

水泥稳定风化岩基层应用技术指南

2022 - 01 - 12 发布

2022 - 04 - 10 实施

目 次

前 言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语..... 1

4 材料技术要求..... 1

5 基层设计参数..... 4

6 混合料配合比设计..... 4

7 施工..... 5

8 施工质量管理与验收..... 6

附 录 A （规范性） 岩石风化程度划分方法..... 9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省交通运输厅提出并监督实施。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西路桥建设集团有限公司、山西省交通科技发展有限公司、山西路桥集团偏关县旅游公路有限公司、山西路桥第三工程有限公司。

本文件主要起草人：姚晋勇、张亚军、李贵龙、张俊生、边伟、陶云峰、荣亚鹏、王闫超、王清华、梁博。

水泥稳定风化岩基层应用技术指南

1 范围

本文件规定了水泥稳定风化岩基层应用技术的前言、范围、规范性引用文件、术语、材料技术要求、基层设计要求、混合料配合比设计、施工、施工质量管理与验收、附录的要求。

本文件适用于一级公路的底基层和二级及以下公路的基层、底基层。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 50218 工程岩体分级标准
- CJ/T 486 土壤固化外加剂
- JTG E41 公路工程岩石试验规程
- JTG E51 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
- JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则

3 术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风化岩集料 *weathered rock aggregate*

采用中风化及以上岩石加工而成的粒料，粒径小于等于4.75 mm为风化岩细集料，粒径大于4.75 mm为风化岩粗集料。

3.2

水泥稳定风化岩 *cement stabilized weathered rock*

以水泥为结合料、风化岩集料为主要被稳定材料，与水共同拌和形成的混合料。

3.3

综合稳定风化岩 *comprehensive stabilized weathered rock*

以两种或两种以上无机材料为结合料、风化岩集料为主要被稳定材料，与水拌和形成的混合料，包括水泥石灰稳定风化岩、水泥粉煤灰稳定风化岩等。

4 材料技术要求

4.1 结合料

水泥、粉煤灰以及石灰均应满足JTG/T F20中相关技术要求。

4.2 风化岩

4.2.1 风化岩宜采用花岗岩、砂岩、石灰岩等硬质母岩，不应采用黏土矿物（绿泥石、伊利石、蒙脱石等）含量较高的母岩。

4.2.2 风化岩风化程度应划分为未风化、微风化、中风化、强风化、全风化五个等级，具体划分方法见附录 A。

- a) 风化程度定性划分应参照 GB/T 50218 中规定执行，具体可按照附录 A 中表 A.1 执行。
- b) 风化程度定量划分时，应综合考虑物理定量指标和力学定量指标，具体应按照附录 A 中表 A.2 和表 A.3 执行。物理定量指标应采用耐崩解性指数 I_{d2} ，力学定量指标应采用饱和单轴抗压强度 R_c ，耐崩解性试验和饱和单轴抗压强度试验应按照 JTG E41 中相关试验方法执行。
- c) 当根据风化程度定性特征和定量指标确定的级别不一致时，应通过对定性特征和定量指标的综合分析确定风化岩的风化程度级别。当两者的级别划分相差 1 级以上，应进一步补充测试。

4.2.3 强风化、全风化岩不得用于公路基层和底基层。

4.3 风化岩粗集料

4.3.1 风化岩粗集料应采用二级及以上破碎工艺，至少应有一级反击破碎工艺。

4.3.2 风化岩粗集料技术要求应符合表 1 的规定。

表 1 风化岩粗集料技术要求

适用范围			压碎值指标 (%)	针片状颗粒含量 (%)
基层	二级及以下公路		≤ 35	≤ 20
底基层	一级公路	重、特重、极重交通	≤ 30	
		中、轻交通	≤ 35	
	二级及以下公路		≤ 40	

4.3.3 基层、底基层的风化岩粗集料规格宜分为三挡：5~10mm、10~20mm、10~30mm，规格要求应符合表 2 的规定。

表 2 风化岩粗集料的规格要求

工程粒径 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)								公称粒径 (mm)
	37.5	31.5	26.5	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	
10~30	100	90~100	—	—	—	0~10	0~5	—	9.5~31.5
10~20	—	—	100	90~100	—	0~10	0~5	—	9.5~19
5~10	—	—	—	—	100	90~100	0~10	0~5	4.75~9.5

4.4 风化岩细集料

4.4.1 风化岩细集料规格应符合表 3 的规定。

表 3 风化岩细集料的规格要求

工程粒径 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)								公称粒径 (mm)
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
0~5	100	90~100	—	—	—	—	—	0~20	0~4.75

4.4.2 风化岩细集料 0.075 mm 以下颗粒的技术指标应符合表 4 的规定，其他指标应满足 JTG/T F20 中相关技术要求。

表 4 风化岩细集料 0.075 mm 以下颗粒技术指标要求

技术指标		一级公路底基层、 二级及以下公路基层	二级及以下公路底基层
含量		≤15%	≤20%
塑性指数	水泥稳定	<9	<12
	综合稳定	9~17	12~17

4.5 其它材料

4.5.1 施工用水应满足 JTG/T F20 中相关技术要求。

4.5.2 掺入土壤固化外加剂时，固化外加剂应符合 CJ/T 486 中相关的技术要求。

4.6 混合料

4.6.1 应根据公路等级、交通荷载等级、结构形式、材料类型等因素确定混合料技术要求。

4.6.2 风化岩混合料级配应满足 JTG/T F20 中相关技术要求。

4.6.3 风化岩的级配不满足设计级配要求时应掺配一定比例的碎石，碎石应符合 JTG/T F20 中相关技术要求。

4.6.4 水泥稳定风化岩混合料的强度采用 7d 无侧限抗压强度控制，具体要求应符合表 5 的规定。

表 5 水泥稳定风化岩混合料的 7d 无侧限抗压强度控制标准 (MPa)

结构层	公路等级	极重、特重交通	重交通	中等、轻交通
基层	二级及以下公路	4.0~6.0	3.0~5.0	2.0~4.0
底基层	一级公路	3.0~5.0	2.5~4.5	2.0~4.0
	二级及以下公路	2.5~4.5	2.0~4.0	1.0~3.0
注1：水泥石灰稳定风化岩和水泥-固化外加剂稳定风化岩混合料的7d无侧限抗压强度标准应符合上表的规定。 注2：采用水泥石灰或水泥-固化外加剂综合稳定风化岩时，可取下限强度标准。 注3：公路等级高或交通荷载等级高或结构安全性要求高时，推荐上限强度标准。 注4：表中强度标准指的是7d龄期无侧限抗压强度的代表值，本节以下各表同。				

4.6.5 水泥粉煤灰稳定风化岩混合料采用 7d 无侧限抗压强度控制，具体要求应符合表 6 的规定。

表 6 水泥粉煤灰稳定风化岩混合料的 7d 无侧限抗压强度控制标准 (MPa)

结构层	公路等级	极重、特重交通	重交通	中等、轻交通
基层	二级及以下公路	3.5~4.5	3.0~4.0	2.5~3.5
底基层	一级公路	2.5~3.5	2.0~3.0	1.5~2.5
	二级及以下公路	2.5~3.0	1.5~2.5	1.0~2.0

4.6.6 用于基层的混合料，强度满足要求时，重载及以上交通荷载等级公路还应检验其抗冻性能，冻融试验后抗压强度损失不大于 20%，冻融试验按照 JTG E51 的相关规定执行。

4.6.7 未分档的风化岩单一集料满足推荐级配要求时，也可用于三级及三级以下公路基层、底基层，但应保证混合料满足本文件相关技术要求。

5 基层设计参数

5.1 风化岩混合料的弯拉强度和弹性模量应符合表 7 的规定。

表 7 风化岩混合料的弯拉强度和弹性模量要求 (MPa)

材料	弯拉强度	弹性模量
风化岩混合料	1.5~2.0	18000~28000
	0.9~1.5	14000~20000

注：结合料用量高、材料性能好、级配好或压实度大时取高值，反之取低值。

- 5.2 基层和底基层的设计厚度应根据交通荷载、材料性能等因素综合确定，且不得小于 200 mm。
- 5.3 底基层与路床间设置粒料层，粒料层厚度不宜小于 150 mm。
- 5.4 对于地下水、边坡裂隙水丰富的挖方路段，边沟下应设置排水盲沟。

6 混合料配合比设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 混合料组成设计应选择技术、经济合理的混合料类型和配合比。
- 6.1.2 施工过程中材料品质或规格发生变化、结合料品种发生变化时，应重新进行混合料配合比设计。

6.2 配合比设计

- 6.2.1 水泥稳定风化岩混合料的水泥剂量宜为 3%~6%。
- 6.2.2 采用水泥粉煤灰综合稳定风化岩时，水泥与粉煤灰之比宜为 1:3~1:5，水泥粉煤灰与风化岩之比宜为 20:80~15:85。
- 6.2.3 采用水泥石灰综合稳定时，水泥和石灰的比例宜取 60:40、50:50 或 40:60，水泥用量占结合料总量应不小于 30%；采用水泥-固化外加剂综合稳定时，固化外加剂占混合料干质量的比例应根据室内试验确定。
- 6.2.4 应选择 4~6 个结合料剂量，分别确定各剂量条件下混合料的最佳含水率和最大干密度。
- 6.2.5 确定混合料最大干密度指标时宜采用振动压实方法，条件不允许时也可采用重型击实方法。

6.2.6 应根据最佳含水率、最大干密度及压实度要求成型标准试件，通过验证不同结合料剂量条件下混合料的技术性能，确定满足设计要求的结合料用量。

7 施工

7.1 一般规定

- 7.1.1 风化岩基层、底基层的施工工艺除满足本章规定要求外，还应满足 JTG/T F20 的相关规定。
- 7.1.2 风化岩混合料从加水拌和到碾压结束宜在 2h 内完成，特殊情况下应按风化岩混合料初凝时间与容许延迟时间较短的时间作为施工控制时间。
- 7.1.3 风化岩混合料施工期的日最低气温应在 5℃ 上；在有冰冻的地区，应在第一次重冰冻（-5℃～-3℃）到来的 15~30 d 之前结束施工；避免在高温天气施工，气温高于 35℃ 时，应防止混合料暴晒。
- 7.1.4 风化岩混合料宜避免在雨季施工，且不应在雨天施工。
- 7.1.5 备料场地均应进行硬化，料堆间应以混凝土或浆砌片石矮墙相隔。
- 7.1.6 基层、底基层在正式施工前，应铺设不少于 200 m 长的试验路段。

7.2 拌和

- 7.2.1 拌和站各冷料仓间应设置隔板，石屑类细料料仓应在顶部设置固定的防雨遮挡。
- 7.2.2 拌和设备产量应不小于 600t/h，拌合台时产量不宜超过拌和设备最大产量的 2/3。
- 7.2.3 每台拌合机应配备能满足在停电状态下正常生产的发电机 1 台，功率应不低于 200kw。
- 7.2.4 风化岩混合料宜采用两次拌和的生产工艺，拌和时间应不小于 15s。
- 7.2.5 天气炎热或运距较远时，风化岩混合料拌和时宜适当增加含水率。对于稳定中、粗粒料材料，混合料的含水率可高于最佳含水率 0.5~1 个百分点；对于稳定细粒料材料，含水率可高于最佳含水率 1~2 百分点。

7.3 摊铺

- 7.3.1 摊铺作业前一天，应提前将下承层表面洒水，并将下承层的浮土、松散部位等清理干净至露出致密结构。
- 7.3.2 应采用 2 台同型号摊铺机阶梯并列、高频低振方式施工，摊铺时两机前后间距不宜超过 10m，且纵向应有 30cm 左右的重叠。
- 7.3.3 摊铺时，摊铺机的螺旋布料器三分之二应埋入混合料中，摊铺机应连续匀速行驶，摊铺速度宜为 2m/min，摊铺密实度应大于 80%。
- 7.3.4 摊铺时应采用钢丝引导的基准线控制高程和厚度，应坚持“宁高勿低，宁挖勿补”的原则合理控制摊铺厚度，松铺系数宜为 1.30~1.35。
- 7.3.5 在摊铺机后面应设专人消除粗细集料离析现象，及时铲除局部粗集料堆积或离析的部位，并用均匀混合料填补。

7.4 碾压

- 7.4.1 应安排专人负责指挥碾压，碾压成型后的表面应平整、无轮迹，严禁漏压。
- 7.4.2 在保证压实度的前提下，应减少强振次数或不进行强振动，减少风化岩集料破碎。
- 7.4.3 风化岩混合料初压时，宜采用 11t 以上双钢轮压路机或 25t 胶轮压路机稳压 1~2 遍，时速（1.5~2.0）km/h；复压时，宜采用 20t 以上振动压路机先稳压 1~2 遍，振动碾压 2~3 遍，时速（2~3）km/h，

再采用胶轮压路机碾压 1~2 遍，时速（1.5~2.0）km/h；终压时，宜采用双钢轮压路机稳压 1~2 遍，时速（2~3）km/h。

7.4.4 压路机碾压时错轮应重叠 1/3~1/4，复压和终压段落不宜大于 50m。

7.4.5 碾压应先轻后重、先边后中，弯道超高段由低向高处碾压。

7.4.6 初压后禁止薄层找补，严重不平整时，应刨松（5~10）cm 后，用新混合料找补。

7.4.7 不同等级公路基层、底基层的压实标准应符合表 8 的规定。

表 8 风化岩基层、底基层的压实标准（%）

公路等级	基层	底基层
一级公路	/	≥97
二级及以下公路	≥97	≥95

7.5 养生

7.5.1 混合料碾压完成并经压实度检查合格后应及时养生，养生 7d 以上方可进行上层结构作业。当养生 7 d 后不能立即进行上层结构施工时，应延长养生至上层开始施工的前 2 d。

7.5.2 风化岩基层、底基层碾压成型后宜采用厚塑料布或土工布覆盖养生。

7.5.3 基层、底基层养生期内，严禁重型车辆通行，洒水车 and 小型通勤车辆的行驶速度应小于 40 km/h。

7.5.4 实施交通管制路段，设置限制车辆行驶路线的标志牌。

8 施工质量管理与验收

8.1 施工过程材料检测评定

8.1.1 在施工前以及在施工过程中，原材料或混合料发生变化时，应检验合格后，方可使用。

8.1.2 用作基层和底基层的原材料，应按表 9 所列试验项目和要求检测。基层和底基层用混合料的材料发生变化时，应按表 10 所列试验项目和要求检测评定。

表 9 基层和底基层用原材料试验项目和要求

材料种类	试验项目	频度	试验方法
水泥	水泥强度等级	材料组成设计时测 1 个样品，料源或强度等级变化时重测	T 0505
	初、终凝时间		T 0506
粉煤灰	烧失量	做材料组成设计前测 2 个样品	T 0817
	细度		T 0818
	含水率	每天使用前测 2 个样品	T 0801/T 0803
	二氧化硅等氧化物含量		T 0816
石灰	含水率	每天使用前测 2 个样品	T 0801/T 0803
	有效钙、镁含量	做材料组成设计和生产使用时分别测	T 0811/T 0812/T 0813

材料种类	试验项目	频度	试验方法
	残渣含量	2个样品，以后每月测2个样品	T 0815
固化外加剂	pH值	固化外加剂进场，1次/10t；配合比设计，1次/每个料源	CJ/T 486
	溶解性		
	密度		
	固形物含量		
	总酸（碱）度		
风化岩细集料	含水率	每天使用前测2个样品	T 0801/T 0803
	级配	使用前测2个样品，使用过程中每2000m ³ 测2个样品	T 0327
	塑性指数		T 0118/T 0119
	毛体积相对密度、吸水率		T 0328/T 0352
	有机质和硫酸盐含量	有怀疑时做此实验	T 0336/T 0341
风化岩粗集料	含水率	每天使用前测2个样品	T 0801/T 0803
	级配	使用前测2个样品，使用过程中每2000m ³ 测2个样品	T 0303
	毛体积相对密度、吸水率		T 00304/T 0308
	压碎值		T 0316
	粉尘含量		T 0310
	针片状颗粒含量		T 0312

表 10 基层和底基层混合料试验项目和要求

项次	试验项目	频度	试验方法
1	重型击实试验	材料发生变化时	T 0804
2	承载比	材料发生变化时	T 0134
3	抗压强度	每次配合比试验	T 0805
4	延迟时间	水泥品种变化时	T 0805
5	绘制EDTA标准曲线	水泥品种变化时	T 0809

8.2 施工质量验收

- 8.2.1 宜以 1km～3 km 长的路段为单位评定基层、底基层质量。
- 8.2.2 基层和底基层施工过程检测及完工后质量验收应符合表 11 的规定。

表 11 基层和底基层施工质量验收标准

项次	检查项目		规定值或允许偏差			频率
			一级公路	二级及以下公路		
			底基层	基层	底基层	
1	压实度 (%)	代表值	≥97	≥97	≥95	每200m每车道2处
		极值	≥93	≥93	≥91	
2	弯沉值		符合设计要求			每车道40~50个测点
3	强度		符合设计要求			每2000m²1次
4	平整度（mm）		≤12	≤12	≤15	每200m测2处×10尺
5	纵断高程（mm）		+5~-15	+5~-15	+5~-20	每200m测4个断面
6	宽度（mm）		>0	>0	>0	每200m测4处
7	厚度 (mm)	代表值	≥-10	≥-10	≥-12	每200m每车道1点
		合格值	≥-25	≥-20	≥-30	
8	横坡度（%）		±0.3	±0.5	±0.5	每200m测4个断面

附录 A
(规范性)
岩石风化程度划分方法

- A.1 风化岩的风化程度，应采用定性特征和定量指标两种方法综合确定。
A.2 风化岩风化程度定性划分时，应按表 A.1 的规定确定。

表 A.1 风化岩风化程度的定性特征划分

名称	风化特征	野外鉴定方法
未风化	结构构造未变，岩质新鲜	锤击声清脆，有回弹，难击碎；浸水后，大多无吸水反应
微风化	岩石结构构造、矿物成分和色泽基本未变，部分裂隙面有铁锰质渲染或略有变色	
中风化	岩石结构构造部分破坏，矿物成分和色泽明显变化，裂隙面风化较剧烈	锤击声较清脆，有轻微回弹，较难击碎；浸水后，有轻微吸水反应
强风化	岩石结构构造大部分破坏，矿物成分和色泽明显变化，长石、云母和铁镁矿物已风化蚀变	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎；浸水后，手可掰开
全风化	岩石结构构造完全破坏，已崩解和分解成松散土状和或砂状，矿物全部失色，光泽消失，除石英颗粒外的矿物大部分风化蚀变为次生矿物	

- A.3 风化岩风化程度定量划分时，应综合考虑物理定量指标和力学定量指标。
A.4 风化岩风化程度划分的物理定量指标，应采用耐崩解性指数 I_{d2} 。风化岩耐崩解性指数 I_{d2} 与风化程度的对应关系可按表 A.2 确定。

表 A.2 风化岩的耐崩解性指数 I_{d2} 与风化程度的对应关系

$I_{d2}/\%$	$I_{d2} > 98$	$98 \geq I_{d2} \geq 85$	$85 > I_{d2} \geq 60$	$60 > I_{d2} \geq 30$	$I_{d2} < 30$
风化程度	未风化	微风化	中风化	强风化	全风化

- A.5 风化岩风化程度划分的力学定量指标，应采用岩石饱和单轴抗压强度 R_c ，当无法取得饱和单轴抗压强度时可采用实测点荷载强度指数 $I_{s(50)}$ 的换算值。
A.6 风化岩饱和单轴抗压强度 R_c 与风化程度的对应关系可按表 A.3 确定。

表 A.3 风化岩的饱和单轴抗压强度 R_c 与风化程度的对应关系

R_c (MPa)	> 30	$30 \sim 15$	≤ 15
风化程度	未风化~微风化	微风化~中风化	强风化~全风化

当根据风化程度定性特征和定量指标确定的级别不一致时，应通过对定性特征和定量指标的综合分析确定风化岩的风化程度级别。当两者的级别划分相差1级以上，应进一步补充测试。