

# 高速公路红砂岩的路用性能及施工工艺研究

邓艷宇

(湖南省高速公路建设开发总公司, 长沙 410001)

**【摘要】** 已有高速公路路堤工程实践表明, 红砂岩在大气环境或干湿循环作用下, 岩块易崩解碎裂、颗粒软化、强度降低, 是一种不良的路基填料。但红砂岩在我国分布较广泛, 尤其在山区公路建设中大量存在。为此, 结合大量的试验研究, 对红砂岩的物理力学性质和路用性能进行了探讨, 提出了以“预崩解—耙压—碾压”为核心的红砂岩路基填筑施工工艺和处理技术。

**【关键词】** 高速公路; 红砂岩; 路基填料; 路用性能; 施工工艺

**【中图分类号】** U 416

## Study on Performance and Construction Technique of Red Sandy Rock in Expressway

**【Abstract】** The practice on embankment of existing expressway shows that red sandy rock is not a good filling material of subgrade with relatively low natural strength. It is easy to crash and disintegrate, which leads to strength reduction, when it is exposed to atmospheric environment or under drying and watering cycle action. However, red sandy rock exists and distributes widely in our country, especially in areas where mountainous highways locate. Through a lot of experiments, the physical and mechanical properties and the performance of red sandy rock are discussed. Also, some disposal procedure and construction technique which should be adopted when red sandy rock is used as subgrade filling material are putted forward, the core of which is “pre-crack and decompose rake and compress grind and compress”.

**【Key words】** expressway; red sandy rock; subgrade filling material; performance; construction technique

### 0 引言

红砂岩指富含铁质氧化物而呈红色、深红色或褐色的泥岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩、泥质细砂岩、泥质或砂质岩沉积类岩石, 这类岩石在湖南省的湘南、湘中、湘西地区分布广泛, 在广东、江西及四川等省也有一定分布。红砂岩在大气环境或干湿循环作用下, 岩块易崩解碎裂、颗粒软化、强度降低, 已有的工程实践表明, 红砂岩是一种不良的路基填料<sup>①</sup>。以往的公路建设中都尽可能避免采用红砂岩作为路

基填料。

京珠高速公路湘潭至耒阳段沿线约 68 km 通过红砂岩地带<sup>①</sup>, 为了避免远距离借土和大量红砂岩弃方占用耕地, 节省造价, 保护环境, 并确保公路施工质量, 湖南省交通厅于 1996 年 3 月组织成立了“京珠高速公路湘潭至耒阳段红砂岩地带路基修筑技术研究”课题组<sup>②</sup>, 对红砂岩的结构、分类、工程性质、填筑机理、填筑方案、施工工艺、质量检测标准等进行了全面系统的研究, 并较成功地指导了湘

作者简介: 邓艷宇, 1945 年生, 女, 汉族, 江西南昌人, 毕业于江西赣南师范学院, 高级工程师, 从事公路工程施工与管理。E-mail: djyu@21.cn.com

①湖南省交通规划勘察设计院, 京珠国道主干线湖南湘潭至耒阳高速公路施工图设计文件, 1997

②交通部“九五”行业联合科技攻关项目, 合同编号: 95-05-01-45

来高速公路建设。本文将就红砂岩的路用性能和主要施工工艺进行介绍。

### 1 红砂岩的矿物成分及物理性质

利用扫描电镜、X光粉晶衍射和薄片显微照像等技术进行分析,红砂岩可分为粒状碎屑结构和泥状结构两类。两种典型结构红砂岩的主要粘土矿物成分见表1。泥状结构的红砂岩含粘土矿物高岭石、蒙脱石及伊利石等较多,粘土矿物的质量分数一般约15%~50%,其中伊利石质量分数为5%~30%,蒙脱石质量分数为3%~10%。由于蒙脱石和伊利石的亲水性较强,因此其质量分数的高低

是决定红砂岩易崩解软化、水稳定性差的主要原因。红砂岩岩样矿物成分分析结果见表2。由表2可见,一般蒙脱石与伊利石质量分数之和大于10%的红砂岩崩解性强烈,5%~10%之间的红砂岩也具有明显崩解性,5%以下为不崩解的红砂岩。

表1 两种典型结构红砂岩的主要粘土矿物成分质量分数 %

结构特征	高岭石	蒙脱石	伊利石
粒状碎屑结构	0~15.0	0~10.0	0~25.0
泥状结构	0~40.0	0~8.0	2.5~30.0

表2 一组红砂岩岩样矿物成分分析结果

岩样编号	主要粘土矿物质量分数/%			崩解特性	岩样编号	主要粘土矿物质量分数/%			崩解特性
	高岭石	蒙脱石	伊利石			高岭石	蒙脱石	伊利石	
岩样1	6.0	2.0		不崩解	岩样15		8.0	5.0	极易崩解
岩样2-1	1.7	1.7		不崩解	岩样16		10.0	25.0	极易崩解
岩样3	30.0		10.0	易崩解	岩样17	20.00		6.0	易崩解
岩样8	2.5		2.5	不崩解	岩样18		8.0	12.0	极易崩解
岩样9	7.0	3.0	30.0	极易崩解	岩样24		5.0	25.0	极易崩解
岩样11	40.0	5.0	8.0	极易崩解	岩样25		2.0	2.0	不崩解
岩样12			8.0	崩解	岩样28	15.0		5.0	崩解
岩样13		2.0	5.0	崩解	岩样29		5.0	15.0	极易崩解

泥状结构的红砂岩易崩解软化,随着干湿循环时间的增加,颗粒不断碎化,最后呈渣状

或泥状。红砂岩完全崩解后的颗粒组成情况见表3。

表3 红砂岩颗粒分析试验平均值 %

岩土类别	粒 组/mm								
	砾 粒		砂 粒			粉 粒		粘 粒	
	> 20	20~2.0	2.0~0.5	0.5~0.25	0.25~0.074	0.074~0.005	0.005~0.002	< 0.002	
一类岩(东风料场)	0	3.8	1.8	3.5	8.1	42.3	25.3	15.2	
一类岩(712矿料场)	0	0.5	8.8	5.4	12.8	48.1	10.9	13.5	
二类岩(堰桥料场)	0	0.4	0.8	1.8	8.7	68.6	11.9	7.7	
网状粘土(粘土料场)	0	0.4	3.7	3.3	9.4	30.4	9.6	43.2	

为了便于分析,试验时将红砂岩按其崩解

性划分为三类,即红砂岩在烘干后浸水24h崩

解成泥状、渣状或粒状者,称为一类岩;崩解成块状者,称为二类岩;根本不崩解者,称为三类岩。这三种类型红砂岩在天然状态下的性

质有差异,其物理性质指标见表4。一类和二类红砂岩崩解破碎后的物理性质指标见表5。

表4 各类红砂岩物理性质指标的试验平均值

岩类	密度 $\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	干密度 $\rho_d / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	含水量 $w / \%$	饱和度 $S_r / \%$	孔隙比 $e$	孔隙率 $\eta$
一类岩	2.46	2.28	2.87	98.45	0.2036	0.1690
二类岩	2.38	2.26	5.10	72.85	0.2003	0.1657
三类岩	2.50	2.48	0.80	19.60	0.1128	0.1014

表5 各类红砂岩崩解后的物理性质指标的试验平均值

岩类	塑限 $/ \%$	液限 $/ \%$	塑性指数 $/ \%$	自由膨胀率 $/ \%$	击实样 体缩率/ $\%$	干燥饱和 吸水率/ $\%$	浸水膨胀量 $/ \%$
一类岩	21.5	34.1	12.6	41.3	7.45	20.23	2.14
二类岩	19.0	30.55	11.55	17.75	4.84	13.12	0.29

## 2 红砂岩的工程力学性质

崩解后的一类 and 二类红砂岩分别按重型击实试验和表面振动仪试验得出的最大干密度

(见表6)。当相似模比为 $M_r=1$ 时,表面振动仪试验结果分别为 $2.04 \text{ g/cm}^3$ 和 $2.098 \text{ g/cm}^3$ ,与标准重型击实试验结果基本一致。

表6 一类和二类红砂岩的压实性指标

岩类	最大干密度 $\rho_{dmax} / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$		最佳含水量 $w_{op} / \%$
	表面振动仪试验	标准重型击实试验	
一类岩	2.04—0.0577 InMr	2.00~2.09	8.35~11.6
二类岩	2.098—0.079 InMr	2.06~2.15	8.69~9.60

对于红砂岩的工程物理力学性质,主要进行了抗剪强度指标、室内回弹模量、CBR值及渗透系数的试验,其结果见表7。红砂岩的击实试件室内CBR值随浸水时间变化的试验结果见表8,红砂岩的压缩性试验结果见表9。

为便于对比分析,各表中还给出湖南地区较常见的网纹粘土的各相应特性指标。由表7、表8及表9可见,红砂岩崩解后击实试件的各项工程力学性质均可满足公路路基规范有关技术要求<sup>[2,3]</sup>。

表7 红砂岩击实试件的强度及渗透性试验结果

岩类	内摩擦角 $/ (^\circ)$	凝聚力 $/ \text{kPa}$	渗透系数 $/ (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	天然岩块抗压强度 $/ \text{MPa}$	室内回弹模量 $/ \text{MPa}$	室内CBR值 $/ \%$
一类岩	$27^\circ 12'$	105.4	$4.17 \times 10^{-7}$	4.43	68.92~80.14	6.0~11.2
二类岩	$26^\circ 50'$	75.37	$3.7 \times 10^{-7}$	6.9	97.53~107.69	40.7~74.1
网纹粘土	$23^\circ 16'$	129.2	$5.0 \times 10^{-7}$			20.16~23.29

表8 红砂岩试件室内 CBR 值随浸水时间变化的试验结果

%

岩类	试件浸水时间/d					
	1	2	3	4	7	28
一类岩	9.0	9.85	8.2	7.74	8.8	6.95
二类岩	56.4	53.4	60.3	53.8	50.0	52.0
网纹粘土				21.73		

表9 各类红砂岩压缩性指标

岩类	密度 $\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	含水量 $w / \%$	孔隙比 $e$	压缩系数 $a / \text{MPa}^{-1}$	压缩模量 $E_s / \text{MPa}$
一类岩	2.145	14.20	0.438	0.135	10.75
二类岩	2.200	12.95	0.380	0.105	13.65
三类岩	1.950	17.60	0.633	0.075	22.00

### 3 红砂岩的路用性能及施工工艺

根据室内外各项试验结果得知,由于红砂岩所含蒙脱石和伊利石的亲水性,导致其易于崩解软化,所以,刚爆破开挖的一、二类红砂岩不能直接用于高速公路路基填筑。但红砂岩经过干湿循环的过程,发生崩解软化,转化为一种介于粉质粘土与粉土之间的土粒,即红砂土。红砂土各项路用性能指标(指与公路路基填筑有关的物理性质和工程力学性质)均能

满足高速公路填料的要求,因此,由红砂岩形成的红砂土可以用作高速公路的路基填料。

在高速公路红砂岩的工程应用中,可采取如下处理技术原理(见图1),即采用特殊措施将红砂岩全部或大部分转变成红砂土,消除其水活性,再通过掺料、压实、隔断外界水份等措施,形成密实的不透水路堤,防止红砂岩路基病害发生<sup>[4]</sup>。

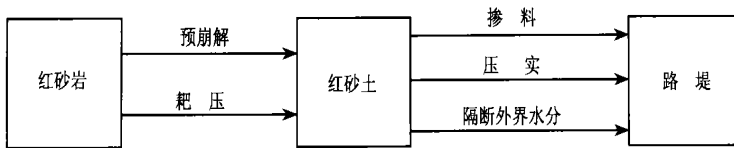


图1 红砂岩处理技术原理示意图

其核心施工工艺包括以下三个方面:预崩解—耙压—碾压。

1) 预崩解:即将用作路基填料的红砂岩在填筑之前预先进行崩解处理。其处理方法是在料场将爆破出来的红砂岩实施天然(降雨)或人工(洒水)的预崩解处理,使其水活性消除或基本消除,大颗粒减小,残存的颗粒得以软化,然后再运往路堤填筑。

2) 耙压:是指用推土机将运至工点的红砂岩填料推平,并借助推土机的履带将粗颗粒压

碎,再以推土机后挂的松土齿耙松,并耙出较大颗粒,再推、压大颗粒,如此反复多遍,直至大颗粒基本压碎为止。这种推平压碎—耙松选粗—再推平压碎……,反复循环的施工过程称为耙压。

3) 碾压:为了形成密实不透水的红砂岩压实体,必须使用大吨位振动压路机碾压密实,依靠巨大的振动压实能使碾压层中的大部分红砂岩颗粒形成泥状物和粉状物,包裹着尚存的残余颗粒,构成红砂岩压实体的独特结构。

这种独特结构不仅保证了路堤内尚存的红砂岩块不受外部雨雪和水分的影响,而且使路堤有足够的强度。

根据上述处理原则及核心施工工艺,课题组在湘耒高速公路大浦互通匝道上修筑了长457 m、平均宽45 m、平均高6 m的实体工程试验路进行研究。将预崩解处理过的红砂岩填料运至工点,使用大马力推土机摊铺,反复耙压;耙压后粒径仍超过规定尺寸的岩块人工捞出,然后用平地机进行赶平。当松铺厚度检查合格后,开始碾压。先以40 t轮式振动压路机初压一遍,再用平地机赶平2~3遍,然后用60 t拖式振动压路机碾压3遍以上,最后以40 t振动压路机终压表面。其中,松铺厚度控制在30 cm以内,最大粒径不得超过

20 cm。

同时,为探讨红砂岩路堤的水稳定性,在现场试验路段旁另外修筑了一段长40 m,高1.5 m及宽8 m的模拟试验路堤,进行浸水试验。路堤被水浸泡时间61 d。试验结果表明,路堤内同一桩号20 cm以下同一深度处浸泡前后含水量变化不大,即水份很难进入堤内。因此,红砂岩压实体的水稳定性良好。

针对实体工程试验路和模拟试验路堤两段试验路,还进行了大量的现场回弹模量和CBR值试验,有关的测试结果见表10。对试验段路基工后一年多的沉降观测表明,一类红砂岩路基的沉降量不大于2.0 cm,二类红砂岩路基的沉降量不大于2.7 cm。观测结果表明,红砂岩路用性能效果令人满意。

表10 现场回弹模量与野外CBR测试结果

岩 类	回弹模量/MPa		野外CBR/%		落球仪快速检测 CBR/%	
	测 点	结 果	测 点	结 果	测 点	结 果
一 类 岩	40	64.31	29	28.4	29	26.6
二 类 岩	32	92.56	13	15.2	13	14.4
掺灰一类岩	12	104.35				

注:CBR的定义见参考文献[2]

#### 4 结 语

根据对红砂岩路用性能的室内试验和现场试验路段研究结果,可得到如下几点认识:

1) 亲水性强的蒙脱石和伊利石质量分数高是导致红砂岩水稳定性差,易崩解、软化的主要原因。

2) 红砂岩可按其崩解性划分为三种类型,其中一类和二类红砂岩中亲水性粘土矿物质量分数高,浸水后易崩解软化。

3) 刚爆破开挖出的一类 and 二类红砂岩不宜直接用作路基填料。

4) 室内试验结果表明,由红砂岩充分崩解后形成的红砂土的路用性能良好,其有关的物理力学性质指标均满足现行公路路基技术规

范的要求,可用作高速公路的路基填料。

5) 采用不同类型红砂岩填筑的现场试验路测试结果表明,按本文介绍的以“预崩解—耙压—碾压”为核心的施工工艺和处理技术原理填筑的高速公路路基,强度高,水稳定性好,工后沉降量微小。

#### 参 考 文 献

- 1 张剑锋,岳国生等.红砂岩修筑浆砌石坝的岩土工程研究.上海地质,1989(2):1~5
- 2 JTJ 051—93 公路土工试验规程
- 3 JTJ 033—95 公路路基施工技术规范
- 4 邓艷宇,赵明华.高速公路红砂岩路基修筑技术.北京:外文出版社,2002. 80~83

收稿日期:2003-07-17