

中国公路建设行业协会标准

T/CHCA 0XX—2026

高速公路红砂岩路基设计与施工技术指南

Technical Guidelines for Design and Construction of Red Sandstone

Subgrade in Expressway

2026-xx-xx 发布

2026-xx-xx 实施

中国公路建设行业协会 发布

前言

本指南按照《公路工程标准编写导则》(JTGA04)和《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》(GB/T1.1-2020)的规定起草。

请注意，本指南的某些内容可能涉及专利，本指南的发布机构不承担识别这些专利的任务。

本指南在调研总结红砂岩路基在我国高速公路工程中的应用经验和相关科研成果的基础上，结合信丰(省界)至南雄高速公路红砂岩路基工程实践，经过系统梳理、工程验证，并广泛征求相关单位和专家意见后编制完成。

本指南共分7章、2个附录。主要内容包括：1总则；2术语和符号；3分类与试验；4勘察；5设计；6施工；7检测与监测。

广东省南粤交通雄信高速公路管理处、中铁一局集团第一建设有限公司、广东华路交通科技有限公司、深圳高速工程检测有限公司、保利长大工程有限公司。

本指南主要起草人：刘烜、童建勇、王波、陈发强、温魁刚、谭政、郭海龙、张洪林、詹武练、江潞、魏赣英、邓真明、袁永斌、马建军、张文波。

目录

前言	I
1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语定义	2
2.2 符号	2
3 分类与试验	3
3.1 一般规定	3
3.2 分类	3
3.3 取样	5
3.4 试验	5
4 勘察	7
4.1 一般规定	7
4.2 填方路基	7
4.3 挖方路基	8
5 设计	9
5.1 一般规定	9
5.2 填方路基	10
5.3 挖方路基	11
5.4 路基排水	13
6 施工	14
6.1 一般规定	14
6.2 填方路基	15
6.3 挖方路基	17
7 检测与监测	17
7.1 一般规定	17
7.2 施工过程质量检测	18
7.3 交(竣)工质量检测	19
7.4 变形监测	20
附录 A 红砂岩耐崩解试验方法	23
附录 B 红砂岩室内浸水崩解试验方法	25

高速公路红砂岩路基设计与施工技术指南

1 总则

1.0.1 为指导红砂岩地区高速公路路基设计与施工，提高红砂岩路基设计与施工技术水平和工程质量，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于新建及改扩建高速公路的红砂岩路基工程，其他等级公路的红砂岩路基工程可参照执行。

1.0.3 红砂岩路基设计与施工应因地制宜，贯彻绿色发展理念，遵循“安全可靠、技术可行、经济合理、资源节约、环境友好”的基本原则，确保路基具备足够的强度、稳定性和耐久性。

1.0.4 红砂岩路基设计与施工应在充分开展地质勘察和岩性调查的基础上，查明其岩性特征、物理力学性质、风化程度、分布范围及可利用储量，为设计与施工提供依据。

1.0.5 红砂岩材料的选用与应用应结合高速公路等级、地形地貌、水文地质条件及使用部位，合理划分适用类型，并采取相应的施工措施以保证整体稳定。

1.0.6 当红砂岩存在强度低、风化严重或水敏性强等不利特性时，应根据工程实际进行改良处理，必要时通过室内外试验确定施工参数和工艺，形成配套的改良措施。

1.0.7 红砂岩路基设计与施工应统筹考虑排水、防护及施工工序的协调，结合现场条件选用合理技术手段，提升工程安全性和耐久性。

1.0.8 红砂岩路基设计与施工应积极推广应用相对成熟的“四新技术”，提升工程的绿色化、智能化和标准化水平。

1.0.9 红砂岩路基设计与施工除应符合本指南要求外，尚应符合国家和交通运输行业现行相关法律法规、技术标准与规范的规定。

2 术语和符号

下列术语和符号适用于本文件。

2.1 术语定义

2.1.1 红砂岩 red sandstone

泛指中生界三叠系、侏罗系、白垩系及新生界古近系和新近系的沉积地层，岩性为泥岩、泥质粉砂岩、钙泥质粉砂岩及其组合等，以红色、砖红色为显著特征的沉积岩。

2.1.2 饱和单轴抗压强度 saturated uniaxial compressive strength

红砂岩在饱和状态和无侧限条件下，受轴向压力作用破坏时单位面积所承受的荷载。

2.1.3 预崩解处理 pre-disintegration

在用作路堤填料之前，将爆破或开挖出来的天然红砂岩裸露于大气、阳光和雨水中，通过自然或人工的手段使其崩解的处理过程。

2.1.4 崩解料 Disintegrated material

红砂岩经预崩解处理，消除其水活性，变成一种介于低液限粉质黏土与粉土之间的土体，通过合理的工艺和质量控制，可用于路堤填筑的填料。

2.1.5 耐崩解性指数 slake durability index

耐崩解试验中，红砂岩试样在经过干燥和浸水两个标准循环后，耐崩解仪筛筒中残留试样质量与原试样质量之比。

2.2 符号

R_c ——饱和单轴抗压强度；

R_w ——饱水强度；

I_{d2} ——耐崩解性指数；

δ_{ef} ——自由膨胀率；

η ——软化系数。

3 分类与试验

3.1 一般规定

3.1.1 红砂岩的分类与评价应遵循“先试验、后分类”的原则，通过耐崩解试验、室内浸水崩解试验及工程经验相结合的方式科学分类，并确定其工程适用性与处治措施。

3.1.2 试验所用红砂岩样品应具有代表性，取样、制样、保存和试验过程应符合相关要求，确保试验结果准确可靠。

3.1.3 应根据红砂岩物理力学性质、崩解特征及路基长期稳定性要求，结合当地气候、水文及施工条件，选择合理的试验项目进行评价，确保红砂岩路基满足强度与变形要求。

3.2 分类

3.2.1 红砂岩应根据耐崩解试验的结果进行崩解性分类，耐崩解试验应按附录 A 进行，崩解性分类应符合表 1 的规定。

表 1 红砂岩崩解性分类

类别	耐崩解性指数 I_{d2} (%)
不崩解	>95
难崩解	$85\sim95$
易崩解	<85

条文说明

红砂岩岩性复杂，难以单纯按岩性概括其工程性质。无论是岩浆岩、变质岩还是沉积岩，其是否适用于路堤填筑，关键在于压实后的强度与变形能否满足交通荷载要求，以及在自然环境下的长期稳定性。

在本指南中，选取“崩解性”作为红砂岩分类的主要指标。崩解性反映了红砂岩在干湿循环中的水理特性，与路堤工程表现密切相关。根据不同的崩解性，红砂岩的工程处理方式可分为三类：

- (1) 不崩解红砂岩：受环境影响小，可按普通填石路堤施工；
- (2) 易崩解红砂岩：经预处理或自然循环消除崩解性后，可按填土路堤施工；

(3) 难崩解红砂岩：崩解缓慢、强度高，难以破碎或预处理，若未能提前消除其崩解性，需采取特殊设计和施工措施，处理难度较大。

工程实践表明，“不崩解”和“易崩解”红砂岩的处治较为简单，而“难崩解”红砂岩若误判为“不崩解”，可能带来工程隐患。因此，在工程可行性研究和初步设计阶段，宜结合地区经验进行分类：从未出现崩解病害的可判为“不崩解”，开挖后短期内风化的判为“易崩解”，无法明确判断的建议归为“难崩解”。

3.2.2 红砂岩应根据室内浸水崩解试验的结果进行崩解形态分类，室内浸水崩解试验应按附录 B 进行，崩解形态分类应符合表 2 的规定。

表 2 红砂岩崩解形态分类

类别	24 小时内崩解特征
I类	崩解为泥状、渣状、渣泥状或渣粒状
II类	崩解为大块状、块状、块粒状或粒状
III类	无明显崩解，或仅尖棱处少量崩解，且崩解量不大于总量的 1%

条文说明

红砂岩经烘干后几乎失去全部水分，其孔隙和裂隙表面具有较强的吸水能力。再次浸水时，吸水膨胀会产生显著应力，导致岩石发生崩解。因此，浸水崩解试验能够有效反映崩解性岩石的基本崩解特征，并为其工程处治提供依据。

3.2.3 红砂岩应根据崩解性和崩解形态进行分类，分类应符合表 3 的规定。

表 3 红砂岩分类

类别	崩解形态类别	崩解性类别
一类	I类	易崩解
二类	II类	易崩解
三类	III类	不崩解
	III类	难崩解

条文说明

一类红砂岩为易崩解类，母岩强度低，崩解产物多为渣状，施工中易碾压成型，但需通过掺灰、掺水泥等措施提高 CBR 强度，并加强防排水，确保长期稳定。

二类红砂岩为易崩解类，产物多为块状。母岩强度较高时需预先破碎或依靠干湿循环处理；强度中等时可直接碾压，但若压实不足，运营期内可能产生局部沉降。

三类红砂岩包括“不崩解”和“难崩解”两种情况。不崩解红砂岩在干湿循环环境下性质稳定，适用于普通填石路堤。难崩解红砂岩则崩解缓慢，部分强度较高的岩石在施工中难以破碎，但运营期可能逐渐失稳，需采取强夯、冲击压实或防水封闭等措施。

需要说明的是，本条与本指南第3.2.1条相互呼应，但并不重复或冲突。例如，粤北地区某些砂岩饱和单轴抗压强度接近25 MPa，经一次烘干浸水并不会崩解，可判定为III类岩石，但仍不能归为“不崩解”岩石。

总体而言，表3所列分类顺序在崩解性上体现了由“不崩解—难崩解—易崩解”的规律，但在工程适用性上并非简单的由优到劣。易崩解红砂岩虽强度低，但施工和压实方便，经适当改良可稳定；难崩解红砂岩虽强度高，但破碎难度大、长期沉降风险高。因此工程应用中应结合填料性质与地区经验，按最不利情况进行分类和处治。

3.3 取样

3.3.1 用作路基填料的红砂岩，应在料场的不同部位取新鲜岩样，并做密封处理，且数量不少于6组。

3.3.2 所采红砂岩样品还应满足本文件3.4试验、附录A和附录B试验的取样要求。

3.3.3 取样的其他事项应符合《公路工程岩石试验规程》(JTG 3431)和《公路土工试验规程》(JTG 3430)的规定。

3.4 试验

3.4.1 红砂岩崩解料室内试验项目应符合表4的规定。

表4 红砂岩崩解料室内试验项目

测试项目	形态类别			试验方法
	一类	二类	三类	
颗粒分析	+	+		JTG 3430 T 0115~T 0117
含水率 w	+	+	+	JTG 3430 T 0103~T 0104
天然密度 ρ	+	+	+	JTG 3430 T 0109~T 0111
塑限 w_p	(+)	(+)		JTG 3430 T 0118
液限 w_L	(+)	(+)		JTG 3430 T 0118
黏聚力 c	+	+	(+)	JTG 3430 T 0140~T 0142
内摩擦角 φ	+	+	(+)	
饱和单轴抗压强度 R_c	+	+	+	JTG 3431 T 0221

表 4 红砂岩崩解料室内试验项目 (续)

测试项目	形态类别			试验方法
	一类	二类	三类	
浸水崩解试验	+	+	+	附录 A
饱水强度 R_w	+	+	+	JTG 3431 T 0221
软化系数 η	+	+	+	JTG 3431 T 0221
自由膨胀率 δ_{ef}	+	+		JTG 3430 T 0124
干燥饱和吸水率 W_{sa}	(+)	+		JTG 3431 T 0205
击实试验	+	+	(+)	JTG 3430 T 0131
加州承载比 CBR	+	+		JTG 3430 T 0134
渗透试验	+	(+)		JTG 3430 T 0129~T 0130

注: 1. “+” : 必做项目; “(+)” : 选做项目; 空白项: 可不开展;

2. 塑限和液限试验适用于粒径细化明显、细粒含量较高的红砂岩崩解料。

3.4.2 红砂岩挖方路基边坡土样室内测试项目应符合表 5 的规定。

表 5 红砂岩挖方路基边坡土样室内测试项目

测试项目	形态类别			试验方法
	一类	二类	三类	
颗粒分析	(+)	(+)		JTG 3430 T 0115~T 0117
含水率 w	+	+	+	JTG 3430 T 0103~T 0104
天然密度 ρ	+	+	+	JTG 3430 T 0109~T 0111
塑限 w_p				JTG 3430 T 0118
液限 w_L				JTG 3430 T 0118
黏聚力 c	(+)	(+)	(+)	JTG 3430 T 0140~T 0142
内摩擦角 φ	(+)	(+)	(+)	
饱和单轴抗压强度 R_c	+	+	+	JTG 3431 T 0221

注: “+” : 必做项目; “(+)” : 选做项目; 空白项: 可不开展

3.4.3 红砂岩填方路基边坡土样室内测试项目应符合表 6 的规定。

表 6 红砂岩填方路基边坡土样室内测试项目

测试项目	形态类别			试验方法
	一类	二类	三类	
颗粒分析	(+)	(+)		JTG 3430 T 0115~T 0117

表 6 红砂岩填方路基边坡土样室内测试项目 (续)

测试项目	形态类别			试验方法
	一类	二类	三类	
含水率 w	+	+	+	JTG 3430 T 0103~T 0104
天然密度 ρ	+	+	+	JTG 3430 T 0109~T 0111
黏聚力 c	(+)	(+)	(+)	JTG 3430 T 0140~T 0142
内摩擦角 φ	(+)	(+)	(+)	
饱和单轴抗压强度 R_c	+	+	+	JTG 3431 T 0221

注：“+”：必做项目；“(+)”：选做项目；空白项：可不开展

4 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 红砂岩路基勘察应按照工程建设各阶段的要求，结合地形地质、水文条件、路基边坡高度以及沿线结构物设置情况，合理确定勘察方法和勘察范围，并遵循工程地质调绘、勘探测试、综合分析和报告编制的程序开展工作，形成完整可靠的勘察成果。

4.1.2 勘察应查明红砂岩的分布范围、类型、风化程度、结构特征、力学性质和储量等工程地质条件，并应符合《公路勘测规范》(JTG C10)及《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)的相关规定。

4.1.3 勘察阶段应根据拟定的工程方案和地形条件，对可能存在的挖方或填方路基稳定性问题进行分析与判断，必要时提出边坡稳定性评价及线位优化建议。

4.1.4 红砂岩滑坡或潜在滑坡路段的勘察应符合《公路滑坡防治设计规范》(JTG/T 3334)的有关要求。

4.1.5 勘察成果应与设计文件校核比对，确保其对施工组织设计、试验段布设和工艺参数确定提供依据。

4.2 填方路基

4.2.1 填方路基勘察应查明以下内容:

- 1 填方路段的地形地貌特征、地面横坡度及其变化情况。
- 2 覆盖层厚度、土质类型、地层结构及软弱夹层的分布。
- 3 覆盖层下伏基岩面的坡度和起伏形态。
- 4 红砂岩的组成、产状、节理裂隙发育程度、结构类型及风化程度。
- 5 陡坡路堤处的结构面产状与软弱夹层分布。
- 6 地基岩土的物理力学性质及承载力。
- 7 地表水汇水范围、排水条件及地下水的类型、分布、水位埋深。
- 8 陡坡路堤潜在滑动面的位置及其稳定性。

4.2.2 地质调绘应沿拟定线位及其两侧开展, 比例尺宜为 1:2000, 调绘宽度沿路线两侧均不应小于 200 m; 对于顺倾结构面控制的红砂岩陡坡路堤, 调绘范围应覆盖整个坡体。

4.2.3 勘探点布置应结合地貌单元和地层变化情况加以确定, 工程地质条件简单的, 路线每千米布置的勘探点不应少于 2 个; 地质条件复杂的, 应在代表性地貌单元布置勘探剖面, 并在地层过渡带加密布点。

4.2.4 勘探深度应进入稳定持力层或红砂岩层, 且不应小于 3 m。

4.3 挖方路基

4.3.1 当挖方路段边坡高度超过 10 m 或需进行特殊设计时, 应按《公路工程地质勘察规范》(JTG C20) 进行勘察。

4.3.2 挖方路基勘察应查明以下内容:

- 1 自然边坡的地貌类型、坡面形态及起伏特征。
- 2 坡顶邻近建筑物的荷载、结构及基础埋深。
- 3 覆盖层厚度及与基岩接触面的形态和起伏情况。
- 4 红砂岩岩性特征、岩体完整性、风化程度和结构类型。

5 节理、断层、软弱夹层等结构面特征及边坡结构类型。

6 岩土的物理力学性质及控制边坡稳定的抗剪强度指标。

7 地表径流和地下水的分布、出露位置及动态特征。

8 挖方段土石方开挖比例及石料作为填料的适用性。

9 边坡潜在失稳模式及稳定性评价。

4.3.3 地质测绘比例尺和宽度同填方路基，对于顺倾结构面控制的红砂岩自然边坡，应覆盖整个挖方段坡体范围。

4.3.4 勘探测试应符合下列规定：

1 挖方路基、设置抗滑桩等支挡工程路段，勘探应满足 JTG C20 相关要求。

2 软弱结构面发育的，应超过最下层潜在滑动面，钻孔深度进入稳定层不应小于 3m；地下水丰富的路段应根据排水工程设计确定钻孔深度。

3 对控制边坡稳定的软弱结构面，应进行必要的原位剪切试验。

4 挖方段土石方用作路基填料时，勘察和测试应满足 JTG C20 的相关要求。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 红砂岩路基应按本文件表 3 划分的类别，合理选用设计方案，不得套用统一标准，其中三类红砂岩可参照《公路路基设计规范》(JTG D30)中填石路堤的相关规定。

5.1.2 一、二类红砂岩不得用于路床、涵背、桥台背墙等部位，以及小半径弯道、宽度急变段、软弱地基段和复杂地质段。

5.1.3 饱和单轴抗压强度大于 30MPa 的三类红砂岩，改良处理的一、二类红砂岩经试验段验证后可用于路床填筑。

5.1.4 红砂岩使用前应通过压实性、膨胀性、崩解性、*CBR* 及水稳定性等试验验证其适用

性，并需开展现场试填试压工作。

5.1.5 红砂岩边坡防护设计应根据边坡稳定性、水文条件、道路等级及环境因素综合确定，宜采用工程防护与植物防护相结合的防护措施，并应采用分层开挖、分层稳定和预加固技术等加固措施。

5.1.6 路基排水设计应结合红砂岩沿线区域的气候、水文、地形、地质条件及构造物布设情况，进行系统规划。应确保地表水不得渗入或滞留于路基内部，地下水得以顺畅排出路基区域，并与路面、桥梁、涵洞、隧道等设施的排水系统协同衔接。

5.2 填方路基

5.2.1 应根据当地红砂岩的工程性质、储量、自然和地质条件，选择适当的路堤结构形式、处治方法和防护措施。

5.2.2 红砂岩填方路基底部宜根据地形地貌及地下水位情况设置隔水层，并符合下列规定：

1 丘陵路段

- 1) 坡地路段：经挖台阶处理后，宜设置厚度不小于 100 cm 的粗粒土隔水层；
- 2) 山间洼地路段：应设置不小于 60cm 的碎石下隔水层和不小于 60cm 的粗粒土上隔水层。

2 平缓路段

- 1) 水田、鱼塘等涉水路段：宜设置不小于 60cm 的碎石下隔水层和不小于 60cm 的粗粒土上隔水层；
- 2) 非涉水路段：宜不小于 40cm 的碎石下隔水层和不小于 60cm 的粗粒土上隔水层。

5.2.3 红砂岩路堤应保持干燥或湿度稳定的中湿状态，根据地形条件尚应符合下列规定：

- 1 低洼或易积水路段应设置排水沟、渗沟或环形盲沟，将地表水及时排出。
- 2 低洼或易积水路段路堤底部还需设置防渗层，防渗层可采用分层填筑不小于 60 cm 的低液限黏土或复合土工膜。

3 其他处理应符合 JTG D30 的相关规定。

5.2.4 一、二类红砂岩路堤填筑类型包括直接填筑型、包边封闭型和改良填筑型三类：

1 直接填筑型路堤适用于二类红砂岩崩解料，应符合下列规定：

- 1) 松铺厚度 h 不宜超过 40 cm；
- 2) 每一碾压层应设置 4% 的路拱横坡；
- 3) 高填方或陡坡路堤，每填筑三层宜铺设一层复合土工格栅并采用反包处理。
- 4) 填料最大粒径 d_{max} ：当 $h=40$ cm 时， $d_{max} \leq 25$ cm；采用其他厚度时， $d_{max} \leq 2/3 h$ 。

2 包边封闭型路堤适用于一、二类红砂岩崩解料，应符合下列规定：

- 1) 采用黏性土包边超填形式，整修后边坡包边土水平厚度应不小于 1.5 m，顶部封面黏土层压实厚度不小于 0.5 m；
- 2) 包边土与红砂岩填料应同步碾压，压实度应符合 JTG D30 的相关规定；
- 3) 其他规定与直接填筑型路堤相同。

3 改良填筑型适用于改良的一、二类红砂岩崩解料，应符合下列规定：

- 1) 一类红砂岩需掺入一定比例熟石灰、水泥或其他化学/矿物材料进行化学改良，掺量宜根据现场试验确定，以 CBR 值和压实度达标为准；
- 2) 二类红砂岩填料 CBR 值不符合 JTG D30 规定时，可掺入碎石、砾石等材料进行物理改良。

5.2.5 直接填筑型、包边封闭型和改良填筑型路堤宜采用骨架植被护坡，以提高边坡稳定性和生态效果。

5.2.6 对沉降周期和工后沉降要求较高的路段，应采用强夯或铺设土工材料等技术进行处理。

5.3 挖方路基

5.3.1 路床设计应符合下列规定：

1 挖方路基路床范围内的一类、二类红砂岩岩体，在风化严重、裂隙发育或易崩解

情况下，宜采取超挖换填处理；换填材料可采用砂砾石、级配碎石或硬质岩石渣，换填层底部应设置防渗层，防渗材料宜采用复合土工膜、三维排水网或其他工程措施。

2 地下水丰富或地下水位较高的挖方路段，边沟下方应设置盲沟或渗沟，以防止水分聚集引起边坡软化或失稳。

5.3.2 边坡设计应符合下列规定：

1 边坡形式与坡率应根据红砂岩地质类型、软硬互层分布、水文条件、边坡高度及防排水措施等，结合现场勘察资料综合确定，无软弱结构面的红砂岩边坡，可参照 JTG D30 表 3.4.2 执行。

2 对存在外倾软弱结构面、风化强烈、层理裂隙发育的红砂岩边坡，或边坡高度超过 15 m、坡顶荷载较大的边坡，应依据 JTG D30 进行专项稳定性论证，并采用分级开挖与综合支护相结合的方式。

5.3.3 挖方边坡的稳定性分析与计算应按 JTG D30 执行，若不满足 JTG D30 规定，应进行边坡加固设计，可采用锚杆(锚索)、抗滑桩、挡墙等支护措施。

5.3.4 在延伸较大的自然边坡上开挖形成复合型边坡时，除应符合本文件 5.3.3 条规定外，还应符合下列规定：

1 在不稳定自然边坡上形成的路基边坡，应按滑坡体进行加固设计，并符合 JTG/T 3334 规定。

2 在欠稳定自然边坡上形成的路基边坡，宜按滑坡处置设计处理。

3 在基本稳定或稳定自然边坡上开挖形成的边坡，其坡口线水平外延不应小于开挖高度的 3 倍，整体稳定系数应满足 JTG/T 3334 规定，必要时应增设抗滑桩等支挡结构。

5.3.5 一类、二类红砂岩边坡在采用锚杆(锚索)支护时，应优先采用干法成孔工艺，以降低孔壁崩解及成孔变形风险。

5.3.6 挖方边坡防护工程应设置在稳定坡体上，防护措施应符合 JTG D30 有关规定，并符 12

合下列规定：

1 对一类、二类红砂岩边坡，在植物防护可能因雨水冲刷失效的条件下，应采用水泥混凝土骨架或加筋绿格网等防护体系，并在骨架中设置拦水带和排水槽。

2 对经支护但仍裸露的红砂岩坡面，应采取表面防崩解喷护措施，如喷混凝土、喷浆植草或防水剂涂覆，以增强抗风化、抗水崩解能力。

5.4 路基排水

5.4.1 地表排水设计应符合下列规定：

1 地表排水设计应综合考虑汇水面积、降雨强度、历时及重现期，结合地势规划排水通道和结构。

2 红砂岩地区的边坡区及路基两侧坡面宜独立设置地表排水系统，形成相对独立的分区排水体系。

3 红砂岩区域路基不应出现积水。在低填浅挖、排水困难或地下水活动强烈地段，应采用“防、排、截”结合的综合排水体系，及时截断汇水、排除路基内积水，并隔绝地下水涌，保障路基稳定性。

4 红砂岩填方边坡或自然边坡应设置急流槽、跌水井等排水构造，严禁采用坡面漫流方式，以防冲刷造成边坡破坏。

5.4.2 地下排水设计应符合下列规定：

1 当地下水对路基稳定性和强度产生不利影响时，应根据地下水类型、含水层分布及地层渗透性，采取拦截、导排、降水、隔离等措施，并确保地表排水与地下排水系统协同工作。

2 地下排水设施形式应结合红砂岩结构特点、水文地质条件和边坡稳定性要求，按下列原则选型布设：

1) 当地下水埋藏浅、分布不均或红砂岩岩体结构松散、无固定含水层时，宜采用隔

离层、排水垫层、盲沟、渗沟等浅层排水措施，以及时导排渗水，降低表层软化风险；

- 2) 当地下水埋藏较深或存在稳定含水层，且红砂岩较完整时，可采用仰斜式排水孔、渗井或排水隧洞等深层排水构造，以有效截排深层水，控制潜在水压力；
- 3) 深层排水孔适用于引排坡体内部潜水或裂隙水，宜布设在坡脚、岩土分界面、软弱夹层及层间高水位带等关键部位，并结合边坡渗流路径优化布设；地下水丰富区域可适当加密布孔，提高排水效率；
- 4) 对地下水活动强烈、渗透性高的高陡红砂岩边坡或潜在滑动边坡段，可设置排水隧洞，并与地表排水系统协同构成立体排水网络，确保边坡长期稳定。

5.4.3 排水构造设置应符合下列规定：

- 1 排水构造应保证排水通畅、安全稳定，并便于施工、检查和养护。
- 2 截水沟、边沟等地表排水设施的位置、数量和断面尺寸应通过汇水面积、降雨强度和历时等参数计算确定。
- 3 坡面排水沟尺寸除应满足地表径流量要求外，还应考虑坡体渗漏或潜水排出量。

5.4.4 各类排水设施设计应符合 JTG D30 和《公路边坡防护工程技术规范》(JTG/T D33)等现行相关标准的规定。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 路基施工前，应在掌握设计文件的基础上，调查红砂岩料源分布及储量，取样测试工程性质，确定适用类型和填筑方式。

6.1.2 施工应结合实际情况编制专项施工组织设计，优先利用天然红砂岩进行路堤填筑。

6.1.3 全面施工前应修建试验段，确定施工工艺及压实参数，试验段长度宜不小于 200 m。

6.1.4 施工期间应加强临时排水系统建设，避免形成低洼积水区域。

6.1.5 红砂岩高填及陡坡路堤宜采用强夯处理，原地面以上每4m进行落锤式强夯，以控制沉降速率和沉降差。

6.1.6 路堤填筑完成后，宜预留一个雨季或不少于6个月的沉降期，以减少工后沉降影响。

6.2 填方路基

6.2.1 红砂岩填料在开采前应清除表层杂物，如植被、腐殖土、淤泥等，每次备料量宜满足10~20天的填筑需求。

6.2.2 对于崩解性较弱或块体较大的红砂岩，应采用人工或机械破碎、筛分等方式进行粒径控制与预处理，确保填料最大粒径符合5.2.4条相关规定。

6.2.3 在填筑前应排除低洼区积水，清理软弱土层，设置防渗层、隔水层时，压实应满足《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)的规定。

6.2.4 红砂岩填料应均匀摊铺于填筑面，并使用推土机初平，保证填层厚度均匀，布料横坡不小于4%。

6.2.5 耙压整平应符合下列规定：

1 每层松铺厚度宜控制在40cm以内，耙压不应少于3遍。

2 使用平地机由两侧向中间推进整平。

3 局部超径料应清除或就地击碎再利用。

6.2.6 碾压工艺应符合下列规定：

1 耙压整平完成后，应及时进行碾压。

2 碾压过程中含水率应控制在最佳含水率±2%。

3 沉降差小于5mm后方可停止碾压。

4 经压实度检验合格的压实层在下一层填筑前宜采用羊足碾振压一遍，形成凹凸面以增强上下层间的结合。

6.2.7 直接填筑型路堤的施工应符合 JTG/T 3610 的相关规定；施工过程中应结合红砂岩填料的崩解特性，合理控制含水率与碾压参数，确保压实度满足设计标准。

6.2.8 包边封闭型路堤的施工应符合下列规定：

- 1 路堤内部红砂岩部分应按直接填筑型路堤的施工工艺实施。
- 2 包边土压实度应与内部红砂岩填料一致。
- 3 包边土与内部红砂岩接触处应适度掺杂，以提高整体稳定性。
- 4 包边土与红砂岩填料应同步分层碾压，确保整体性和密实性。

6.2.9 改良填筑型路堤的施工应符合下列规定：

- 1 一类红砂岩应采用充分消解的粉末状熟石灰或水泥，在红砂岩摊铺整平后均匀撒布，通过推土机耙压、松土齿翻拌和平地机配合完成混拌。
- 2 一类红砂岩改良材料的施工工艺与直接填筑型路堤一致。
- 3 二类红砂岩应与碎石、砾石按设计比例预拌，分层摊铺，平地机整平后，通过推土机或松土齿翻拌机翻拌，使混合料颗粒均匀、级配合理，满足设计要求。

6.2.10 红砂岩路堤雨前和雨后施工应遵循下列规定：

- 1 雨前应及时完成已摊铺红砂岩材料的碾压密实工作。
- 2 若材料受雨水影响导致含水率异常，应进行翻晒，使其含水率达到施工要求范围后再耙松拌和并碾压密实。

6.2.11 红砂岩路堤在施工中断时，处理措施应遵循下列规定：

- 1 宜采用连续施工，确需短暂停工时，应将路堤顶部和边坡整平碾压密实。

2 若因降雨导致较长时间停工，应对表面及边坡加以处理，铺设厚度不小于 30 cm 的低液限黏土封层并碾压至设计压实度。

3 设置不少于 4% 的横坡，防止积水。

4 必要时开挖临时排水沟，确保边坡及坡脚排水通畅。

6.2.12 红砂岩填方路基施工的其他要求应符合 JTG/T 3610 的相关规定。

6.3 挖方路基

6.3.1 应根据红砂岩结构特点、风化程度、节理裂隙发育等特性，合理选择机械开挖或控制爆破方式，制定开挖方案。

6.3.2 路床区域开挖应连续作业，确保清除风化层与松散结构，必要时换填并压实至设计标准。

6.3.3 红砂岩挖方边坡应优先进行排水系统建设，严防地表水及雨水下渗削弱边坡稳定性。

6.3.4 若设置抗滑支挡结构，应先完成支挡结构施工，再进行后续边坡开挖。

6.3.5 边坡开挖应自上而下、逐级进行，每级开挖后及时完成防护与排水，坡面应避免长时间暴露，特别是雨季施工应加强边坡防护和临时排水。

6.3.6 红砂岩挖方路基施工的其他要求应符合 JTG/T 3610 的相关规定。

7 检测与监测

7.1 一般规定

7.1.1 红砂岩填方路基质量检测应符合 JTG/T 3610 和《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1)规定。

7.1.2 红砂岩路堤填筑应逐层进行压实质量检测，上一层检测合格后方可进行下一层填筑。

7.1.3 路堤应结合填料类别与填筑高度, 确定是否开展施工期变形监测, 高填、陡坡或设有支挡结构的路堤应纳入重点监测对象。

7.1.4 红砂岩高填路堤、陡坡路堤以及设有支挡结构的软质岩路堤, 应开展变形监测, 监测工作应自施工期开始并持续至建成通车后不少于 2 年。

7.1.5 挖方边坡应结合边坡高度、岩体结构与分布范围制定监测方案, 分阶段实施监测, 并根据需要增设土压力、降雨量等监测项目。

7.2 施工过程质量检测

7.2.1 红砂岩填方路基压实质量检测指标选择应符合下列规定:

- 1 一类红砂岩填料可采用压实度作为主要检测指标。
- 2 二类红砂岩可根据试验段实测结果, 选择适用指标体系。
- 3 三类红砂岩可采用孔隙率与压实沉降差作为主要检测指标。

7.2.2 压实度检测可采用灌砂法或灌水法, 按现行 JTG 3430 执行, 红砂岩路堤压实度应符合表 7 的规定。

表 7 红砂岩路堤压实度标准

路基部位	路面底面以下深度(m)		压实度(%)
上路堤	轻、中及重交通	0.8~1.5	>94
	特重、极重交通	1.2~1.9	
下路堤	轻、中及重交通	>1.5	>93
	特重、极重交通	>1.9	

注: 1. 表列压实度系按现行 JTG 3430 重型击实试验法所得最大干密度求得的压实度。

7.2.3 红砂岩路堤填筑压实沉降差的平均值应小于 5 mm, 标准差不大于 3 mm。

7.2.4 红砂岩路堤孔隙率应符合表 8 的规定。

表 8 红砂岩路堤孔隙率 n 控制标准

路基部位	路面底面以下深度(m)		孔隙率 n (%)
上路床	0~0.3		≤20
下路床	轻、中及重交通	0.3~0.8	≤20
	特重、极重交通	0.3~1.2	≤20
上路堤	0.80~1.50 (1.20~1.90)		≤20
下路堤	≥1.50 (>1.90)		≤22

注：1. 括号中数值为特重、极重交通条件下的深度范围。

7.2.5 检测布设和频率应符合下列规定：

1 沉降观测断面每 20 m 布设 1 处，每处断面应在横断面中心及距两侧边缘 1m~3 m 处布设沉降观测点，每断面不少于 5 个观测点；当压实面积不足 100 m²时，观测点不少于 4 个。

2 压实度每 200 m 长度每压实层检测不少于 2 处，孔隙率每 200 m 长度每压实层检测不少于 1 处，压实度和孔隙率检测频率必要时可适当增加。

7.3 交(竣)工质量检测

7.3.1 红砂岩路基交工前应按 JTGF80/1 分类检测，不同类别的红砂岩检测项目应符合下列规定：

- 1 一类参照土方路基选择检测项目。
- 2 二类根据试验段情况择优选择检测项目。
- 3 三类参照填石路基选择检测项目。

7.3.2 路堤交工质量检测除压实质量和外观检测外，还应进行弯沉检测，弯沉值应不大于设计验收弯沉值，检测与评定应符合 JTGF80/1 的相关规定。

7.3.3 挖方边坡支护结构的交工检测应符合 JTG F80/1 的相关规定。

7.3.4 红砂岩路基工程在交工验收合格后, 应按照 JTG F80/1 和《公路工程竣(交)工验收办法实施细则》(交公路发[2010]65号)的相关要求进行竣工质量检测。

7.3.5 交(竣)工质量检测由建设单位委托具有相应资质的检测单位实施, 检测项目应符合《公路路基路面现场测试规程》(JTG 3450)及 JTG F80/1 的相关规定。

7.3.6 竣工检测应结合交工阶段检测结果及试运行期间监测数据, 采用综合分析法对工程质量进行评价, 评价内容应包括:

1 红砂岩路基的稳定性。

2 支护设施、防护设施及排水设施是否实体完好、功能正常。

3 对比分析设计指标、施工检测数据、交工检测数据和竣工检测数据, 确认工程性能变化趋势。

4 对存在的潜在质量隐患提出整改和后期养护建议。

7.4 变形监测

7.4.1 施工期变形监测开展要求应符合下列规定:

1 一类红砂岩边坡高度 ≥ 12 m。

2 二类和三类红砂岩边坡高度 ≥ 20 m。

3 陡坡及填挖交界路堤。

4 延续至通车运营 2 年以上。

7.4.2 监测断面间距应符合下列规定:

1 一般路堤不宜大于 100 m。

2 顺层坡段不宜大于 50 m。

3 同一路段不同监测项目应布置在同一断面，不同地质或地基处理段宜单独布设监测断面。

7.4.3 监测内容应结合路堤类型和工期安排确定，并包括以下内容：

1 顶面沉降和坡面水平位移。

2 陡坡或交界段可布设测斜管，监测深部滑移。

3 高于 40 m 路堤可设置分层竖直沉降监测点。

4 软基段应增加地基沉降监测。

5 视情况可增加地下水位、降雨量等监测项目。

7.4.4 监测频率应符合下列规定：

1 施工期：每 5~10 天监测 1 次。

2 完工至路面铺设前：每 7~15 天 1 次。

3 运营期：每季度不少于 1 次，雨季或异常情况应加密，宜采用远程智能监测系统实施实时监控。

7.4.5 挖方边坡安全等级与监测项目应参照《公路排水设计规范》(JTG/T D33)与《地质灾害危险性评估规范》(GB/T 40112)。

7.4.6 应配合人工巡查、无人机航拍等手段，结合监测数据，及时掌握变形或破坏征兆，指导现场施工与运营养护。

7.4.7 监测资料应及时整理和汇总，形成周报、月报、季报或年报，监测内容包括：

1 各测点累积沉降及沉降速率。

- 2 各测点累积水平位移及位移速率。
- 3 荷载-时间-沉降与荷载-时间-位移关系曲线。
- 4 水平位移分布图与沉降盆图。
- 5 巡查与监测对比分析结果。

附录 A 红砂岩耐崩解试验方法

A.1 目的与适用范围

通过干燥—浸水（干湿交替）处理，记录红砂岩试样在规定循环条件下的崩解过程并计算耐崩解性指数（ I_{d2} ），据此判定红砂岩崩解等级，为红砂岩工程分类、路基填料选择和工程处治措施提供依据。

A.2 主要设备与器具

- a) 烘箱，温度可控并稳定在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 精密天平，分度值 0.01 g 或更高精度；
- c) 盛水容器（玻璃或不锈钢水槽），能保持试样完全浸没；
- d) 孔径为 2.0 mm 的标准筛（用于区分崩解产物）；
- e) 干燥器、温度计、计时器、镊子、标牌等辅助工具；
- f) 若采用筒式振筛装置或筛筒，按需要配置（可提高观测效率）。

A.3 试样制备与记录

A.3.1 试样选取与数量：取具有代表性的红砂岩样品，数量不少于 6 块；若用于工程验收或研究，应采用不少于 10 块的小试样（约 $40 \sim 60 \text{ g}$ ）。

A.3.2 试样外观与基本信息记录：记录工程/料场名称、采样位置、编号、颜色、风化程度、胶结形式、主矿物组成等。

A.4 试验条件与试验用水

- a) 试验用水温度： $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 试验环境与试验用水应避免明显酸碱或漂白剂；
- c) 每次称量前后试样及筛内残留物须充分烘干至恒重。

A.5 试验程序

A.5.1 初始烘干与称重：在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重，冷却后称量为 m_s ；

A.5.2 浸水（第 1 次循环）：将试样置于水中浸泡 24 h （第一次浸水循环），观察并记录崩解情况，用孔径为 2.0 mm 的标准筛将崩解产物筛分，将筛上残留物充分烘干至恒重；

A.5.3 干燥与称重（第 1 次循环）：筛上残留物恒重称量（记为 m_1 ）；

A.5.4 重复循环（第2次循环）：在相同条件下再次进行烘干—浸水—筛分—烘干—称重的处理（即重复A.5.2至A.5.3步骤），称量第二次循环后筛上残留物质量为 m_r 。

A.6 耐崩解性指数计算

二次循环耐崩解性指数 I_{d2} 计算公式：

$$I_{d2} = \frac{m_r}{m_s} \times 100\%$$

式中： I_{d2} ——二次循环耐崩解性指数（%）；

m_s ——原试样烘干质量（g）；

m_r ——二次循环后残留质量（g）。

A.7 崩解等级判定

红砂岩崩解性分类如下：

- a) 不崩解： $I_{d2} > 95\%$ ；
- b) 难崩解： $85\% \leq I_{d2} \leq 95\%$ ；
- c) 易崩解： $I_{d2} < 85\%$ 。

A.8 观测记录与判别要点

- a) 对在第1次循环中即出现大幅崩解的试样，应在报告中注明并附照片；
- b) 对需要进一步区分的试样，可补充描述其筛分结果或附带粒级分布情况。

A.9 试验报告内容

- a) 工程名称、采样位置与日期、试验人员；
- b) 试样基本信息；
- c) 试验条件与过程；
- d) 计算结果与崩解等级。

A.10 注意事项

- a) 取样避免机械扰动；
- b) 烘干恒重条件保持一致；
- c) 筛分应统一采用2.0 mm筛；
- d) 建议至少6~10件试样以保证代表性。

附录 B 红砂岩室内浸水崩解试验方法

B.1 目的与适用范围

通过干燥—浸水处理，观察红砂岩试样在水中静置 24 小时内的崩解表现，进而判定其崩解等级，为红砂岩的工程分类和使用提供依据。

B.2 主要设备

- a)电热烘箱：温控范围在 105°C~110°C，用于对试样进行恒温烘干；
- b)玻璃容器：用于容纳清水和浸泡试样；
- c)辅助工具：温度计、干燥器、计时器等。

B.3 试样准备

B.3.1 试样选取要求如下：

- a)选择具有代表性的红砂岩试样不少于 6 块，每块粒径约为 60mm；
- b)试样应尽可能新鲜，采样后应密封保存，保持原始含水状态。

B.3.2 对所采集的试样进行基本特征记录，包括颜色、风化程度、胶结状态及矿物组成等信息。

B.4 试验程序

B.4.1 将红砂岩试样放置于烘盘内，放入烘箱中，在 105°C~110°C 温度下持续干燥至少 8 小时，直至质量恒定；

B.4.2 将烘干后的试样取出，在干燥器中自然冷却至室温；

B.4.3 冷却完成后，将试样置于盛满清水的玻璃容器中，确保试样完全浸没，同时开始计时；

B.4.4 观察试样从浸水开始后的崩解过程，记录首次出现崩解的时间，并于各观察节点(如 10min、30min、1h、3h、6h、12h 和 24h)进行状态记录。

B.5 确定浸水 24 小时试样的崩解情况：

B.5.1 不崩解：整体结构保持基本完整，仅边角轻微剥落，质量损失不超过 1%；

B.5.2 块状崩解：出现块体剥离或手捏可碎；

B.5.3 粒状崩解：试样崩解为颗粒状；

B.5.4 渣状崩解：试样变为细碎粉渣状；

B.5.5 泥状崩解：试样基本解体为泥浆状物质。

B.6 试验用水的温度应维持在 20°C±2°C 范围内，以保证结果的一致性。

B.7 红砂岩浸水崩解形态记录格式如表 B.1。

B.8 红砂岩崩解性分类根据浸水崩解形态，按本文件表 2 确定。

表 B.1 红砂岩浸水崩解形态记录表

工程名称：

编号：

岩样说明	盒号	初崩时间 (s)	10 (min)	30 (min)	1 (h)	3 (h)	6 (h)	12 (h)	24 (h)
样品 1	1								
	2								
	...								
样品 2	1								
	2								
	...								
样品 3	1								
	2								
	...								

试验人员：

校核人员：

试验日期：