

湘西高速公路红砂岩工程特性及边坡稳定分析

张可能¹, 周 斌^{1,2}, 彭环云¹, 胡惠华³

(1. 中南大学 地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 湖南城市学院 土木工程学院, 湖南 益阳 413000;
3. 湖南省交通规划勘察设计院, 湖南 长沙 410008)

摘 要:以湘西高速公路红砂岩为研究对象, 分析了红砂岩沉积环境和地质构造特征; 阐述了红砂岩地层岩石组合类型、岩石学特征和物理力学性质. 指出了红砂岩主要工程地质特性为遇水易软化、崩解、发育泥化夹层和层间软弱面. 结合工程实例, 采用地表位移监测、深部位移监测等多方面的变形监测方法对坡体的变形进行监控, 同时结合该路段边(滑)坡的稳定性分析计算, 对坡体的稳定性进行了评价.

关键词:红砂岩; 工程特性; 崩解; 顺层滑坡; 边坡监测

中图分类号:P642

文献标识码:A

Engineering Properties and Stability Analysis of Red Sandstone in Xiangxi Expressway

ZHANG Ke-neng¹, ZHOU Bin^{1,2}, PENG Huan-yun¹, HU Hui-hua³

(1. School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China; 2. School of Civil Engineering, Hunan City University, Yiyang, Hunan 413000, China; 3. Survey and Design Institute of Hunan Provincial Communication and Planning, Changsha, Hunan 410008, China)

Abstract: This paper analyses the depositional environments and geological structural characteristics of the red sandstone in Xiangxi expreeway. It also describes the rock's combination types, petrologic characteristics and physical - mechanical properties of the red sandstone. The red sandstone are easily intenerated and disintegrated when watering, with interlayer iargillization, weak interlayer development. Through the use of surface displacement monitoring, the deep displacement monitoring and many other methods to monitor deformation of the slope with engineering example, the slope stability is evaluated combined with the slide slope stability analysis.

Key words: red sandstone; engineering properties; disintegration; bedding landslide; slope monitoring

收稿日期: 2008-12-26

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(07JJ6070; 07JJ6094)

作者简介: 张可能(1962-), 男, 湖南邵东人, 中南大学教授, 博士. 主要研究方向: 边坡稳定分析与支挡结构、注浆工程.

1 湘西红砂岩的工程特性

湘西高速公路的修建改善了湘西地区的交通环境,沿线广泛分布的红砂岩,主要位于西北部的沅陵—麻阳构造盆地^[1],呈现低山丘岗地貌,其工程特性严重影响着高速公路边坡的稳定性。

红砂岩地质学上称为红层,一般指侏罗系、白垩、第三系地层,内陆河湖相碎屑岩组,主要包括砾岩、含砾砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩等。因含有铁质氧化物呈红色而俗称为红砂岩。

红砂岩在大气环境或干湿循环作用下^[1],具有易风化崩解、长期强度低的特点,边坡稳定性较差,边坡地质灾害多发^[2-7]。

1) 湘西红砂岩的沉积环境

根据郑贵州等人的研究^[8],沅麻盆地在侏罗纪末期至白垩纪经历了四个发展阶段,即盆地形成发展阶段、盆地收缩阶段、盆地最大扩展阶段和盆地稳定阶段,不同的阶段沉积了相应的不同岩石组合类型。从岩石组合特点来看,湘西红砂岩是后两个阶段沉积的产物。

2) 湘西红砂岩的地形地貌特征

湘西红砂岩的地形地貌特征主要受岩性和构造控制,地貌形态以丘陵地貌为主。地形起伏不大,但部分地段地形切割较深形成沟谷。与地层产状一致的顺向坡较缓,逆向坡较陡。

3) 湘西红砂岩的地质构造特征

湘西红砂岩分布区属于北东向和北北东向新华夏系构造,地壳运动以整体抬升作用为主。主要

为白垩系下统地层,砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩呈互层状产出,地层为单斜构造,见图 1 (细砂岩与粉砂质泥岩互层)。

4) 湘西红砂岩的岩石学特征

砂岩:灰褐色、中厚层状~块状构造,岩石坚硬,崩解性较弱,抗风化能力相对较强;

泥质粉砂岩和粉砂质泥岩:呈红褐色,中厚层状~薄层状,为块状构造,常发育微细斜层理、交错层理;

泥岩:深褐色,块状构造,也常发育微细层理;泥化夹层呈暗褐色,碎裂结构,散体状构造。图 2 为显微镜下的砂岩照片,自上而下依次为:砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩。灰白色矿物为石英及长石,褐色为粘土矿物,暗褐色为铁质物。由于铁质在多数岩石中不是以胶结物的形式存在,对岩石的工程性质没有明显影响^[9]。



图 1 典型红砂岩露头

Fig. 1 Typical profile of red sandstone

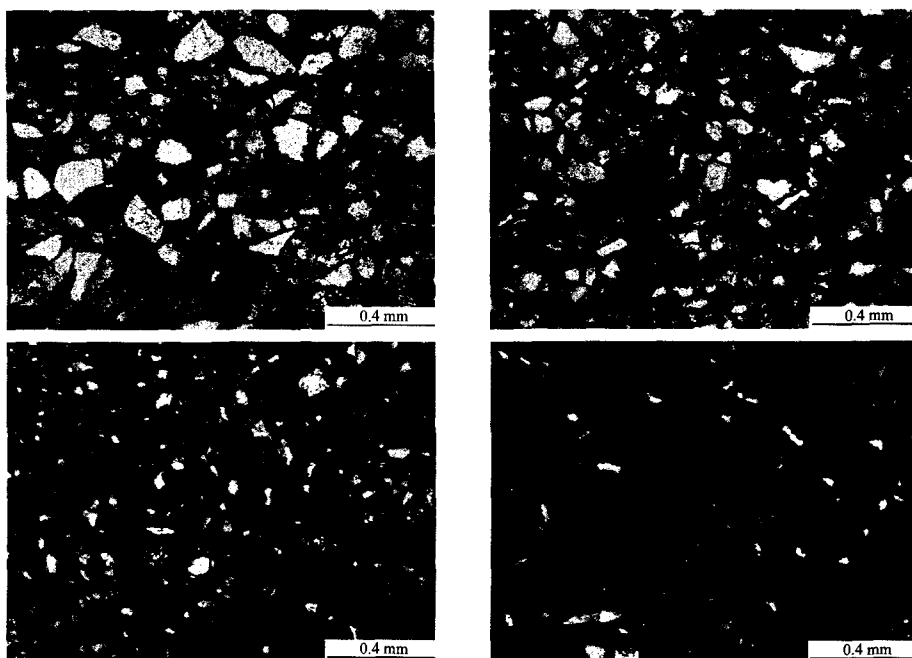


图 2 岩石偏光显微镜下照片

Fig. 2 Photos under the polarizing microscope

5)湘西红砂岩的物理力学特征

红砂岩干密度在 2.38 ~ 2.54 g/cm³ 之间,泥化夹层采取的是扰动样,其干密度较小,为 2.20 g/cm³ 左右.砂岩的强度性能要比泥岩的强度性能明显高(见表 1、表 2).在泥化夹层不同含水率

直剪试验中,随着含水率从 10% 增加到 25%,粘聚力先从 58.2 kPa 上升到 72.0 kPa 再逐渐降到 7.8 kPa^[10-12],内摩擦角从 34.1°降到 0°(见表 3、图 3、图 4).

表 1 岩石物理力学指标建议值

Table 1 Recommended value of physical and mechanical indicators of rocks

岩石名称 (野外定名)	比重 G_s	湿密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	干密度 $\rho_d/(g \cdot cm^{-3})$	吸水率 $W_a/\%$	饱水率 $W_{sa}/\%$	孔隙率 $n/\%$
泥质粉砂岩	2.71	2.61	2.54	2.39	2.42	6.27
泥质粉砂岩	2.74	2.60	2.52	3.21	3.22	8.03
粉砂质泥岩	2.79	2.53	2.38	6.23	6.26	14.70

表 2 岩石物理力学指标建议值

Table 2 Recommended value of physical and mechanical indicators of rocks

岩石名称 (野外定名)	单轴抗压强度		软化系数	岩石/岩石抗剪强度(浸水饱和)		弹性模量(饱和) E/GPa
	干燥/MPa	饱和/MPa		$\varphi/^\circ$	c/kPa	
泥质粉砂岩	70.79	20.63	0.29	30	60	7.30
泥质粉砂岩	39.88	11.75	0.29	28	30	5.54
粉砂质泥岩	10.08	6.50	0.64	24	20	2.84

表 3 C21Y-1-1 试样物理力学指标

Table 3 The physical and mechanical indicators of C21Y-1-1 sample

试样号	含水率/%	比重	密度/ $(g \cdot cm^{-3})$	C/kPa	$\phi/^\circ$
1	10	2.63	2.16	58.2	34.1
2	13	2.63	2.14	72.0	23.7
3	15	2.63	2.22	55.9	13.6
4	16	2.63	2.25	32.8	10.0
5	19	2.63	2.21	15.7	5.6
6	20	2.63	2.21	9.3	3.8
7	25	2.63	2.08	7.8	0

6)湘西红砂岩的水文地质特征

基岩裂隙水主要赋存于白垩系的泥质粉砂岩、砂岩、粉砂质泥岩等岩体裂隙中,孔隙水主要赋存于第四系松散堆积物中,水位随地形起伏而变化,主要接受大气降水补给,随季节性变化而呈较大的动态变化.

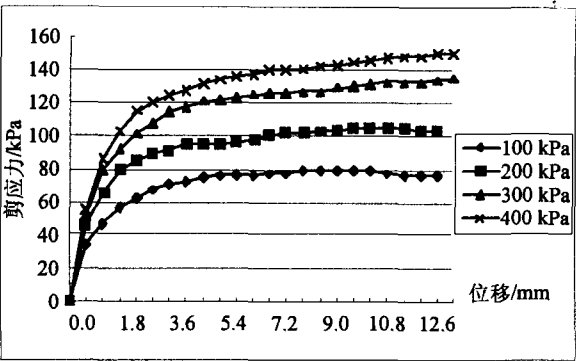


图 3 C21Y-1-1 试样剪应力-位移曲线

Fig.3 Shear stress - displacement curve of C21Y-1-1 sample

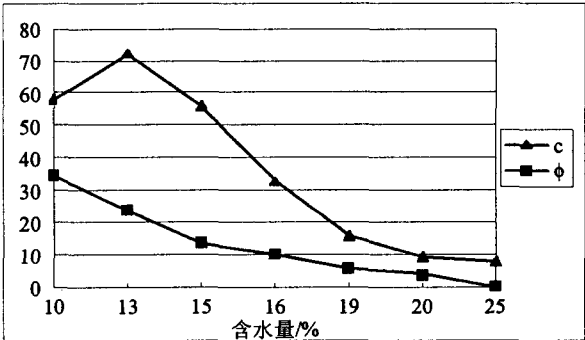


图 4 C21Y-1-1 试样抗剪强度-含水量变化曲线

Fig.4 Shear strength - moisture content curve of C21Y-1-1 sample

7)湘西红砂岩的崩解特性

泥状结构的粘土岩类红砂岩,粘土矿物的含量一般约 15% ~ 50%,其中伊利石含量为 5% ~ 30%,蒙脱石含量为 3% ~ 10%,这种类型岩石的水

稳定性差,极易崩解软化^[13],其工程性质主要由粘土矿物的含量,尤其是亲水性强的蒙脱石和伊利石的含量决定。当其含量较高时,该类岩土的工程性质极差,一般易崩解软化;随干湿循环软化时间的增加,颗粒不断碎化,最后呈渣状或泥状(图5)。

2 湘西红砂岩边坡稳定分析

1) 地层岩性对湘西红砂岩滑坡的影响

①软、硬岩层呈互层状出现,在雨季,会出现层间承压水而产生超静孔隙水压力,降低岩土体的抗剪强度。

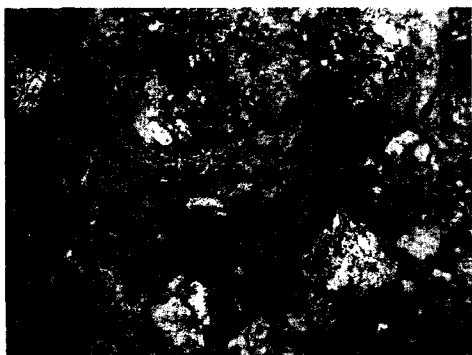


图5 湘西红砂岩自然状态下的崩解

Fig.5 Collapse in natural state of Xiangxi red sandstone

②泥化夹层较发育,岩性主要以泥夹全风化的泥岩为主,性状较差,泥约占80%~90%,可塑状。泥岩呈碎块、碎屑状,全风化,约10%~20%。夹层厚度在3~20 cm之间。软弱(泥化)夹层的存在加上由施工引起的临空面,是引起滑坡的内在因素。

2) 地质构造湘西红砂岩滑坡的影响

①岩层一般呈单斜构造,岩层走向与坡向基

本一致,倾角与坡角基本一致或小于坡角,一般为 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$,易产生大型滑坡。

②滑坡区域一般有断层存在,断层走向与边坡基本正交或大角度相交。

3) 水对湘西红砂岩滑坡的影响

①湘西红砂岩岩层相对平缓,在没有雨水软化条件下不易形成滑坡,在持续的强降雨条件下,地表水沿孔隙和节理下渗到软弱夹层,一方面使软弱夹层抗滑强度降低,另一方面持续的强降雨形成一定的水压力而增加了其下滑力,减小滑体的摩擦力。

②随着滑动面软化土体的扩大和贯通,最终导致整个滑动面抗滑强度下降,强大的下滑力牵引将滑体周边的土体或岩层带动,使周边的岩体产生与主滑体不一致的变形和破坏^[8]。

3 工程实例

常吉高速公路 K169 + 510 ~ K169 + 735 路段:该区段为1#蠕滑体,坡体后缘出现不同规模的裂隙,两侧分别由断层 F1、F2 和 F3 控制,设计采用锚索+抗滑桩的支护方案,路基上边坡设置两排抗滑桩且一桩一锚;路基下边坡设置两排抗滑桩且一桩一锚。详见典型断面图 K169 + 678 (图6)。经过稳定性计算,处置后安全系数为1.25,结合深部位移监测(图7、8)、地表位移监测(图9、图10)结果^[14],可以看出湖南3月~8月的强降雨天气对坡体的影响还是很大的,在5月至6月间地表位移和深部位移变化量最大约8 mm,地表变化速率在0.13 mm/d但后期位移趋于稳定,深部位移变化速率为0.02 mm/d但6月以后的位移基本上趋于基本稳定状态。

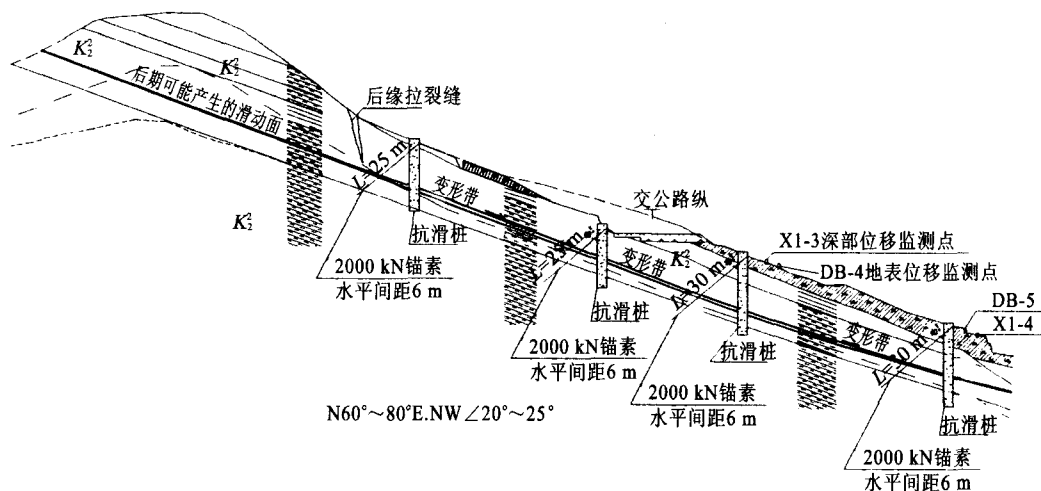


图6 典型断面图 K169 + 678

Fig.6 Typical sectional drawing of K169 + 678

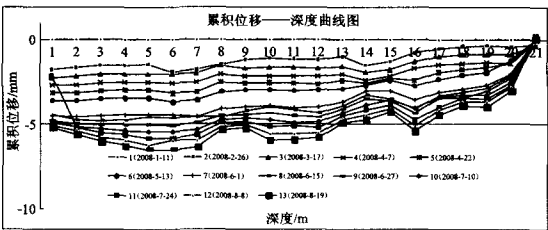


图 7 X1-3 X 轴方向累积位移-深度曲线
Fig. 7 The X-axis direction cumulative displacement-depth curve of X1-3

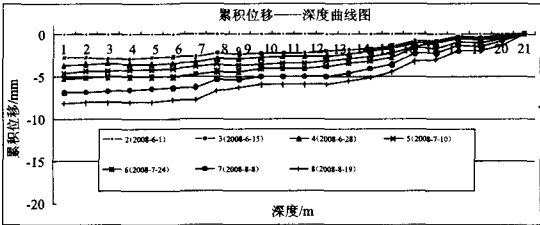


图 8 X1-4 X 轴方向累计位移-深度曲线
Fig. 8 The X-axis direction cumulative displacement-depth curve of X1-4

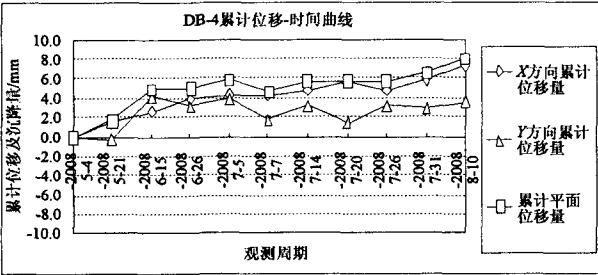


图 9 DB-4 累计位移-时间曲线
Fig. 9 Cumulative curve displacement-time of DB-4

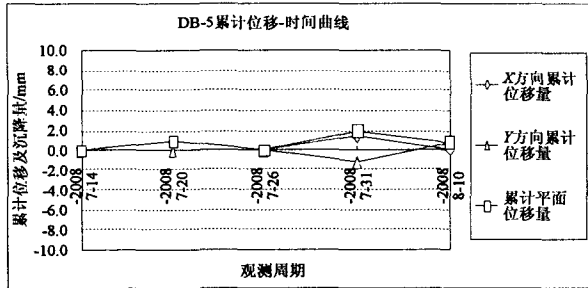


图 10 DB-5 累计位移-时间曲线
Fig. 10 Cumulative curve displacement-time of DB-5

4 结论

1) 湘西红砂岩地层岩石组合类型包括细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩组合,砾岩分布

局限;砂岩主要为石英砂岩、石英长石砂岩;泥岩及泥化夹层主要组成为粘土矿物.岩石因普遍含有红褐色铁质物而呈红褐色~紫红色.

2) 红砂岩物理力学性质具有遇水容易崩解,抗风化能力低,软化系数小等特点.

3) 泥化夹层的抗剪强度随着含水率的增加具有显著降低的特点,因此红砂岩顺层滑坡与泥化夹层和层间软弱面的存在密切相关.大气降水入渗、地下水的作用和人为扰动起到诱发作用.

4) 红砂岩顺层滑坡具有突发性的特点,因此,在该类边坡监测预报中应充分考虑这一特性,选取适合的监测手段和预测预报模型.

5) 通过坡体稳定性分析计算和坡体变形监测两种方式对坡体的长期稳定性进行了分析,准确地判定了该研究区段坡体的稳定性.

参考文献:

[1] 吴兴序. 桩的端阻和侧摩阻的相互作用及其工程应用价值[J]. 西南交通大学学报, 1997, 32(3): 313-318.
[2] 王志兵, 唐 鹏, 王朝阳. 红层的工程地质特性及其边坡破坏形式[J]. 福建建筑, 2007, 114(12): 94-97.
[3] 郭永春, 谢 强, 文江泉. 我国红层分布特征及主要工程地质问题[J]. 水文地质工程地质, 2007(6): 67-71.
[4] 赵明华, 邓艷宇, 曹文贵. 红砂岩崩解特性及其路堤填筑技术研究[J]. 中国公路学报, 2003, 16(3): 1-6.
[5] 黄向京, 刘利群, 彭 立, 等. 常吉高速公路 K162+800K163+000 段岩坪滑坡病害分析及处置措施研究[J]. 广东公路交通, 2006, 97(增): 76-80.
[6] 袁从华, 倪 俊. 高速公路中红砂岩滑坡特征及整治[J]. 岩土力学, 2004, 25(5): 745-748.
[7] 袁从华, 王荣彪, 周 健, 等. 平缓红砂岩滑坡特征及警示分析[J]. 岩土力学, 2006, 27(11): 2050-2055.
[8] 郑贵州. 沅麻盆地白垩系地层序及盆地演化[J]. 湖南地质, 1998, 17(2): 91-95.
[9] 刘克玉. 红砂岩工程性能试验研究[J]. 广东建材, 2008(4): 11-13.
[10] 杨明亮, 袁从华, 骆行文, 等. 高速公路路堑边坡顺层滑坡分析与治理[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(23): 4383-4389.
[11] 王义军, 李天斌, 王宝国. 某滑坡软弱夹层抗剪强度取值方法的研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(4): 25-29.
[12] Hock E, Wood D, Shah S. A modified hoek-brown criterion for jointed rockmass[J]. Proceeding of a Symposium of the International Society of Rock Mechanics on Rock Characterization UROCK92, 1992, 209-214.
[13] 杨果岳, 张家生, 谢 欣. 高速公路红砂岩路堤沉降特性分析[J]. 路基工程, 2008(2): 84-85.
[14] 高俊强, 严伟标. 工程监测技术及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.