

# 红层的工程地质特性及其边坡破坏形式

王志兵 唐 鹏 王朝阳  
(昆明理工大学土木系 650224)

**摘 要:**红层在我国分布广泛,其岩性呈现多样性和不均匀性,粘土矿物含量高,化学成分以次生  $\text{SiO}_2$  及倍半氧化物为主。红层具有膨胀崩解的特性,软化系数较低。在红层边坡中易产生崩塌落石、风化剥落及滑坡等地质灾害,并提出相应的防治措施。

**关键词:**红层 工程地质性质 边坡

**中图分类号:**P64

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-6135(2007)12-0094-04

## Engineering geological properties and hazards of the slope in red bed

Wang Zhibing Tang Peng Wang Zhaoyang

(Department of Civil Engineering, Kunming University of Science and Technology Kunming 650224 China)

**Abstract:** Red bed, widely distributed in China, has lithologic diversity and heterogeneity, a high clay minerals content, and its main chemical compositions are secondary  $\text{SiO}_2$  and sesquioxide. Red bed is characterized by easy swelled and disintegrated, and has low coefficient of softening. Collapse and rockfall, weathering and spalling, and landslide are main geologic hazards in red bed slopes, then some prevention and control measures are presented.

**Keywords:** red bed engineering geological properties slope

## 1 引言

红层是一种外观以红色为主色调的陆相碎屑岩沉积地层,大多形成于中、新生代的地质历史时期。红层分布于我国西南、西北、华中及华南地区的广大地区。红层具有特殊的工程性质,是典型的地质灾害易发地层,特别在雨季经常发生数量众多的滑坡灾害。在铁路、公路工程建设中,红层地区的坡体开挖和路堤填筑经常诱发规模较大的坡体塌滑灾害,影响工程建设的正常进行。

## 2 红层的工程性质

### 2.1 红层的基本构成

了解红层的基本构成对于研究红层的工程性质是重要的,红层的岩性、矿物组成及化学成分是决定岩石物理力学性质的基本因素。

#### 2.1.1 红层的岩性

红层岩性主要有粘土岩、泥岩、砂岩(包括粗砂岩、中砂岩、细砂岩和粉砂岩等)、页岩和砾岩等碎屑沉积岩,岩性呈现多样性和不均匀性,在路基边坡中常发现红层是以砂岩泥岩互层或砾岩泥岩互层等形式(图1),存在软弱夹层,容易产生地质灾害。

#### 2.2.2 红层的矿物成分

由于红层一般是中生代的原始基岩在干旱、炎热的古气

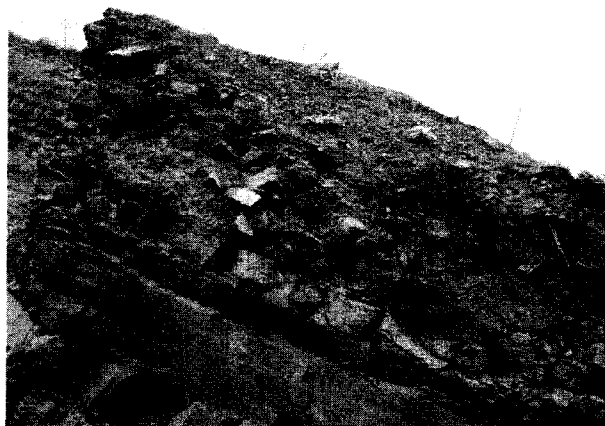


图1 典型的红层边坡剖面

候条件下被氧化成的红色风化壳在古盆地或湖盆中沉积而固结成岩的,其矿物成分主要是以粘土矿物(伊利石、蒙脱石、高岭石、绿泥石等)和碎屑物质(石英、长石、云母、方解石、石膏等)为主。红层中粘土矿物含量一般在10%~50%。红层抗风化能力较弱,长石、云母等容易被溶蚀形成粒间孔隙或蒙脱石和伊利石等粘土矿物亲水性较强,遇水膨胀,直接影响着红层的工程性质。

#### 2.2.3 红层的化学成分

红层的化学成分主要为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  及  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  的含量一般在50%以上,其次为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,一般占10%~20%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{CaO}$  含量也较高。文[1]对滇西红层中的泥岩、砂岩化学全分析中发现  $\text{SiO}_2$  的含量最高,在52.39~60.07%之间,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量在10.9~22.64%之间,  $\text{CaO}$  的含量在5.71



**作者简介:**王志兵,1982年出生,男,汉族,昆明理工大学土木系道路与铁道工程专业硕士研究生,主要从事山体滑坡机理方面的研究。

收稿日期:2007-09-24

~12.18% 之间,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的含量在 2.71~6.97% 之间。红层中  $\text{SiO}_2$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  相对大量富集, K、Na 等组分相对含量较少, 反应了红层沉积形成前经历了强烈的风化作用, 硅质、铁质及钙质在红层沉积过程作为胶结物, 其含量的高低在一定程度上能反应红层的强度特征,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  及其水合物的积聚使得红层呈现出红色。

#### 2.2.4 红层的胶结物和胶结类型

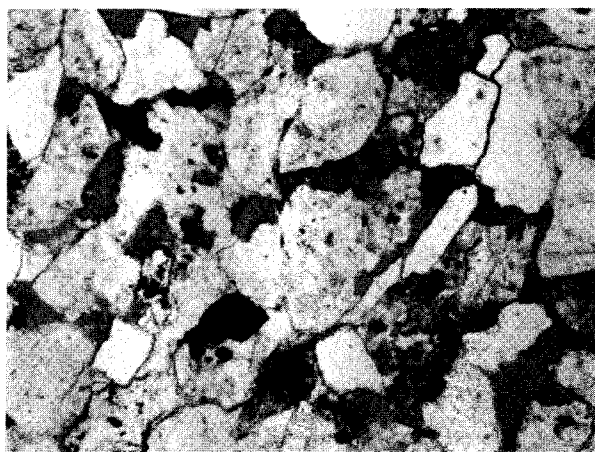
红层的连结主要是通过类型胶结连结的, 其胶结物和胶结类型对红层强度影响很大。从胶结物来看, 硅质和铁质胶结的强度高, 钙质胶结次之, 泥质胶结强度最低。红层具有基质胶结、接触胶结和孔隙胶结等三种主要的胶结类型, 其它就是介于两者之间的胶结类型, 如孔隙-接触胶结。

### 2.2 红层的物理力学性质

红层的重要的物理力学性质有红层孔隙性、膨胀崩解性、软化性、吸水性以及红层的强度特性。

#### 2.2.1 红层的孔隙性

红层的孔隙度取决于粒间孔隙及后期的风化作用形成的次生孔隙, 固结程度对孔隙度的影响也比较大, 孔隙度是衡量红层工程质量的重要物理性质指标。对相同岩性的红层来说, 孔隙度与其力学性能负相关, 孔隙度越大, 其力学性能就越差。粉砂岩和泥岩因粘土矿物较多而形成基质胶结, 长石等构成“斑晶”, 孔隙不发育。总的来说泥岩的孔隙度最小, 低于 5%, 且孔隙直径也较小, 砂岩的孔隙度最大, 一般在 20~30%, 最大在 50% 以上<sup>[2]</sup>, 砾岩处于两者之间。工程上大多采用压汞试验测其孔隙度及孔径。本文采用铸体薄片和扫描电镜等手段来观察岩石的微观特性及孔隙特征。对重庆某红层砂岩的铸体薄片观察(图 2), 其面孔率率达 28%。



(图中粉红色为树脂充填空隙, 下同)

图 2 重庆某红层砂岩的铸体薄片分析

后期的风化作用主要形成红层的次生孔隙, 次生孔隙占强烈风化的红层总孔隙很大比例。对南昆线上某滑坡砖红色粉砂质砾岩微结构的扫描电镜观察, 长石被强烈溶蚀而形成大量孔隙(图 3a), 在铸体薄片下观察到由灰岩屑及长石碎屑被溶形成粒内溶孔, 面孔率高达 45% (图 3b)。

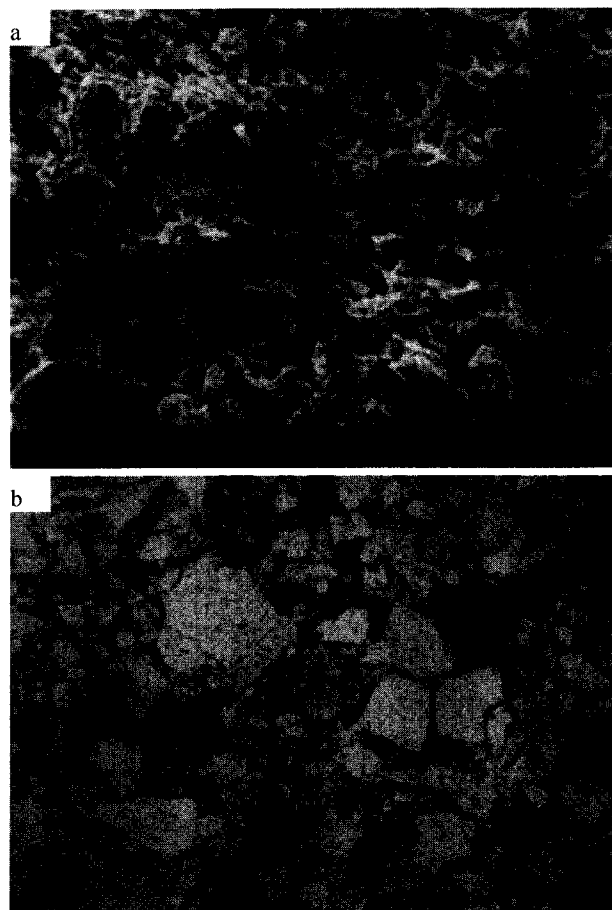


图 3 红层粉砂质砾岩微结构

#### 2.2.2 膨胀崩解性

红层的一个最显著的特性就是膨胀崩解性, 红层的膨胀特性主要是由于红层中含有较多的蒙脱石类粘土矿物。蒙脱石的晶胞是 2:1 型(或三层型)的结构单位层, 相邻的晶胞之间是以相同的原子  $\text{O}^{2-}$  相接, 只有分子键连结, 且具有电性相斥作用, 水分子容易在晶胞之间浸入, 吸水时晶胞间距变大, 晶格膨胀, 而失水时晶格收缩<sup>[3]</sup>。红层崩解与粘土矿物的崩解密切相关, 红层在开挖后失水变得干燥, 当有降雨时红层吸水就很可能发生崩解。其原因到底就是由于粘土矿物膨胀时受限, 在红层内部产生了拉应力, 当红层的抗拉强度不足抵抗时就会产生崩解。

#### 2.2.3 红层的强度特征

红层的力学强度主要取决于岩性, 岩性不同其强度变化很大, 在相同的岩性下, 随矿物成分及含量、胶结程度、风化程度不同, 其强度也变化较大。表 1 列举了不同岩性、不同胶结类型及风化作用不同条件下红层强度对比<sup>[1-2,4]</sup>。泥质岩、粘土岩强度较低, 而砂岩、砾岩的强度相对较高。对同种岩性的岩石来说, 硅质、钙质胶结的砂岩要比泥质胶结的砂岩强度要高。

红层在吸水后的强度较干燥时下降明显, 即红层的软化系数较低, 大都小于 0.75, 其工程性质是比较差的。主要与红层的矿物成分、胶结方式、孔隙性及膨胀崩解性有关, 水分

子进入粒间空隙而削弱了粒间连结,并可以溶解岩石中的矿物成分如钙质或其它可溶性胶结物来降低红层岩石的强度。

表 1 红层岩石的力学强度对比<sup>[1-2,4]</sup>

岩性	软化系数	抗压强度 /MPa		抗剪强度	
		干燥	饱和	C/Mpa	$\Phi/^{\circ}$
泥岩	粘土岩	0.23	11.9		
	砂质	0.56	24.3	2.3	38.6
	钙铁质	0.69	8.3-15.2	4.2	38.7
粉砂岩	泥钙质	0.7-	46-68	22-50	3.2-5.2
	钙质	0.86	90-160	60-110	8.0
	弱风化		19.6-25	6-22.5	5.1
砂岩	泥钙质	0.62-	56-137.1	37-101	1.2-
	钙质	0.80	104-149	40-120	3.2
砾岩		0.42-	43.4-	40-	46.4-
		0.75	145	81.1	50.4

## 2.2.4 地质构造特征

红层属典型的层状沉积岩,层理构造明显,往往原生结构面是软弱相间的层状结构,其工程地质性质各向异性明显。红层在后期的构造地质应力作用下,形成褶皱、节理、断层等构造形态。层间错动破碎带、断层面及各种结构裂隙在表生改造作用下易形成红层边坡潜在的破坏面。

## 3 常见的边坡破坏类型及防治方法

红层中发生的主要地质灾害与其自身特殊的矿物组成及地质构造特性密切相关,针对引发灾害的原因提出一些防治的措施。

### 3.1 红层边坡的主要灾害

#### 3.1.1 崩塌落石

由于红层岩性的多样性和不均匀性,有软弱相间的层状结构,硅质胶结、铁质胶结和钙质胶结的砂岩或砾岩具有较强的抗风化的能力,在近水平的高陡自然斜坡或人工边坡上突出来,而泥岩和页岩泥质胶结为主的岩层等较容易被风化而形成凹槽。另外强度高的岩层应力高于相对较软的岩层,软硬岩层结合部位往往是剪应力高度集中的部位<sup>[5]</sup>,在风化作用或人工扰动等外界影响因素下,引起岩体内一侧或两侧的应力释放促使岩体回弹变形的卸荷作用,在较硬岩层中形成密集的卸荷裂隙,当边坡岩体演化到一定程度时就有可能会发生崩塌落石(图4)。

#### 3.1.2 风化剥落

在红层地区修建的路基边坡时风化剥落等问题值得重视,路基开挖后红层风化作更加明显,风干和降雨的入渗,使红层反复的失水和吸水而生膨胀崩解,不仅降低了岩体的强度和边坡的稳定性,而且风化剥落产物会堵塞排水侧沟,堵塞路基影响行车(图5),若风化作用继续作用还可以引起边坡崩塌落石等重大灾害。

风化速度随红层岩石中矿物成分及含量、胶结物等的不同而有不同。一般泥质岩石抗风化能力较差,红层中的泥质砂岩裸露 10 天左右就可出现风化剥落现象,1~3 个月在坡面或坡脚就可能有剥落的碎片堆积<sup>[6]</sup>。

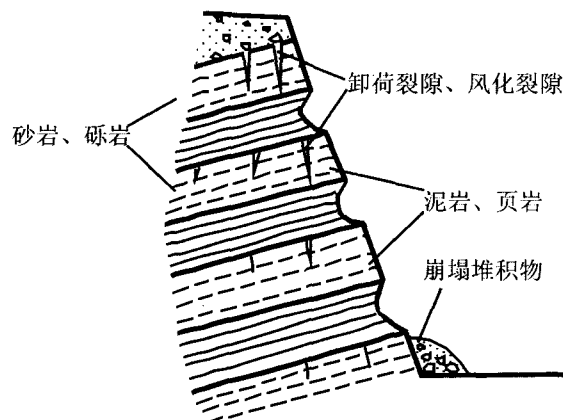


图 4 红层边坡的崩塌落石示意图

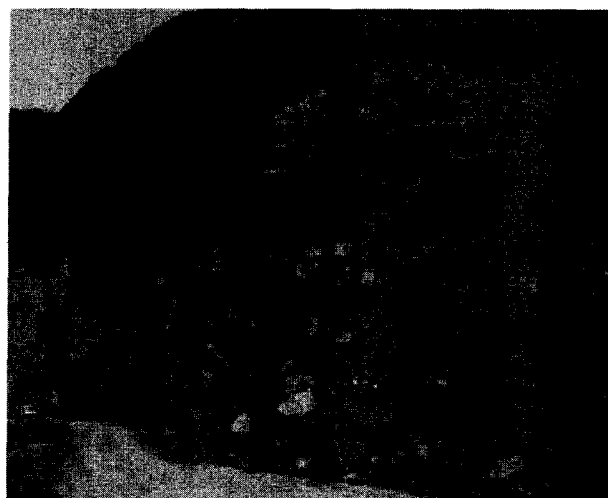


图 5 云南某红层边坡的风化剥落

#### 3.1.3 滑坡

红层边坡中发生的滑坡与降雨密切相关。由于红层中砂岩等渗透性较好,降雨沿着孔隙或裂隙下渗,遇到孔率较低、渗透性差泥岩形成隔水挡板时,就会形成上层滞水,不仅增大孔隙水压力,且使得红层岩层间的软弱夹层或风化的层间错动破碎带形成泥化夹层。当岩层层面向与边坡坡面倾向大致相同,滑动面沿软弱夹层层面滑动的可能性较大,甚至有可能产生群发性的浅层滑坡。

### 3.2 防治措施

由于红层中的地质灾害和水的关系密切相关,首先应采用相应的截水、排水及坡面防水屏障等主动防水措施并减少边坡岩壁暴露时间,可减少红层岩石的膨胀崩解危害和滑坡灾害发生的可能。

#### 3.2.1 清除危岩、拦截、躲避

对红层边坡中易发生的崩塌落石可先考虑消除潜在的危岩,减少边坡上部的下滑力;对边坡上部岩体风化严重,崩塌落石频繁发生的路段可采用拦石墙、柔性防护等措施将崩塌落石引导或拦截到路基路线之外;对危岩威胁巨大地段可采用修筑明洞或洞棚等遮挡物。

### 3.2.2 注浆

对于红层边坡危岩节理发育,风化严重的地区,可采用注浆方法处理,用高压泵将水泥浆或是化学浆注入岩石裂隙中,不仅可以增强岩块之间的连接力,还可以防治地表水下渗。

### 3.2.3 支护支挡

总体来说红层地区边坡的加固适合采取有主动防水的支护支挡措施。如对于高陡的红层边坡,应以喷锚防护为主;对边坡较缓的可采用浆砌片石护坡等措施;对于大型的滑坡需采取挡土墙、抗滑桩或预应力锚索加(钢筋混凝土)护面墙

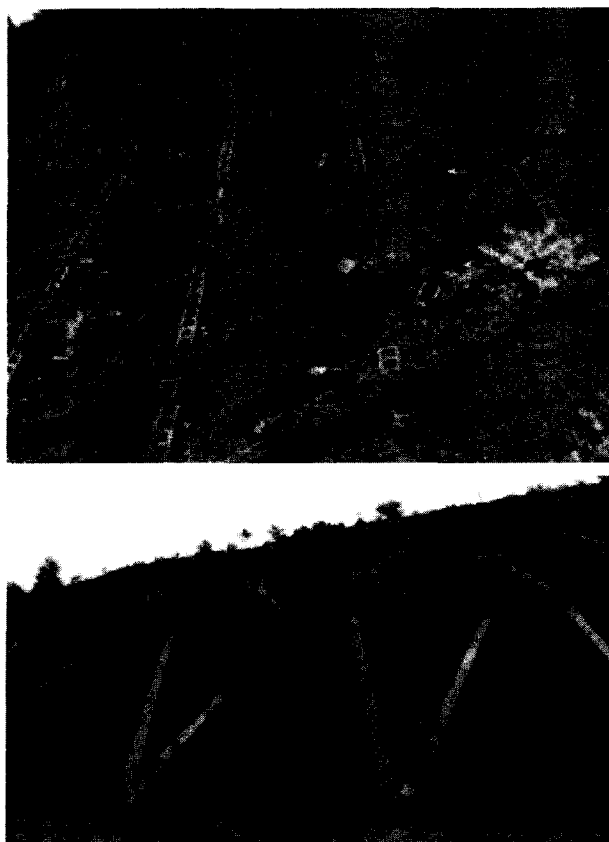


图6 云南某高速公路红层边坡加固失效

等措施来处治。值得注意的是在红层边坡一般不适宜采用框格防护,格内的红层岩土体会在渐进性的风化剥落而造成结构临空,加上框格内种草等来生态护坡会加剧降水入渗造成边坡失稳,类似的加固失效例子不在少数(图6)。

## 4 结语

红层主要形成于中、新生代的地质历史时期,在我国分布广泛,是一种外观以红色为主色调的陆相碎屑岩沉积地层。其岩性主要有粘土岩、泥岩、砂岩、页岩和砾岩等碎屑沉积岩,岩性呈现多样性和不均匀性,存在砂岩泥岩互层或砾岩泥岩互层等形式,不同岩层的矿物组成、颗粒大小、胶结物、胶结类型、均存在差异。红层的独特的矿物组成性质及其岩层的差异性是导致红层边坡破坏的主要原因。

红层边坡的变形破坏与水密切关系,因此对红层边坡首先应考虑截水、排水,尽量减少水对边坡稳定性的影响。在新建的红层边坡中还必须考虑风化作用,减少边坡的暴露面和暴露时间,一般对较缓的边坡采用浆砌片石护坡等措施,对边坡较陡采用喷锚防护等措施。对红层边坡的地质灾害的治理方法一般以支挡、锚固加主动防水为主和削坡减载等措施为辅的方法。

## 参考文献

- [1] 刘汝明,孙影勋,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.
- [2] 冯启言,韩宝平,曹丁涛等.红层微观结构与工程地质特性研究[J].水文地质工程地质,1994,5:15~16,21.
- [3] 孔宪立,石振明.工程地质学[M].北京:中国建筑工业出版社,2001:62~63.
- [4] 封志军.红层软岩边坡关键岩体力学参数确定[D].成都:西南交通大学,2005:5~19.
- [5] 黄润秋.中国西部岩石高边坡应力场特征及其卸荷破裂机理[J].工程地质学报,2004,12(增刊):7~13.
- [6] 钟凯,刘爱萍,谢强.红层边坡风化剥落过程的调查与实验研究[J].路基工程,2000,4:53~56.

(上接第81页)

压力流排水系统对比重力流排水系统具有如下优缺点:

1. 排水效果迅速高效快捷,管道流量大,汇水面积大,立管管径较小;
2. 悬吊管没有坡度要求,管道安装方便美观,节约了建筑物的内部空间,使建筑物内部布置更加灵活;
3. 减少埋地出户管及室外雨水检查井数量,大大减少地面开挖量,土建工程量少;
4. 由于高流速,系统保持较好的自清作用,不易堵塞;
5. 压力流排水系统采用HDPE(高密度聚乙烯)管道,管道寿命长,系统维修率低,配以专用的紧固系统,具有很好的静音功能,管道的噪音较低;
6. 对于大面积工业厂房及公共建筑屋面雨水排水因管道数量减少、管径减小、埋地管、检查井土方工程量大幅减少,从而可以降低工程造价,若屋面面积相对较小,排水系统数量有限,因压力流排水系统对管材材质

要求较重力流排水系统高,工程造价不具优势;7. 压力流排水系统震动大,对支架体系要求较高。

## 参考文献

- [1] 王欣欣.屋面雨水压力流排水系统设计[J].中国给水排水,2001,17(10):37.
- [2] 王海山.给水排水常用数据手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.525.
- [3] 李永奎,吴哲元,罗志文.虹吸式排水系统设计施工要点及优越性[J].建筑施工,2003,25(6):493.
- [4] 徐志通,童球.压力流(虹吸式)屋面雨水排水系统的设计与应用[J].建筑给排水,2002,28(6):48.
- [5] CECS183:2005,虹吸式屋面雨水排水系统技术规程[S].