,效率低下。

方案二:在扒渣机无法保证开挖效率的情况下,经调查研究,采用两台斗容为 $0.1\text{ m}^3$ 的小型反铲向矿车内装渣。出渣方式如图2所示。

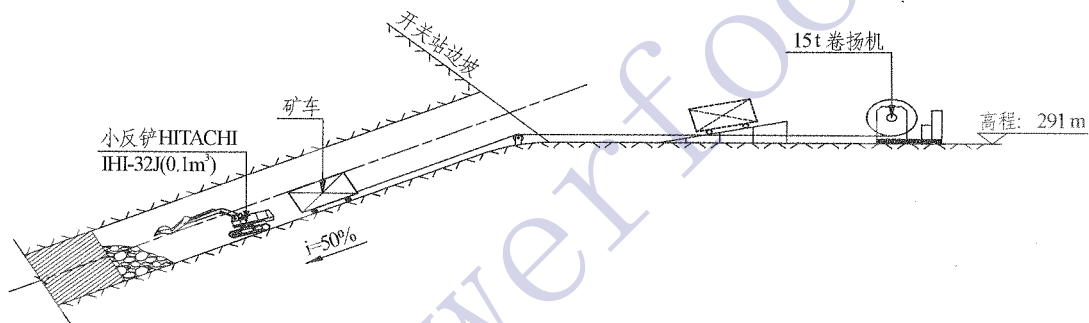


图2 小反铲结合自卸矿车出渣示意图

排烟结束后,在卷扬机的配合下,反铲下行到出渣工作面,自卸矿车停靠在小反铲回转半径内,通过反铲向矿车内装渣。经实践,虽然反铲每次装渣量较少,但通过有效利用反铲的机动、灵活性解决装渣问题,从而提高了装渣效率,节省了出渣时间。同时,反铲还可以兼做洞内排险用,出渣和排险施工工序可同时进行,取得了良好的效果。此方案每次出渣时间为3 h左右,能满足进度要求。

### 3.3 洞内排水

应急-电缆-通风隧洞所在位置地下水丰富,特别是在雨季,有大量的地下水渗入洞内。为了保证洞内的正常施工,需要对洞内进行排水。由于隧洞高差为140 m左右,故采购了三台高扬程水泵进行排水,并在洞内每隔30 m设置一个集水坑,从而保证了掌子面施工的正常进行。

## 4 隧洞支护

根据设计要求,在洞口10 m范围内,对于强

风化岩石甚至土质段采用管棚+工字钢+喷混凝土支护;对于I~II类围岩,则采用锚杆+喷混凝土支护。

### 4.1 管棚工字钢支护

(1)管棚施工:管棚采用铁管加工成型。钻孔之前,由测量工程师确定钻进位置、间距及钻孔方向,完成后进行安装,再进行灌浆施工。管棚在隧洞周围形成一个棚状结构,可对周围的土体进行支撑,防止土体发生坍塌。

(2)工字钢施工:管棚安装结束、开挖一定距离空间后需进行工字钢的安装。工字钢支护采用预先加工成型,然后采用螺栓和连接杆分段拼接安装。工字钢安装前,预先由测量放线确定安装位置及洞轴线方向,以保证工字钢安装准确。

### 4.2 锚杆

锚杆采用手风钻打孔,钻孔工人借助钢平台对锚杆进行造孔、安装及灌浆等施工工序。锚杆安装结束后,再进行喷射混凝土的施工,对围岩表

面进行支护。

#### 4.3 喷射混凝土

喷射混凝土支护是隧洞工程中一种非常常见的支护形式。普通的隧洞可以借助喷浆台车进行喷护施工,但在斜井中,尤其是像应急-电缆-通风隧洞等坡度很大的斜井,无法使用高效率的喷浆台车进行施工,喷浆料的进料也非常不容易。经过研究,设计了一个混凝土料斗用于喷浆料的运送,在料斗底部设置一个出料口,将料斗放在矿车里面,通过矿车运送至工作面,混凝土通过料斗的出料口直接注入湿喷机料口,喷射手在钢平台上对围岩进行喷护施工,完成洞内的喷护施工。施工情况见图3。

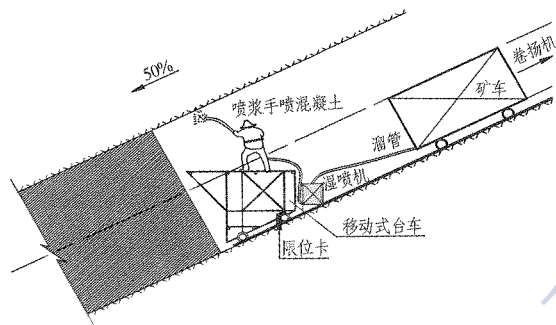


图3 喷射混凝土施工示意图

### 5 安全措施

#### 5.1 卷扬机系统

卷扬机是应急-电缆-通风隧洞内物料运输的重要设备,必须安全、可靠。根据荷载计算,采用一台15 t负荷的卷扬机。卷扬机支座用高强螺栓同锚杆连接在一起,锚杆为T32的镀锌锚杆,共9根,孔深6 m。完成之后,再将基础部分用混凝土回填。为了更进一步确保安全,在卷扬机后面浇筑体积为1.5 m×1.5 m×1.5 m的混凝土锚固墩,通过钢索将卷扬机与锚固墩连接在一起,从而保证了卷扬机的固定。

卷扬机的操作必需由专业技术人员操作,操作手需取得相关资格证书后方能上岗。严禁非专业人员操作卷扬机。操作手在操作过程中需遵守

卷扬机操作安全规范。

#### 5.2 矿车系统

洞内出渣采用有轨矿车。矿车轨道安装之前,需由测量人员确定轨道的安装位置及方向。在隧洞底板预埋插筋,插筋采用T25的螺纹钢,长度为1 m,间距2 m,左右轨道交错布置。然后在隧洞底板浇筑一层垫层混凝土,使轨道安装平顺,以确保矿车运行过程中的稳定。

矿车运行过程中,洞内的所有施工人员必须到隧洞内设置的避险洞内避险。待矿车到达指定位置、停靠稳定后方能出洞进行施工作业。矿车停靠时,需用限位卡锁住,防止在装渣过程中矿车发生移动。在装渣完成后,所有施工人员需到避险洞内,矿车才能启动,直到下一次矿车停靠后再出避险洞作业。如此循环,完成洞内的出渣,保证施工作业的安全。卷扬机-矿车系统在使用过程中须由专人负责指挥。

#### 5.3 避险洞的设置

应急-电缆-通风隧洞坡度陡,施工人员避险时不便上下。为保证洞内施工人员及施工机械设备的安全,在洞内设置了避险洞,避险洞设在隧洞左侧,每隔30 m设置一个避险洞。避险洞设计尺寸为长×宽×高为5.2 m×3 m×3.5 m,可提供小型机械设备及施工人员避险。

### 6 结语

小断面、大坡度隧洞的开挖支护施工一直以来都是工程施工的难点。相对于平洞施工,工期长,安全隐患大,单位进尺消耗的人力、机械等资源大。因此,寻找一种既快捷、方便,又节俭的施工方法是工程施工人员一直追求的目标。通过在本工程应急-电缆-通风隧洞中采用自上而下的开挖方法、卷扬机矿车出渣,保证了工程的施工进度和施工安全,可为类似工程借鉴。

作者简介:

刘乙宏(1986-),男,四川仁寿人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

## 两河口电站复建公路工程主线破土动工

9月14日,由中水五局一分局承建的两河口电站复建公路工程五标段主线破土动工。两河口水电站库区复建道路雅新段从雅江县普巴绒乡到新龙县和平乡,约90公里。复建路是雅砻江上游水电开发的重要进场通道,其建设对加快雅砻江上游水电开发具有重要意义。复建公路中,由雅砻江公司上游公司负责建设的两河口复建公路新龙及理塘段总长约48公里。一分局承建的该工程位于四川省雅砻江两河口水电站库区内,长8.47公里,主要包括1座隧道,4座中桥,7.75公里明线。设计路基宽7米,路面宽6.5米,为沥青混凝土路面。2013年11月,自该工程进场以来,一分局项目部广大员工克服高原地区山高路险、气候复杂、住宿、车辆以及资源相对匮乏等困难,在7个标段中创造了多项一个,这些扎实有效的前期准备工作,为两河口水电站复建公路五标工程主线正式开工奠定了基础。