

三峡库区典型泥岩边坡风化特性现场监测分析*

陈鑫, 唐红梅

(重庆交通大学 岩土工程研究所, 重庆 400074)

摘要:泥岩边坡暴露地表具有易风化特点,分析其中的风化规律对边坡防治工程具有重要的现实意义。以三峡库区的重庆地区典型紫红色泥岩边坡为研究对象,制定原泥岩边坡的监测方案,在坡肩和坡角布设了6个原位监测点,获取了较丰富的原始数据。结果表明,风化年平均厚度可达8.1 cm,紫红色泥岩正常风化速度最大达每月0.82 cm,最小为每月0.23 cm。这些风化剥落特性与外部季节变化、降雨频次以及岩体的完整性等影响相关性明显——夏季昼夜温差大、降雨频次高,全年中风化发展最快;降雨越少的季节,风化发展越缓慢;边度的坡肩风化裂纹更突出,坡脚的风化剥落厚度更大。

关键词:泥岩风化;原位监测;风化速度;三峡库区

中图分类号:P642.24

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2014)02-0023-05

在中国西南部地区,出露地表的岩层中紫红色泥岩较多,重庆等地山区常见的泥岩边坡是一种比典型的类型^[1]。此类地区复杂的地质条件、陡峭的地貌特征和极端气象条件不仅给基础设施的建设带来崩塌、落石、滑坡等地质灾害,由它们导致边坡产生的风化剥落物也成为影响工程安全性的重要因素。

随着公路、铁路、水电等工程项目在上述地区建设的开展,边坡上的泥岩风化剥落物给工程的安全性带来了严重的影响。如公路旁泥岩边坡上的风化剥落物轻则会造成道旁的排水沟堵塞,掩埋路基;重则随着风化向泥岩深部发展,对边坡的稳定性造成影响,严重影响行车安全^[2-4]。由于当前工程建设的不断扩大,红层泥岩边坡风化得以深入研究,人们已积累了丰富的红层泥岩边坡风化治理经验。就现有研究来看,无论是通过野外的工程地质调查、室内的崩解试验、室外的模型试验以及工程实例来开展的相关工作^[5-10],还是通过深入的理论分析或者是相关的数值模拟来研究泥岩风化发展^[11-13],结果均认为物理风化是泥岩边坡风化发展的主要类型;但是对温度、降雨、风干作用以及边坡上的泥岩的位置对之风化发展有何种影响,相关深入研究目前较少,而持续性的现场监测数据更是缺乏。尤其是对于泥岩风化发展比较严重的三峡库区,此类研究更是较少。本研究选取位于三峡库区的重庆地区典型紫红色泥岩边坡为研究对象,在给定的气候和地质条件下通过现场原位监测试验数据分析,就降雨、气温等对它的风化剥落厚度的相关性进行了讨论。本研究结果对泥岩边坡风化灾害的防灾减灾具有积极意义。

1 泥岩边坡风化的原位监测试验

室外的原位监测试验资料表明,泥岩风化是一个复杂的过程,内在的矿物成份、胶结物类型、微观因素以及外在的温度变化、降雨、坡表的完整程度、季节的变化、人类活动等都会对它的风化造成不同程度影响^[14-17]。本研究通过在泥岩边坡上布置监测点,对围岩的物理环境、岩体的结构特征和表层的剥落及裂隙的演变等进行了现场的调查与监测,并对影响紫红色泥岩风化的因素做相关性分析以掌握其中的风化规律,从而为今后的工程中优选风化泥岩边坡的防治措施提供理论依据。

1.1 边坡风化的监测方案

泥岩边坡风化的原位监测点位于重庆交通大学3号门往南100 m的泥岩边坡。多年以来,此处边坡风化剥落非常严重,且整个边坡上植被覆盖较少。边坡岩层由陆相碎屑岩沉积,岩层倾角平缓,为中侏罗纪薄层泥岩与中厚层泥岩互层。泥岩呈紫红色,其中矿物组成包括碎屑矿物、粘土矿物及胶结物质。碎屑矿物主要为石英和

* 收稿日期:2013-10-24 修回日期:2014-01-16 网络出版时间:2014-03-10 19:23

资助项目:国家自然科学基金(No. 51378521);2013年重庆高校创新团队建设计划资助项目(No. KJTD201305)

作者简介:陈鑫,男,研究方向为岩土工程灾害机理与控制,E-mail:yyiyiy@126.com;通讯作者:唐红梅,E-mail:hmtang6778@sina.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20140310.1923.005.html>

少量长石、褐铁矿物等;粘土矿物主要为伊利石和高岭石,蒙脱石很少;胶结物以铁质胶结为主。边坡最大高度为 12.5 m,坡比 3.8:1,面积 986.2 m²。坡脚采用低矮挡墙加固,原位监测试验中设置 6 个监测点(封二彩图 1)。其中,坡肩监测点为 1#、2#、3#,坡脚监测点为 4#、5#、6#;两排监测点均布置在侏罗纪中厚层泥岩里。安装监测点时,首先施风钻,在钻孔中嵌入钢条,深度为 50~80 cm;预留在孔外的钢条长 15~20 cm。钢条安装好后,清除表面松散物质和堆积在坡脚挡墙上的风化崩集物;每次测定露在外面的钢条增加长度,即获得风化剥落厚度。本研究对自然条件下泥岩边坡风化层剥落发展进行了长达 1 年的监测,监测时间从 2011 年 11 月持续至 2012 年 10 月。

1.2 监测内容

自然环境条件下,泥岩体的风化周期较长,两次测量时间间隔 7 d,每次测定风化剥落厚度。主要监测的内容有:1)观察泥岩表层随时间的变化,包括岩体的完整性、表面裂隙的发展、风化的剥落厚度,总结出泥岩风化发展的特征;2)定期收集外部环境的气候资料,降雨强度、风干作用和干湿循环的频次,分析相关因素对泥岩风化剥落速度发展的影响;3)对坡表的物理环境、岩体的结构特征和表层的剥落及裂隙的演变等进行了现场的调查与监测。

2 监测内容分析

2.1 泥岩风化层深度变化

从监测数据可以看出,在自然条件下 30 d 左右的时间内,风化层剥落最大的监测点 5# 达 1.38 cm,最小的监测点 2# 基本无变化(图 2)。监测过程中监测点 5# 虽风化剥落较快,但剥落岩块的破碎程度并不高,剥落后坡表也为新鲜的岩样;因此可以确定造成监测点 5# 风化剥落较快的一个原因是布置监测点过程中对岩体扰动:受外界降雨、风干和暴晒的影响,被扰动后的岩体很容易崩落并裸露出较为新鲜的岩样。而监测点 2# 在监测初期基本无风化剥落物且岩样较为完整,其中原因也是由于施工中对该处扰动相对小,所裸露出来的岩样比较新鲜,岩体完整性比较高,从而导致在监测初期该处岩体的风化剥落比较慢。

至 150 d 时,6 个监测点的风化层深度均有不同程度的发展,出现碎块状掉落,局部监测区域的剥落现象比较严重。崩落下来的泥岩比较破碎,且从图 2 可见监测点数据资料有平台出现,一段时间后才会有增长。实际上表层的泥岩风化比较严重,但是由于监测过程中该段时间降雨较少,全风化的泥岩并不会及时崩落;特别是在降雨少的季节里,只有风化层累积到一定的厚度,并在外界的诱导因素作用下才会间断性地有崩落现象发生。

坡表从 150~365 d 的监测中,泥岩风化层剥落速度变快,且趋势稳定,坡表新鲜的岩样风化剥落后逐渐往里发展,并泥岩局部监测区域伴随着裂隙的产生。该监测过程中降雨频次高,温度变化大是导致泥岩体风化发展快的直接原因。

全年监测过程中泥岩边坡的风化层剥落厚度在 6.3~8.4 cm,风化发展比较严重的区域内裂隙分布较密,大部分都已经贯通,而内部的岩样却较为完整并处于新鲜状态。因季节变化引起温度急剧变化而产生的热应力可影响泥岩风化的发展,并在环境中的降雨、温度和人为因素等的联合作用下,最终导致泥岩风化剥落呈图 2 中所显示的变化趋势。

2.2 泥岩风化速度变化

泥岩边坡坡面上 6 个监测点布设位置的不同,造成风化深度发展速度的不同。定义单位时间内泥岩风化剥落厚度为泥岩的风化速率,监测时间段内监测点对应的泥岩风化速率曲线(图 3)。

从 2011 年 12 月~2012 年 1 月的各监测点情况看,监测点 2# 在 2011 年 12 月风化剥落厚度基本无变化;在 2012 年 1 月风化速度为每月 1.18 cm,且与前一月份呈增加的趋势;而另外 5 个监测点风化速度则在此期间均呈减小的趋势。其中原因为前期布点对监测点 2# 扰动较小,局部的岩块需要更长的时间才能崩落下来,以至于该点在 2012 年 1 月相对于另外 5 个点风化发展速度最慢。2012 年 2 月是 6 个监测点的风化速度均为最小的时期,其中监测点 2# 和监测点 6# 风化速度基本为 0。在 2012 年 3~5 月,6 处监测点的风化速度为每月 0.32~0.68 cm,泥岩风化发展速度比较稳定。2012 年 6~9 月为整个测定时间段中泥岩正常风化发展剥落速度最快的时间段,风化速度最大可达每月 0.82 cm,最小风化速度也有每月 0.62 cm。在 2012 年 10~11 月期间外界的因素对泥岩的风化发展速度影响不大。

全年的监测过程中,紫红色泥岩风化年平均厚度可达 8.1 cm,正常风化剥落厚度最大达每月 0.82 cm,最小为每月 0.23 cm。2012 年 2 月泥岩风化发展最缓慢,全年中该月降雨最少是导致这种现象的主要原因。2012 年

6~9月是泥岩风化剥落速度变化较快的季节,占到全年的39.7%,其中夏季的高温暴晒、突发性的降雨、昼夜温差变化大和快速的风干作用都是导致泥岩风化发展最快的直接原因。从整个坡面的风化发展变化来看,由于外界环境中曝晒和降雨交替作用,泥岩表面产生碎片状崩解脱落。而坡脚监测点4#、5#和6#的风化厚度比坡肩1#、2#和3#的风化厚度大,这是由于降雨形成的径流由坡肩往坡脚汇集,造成对坡脚的冲刷程度强于坡肩,从而导致坡脚风化发展比坡肩发展快。因此,这些风化剥落特性与温差变化、降雨作用等一样,也成为了泥岩风化的一个重要原因。

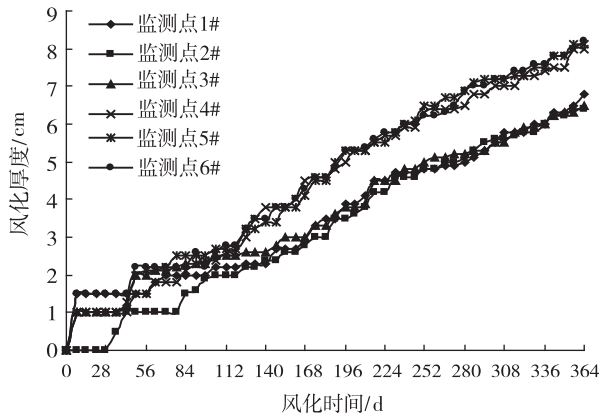


图 2 风化层剥落累计厚度与时间的关系

Fig. 2 The relationship between weathering layer thickness and time

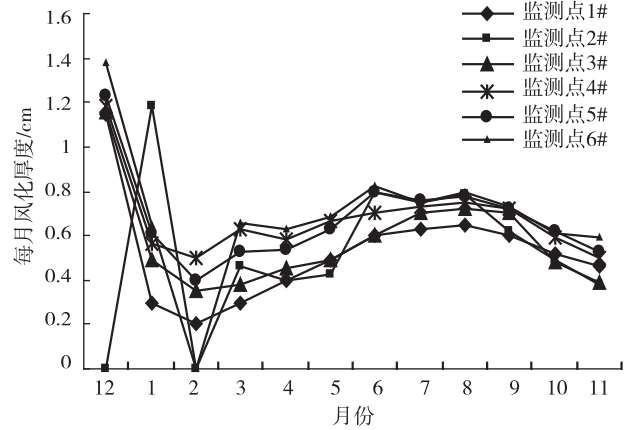


图 3 风化剥落速度与时间的关系

Fig. 3 The relationship between weathering velocity and time

2.3 坡表岩体的变化

泥岩边坡的表层的岩体完整性较好,表面无明显裂隙,结构比较稳定(封二彩图 4a)。在自然状态下 1 年后,坡表在外界的温度变化、雨水的淋滤和冲刷作用后,岩体完整性变差(封二彩图 4b)。在外部环境的影响下,岩体上出现的裂隙(微裂隙)是风化发展的一种表现形式。监测结果表明,监测点 3# 表面在 100~150 d 首先开始出现 1~2 组微裂隙,且随着季节的变化各监测点表面的微裂隙逐渐增多;在 150~365 d 监测过程中,有的侧面微裂隙变窄或掉块,有的剥落;到监测结束时,6~8 组龟裂和树枝状裂隙分布在泥岩坡表面。坡肩监测点 1#、2#、3# 处裂隙分布比较多,坡脚监测点处 4#、5#、6# 处裂隙分布比较少。在物理风化和化学风化的联合作用下,泥岩边坡风化物主要呈碎粒状、碎块状、碎片状等 3 种状态,表层泥岩风化物堆积于泥岩边坡的坡脚。

2.4 影响因素分析

泥岩边坡的原位监测试验结果表明,温差、降雨频次、坡面上径流的冲刷和淋滤作用是导致泥岩边坡强度降低的外在因素;而泥岩体的物理环境、结构特性、表面的裂隙发育情况及内部的岩体本身的矿物成份也都影响泥岩风化发展的快慢。泥岩风化发展过程实际上是内外因素的联合作用下岩体完整性逐渐被破坏的过程:

1) 由于泥岩含有遇水膨胀的粘土矿物,当坡表的水渗入岩体的裂隙或孔隙中,细小岩粒的吸附水膜便会增厚,引起岩石体积的膨胀,造成内部的应力调整;且部分粘土矿物在水的浸泡下而软化或溶解。尤其是泥岩在高频次的降雨-风干-降雨反复的作用下,泥岩经历反复膨胀、收缩作用,导致泥岩的风化崩解速度加快,最终这种岩石膨胀的不均匀性将导致泥岩因为受力不均匀而颗粒碎裂。同时,泥岩边坡坡表上裂隙的发育会破坏岩体的完整性,增加岩体的透水性,加快泥岩的风化发展速度。

2) 自然环境条件下外界的降雨和温度直接影响泥岩体的风化层发展。降雨过程中的淋滤作用会导致泥岩体内部的部分矿物质被带走,降雨坡面上形成坡表径流的冲刷作用将边坡上的碎屑冲掉,从而使新鲜的岩样裸露,并进一步影响风化层的发展。泥岩体在不断充水和失水过程中产生的干湿交替作用下,岩土体不断地膨胀、收缩,从而使泥岩的微裂隙联通,造成岩体进一步的破碎化,最终加快泥岩风化层的发展速度。

3 泥岩边坡防治措施建议

经过 1 年的监测时间,所研究的泥岩边坡中剥落的泥岩大多数已经风化成中-强风化和全风化状态。由于研究时间所限,本研究未能详尽反映岩体风化的全过程;但是可以肯定,随着时间的推移,泥岩边坡风化将进一步加深、加快。若是对边坡的防护不当,泥岩风化过程中不断的崩解、剥落会对边坡的稳定性造成影响。根据泥岩边坡的破坏特点,结合实际需要,笔者建议对于这类泥岩边坡采取如下对策和措施:

1) 泥岩边坡的坡面剥落与坡度没有直接关系,可适当提高边坡坡度,减小受热面积,能很好的改善坡表的排水性能。同时可以种植植被起隔热效果,也能加强坡面的联结作用,提高边坡的稳定性^[18]。

2) 对于泥岩边坡中风化比较严重的坡脚,可修筑低矮挡墙,能很好的改变边坡的稳定性;边坡的上部风化不严重部分可以通过清表抹面来处理。这些都是解决边坡破碎和局部稳定问题的有效手段。

3) 对于高温差、强热应力作用下的边坡进行防护时,应利用竹筋、铁丝或钢纤维加筋混凝土,达到有效抵御温度应力的目的。加筋能有效的保证喷层的耐久性,能比较经济的实现泥岩边坡抗风化的目的,通过有效的封闭坡表,降低泥岩的风化层的发展^[19]。

4) 在泥岩边坡的治理中要注意雨季,泥岩开挖后应该尽快封闭。

4 结论

泥岩的风化是结构逐渐退化、强度逐渐降低,由完整性较好的岩石逐渐还原成不同粒径的颗粒所组成的松散堆积物的一种渐进的过程,本文的结论主要有以下几点:

1) 夏季泥岩风化发展剥落的厚度,占到全年的 39.7%,夏季的高温暴晒、突发性的降雨和风干作用是导致这种状况的直接原因。

2) 紫红色泥岩坡表上裂隙的发育会破坏岩体的完整性,岩体的透水性增加,矿物颗粒会由于雨水的贯入而改变其中的联接作用并使岩体强度降低,加快风化速度。

3) 泥岩边坡上坡脚的风化剥落速度比坡肩速度快,而坡肩的风化裂纹更突出。

4) 季节的更替变化影响泥岩风化速率,降雨较少的季节,紫红色泥岩风化发展最缓慢;泥岩风化剥落成阶梯状发展,全风化层累积到一定的厚度成间断性崩落。

参考文献:

- [1] 陈洪凯,杨世胜,唐红梅.公路高切坡研究现状及趋势分析[C]//公路边坡及其环境工程技术交流会论文集.北京:人民交通出版社,2005.
Chen H K, Yang S S, Tang H M. The present research status and trend analysis of the high-cutting slope[C]//Highway slope and environmental engineering technology exchange conference. Bei Jing: China Communications Press, 2005.
- [2] 刘汝明,孔英勋,鲁志强,等.滇西红层的工程地质特征及工程对策[J].云南交通科技,2001,17(6):1-10.
Liu R M, Kong Y X, Lu Z Q, et al. The engineering geology characteristics and countermeasures of red bed in western Yunnan[J]. The Communication Science and Technology in Yunnan, 2001, 17(6): 1-10.
- [3] 余宏明,胡艳欣,张纯根.三峡库区巴东地区紫红色泥岩的崩解特性研究[J].地质科技情报,2002,21(4):77-80.
Yu H M, Hu Y X, Zhang C G. Research on disintegration characters of red mudstone of Xirangpo in Badong Area of the Three Gorges Reservoir [J]. Geological Science and Technology Information, 2002, 21(4): 77-80.
- [4] 郭永明.四川盆地紫色岩风化成土的研究[J].西南农业大学学报:自然科学版,1991,13(5):527-531.
Guo Y M. Research into soil formation from purple rock weathering in Sichuan basin[J]. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science Edition, 1991, 13(5): 527-531.
- [5] 冯启言,韩保平,隋旺华.鲁西地区红层软岩、水岩作用特征与工程应用[J].工程地质学报,1999,7(3):266-271.
Feng Q Y, Han B P, Sui W H. Characteristics of water-rock interaction of red-beds and its application to engineering in Southwestern Shandong[J]. Journal of Engineering Geology, 1999, 7(3): 266-271.
- [6] 刘长武,陆士良.泥岩遇水崩解软化机理的研究[J].岩土力学,2000,21(1):28-31.
Liu C W, Lu S L. Research on mechanism of mudstone degradation and softening in water[J]. Rock and Soil Mechanics, 2000, 21(1): 28-31.
- [7] 杨宗才,张俊云,周德培.红层泥岩边坡快速风化特性研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(2):275-283.
Yang Z C, Zhang J Y, Zhou D P. Study on fast weathering characteristics of red bed mudstone slope [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(2): 275-283.
- [8] 郭永春,谢强,文江泉.红层泥岩崩解特性室内试验研究[J].路基工程,2008(2):53-55.
Guo Y C, Xie Q, Wen J Q. Laboratory experimental study on slaking property of red-bed mudstone[J]. Subgrade Engineering, 2008(2): 53-55.
- [9] 吴道祥,刘宏杰,王国强.红层软岩崩解特性室内试验研究[J].岩石力学与工程学报,2010,29(增2):4173-4178.
Wu D X, Liu H J, Wang G Q. Laboratory experimental study of slaking characteristics of red-bed soft rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(Z2): 4173-4178.
- [10] 吴启红,徐青,彭振斌,等.第三系粉砂质泥岩风化特性[J].科技导报,2010,28(6):65-68.

- Wu Q H, Xu Q, Peng Z B, et al. Study on the weathering characteristics of tertiary pelitic siltstone[J]. Science & Technology Review, 2010, 28(6): 65-68.
- [11] 胡杰刚, 俞敏, 全洪波, 等. 桂柳高速公路边坡岩石风化速度的研究[J]. 水文地质工程地质, 2003(4): 67-71.
Hu J G, Yu M, Quan H B, et al. Weathering velocity of slope rock in Guilin-Liuzhou expressway[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2003(4): 67-71.
- [12] 钟凯, 刘爱萍, 谢强. 红层边坡风化剥落过程的调查与试验研究[J]. 路基工程, 2000(4): 53-56.
Zhong K, Liu A P, Xie Q. Investigation and test study on red bed slope weathering process [J]. Subgrade Engineering, 2000(4): 53-56.
- [13] 张俊云, 周德培. 红层泥岩边坡快速风化规律[J]. 西南交通大学学报, 2006, 46(1): 74-79.
Zhang J Y, Zhou D P. Fast weathering law of red-bed mudstone slope[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2006, 46(1): 74-79.
- [14] 陈洪凯, 王全才, 唐红梅. 岩腔内泥岩压裂风化特性研究[J]. 人民长江, 2010, 41(21): 51-54.
Chen H K, Wang Q C, Tang H M. Study on weathering and fracturing features of mudstone in rock cell[J]. Yangtze River, 2010, 41(21): 51-54.
- [15] 丁梧秀, 陈建平, 冯夏庭. 洛阳龙门石窟围岩风化特征研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(1): 145-148.
- Ding W X, Chen J P, Feng X T. Study on weathering characteristics of surrounding rock in Longmen Cavern[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(1): 145-148.
- [16] 王海. 浅谈奎北线第三系泥岩风化程度划分[J]. 铁道勘察, 2008(3): 50-52.
Wang Hi. Discussion on division of mudstone decay rate at tertiary period along Kuibei Railway[J]. Railway Investigation and Surveying, 2008(3): 50-52.
- [17] Wetzel A, Einsele G. On the physical weathering of various mudrocks[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1991, 44(1): 89-100.
- [18] 吴启红, 彭振斌, 陈安. 常吉高速公路白垩系粉砂质泥岩风化特性研究[J]. 工程勘察, 2009(12): 36-39.
Wu Q H, Peng Z B, Chen A, et al. Study on weathering characteristics of Cretaceous silty mudstone along the expressway from Changde to Jishou[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2009(12): 36-39.
- [19] 叶四桥, 唐红梅, 慕长春. 强风化泥岩和泥灰岩高切坡表层的破坏与防护[J]. 公路, 2007, 11(11): 77-81.
Ye S Q, Tang H M, Mu C C. Destruction and protection of strong weathered mudstone and marl high-cutting slope surface[J]. Highway, 2007, 11(11): 77-81.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

In-situ Monitoring Analysis of Weathering Characteristics of Typical Mudstone Slope in Three Gorges Reservoir Area

CHEN Xin, TANG Hong-mei

(Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The mudstone exposed to the earth surface is easy weathering, so it is vital to study the weathering law for the prevention and control engineering. By selecting the amaranth mudstone in Chongqing region, formulating the monitoring plans for the original mudstone slope, 6 in situ monitoring points has been set in the slope shoulder and the slope toe and has obtained a rich original data. It is shown that the slope shoulder's weathering crack is extremely obvious, and accumulation body thickness in the slope toe is greater, even whose average weathering thickness can be up to 8.1 cm per year. Also the maximum weathering velocity of mudstone is 0.82 cm per month, and its minimum weathering rate is 0.23 cm per month. The weathering characteristics are obviously influenced by the change of temperature, rainfall frequency and the integrity of rock mass. In summer, there is a large temperature difference between day and night, a high frequency rainfall and the fastest weathering rate in a year. In the less rainfall season, the weathering rate develops slowly. The more serious the slope shoulder's weathering crack is, the larger the thickness of weathering flake in the slope toe is. The research result has positive significant to prevent and control weathering disasters of mudstone slope.

Key words: mudstone weathering; in situ monitoring; weathering speed; Three Gorges Reservoir Area

(责任编辑 方兴)