

极破碎地质条件下的隧洞开挖施工技术

邱荣城

(云南地质工程勘察有限公司隧道工程分公司 , 云南 晋宁 650600)

摘 要 : 着重介绍在景洪水电站左岸下游渣场排水洞开挖施工中 , 对于 V 类围岩洞段 , 针对不良地质条件下的隧洞开挖施工技术难点 , 应用超前小管棚预注浆、格栅钢架(或型钢支撑)、顶拱挂网、系统锚杆、喷射混凝土等多种支护措施 , 安全顺利地进行隧洞锁口和通过洞身段长达 574 m 的 V 类围岩洞段 , 其中还包含 3 条断层破碎带。

关键词 : 地质条件 ; 锁口 ; 开挖施工 ; 小管棚 ; 注浆 ; 格栅 ; 锚杆

中图分类号 : TV554 文献标识码 : B 文章编号 : 1627 - 7428(2006) 05 - 0055 - 04

Tunnel Excavation Tech. under Extremely Broken Geological Conditions/ QIU Rong-cheng (Tunnel Engineering Branch of Yunnan Geotechnical Survey Co. Limited , Jinning Yunnan 650600 , China)

Abstract : The various measures , such as pre-casting through advanced installed pipe shed , grille steel frame or profiled bar support , top arch net , system rockbolt , and injecting concrete , were used to deal with the technical difficulties under bad geological conditions during excavation of tunnel within V type surrounding rocks. The tunnel section of 574 m length was safely excavated through V type surrounding rocks , including 3 broken belts. The fore shaft was successfully made.

Key words : geological conditions ; fore shaft ; excavation ; small pipe shed ; casting ; grille ; rockbolt

1 概述

景洪水电站左岸下游渣场是为该电站主体施工中堆放废渣而设置的 , 是电站前期辅标项目 , 其中排水洞则用于引排该渣场上游河道的常年流水。排水洞全长 797. 78 m , 断面形式为圆形 , 设计开挖断面面积为 25. 08 m² , 二衬混凝土厚度 0. 5 m , 衬砌后净断面面积为 16. 83 m² , 隧洞通过的岩层为二叠系下统绢云母板岩、千枚岩、硅质岩夹岩屑砂岩及侏罗系中统和平组下段泥岩、粉砂质泥岩 , 围岩类别为水工 III、IV、V 类 3 种 , 并要通过 F6、F、F1 三条断层破碎带 , 其中稳定性最差的 V 类围岩洞段 , 其长度占全隧洞的 72% , 而且处于地下水位线以下 , 大部分洞段有渗水、涌水等地下水作用 , 工程地质条件很差 , 经常出现掉块塌方 , 为能安全、顺利地完成该隧洞的施工 , 必须采用一套适合该工程地质条件的开挖、支护措施 , 以克服不良地质条件下的隧洞开挖施工技术难题。经过实践探索 , 在破碎地层中应用了上、下台阶分步开挖、顶拱小管棚预注浆、格栅钢架(断层破碎带和挤压带采用型钢支撑)、顶拱挂网、喷射混凝土和系统锚杆、随机锚杆等多种支护措施相结合的施工方法 , 有效避免了极破碎地层常遇到的冒顶、坍塌事故 , 安全、顺利地完成了这一施工项目。

2 施工技术措施

2.1 洞口锁口

隧洞进口受 F6 断层影响 , 出口受 F1 断层影响 , 次级构造发育 , 围岩风化剧烈 , 进洞口岩体呈散体、碎裂结构 , 围岩稳定性极差 ; 出洞口岩体呈碎裂、薄层状结构 , 围岩稳定性差 , 为此 , 两边锁口采取了以下措施。

(1) 由于岩层过于风化破碎 , 影响范围大 , 应尽量减少洞口边坡土石方明挖工作量 , 进出洞口均采用提前锁口进洞方案。

(2) 锁口前先进行洞脸加固 , 洞脸部位风化岩面以 C20 混凝土喷护封闭 , 喷射厚度为 10 cm , 并完善洞脸和洞口排水设施 , 待隧洞锁口混凝土衬砌完成后 , 再作洞脸浆砌石护面墙。

(3) 锁口段岩体采取小管棚预注浆加固 , 进洞口岩层过于风化破碎 , 顶拱布置双排小管棚 , 边墙为单排小管棚 ; 出洞口地质情况比进洞口稍好 , 边墙和顶拱布置单排小管棚。

小管棚规格为 Ø42. 3 mm 钢管 , 长度 4. 5 m/ 根 , 前端打尖 , 插入岩体 4. 2 m , 并在前端 2 m 管段布设透浆孔 , 管棚布置间距 0. 3 m(中心距) , 顶拱双排管棚弧线距离为 0. 4 m , 呈梅花形布置 , 采用风钻造孔 , 孔径为 54 mm , 每造好一孔 , 及时装进管棚 , 其插入岩体深度必须满足要求。

收稿日期 2005 - 12 - 20

作者简介 : 邱荣城 (1963 -) , 男 (汉族) , 广东人 , 云南地质工程勘察有限公司隧道工程分公司工程师 , 岩土工程专业 , 从事水利水电隧洞工程施工技术工作 , 云南省晋宁县昆阳 (0871) 7896889。

管棚预注浆:进口顶拱先注内排,再注外排,每排又分一序、二序分别灌注,水泥浆液水灰比为0.5~1,早强剂掺量为3%~5%,注浆终压0.3~0.4 MPa,凝胶时间10~15 h。

(4)采取强有力的初期支护措施,洞口段岩体在小管棚预注浆加固的前提下,按上下台阶分步开挖法,短浅开挖0.5 m后,及时安装第一根格栅钢架支护,格栅钢架用锁脚锚杆加以固定,并喷射C25

砼封闭围岩。进洞后,根据地质情况适当调整格栅钢架安装间距,V类围岩取间距0.8~1.2 m,格栅架之间以16~17根 $\varnothing 18$ mm螺纹钢纵向连接,焊接牢固,并及时进行系统锚杆和喷射C25砼支护,喷射厚度15 cm,根据地质情况布置随机锚杆,确保建立安全的初期支护体系。

(5)锁口段进洞后,及时进行锁口砼衬砌。洞口锁口支护体系见图1。

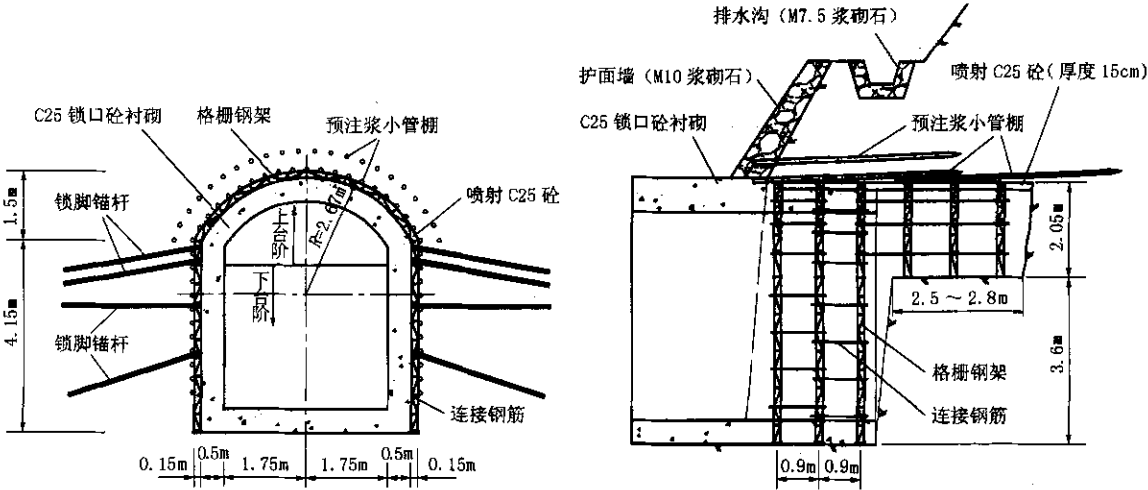


图1 洞口锁口支护结构图

其中格栅钢架横断面为15 cm×15 cm,主筋为4根 $\varnothing 25$ mm螺纹钢,加强筋为 $\varnothing 18$ mm螺纹钢,锁脚锚杆和随机锚杆采用 $\varnothing 25$ mm螺纹钢,长度3.0 m或3.5 m,锚入深度为2.85 m或3.35 m;系统锚杆则根据设计进行布置,规格为 $\varnothing 25$ mm螺纹钢,长度3.5 m,锚入深度3.35 m,间、排距为1.5 m,呈梅花形布置,上述各类锚杆全孔段均以M25水泥砂浆锚固。

2.2 洞身V类围岩洞段开挖与支护施工

对于V类围岩洞段和断层破碎带,整个施工过程遵循新奥法原则,采取“管超前、严注浆、短进尺、早封闭、强支护、勤量测”基本措施。采用小管棚预

注浆或超前锚杆对破碎地层进行预加固,其主要作用是充分利用加固后的围岩自身承载能力,使得开挖后能在围岩稳定期间内及时施作格栅和锚、网、喷等支护,形成强有力的初期支护体系。

2.2.1 开挖、支护总体技术措施

开挖采取上、下台阶法分步进行,上台阶开挖后总长为2.5~2.8 m,下台阶开挖后上台阶保留长度 ≤ 0.5 m,并保留1根上半洞格栅支护。上台阶断面高度2.05 m,主要以人工采用风镐进行开挖,地质情况好转时,则采用小药量松动爆破。具体开挖和支护措施见图2。

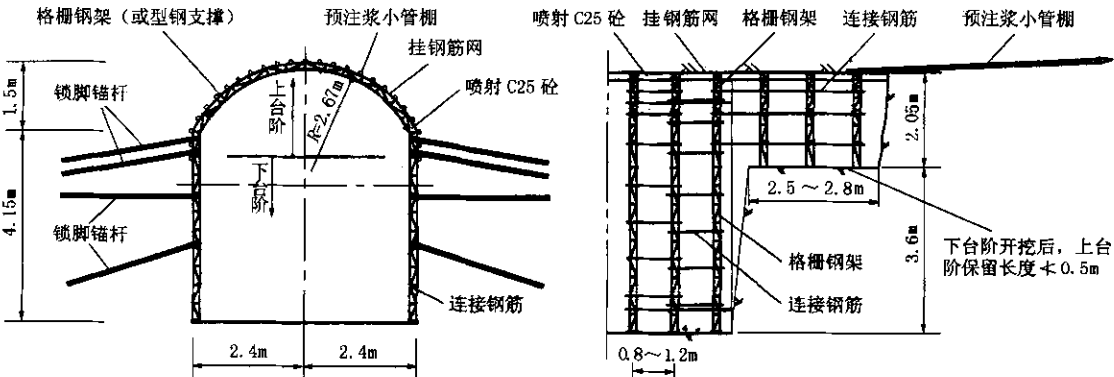


图2 V类围岩台阶法开挖、支护结构图

顶拱部位根据地质情况采取超前小管棚预注浆加固,上台阶每循环开挖长度为2 m以内,开挖后立即喷砼3~5 cm,然后进行顶挂挂网,施作上半榀格栅钢架和锁脚锚杆,再第二次喷砼,如遇地下水,则先打孔,再插PVC管引排。

下台阶采用小药量松动爆破,周边辅以人工风镐修整,每循环开挖长度控制在 2 m 以内,采用 ZL-50 型装载机装渣,为提高装载效率,进洞约 200 m 处设置一个回车洞(回车洞设于地质条件比较好的洞段),以 3.5 m³ 自卸汽车配合运输。下台阶开挖后,先初喷封闭,然后安装下半樘格栅钢架、锁脚锚杆和喷射 C25 砼。

系统锚杆滞后于下台阶工作面 1~2 m, 根据地质情况, 每开挖 2~3 个循环, 按设计进行造孔安装。布置系统锚杆后, 两侧墙和顶拱最后再喷射一次混凝土, 使喷射厚度达到设计要求的 15 cm。施工中, 根据具体地质情况布设随机锚杆。

隧洞形成格栅钢架(或型钢支撑)、锁脚锚杆、顶拱挂网、系统锚杆和喷射混凝土初期支护体系后,便进行围岩变形量测,量测项目主要为边墙收敛和顶拱下沉,以掌握初期支护后洞室围岩变形动态,提供有关数据,修改支护参数,并为二衬施作提供依据。

2.2.2 分项支护工序

2.2.2.1 顶拱小管棚预注浆

对于围岩极松散破碎洞段,顶拱采取小管棚预注浆加固,小管棚规格为 $\varnothing 42.3$ mm 钢管,钢管壁厚 3.25 mm,长度 6 m/根,前端打尖,插入岩体 5.7 m,并在前端 4 m 管段布设透浆孔,透浆孔孔径为 8 mm,布置密度为沿管棚每 30 cm 布设 1 个断面,每断面按圆周均布 3 孔,呈梅花形布置。管棚布置间距 0.3 ~ 0.35 m(中心距),顶拱每排管棚数量为 18 ~ 21 根,管棚布置位置比顶拱开挖轮廓线高 3 ~ 5 cm,采用风钻造孔, $\varnothing 50$ mm 三刃钎头开孔,为防止破碎岩层引起塌孔影响安装,每钻好一孔,就及时装进管棚,其插入岩体深度必须满足要求,管棚倾角以 3% ~ 5% 管长向外放射。

小管棚预注浆:注浆分一序、二序间隔跳孔分别灌注,注完一序,再注二序。注浆前,全排管棚的管外孔口均先用水泥棉纱严密封堵,防止孔口漏浆。灌注时,如遇串浆,对串浆管棚也需封堵,水泥浆液水灰比为 0.5 ~ 1,早强剂掺量 3% ~ 5%,注浆终压控制在 0.3 ~ 0.4 MPa,凝胶时间 10 ~ 15 h。其管路连接方法、现场布置见图 3。

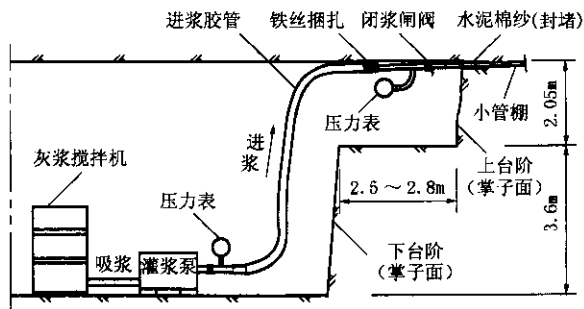


图3 小管棚预注浆布置示意图

注浆结束后,在待凝期间,上台阶应暂停开挖,这段时间可进行前期工作面系统锚杆造孔安装和喷砼支护,或进行下台阶开挖支护。施工中,应控制好上台阶循环开挖长度,一般上台阶经过3个循环开挖,则向前方掌子面顶拱布设一次注浆小管棚,前后排小管棚首尾重叠长度为0.5~0.8 m。

2.2.2.2 格栅钢架支护

格栅钢架支护用于Ⅳ、Ⅴ类围岩洞段,其作用主要是与顶挂网喷砼一起承载,构成联合支护体系,格栅钢架布置间距:Ⅳ类围岩为1.2~1.6 m,Ⅴ类围岩为0.8~1.2 m。格栅钢架由一拱两腿组成,拱全高2.05 m,腿全高3.60 m,拱与腿采用连接钢板对接,螺栓紧固。

根据围岩变形量测提供的资料,除两边洞口段 15 m 采用 15 cm × 15 cm 四角格栅支护外,其余洞段均优化为三角格栅支护,即由 3 根 Ø25 mm 主筋构成,横断面为边长 17.32 cm 的等边三角形(三角形高为 15 cm),加强筋仍采用 Ø18 mm 螺纹钢,通过优化,三角格栅比四角格栅每榀节省钢筋用量 137.5 kg,降低了钢筋消耗量。

2.2.2.3 型钢支撑

过断层洞段和隧洞中部挤压破碎带均采用型钢支撑,并结合顶拱挂网、系统锚杆和喷射 C25 砼联合支护。支撑构件采用 18 工字钢制作,由一拱、两腿、底部横撑 3 部分组成,拱全高 2.05 m,腿全高 3.60 m,拱与腿采用连接钢板对接,螺栓紧固,腿和底部横撑采用现场焊接。

量测数据显示,挤压破碎带洞段变形量过大,因此个别洞段在上下楹之间的连接钢板部位还增加顶部横撑,一直等到二衬完成以后再割除,上下横撑主要作用是使型钢支撑能形成封闭环,控制极破碎地质条件下的变形破坏。边墙部位锁脚锚杆不可缺少,且锁脚锚杆与型钢支撑必须焊牢。

2.2.2.4 顶拱挂网

顶拱挂网用于松散破碎的 V 类围岩洞段,采用

Ø6.5 mm 钢筋,布置间距为 20 cm × 20 cm,上台阶开挖初喷后,布挂顶拱钢筋网,然后安装上半槓格栅钢架,再喷射 C25 砼,及时对破碎岩体提供足够的支护抗力。

2.2.2.5 系统锚杆支护

系统锚杆在初期支护体系中属于后步工序,由于岩层稳定性太差,开挖后必须先初喷、挂网和安装格栅或型钢支撑,使围岩能及时稳定,在此基础上方进行系统锚杆布置,以改善围岩应力状况。Ⅳ类围岩段,系统锚杆参数为:规格 Ø25 mm 螺纹钢,长度 3.0 m,锚入深度 2.7 m;Ⅴ类围岩段,系统锚杆参数为:规格 Ø25 mm 螺纹钢,长度 3.5 m,锚入深度 3.35 m,锚杆孔径为 45 mm,全孔段 M25 水泥砂浆锚固。采取先注后锚的施工方法,施工中如遇到锚杆孔有地下水渗出或涌出时,则在周围其他部位用风钻布设排水孔,插入 PVC 管引排。

2.2.2.6 喷射混凝土支护

隧洞边墙、顶拱全长均为 C25 砼喷护,设计喷射厚度为 15 cm。在不良地质条件下,喷射砼对开挖后围岩支护起到很大作用,由于喷层密贴围岩,在喷射过程中能充填岩层外露面的裂隙,且由于速凝剂的作用,喷层凝结速度快,强度增长迅速,能及时对围岩起到补强作用和改善应力状态,为后续支护提供安全保障。根据当地材料,C25 喷射砼配合比为 水:水泥:砂:细石:速凝剂=0.48:1:1.54:1.47:0.03,采用 32.5 普通硅酸盐水泥,每立方米砼水泥用量 504 kg,细石最大粒径 1.5 cm,连续级配。

3 施工注意事项

前述各项支护措施中,作为施工工序是独立的,但通过施作后,所起到的作用是相互影响、共同承担的,因此,每道支护工序均应精心施作,确保质量,在施工中应注意以下问题。

(1)必须严格按照规定的“开挖-支护”作业程序进行施工。其基本作业程序为:上台阶开挖→初喷→挂网→上半槓格栅或型钢支撑→锁脚锚杆→二次喷护→出渣→下台阶开挖、出渣→初喷→下半槓格栅或型钢支撑→锁脚锚杆→二次喷护→边墙、顶拱系统锚杆→第三次喷护→完成一个作业循环。小管棚预注浆基本为 3 个开挖循环进行一次。

(2)施工中,小管棚预注浆需根据地质情况施作,其插入岩体深度必须满足要求。由于采用风钻造孔、人工插管施工方法,在插管时可能会因岩层破

碎塌孔,使插管受阻,这时可用短钎杆在前端焊接管棚冲击套,采用风钻强行冲击,把管棚插至预定孔深。

(3)格栅钢架或型钢支撑必须保证砼二衬空间,顶拱预留 3~5 cm 下沉量,边墙也预留 3~5 cm 收敛量,同时应紧贴围岩。由于岩层破碎,不可避免有超挖情况,对钢架外围小于 15 cm 的间隙,选用坚硬毛石楔紧,如有较大的掉块超挖空腔,安装后,连同外围空腔一起用毛石砼浇筑回填,使格栅或型钢支撑能真正起作用。

(4)砼喷射前用高压风把受喷面吹扫干净,再进行喷护,喷射手应掌握好水灰比,以减小回弹,同时保证喷层厚度。

4 体会与建议

本排水洞的施工,为不良地质条件下修建水工隧洞拓宽了思路,为以后类似工程积累了有益的经验,现将几点体会和建议简述如下。

(1)对于复杂松散破碎地层,应注重超前支护,做好超前支护,方能为下步开挖和后续支护打下基础。超前支护应随地质情况变化而作相应调整,地质情况好转时,管棚布置间距可适当加大,或采用超前锚杆,不能千篇一律,死搬硬套。

(2)真正意义的新奥法是动态设计、动态施工,一切以数据说话,而且量测与控制贯穿于整个施工过程。但目前这种工程还少见,多数仍停留在经验类比水平,设计是静态的,施工则必须依照设计而行,设计上没有的措施、没有的项目,施工单位就不能做,每当地质情况变化时,施工方应随时重新上报方案和措施,还要等批复后才能实施,消耗了许多宝贵时间,给工程施工造成被动。因此建议实行动态设计,动态施工,取消一些人为因素,一切以地质条件为前提、量测数据为依据,有些支护项目能取消就取消,需加强就加强,能变更就变更,这个过程中要体现一个“快”字。

(3)排水洞中部洞段为挤压破碎带,施作型钢支撑、锚、网、喷后仍出现较大的变形,部分洞段在二衬前边墙的最大变形值达到 23 cm,给处理造成困难。这说明在极破碎地质条件下,砂浆式系统锚杆作用有限。建议采用迈式中空注浆锚杆,其优点是集钻、注、锚于一体,施工方便,锚入深度长短可调,并能施加预应力,能有效控制围岩变形破坏。

(下转第 61 页)

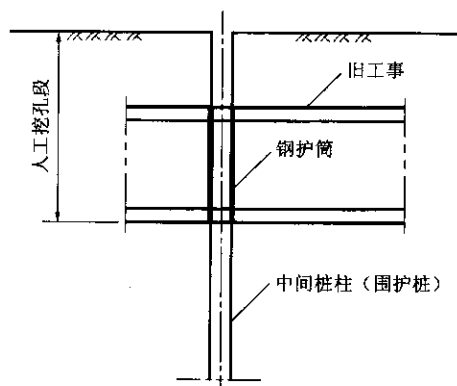


图3 钻孔桩施工穿越旧工事的处理示意图

制,采用小型挖掘机进行挖土、装车,小型运土车运至出口处,由地面上的挖掘机装上大型运载车运走。

5.3 通风及照明措施

由于是采用逆作法施工,顶板施工完成后,后续土方开挖及结构施工基本在封闭环境中进行,能见度差、空气不流通,施工时产生的有害气体不能排出,所以必须采取通风和照明措施。与暗挖隧道类似,本工程通过出入口拉入通风、照明、水管等线,固定在两侧围护桩(侧墙)上,以改善地下作业环境。

5.4 侧墙施工处理

逆作法施工中外侧墙的施工比较关键,为了便于施工操作和保证工程质量,在工人防地下室顶板时,侧墙往下施工 700 mm,形成下返墙。后浇侧墙与下返墙之间的施工缝是外侧墙的质量关键部位。为保证这条施工缝的质量,下返墙施工时要在墙中间安装止水钢板,另外侧墙施工时支撑一斜模板高于施工缝 100 mm 以上,并加强该处混凝土的振捣,使混凝土浇筑密实,在初凝前进行二次振捣,注意要不断地添加混凝土,确保该处混凝土的密实。拆模后凿掉多余的混凝土,如图 4。

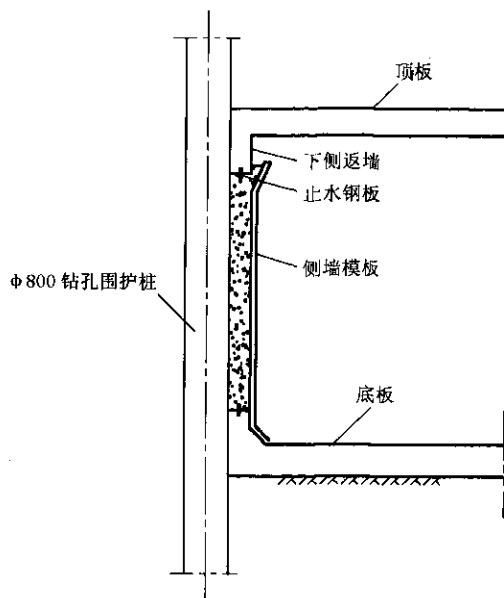


图4 逆作法施工侧墙施工缝处理示意图

6 结语

南宁市新华街地下人防工程采用逆作法施工工艺,首先保证了基坑的施工安全,同时占用道路的时间最短,最大限度地减少了对周边商铺的营业和交通的影响。在商业繁华地段和交通繁忙地段建造地下工程,可以采用类似施工方法。

人防工程逆作法施工中最大的难点是土方开挖和侧墙的施工,地下室层高和柱网间距对土方施工影响较大,层高和柱网间距 $> 6\text{ m}$,则土方施工比较方便。挖土机械以小型挖掘机为主,土方基坑内水平运输可以采用小型运土车或推土机。侧墙的施工关键是在顶板施工时要同时施工下返墙,下返墙根据土质尽可能施工高些,这样有利于后期侧墙的施工,也容易保证工程质量。

(上接第 58 页)

(4)对于Ⅲ类围岩洞段,其稳定性比Ⅳ、Ⅴ类围岩好,可取消系统锚杆。施工中根据岩层节理走向和分布情况,有针对性地布设随机锚杆即可,其起到的支护作用将比系统锚杆更为有效,这能节省锚杆工作量,缩短工期,降低费用。

(5)系统锚杆设计为 M25 水泥砂浆全孔段锚固,且不作变更。在实际施工中,经常遇到地下水影响锚杆的砂浆灌注,从而直接影响锚固质量,建议在有地下水的洞段,以水泥锚固卷代替砂浆灌注。

(6)要重视地下水对施工造成的影响。地下水的渗透,对围岩起到软化作用,使围岩松弛恶化,失去稳定。遇到地下水时,应及时钻孔和插管排水,变分散渗滴为集中引排,这也有利于保证喷射砼质量,确保围岩稳定。

(7)遇到强烈破碎的地质情况时,不能忽视掌子面喷射封闭。

(8)围岩变形量测是新奥法施工的重要组成部分,必须配备专职量测人员负责这项工作,及时提供围岩稳定情况信息,为支护提供可靠的依据。