

文章编号:1671-6833(2017)04-0078-06

# 风化花岗岩地层隧道衬砌裂损分析与处理研究

孙雁军<sup>1,2</sup>, 阳军生<sup>1</sup>, 张箭<sup>1</sup>, 王树英<sup>1</sup>

(1. 中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075; 2. 湖南省高速公路建设开发有限公司, 湖南 长沙 410001)

**摘要:** 围岩风化不仅能改变围岩的矿物成分,而且能降低其强度,使得作用于衬砌结构上的围岩压力加大,导致衬砌开裂,甚至发生破坏. 新家洞隧道穿越地层为花岗岩地层,开挖后围岩稳定性好,按Ⅱ级围岩支护. 但隧道建成2 a后,隧道衬砌结构出现严重裂损. 为了研究衬砌结构开裂原因,采用试验手段对裂缝周边混凝土强度及花岗岩的物相成分、力学性质等进行测试. 测试结果表明,围岩风化、强度降低是导致衬砌开裂的主要原因. 最后,利用有限元反分析法确定围岩物理力学参数,并基于此对整治后隧道结构安全性进行评价,从数值模拟结果和现场实施效果看,衬砌结构满足强度要求. 研究成果对类似地层中隧道设计与施工具有参考意义.

**关键词:** 山岭隧道;衬砌裂损;数值反演法;风化花岗岩;处理措施

**中图分类号:** U455 **文献标志码:** A **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2017.01.013

## 0 引言

岩石受气候、水、生物和结构构造等因素影响,会发生物理、化学和生物风化. 风化作用会改变岩体矿物成分、微观结构及力学性质等特征,由此引发一系列工程地质问题<sup>[1-2]</sup>. 然而,不同岩石风化后其工程性质的改变差异较大,其中,花岗岩风化后变异尤为剧烈,这给该地层中隧道建设及安全运营带来了极大的挑战. 因此,有必要对风化后花岗岩的矿物组分、力学特性等进行研究,并分析其对工程结构安全性的影响.

已有文献采用试验手段对不同风化程度花岗岩物理力学性质进行了研究. 尚彦军等<sup>[3]</sup>对不同级别的风化花岗岩样品进行分析,找到了化学指标、微观特征与风化程度分级的相关性. 赵永辉等<sup>[4]</sup>对弱风化花岗岩进行了流变试验,掌握了岩石流变基本规律,并得到相关的流变力学参数. 李铀等<sup>[5]</sup>对风干与饱和状态下花岗岩进行室内试验,对比研究了坚硬和软化状态花岗岩流变特性. 李晓昭等<sup>[6]</sup>基于多种测试结果分析了花岗岩风化机理和风化特征,并讨论了风化后引起的岩土工程问题. 赵旭峰等<sup>[7]</sup>分析了围压对强、全风化花岗岩蠕变的影响,给出了防止隧道失稳破坏的

建议. 陈卫忠等<sup>[8-9]</sup>通过强风化花岗岩室内试验,提出了应变硬化的弹塑性模型,并成功地应用于工程实际. 李均山等<sup>[10]</sup>采用旁压试验对强花岗岩地层进行原位试验,获得了岩体的物理力学指标.

在研究风化花岗岩对隧道建设影响方面,张建国等<sup>[11]</sup>采用现场监控及数值模拟的手段,研究了CRD法不同施工工序对围岩变形和结构内力的影响. 张顶立等<sup>[12]</sup>研究了浅埋大断面风化花岗岩地层隧道施工中建筑物安全控制. 陈卫忠等<sup>[13]</sup>基于流固耦合流变模型,分析了海底隧道结构长期稳定性.

炎汝高速新家洞隧道穿越地层主要为中风化花岗岩地层,隧道施工过程中围岩稳定性较好,但建成后部分里程段出现二衬裂损. 为找出裂缝出现的原因,笔者采用试验手段对隧道衬砌结构及围岩物理力学性质进行测试,同时,基于数值模拟反演出风化后围岩物理力学参数,对整治后隧道结构安全性进行评价.

## 1 工程概况

炎汝高速公路新家洞隧道为分离式双向四车道隧道,隧道最大埋深153 m,隧道左线里程为ZK46+760-ZK47+577,总长度817 m,右线里程

收稿日期:2016-11-02;修订日期:2016-12-28

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0802504)

通信作者:张箭(1989—),男,安徽芜湖人,中南大学博士生,主要从事隧道与地下工程方面研究工作,E-mail: zhangj0507@163.com.

YK46 + 750-YK47 + 555, 总长 805 m. 图 1 为隧道右线地质纵断面图, 由图 1 知, 隧道穿越中风化花岗岩地层, 隧道中部地表为天然形成的洼地, 洼地地表覆盖层较薄, 岩体节理裂隙较发育, 地表水常年经过, 埋深最浅处约为 33.274 m.

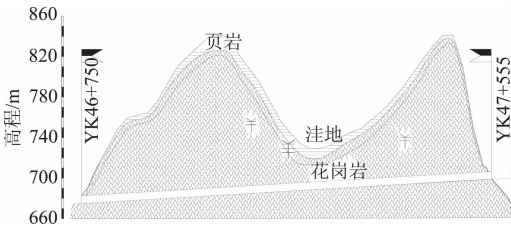


图 1 新家洞隧道右线纵断面图  
Fig.1 Profile of right line of XJD tunnel

实际施工中采用 SF-Ⅱa 复合式衬砌, 其支护参数为: 锚网喷支护, 5 cm 厚喷射混凝土, 局部设置 (25 × 25)  $\Phi$ 8 钢筋网、 $\Phi$ 22 药卷锚杆 (长度 2.0 m), 30 cm 厚二衬模筑混凝土.

整个隧道衬砌施工于 2011 年 5 月完成. 施工过程中岩层结构稳定, 风化程度低, 但开挖后的弃渣经光照、雨水等侵蚀, 风化较快, 部分风化岩体手捻易碎, 稳定性极差. 2013 年 7 月施做混凝土路面时二衬出现裂缝, 经全面排查发现, 左线和右线分别有 22 和 16 处衬砌结构裂缝, 主要位于洼地附近, 部分裂缝有渗水或水渍情况. 裂缝主要位于拱顶、拱腰和墙顶处, 其主要分布情况如图 2 所示. 裂缝最严重段位于 YK47 + 088 ~ YK47 + 097 段, 如图 3 所示, 以沿着隧道边墙纵向分布为主, 最大裂缝处宽度约达 5.9 mm. 通过对裂缝应变变化值实时监测表明, 支护结构所受应力未处于稳定, 裂缝仍处于发展中, 给衬砌结构安全带来隐患.

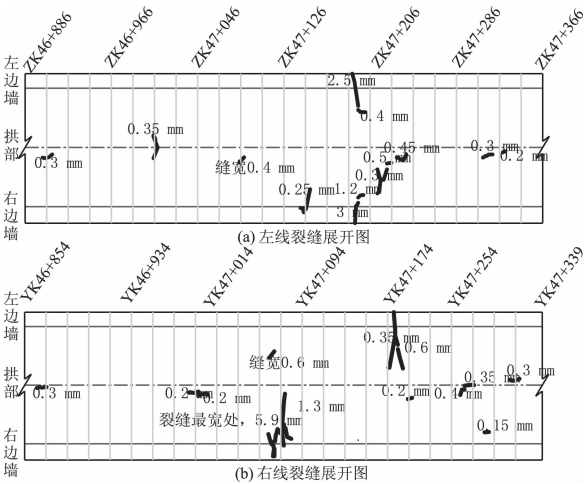


图 2 新家洞隧道裂缝展布图  
Fig.2 Unfolded drawings of cracks in XJD tunnel

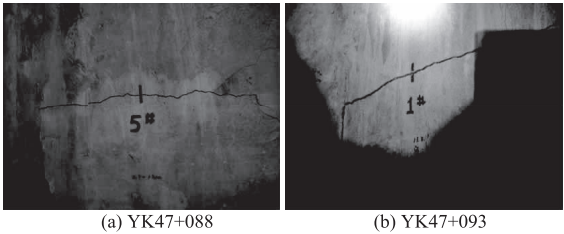


图 3 新家洞隧道二衬裂缝照片  
Fig.3 Cracks in XJD tunnel

2 隧道衬砌裂损原因试验分析

2.1 混凝土强度检测

现场用钻芯机钻取芯样进行衬砌质量综合检测. 检测结果表明, 隧道左右洞二次衬砌的厚度和强度均满足设计要求, 且初期支护与围岩之间无明显空洞, 超挖回填密实.

2.2 围岩实际状况检测

为揭示实际围岩状况, 通过钻孔取芯, 对围岩物理力学性质进行测试. 因 YK47 + 088 ~ YK47 + 097 段衬砌裂损最严重, 故在 YK47 + 093 断面左、右侧布置 2 个钻孔 (钻孔 ZK1 和 ZK2), 并在 YK47 + 201、ZK47 + 210、ZK47 + 186、ZK47 + 146 断面左侧各布置 1 个钻孔 (ZK3 ~ ZK6).

采用 Rigaku D/max2500 全自动 X 射线衍射仪对现场取样的花岗岩进行物相分析, 得到花岗岩的矿物成分及含量如表 1 所示.

由表 1 可知, 围岩风化明显, 除中风化花岗岩外, 还存在强、全风化花岗岩. 中风化花岗岩长石含量最高, 石英次之. 全风化花岗岩微长石含量最高, 而石英和白云母变化幅度较小. 全风化花岗岩长石和高岭石消失, 且产生微长石、绿泥石和蒙脱石, 由于蒙脱石存在, 全风化花岗岩具有弱膨胀性.

选取 YK47 + 093 典型断面分析围岩完整程度和坚硬程度. 笔者以岩石质量指标 (*RQD*) 反映围岩完整程度, 试验断面边墙左右两侧钻孔 ZK1 和 ZK2 的岩芯 *RQD* 值均小于 25%, 表明岩体完整性差. 图 4 为取芯芯样图, 花岗岩呈灰白色, 粗粒结构, 块状构造. 端面风化明显, 局部石英脉极发育. 岩芯极破碎, 少量呈短柱状、碎块状, 底部岩芯呈粉末状夹碎块状, 遇水松散.

围岩坚硬程度以岩芯抗压强度表示, 测试结果如图 5 所示, 由图知, 岩芯抗压强度主要在 1.6 ~ 20.9 MPa 之间, 离散性大.

2.3 结果分析

上述试验结果表明, 隧道衬砌结构满足设计

要求。右洞 YK47 + 093 断面左、右侧岩石抗风化能力差,且差异风化明显,岩体破碎,岩石节理裂隙极发育,围岩的强度及完整性均不好,依据 JTG

D70—2004《公路隧道设计规范》<sup>[14]</sup>,该断面围岩属于软岩,围岩综合判定为 V 级。

表 1 新家洞隧道不同风化程度花岗岩矿物成分

Tab.1 Mineral compositions of weathered granite for XJD tunnel granite							%
风化	长石类矿物		黏土类矿物			其他	
	长石	微长石	高岭石	伊利石	蒙脱石	石英	白云母
中风化	51	14.5	4.6	—	—	20	9.9
强风化	2.4	—	—	5.5	—	87	5.1
全风化	—	58.4	—	3.8	7.7	17.9	12.2
特性	具有较高 的抗压 强度	解理面微具 珍珠光泽、 比较脆	呈疏松块状 集合体、吸 水性强、湿 态具有可 塑性	集合体呈 鳞片状、土 状、较高 脆性	吸水易膨 胀、并变成 糊状	具有很高的 抗压强度	风化破碎成极 细的鳞片、有 发育非常好的 底面解理、云 母粉还有较好 的滑动性

其他钻孔揭示的围岩状况稍好,也同样存在花岗岩严重球状风化现象,围岩级别为 V 级. 因此,按照 II 级围岩进行的开挖与支护,不可避免导致衬砌结构失稳破坏.

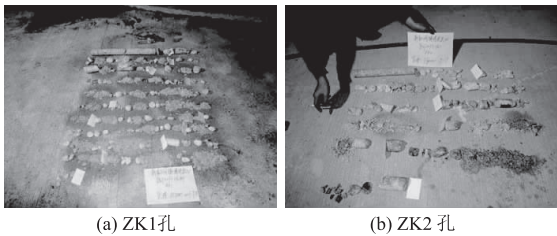


图 4 钻孔 ZK1 和 ZK2 揭示的围岩状况  
Fig.4 Rock state obtained from holes (ZK1 and ZK2)

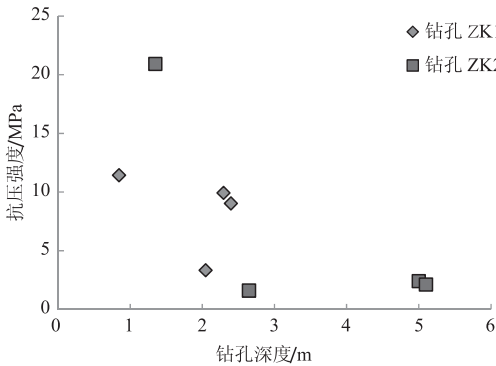


图 5 钻孔 ZK1 和 ZK2 岩芯抗压强度  
Fig.5 Compressive strength obtained from holes (ZK1 and ZK2)

3 基于衬砌开裂的围岩参数反演分析

围岩的风化会引起岩体强度降低,导致衬砌严重开裂、破坏,有必要采取措施进行补强并评价其安全性. 因此,笔者采用 FLAC2D 数值软件,通过反演获取围岩的物理力学参数,并基于此对整

治后隧道结构安全性进行评价.

3.1 反演模型建立

选取隧道衬砌开裂严重的 YK47 + 093 典型断面进行分析,该处隧道顶部覆土 35 m. 根据钻探资料和隧道断面尺寸建立平面应变模型,开挖断面  $B = 11.7\text{ m}$ ,  $H = 8.15\text{ m}$ ,计算范围取 100 m (水平)  $\times$  80 m (竖直),水平方向大于 3.5 倍洞径 (足够消除边界条件影响),顶部取至地表. 模型两侧水平约束,底部固定约束,顶部为自由边界,见图 6.

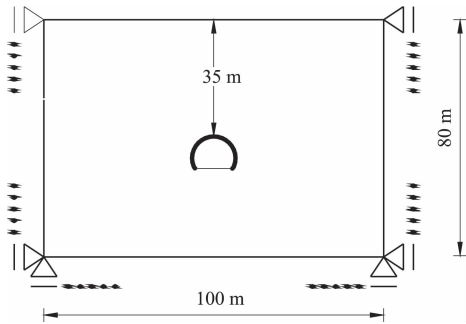


图 6 计算模型示意图  
Fig.6 Schematic of computational model

衬砌开裂段采用 SF-II 型式支护结构,具体为 5 cm 厚喷射混凝土 + 30 cm 厚 C25 模筑混凝土,支护结构物理力学参数见表 2.

表 2 材料参数

Tab.2 Material parameters				
项目	弹性模量/ GPa	重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	泊松比	厚度/ m
初支	21.0	23	0.2	0.05
二衬	29.5	23	0.2	0.30

围岩采用实体单元模拟,服从 Mohr-Coulomb

屈服准则,支护结构采用 Liner 单元模拟.数值计算分为两个阶段:第一阶段,施加重力场及模型边界条件,形成初始地应力场;第二阶段,按照隧道施工工序,开挖及支护.

3.2 衬砌开裂评价指标

数值计算可获得二衬的轴力和弯矩,通过与衬砌结构开裂内力的比较,可判断衬砌结构是否开裂.根据 JTG D70—2004《公路隧道设计规范》<sup>[14]</sup>,对于隧道衬砌,从抗裂要求出发,计算出的安全系数  $K$  值小于 1.0 时,认为结构强度不满足要求,衬砌会出现开裂或破坏.对于素混凝土结构,矩形截面偏心受压构件抗拉强度控制承载力条件下衬砌安全系数:

$$K \leq \varphi \frac{1.75 R_1 b h}{6 e_0 / h - 1} \quad (1)$$

式中: $R_1$  为混凝土的抗拉极限强度,MPa; $e_0$  为截面偏心距; $b$  为截面宽度; $h$  为截面厚度; $\varphi$  为构件的纵向弯曲系数.

对于钢筋混凝土,则需先计算受压区高度,根据受压区高度的大小判别大小偏心受压情况并选择相应的计算法则,算出结构设计承载力,从而得到安全系数  $K$  值,详见 JTG D70—2004《公路隧道设计规范》<sup>[14]</sup>,此处不再详述.

3.3 反演结果分析

反演分析表明,当围岩弹性模量  $E = 0.5$  GPa、泊松比  $\mu = 0.35$ 、内摩擦角  $\varphi = 29^\circ$ 、黏聚力  $c = 200$  kPa 时,隧道衬砌拱顶和墙顶处会出现开裂、破坏,这与现场是比较吻合的.隧道衬砌内力计算结果如图 7 所示,其中轴力以受压为正,受拉为负;弯矩以靠围岩侧受拉为正,靠隧道空间侧受拉为负.据图可知,衬砌全环受压,且拱腰处压力最大,其次为拱顶,墙脚压力最小;弯矩也以拱腰处最大(靠围岩侧受拉),拱顶和墙脚弯矩均较小,拱顶靠隧道空间侧受拉.

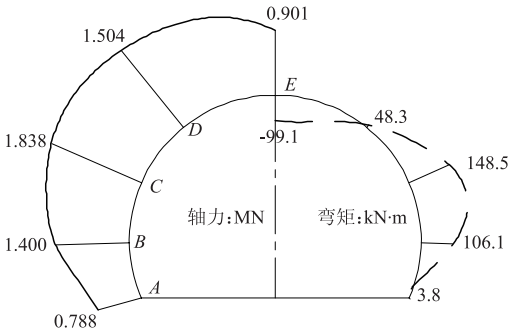


图 7 隧道衬砌内力计算值分布示意图

Fig. 7 Diagram of distribution of computational internal force on tunnel lining

衬砌各特征点安全系数计算值如表 3 所示.由表 3 知,除 A 点外,各特征点安全系数均小于 JTG D70—2004《公路隧道设计规范》<sup>[14]</sup>对混凝土结构的强度安全系数要求(3.6),衬砌强度安全风险大,尤其 C 点和 E 点更小,小于 1.0,故拱顶和墙顶处易出现开裂、破坏.

表 3 隧道衬砌特征点安全系数计算表  
Tab. 3 Safety coefficients of several feature points on tunnel lining

特征点位置	轴力/MN	弯矩/(kN·m)	安全系数
A 点墙脚	0.788	3.8	6.41
B 点墙腰	1.400	106.1	1.45
C 点墙顶	1.838	148.5	0.93
D 点拱腰	1.504	48.3	3.52
E 点拱顶	0.901	99.1	0.97

4 隧道整治方案及安全评价

4.1 整治方案

针对新家洞隧道衬砌严重开裂段,现场在拆除原开裂衬砌后,按 SF-Va 型加强衬砌进行了支护.原衬砌拆除前,对围岩采用 6 m 长  $\Phi 42$  钢管(管壁厚 3.5 mm)进行注浆加固,间距为 60 cm(纵)  $\times$  120 cm(环),按梅花型布置.仰拱内径  $r = 1\,500$  cm,初支为 I20b 工字钢(纵距 60 cm)  $+ \Phi 8$  钢筋网  $@ 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ (拱墙)  $+ 27\text{ cm}$  厚喷射混凝土(仰拱 26 cm);预留变形量为 12 cm;二次衬砌为 50 cm 厚 C25 模筑混凝土.

4.2 衬砌结构安全评价

4.2.1 计算模型及相关材料参数

选取 YK47 + 093 典型断面,隧顶覆土厚度及模型边界条件见 3.1 节,隧道开挖断面尺寸如 4.1 节所述,对钢管注浆加固区,参考孙钧等的研究成果<sup>[15]</sup>,围岩弹性模量和黏聚力各提高 30%,其他参数保持不变.根据反演结果最终确定注浆区围岩计算参数:重度 23 kN/m<sup>3</sup>;弹性模量 0.65 GPa;泊松比 0.35;内摩擦角 29°;黏聚力 260 kPa.

SF-Va 型支护结构力学参数按“等效刚度法”计算:

$$E = E_0 + \frac{S_g \times E_g}{S_c} \quad (2)$$

式中: $E$  为折算后弹性模量; $E_0$  为混凝土(或喷射混凝土)弹性模量; $S_g$  为钢拱架或钢筋截面面积; $E_g$  为钢材弹性模量; $S_c$  为混凝土(或喷射混凝土)截面面积.详细的物理力学参数列于表 4.



表 4 SF-Va 型支护结构物理力学参数  
Tab.4 Physical mechanical parameters for  
the SF-Va type supporting structure

项目	弹性模量/ GPa	重度 /(kN·m <sup>-3</sup> )	泊松比	厚度/ m
初支	26.13	24	0.2	0.27
衬砌	30.10	24	0.2	0.50

4.2.2 结果讨论

采用 SF-Va 型加强衬砌支护后,隧道衬砌内力计算结果见图 8。由图 8 可知,衬砌全环受压,以墙脚处最大,仰拱和拱顶处最小。弯矩以墙脚处最大,靠围岩侧受拉,仰拱处弯矩也较大,靠隧道空间侧受拉。

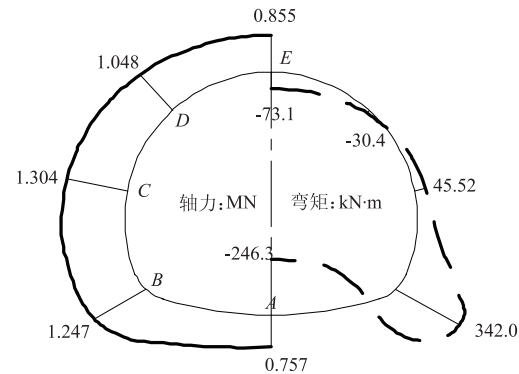


图 8 SF-Va 型衬砌内力计算值分布示意图  
Fig.8 Diagram of distribution of computational  
internal force on SF-Va type lining

隧道衬砌各特征点安全系数计算值见表 5,由表 5 可知,安全系数最小点位于墙脚处,为 2.39,仍大于 JTG D70—2004《公路隧道设计规范》对钢筋混凝土结构的强度安全系数要求(2.0)。可见,按 4.1 节方案实施后,可保证隧道衬砌结构的强度安全。

表 5 SF-Va 型支护结构衬砌特征点安全系数计算表  
Tab.5 Safety coefficients of several feature  
points on SF-Va type lining

特征点位置	轴力/MN	弯矩/(kN·m)	安全系数
A 点仰拱	0.757	246.30	2.63
B 点墙脚	1.247	342.00	2.39
C 点墙顶	1.304	45.52	7.00
D 点拱腰	1.048	30.41	8.66
E 点拱顶	0.855	73.10	8.74

4.3 现场实施效果

按笔者所述方案对新家洞隧道进行处理后,根据日常检查结果,迄今为止,病害整治段衬砌未再出现开裂、破坏现象,隧道运营情况良好,由此说明笔者所采取的整治措施是可行的,治理效果

也非常明显。

5 结论

笔者通过围岩物理力学试验和数值模拟对新家洞隧道结构开裂原因进行了分析,同时,针对该问题提出相应的整治措施,并对整治后结构安全性进行评价,主要结论如下:

(1)试验结果和数值模拟表明:新家洞隧道建成后花岗岩发生不同程度风化,围岩矿物成分改变,岩体破碎,强度明显降低,是造成衬砌开裂、破坏的主要原因。

(2)实施笔者提出的整治方案后,可保证衬砌结构的强度安全,且处理后病害段迄今为止状态良好,说明实施方案合理、有效,可为类似地层隧道设计与施工提供参考。

参考文献:

[1] DUZGOREN-AYDIN N S, AYDIN A, MALPAS J. Reassessment of chemical weathering indices: case study on pyroclastic rocks of Hong Kong [J]. Engineering geology, 2002, 63: 99 – 119.

[2] 张展骥, 张胜利, 党发宁, 等. 小粒径风化石料填筑堆石坝地震反应分析[J]. 郑州大学学报(工学版), 2005, 26(4): 34 – 38.

[3] 尚彦军, 吴宏伟, 曲永新. 花岗岩风化程度的化学指标及微观特征对比——以香港九龙地区为例[J]. 地质科学, 2001, 36(3): 279 – 294.

[4] 赵永辉, 何之民, 沈明荣. 润扬大桥北锚碇岩石流变特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(4): 583 – 586.

[5] 李铀, 朱维申, 白世伟, 等. 风干与饱水状态下花岗岩单轴流变特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(10): 1673 – 1677.

[6] 李晓昭, 肖琳, 程建军, 等. 润扬大桥风化花岗岩工程特性与影响因素分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(10): 1681 – 1688.

[7] 赵旭峰, 孙钧. 海底隧道风化花岗岩流变试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(2): 403 – 406.

[8] 陈卫忠, 曹俊杰, 于洪丹, 等. 强风化花岗岩弹塑性本构模型研究(Ⅰ): 理论模型及参数反演[J]. 岩土力学, 2011, 32(11): 3207 – 3211.

[9] 陈卫忠, 曹俊杰, 于洪丹, 等. 强风化花岗岩弹塑性本构模型研究(Ⅱ): 工程应用[J]. 岩土力学, 2011, 32(12): 3541 – 3547.

[10] 李均山, 郭宇. 福建某高速公路隧道强风化花岗岩的旁压试验[J]. 煤田地质与勘探, 2013, 41(3): 51 – 54.

[11] 张建国, 王明年, 刘大刚, 等. 海底隧道浅埋暗挖

段 CRD 法不同施工工序比较[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(S2): 3639–3645.

[12] 张顶立, 李鹏飞, 侯艳娟, 等. 浅埋大断面软岩隧道施工影响下建筑物安全性控制的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(1): 95–102.

[13] 陈卫忠, 曹俊杰, 于洪丹, 等. 特殊地质区域海底隧道长期稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(10): 2017–2026.

[14] 中华人民共和国交通部. 公路隧道设计规范: JTG D70—2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

[15] 孙钧, 朱合华. 软弱围岩隧洞施工性态的力学模拟与分析[J]. 岩土力学, 1994, 15(4): 20–33.

The Effect of Weathered Granites on the Highway Tunnel Lining

SUN Yanjun<sup>1,2</sup>, YANG Junsheng<sup>1</sup>, ZHANG Jian<sup>1</sup>, WANG Shuying<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, China; 2. Hunan Expressway Construction and Development Co., Ltd, Changsha 410001, China)

**Abstract:** Weathering action will not only change the mineral composition of rocks, but also cause significant reduction of rock material strength. As the surrounding rock pressure acting on the lining increases, lining cracks could be developed gradually, and lining destruction even occurs if the cracks are not disposed in time. It could bring adverse effect to the tunnel operation safety. In this paper a case history of the highway tunnel which located in weathered granite was presented. The stability of surrounding rock for the XJD tunnel was relatively good and the linings were constructed according to II-class tunnel lining design during the excavation process. However, the lining cracks appeared after the tunnel had been established. To analyze the reason, some experiments on the physical and mechanical properties of granites with different weathering degrees had been done through core sampling drilling. The mineral compositions of granites were studied using fully automatic X-ray diffractometer, and rock material strengths were also tested. The mechanical properties of lining for the tunnel buried in granites with different weathering degrees were also analyzed by using numerical simulation method. The result comparison between the numerical simulations and experiments showed that the weathering of granite was the main reason to cause the lining cracks. At last, some corresponding treatment measures for the problem were proposed, which could be used as a reference for the similar projects.

**Key words:** mountain tunnel; damage; inversion technique; weathered granite; treatment measures

(上接第 38 页)

The Research Based on the Improved Artificial Fish Swarm Algorithm and the SVM in the Acoustic Magnetic EAS

DENG Jicai, GENG Yanan

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** In order to improve the detection rate of the acoustic magnetic EAS system, and enhance the anti-interference performance, the paper studied a new label detection algorithm that was the combination of the improved artificial fish swarm algorithm (IAFSA) and the support vector machine (SVM). An improved scheme was proposed after analyzing the strengths and weaknesses of the traditional AFSA and SVM. The experimental results showed that the IASFA had the faster rate of convergence and the higher accuracy than AFSA, the genetic algorithm and the particle swarm algorithm; The IASFA-SVM had the higher detection rate, the longer detective distance and the lower rate of false than the traditional magnetic label detection algorithm, and the IASFA-SVM also could meet the requirements of real-time detection.

**Key words:** artificial fish swarm algorithm; SVM; label detection; detection rate; real-time detection