

环形开挖预留核心土法在杨柳埡隧道洞挖中的应用

杨瑞英, 田艳军

(中国水利水电第十工程局有限公司 三分局, 四川 成都 610072)

摘要:大断面软弱围岩采用普通台阶法开挖若支护不及时拱部容易出现垮塌现象,从而导致施工进度缓慢,质量和安全难以得到保障。因此,隧道开挖施工必须采取合理的施工方法对质量、安全、进度进行控制。以杨柳埡隧道工程为例,介绍了大断面软弱围岩采用环形开挖预留核心土法的施工工艺、施工参数以及施工措施,有效地对隧道开挖各个环节进行控制,取得了较好的效果。

关键词:大断面隧道;环形开挖;预留核心土法;杨柳埡隧道

中图分类号: TU94+1; [TU745.3]; TU72; [U25] **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2184(2019)05-0090-05

Application of Ring Excavation with Core Soil Reserved Method in Excavation of Yangliuya Tunnel

YANG Ruiying, TIAN Yanjun

(Third Branch of Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: If the support is not timely during large section weak surrounding rock excavation when applying normal bench cut method, the arch will collapse easily, which leads to slow of construction progress and difficult to guarantee quality and safety. Therefore, reasonable construction methods must be adopted to control the quality, safety and progress of tunnel excavation. Taking Yangliuya Tunnel Project as an example, this paper introduces the construction technology, construction parameters and construction measures of ring excavation with core soil reserved method for large section weak surrounding rock excavation, which effectively controls all processes of tunnel excavation and achieves good results.

Key words: large section tunnel; ring excavation; core soil reserved method; Yangliuya Tunnel

1 概 述

杨柳埡隧道为分离式双洞隧道,位于达州市经开区境内,附近为汽车城、机电市场及农民聚居区。周边房屋一般为 4~5 层且无构造柱和圈梁,房屋抗震能力弱。进口端离建筑物的最近距离为 5 m,出口端离建筑物的最近距离为 27 m。

隧道断面由三心圆组成,按新奥法原理进行洞身结构设计,即以系统锚杆、喷混凝土、钢筋网、钢架组成的初期支护与二次模筑混凝土相结合的复合衬砌型式。隧道开挖面积按照不同的围岩等级分别为 151.48 m²、159.4 m²、164.06 m² 三种,衬砌成型后的面积为 113.203 m²。隧道两洞之间的最大间距为 65.68 m,其中洞口段为小间距,最小净距为 24.24 m。隧道右线长 690 m,左线长 710 m,洞身埋深 20~133 m。隧道的主要工程量为:土石方开挖 38 万 m³ (其中洞身石方洞挖 211 993.4 m³),

混凝土 6.4 万 m³,喷混凝土 2 万 m³,钢筋 3 040 t,型钢 1 988 t,注浆 5 053 m³,各种钢材及钢管 947 t,锚杆 4.7 万根,沥青路面 25 580 m²。施工总工期为 18 个月。

隧址区域进洞口位于达川区南外镇 1 号干道禾林汽车城西侧山脚,出洞口位于南外镇火烽山村村委会西侧的坡脚,隧道穿越地段为缓坡、陡坡、陡崖、山脊、冲沟等不同的地貌单元。地表植被主要以杉树、松树、灌木和草片为主。

隧道线路穿越范围内无活动断层、地下洞室、地面塌陷等不良地质现象,主要工程地质问题为:局部地段及因线路施工形成的人工岩土体边坡的稳定性。

2 施工方法比选

杨柳埡隧道右线 YK0+443~YK0+885 和左线 ZK0+441~ZK0+885 段的岩体为 IV 类围岩,开挖断面为 151.48 m²,开挖跨度为 16.13 m。

收稿日期:2019-09-08

隧道沿线为侏罗系中统上沙溪庙组砂质泥岩夹砂岩互层,厚~巨厚层状,层间结合一般,砂岩平均单轴饱和抗压强度为 16.8~17.8 MPa,属较软岩。弹性波速为 2 438~2 571 m/s,完整系数为 0.53~0.54,为较破碎的单斜地层,无断层,节理裂隙较发育,贯通度较好,岩体呈块状、大块状,局部呈碎块状结构。拱部无支护时可产生较大的坍塌,侧壁有时会失去稳定,爆破震动过大时易坍。无有毒、有害气体,无煤层,地下水为第四系松散堆积层孔隙水,裂隙统一含水层及层状裂隙含水层,涌水方式为点滴、线状~股状,修正后的围岩级别为 IV 类。鉴于此,针对软弱大跨度围岩的开挖选择合理的开挖方法至关重要。

2.1 开挖方法比较

(1)台阶开挖法。台阶开挖法一般有上下台阶法和三台阶法。根据地层条件和机械配套情况,台阶法又分为正台阶法和反台阶法。正台阶法能较早地使支护闭合,有利于控制其结构变形及由此引起的地面沉降。

优点:具有足够的作业空间和较快的施工速度,灵活多变,适用性强。

缺点:①上下部作业互有干扰,应注意下部作业时对上部的稳定性的影响。②台阶开挖会增加对围岩的扰动次数。③一次开挖面积大,若拱部开挖后围岩暴露时间较长,支护前拱部容易出现坍塌。

(2)环形开挖预留核心土法。环形开挖预留核心土法是一种先开挖上部导坑成环并进行初期支护,再在分部开挖剩余部分的施工方法。断面一般分成环形拱部、上部核心土、下部台阶三部分。根据断面的大小,环形拱部又可分成几块交替开挖。环形开挖进尺为 0.5~1 m,不宜过长。台阶长度一般控制在 1D(D 一般指隧道跨度)以内。

优点:①开挖过程中留有核心土作为支撑以保证开挖面的稳定。②上部导坑开挖后立即进行初期支护,故核心土和下部台阶的施工安全得以保障。③与台阶法相比,台阶长度可以适度加长,以减少上下台阶的施工干扰。④一次爆破断面小,用药量小,爆破震动弱,对周边房屋扰动小。

缺点:对隧道断面下半部围岩强度和稳定性有一定要求;若支护结构不能及时形成全断面封

闭,容易导致围岩变形增大。

2.2 开挖方法的选定

鉴于隧道沿线围岩较为软弱,同时隧道开挖断面面积及跨度较大,项目部结合两个开挖方案的优缺点,在综合考虑了施工进度、安全、质量控制以及对周边房屋扰动等方面的因素后,最终决定杨柳埡隧道 IV 类围岩段采用环形开挖预留核心土法洞挖。

3 环形开挖预留核心土法的施工工艺

杨柳埡隧道洞挖施工采用光面爆破,严格遵循“短进尺、弱爆破、快封闭、勤量测”的原则,严格控制循环进尺和爆破震动。笔者简要阐述了环形开挖预留核心土法洞挖施工的工序及工艺。

杨柳埡隧道 IV 类围岩环形开挖预留核心土法洞挖的施工分区及各区施工顺序见图 1。

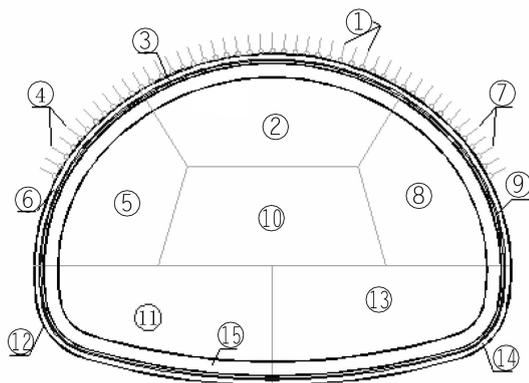


图 1 IV 类围岩段施工步序横断面图

杨柳埡隧道 IV 类围岩环形开挖预留核心土法施工工序如下:

(1)拱部超前支护①→拱部环形开挖②→拱部初期支护③。

(2)上台阶左侧超前支护④→上台阶左侧开挖⑤→上台阶左侧初期支护⑥。

(3)上台阶右侧超前支护⑦→上台阶右侧开挖⑧→上台阶右侧初期支护⑨。

(4)中部核心土开挖⑩。

(5)下台阶左侧开挖⑪→下台阶左侧初期支护⑫。

(6)下台阶右侧开挖⑬→下台阶右侧初期支护⑭。

(7)模筑二次衬砌仰拱施工⑮。

(8)铺设环向导水管及防水层,整体灌注拱墙二次衬砌⑯。

4 施工监控量测

监控量测作为新奥法的重要组成部分,有助于正确认识 and 了解掌子面开挖后围岩的动态变化过程及趋势,为判断施工过程中隧道围岩的稳定性和支护结构的安全性提供科学依据。监控量测的主要对象是围岩的变化情况和支护结构的工作状态,通过量测后分析处理所采集到的监测数据,

对围岩的各项指标进行反馈和预测,以保证隧道围岩及支护结构的稳定。同时,通过对围岩和支护的应力应变变量测,合理修改支护参数,旨在保证隧道施工的安全。

根据杨柳垭隧道实际揭露的围岩条件和隧道施工情况,项目部合理开展了有针对性、有代表性的选测项目。隧道的主要监测项目见表 1。

表 1 杨柳垭隧道主要监控量测项目表

项目名称	方法及工具	布 置	量测间隔时间			
			1~15 d	16 d~1 个月	1~3 个月	3 个月以后
地质和初期支护状态观察	岩体结构面产状及支护裂缝观察	开挖及初期支护后进行	每次爆破后进行			
水平净空收敛	收敛计	每 10~50 m 一个断面,每个断面布置 2 对测点	1~2 次/d	1 次/d	1~2 次/周	1~3 次/月
必测项目 拱顶下沉	测杆	每 10~50 m 一个断面,每个断面布置 3 个测点	1~2 次/d	1 次/d	1~2 次/周	1~3 次/月
必测项目 锚杆轴力	各类电测锚杆,锚杆测力计或拉拔器	每 10~50 m 一个断面,每个断面至少布置三根锚杆	1~2 次/周	—	1~2 次/月	—
选测项目 地表下沉	高精度全站仪	浅埋洞口段每 10~20 m 布置一个断面,每个断面宽度为 3B(B 为隧道开挖跨度)范围内至少布置 3 个测点	1~2 次/d	1 次/d	1~2 次/周	1~3 次/月
选测项目 钢支撑内力及外力	支柱压力计 应变计或其他测力计	每 10~50 m 榫格栅拱一对测力计	1 次/d	1 次/2 d	1~2 次/周	1~3 次/月
选测项目 支护、衬砌内应力、表面应力及裂隙量测	混凝土内应变计、应力计及压力计	代表性地段量测,每断面宜为 11 个测点	1 次/d	1 次/2 d	1~2 次/周	1~3 次/月

5 杨柳垭隧道爆破开挖采用的主要参数及措施

杨柳垭隧道爆破开挖遵循“短进尺、弱爆破、强支护、早衬砌”的原则,加强了施工临时监控量测,确保了施工安全。爆破参数的确定采用了理论计算、工程类比与现场试爆相结合的方式。在保证爆破震动速度符合安全规定的前提下,通过调整爆破参数,减少了爆破作业对周边房屋的扰动,提高了隧道开挖成型的质量和施工进度。

5.1 炮孔的主要技术参数

5.1.1 隧道爆破炮孔深度

爆破设计的炮孔深度主要受爆破震动强度控制,炮孔深度的设计根据隧道施工进尺的安全要求、结合设计图纸型钢钢架的间距(IV类围岩 I18 型钢全环钢架 1 m/榫,V类围岩 I20 型钢全环钢

架 0.75 m/榫和 0.6 m/榫)确定(表 2)。

表 2 杨柳垭隧道爆破炮孔深度表

围岩等级	炮孔形式	炮孔深度 /m	备 注
IV 类围岩	掏槽孔	1.5	
	辅助掏槽孔	1.5	掏槽孔比其他
	辅助孔	1.3	炮孔加深 20 cm
	周边孔	1.3	
	掏槽孔	1	
V 类围岩	辅助掏槽孔	1	掏槽孔比其他
	辅助孔	0.8	炮孔加深 20 cm
	周边孔	0.8	
	底板孔	0.8	

5.1.2 炮孔直径

该工程的炮孔孔径为 42 mm。

5.1.3 掏槽孔

杨柳垭隧道洞挖爆破采用楔形掏槽,掏槽孔

布置在开挖断面中部以下,以便于其上部的辅助孔获得较好的爆破效果。

IV类围岩掏槽孔的布置:孔距为50 cm,打

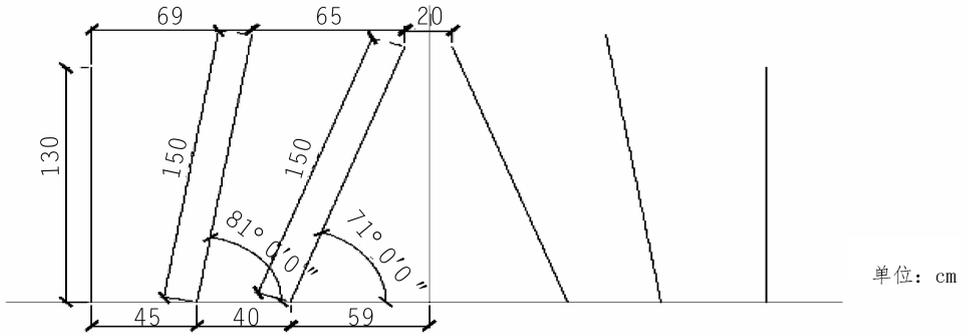


图2 IV类围岩掏槽孔布置图

杨柳埡隧道洞挖爆破炮孔直径 $d=42\text{ mm}$, $W=15\sim 25d$,该工程取 $W=80\text{ cm}$,炮孔采用线形布置或环形布置且均匀布置,一般情况下,抵抗线为同排(或同环)炮孔间距的 $80\%\sim 100\%$,因此,最终将辅助孔间距取为 100 cm 。

5.1.5 周边孔

根据经验公式和工程类比法,软岩爆破时其周边孔间距宜控制在 40 cm 以内,中硬岩爆破时周边孔间距不宜大于 50 cm ,间距 $E=8\sim 12d$;抵抗线 $W=1\sim 1.5E$ 。该工程取 $E=40\text{ cm}$, $W=60\text{ cm}$ 。炮孔布置在距开挖断面边缘 20 cm 处,该隧道周边孔间距取 40 cm 。

5.1.6 底板孔

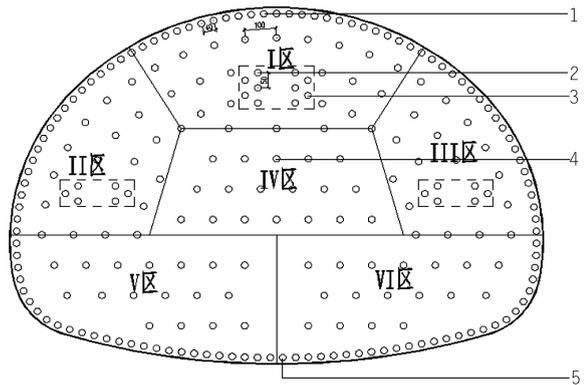
底板孔应比隧道开挖断面底板高 20 cm ,以利于钻孔并防止灌水。为减少底板欠挖,该隧道底板孔孔距取 40 cm 。

孔时两排掏槽孔向内打入,内插角为 71° 。上下两排孔底间距为 20 cm ,其布置情况见图2。

5.1.4 辅助孔

5.2 隧道炮孔的布置

IV类围岩洞挖爆破炮孔布置参数见表3,布置情况见图3。



1.周边孔;2.掏槽孔;3.辅助掏槽孔;4.辅助孔;5.底板孔

图3 隧道IV类围岩炮孔布置图

5.3 隧道爆破的药量控制

表3 IV类围岩洞挖爆破炮孔布置参数表

序号	炮孔名称	孔深 /m	孔径 /mm	孔距 /cm	炮眼数量 /个	炮孔利用率 /%	有效循环进尺 /m
1	掏槽孔	1.5	42	50	14	90	1.17
2	辅助掏槽孔	1.5	42	50	8	90	1.17
3	辅助孔	1.3	43	100	113	90	1.17
4	周边孔	1.3	42	40	75	90	1.17
5	底板孔	1.3	42	40	38	90	1.17
6	合计				248		

杨柳埡隧道的洞挖爆破采用 $2^\#$ 乳化炸药,单根药卷一般长 0.2 m ,质量为 0.2 kg 。非电毫秒雷管(3、5、7、9段)选用 7 m 长导爆索;电雷管选用 7 m 脚线。塑料导爆索按一次安全距离为 80 m 计算。

炸药单耗取决于断面面积的大小、岩石性质、孔径的大小、孔深等因素。根据杨柳埡隧道的岩石坚固系数,炸药单耗按 $q=0.9\text{ kg/m}^3$ 控制。隧道爆破施工中,单孔与掏槽孔爆破最困难(爆破块度较大,较分散),装药量最多;底板孔爆破难易度次之,装药亦次之;周边孔爆破容易,装药量最少;

辅助孔装药量介于周边孔和掏槽孔之间;各类型孔采用分配系数得出单孔装药量,施工过程中根据岩石情况进行适当的调整。

该工程采用药卷直径为 32 mm 的 2# 乳化炸药,其规格为:单根药卷长 0.2 m,单根质量为 0.2 kg。

$$Q=q \times v$$

式中 Q 为每循环总装药量; q 为平均单位炸药消耗量,0.9 kg/m³; V 为每循环爆破体积。

$$Q_{IV} = Q \times V = Q \times S \times L = 0.9 \times 151.5 \times 1.3 = 177.255(\text{kg})$$

$$Q_V = Q \times V = Q \times S \times L = 0.9 \times 164 \times 0.8 = 118.08(\text{kg})$$

每种炮孔的装药量如下:

(1) 掏槽孔。

$$Q_1 = 1.25 \times Q / N$$

式中 N 为每循环炮孔的数量(IV 类围岩 248 个, V 类围岩 241 个)。

$Q_{1IV} = 1.25 \times 177.255 / 248 = 0.9(\text{kg})$, 取 $Q_{1IV} = 1 \text{ kg}$, 5 个药卷。

$Q_{1V} = 1.25 \times 118.08 / 241 = 0.6(\text{kg})$, 3 个药卷。

(2) 辅助掏槽孔(取掏槽孔装药量)。

$Q_{2IV} = 1 \text{ kg}$, 5 个药卷。

$Q_{2V} = 0.6 \text{ kg}$, 3 个药卷。

(3) 底板孔。

$$Q_3 = 1.1 \times Q / N$$

$Q_{3IV} = 1.1 \times 177.255 / 248 = 0.8(\text{kg})$, 4 个药卷。

$Q_{3V} = 1.1 \times 118.08 / 241 = 0.5(\text{kg})$, 取 $Q_{4V} =$

0.6 kg, 3 个药卷。

(4) 周边孔。

$$Q_4 = 0.8 \times Q / N$$

$Q_{4IV} = 0.8 \times 177.255 / 248 = 0.6(\text{kg})$, 3 个药卷。

$Q_{4V} = 0.8 \times 118.08 / 241 = 0.4(\text{kg})$, 2 个药卷。

(5) 辅助孔。

$$Q_5 = (Q - Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4) / N_5$$

式中 N_5 为每循环辅助孔的数量。

$Q_{5IV} = 79.8 / 113 = 0.7 \text{ kg}$, 3.5 个药卷。

$Q_{5V} = 61.68 / 122 = 0.5 \text{ kg}$, 2.5 个药卷。

6 结 语

杨柳埡隧道 IV 类围岩洞挖采用环形开挖预留核心土法,施工期间未发生塌方等爆破安全事故,施工安全可靠。由于施工过程中炮孔布置合理,装药量控制得当,洞挖爆破超挖小,洞壁平整,成型效果较好,爆破震动对周边房屋的影响亦较小,所取得的经验值得类似工程参考借鉴。

参考文献:

- [1] JTGF60-2009,公路隧道施工技术规范[S].
- [2] JTG D70-2004,公路隧道设计规范[S].
- [3] JTG F90-2015,公路工程施工安全技术规程[S].
- [4] 吴焕通.隧道施工及组织管理指南[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [5] 林 斌.浅埋软弱围岩大跨隧道的施工技术探讨[J].江西建材,2016,35(2):132-132.

作者简介:

杨瑞英(1979-),女,四川南部人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

田艳军(1989-),男,河南商丘人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作。

(责任:李燕辉)

剑科水电站开始大坝填筑

2019 年 10 月 1 日,剑科水电站开始大坝填筑。剑科水电站位于四川省阿坝州松潘县境内,是黑水河左岸一级支流毛尔盖河水梯级规划的龙头水库电站。电站为混合式开发,拦河大坝位于松潘县上八寨乡羊拱沟口上游约 420 m,经左岸引水至登棚沟沟口上游侧建厂。装机容量为 3×82 MW,多年平均年发电量 9.09 亿 kW·h。

电站由首部枢纽、引水系统和厂区枢纽等组成。首部枢纽主要建筑物有:砾石土心墙坝、左岸溢洪洞等。拦河大坝为砾石土心墙坝,最大坝高 82.3 m。水库正常蓄水位高程 3 200 m,坝顶高程 3 203.8 m,坝顶宽 12 m,坝顶长约 230 m。坝体上、下游坝坡分别为 1:2 和 1:1.8,在下游坝坡高程 3 144.5 m、高程 3 174.5 m 处分别设两道 5 m 宽的马道。引水建筑物由进水口、引水隧洞、调压室和压力管道等组成。厂区枢纽主要建筑物由主副厂房、主变兼尾闸室、交通兼通风洞、出线兼排风洞和尾水洞等组成。溢洪洞进口布置于左岸坝轴线位置,采用开敞式进口明流泄水隧洞,由控制闸室段、泄槽段及出口消能段组成,总长 455.39 m。控制闸室段顺水流向长 25 m,为桩号(溢)0+000.00~(溢)0+025.00,底板高程 3 186.2 m,闸顶高程 3 203.8 m。泄槽为明流泄水隧洞,断面为城门洞形,内宽 6 m,高 7 m。