

ICS 93.80
CCS R 18

DB 62

甘 肃 省 地 方 标 准

DB62/T 5116—2025

千枚岩路基填筑设计与施工技术规范

Technical specification for design and construction of phyllite subgrade filling

2025 - 07 - 29 发布

2025 - 10 - 29 实施



甘肃省市场监督管理局 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工程地质勘察与填料分类	2
5 路基设计	6
6 路基施工	12
7 质量控制与检测	15
附录 A (资料性) 甘肃省千枚岩分布图	17
附录 B (规范性) 千枚岩填料压实度确定方法	18
附录 C (规范性) 千枚岩路基动态变形模量检测方法	22
附录 D (规范性) 千枚岩路基地基系数检测方法	24
附录 E (资料性) 条文说明	27

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由甘肃省交通运输厅提出并监督实施。

本文件由甘肃省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司、甘肃省公路交通建设集团有限公司、甘肃路桥建设集团有限公司。

本文件主要起草人：赵天宇、张彩霞、杨涛、安亮、娄亮、牛力达、宋宝林、牛康康、王迎春、杨延平、肖锐、张延杰、邓万龙、张富奎、胡建芳。

本文件由甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司负责解释。



千枚岩路基填筑设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了千枚岩用于公路路基填料的工程分类、填筑设计方案、施工工艺、质量控制与检测等内容。

本文件适用于高等级新建、改扩建公路工程，其它等级公路及市政道路可参照使用。

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。

JTG C30 公路工程水文勘测设计规范
JTG D30 公路路基设计规范
JTG/T D33 公路排水设计规范
JTG D40 公路水泥混凝土路面设计规范
JTG D50 公路沥青路面设计规范
JTG E51 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
JTG 3430 公路土工试验规程
JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
TB 10001 铁路路基设计规范
DB62/T 3285 软质岩岩土工程勘察技术标准
DB62/T 4343 公路路基压实质量动态模量检测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

千枚岩 phyllite

具有千枚状构造的低级变质岩石，变质程度介于板岩和片岩之间，原岩通常为泥质岩石（或含硅质、钙质、碳质的泥质岩）、粉砂岩及中、酸性凝灰岩等，经区域低温动力变质作用或区域动力热流变质作用形成。

3.2

耐崩解性指数 (I_{d2} 、 I_{d20}) slake durability index

岩石在经过干燥和浸水2个、20个标准循环之后，残留的大于2 mm颗粒质量与其原质量之比，以百分数表示 (I_{d2} 、 I_{d20})。

3.3

软化系数 softening factor

岩石饱和状态下单轴抗压强度与干燥状态下的单轴抗压强度的比值。

3.4

动态变形模量 E_{vd} dynamic modulus of deformafim

路基在一定大小的竖向冲击力和冲击时间作用下抵抗变形能力的参数。

3.5

地基系数 K₃₀ foundation deformation coefficient

通过试验测得的直径30 cm荷载板下沉1.25 mm时对应的荷载强度 (MPa) 与其下沉量 (mm) 的比值。

3.6

排水垫层 gravel drainage layer

主要用于导排地下水、降低水位,避免水损害导致的沉降或结构破坏而铺设于结构底部或内部由透水性材料构成的水平结构层。

3.7

路基包边 subgrade edging soil

确保路基边缘的稳定性和耐久性,采用隔水效果良好的材料对路基边坡或顶部边缘进行加固处理的工艺。

4 工程地质勘察与填料分类

4.1 一般规定

4.1.1 千枚岩路基勘察应按照工程建设各阶段要求,结合地形地质及水文条件、路基边坡高度、结构物设置情况等,确定勘察方法和工作量,并按工程地质调绘、勘探测试、地质资料综合分析及报告编制的程序开展工作。

4.1.2 千枚岩填料应通过调查、勘探、试验,查明千枚岩填料的分布、类别、结构、构造、储量、开采运输条件等工程地质条件。

4.2 千枚岩定名与分类

千枚岩主要岩石类型直接按表1划分为绢云千枚岩、绿泥千枚岩、石英千枚岩、钙质千枚岩、碳质千枚岩和砂质千枚岩。甘肃省千枚岩分布图见附录A。

表1 千枚岩类主要岩石类型

千枚岩分类	矿物成分 (定名)	结构构造	原岩类型	甘肃省分布区域与变质地层
绢云千枚岩	绢云母含量大于 50%。矿物组合: 绢云母+绿泥石+石英。可出现少量钠长石、红柱石、硬绿泥石等	显微鳞片变晶结构,斑状变晶结构。千枚状构造	泥质岩,酸性凝灰质岩等	敦煌 AnCh, 祁连、龙首山-北大山 Pt ₂₋₃ , 祁连 Pz ₁ , 礼县-凤州、积石山 Pz ₂ , 迭部-康县 Pz
绿泥千枚岩	绿泥石含量大于 50%。矿物组合: 绿泥石+绢云母(少)+钠长石+白钛石。可有硬绿泥石、绿帘石、微晶黑云母等。有时出现蓝闪石、阳起石等	显微鳞片变晶结构,显微粒状鳞片变晶结构,千枚状构造	中基性凝灰质岩石	祁连-碧口 Pt ₂₋₃ , 祁连 Pz ₁ , 红石山、礼县-凤州 Pz ₂ , 迭部-康县 Pz

表1 千枚岩类主要岩石类型（续）

千枚岩分类	矿物成分（定名）	结构构造	原岩类型	甘肃省分布区域与变质地层
石英千枚岩	石英含量大于 50%。矿物组合：绢云母+绿泥石+石英。常含少量钠长石	显微鳞片粒状变晶结构，千枚状构造	粉砂岩、泥质粉砂岩等	玉石山-双鹰山 Pt ₂₋₃ ，祁连、红柳园-天仓、公婆泉 Pz ₁ ，迭部-康县 Pz
钙质千枚岩	富含方解石或白云石。矿物组合：绢云母+绿泥石+碳酸盐。有时含有石墨	显微粒状鳞片变晶结构或显微鳞片粒状变晶结构，千枚状构造	钙质泥质岩、泥灰岩、泥灰质白云岩等	祁连 Pt ₂₋₃ ，礼县-凤州 Pz ₂
碳质千枚岩	富含半石墨、石墨。矿物组合：绢云母+石英+碳质	显微鳞片变晶结构，千枚状构造	炭质泥质岩	中祁连山 Pt ₂₋₃ ，红石山 Pz ₂ ，迭部-康县 S
砂质千枚岩	富含绢云母、绿泥石、石英和长石	变余砂状结构，显微鳞片变晶结构，千枚状构造	泥质粉砂和砂质岩石	北祁连山、龙首山-北大山 Pt ₂₋₃ ，祁连 Pz ₁ ，红石山 C，中祁连山 Pt ₂₋₃ ，南祁连山 Pz，玉石山-双鹰山 Pt ₂₋₃ ，北祁连山、红柳园-天仓、公婆泉 Pz ₁ ，迭部-康县 Pz

4.3 工程地质勘察

4.3.1 千枚岩料场工程地质勘察应查明下列内容：

- 千枚岩路段的地形地貌、地层岩性、岩体结构类型；
- 覆盖层与千枚岩接触面的形态特征及起伏变化情况；
- 地表水的汇水面积、排水坡度、长度，地下水的类型、分布、水位及埋深；
- 千枚岩的类别、埋深、风化程度、数量和开采运输条件；
- 千枚岩宜开采的季节、开采措施和开采方式；
- 千枚岩料场的覆盖层和有用层的含水率随季节变化的情况，以及开采的难易程度；
- 千枚岩料场设置环境可能产生的不良影响及开采过程存在的地质问题；
- 千枚岩料场勘察室内测试项目应按表 2 选用。

表2 工程地质勘察千枚岩测试项目表

序号	试验内容（测试项目）	硬质千枚岩	软质千枚岩
1	天然含水率	+	+
	密度	+	+
	颗粒分析	(+)	+
2	自由膨胀率	+	+
3	(饱和)单轴抗压强度	+	(+)
4	点荷载强度	/	+
注：“+”必做项目，“(+)”选做项目。			

4.4 千枚岩填料分类

4.4.1 千枚岩膨胀性工程分级应按表3划分。

表3 千枚岩膨胀性工程分级

试验项目		判定指标
自由膨胀率 F_s (%)	不崩解、难崩解岩石	$F_s \geq 3$
	易崩解的岩石	$F_s \geq 30$
膨胀力 P_p (kPa)		$P_p \geq 100$
饱和吸水率 (%)		$\omega_{sp} \geq 10$
注1：对于不崩解、难崩解的岩石，应取轴向或径向自由膨胀率的大值进行判定。		
注2：对于易崩解岩石应将其粉碎，过0.5 mm的筛，去除粗颗粒后，比照土的自由膨胀率试验方法进行试验。		
注3：当有2项及以上符合表中所列指标时，在室内可判定为膨胀岩。		

4.4.2 千枚岩的坚硬程度应按表4分级。

表4 千枚岩坚硬程度分级（饱和单轴抗压强度）

岩石分类	硬质千枚岩		软质千枚岩		
	坚硬	较硬	较软	软	极软
饱和单轴抗压强度 (f_{rk}) /MPa	$f_{rk} > 60$	$60 \geq f_{rk} > 30$	$30 \geq f_{rk} > 15$	$15 \geq f_{rk} > 5$	$f_{rk} \leq 5$

4.4.3 无法测试饱和单轴抗压强度时，千枚岩的坚硬程度可按点荷载强度分级（表5）。

表5 千枚岩坚硬程度分级（点荷载强度）

岩石分类	硬质千枚岩		软质千枚岩		
	坚硬	较硬	较软	软	极软
点荷载强度/MPa	$I_{s(50)} > 4.0$	$4.0 \geq I_{s(50)} > 1.5$	$1.5 \geq I_{s(50)} > 0.5$	$0.5 \geq I_{s(50)} > 0.1$	$I_{s(50)} < 0.1$

4.4.4 千枚岩的风化程度直接表6进行分级。

表6 千枚岩风化程度定性分级

风化程度	野外特征
未风化	岩质新鲜，偶见风化痕迹
微风化	结构基本未变，仅节理面有渲染或略有变色，有少量风化裂隙
中风化	结构部分破坏，沿节理面有次生矿物，风化裂隙发育，岩体被切割成岩块。用镐难挖，岩芯钻方可钻进
强风化	结构大部分破坏，矿物成分显著变化，风化裂痕很发育，岩体破碎，用镐可挖，干钻不易钻进
全风化	结构基本破坏，但尚可辨认，有残余结构强度，可用镐挖，干钻可钻进

4.4.5 千枚岩按软化系数可分为软化千枚岩和不软化千枚岩。当软化系数小于或等于 0.75 时，应定为软化千枚岩；当软化系数大于 0.75 时，应定为不软化岩石。水对千枚岩的影响程度可依据软化系数按表7划分。

表7 水对千枚岩影响程度评价表

软化系数	水的影响程度评价
<0.40	岩石受水影响严重
0.40~0.65	岩石受水影响程度显著
0.65~0.75	岩石受水影响程度中等
0.75~0.95	岩石略受水影响
>0.95	岩石不受水影响

4.4.6 千枚岩的耐崩解性宜按表 8 进行分级。

表8 千枚岩填料按耐崩解性分类表

编号	I_{d20}	崩解性	崩解特征
1	>95	不崩解	整体千枚岩块浸入水中经数天半月以至更长时间都不发生崩解破坏、或仅在局部沿隐微裂隙、节理开裂
2	70~95	难崩解	碎片状的千枚岩浸入水中呈块状崩裂、塌落或片状开裂，全部样品崩解完毕需 1 小时至数小时，崩解物为碎岩片或碎岩块
3	0~70	易崩解	浸入水中呈絮状、粉末状剥落、短则几分钟、长则 20 min~30 min 样品即崩解完毕，崩解物为粒状、片状碎屑或碎块，但用手搓为泥

4.4.7 千枚岩填料宜按表 9 划分为 A、B、C、D 四类。

表9 千枚岩填料分类表

千枚岩填料分类	坚硬程度	软化系数	崩解性	填料类别	适用层位
A	硬质岩	>0.95	不崩解	填石	路床、路堤
B	较软岩	0.75~0.95	难崩解	填石	路床、路堤
C	软岩	/	难崩解	填土	路堤
D	极软岩	/	易崩解	填土	下路堤
注：A、B类填料坚硬程度、软化系数和崩解性3个指标必须同时满足，C、D类填料坚硬程度、和崩解性2指标个必须同时满足。					

4.4.8 千枚岩填料最小承载比要求应符合表 10 的规定。

表10 千枚岩填料最小承载比要求

路基部位		路面底面以下深度（m）	填料最小承载比 CBR（%）		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路堤	轻、中等及重交通	0.8~1.5	≥6	≥5	≥5
	特重、极重交通	1.2~1.9	≥6	≥5	≥5
下路堤	轻、中等及重交通	1.5 以下	≥5	≥4	≥4
	特重、极重交通	1.9 以下	≥5	≥4	≥4

4.4.9 千枚岩填料填筑路堤应分层铺筑，均匀压实，压实度应符合表 11。

表11 千枚岩填料压实度要求

路基部位		路面底面以下深度（m）	压实度（%）		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路堤	轻、中等及重交通	0.8~1.5	≥94	≥94	≥93
	特重、极重交通	1.2~1.9	≥94	≥94	≥93
下路堤	轻、中等及重交通	1.5 以下	≥94	≥93	≥91
	特重、极重交通	1.9 以下	≥94	≥93	≥91

4.4.10 千枚岩填料在填筑前应进行表 12 中的试验项目，试验取样应注明取样位置和取样深度。

表12 千枚岩填料测试项目表

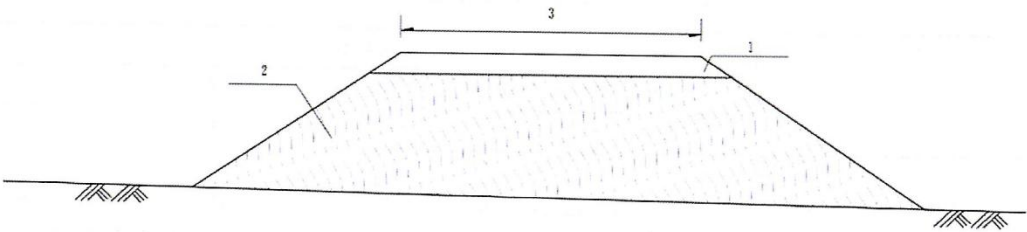
序号	试验内容（测试项目）	硬质千枚岩	软质千枚岩
1	天然含水率	+	+
	密度	+	+
	颗粒分析	(+)	+
2	自由膨胀率	+	+
3	点荷载强度	/	+
4	饱和单轴抗压强度	+	(+)
5	最佳含水率	/	+
6	最大干密度	/	+
7	耐崩解性指数（20 次）	+	+
8	承载比	/	+
注：“+”必做项目，“(+)”选做项目。			

5 路基设计

5.1 一般规定

5.1.1 千枚岩路堤填筑前应充分收集公路沿线气候、水文与工程地质等相关资料。路堤设计应根据当地自然条件、地形地质条件和填料分类选择适宜的路基横断面形式和边坡坡率，施工前应通过铺筑试验段确定千枚岩路堤的填筑层厚、摊铺碾压工艺与遍数、质量控制措施等施工参数。

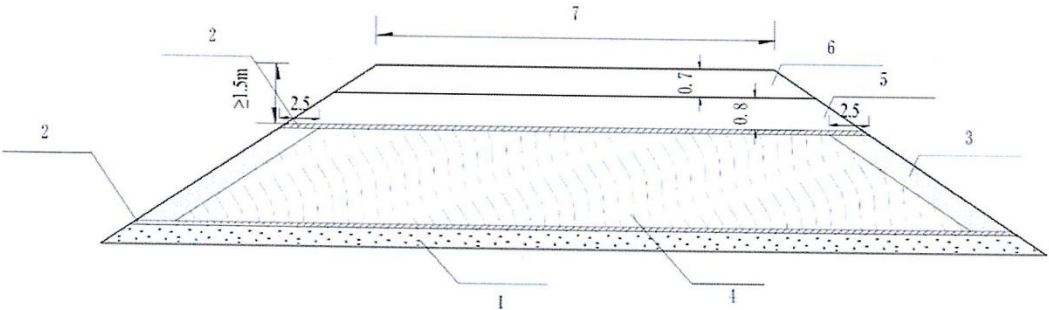
5.1.2 A、B 类填料宜按照填石路堤相关要求，路堤断面形式、质量控制标准、结构设计和排水设计应符合 JTG D30 的有关规定。图 1 为 A、B 类千枚岩填料路堤填筑示意图。



- ^a 标引序号说明：
- 1——路面结构；
 - 2——A、B 类填料；
 - 3——路面宽度。

图1 硬质千枚岩路堤填筑示意图（A、B 类填料）

- 5.1.3 C 类填料用作路堤填料，路堤填筑应参照图 2 设计，路堤设计应符合下列要求：
- 路基横断面形式宜采用与土质路堤相同的断面形式，分层填筑厚度按 30 cm 控制，填筑高度不宜超过 20 m 的路基，填筑高度 > 8 m 时采用台阶型边坡，边坡中部设置宽度 1 m~3 m 的平台。边坡坡率不宜陡于表 13 的规定；
 - 路堤边部设置包边封闭，底部及顶部分别采取排水及防渗措施，预防路堤出现湿化变形；
 - 路堤防护设计应以隔离地表水，防止其下渗为主要原则，排水设计应防、排、疏结合，加强接缝位置防渗处理；
 - C 类填料不应直接用于路床、桥头涵侧及填挖交界路堤过渡段等特殊部位。



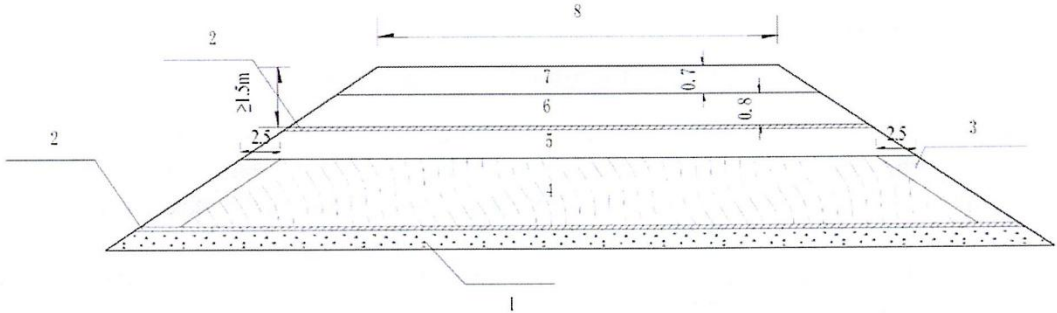
- ^a 标引序号说明：
- 1——碎石垫层；
 - 2——土工布；
 - 3——包边封闭；
 - 4——C 类填料；
 - 5——路床；
 - 6——路面结构；
 - 7——路面宽度。

图2 C 类千枚岩填料路堤填筑示意图

表13 软、极软千枚岩路堤边坡坡率

填料类别	边坡坡率	
	上部高度 ($H\leq 8\text{ m}$)	下部高度 ($H\leq 12\text{ m}$)
C、D 类填料	1 : 1.5	1 : 1.75

5.1.4 填料匮乏时，D 类填料可用于填筑下路堤，路堤填筑应参照图 3 设计，D 类填料用作下路堤填料除满足 C 类填料路堤设计要求，还应符合：D 类填料不得直接用于上路堤填筑，用作上路堤填料时宜采用水泥或固废基复合固化剂改良处治，掺配比例宜为 3%~5%（质量比），铺筑前应开展试验段，根据不同配比下 CBR、压实度等路基质量控制与检测指标确定。

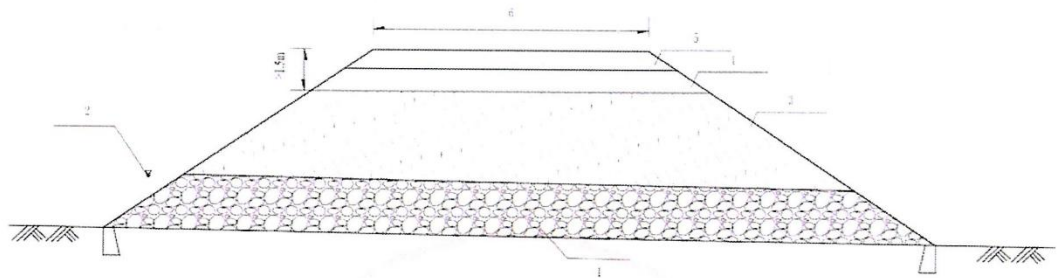


- ^a 标引序号说明：
- 1——碎石垫层；
 - 2——土工布；
 - 3——包边封闭；
 - 4——D 类填料；
 - 5——上路堤；
 - 6——路床；
 - 7——路面结构；
 - 8——路面宽度。

图3 D 类千枚岩填料路堤填筑示意图

5.2 地基表层处理

- 5.2.1 千枚岩路堤填筑前，应进行地基表层处理，低路堤应对地基表层进行超挖、分层回填压实，处理深度不应小于路基工作区深度，地表压实度不应小于 90%。
- 5.2.2 山区或丘陵地貌等地基干燥路段，毛细水上升高度范围内千枚岩填料可采用无机结合料改良，顶部采用复合土工膜层隔水。
- 5.2.3 河谷阶地等地下水位较高路段，千枚岩路堤应在地表层设置碎石排水垫层，垫层高度可控 30 cm~50 cm，顶部采用复合土工膜阻隔地下毛细水上升，路堤防护高度宜超出设计水位，垫层高度范围内预留泄水孔，地表排水垫层设计示意图如图 4 所示。
- 5.2.4 软土地基等特殊路基分布路段，先对特殊路基进行加固处治。



- 标引序号说明：
- 1——透水性材料；
 - 2——设计水位；
 - 3——千枚岩填料；
 - 4——路床；
 - 5——路面结构；
 - 6——路面宽度。

图4 地表排水垫层设计示意图

5.3 路堤填料设计

5.3.1 C、D类千枚岩填料按照土质填料要求控制，同一填筑厚度范围内填料应岩性一致、粒径均匀，不同层位填料的最小强度、最大粒径以及压实度要求应符合表 14 的规定。

表14 C、D类千枚岩填料最小强度、最大粒径及压实度要求

路基部位		路面底面 以下深度 (m)	填料最小强度 (CBR) (%)		填料最大粒径 (mm)		压实度 (%)	
			高速、一 级公路	二 级 公路	高速、一 级公路	二 级 公路	高速、一 级公路	二 级 公路
上路堤	轻、中等及重交通	0.8~1.5	6	5	<200（100）		≥94	≥94
	特重、极重交通	1.2~1.9			<200（100）			
下路堤	轻、中等及重交通	1.50 以下	5	4	<200（100）		≥94	≥93
	特重、极重交通	1.90 以下			<200（100）			
注1：对于不崩解、难崩解的岩石，应取轴向或径向自由膨胀率的大值进行判定。 注2：对于易崩解岩石应将其粉碎，过0.5 mm的筛，去除粗颗粒后，比照土的自由膨胀率试验方法进行试验。 注3：当有2项及以上符合表中所列指标时，在室内可判定为膨胀岩。 注4：填料最大粒径中括号中数值为D类千枚岩填料要求。								

5.3.2 C、D类千枚岩填料填筑路堤时，路堤边部应设置包边封闭，包边设计需遵循“防水优先、排水协同”的原则，具体应满足下列要求：

- 包边填料宜与相同层位路堤填料岩性一致，山区或丘陵地貌等地基干燥路段可采用黏土包边；
- 包边土与软质千枚岩采用台阶型坡面搭接，开挖台阶高度宜为 1 m~1.5 m，包边封闭宽度宜为 1.5 m~3 m，以满足压路机工作宽度要求；

——路堤包边不宜采用 D 类千枚岩填料，采用 C 类填料或黏土填筑时，应掺加无机结合料或固废基复合固化剂改良处治，改良后填料渗透系数应小于 1×10^{-5} m/s，并据此调整填料类型及无机结合料掺配比例。路堤包边填筑设计结构如图 5 所示。



5.4 特殊部位设计

5.4.1 路床、桥头涵侧及填挖交界路堤过渡段等特殊部位宜采用碎石或其他符合要求的透水性材料填筑，采用千枚岩填筑时，应采用 A、B 类填料。

5.4.2 路床填料最大粒径、最小强度及压实度要求应符合 JTG D30 的有关规定。采用硬质千枚岩填筑时，还应满足下列要求：

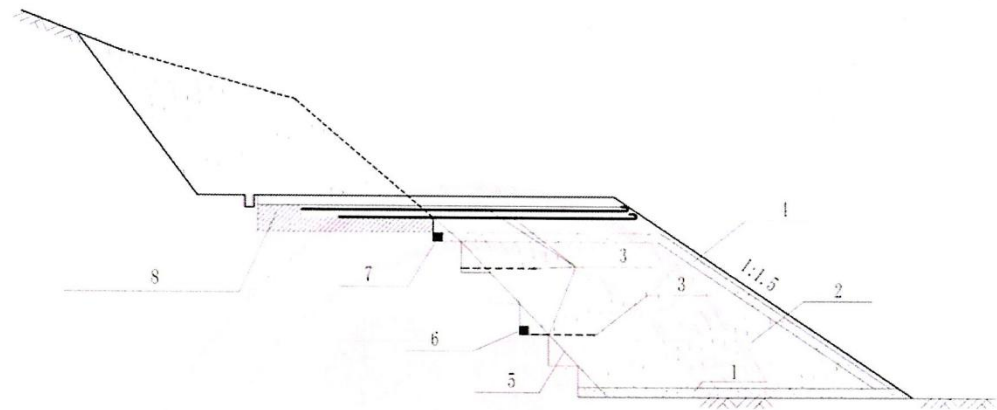
- 填料最大粒径不应超过 80 mm，路床底部宜铺设复合土工膜（两布一膜）；
- 填料耐崩解性指数、软化系数等物理力学指标，应满足 4.4.7 条（耐崩解性指数 $> 70\%$ 、软化系数 > 0.75 ）要求；
- 路床顶面回弹模量不应低于 JTG D40 及 JTG D50 的有关规定，路床顶面竖向压应变计算值应满足沥青路面永久变形的控制要求。

5.4.3 桥头涵侧连接处应设置过渡段，压实度不应小于 96%，分层压实厚度不宜大于 150 mm，过渡段长度应符合 JTG D30 的规定。

5.4.4 填挖交界路基填方区所选填料尽量与挖方区岩土性质相匹配，纵向填挖交界宜设置过渡段，图 6 为千枚岩路基填挖交界处理示意图，具体宜满足以下要求：

- 当原地面横坡大于 1:5 时，应沿横向开挖台阶，台阶高度宜为 0.5 m~1.0 m，宽度宜为 2.0 m~2.5 m，台阶应形成 2%~4% 的反向横坡；
- 地下水位较高及排水困难的路段，根据出水点位置，宜在台阶渗水处或边沟底部设置纵向渗沟，并沿纵向每 10 m~20 m 设横向渗沟，纵向渗沟坡度宜与路线纵坡一致，横向渗沟宜设置 2%~4% 横坡；

——上下路床底部及台阶位置宜铺设土工格栅消减填挖结合部差异沉降，土工格栅在挖方侧应进行有效锚固。



- ^a 标引序号说明：
- 1——排水垫层；
 - 2——填方区路基填料；
 - 3——土工格栅；
 - 4——横向渗沟；
 - 5——开挖台阶；
 - 6——纵向渗沟；
 - 7——纵向渗沟；
 - 8——路面底向下开挖结合槽。

图6 千枚岩路基填挖交界处理示意图

5.5 路堤防护

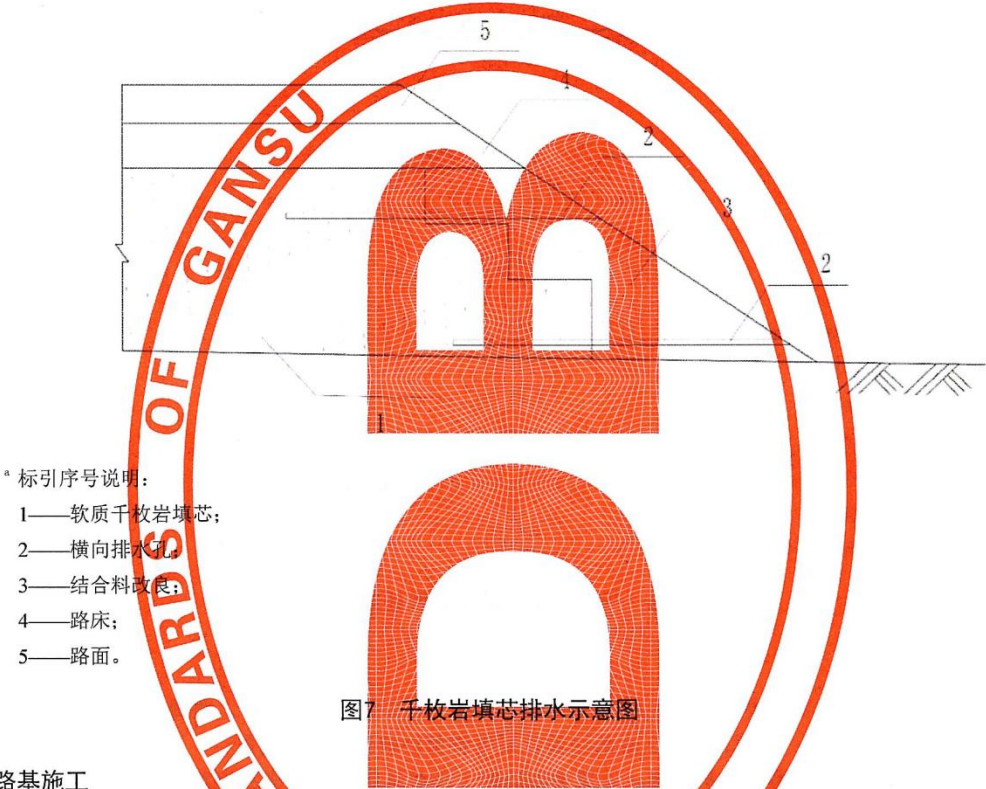
- 5.5.1 稳定的千枚岩路堤边坡防护，应根据沿线气候、水文条件进行设计，路堤高度 $\leq 2\text{ m}$ 的边坡宜采用植物防护或裸坡；路堤高度 $> 2\text{ m}$ 的边坡宜采用骨架护坡结合植物防护。
- 5.5.2 路基迎水面应做好防护措施，设置冲刷防护工程时基底应埋置在冲刷线以下 $\geq 1.0\text{ m}$ 或嵌入基岩内；冲刷深度应按 JTG C30 的有关规定计算。
- 5.5.3 地面横坡陡于 1:2.5 地段的陡坡路堤，应验算路堤整体沿基底及基底下软弱层滑动的稳定性，抗滑稳定系数不应小于 JTG D30 的规定值。

5.6 路基排水

- 5.6.1 路面排水宜通过路侧拦水带汇集，通过边坡急流槽集中排出，边坡急流槽设置间距宜为 30 m~50 m，路面设计积水宽度应符合 JTG/T D33 的有关规定。
- 5.6.2 边沟、排水沟、截水沟及急流槽等路界地表排水设施应结合地形地质条件设置，单段排水长度不宜超过 300 m。排水设施伸缩缝间距宜为 5 m~10 m，外壁包裹复合土工膜、水泥砂浆等防渗材料，当基底下卧层为湿陷性黄土、软土地基等特殊路基时，基底应设置隔水层，所选材料强度应不低于 JTG D30 的有关要求。
- 5.6.3 千枚岩路堤填芯应保持排水通畅，地面横坡较陡且出现坡面渗水点时，每填筑 2 m~3 m 高度范围内，应设置横向排水管或渗沟等地下排水设施，渗沟设计原则参照填挖交界处理执行；横向排水管

单段长度宜按穿透包边伸入渗水点 1 m~2 m 控制，管径及纵向间距应按照渗流量计算，通过排水管过水能力校核确定。横向排水管开孔率应 $\geq 1.5\%$ ，孔径 8 mm~12 mm，孔距 5 cm~8 cm，开孔交错布置，包边范围内排水管不宜打孔，外壁应包裹复合土工膜。千枚岩填芯排水如图 7 所示。

5.6.4 千枚岩路堤填筑过程中路堤应处于干燥状态，坡脚外侧可设置纵向隔水墙，隔断地下水及地表渗水；路堤填筑时应预留 2%~4%路拱横坡，作业面开挖沟槽作为临时排水；雨季施工时，应铺设复合土工膜，避免地表水下渗。



6 路基施工

6.1 一般规定

6.1.1 路基填筑前，应进行千枚岩路基填筑技术交底与培训，并根据设计文件及现场情况编制施工组织设计。

6.1.2 A、B类填料应按照填石路基相关要求进行施工，C、D类填料按照填土路基相关要求施工。

6.1.3 路基填筑应设置临时防排水设施，与自然排水系统相协调，且应避开雨天施工。

6.2 施工准备

6.2.1 填料检测

6.2.1.1 路基施工前，应建立具备相应试验检测能力的工地试验室。

6.2.1.2 应对千枚岩路堤填料进行取样，并按表 12 要求进行试验检测，检验合格后方可填筑。

6.2.2 试验段铺筑

- 6.2.2.1 千枚岩路堤施工前应开展试验路段铺筑。
- 6.2.2.2 试验路段应选择地质条件、路基断面形式等具有代表性的地段，长度宜不小于 200 m。
- 6.2.2.3 试验段施工完成后应形成试验段施工总结。

6.3 填料要求

- 6.3.1 填筑路基的千枚岩应符合本文件 5.3 中的技术要求，且不应含有树根、生活与建筑垃圾等其它杂质。
- 6.3.2 千枚岩含水率应为最佳含水率 -2% ~最佳含水率 $+1\%$ ，高于最佳含水率 1%以上应进行晾晒。
- 6.3.3 路基填筑过程中应保证千枚岩料源的稳定，不应将性质差异过大的填料混填，应按 5.3 的相关要求分类使用。
- 6.3.4 粒径过大的千枚岩填料应在取料场根据坚硬程度选择破碎方法进行二次破碎。

6.4 一般路基填筑

6.4.1 施工工序

千枚岩路基填筑施工工序由填料运输、现场摊铺、包边土摊铺拌合、碾压和坡面整修组成。

6.4.2 运输

- 6.4.2.1 填料运输宜采用机械装车，自卸车拉运，为减少水分挥发和环境污染，应采取覆盖等防护措施。
- 6.4.2.2 千枚岩的改良材料宜采用散装水泥，使用粉粒物料运输车运送至施工现场。

6.4.3 摊铺

- 6.4.3.1 下承层检验合格后，应根据试验路段确定的松铺厚度及自卸车容量计算卸料间距进行卸料。
- 6.4.3.2 填筑应按横断面全宽水平分层向上逐层进行，分层填筑的各层间应平整，符合横、纵坡要求。
- 6.4.3.3 每层填料粗平后，应采用羊足碾错轮 1/3 碾压 1 遍~2 遍。
- 6.4.3.4 羊足碾碾压后，应采用推土机或平地机进行精细整平，形成路拱，松铺厚度经检验合格后方可进行碾压作业。
- 6.4.3.5 碾压前应检查将超粒径千枚岩石检出或人工破碎，大颗粒千枚岩集中的地方，应采用细粒料填充处理，以确保碾压质量。
- 6.4.3.6 每一填筑层压实后的宽度不应小于设计宽度。

6.4.4 包边土施工

- 6.4.4.1 包边土施工应与路基填筑同步进行施工，路基填料破碎完成后进行水泥撒布与拌合。
- 6.4.4.2 根据包边土配比和试验段成果分层计算改良剂用量。
- 6.4.4.3 改良剂撒布与拌合均采用机械施工，拌合深度与摊铺深度一致，应均匀拌合。
- 6.4.4.4 为避免包边土和千枚岩碾压后出现高程差异，在修筑包边土时应考虑两者松铺厚度的差值，一般包边土松铺系数宜大于千枚岩松铺系数，按照试验段确定具体差值。
- 6.4.4.5 改良土每拌合 50 m 挖验 1 处，检查均匀性和拌合深度是否符合要求，如不符合应进行二次拌合。
- 6.4.4.6 整形时应先使用压路机静压 1 遍~2 遍，然后采用平地机整平，消除拌合产生的土坎、波浪、沟槽等，粗平时平地机应由外向内刮。

6.4.4.7 整平后应对拌合不充分的局部区域、低洼区域耙松，补充新拌的混合料进行找平，然后使用平地机进行精平，确保表面平整、无坑槽。

6.4.5 碾压

6.4.5.1 千枚岩路基压实应遵循“先轻后重，先慢后快，先边后中，先低后高”的原则，直线路段由边坡向路基中心碾压，曲线超高路段应自内侧向外侧碾压，稳压时碾压轮迹横向应相互搭接，纵向后轮应超过相邻段的接缝。

6.4.5.2 千枚岩路基压实应采用 18 t 以上振动压路机进行碾压。

6.4.5.3 千枚岩路基压实方案应按试验段确定的松铺厚度、碾压组合和碾压遍数执行。

6.4.5.4 碾压时压路机应重叠 1/3 轮宽，横向接茬重叠 0.5 m，路基边缘处多压 2 遍，碾压速度不大于 4 km/h。

6.4.5.5 碾压完毕后路基表面应形成 3%~4% 的横坡。

6.4.5.6 改良千枚岩碾压作业应在改良剂初凝前完成。

6.4.6 坡面整修

6.4.6.1 包边土碾压成型后，应立即进行坡面整修工作。

6.4.6.2 两侧超宽填筑路基应采用机械粗刷，人工刷坡到位，边坡上不应有危石。

6.4.6.3 对坡面局部缺陷部位应采用与包边土相同填料进行处理。

6.4.6.4 路基工程完工后，应及时恢复临时用地。

6.5 台背与墙背填筑

6.5.1 应按设计要求做好过渡段，二级以下公路的路堤与回填的联结部，应预留台阶。

6.5.2 台背和锥坡的回填宜同步进行。

6.5.3 台背与墙背 1.0 m 范围内回填宜采用小型夯实机具压实。

6.5.4 分层压实厚度不大于 150 mm，填料粒径宜小于 100 mm，涵洞两侧回填填料粒径宜小于 50 mm。

6.5.5 涵洞两侧，应对称分层回填压实。

6.5.6 回填部分的路床宜与路堤路床同步填筑。

6.6 防护施工

6.6.1 防护工程应与填方工程紧密、合理衔接。

6.6.2 坡面防护层应与坡面紧密贴合，不应留有空隙。

6.6.3 施工中应采取有效措施截排地表水和导排地下水。

6.6.4 沿河路基防护应避免路基受到浸水或冲刷。

6.7 排水施工

6.7.1 临时排水

6.7.1.1 路基填筑前，应结合永久排水设施制定临时防排水方案，根据地形地貌、水文地质条件等因素，确定临时防排水工程的适宜位置和排水方向，并与既有排水构筑物或自然排水系统顺接。

6.7.1.2 基底处理完成后，千枚岩路基应逐层设置 3%~4% 的双向横坡。

6.7.1.3 位于坡面上的排水构筑物应在路基填筑完成后 3 h 内完成开挖。

6.7.1.4 路基填筑完成后或雨期填筑时应在填方坡脚以外挖设临时排水沟，路肩应设置临时截水埂，边坡较高地段宜在路堤边坡上间隔设置临时排水槽。

6.7.1.5 临时排水设施保持排水畅通。

6.7.2 永久排水

6.7.2.1 路基与桥台及横向结构物的排水应保持畅通，过渡段两侧排水沟应与邻近结构物的排水设施形成完整的排水系统。

6.7.2.2 路基横向排水沟应排水顺畅，并与路基纵向排水系统衔接。

6.7.2.3 排水沟出水口应与原有地表排水系统顺接，将水引排至路基外。

6.8 雨期施工

6.8.1 雨期施工应综合规划、合理设置现场排水系统，加强表面平整度控制，逐层按要求设置横坡，及时引排地面水。

6.8.2 雨期施工前应整平基底，并设置纵横向排水坡。

6.8.3 低洼地段，应在雨期前将原地面处理好，并将填筑作业面填筑到预测的最高积水位 0.5 m 以上。

6.8.4 雨后必须待填层面晾干或采取其他措施，并确认填料含水率合格后才能继续施工。

7 质量控制与检测

7.1 一般规定

7.1.1 千枚岩路基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，确保施工填筑质量。

7.1.2 压实质量应依据千枚岩填料性质，对硬质、较软质千枚岩路基采用孔隙率作为检测压实指标。软质、极软千枚岩填料压实质量采用压实度作为检测指标，动态变形模量和地基系数作为辅助控制指标，压实度检测应按附录 B 规定的方法测定，动态变形模量检测应按附录 C 规定的方法测定，地基系数检测应按附录 D 规定的方法测定。

7.1.3 施工质量应结合试验段确定相关参数，采用压实功率、碾压速度、压实遍数、铺筑层厚度等压实参数与压实质量检测联合控制。

7.2 质量控制标准

A、B 填料路堤压实质量标准应符合表 15 的要求。

表 15 A、B 填料路堤压实质量标准

路基部位	路床顶面以下深度 (m)	硬质石料孔隙 (%)	中硬石料孔隙 (%)	较软质石料孔隙率 (%)
上路堤	0.8~1.50	≤23	≤22	≤20
下路堤	> 1.50	≤25	≤24	≤22

C、D 类千枚岩填料路堤压实质量标准应符合表 16 的要求。

表16 C、D类千枚岩填料路堤施工过程压实质量控制指标与标准

路基部位	路面底面以下深度（m）	公路等级	控制指标	压实标准		
				路基	包边土	
上路堤	轻、中等及重交通：0.8～1.5 特重、极重交通：1.2～1.9	高速公路 一级公路	压实度 K（%）	≥94	≥94	
			动态变形模量 E_v （MPa）	≥30	≥35	
			地基系数 K_{30} （MPa/m）	≥120	/	
下路堤	轻、中等及重交通：1.5 以下 特重、极重交通：1.9 以下		压实度 K（%）	≥94	≥94	
			动态变形模量 E_v （MPa）	≥30	≥35	
			地基系数 K_{30} （MPa/m）	≥120	/	

7.3 质量检测标准

C、D填料路堤填筑过程中压实度、动态变形模量、地基系数检测频率应满足表17要求。

表17 压实质量检测方法和频率

项次	检测项目	方法	检测方法和频率
1	压实度	灌砂法	2个/1000 m ³
2	动态变形模量	动态变形模量测试仪测试	每个压实度测点需测试动态变形模量 E_{vd} 3次
3	地基系数	地基系数 K_{30} 平板荷载试验	每4个压实层地基系数 K_{30} 测点不少于3个，且每4000 m ² 不少于5个

7.3.1 千枚岩路基填筑至设计标高并整修完成后，应进行施工质量检测，具体检测项目应按照表18规定。

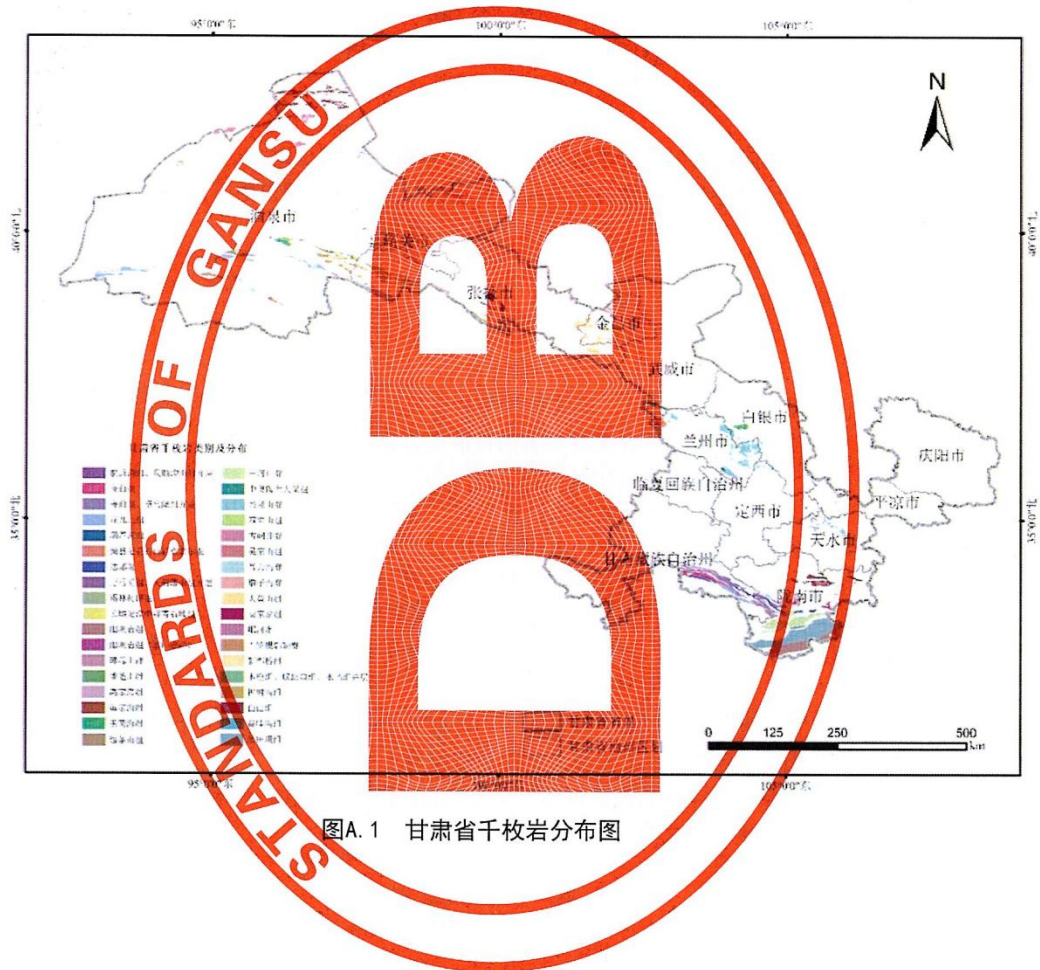
表18 千枚岩路基检测项目及要求

项次	检测项目	规定值或允许偏差	检测方法和频率
1	纵断高程/m	+10、-15	4断面/200 m
2	中线偏位/mm	50	4点/200 m
3	宽度/m	不小于设计值	4处/200 m
4	横坡	±0.3%	4断面/200 m
5	边坡坡率	不陡于设计坡率	4处/200 m
6	弯沉（0.01 mm）	不大于设计值	40个~50个点/每车道•每一评定段（不超过1 km）
7	平整度/mm	20mm	2处•5尺/200 m

7.3.2 压实后路基表面应平整、密实、无松散和明显杂物，边坡上不应有松动填料，坡面应顺适、美观、牢固、稳定，路基边线质顺、曲线圆滑。

附 录 A
(资料性)
甘肃省千枚岩分布图

甘肃省千枚岩分布情况如图A.1所示。



- j) 回收的量砂烘干、过筛，并放置 24 h 以上，使其与空气的湿度达到平衡后可以继续使用，若量砂中混有杂质，则应废弃。
- B. 2. 4 千枚岩路基填筑施工压实度按公式B.2计算：

$$K = \frac{\rho_d}{\rho_0} \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中：

ρ_d ——试样的干密度，单位为克每立方厘米（g/cm³）；

ρ_0 ——由击实等试验得到的最大干密度，单位为克每立方厘米（g/cm³）。

B. 3 压实度检测记录表

千枚岩压实度检测记录表格式如下图B.1所示。

工程部位/用途						样品编号			
试验检测日期						试验条件			
检测依据						判定依据			
主要仪器设备名称及编号									
填料种类				要求压实度 (%)				量砂密度 (g/cm ³)	
桩号									
层次		第 1 层	第 1 层	第 1 层	第 1 层	第 1 层			
标定前砂+容器质量 (g)									
标定后砂+容器质量 (g)									
锥体内和底板下砂质量 (g)									
试坑深度 (厚度) (mm)									
灌砂前砂+容器质量 (g)									
灌砂后砂+容器质量 (g)									
锥体内砂质量 (g)									
试坑灌入量砂的质量 (g)									
试坑中挖出湿料质量 (g)									
试样湿密度 (g/cm ³)									
含水率 1	盒号 (#)								
	盒质量 (g)								
	盒+湿料质量 (g)								
	盒+干料质量 (g)								
	含水率 (%)								
含水率 2	盒号 (#)								
	盒质量 (g)								
	盒+湿料质量 (g)								
	盒+干料质量 (g)								
	含水率 (%)								
平均含水率 (%)									
干密度 (g/cm ³)									
最大干密度 (g/cm ³)									
压实度 (%)									
附加声明:									

工程名称:

记录编号:

检测:

记录:

复核:

日期: 年 月 日

图B.1 千枚岩压实度试验检测记录表 (灌砂法)

附 录 C

(规范性)

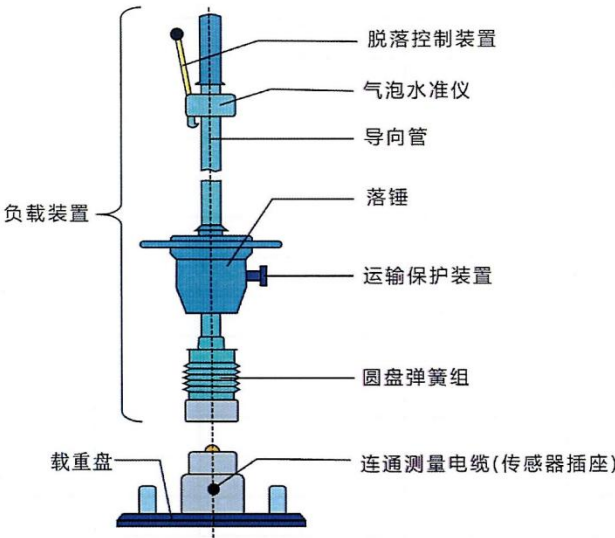
千枚岩路基动态变形模量检测方法

C.1 动态变形模量检测方法

千枚岩路基动态变形模量使用动态变形模量测试仪进行检测。

C.2 仪器和材料

C.2.1 动态变形模量测试仪：沉陷测试范围为0.1 mm~2.0 mm，Evd测试范围为10 MPa~225 MPa，测试影响深度为0 mm~500 mm；Evd测试仪构造如图C.1所示。



图C.1 动态变形模量 E_{vd} 测试仪构造图

C.3 试验步骤

千枚岩路基动态变形模量应按以下步骤开展试验：

- 测试面应整平，使荷载板与地面良好接触，必要时可用少量细砂进行补平；
- 荷载板放置在平整好的测试面上，安装上导向杆并保持其垂直；
- 将落锤提升至挂（脱）钩装置上挂住，然后使落锤脱钩并自由落下，当落锤弹回后将其抓住并挂在挂（脱）钩装置上，按此操作进行三次预冲击；
- 正式测试时按照上述第（3）项的方式进行三次冲击测试，作为正式测试记录。测试时应避免荷载板的移动和跳跃；
- 测试时，应记录每个测点的工作名称、检测部位、试验时间、含水率以及相关的参数。

C.4 计算与记录

C.4.1 动态变形模量 E_{vd} 值按公式C.1计算：

附录 D
(规范性)
千枚岩路基地基系数检测方法

D.1 仪器和材料

D.1.1 检测需要的仪器和材料主要包括：

- 地基系数 K_{30} 检测装置；
- 一辆载重不少于 26 t 的自行式振动压路机；
- 干燥细砂。

D.1.2 地基系数 K_{30} 检测装置如图 D.1 所示。

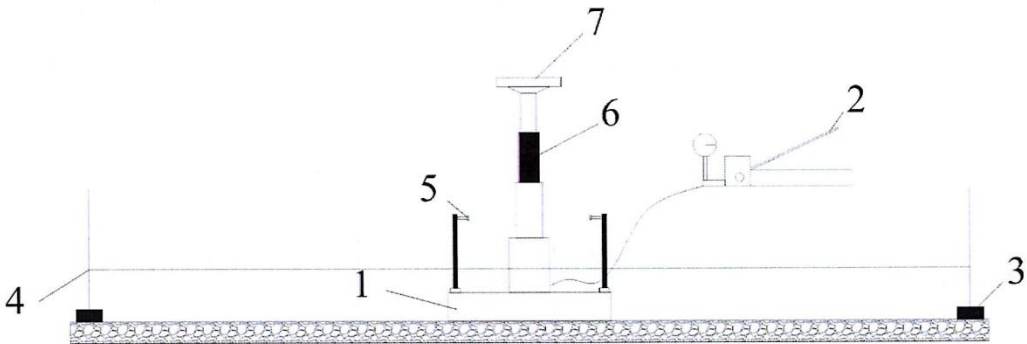


图 D.1 地基系数 K_{30} 试验装置图

标引符号说明：

- 1——刚性承载板；
- 2——手动液压泵；
- 3——支撑座；
- 4——支撑梁；
- 5——激光位移传感器；
- 6——压力传感器；
- 7——反力传感器，刚性承载板半径为 600 mm、厚度为 25 mm；反力装置荷载在 50 kN 以上，激光位移传感器精度为 0.01 mm，压力传感器精度等级 0.3 级。

D.2 试验步骤

D.2.1 在试验点周围铺一层薄薄的细砂，将荷载板放置在已平整的试验点上，将配合试验的载重不少于 26 t 的自行式振动压路机开至距离试验点小于 1 m 的地方，并使压路机后部大梁位于荷载板正上方，安装好仪器。

D.2.2 加一定的载荷（一般为 0.035 MPa）然后卸除，读取百分表的读数和做为下沉量的起始读数。

D.2.3 以预估极限荷载的 1/8～1/10 作为荷载增量，分级加荷。当不易预估其极限压力时，可按每级 0.04 MPa（承载板荷载强度）为增量，每增加一级荷载，等该荷载下沉量终止后，读出并记录荷载强度

（从压力表上读得的载荷值为千斤顶油缸内的油压）和下沉量的读数。当一分钟的下沉量不大于该级荷载强度下产生的总下沉量的1%时，即可认为下沉已终止。

D.2.4 当荷载强度超过估计现场实际最大接触压力，或者达到地基屈服点时，试验即停止。

D.3 计算与记录

D.3.1 根据各荷载强度值（MPa）和对应的下沉量值（0.01 mm）绘制（荷载强度—下沉量）曲线，根据此曲线找出下沉量为1.25 mm时的荷载强度，再由公式D.1计算地基系数 K_{30} ：

$$K_{30} = \frac{\sigma}{S} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

K_{30} ——地基系数值，单位为兆帕每米（MPa/m）；

σ ——下沉量为1.25 mm时的荷载强度，单位为兆帕（MPa）；

S ——下沉量值（0.01 mm），取1.25 mm。

D.3.2 本实验记录格式如下图D.2所示。



工程名称					任务编号		
工程部位/用途					测点位置		
填料名称					检测日期		
设计地基系数					检测依据		
仪器设备名称							
填层厚度 h _____ cm							荷载板直径 φ _____ 300 mm
加载顺序	荷载强度 σ (MPa)	油压表读数 P (MPa)	下沉量 (百分表读数) S (0.01 mm)				荷载板下沉量 (0.01 mm)
			表 1	表 2	表 3	平均	
预压							
复位							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
σ - S 关系曲线:							
沉降 1.25 mm 对应的荷载 σ_s _____ MPa, 地基系数 K_{30} _____ MPa/m。							
附注: 压实度 _____ %, 碾压遍数: 羊角碾 _____ 遍、静压 _____ 遍、弱振 _____ 遍、强振 _____ 遍。							

试验:

计算:

复核:

图D.2 千枚岩地基系数 K_{30} 平板荷载试验记录表

附录 E (资料性) 条文说明

4 工程地质勘察与填料分类

4.2 千枚岩定名与分类

千枚岩定名按矿物成分应符合以下要求：

- 绢云千枚岩、绿泥千枚岩和石英千枚岩的命名按：特征变质矿物＋主要鳞片状矿物＋（粒状矿物）＋千枚岩；
- 钙质千枚岩和碳质千枚岩的命名按：次要矿物（或杂质成分）＋主要矿物＋千枚岩。如：方解绢云千枚岩、碳质绢云千枚岩；
- 当岩石中出现铁绿帘石、十字石等特征变质矿物，或基质中出现大量云母类矿物，而仍具千枚状构造时，可称为千枚状片岩，为千枚岩与片岩之间的过渡类型；
- 千枚岩广泛分布在北山区中—上元古界、古生界、祁连区中—上元古界、下古生界，西秦岭区中—上元古界至三叠系中。原岩为泥质、粉砂质岩、火山碎屑岩，新生矿物为石英、绢云母、绿泥石、黑云母、硬绿泥石等可见变余层状构造。主要类型有绢云千枚岩、绿泥千枚岩、石英千枚岩、钙质千枚岩、碳质千枚岩和砂质千枚岩。其中绢云千枚岩分布最广泛，新生矿物以绢云母为主，在中祁连山中—上元古界、北祁连山寒武系、北山的石炭系中其含量可达 80%。皋兰地区长城系皋兰群黑云绢云千枚岩，黑云母呈变斑晶产出，基质由绢云母、石英组成。在北山长城系白湖畔、北祁连山松大坂志留系黑云母含量可达 30%~40%，向千枚状黑云片岩过度。白银西北寒武系绿泥绢云千枚岩中绿泥石成变斑晶产出，内有交生石英，并在变余的长石碎屑中有绿泥石生长。

4.4 千枚岩填料分类

4.4.1 膨胀性千枚岩指含有膨胀性矿物，在浸水条件下路基易发生显著湿化变形的低强度工程岩体。根据饱和吸水率和自由膨胀率将千枚岩膨胀性细分为弱膨胀、中膨胀和强膨胀。

4.4.3 千枚岩取样有困难或无法取得理想的抗压试验试样，需要间接确定岩石强度和模量时，可进行点荷载试验。千枚岩点荷载强度换算公式如下：

未经修正的岩石点荷载强度指数应按公式 E.1 计算：

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

I_s ——未经修正的点荷载强度指数，单位为（MPa）；

P ——破坏荷载，单位为（N）；

D_e ——等价岩芯直径，单位为（mm）。

岩芯径向加载、岩芯轴向加载、方块体及不规则块体加载试验，其等价岩芯直径应分别按公式E.2～E.4计算：

$$D_e = D \dots\dots\dots (E. 2)$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \dots\dots\dots (E. 3)$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4WD}{\pi}} \dots\dots\dots (E. 4)$$

式中：

D ——加载点间的距离，单位为毫米（mm）；

A ——通过两加载点的最小截面积，单位为毫米平方（mm²）；

W ——通过两加载点的最小截面平均宽度，单位为毫米（mm）。

岩石点荷载强度指数应换算成直径为50 mm的标准试件的点荷载强度指数 $I_{s(50)}$ ，按公式E.5～E.6计算：

$$I_{s(50)} = K_d \cdot I_s \dots\dots\dots (E. 5)$$

$$K_d = \left(\frac{D_e}{50}\right)^m \dots\dots\dots (E. 6)$$

式中：

K_d ——尺寸效应修正系数；

m ——修正指数，可取0.40～0.45，也可根据同类岩石的实测资料，通过对数坐标图上绘制不同等价直径的 $P-D_e^2$ 关系图，用作图法确定。

点荷载强度指数测试，同组试验岩样数量不应少于10个。试验结果应为舍去最大、最小测试值后的算术平均值。

本文件对不规则千枚岩岩块室内通过点荷载试验，建立了点荷载强度与饱和单轴抗压强度之间的线性关系，如图E.1所示。千枚岩的饱和单轴抗压强度与点荷载强度之间存在很好的相关性，相关系数大于0.99。因此计算了不同饱和单轴抗压强度对应的点荷载强度值，推荐了千枚岩点荷载强度指标值。

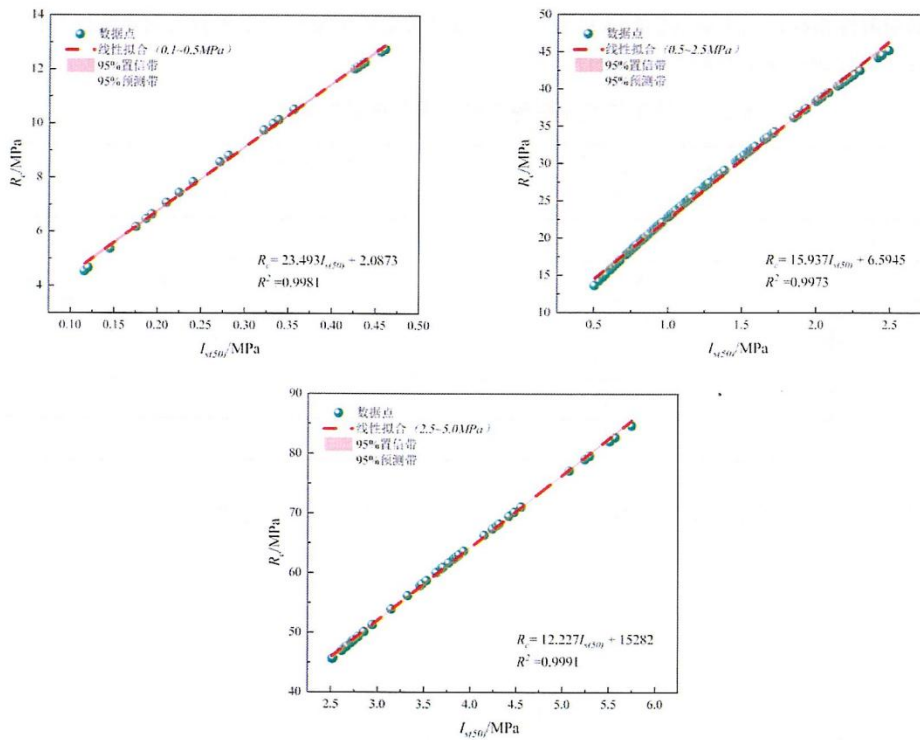


图 E.1 饱和单轴抗压强度与点荷载强度关系曲线

4.4.4 当缺乏试验数据或不能进行该项试验时,可按风化程度分类现场鉴定,具体可按表E.1定性分级。

表E.1 千枚岩坚硬程度定性分级

坚硬程度		定性鉴定	风化程度
硬质千枚岩	坚硬	锤击声清脆,有回弹,震手,难击碎,基本无吸水反应	未风化
	较硬	锤击声较清脆,有轻微回弹,稍震手,较难击碎,有轻微吸水反应	未风化
软质千枚岩	较软	锤击声不清脆,无回弹,较易击碎,浸水后指甲可刻出印痕	未风化~微风化
	软	锤击声哑,无回弹,有凹痕,易击碎,浸水后手可掰开	中风化~强风化
	极软	锤击声哑,无回弹,有较深凹痕,手可捏碎,浸水后可捏成团	全风化~全风化

4.4.6 岩石按耐崩解性指数分为极高的耐久性、高耐久性、中高等的耐久性、中等的耐久性、低耐久性、极低的耐久性,判定标准如表E.2所示。软质千枚岩应按耐崩解性指数划分为不崩解、难崩解和易崩解。耐崩解性试验室模拟千枚岩在干湿循环作用下的抗风化能力,千枚岩耐崩解性指数与风化程度、粒径大小有关,风化程度越强,耐崩解性指数越小;千枚岩颗粒粒径越小,耐崩解性指数越小。对于《公路工程岩石试验规程(JTG 3431—2024)》中规定的岩石二次循环耐崩解性指数作为评价指标,千枚岩

二次循环耐崩解性指标均为中高等的耐久性及以上,因此2次循环结果评价千枚岩的耐崩解性存在不足,因对千枚岩样进行20次以上耐崩解试验进行评价。

表E.2 甘布尔的崩解耐久性分类及试验结果表

组名	一次 10 min 旋转后留下的百分数 (%) (按干重计)	两次 10 min 旋转后留下的百分数 (%) (按干重计)
极高的耐久性	>99	>98
高耐久性	98~99	95~98
中高等的耐久性	95~98	85~95
中等的耐久性	85~95	60~85
低耐久性	60~85	30~60
极低的耐久性	<60	<30

4.4.10 对于千枚岩无法测试饱和单轴抗压强度的试样需用天然单轴抗压强度代替。

5 路基设计

5.1 一般规定

5.1.2 根据千枚岩填料分类, A、B类千枚岩填料的饱和单轴抗压强度、自由膨胀率、软化系数、耐崩解性等性能指标符合填石路堤硬质岩、较软岩特性, 具有压实性能好、水稳定性良好的优良工程特性, 故按照填石路堤相关要求进行控制。

5.1.3 C类千枚岩填料属软岩范畴, 抗剪强度较低, 通过软化系数和耐崩解性双重验证, 其水稳定性较差, 且路堤边部位置常常是摊铺、压实的薄弱环节, 在大气降雨及地表汇水的影响下, 浸水后抗剪强度和承载力产生衰减, 易发生湿化变形, 故采用边部包边封闭、底部设置排水垫层等措施, 改善填料的水稳定性。

5.3 路堤填料设计

5.3.1 千枚岩用作路堤填方料设计时, 首要工作应根据颗粒级配判断土类, 软、极软千枚岩压实级配偏向于土质填料, 故按公路路基设计规范要求, 路堤压实指标按CBR与压实度控制。

5.3.2 C、D类千枚岩填料的路堤包边封闭, 应外掺无机结合料或固废基复合固化剂改良处治, 提高路堤边部的水稳定性, 软化系数和耐崩解性指标是针对原岩的试验指标, 因此采用渗透系数反映水稳定性。

6 路基施工

6.2 施工准备

6.2.2 试验路段施工总结宜包括以下内容:

- 填料试验、检测报告等;
- 压实工艺主要参数: 机械组合; 压实机械规格、松铺厚度、碾压遍数、碾压速度、最佳含水率及碾压时含水率范围等;
- 过程工艺控制方法;
- 质量控制标准;

- 施工组织方案及工艺的优化;
- 安全及环保措施。

7 质量控制与检测

7.1.3 根据工程经验,千枚岩(C填料)路堤宜采用羊角碾破碎和强弱振相结合的碾压工艺压实效果较好。碾压工艺应严格按照试验段确定的羊角碾破碎和强弱振碾压组合工艺进行。雨后进行下一层填筑前,对现有路基顶面进行检测,对不符合要求的层厚进行铲除复压,另外应避免雨后重车荷载碾压。

7.2.2 千枚岩(C填料)路堤压实质量标准以压实度为主要控制指标,动态变形模量和地基系数为辅助控制指标,通过千枚岩(C填料)现场填筑检测,建立压实度与动态变形模量、地基系数之间的相关数学关系式,如图E.2所示。

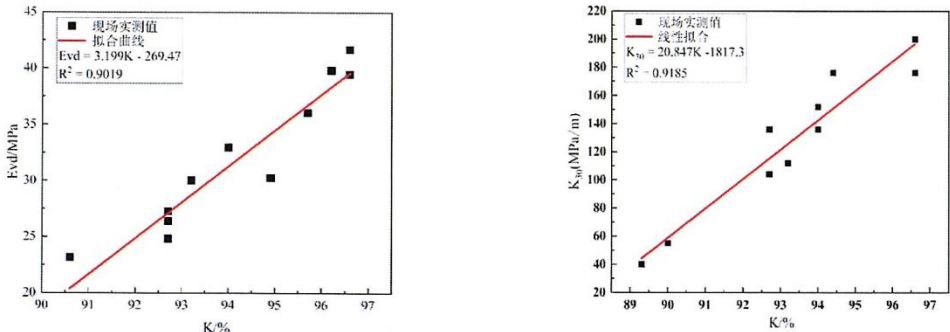


图 E.2 压实度与动态变形模量、地基系数之间的关系曲线

