

# 断层破碎带隧道施工控制关键技术研究

刘学良

云桂铁路广西有限责任公司, 广西 南宁 530029

**[摘要]**以新建贵阳至南宁铁路永兴隧道工程为背景,采用FLAC有限差分软件进行数值分析,研究对断层破碎带段的注浆加固厚度对围岩加固的效果进行研究,通过现场监测对围岩压力和钢架应力以及围岩变形进行分析,结果表明依托工程采取的断层破碎带施工控制关键技术对隧道支护效果显著。

**[关键词]**断层破碎带; 注浆加固; 施工参数; 数值模拟

DOI: 10.33142/ect.v1i2.8729

中图分类号: U445.4

文献标识码: A

## Research on Key Technologies for Construction Control of Tunnel in Fault Fractured Zone

LIU Xueliang

Yungui Railway Guangxi Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530029, China

**Abstract:** Taking the Yongxing Tunnel Project of the newly built Guiyang Nanning Railway as the background, the numerical analysis was carried out by using FLAC finite difference software to study the effect of grouting reinforcement thickness in the fault fracture zone on the reinforcement of surrounding rock. Through on-site monitoring, the analysis of surrounding rock pressure, steel frame stress and surrounding rock deformation showed that the key technology of construction control in the fault fracture zone relying on the project had significant effect on tunnel support.

**Keywords:** fault fracture zone; grouting reinforcement; construction parameters; numerical simulation

### 引言

隧道工程是高铁建设项目中重要的组成部分,是保证高铁网络完整性的需要,也是网络的重要组成部分。隧道破坏一般多发生在围岩质量差和地层条件有大变化的复杂区域,对隧道中断层破碎带施工控制的关键技术研究对于隧道工程具有十分重要的意义<sup>[1-3]</sup>。曹胜根<sup>[4]</sup>提出采用顶板注浆加固技术预防断层破碎带顶板的垮落,基本解决了断层破碎带顶板垮落问题;翁贤杰通过研究隧道断层突水突泥机理,建立了隧道断层突水突泥注浆治理技术体系;张健儒<sup>[5]</sup>对断层破碎带地质特征进行研究,得出了隧道注浆堵水的方式要结合现场及围岩情况进行选择;杜志龙等人<sup>[6]</sup>运用化学注浆新技术对断层破碎带进行注浆加固处理;陶文斌等人<sup>[7]</sup>采用“预注浆+超前支护+架棚+二次注浆”全断面一次通过断层破碎带支护技术,对破碎带加固稳定性有较大改善。故而如何在开挖隧道时对断层带进行加固,如何有效的对断层破碎带进行合理的监测,是目前隧道工程中讨论的热点和难点,本项目将通过数值模拟及现场监测,对破碎带施工关键技术进行分析研究。

### 2 工程概况

本项目依托新建贵阳至南宁铁路永兴隧道,正线全长481.118km,其中贵州境内长199.644km,广西境内长281.478km。其中测区发育2条区域性断层带,受断层影响,断层附近岩体比较破碎,围岩稳定性差,且为地下水富集提供有利场所,岩溶更加发育,对隧道施工影响很大,易发生涌水突泥、塌方等问题。

### 3 数值模拟

#### 3.1 断层破碎带注浆加固模拟

隧道计算模型图如图1所示。计算采用FLAC有限差分软件进行数值模拟,依据圣维南原理和设计资料,计算模型的左右及下边界取四倍洞径,隧道埋深按实际埋深,采用弹塑性模型和Mohr-Coulomb屈服准则,隧道底部约束竖向位移,四周约束水平位移,选取开挖面为30m处的断面为监测断面,监测点分别为拱顶,侧墙和仰拱。根据设计资料确定断层破碎带围岩和支护结构的力学参数如表1所示。本文取无支护时应力释放率为30%,初期支护承担70%的围岩应力释放。注浆后弹性模量提高30%,密度提高10%,摩擦角提高30%,黏聚力提高50%,其他参数不变。

$$E = E_0 + \frac{S_g \times E_g}{S_c} \quad (1)$$

式中:  $E$ : 喷射混凝土折算后的弹性模量;  $E_0$ : 原喷射混凝土的弹性模量;  $S_g$ : 钢架的钢筋截面积;  $E_g$ : 钢架的弹性模量;  $S_c$ : 喷射混凝土截面积。

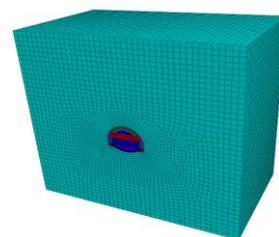


图1 计算模型图

表 1 破碎带围岩和支护结构物理力学参数

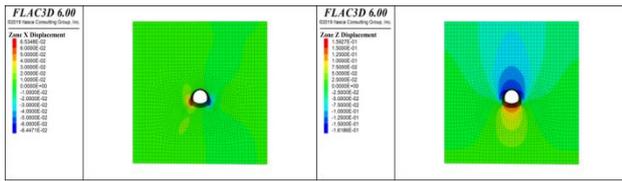
项目	重度 (kN/m <sup>3</sup> )	粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)	弹性模量 (GPa)	泊松比
围岩	16	100	18	0.132	0.45
钢架	78	--	--	210	0.35
喷射混凝土	23	--	--	23	0.2

### 3.2 计算结果分析

断层破碎带注浆加固效果模拟计算工况如表 2 所示。部分数值模拟计算结果云图如图 2 所示。不同注浆情况下的隧道拱顶沉降、水平收敛和仰拱隆起如图 3-5 所示。

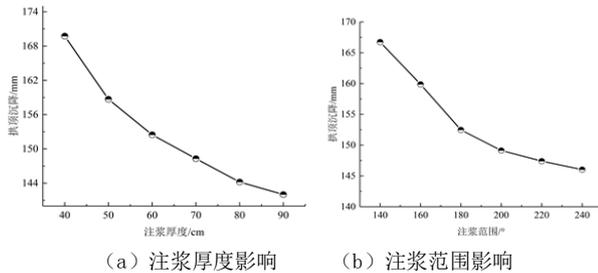
表 2 注浆计算工况

管棚项目	取值范围
厚度 (cm)	40 50 60 70 80 90
范围 (°)	140 160 180 200 220 240



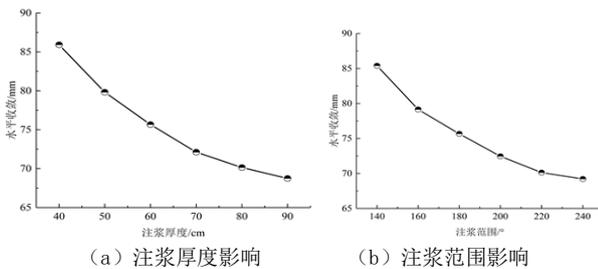
(a) 水平位移云图 (b) 竖向位移云图

图 2 数值计算云图



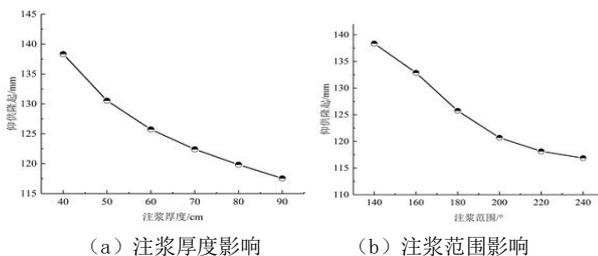
(a) 注浆厚度影响 (b) 注浆范围影响

图 3 注浆对拱顶沉降影响图



(a) 注浆厚度影响 (b) 注浆范围影响

图 4 注浆对水平收敛影响图



(a) 注浆厚度影响 (b) 注浆范围影响

图 5 注浆对仰拱隆起影响图

由图 3-3 可知, 随着注浆圈厚度和注浆范围的增大, 拱顶沉降表现为逐渐减小的变化趋势。当注浆厚度由 40cm 递增至 90cm 时, 拱顶沉降值分别为 169.74mm、158.69mm、152.47mm、148.29mm、144.21mm、142.01 mm。当注浆范围由 140° 增加至 240° 时, 拱顶沉降值分别为 166.74mm、159.87mm、152.47mm、149.12mm、147.39mm、146.02mm。

由图 3-4 可知, 随着注浆圈厚度和注浆范围的增大, 水平收敛表现为逐渐减小的变化趋势。当注浆厚度由 40cm 递增至 90cm 时, 拱顶沉降值分别为 85.91mm、79.82mm、75.66mm、72.12mm、70.14mm、68.74mm。当注浆范围由 140° 增加至 240° 时, 拱顶沉降值分别为 85.39mm、79.14mm、75.66mm、72.45mm、70.12mm、69.21mm。

由图 3-5 可知, 随着注浆圈厚度和注浆范围的增大, 仰拱隆起表现为逐渐减小的变化趋势。当注浆厚度由 40cm 递增至 90cm 时, 拱顶沉降值分别为 138.34mm、130.54mm、125.74mm、122.41mm、119.84mm、117.55mm。当注浆范围由 140° 增加至 240° 时, 拱顶沉降值分别为 138.36mm、132.87mm、125.74mm、120.69mm、118.14mm、116.87mm。

## 4 现场监测受力变形

### 4.1 监测内容及频率

根据项目具体情况, 本课题拟开展洞内支护结构受力和变形情况监测, 具体监控量测项目如下:

- (1) 初支与围岩之间接触压力: 了解围岩压力大小及分布情况, 进而合理确定狮子山隧洞地层围岩压力;
- (2) 钢架内力;
- (3) 周边收敛;
- (4) 拱顶沉降;

现场试验段监测内容汇总如表 3 所示。

表 3 现场试验段监测内容汇总表

序号	测试项目	测试元件	布置
1	围岩与初支间压力	压力盒	每断面 10 个侧位, 每个测位 1 个测点。
2	钢架内力	钢筋应力计	每断面 10 个侧位, 每个测位内外 2 个测点。
3	周边收敛	全站仪或收敛计	拱腰
4	拱顶沉降	全站仪	拱顶

现场实验各项目监测频率, 如表 4。由于本测试断面为研究试验段, 故应该采取更加频繁的测试频率。如埋设的测点在测试期间遭到破坏, 恢复以后按新埋测点要求采集读数。量测过程中若遇围岩变形速率较快时, 量测频率应在表中的基础上加密。当测试结果已完全稳定之后, 可结束测试。

表 4 监测频率

序号	项目名称	量测间隔时间			
		1~15天	16天~1月	1~3月	3个月以后
1	初支与围岩压力测试	2次/天	1次/天	2次/周	4次/月
2	钢架内力	2次/天	1次/天	2次/周	4次/月
3	周边收敛	2次/天	1次/天	2次/周	4次/月
4	拱顶沉降	2次/天	1次/天	2次/周	4次/月

#### 4.2 监控实施方案

##### (1) 围岩压力

围岩与喷射混凝土之间的压力盒是在喷混凝土施工以前埋设,埋设时,压力盒承压面(压力盒比较光的一面)紧贴围岩面(测围岩压力时)和喷射混凝土面(测层间接触压力时),压力盒与围岩接触面要平整,可在接触面上先用混凝土抹平,再将压力盒贴上去。围岩压力监测断面如图6所示。

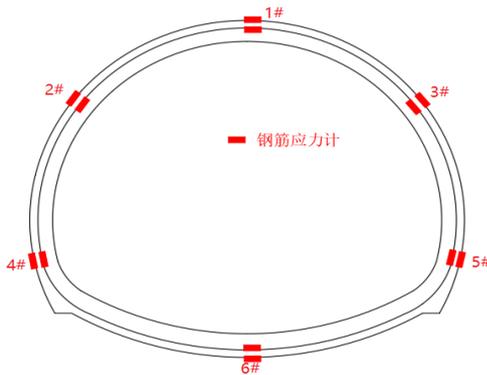


图 6 围岩压力监测断面图

##### (2) 钢架应力

采用钢筋应力计进行钢架内外侧的应力测量,隧道每个断面布设6个测位,每个测位内外2个测点。钢架监测断面如图7所示。

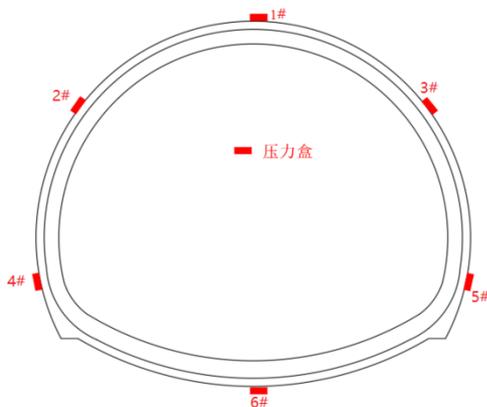


图 7 钢架监测断面图

##### (1) 拱顶沉降和水平收敛

拱顶沉降和水平收敛监测断面布置如图8所示。

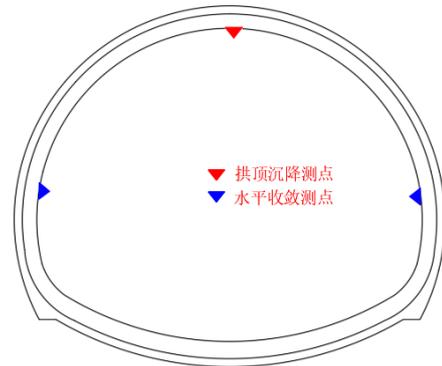
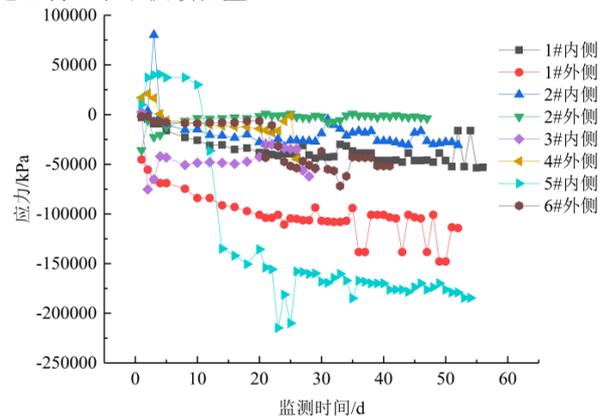


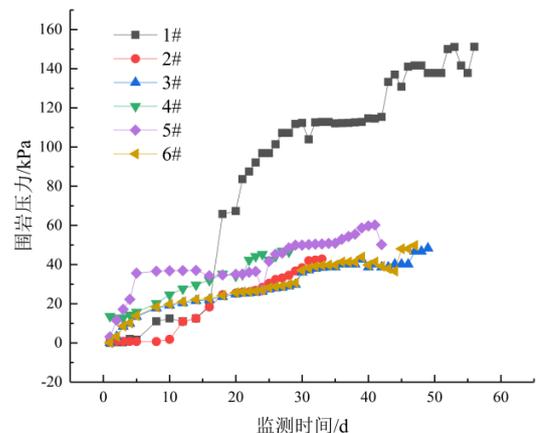
图 8 隧道变形监测断面布置图

#### 4.3 监测结果

隧道钢架应力监测及围岩压力监测时程曲线如图4-4所示。图4-4表明隧道围岩压力和钢架应力在50d时能够保持基本不变,依托工程采取的支护措施在断层破碎带有效。其中隧道拱脚钢架内侧的应力最大,拱顶外侧次之,左侧拱腰应力最小。对于围岩压力则表现为隧道拱顶围岩压力最大,为146.9kPa,而其他位置的的压力大小接近且明显小于拱顶位置。



(a) 钢架时称曲线



(b) 围岩压力时程曲线

图 9 现场监测时程曲线图

隧道拱顶沉降和水平收敛如 10 所示。图 10 表明隧道围岩变形在 30d 内能够基本保持稳定,其中拱顶的最大沉降为 140.71mm,水平收敛的最大值为 72.63mm。

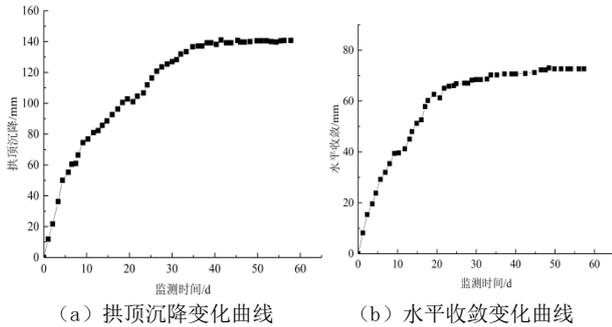


图 10 围岩变形曲线图

## 5 结语

本项目首先对断层破碎带的控制技术进行综述说明,其次通过数值模拟手段对断层破碎带段的注浆加固厚度和范围对围岩加固的效果进行研究,最后通过现场监测对围岩压力和钢架应力以及围岩变形进行分析,结果表明依托工程采取的支护效果有效。

## 【参考文献】

- [1]何川,李林,张景,等.隧道穿越断层破碎带震害机理研究[J].岩土工程学报,2014,36(3):427-434.
  - [2]崔光耀,王明年,于丽,等.汶川地震断层破碎带段隧道结构震害分析及震害机理研究[J].土木工程学报,2013,46(11):122-127.
  - [3]李天斌.汶川特大地震中山岭隧道变形破坏特征及影响因素分析[J].工程地质学报,2008,16(6):742-750.
  - [4]曹胜根,刘长友.高档工作面断层破碎带顶板注浆加固技术[J].煤炭学报,2004(5):545-549.
  - [5]张健儒.山岭隧道高压富水断层破碎带注浆施工技术[J].铁道工程学报,2010,27(5):58-62.
  - [6]杜志龙,张良,杨猛.断层破碎带化学注浆加固处理技术[J].煤矿开采,2010,15(6):61-62.
  - [7]陶文斌,马海峰,罗勇,等.大断面巷道过大落差逆断层破碎带支护技术[J].煤炭工程,2016,48(1):56-58.
- 作者简介:刘学良(1973.4-),毕业院校:西南交通大学,所学专业:土木(隧道)工程,当前就职单位:云桂铁路广西有限责任公司,职务:专业工程师,职称级别:工程师。