

公路大跨度软岩隧道 短台阶七步平行流水作业施工工法

(TLEJGF-99·00-36)

中铁第十二工程局

一、前言

随着高等级公路建设的迅猛发展,大跨度软岩公路隧道的施工方法也不断发展,目前主要有台阶法和双侧壁导坑法、中隔墙法等。但在工程实践中,发现双侧壁导坑法和中隔墙法存在以下缺点:一是限制了大型施工机械的使用,降低了工效;二是在软硬围岩相间的隧道施工中,调整施工方法时间很长;三是临时支护多,投入大,不经济;四是施工中相互干扰大;五是分部施工的防水层和混凝土衬砌,运营中病害多。

在京珠高速公路靠椅山隧道施工中,中铁第十二工程局采用短台阶七步平行流水作业法施工,成功地解决了软岩、断层、流泥涌水等难题,确保了工程质量和工期。在此基础上将其关键技术归纳提炼,再次应用于深圳盐坝高速公路大梅沙隧道洞口软岩地段施工和渝合高速公路西山坪隧道施工,均获得成功。本工法系根据上述公路隧道的施工实践编写而成。

二、工法特点

1. 施工空间大,可以引入大型施工机械多作业面平行施工,工效高;部分软岩地段可以采用反铲挖掘机直接开挖下半断面,减小了对围岩的扰动。
2. 在地质结构复杂多变、软硬围岩相间的隧道施工中,便于灵活及时地调整施工方法,进度稳定,工期保障性强。
3. 能适应不同跨度和多种断面形式,没有需拆除的临时支护,节省投资。
4. 无需增加特殊设备,投入少,工艺可操作性强,易推广。

三、适用范围

本工法适用于公路、铁路Ⅰ~Ⅲ类围岩的隧道施工;对大跨度地下工程及其他交通通道工程亦有参考价值。

在断层带、破碎带及富水地层中,采取大管棚、迈式注浆锚杆和小导管预注浆固结、止水等技术措施后亦可运用本工法施工。

四、施工工艺

采用2~3层短台阶,分步平行开挖,爆破施工分成多个作业面进行,将集中爆破化为分散爆破,既减少对围岩的扰动,又充分利用时间,还增加了爆破临空面,降低炸药消耗。分步平行施作拱墙初期支护,混凝土仰拱超前施作及时闭合构成稳固的初期支护体系,保护围岩的天然承载力,有效抑制围岩变位。全断面一次施作防水层和灌筑混凝土衬砌,确保了混凝土衬砌施工质量。量测监控信息反馈指导施工,及时调整支护参数。

在断层带、破碎带等自稳性较差地层和富水地层中,则采用大管棚、迈式注浆锚杆和小导管预注浆固结、止水等辅助措施后,上部弧形导坑法短开挖施作拱部初期支护,再左右错位开挖及施作边墙初期支护;混凝土仰拱紧跟下台阶并及时施作尽早闭合成环受力。

(一)工艺流程(见图 1)

(二)施工方法

1. 开挖

对隧道周边围岩进行超前预加固后进行分步平行开挖。

I ~ II 类围岩地段采用三台阶分步平行开挖法,施工顺序见图 2。上半断面环形部分人工采用风镐开挖,其余各部采用 CAT320B 挖掘机开挖、装碴。循环进尺一般控制在 0.5 ~ 1.2m 为宜。

III 类围岩地段可将三台阶分步平行开挖

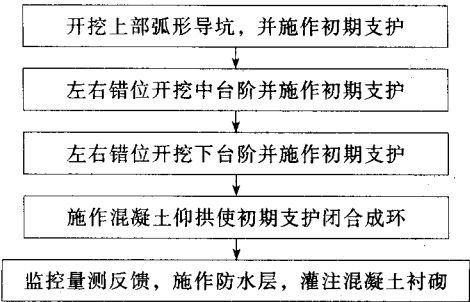


图 1 短台阶七步平行流水作业法施工流程

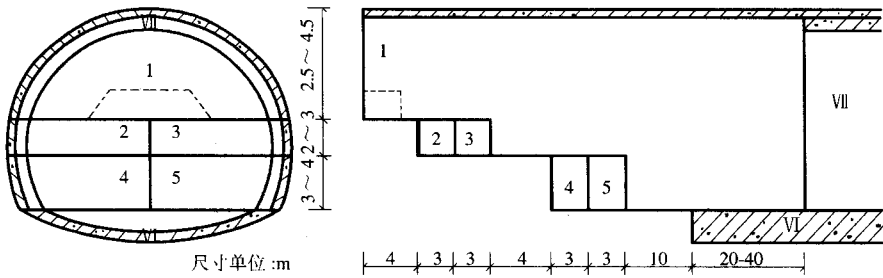


图 2 短台阶七步流水作业法

法调整为两台阶分步平行开挖法施工,遵循“弱爆破、短开挖”的原则采用光面爆破或预留光爆层微振控制爆破开挖上半断面,以减小对围岩的扰动。炮眼深度 1.5 ~ 2.0m。

2. 初期支护

初期支护是由锚杆、钢筋网、钢架和喷射混凝土组成的一种联合受力结构。为保护围岩的天然承载力,初期支护要尽快施作,其施工流程见图 3。

(1)初喷混凝土封闭岩面

用高压风自上而下吹净岩面,埋设控制喷射混凝土厚度的标志钉,如工作面有滴水或淋水,钻孔埋管做好引排水工作。

从拱脚或墙脚向上堆喷,以防止上部喷射回弹料虚掩拱脚(墙脚)而不密实,以致强度不够,造成失稳;先将凹洼部分找平,然后喷射凸出部分,并使其平顺连接。沿水平方向以螺旋形划圈移动,喷头与受喷面垂直,喷嘴口至受喷面距离 0.6 ~ 1.0m。

喷射混凝土表面应大面平整并呈湿润光泽,无干斑或滑移流淌现象。

(2)施作结构锚杆,挂设钢筋网

采用全长粘结型锚杆,杆体为 $\varnothing 22\text{mm}$ 的 20MnSi 螺纹钢筋,长 3.0m 或 3.5m,间距 0.8 ~ 1.0m,梅花形布置,径向施作。各台阶初期支护连接处左右均需设不少于 2 根锁脚锚杆,确保初期支护不失稳。为确保锚杆施作质量,拱顶结构锚杆和锁脚锚杆应尽量采用迈式注浆

锚杆或 WTD25N 中空锚杆。

钢筋网为 $\varnothing 10\text{mm}$ 或 6mm 钢筋焊接而成,网格为 20cm 或 25cm 。钢筋网随受喷面的起伏铺设,其间隙不大于 3cm ,钢筋网应与锚杆体连接牢固。

(3) 安装钢架

钢架是软弱围岩初期支护的重要组成部分,应严格按设计图及设计要求加工制作和架设。台阶法施工钢架单元结构见图 4。

拱部单元 先放样,确定钢架基脚位置,然后铺设 $[25\text{a}$ 槽钢垫板,施作定位系筋,最后架设钢架,设纵向连接筋。

墙部单元 墙脚部位铺设 $[25\text{a}$ 槽钢垫板,施作定位系筋;对应拱部单元钢架位置架设墙部单元钢架,栓接牢固;设纵向连接筋。

施工注意事项:

① 为保证钢架置立稳固,施工中应在钢架基脚部位预留足够的坚实基岩,架立钢架时挖槽就位。

② 钢架平面垂直于隧道中线,倾斜不大于 2° ;钢架的任何部位偏离铅垂面不大于 5cm 。

③ 为增强钢架的整体稳定性,应将钢架与纵向连接筋、结构锚杆、定位系筋和锁脚锚杆焊接牢固。

④ 钢架连接接头要牢固。拱脚部位易发生塑性剪切破坏,故该部位接头除栓接外,还应四面帮焊,确保接头的刚度和强度。条件允许时,接头最好采用角钢连接板,便于混凝土全面握裹。

⑤ 钢架和初喷层间有较大间隙时要设骑马或楔形垫块顶紧;钢架与围岩的间距不应大于 5cm 。

(4) 施作拱部超前支护和二次喷射混凝土

拱部按设计参数施作下一循环超前支护,并把该支护尾端焊在钢架上。分层喷射混凝土到设计厚度,每层厚 $5\sim 6\text{cm}$;钢架保护层不小于 2cm 。整个喷射混凝土表面要平顺。

(5) 监控量测、修正支护参数

严格按设计要求进行拱顶下沉和周边收敛位移量测,通过监控量测的信息反馈,及时调整支护参数,以保证衬砌结构的安全。监控量测中应注意:

① 为取得开挖后围岩早期状态变化数据,各项测点应尽量靠近开挖面布置(不大于

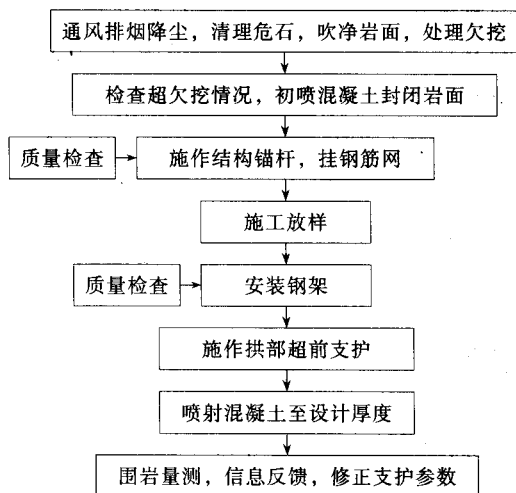


图 3 初期支护施工流程

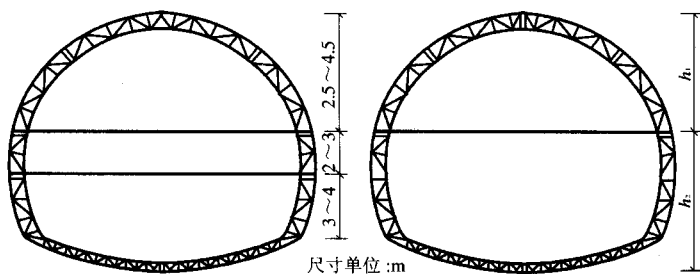


图 4 台阶法施工钢架单元结构

- 2m),在爆破后 24h 内或下次爆破前,读取初次读数。
- ②周边收敛、拱顶下沉及地表下沉各项测点应尽量集中布设在一个断面,以便量测成果的协调分析、综合运用。
- ③量测时,先把钢尺拉出(拉出长度稍长于量测基线)停放 20min,使钢尺温度与环境气温基本一致(同一洞口内连续量测若干断面,且环境气温相差不大时,可连续量测)。
- ④采用台阶法开挖时,当下半断面开挖靠近上半量测断面时,量测频率应适当增加。

3. 仰拱施工

在设计有混凝土仰拱地段,拱墙初期支护施工完成后,要及时左右错位跳挖仰拱,安装仰拱钢架,进行仰拱混凝土施工,使初期支护尽早闭合成环构成稳固的初期支护体系,并为施工运输创造良好环境。

4. 混凝土衬砌

采用可调式防水层作业专用台车按设计材料和技术参数施作防水层,采用无钉孔工艺,并视初期支护的平整情况,将防水板留一定的富余量,以防绷得过紧而被混凝土挤破。

混凝土衬砌采用全断面液压钢模台车、泵送混凝土灌注。混凝土用自动计量拌合机拌合,混凝土输送车运输。要左右对称灌注,防止台车偏移。设置制式挡头模板,以确保施工缝处混凝土质量。

五、机具设备(单口作业所需机具设备见表 1)

表 1 单口作业所需机具设备

序号	作业项目	机具设备名称	规格型号	单位	数量	备注
1	开挖	电动压风机	ZL-10/8	台	4	高压供风
		双液注浆机	LTC-60/S	台	1	超前注浆
		风镐	G10	台	8	
		风枪	7655	台	8	结构锚杆,超前支护,爆破钻眼
		挖掘机	CTA320B	台	1	开挖、装碴
		自卸车	20t	辆	4	出碴
		泥浆泵	100m³/h	台	2	排水
2	初期支护	钢筋切断机	QJ40-1	台	1	
		钢筋折弯机	40	台	1	
		电焊机	BX-300	台	5	钢架、格栅及其他钢构件加工
		电焊机	BX-400	台	2	
		台式钻床	24025	台	1	
		搅拌机	JZC350	台	2	
		湿喷机	TK961	台	3	
3	量测及测量仪器	全站仪	拓普康	台	1	
		经纬仪	蔡司 010B	台	1	
		水准仪		台	1	
		塔尺		个	2	
		收敛仪	ZC-3	台	1	
4	二次衬砌	搅拌站	JS500 25m³/h	台	2	
		混凝土输送车	五十铃	台	4	
		混凝土输送泵	HB60D	台	2	
		插入式捣固器		个	4	辅助振捣
		发电机	JSK-300A	台	1	
5	通风	通风机	DKJN010	台	1	1380m³/min

六、劳力组织(单口作业劳力组织见表 2,共计 90 人)

表 2 单口作业劳力组织

序号	作业项目	作业内容	人数	序号	作业项目	作业内容	人数
1	开挖	风镐手	8	4	二次衬砌	搅拌站	4
		风枪手	8			运输混凝土	4
		挖掘机司机	1			输送泵司机	2
		自卸车司机	4			台车调试倒管	6
2	初期支护	钢架、格栅下料	2	5	其他	分队长	1
		制作钢架	4			技术负责人	1
		安装格栅	7			专职安全员	1
		喷射手	6			质检员	1
		喷射机司机	3			实验员	1
		喷射机上料	6			电工	1
		搅拌机司机	2			修理工	2
3	量测及测量	搅拌机上料	3			压风机司机	4
		技术员	1			调度员	1
		测量班长	1			发电机司机	1
		测量工	3			抽水、通风	1

七、质量控制

1. 严格遵守公路隧道施工技术规范及验收标准。
2. 成立专门质检小组,严格质检程序,奖罚分明,质量不合格者坚决返工。
3. 对喷混凝土骨料级配、含泥量及外加剂质量严格把关,坚持每批进料均抽检,不合格品坚决清理出场。拌制时严格按配合比计量,缩短运输存放时间,随拌随用(一般加速凝剂混凝土不超过 30min)。整个混凝土施工过程严格按《铁路隧道喷锚构筑法技术规则》控制。
4. 钢构件下料按 1:1 大样为准,加工时尽量减少热变形;焊点强度严格把关。
5. 泵送混凝土应严格控制坍落度损失,严禁擅自加水。
6. 加强监控量测管理,及时反馈信息,提高应变能力。监控量测项目及频率见表 3。

表 3 监控量测项目及频率

类别	量测项目	相隔距离	测点数量	量测频率		
				0~15d	16~30d	31d以后
A	隧道内地质和支护状况的观察	全隧道	各掌子面	1次/d	1次/d	1次/d
	隧道净空变形测定	每 5~20m	水平收敛 3 对测点	1~2 次/d	1 次/2d	1 次/周
	拱顶下沉量测定	每 5~20m	3 点	1~2 次/d	1 次/2d	1 次/周
B	锚杆拉拔试验	每 15m(300 根)	每断面 3 根			
	地表下沉测定	每 5m				

八、施工安全与环境保护措施

1. 爆破、量测人员和专职安全员,必须经过专业培训并取得证书,持证上岗。
2. 加强全员安全意识教育,交叉施工地段设调度员加强调度。
3. 危爆火工品严格按《爆破安全规程》及当地公安部门要求,用多少领多少,坚持审批签字手续。
4. 加强洞内外三管两线的管理,防止漏电、漏风伤人。

5. 加强机械保养维修,降低机械噪声及废气排放,改善作业环境。

6. 加强现场管理,保持清洁卫生。污水排放要设泥浆沉淀池和过滤池。便道及弃碴场要洒水降尘。

九、效益分析

本施工技术为大跨度软岩公路隧道机械化施工积累了成功的经验。灵活的开挖与支护手段及相应的技术措施适应了地质变化,真正做到“岩变我变”,有效地保证了隧道施工安全。与双侧壁导坑法相比,可节省大量临时钢架支护费用,减少投资。Ⅲ类围岩单洞双车道隧道与全断面施工法相比,仅爆破钻眼和炸药两项费用每延 m 即可节约 1157 元。

十、工程实例

1. 京珠高速公路靠椅山隧道

位于广东省韶关市翁源县铁龙镇与新江镇交界处,分左右线。隧道设计为单洞 3 车道,采用 $R=7.4\text{m}$ 单心圆曲墙式衬砌,除明洞衬砌外,其余衬砌类型均按新奥法原理设计,采用复合式衬砌。Ⅱ~Ⅲ类围岩段开挖跨度 16.7m,高 10.1m,以超前小导管周边预注浆、超前锚杆、结构锚杆、型钢钢架、钢筋网和喷混凝土为初期支护,模筑混凝土或钢筋混凝土为二次衬砌,在初期支护与二次衬砌间设 PVC 复合防水板为防水层。中铁第十二工程局承担右线出口端 2050m 施工任务,地质为中下泥盆统桂光群砂岩及泥质粉砂岩夹薄层页岩,因受褶皱及构造挤压影响,岩层节理裂隙发育,岩石风化成亚砂土、亚粘土,原岩结构完全破坏。Ⅱ、Ⅲ类围岩 893m,占 44%。在软岩地段施工中,采用短台阶七步平行流水作业法,缩短工期约 50d,保证了整座隧道按期完成,且节约投资近 60 万元。

2. 深圳盐坝高速公路大梅沙隧道

分离式双洞单向 3 车道隧道,三心圆内轮廓形式,最大开挖跨度 15.15m,高 11.3m。双洞洞身基本平行,中心距离平均 40m。盐田端左右线洞口段均有 80m I 类围岩地段,为全风化花岗岩,裂隙发育,不稳定,遇水崩解软化,容易坍塌,设计推荐采取 $\text{Ø}89\text{mm}20\sim40\text{m}$ 大管棚超前注浆支护,双侧壁导坑法施工。我们采用短台阶七步平行流水作业法施工,安全顺利地通过了该段,全隧道亦提前竣工交付,工期和质量均得到深圳市高速公路公司好评。此项成果获集团公司 1999 年度科技进步一等奖。

3. 渝合高速公路西山坪隧道

分离式双洞单向行车双车道隧道, $R=5.5\text{m}$ 单心圆曲边墙结构,最大开挖跨度 12.8m,高 9.5m;两隧道中心线间距 40m。中铁第十二工程局管区为进口段左右洞各 1000m,地质结构复杂多变,主要为侏罗系下统泥岩、页岩、粉砂岩不等厚互层,性软,易碎,易风化,裂隙发育,稳定性差,Ⅱ、Ⅲ类围岩占 84%。采用短台阶七步平行流水作业法施工,质量良好,受到业主好评。

执笔:雷 军 王连欣 和万春 李永亮 王毅东