

## 浅谈千枚岩地质软弱围岩隧道开挖

吉庆锋

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

**[摘要]**千枚岩是一种具有千枚岩结构的岩石,属于区域性浅变质带。它是由粘土岩或火山凝灰岩变质而成,其原始岩石类型与板岩相似,重结晶程度高于板岩,基本上已重结晶。主要矿物组成为绢云母,多为颗粒状或片状,有时含有绿泥石、黑云母、石榴石或十字石。本实用新型的主要特点是可以剥成叶状薄片,表面具有显著的丝绸光泽,质地柔软,在水的存在下容易软化。千枚岩富水地层隧道施工的重点是控制围岩的大变形,通过监测和测量掌握围岩的变形规律,进行动态设计和施工。目前我国在千枚岩特别是富水千枚岩地段隧道施工技术还不是很完善。在一些国内隧道项目的施工中施工进度慢和初期支护都有较大的变形。通过我公司承担施工的广平高速周家山隧道施工实践,总结形成本工法。

**[关键词]**千枚岩;隧道;开挖

DOI: 10.33142/aem.v4i8.6791

中图分类号: F299.233.5

文献标识码: A

### Brief Discussion on Tunnel Excavation in Phyllite Geological Weak Surrounding Rock

Ji Qingfeng

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

**Abstract:** Phyllite is a kind of rock with phyllite structure, belonging to regional shallow metamorphic zone. It is metamorphosed from clay rock or volcanic tuff. Its original rock type is similar to slate, and the degree of recrystallization is higher than slate, which has basically been recrystallized. The main mineral composition is sericite, which is mostly granular or flaky, and sometimes contains chlorite, biotite, garnet or crucite. The main feature of the utility model is that it can be peeled into leaf like flakes, the surface has significant silk luster, the texture is soft, and it is easy to soften in the presence of water. The key point of tunnel construction in phyllite water rich stratum is to control the large deformation of surrounding rock, grasp the deformation law of surrounding rock through monitoring and measurement, and carry out dynamic design and construction. At present, the tunnel construction technology in phyllite, especially in water rich phyllite section, which is not very perfect in China. In the construction of some domestic tunnel projects, the construction progress is slow and the initial support has large deformation. Through the construction practice of zhoujiashan tunnel of Guangping expressway undertaken by our company, the cost construction method is summarized.

**Keywords:** phyllite; tunnel; excavation

#### 1 工法特点

将监控量测技术、数据处理和信息反馈技术应用于施工,动态调整施工方法和支护,确保施工安全;运用上下台阶预留核心土法进行开挖支护,拱部边墙先施做系统锚杆注浆,分部封闭成环,初期支护为网、锚、喷加型钢架,二次衬砌为钢筋混凝土结构;采用五步开挖作业简便,无需使用特殊施工机械,容易推广应用;边墙与拱部采用一套组合模板台车,具有费用低、效率高、混凝土外观质量好的优点。

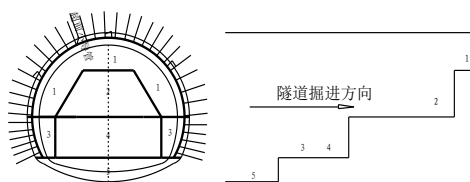
#### 2 适用范围

本工法适用于新奥法指导施工的较大跨度软弱围岩隧道。本工法适用于地下水比较大的千枚岩地段大断面公路隧道(开挖半径大于 5.5m)Ⅴ级及Ⅴ级加强段围岩施工,或同类地质水文条件下的其他类型地下工程施工。

#### 3 工艺原理

采用上下台阶预留核心土法施工较大跨度的隧道,其机理是将洞室断面分为上部环形拱部、上部核心土、下部

弧形拱部、下部核心土以及仰拱,由于上下部有核心土支撑着开挖面,而且能及时施做拱部初期支护,开挖工作面稳定性好,施工安全有保障。



上下台阶预留核心土施工示意图一

- 1- 上弧形导坑开挖及支护
- 2- 上核心土开挖及支护
- 3- 下弧形导坑开挖及支护
- 4- 下核心土开挖
- 5- 仰拱开挖及支护

图1 上下台阶预留核心土法施工示意图

在地下水丰富的千枚岩地段施工隧道,最重要的问题是解决千枚岩遇水软化后引起的围岩变形问题。我们按

照新奥法施工的理念,遵循“管超前、弱(不)爆破、强支护、早封闭、勤量测”的施工原则,制定富水千枚岩地段施工方案为:超前物探、钻探结合探水、超前注浆堵水、超短台阶人工开挖(局部辅以弱爆破)、初支加强、仰供超前、二衬紧跟。

#### 4 工艺流程及操作要点

##### 4.1 工艺流程

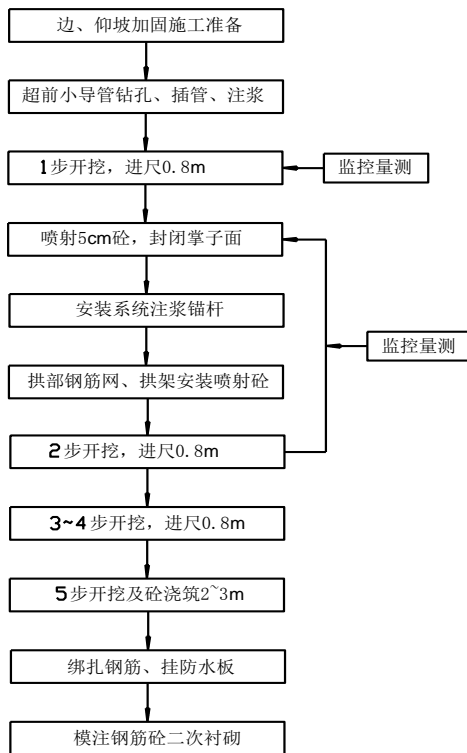


图2 施工工艺流程图

##### 4.2 操作要点

###### 4.2.1 施工准备

- (1) 熟悉设计图纸,制定详细的施工方案
- (2) 地表布置监测桩点,并进行原始数据测量
- (3) 分析洞内的地质情况和稳定与否,制定进洞前辅助加固措施

- (4) 准备施工队伍和设备,培训施工人员,组合所需材料。

###### 4.2.2 地下水处理

富水千枚岩地段,快速、有效的隔断水对围岩的作用对隧道开挖后的稳定性非常重要,施工中采用开挖前超前注浆、开挖后径向注浆堵水措施,对地下水进行封堵;采用洞内挖集水坑、排水渠的措施对洞内水进行抽排,安排专人24小时对洞内排水进行监控值班。

注浆堵水,小导管超前及径向注浆。当单孔流量大于 $5\text{m}^3/\text{h}$ ,小于 $40\text{m}^3/\text{h}$ 时,采用小管注浆封堵地下水。在富水千枚岩段,每隔3m进行预注浆,采用先钻后下钢管的

方法建造小导管,将钢管尾部与工字架焊接成一个整体。墙体采用喷射混凝土密封,混凝土厚度10厘米,注浆泵两台kby50/70。初期支护时同步设置径向注浆小管,为节省时间,径向注浆管全部用钢丝捆绑在预埋侧墙的 $\phi 10$ 钢筋上,开挖时采用4台kby50/70注浆泵注浆。

###### 4.2.3 开挖与支护

(1) 开挖顺序:1部先行开挖,随即依次开挖2步→3步→4步→5步。1、3部采用光面爆破后装载机出土至下台,2、4、5部采用挖掘机开挖,15T自卸汽车运输。上下台阶间距控制在15-30m之间。

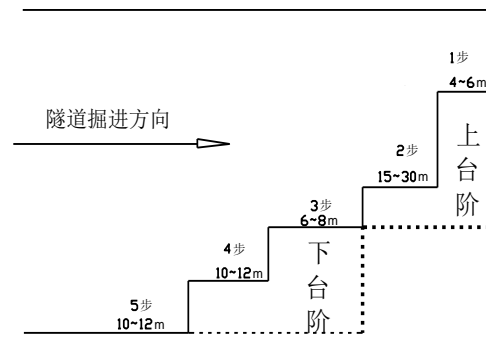


图3 五步开挖示意图

开挖循环进尺与设计型钢间距相同,即每次开挖进尺与型钢钢架的间距相同:0.8m。

(2) 初期支护为:C25喷射混凝土厚26cm,I20工字型钢架间距为0.6m,单层HPB235钢筋网以及法向系统注浆锚杆,每两榀钢架之间设 $\phi 25$ 纵向连接钢筋,环向间距为0.6m。

(3) 喷射混凝土采用湿喷工艺,可大幅度减低粉尘浓度和回弹率,增大一次喷层厚度,提高生产效率,保证工程质量。

A、将符合要求的水泥、砂、碎石、水、外加剂按配合比加入搅拌机,拌好后的混凝土加入喷射机的料斗,根据喷射机的操作规程进行喷射。

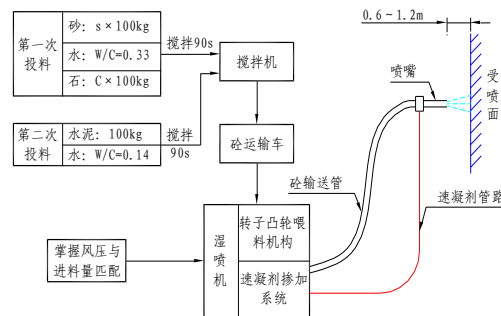


图4 湿喷工艺流程图

B、设备。500L混凝土搅拌机一台、 $20\text{m}^3$ 电动空压机一台、 $3\text{m}^3$ 混凝土罐车两台、TK96-1型湿喷机一台。

C、人员。湿喷机司机1人、喷射手2人、上料3人、

运料 4 人、搅拌 3 人、电工 1 人、班长 1 人，共计 15 人。

D、材料。细度模数大于 2.77 的中粗砂、碎石最大粒径 10mm、PO.42.5 级普通硅酸盐水泥、SDJY 型高效液态速凝剂、饮用水、高效减水剂。

E、注意事项

- ①混凝土材料和易性好，坍落度控制在 8-15cm；
- ②风压控制在 0.1MPa 左右，风量 10 m<sup>3</sup>/min；
- ③喷射手要注意喷嘴的方向控制。

(4) 施作工序

A、在台阶上部测量划出开挖轮廓线，沿轮廓线搭设超前小导管并注浆；采用正台阶法开挖，1 部采用光面爆破配合人工出渣，单循环进尺 0.5-0.8m；周边初喷混凝土厚 5cm，架立钢架，挂网焊上连接杆。钢架 0.8m/榀；在周边钻锚杆孔，安装系统径向锚杆并注浆；周边复喷混凝土至设计厚度。

B、待 1 部进尺 2-3m 时，进行 2 部开挖。4、5 步开挖采用挖掘机配合 15T 载重汽车出渣。

C、上下台阶之间间隔 15-30m。开挖下台阶前确定 3 步开挖的轮廓线，

3 步开挖采取马口交叉施工，两边不得同时开挖，错开最小间距为 3m。开挖采用人力及风镐，周边初喷混凝土厚 5cm，架立钢架挂网焊上纵向连接杆，钻孔布设径向系统注浆锚杆，钢架之间的横向连接采用钢板和连接螺栓，并采取焊接作为加强措施。钢架的底部、背部垫设混凝土垫块，周边复喷混凝土至设计厚度。

D、待 3 步开挖 6-8m 时，开挖 4 步、5 步，开挖采用挖掘机配合 15T 自卸汽车出渣，开挖长度控制在 10-12m，灌注隧底仰拱及矮边墙砼，矮边墙预留接茬钢筋，每循环 12m。

4.2.4 二衬施工

隧道施工工序繁多，施工干扰因素多，如果采取人工立模加横撑进行二次衬砌施工，对前方开挖出渣进料造成不利影响。从作业循环时间和施工进度考虑，人工立模衬砌速度缓慢。隧道断面衬砌跨度大，立模加固困难，衬砌外观质量难以保证。因此衬砌施工方案如下：砼在洞外自动计量拌合站拌制，砼运输，输送泵泵送入模，边墙、拱部采用模板台车衬砌。

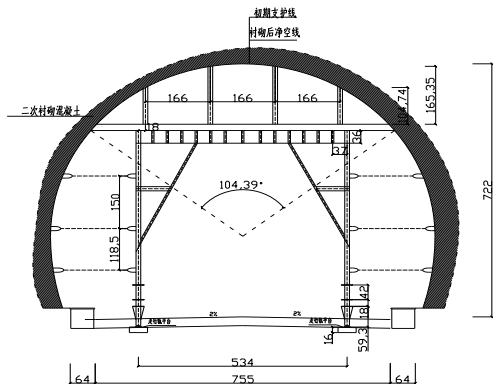


图 5 模板台车

A、要求。液压动作，自动行走，拱架配组合钢模，拱架可上下左右动作，内净空可通过 ZLC-50 装载机。

B、参数选定。轨距 5340mm，钢轨 43Kg/m，轨枕槽钢 160×160；门架高度 7126mm，液压系统：系统压力 16MPa，泵排量 20ml/r。

4.2.5 施工监测项目

监控量测项目主要根据隧道工程的地质条件、围岩类别、跨度、埋深、开挖方法和支护类型等综合条件确定，具体项目、测点布置、量测频率和周边允许相对位移值见表 1、2、3。

表 1 监测项目表

序号	监测项目	测试工具及仪表	备注
1	岩性，结构面产状及支护裂隙	放大镜	必测
2	地表下沉	水准仪	必测
3	拱顶下沉	精密水准仪	必测
4	周边位移	收敛计	必测
5	围岩应力	压力盒、水准仪	必测
6	锚杆轴力	应力计	必测
7	衬砌内应力、表面应力及裂隙量测	压力盒	必测

表 2 测点布置表

围岩级别	测点间距	水平收敛	拱顶下沉	表面位移
V	10-20m	5	3	2
IV	15-30m	5	3	2

表 3 量测频率

位移速度 (mm/日)	距工作面距离	量测频率
>10	0-1B	1-2 次/日
5-10	1-2B	1 次/日
5-1	2-5B	1 次/2 日
<1	>5B	1 次/周

注：B 为隧道开挖宽度

根据位移变化速率判别，当净空变化速率连续三天大于 1mm/d 时，需加强支护系统；当拱顶下沉速度小于 0.07~0.15mm/d，或周边位移速率小于 0.1~0.2mm，则认为围岩基本稳定。

4.2.6 注意事项

上下台阶预留核心土法施工应坚持“管超前，短进尺，弱爆破，强支护，勤量测，早封闭”的原则

4.2.7 劳动组织

劳动力组织人员配备表见表 4

表 4 劳动力组织人员配备表

开挖	人数	衬砌	人数
测量 (含监测)	8	防水板铺设	6
钻孔 (含锚杆安装及爆破)	20	混凝土生产	12

开挖	人数	衬砌	人数
出渣	15	输送泵	6
喷射混凝土(含架立钢架)	15	混凝土运输及振捣	12
排水、通风道路维护	8	立模定位	14
电工	3	钢筋绑扎	10
合计	69	合计	60

## 5 机具设备

表5 施工机械设备配备表

序号	机械设备名称	型号	数量
1	轮式装载机	龙工 ZLC50	2
2	挖掘机	卡特 320	1
3	自卸汽车	15T	5
4	电动空压机	20m3/135kw	2
5	凿岩机	YT28	8
6	潜孔钻		2
7	搅拌站	350L	1
8	输送泵	HBt60a	1
9	混凝土搅拌机	Js750	2
10	混凝土运输车	vr350	1
11	湿式喷射机	TK96-1	1
12	水泥净浆搅拌机	200a 型	1
13	模板台车		1
14	抽水机	147×106	3
15	电焊机	Xj-600	5
16	切断机	GJ32	2
17	发电机	250KW	1
18	变压器	500KVA	1
19	轴流式风机	55kw	2

## 6 质量控制

本工法除执行施工设计图纸等文件的有关技术要求,执行《公路隧道施工及验收规范》《钢筋混凝土工程施工及验收规范》外,还应注意以下质量标准:

(1) 超前小导管钻孔要严格控制在插角,注浆应饱满;(2) 钢支撑应严格测量检查,准确定位,连接良好,拱脚不悬空;(3) 锚杆应确保眼深,注浆饱满,抗拔力达到设计要求;(4) 喷射混凝土达到设计厚度,强度合格。

## 7 安全措施

施工过程中除严格遵守国家和部颁有关隧道施工安全技术规则外,还要注意以下事项:(1) 设专职工程技术人员做好地质描述和超前地质导报,并根据监控量测的结果,调整支护参数,确保施工人员、设备的安全;(2) 隧道采取光面爆破,严格按爆破设计和《爆破规程》操作施工,严格控制药量,做好软岩的防塌,光爆成形工作;(3) 洞内严格控制进尺,严格按设计和施工方案进行超前小导

管注浆,在上一环初期支护完成以前,不得进入下一环开挖作业;(4) 结构应及时封闭成环;(5) 拱部开挖支护完成,在架设临时竖向支撑后,方可拆除导洞内壁上部的临时支护钢架。

## 8 环保措施

永久陆地的裸露表面被植被覆盖。工程建成后,所有临时设施和临时生活设施均在临时用地范围内,做好土地租赁和泥石流场的耕作,绿化原有场地,恢复原有的自然风貌。离场时进行清理,达到当地政府、群众和其他有关单位的满意,并取得有效文件。

合理的建设用地布局、生产、生活设施尽量在征地范围内,少占或不占用耕地,尽量不破坏原有植被,不随意砍伐树木,并在其周围植草或植树绿化,创造更好的环境。

### 8.1 水土保持措施

为了保护隧道外的环境和水源不受污染,在隧道入口处设置了污水处理系统。控制施工灌浆用水泥等浆液的渗漏,按设计要求严格控制隧道排水量,对进入隧道排水系统的浆液废液进行净化和合格处理,避免浆液污染洞外生活,生产用水。住宅水源附近的建筑工地与工地之间用沟渠或堤坝隔开,以免污染水源。在建设生产现场和生活区时,建设必要的临时排水渠道,将污水处理和永久排水设施连接起来,以免造成渠道淤积侵蚀。在建造工程进行期间及之后,建造区及沙石料场须进行美化及修复工程,以减少水土流失。及时保护弃土场,挡土墙上设有排水孔和过滤层,避免雨季冲刷弃土和污染河流。

### 8.2 大气污染防治

隧道爆破后,利用水幕将烟气中的 2 号、2 号、nh3 溶解,避免对大气造成污染。消烟罩安装在孔外,减少对大气的污染。

### 8.3 粉尘防治

隧道爆破除尘采用水幕除尘器。隧道干式除尘器用于喷射混凝土和装载道碴时的除尘。根据经验,当隧道风速达到 1.5 ~ 3.0 m/s 时,工作场所空气中的粉尘含量将降至最低。定期对工程机械车辆进行洒水和清洗,以减少粉尘危害。为隧道工人提供口罩及防毒面具,并定期进行身体检查。松散蓬松的建筑材料用彩色条布、粗毛布等覆盖,放置在住宅区的顺风位置。

### 8.4 噪音污染防治

加强工程机械设备的维修保养,减少噪音和污染。井外容易产生噪音的工程(如砾石加工厂)夜间关闭。建筑工地严格按照 GB12523-90《建筑工地噪声限值》中的有关规定和要求。对有噪音的工程施工,合理安排施工组织方案,避免夜间干扰居民,减少噪声对当地居民的影响。8.5 生产生活垃圾的处理

隧道弃土及碎屑场地的清理工作,例如表土、草皮、树木、树桩、根、灌木及垃圾等。弃土场顶部外缘设置环



形截流沟,弃土场顶部向外设置坡度不少于2%的排水斜坡。有害物质(如染料、油类、废物及生产、家居废物等)由当地环境保护部门处置及运往指定地点掩埋,以防止渗漏及腐蚀对生态资源造成损害。

### 9 资源节约

(1) 采用上下台阶预留核心土的施工方法,能较好地保证围岩的稳定性及隧道施工的安全性,减少临时支护。

(2) 与原设计施工方案相比,机械利用率高达90%,减少能源的浪费。

### 10 效益分析

在IV-V级围岩条件下,采用台阶法五步开挖的施工方法。能较好地保证围岩的稳定性及隧道施工的安全性。且台阶之间可平行穿插作业,互不干扰;开挖具有足够的作业空间和较快的施工速度,隧道掌子面每天掘进达3m。

衬砌施工中由于采用模板台车,既保证了混凝土的外观质量,解决了各工序的干扰问题,又加快了衬砌速度。与原设计方案相比,机械利用率高达90%,在短短的两个半月内仅人工费一项就为项目节约资金10万元,经济效益显著。

### 11 工程实例

由新疆北新路桥集团股份有限公司承建的周家山隧道时TJ07合同段长隧道。左线全长1672m,右线全长1689m,均为V级围岩。隧道围岩以千枚岩为主,地下水丰富,断

层破碎带较多,施工难度较大。周家山隧道自开始洞内施工以来,按照两台阶五部开挖法施工,日平均进尺3米,取得了较好的经济效益。

周家山隧道施工地段均处于断层挤压带内。隧道围岩为IV、V级围岩,地质特征表现为:围岩呈褶皱挤压状态,岩体强风化、破碎,结构面光滑,岩层软硬交错裂隙很发育,加之地下水相对富集,很容易造成围岩失稳甚至出现小坍塌现象。

新疆北新路桥集团股份有限公司在广平高速项目软弱围岩隧道施工中采用台阶法五步开挖施工工法,坚持“管超前,短进尺,弱爆破,强支护,勤量测,快封闭”的施工原则,使围岩的下沉和收敛得到良好的控制,取得了成功的经验。

### 【参考文献】

[1]曹卫平.千枚岩隧道施工过程中的变形与受力分析[D].陕西:西安工业大学,2021.

[2]邱瑞成.千枚岩堆积体大变形隧道双层初期支护关键技术研究[D].四川:西南交通大学,2019.

作者简介:吉庆锋(1981.9-)男,毕业院校:西安交通大学,所学专业:土木工程,当前就单位:新疆北新路桥集团股份有限公司,职务:总工程师,职称级别:高级工程师。