

文章编号:1006—2106(2004)04—0085—04

# 软岩隧道施工技术探讨

张焕成\*

(中铁十四局集团公司, 山东 济南 250014)

**摘要:**本文通过西南某山区铁路斜坡软土地段的软岩隧道施工所揭示的工程地质问题,浅述了对炭质页岩、泥灰岩岩性的初步认识和采取的施工对策,重点介绍了软岩隧道浅埋洞口段施工技术,及富水软岩破碎段施工支护开裂变形,衬砌混凝土开裂的原因分析及处理技术。

**关键词:**软岩;隧道;施工技术;探讨

**中图分类号:**U455 **文献标识码:**A

## 1 工程概况

西南某山区铁路,通过斜坡软土地层的软岩隧道施工,隧道所处地形起伏不大,属云贵高原剥蚀深丘地貌,地表植被较差。沿线不均匀分布有坡残积、坡洪积、沟槽型的高山斜坡软土;下卧基岩为灰岩夹页岩,炭质页岩、泥灰岩。薄煤层、炭质页岩、页岩呈薄层状,破碎状,质软,遇水极易泥化,在地下水的长期作用下,强风化的炭质页岩、泥灰岩多呈软塑状,工程力学性质差,自稳定能力弱。

## 2 软岩的风化试验和塑性变形

### 2.1 强风化炭质页岩风化试验

为分析在水的作用下,下卧炭质页岩风化特性,进行了炭质页岩的风化试验。试件取自强风化层中质地较好的炭质页岩,制成体积相近,几何尺寸基本相同的二组共10个试件,每组5件。分别在实验室和施工现场作风化试验,试验期间选在2000年7月16日~8月16日,在此期间,工地降雨比较频繁,降雨频率约3d一次,每5d测试一次风化量。第16d,现场试件基本崩解风化;实验室采用每天对试件喷洒一次水,一次15分钟,试件在第22d完全崩解风化,两次的风化量对比曲线如图1所示。

试验结果表明:以炭质页岩为主要成分的强风化岩,遇水软化,具有流变滑动性。炭质页岩暴露于空气

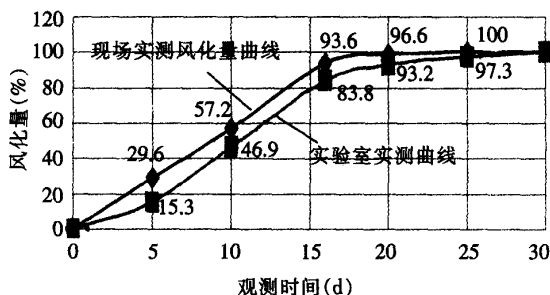


图1 强风化炭质页岩风化解分量与风化时间的关系图  
中15d左右即完全崩解泥化。

### 2.2 现场实际

炭质页岩风化试验为单体试件。隧道弃碴场所弃的大量的炭质页岩,泥灰岩弃碴,则是刚开挖、新出洞,大小不一样,新鲜程度较好的岩块,堆积在一起。一个多月下来,岩块不见了,全部崩解,泥化成一堆黑土,原来高低不平的岩堆,经雨水、空气、阳光的作用,泥化了、流滑了,逐步成为一个较为平整的黑色土地。原设计准备利用洞碴作填料也只好作罢。

### 2.3 富水、软岩破碎带地段软岩的塑性变形,造成工程病害

在隧道的开挖过程中,遇有富水、软岩破碎带地段,软岩产生塑性变形,尤其应该引起重视。由于施工产生了临空面,软岩体向洞身空间膨胀挤出,产生塑性挤压变形,这种变形很难控制,往往造成施工支护开裂

\* 收稿日期:2004—03—11 张焕成 高级工程师 1949年12月出生,现任中铁十四局集团公司副总工程师

变形。同时,由于富水、软岩破碎,隧道底部极易软化,承载力在较短时间内迅速下降,引起边坡地方坍塌,衬砌混凝土开裂,造成工程病害。

### 3 工程病害的处理

#### 3.1 洞口浅埋段工程滑坡

某隧道进口位于两山相交的沟谷斜坡上,洞口段DKxx+120~+170埋深仅4~9 m,覆盖层表层1.0 m左右为砂粘土,下伏风化的炭质页岩、泥灰岩。受雨水长期浸蚀作用,自然张开裂隙的风化软岩软化成泥,形成高山斜坡软土。这种软土具有流滑性、蠕动性、受扰即动的特性。由于洞口拉槽施工形成临空面,造成洞口右侧山体两次坍塌,山坡开裂,裂缝宽度8~20 cm,切割深度17 cm以上,边仰坡开裂,截水天沟断裂破坏。对洞口坍塌体采取的加固处理措施有:

- (1) 接长10 m的明洞;
- (2) 在山体右侧(滑体一侧),增设5根2×2.5 m抗滑桩,桩深20~22 m;
- (3) 加高、加厚洞门两侧挡土墙;
- (4) 完善排水体系,夯实洞顶截水沟的基础,施作好洞顶排水沟,明洞顶排水沟;
- (5) 洞口仰坡,进行锚网喷射混凝土加固坡面。锚杆采用 $\phi 22$ 砂浆锚杆,3 m/根,1 m间距,梅花型布置;钢筋采用 $\phi 8$ 钢筋,网格为25×25 cm,喷混凝土10 cm。

#### 3.2 DKxx+120~+170 拱部施工支护变形开裂处理

**3.2.1 施工图设计:**拱部施工支护措施:1樘/m $\phi 22$ 钢筋格栅钢架,超前锚杆,单层挂网,喷射混凝土12 cm厚,正台阶法开挖,衬砌为先拱后墙。

**3.2.2 先进行拱部上导坑开挖支护,**边开挖,边架设格栅钢架,施作超前锚杆、单层挂网,喷12 cm混凝土,每3樘格栅钢架一个循环,当由DKxx+120施工至DKxx+140处,喷锚支护相继出现环向裂纹,自拱顶向拱脚延伸,其中DKxx+125.8、137.4、+140等处裂纹以环向贯通。最宽裂纹2 cm,裂深达30 cm,拱脚位移量最大达5 cm,拱顶最大下沉量26 cm,局部施工支护侵入二次衬砌设计空间3~5 cm(扣除预留下沉量)。

##### 3.2.3 施工支护开裂变形原因分析

该段围岩设计为炭质页岩、泥灰岩夹灰岩。开挖揭示为:严重风化的炭质页岩,泥灰岩。

地下水发育。该段为隧道进口浅埋段,埋深仅4~9 m。受洞口二次坍塌牵引,覆盖表面层已有裂缝。由于地下水和地表水的共同作用,炭质页岩泥化速度加快和其遇水膨胀性的作用,导致拱部产生塑性挤压变形。虽然采

取了格栅钢架辅以超前锚杆及挂网喷射混凝土支护的措施,拱部围岩仍无法维持稳定,施工支护严重开裂变形。

#### 3.2.4 拱部加固处理技术措施

(1) 加强支护措施,自DKxx+140~+170开始加密格栅钢架,由1樘/m改为2樘/m,格栅钢架主筋由原来的 $\phi 22$ 改为 $\phi 25$ ;拱部增设系统锚杆10樘/m;超前锚杆改为 $\phi 42$ 超前小导管注浆;单层挂网改为双层挂网,喷射混凝土厚度由12 cm改为20 cm。

(2) 采用26槽钢门式主框,扇形支撑系统支顶拱部严重开裂变形地段,见图2。

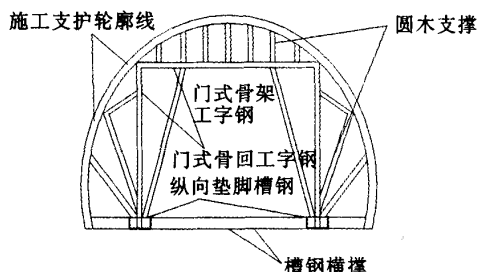


图2 槽钢门式主框扇型支撑

- (3) 停止上导坑开挖掘进。
- (4) 加强拱部混凝土衬砌,拱部混凝土衬砌,加入1樘/m格栅钢架,衬砌混凝土改为钢筋混凝土,混凝土标号由C20改为C25。

#### 3.3 DKxx+120~+180 段落底及边墙开挖施工技术

##### 3.3.1 落底

采用先拉中槽,再进行边墙开挖方案进行。边墙开挖,采用“挖井法”施工。

##### 3.3.2 挖井法施作边墙柱

挖井法施工:自起拱线标高,在拱脚处左右错开。挖竖井至边墙底至基岩(视承载力而定),然后立模,再在边墙设计尺寸内施工混凝土立柱,柱顶及前后预留连接筋,以便于后施工拱部及边墙衬砌联成整体。

挖井法截面,以人工作业需要的最小空间及立模尺寸,一般不大于2.0×1.8 m,其中包括护壁厚度(0.15~0.2 m)在内。一般在钢筋混凝土立柱内侧预留0.1~0.15 m,以便边墙衬砌时将柱包在内。若边墙结构厚度不允许,也可不留厚度。同等级混凝土连同边墙一次施工。

挖井法施工顺序:开挖左竖井,施工护壁;浇筑立柱或边墙;开挖右竖井,施工护壁;浇筑右立柱或边墙;安装托梁及拱部钢筋,立模浇筑混凝土;下半断面拉槽,浇筑仰拱。

### 3.4 DKxx+565~+685段混凝土衬砌纵向开裂处理

#### 3.4.1 施工图设计

DKxx+565~+588设计为Ⅲ类曲仰混凝土衬砌, DKxx+588~+685段后变,为Ⅱ类曲仰混凝土衬砌,拱墙均设格栅钢架,1榀/m,拱墙锚喷支护。施工方法为先墙后拱,正台阶开挖,全段面衬砌,衬砌距开挖掌子面6~10 m。

#### 3.4.2 裂纹描述

混凝土拆模后7~9 d开始发现,在起拱线上下0.5~1.0 cm范围内,出现纵向微细裂纹,裂纹宽度一般在0.2~0.4 cm,裂缝最大宽度为0.5 cm。后贴模块贴纸逐日量测,9~20 d时间范围内,裂缝有所发展,一是纵向裂纹,局部出现了树枝状裂纹;二是裂缝宽度加大,一般裂缝宽度为0.5~0.7 cm,个别最大裂缝宽1.2 cm,一个月以后裂缝趋于稳定,直至整个隧道竣工,均未有发展。

#### 3.4.3 混凝土衬砌纵向裂缝原因分析

该段岩层为炭质页岩、泥灰岩,岩层倾角10°,岩层节理发育,岩石破碎。其中DKxx+570~+580、DKxx+630~+674拱部及左边墙均发生过坍方。地下水相当丰富,部分地段地下水成股状流出。炭质页岩遇水迅速成泥,使边墙基底承载力迅速降低,形成不均匀沉降,炭质页岩、泥灰岩遇水膨胀,拆除模板和支撑后,边墙基底不均沉降和软岩弱膨胀共同使素混凝土衬砌产生裂纹。后来尽管采取了仰拱铺底超前,仰拱和边墙连接处预埋连接钢筋等措施,也未能阻止裂缝顺沿发展。

#### 3.4.4 处理措施

3.4.4.1 DKxx+580~+640裂缝较严重地段,拱墙内嵌入I18工字钢箍,一榀/m,并用 $\phi 22$ 锚杆固定,按20榀/根, $L=3.5$  m。其施工工序为

混凝土衬砌凿槽(2.5×2.5 cm)→钻孔→安装锚固剂→打入钢筋→安装钢箍→钢箍和锚杆焊接→立模板→浇筑干硬性混凝土→拆模板。

施工要点:为保证钢箍的弧度和拱墙一致,工字钢先在工地加工厂预先弯好,采用翼板开槽弯折的方式进行。锚固剂先在水中浸泡2~3 min,用竹竿捣入孔内,再用大锤将钢筋打入;混凝土坍落度不大于3 cm,采用细石混凝土,见图3。

#### 3.4.4.2 二次衬砌注浆

由于安装嵌入I18工字钢,锚杆3.5 m长,把预先铺设好的防水板刺破,造成隧道渗漏水。结合拱墙内嵌入I18工字钢箍,变更设计要求进行注浆加固,一并进行注浆。

##### (1) 衬砌背后注浆

钻注浆孔:拱顶预埋 $\phi 42$ 塑料管,每组3个,间距3 m。

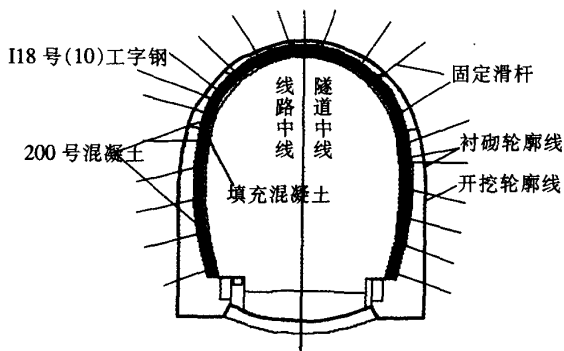


图3 衬砌开裂加固图

注浆材料:以普通水泥,TGRM水泥基为主,适当掺入一些化学外加剂(速凝剂、缓凝剂)。配合比根据胶凝时间现场试验选定。胶凝时间根据注浆情况调节,一般控制在3~5 min内。

注浆液:1:1的水泥浆液。局部漏水较严重处,采用水泥浆+水玻璃双液注浆。

注浆机:KBY-50/70双液注浆泵,注浆压力1.5~2.0 MPa。

注浆方式:循环注浆,一般需注2~3次浆液,每次注浆均以浆液注不进为原则。

##### (2) 衬砌内注浆

衬砌背后注浆结束后,对局部还有渗水的地方,采取局部衬砌内注浆的处理措施。

注浆孔: $\phi 10$ 铝管,钻孔位于渗漏水部位,间距40 cm左右,深入衬砌15 cm。

注浆液:环氧树脂

注浆机:人工(手持)注浆机,注浆压力控制在0.5~1.0 MPa。施注时,注意连续注浆,不跳注,不漏注,保证封注质量。

## 4 几点建议

### 4.1 施工方法

台阶法分部开挖,短台阶施挖,上半断面应设临时仰拱。

### 4.2 预留变形量

开挖轮廓线应预留软岩变形量。

对于炭质页岩、泥灰质岩为主隧道,地下水发育的,建议拱部预留变形量20~23 cm,边墙预留变形量8~10 cm,底部预留变形量4~6 cm。

### 4.3 加强拱墙支护措施,提高二次衬砌规格

相同级别的围岩,由于软岩徐变,有膨胀变形特

性。施工支护变形收敛时间长,应加强施工支护措施。除拱墙格栅钢架外,应加长锚杆长度,使之进入围岩弹性变形区不小于2 m。提高网喷厚度,注意采用柔性网喷材料。提高二次衬砌混凝土标号、厚度,必要时加设钢筋。

#### 4.4 注意隧道底部处理

对富水破碎软岩段,由于隧道底软岩极易泥化,所以隧道底一定要认真处理。通过实践建议采用如下办法进行处理:挖井法施工边墙柱,自起拱线标高起,在拱脚处左右错开,挖竖井至边墙底至基岩(视承载力而定),使拱部、立柱、边墙、托梁联成整体;仰拱应为曲仰拱,比同级围岩曲率有所加大。超前施作仰拱,及早封闭成环。在仰拱处按设计位置预留钻孔,采用单管高压旋喷桩加固隧道底部。单管高压旋喷桩要求嵌入风化岩层1.0 m以上。

#### 4.5 洞口浅埋

覆盖层为5~10 m左右地段,建议以预加固处理覆盖层并辅以洞内施工支护的方案为主。

预加固措施宜采用单管高压旋喷桩预加固。加固范围:至隧道两侧边墙外2.2 m。预加固段预留变形量,拱部预留13~16 cm,边墙底部预留5~7 cm。

### 5 结束语

上述工程病害施工过程中采取了加固措施,进行了认真处理,取得了较好的效果。处理结果满足设计要求和运营、使用功能。临管运营两年来,结构稳定安全,未发现新的裂缝和变形,但给施工带来了很大难度。总结经验教训,应逐步加深对软岩隧道的认识,从设计和施工技术上进行改进和完善,保证软岩隧道的建筑质量,更好地适应高速安全运营发展的需要。

## THE DISCUSSION OF THE SOFT ROCK TUNNEL CONSTRUCTION TECHNIQUES

ZHANG Huan-cheng

The fourtinth Engineering Group Co., Ltd. of China Railway

**Abstract:** The article discusses the elementary understanding of carbonaceous shale and argillaceous shale lithology and also dissertates the construction measures that were adopted in the engineering through the project geological problems in the construction of soft rock tunnel which is located in the railway shope soft ground of a mountainous area southwest china. It also emphasize on introducing the soft rock tunnel entrance section construction techniques and discussing the reason analysis and treatment technology of the construction shoring distortion in hydrous soft rock crashed section and concrete masonry for supporting.

**Key words:** soft rock; tunnel; construction techniques; discussion

(上接第 92 页)

## THE SULFATE ATTACK ON THE LINING CONCRETE IN TUNNEL AND IT'S RENOVATION ENGINEERING

SUN Yu-bo<sup>1</sup>, YU Gui-xue<sup>2</sup>, WANG Hui<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Huaihua Railway Engineering Corporation of Guangtie Group; <sup>2</sup> Central South University; <sup>3</sup> Construction and material research and Design Institute of Hunan

**Abstract:** By the construction for to prevent the lining concrete from corrosion/seepage in the two tunnel, it has been brought to light that there are the sulfate attack to the lining concrete in the souther part of the country. By the way of 'much exploring hole with small-bore + few hole with big-bore', it's quite easy to look out for headwaters of seepage in the tunnel. By the simulated test for dry environment with high speed wind in tunnel, we have got the concrete materials with excellent stability in volume. The concrete materials display good property about resistance to corrosion/ seepage in the process of construction.

**Key words:** Lining concrete in tunnel; sulfate attack; concrete with resistance to corrosion/ seepage; construction to prevent the lining concrete from corrosion/ seepage

作者: [张焕成](#)  
作者单位: [中铁十四局集团公司, 山东, 济南, 250014](#)  
刊名: [铁道工程学报](#)   
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)  
年, 卷(期): 2004 (4)  
被引用次数: 3次

本文读者也读过(10条)

1. [张运山](#) [乌鞘岭隧道软岩地段衬砌防渗防裂技术对策](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#)2004 (6)
2. [于维刚](#) [新奥法在西迪阿里软岩隧道施工中的应用](#)[会议论文]-2007
3. [杨春勃](#) [多层台阶法在软岩隧道中的应用](#)[期刊论文]-[中国高新技术企业](#)2008 (23)
4. [朱启光](#). [ZHU Qi-guang](#) [三台阶七步法在软岩隧道应用技术探讨](#)[期刊论文]-[山西建筑](#)2010, 36 (33)
5. [刘文军](#). [LIU Wen-jun](#) [齐岳山隧道高地应力地段施工技术研究](#)[期刊论文]-[工程与建设](#)2009, 23 (6)
6. [肖翔](#) [吊沟岭隧道软岩施工方法研究](#)[学位论文]2008
7. [肖春龙](#) [软岩隧道变形破坏及支护技术概述](#)[期刊论文]-[江苏煤炭](#)2004 (3)
8. [张孝伟](#). [ZHAGN Xiao-wei](#) [深埋隧道围岩压力与跨度的关系研究](#)[期刊论文]-[西部探矿工程](#)2009, 21 (7)
9. [刘贵应](#). [刘新喜](#). [魏新颜](#) [隧道塌方的尖点灾变模型及应用](#)[期刊论文]-[地质灾害与环境保护](#)2002, 13 (2)
10. [周传刚](#) [寒坡岭隧道出口洞顶仰坡开裂加固处理方法](#)[期刊论文]-[甘肃水利水电技术](#)2009, 45 (6)

引证文献(3条)

1. [熊友华](#). [万进风](#) [泥质板岩对下坝隧道施工的影响及对策](#)[期刊论文]-[公路与汽运](#) 2012 (3)
2. [杨春勃](#) [多层台阶法在软岩隧道中的应用](#)[期刊论文]-[中国高新技术企业](#) 2008 (23)
3. [付开隆](#). [蔡家鹏](#). [冯涛](#) [贵广线天平山隧道软岩变形分析](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2011 (4)

引用本文格式: [张焕成](#) [软岩隧道施工技术探讨](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2004 (4)