

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1398—2021

公路千枚岩路基施工技术规范

Specification for Construction Technology of Phyllite Subgrade

2021 - 01 - 19 发布

2021 - 02 - 19 实施

陕西省市场监督管理局 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 一般规定..... 1

5 分类..... 1

6 技术要求..... 2

7 施工..... 2

8 质量控制与验收..... 4

附录 A（规范性） 垂直振动击实仪技术要求..... 6

附录 B（规范性） 最大干密度和最佳含水率测定方法..... 8

附录 C（规范性） 试件制备方法..... 12

附录 D（规范性） 千枚岩路基填料 CBR 试验方法..... 15

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。

本文件由陕西省交通运输厅提出。

本文件由陕西省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：长安大学、陕西省交通建设集团公司、西安建筑科技大学。

本文件主要起草人：蒋应军、卢世杰、纪小平、杨秋侠、曹支才、何锐、左精力、彭新航。

本文件由长安大学负责解释。

本文件为首次发布。

联系信息如下：

单位：长安大学

电话：029-62630078

地址：陕西省西安市南二环中段

邮编：710064

公路千枚岩路基施工技术规范

1 范围

本文件给出了千枚岩路基施工的一般规定、分类、技术要求、施工、质量控制与验收等内容。
本文件适用于各等级公路，其他道路可参照执行。

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 175 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥

GB/T 50218 工程岩体分级标准

JTG D30 公路路基设计规范

JTG D50 公路沥青路面设计规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

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

千枚岩是指泥质岩石、粉砂岩及凝灰岩等原岩，经区域低温动力变质作用或区域动力热流变质作用的底绿片岩相阶段形成的显微变晶片理发育面上呈绢丝光泽、构造上具有千枚状的低级变质岩。

4 一般规定

- 4.1 垂直振动击实仪技术要求应符合附录 A 的规定。
- 4.2 最大干密度和最佳含水率测定方法见附录 B。
- 4.3 试件制备方法见附录 C。
- 4.4 千枚岩路基填料 CBR 试验方法见附录 D。

5 分类

千枚岩可分为弱风化、中风化和强风化三类：

- a) 弱风化：岩体较为完整，主要呈板状结构，可取出完整岩芯， $CBR \geq 8\%$ ；
- b) 中风化：岩体相对完整，多呈板状、块状或短柱状，不能取出完整岩芯， $3\% < CBR < 8\%$ ；

c) 强风化：岩体风化强烈，多呈鳞片状，极易破碎，不能取出完整芯样， $\text{CBR} \leq 3\%$ 。

6 技术要求

6.1 一般要求

6.1.1 水泥初凝时间宜大于 4 h，终凝时间宜大于 6 h，其他指标应符合 GB 175 的规定。

6.1.2 未改良中风化、强风化千枚岩填筑路基，边坡及顶部宜采用土工布或黏土等措施进行封水处理，底部宜设隔离层或垫层等措施。

6.2 填料设计

6.3 填料最小承载比应符合 JTG D30 的规定，可采取水泥改良和提高压实度改善承载比。

6.4 水泥剂量和压实度宜通过试验确定，亦可参考表 1。

表 1 水泥剂量与压实度参考值

填筑层位	交通等级	弱风化		中风化		强风化	
		水泥剂量 (%)	压实度 (%)	水泥剂量 (%)	压实度 (%)	水泥剂量 (%)	压实度 (%)
上路床	轻、中交通	-	≥ 98	2	≥ 96	2	≥ 96
	重交通	2	≥ 96	2	≥ 98	3	≥ 96
	特重、极重交通	3	≥ 98	3	≥ 99	4	≥ 99
下路床	轻、中交通	-	≥ 96	-	≥ 98	2	≥ 96
	重交通					2	≥ 99
	特重、极重交通	-	≥ 96	2	≥ 96	3	≥ 97
						4	≥ 96
上路堤	轻、中交通	-	≥ 94	-	≥ 94	2	≥ 94
	重交通						
	特重、极重交通						
下路堤	轻、中交通	-	≥ 93	-	≥ 93	-	≥ 97
	重交通						
	特重、极重交通						

7 施工

7.1 一般要求

7.1.1 开工前应调查收集施工范围内地质、水文、气象等资料，核对千枚岩类别及分布，编制施工组织设计。

7.1.2 开工前应设置临时排水设施，施工期间排水应畅通。

7.1.3 本文件未涉及内容应符合 JTG/T3610 的要求。

7.2 施工准备

7.2.1 每作业段施工机械设备应符合表 2 的规定，需补强压实时宜增加落锤式强夯机或智能连续强夯机。

表 2 千枚岩路基施工机械设备

机械名称	台数（台、套），不少于
挖掘机	3
装载机	1
自卸车	11
推土机	1
平地机	1
洒水车	2
路拌机	1
振动压路机	1
羊足碾	2
注：工作性能良好	

- 7.2.2 按设计图纸放样并确定路基用地界桩、路堤坡脚、边沟等桩位。中、边桩恢复宜为 10m 桩距，并在路基外侧距坡脚 0.5 m 处设置标尺，便于施工时控制松铺厚度和填筑高度。
- 7.2.3 清除路基范围内树木、树根等，清理地表腐殖土、表土、草皮等，并整平压实基底。
- 7.2.4 通过试验段确定填筑方案和施工工艺，试验段长度不小于 100 m。

7.3 施工工序

施工工序见图1。

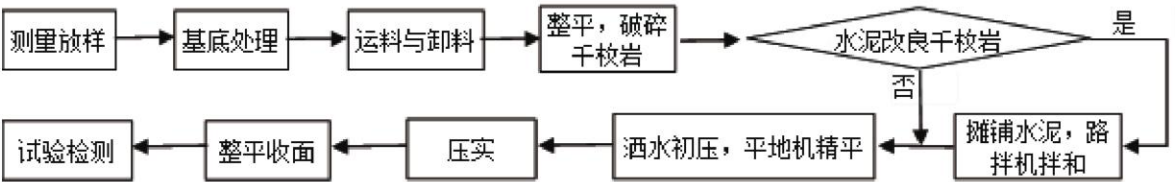


图 1 施工工序图

7.4 运输

- 7.4.1 填料运输时应覆盖，减少水分挥发和环境污染。
- 7.4.2 作业面应划出方格网，将千枚岩填料卸在方格网内。

7.5 摊铺

- 7.5.1 上料结束后，推土机由低到高按路线纵向摊铺整平，不得进行横向作业。压实厚度不宜大于 30 cm。
- 7.5.2 整平后，采用羊足碾错轮 1/3 碾压 3 遍，确保大块千枚岩破碎完全、粗细均匀。
- 7.5.3 水泥改良千枚岩填筑路基应满足下列要求；
- a) 水泥优先采用机械摊铺，采用人工摊铺时应摊铺均匀；
 - b) 水泥摊铺结束后，采用路拌法由低到高按路线纵向拌和，拌和深度应到位，不得留有夹层；
 - c) 拌和结束后，采用 20 T 及以上振动压路机稳压、平地机整平。

7.6 压实

- 7.6.1 压实方案可参考表 3。

表 3 压实方案

压实机械	压实度 (%)	碾压工艺组合
压路机	93/94	静压 1 遍+羊足碾碾压 3 遍+强振 3 遍+静压 2 遍
	96	静压 1 遍+羊足碾碾压 3 遍+强振 5 遍+静压 2 遍
	97	静压 1 遍+羊足碾碾压 3 遍+强振 5 遍+静压 2 遍
	98	静压 1 遍+羊足碾碾压 3 遍+强振 6 遍+静压 2 遍
	99	静压 1 遍+羊足碾碾压 3 遍+强振 7 遍+静压 2 遍
落锤式强夯机	补强压实	静压 1 遍+羊足碾碾压 3 遍+强振 2 遍+强夯 5 次+静压 1 遍
智能连续强夯机		静压 1 遍+羊足碾碾压 3 遍+强振 2 遍+强夯 6 次+静压 1 遍

7.6.2 碾压工艺应符合下列要求:

- 平地机整平后,采用 20 T 及以上振动压路机进行碾压。
- 碾压应重叠 1/3 轮宽,两侧应多碾压 2 遍。碾压速度小于 4 km/h,振动频率宜为 40 Hz、振幅 1 mm~2 mm。
- 直线段应从外侧向路中心碾压,超高路段由低侧向高侧碾压。

7.6.3 补强压实时,宜采用落锤式强夯工艺或智能连续强夯工艺。

7.6.4 碾压时填料含水率应控制在最佳含水率-2 %~最佳含水率+1 %。

7.6.5 水泥改良千枚岩碾压作业应在水泥初凝前完成。

7.7 整平收面

碾压结束后,采用光轮压路机静压收面,消除表面轮迹。

7.8 养生

水泥改良千枚岩路基碾压完成且检测合格后,可连续填筑。若间断施工时,表面应及时采用透水土工布覆盖保湿养生,养生不少于 7 d。

8 质量控制与验收

8.1 一般要求

8.1.1 施工过程中应加强施工质量控制。

8.1.2 运至施工现场的材料质量应满足要求。

8.2 质量控制

原材料质量控制标准应符合表4的规定,施工过程中质量控制标准应符合表5的规定。

表 4 原材料质量控制标准

检查项目		质量标准	频率
千枚岩	天然含水率	实测	每2000m ² 测2个样品;发现异常时,随时检测
	CBR	符合JTG D30	进场后测2个样品;发现异常时,随时检测
水泥	强度	符合GB 175	材料组成设计时测2个样品; 厂家或强度等级变化时重测。
	凝结时间	初凝时间≥4 h,终凝时间≥6 h	
	安定性	符合GB 175	

表 5 施工过程中质量控制标准

检查项目		质量标准	检查方法和频率
千枚岩	含水率	碾压时不超过最佳含水率-2%~最佳含水率+1%	每2000 m ² 检测1次；发现异常时随时检测
水泥改良千枚岩	水泥剂量	设计水泥剂量0~+0.5%	每2000 m ² 检测1次，至少6个样品
	含水率	碾压时不超过最佳含水率-2%~最佳含水率+1%	每2000 m ² 检测1次；发现异常时随时检测
	拌和均匀性	实测	随时检测
压实度		符合表1要求	每作业段或每2000 m ² 测6次以上

8.3 验收

路基验收应符合JTG F80/1的规定。

附录 A
(规范性)
垂直振动击实仪技术要求

A.1 垂直振动击实仪的构造及原理

垂直振动击实仪 (VVTE) 激振器由对称于垂直平面的两个具有转速相等、方向相反的偏心块构成, 如图A.1所示。当电机工作时, 振动轴带动两偏心块高速转动产生离心力。两偏心块产生的离心力水平分量相互抵消、垂直分量相互叠加, 形成垂直方向的正弦激振力, 使VVTE在理论上产生垂直振动, 并减少横向力的剪切作用, 确保VVTE的稳定性。

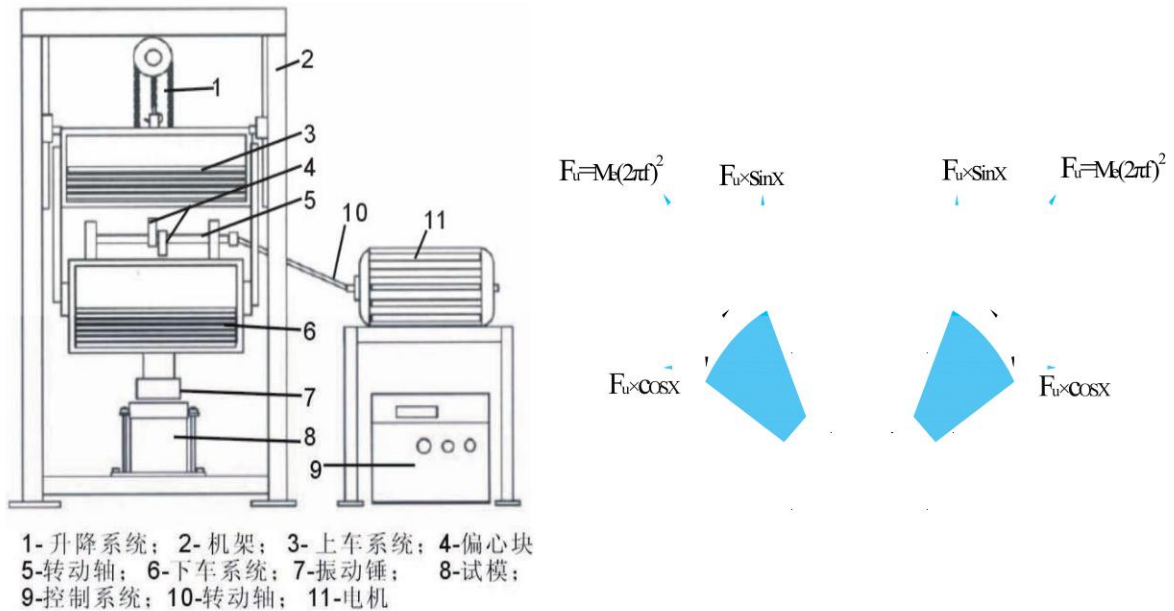


图 A.1 VVTE 构造及原理

A.2 VVTE振动参数的定义

A.2.1 工作频率 working frequency

指VVTE偏心块转轴的转动频率 ω 或VVTE电机的输出频率 f , $\omega = 2\pi f$ 。工作频率是可控参数。

A.2.2 振动频率 vibration frequency

指VVTE振动系统在激振力作用下产生受迫振动, 振动锤对被压材料施加周期性变化的力的频率。通常工作频率不小于振动频率, 振动频率与被压材料刚度有关, 振动频率是不可控参数。

A.2.3 名义振幅 nominal amplitude

指VVTE的激振器静偏心矩 M_e 与参振质量 m_d 比值 A_0 ，即 $A_0 = \frac{M_e}{m_d}$ 。 A_0 是可控参数，用于评价和比较不同型号垂直振动击实仪振动性能。

A.2.4 工作振幅 working amplitude

指VVTE在振动压实时振动系统的实际振幅。工作振幅是不可控参数，通常工作振幅不小于名义振幅。

A.2.5 激振力 exciting force

指偏心块高速旋转时产生的离心力，即 $F_0 = M_e \omega^2$ 或 $F_0 = m_d A_0 (2\pi f)^2$ 。激振力是可控参数。

A.2.6 振动作用力 applied force by vibration

指VVTE振动系统在激振力作用下产生受迫振动，振动锤对被压材料施加的垂直振动力，是被压材料的弹性变形量 $K_2 x_2$ 和阻尼力 $C_2 \dot{x}_2$ 矢量和，即 $F_s = \left[(K_2 x_2)^2 + (C_2 \dot{x}_2)^2 \right]^{1/2}$ 。 F_s 是不可控参数。

A.3 VVTE振动参数的技术要求

A.3.1 工作频率：40Hz±1Hz

A.3.2 名义振幅：1.3mm±0.05mm

A.3.3 工作重量：3.0kN±0.02kN

A.3.4 上车系统重量：1.2kN±0.01kN

A.3.5 下车系统重量：1.8kN±0.01kN

附 录 B
(规范性)
最大干密度和最佳含水率测定方法

B.1 适用范围

本方法适用于室内对千枚岩填料进行振动击实试验，以绘制千枚岩填料在振动击实条件下的干密度-含水率曲线，并确定其最大干密度和最佳含水率。

B.2 仪器设备

B.2.1 垂直振动击实仪：应符合附录A的规定。

B.2.2 试模：试模的内径×高度= $\phi 150$ mm× $h 150$ mm。试模尺寸应符合图B.1的规定。

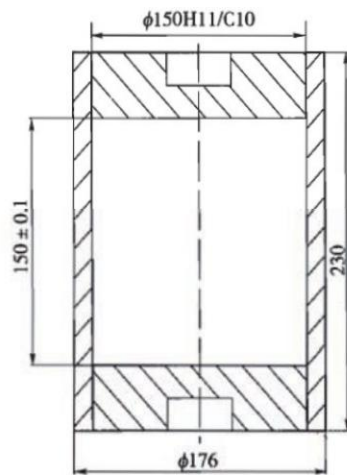


图 B.1 试模与垫块尺寸示意图

注：H11/C10表示垫块和试模的配合精度，单位为毫米

B.2.3 其他仪器设备包括：

- a) 电子天平：量程 30 kg，感量 0.1 kg；
- b) 方孔筛：孔径 53 mm、37.5 mm、31.5 mm、26.5 mm、19 mm、9.5 mm、4.75 mm、2.36 mm、0.6 mm、0.075 mm 标准筛各 1 个；
- c) 量筒：200 mL、500 mL 的量筒各 1 个；
- d) 直刮刀：长 200 mm~250 mm、宽约 30 mm、厚约 3 mm，一侧开口的直刮刀 1 把；
- e) 拌和工具：约 1000 mm×1000 mm×1 mm 长方形铁皮，拌和用平头小铲等；
- f) 脱模器、烘箱等其它用具。

B.3 试验准备

试验准备应符合以下规定：

- a) 将千枚岩放入烘箱中，烘箱温度设为 $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，烘干时间 4 h~6 h；

- b) 将烘干后千枚岩捣碎,准备 5 份~6 份 40 mm 以下千枚岩试样,每份试料干质量 m_s 为 4500 g~5000 g。

B.4 试验步骤

试验步骤包括以下内容:

- 取烘干试料 1 份,平铺于长方形铁皮上,用小铲将试料充分拌和均匀,然后按预定剂量加入质量为 m_j 水泥,再次拌和均匀,得到干混合料;
- 将质量 $(m_j+m_s) \times w_i$ 的水加入制备好的干混合料中拌和均匀,得到湿混合料;其中, w_i 为第 i 次试验时加入干混合料中的拌和含水率, $i=1, 2, 3, 4, 5$;一般地, $w_i=4\% \sim 5\%$;
- 将 $\phi 149 \text{ mm} \times h 40 \text{ mm}$ 的试模下压柱放入试模下部并使底部齐平,所述试模的 $\phi 150 \text{ mm} \times h (230 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm})$,装入试模中试模垫块放入试模下部并保证底部平整,取制备好湿千枚岩试样 1 份,按四分法装入试模中,装填过程中使用插捣棒插捣均匀;
- 将整个试模(连同下压柱)固定在振动仪底板上,放下振动器使振动锤与被压材料接触,振动击实 20 s;
- 吊起振动器,取下试模并放到脱模器上将试模内混合料顶出,即为试验用试样。试样高度控制在 $120 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$,当试样高度超出该范围时应作废,并视试样高度,适当增加或减少 m_s ,并按照上述 b)~e) 步骤重新制备试样;
- 计算第 i 次试验所得的试样干密度:

$$\rho_{d(i)} = \frac{m_{2(i)} - m_0}{V_{(i)}} \cdot \frac{1}{1 + 0.01 \cdot w_i} \dots\dots\dots (\text{B. 1})$$

式中:

$\rho_{d(i)}$ ——第 i 次试验时试样的干密度, g/cm^3 ;

$m_{2(i)}$ ——第 i 次试验时的试样质量, g ;

m_0 ——试模质量, g ;

w_i ——第 i 次试验时加入干混合料中的拌和含水率, %;

V_i ——第 i 次试验时的试样体积, cm^3 。

- g) 计算第 $i+1$ 次试验时所需的拌和含水率:

计算振动击实前后湿混合料质量差 $m_{1(i)} - m_{2(i)}$, 确定第 $i+1$ 次试验时加入混合料拌合含水率 w_{i+1} ;

其中 $m_{1(i)}$ 为第 i 次试验时装入试模中的湿混合料质量, 当 $m_{1(i)} - m_{2(i)} < 50 \text{ g}$ 时, $w_{i+1} = w_i + 0.5\%$, 当 $m_{1(i)} - m_{2(i)} \geq 50 \text{ g}$ 时, $w_{i+1} = w_i - 0.7\%$;

- h) 根据步骤 b)~h) 方法重复 5 次~6 次试验, 确保 5 组试样高度有效, 计算得到 5 组拌和含水率和干密度。以拌和含水率为横坐标、干密度为纵坐标, 绘制干密度-含水率关系曲线, 驼峰形曲线顶点的纵横坐标分别为最大干密度 $\rho_{d\max}$ 和最佳含水率 w_0 。

B.5 结果整理

B.5.1 计算密度应保留小数点3位有效数字, 含水率应保留小数点后1位有效数字。

B.5.2 应做两次平行试验，两次试验最大干密度的差不超过 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。

B.6 报告

报告应包括以下内容：

- a) 最大干密度；
- b) 最佳含水率；
- c) 振动击实曲线。

B.7 记录

本试验的记录格式见表B.1

表 B.1 千枚岩垂直振动击实试验记录表

工程名称		试验方法				
试样编号		试验者				
混合料名称		校核者				
结合料剂量		试验日期				
试验序号	1	2	3	4	5	6
含水率 w (%)						
试模质量 m_0 (g)						
击实前试模+湿混合料的质量 m_1 (g)						
击实后试模+湿混合料的质量 m_2 (g)						
试件平均高度 h (cm)						
$(m_1 - m_2)$ (g)						
判断是否 $m_1 - m_2$ 是否大于 50 g						
试件体积 $= 176.71 \times h$ (cm^3)						
湿密度 $[\rho_w = (m_2 - m_0)/V]$ (g/cm^3)						
干密度 $[\rho_d = \rho_w / (1 + 0.01w)]$ (g/cm^3)						

附 录 C

（规范性）

试件制备方法

C.1 适用范围

本方法适用于千枚岩填料无侧限抗压强度、间接抗拉强度、室内抗压回弹模量、动态模量、劈裂模量等试验用圆柱体试件。圆柱体试件尺寸为 $\phi 150\text{ mm} \times h 150\text{ mm}$ 。

C.2 仪器设备

仪器设备包括以下内容：

- a) 垂直振动击实仪：应符合附录 A 的规定；
- b) 试模：试模尺寸应符合图 B.1 的规定；
- c) 电子天平：量程 30kg，感量 0.1kg；
- d) 方孔筛：孔径 53 mm、37.5 mm、31.5 mm、26.5 mm、19 mm、9.5 mm、4.75 mm、2.36 mm、0.6 mm、0.075 mm 标准筛各 1 个；
- e) 量筒：200 ml、500 ml 的量筒各 1 个；
- f) 直刮刀：长约 200mm~250mm、宽约 30mm、厚约 3mm，一侧开口的直刮刀 1 把；
- g) 拌和工具：约 1000mm×1000mm×1mm 的长方形铁皮，拌和用平头小铲等；
- h) 脱模器、烘箱等其它用具。

C.3 试验准备

试验准备应符合以下规定：

- a) 将千枚岩置烘箱中烘干至恒重，烘箱温度为 $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，时间为 4 h~6 h。
- b) 将烘干后千枚岩捣碎，取 40 mm 以下千枚岩作为试样。

C.4 试验步骤

试验步骤包括以下内容：

- a) 称取制备一个试件所需的干燥试料质量 m_d ，其中， $m_d = \rho_{dmax} \times 2655 \times (1 - 0.01 \times P)$ ， ρ_{dmax} 为振动击实确定的混合料最大干密度， P 为预设水泥剂量；
- b) 加入质量为 $\rho_{dmax} \times 2655 \times 0.01 \times P$ 的水泥到质量为 m_d 干燥试料中，拌合均匀得到干混合料；加入质量 $\rho_{dmax} \times 2655 \times 0.01 \times w_0$ 的水到干混合料中，拌合均匀得到湿混合料，其中， w_0 为振动击实确定的混合料最佳含水率；
- c) 将 $\phi 149\text{ mm} \times h 40\text{ mm}$ 的试模下压柱放入试模下部并使底部齐平，所述试模的 $\phi 150\text{ mm} \times h$ ($230\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$)。将湿混合料按四分法装入试模中，且边装料边用夯棒轻轻均匀插实。装料的质量 $m = 2650.72 \times k \times \rho_{dmax} (1 + 0.01 \times w_0)$ ，其中， k 为试件的预定压实度， $V = \pi \times 7.5 \times 7.5 \times 15 = 2650.72\text{ cm}^3$ 为试件的体积；

- d) 将装有湿混合料的整个试模(连同下压柱)固定在振动仪底板上,放下振动器使振动锤与被压材料接触,振动击实至试件高度 150 mm。事先可通过 3 组~5 组试验建立振动时间与试件高度关系,求取试件高度达到 150 mm 时所需振动时间,并以此时间作为振动压实;
- e) 吊起振动器,取下试模并放到脱模器上将试模内混合料顶出,即为圆柱体试件。在脱模器上取试件时,应用双手抱住试件的侧面的中下部,然后沿水平方向轻轻旋转,待感觉到试件移动后,再将试件轻轻捧起,放置到试验台上。切勿直接将试件向上捧起;
- f) 称试件的质量 m^2 ,精确至 0.1 g。然后用游标卡尺测量试件的高度 h ,精确至 0.1 mm。检查试件的高度和质量,不满足成型标准的试件作为废件;
- g) 试件称量后应立即放在塑料袋中封闭,并用潮湿的毛巾覆盖,移放至养生室。

C.5 结果整理

C.5.1 试件高度误差范围控制在-1 mm~+3 mm。

C.5.2 试件质量损失应不超过15 g。

C.6 记录

本试验的记录格式见表C.1。

表 B.2 垂直振动成型千枚岩圆柱体试件记录表

工程名称				混合料名称		
配合比				最佳含水率（%）		
最大干密度（g/cm3）				试件压实度/%		
试件标准质量（g）				试验方法		
试验者				试验日期		
编号	高度（mm）			质量（g）		压实度（%）
1	1	2	3	平均		
2						
3						
4						
5						
6						
7						

附 录 D
(规范性)
千枚岩路基填料 CBR 试验方法

D.1 适用范围

本试验方法只适用于在规定的试筒内制件后,对千枚岩填料进行承载比试验。

D.2 仪器设备

D.2.1 垂直振动击实仪:应符合附录A的规定;

D.2.2 CBR试筒: $\phi 152\text{ mm}\times h 170\text{ mm}$ 侧壁上有透水孔金属圆筒,套环高50 mm;筒内垫块 $\phi 151\text{ mm}\times h 50\text{ mm}$,试筒形式和尺寸如图D.1所示。



图 D.1 侧面泡水 CBR 试筒



图 D.2 击实前覆盖滤纸

D.2.3 路面材料强度仪或其他载荷装置:能量不小于50 kN,能调节贯入速度至每分钟贯入1 mm,可采用测力计式。

D.2.4 膨胀率测试仪器:百分表3个与支架2个;或采用压力传感器。

D.2.5 荷载板：直径150 mm，中心孔眼直径52 mm，每块质量1.25 kg，共4块，并沿直径分为两个半圆块。

D.2.6 水槽：浸泡试件用，槽内水面水位应尽可能高但不能浸没试筒。

D.2.7 其他：台秤，感量为试件用量的0.1 %；拌和盘、直尺、滤纸、脱模器等与击实试验相同。

D.3 试样

试样具体要求如下：

- a) 取有代表性千枚岩试料 50 kg，必要时在 50 ℃烘箱内烘干后并捣碎，捣碎后用 40 mm 筛筛除大于 40 mm 的颗粒；
- b) 将已过 40 mm 筛下试料按四分法取出约 25 kg。再用四分法将取出的试料分成 4 份，每份质量 6kg，供击实试验和制试件之用；
- c) 在预定做击实试验的前 1 d，取有代表性试料测定其风干含水率。

D.4 试验步骤

D.4.1 称试筒质量(m_1)，将试筒固定在底板上，将垫块放入筒内，并在垫块上放一张滤纸，安上套环。

D.4.2 根据本文件附录B方法，确定千枚岩最大干密度和最佳含水率。

D.4.3 根据附录C方法，按最大干密度和最佳含水率制备3个试件。

D.4.4 称试筒和试件的质量(m_2)。

D.4.5 泡水测膨胀率的步骤如下：

- a) 在试件制成后，取下试件顶面的破残滤纸，放一张好滤纸，并在其上安装附有调节杆的多孔板，在多孔板上加 4 块荷载板；
- b) 将试筒与多孔板一起放入槽内(先不放水)，并用拉杆将模具拉紧，安装百分表，并读取初读数；
- c) 向水槽内放水，使水自由进到试件的顶部和底部。在泡水期间，槽内水面应保持在试件顶面以上大约 25 mm。通常试件要泡水 48 h；
- d) 泡水终了时，读取试件上百分表的终读数，并用式(1)计算膨胀率：

$$\delta_e = \frac{H_1 - H_0}{H_0} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

δ_e ——试件泡水后的膨胀率，计算至0.1%；

H_1 ——试件泡水终了后的高度，mm；

H_0 ——试件初始高度，mm。

- e) 从水槽中取出试件，倒出试件顶面的水，静置 15 min，让其排水，然后卸去附加荷载和多孔板、底板和滤纸，并称量(m_3)，以计算试件的湿度和密度的变化。

D.4.6 贯入试验

贯入试验内容如下：

- a) 将泡水试验终了的试件放到路面材料强度试验仪的升降台上，调整偏球座对准、整平并使贯入杆与试件顶面全面接触，在贯入杆周围放置 4 块荷载板；
- b) 当用于填筑路床时，建议在贯入杆上施加 181 N 荷载，然后将测力和测变形的百分表指针均调整至整数，并记读起始读数；当用于填筑上路堤时，建议在贯入杆上施加 363 N 荷载，然后将

- 测力和测变形的百分表指针均调整至整数，并记读起始读数；当用于填筑下路堤时，建议在贯入杆上施加 544 N 荷载，然后将测力和测变形的百分表指针均调整至整数，并记读起始读数；
- c) 加荷使贯入杆以 1 mm/min~1.25 mm/min 的速度压入试件，同时测记三个百分表的读数。记录测力计内百分表某些整读数(如 20、40、60)时的贯入量，并注意使贯入量为 250×10^{-2} mm 时，能有 5 个以上的读数。因此，测力计内的第一个读数应是贯入量 30×10^{-2} mm 左右；

D.5 结果整理

D.5.1 以单位压力(p)为横坐标，贯入量(l)为纵坐标，绘制 p - l 关系曲线，如图D.3所示。图上曲线1是合适的。曲线2开始段是凹曲线，需要进行修正。修正时在变曲率点引一切线，与纵坐标交于 O' 点， O' 即为修正后的原点。

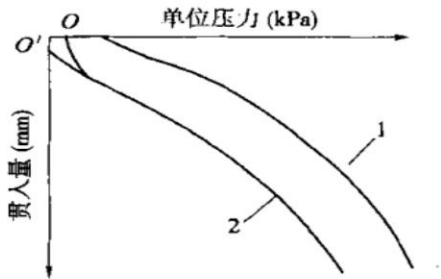


图 C.1 单位压力与贯入量的关系曲线

D.5.2 一般采用贯入量为2.5 mm时的单位压力与标准压力之比作为材料的承载比(CBR)。

$$CBR_{2.5} = \frac{p}{7000} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

- 式中：
- $CBR_{2.5}$ —贯入量 2.5 mm时的承载比(%），计算至0.1%；
- p —贯入量2.5 mm时的荷载强度(kPa)；
- 7000—贯入量2.5 m时所对应的标准荷载强度(kPa)。

D.5.2.1 贯入量为5.0 mm时

$$CBR_{5.0} = \frac{p}{10500} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

- 式中：
- $CBR_{5.0}$ —贯入量 5.0 mm时的承载比(%），计算至0.1%；
- p —贯入量5.0 mm时的荷载强度(kPa)；
- 10500—贯入量5.0 m时所对应的标准荷载强度(kPa)。

D.5.2.2 宜采用贯入量2.5 mm时的承载比。贯入量为5.0 mm时的承载比大于贯入量2.5 mm时的承载比时，应重新进行试验。如试验结果仍然相同，则采用贯入量为5.0 mm时的承载比。

D.5.3 试件的湿密度用式(4)计算：

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{2177} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

ρ —试件的湿密度 (g/cm³) , 计算至0.01;

m_2 —试筒和试件的合质量 (g) ;

m_1 —试筒的质量 (g) ;

2177—试筒的容积 (cm³) 。

D.5.4 试件干密度用式(5)计算:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+0.01\omega} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

ρ_d —试件的干密度 (g/cm³) , 计算至0.01;

ω —试件的含水率。

D.5.5 泡水后试件的吸水量按式(6)计算:

$$\omega_a = m_3 - m_2 \dots\dots\dots (6)$$

式中:

w_a —泡水后试件的吸水量 (g) ;

m_3 —泡水后试筒和试件的合质量 (g) ;

m_1 —试筒和试件的合质量 (g) 。

D.5.6 精密度和允许差。

D.5.6.1 3个平行试验结果计算得CBR变异系数 $C_v > 12\%$, 则去掉一个偏离大的值, 取其余2个结果的平均值。

D.5.6.2 3个平行试验结果计算得CBR变异系数 $C_v < 12\%$, 且干密度偏差 $< 0.03 \text{ g/cm}^3$, 则取3个结果的平均值; 如干密度偏差超过 0.03 g/cm^3 , 则去掉一个偏离大的值, 取其于2个结果的平均值。

D.5.6.3 $\text{CBR} < 100$, 相对偏差不大于 5% ; $\text{CBR} \geq 100$, 相对偏差不大于 10% 。

D.6 报告

D.6.1 千枚岩工程类型、最佳含水率(%)和最大干密度(g/cm³)。

D.6.2 千枚岩填料承载比(%)。

D.6.3 千枚岩填料膨胀率(%)。

表 D.1 千枚岩贯入试验记录

土样编号				试验者				
最大干密度（g/cm ³ ）				计算者				
最佳含水率（%）				校核者				
每层基数				试验日期				
				试验编码				
荷载测力计百分表		单位压力	贯入量百分表读数				贯入量	
读数	变形值		左表		右表			平均值
			读数	位移值	读数	位移值		
R_i' (0.01mm)	$R_i = R'_{i+1} - R'_i$ (0.01mm)	p （kPa）	R_{ii} （0.01mm）	$R_i = R_{1i+1} - R_{1i}$ (0.01mm)	R_{2i} （0.01mm）	$R_2 = R_{2i+1} - R_{2i}$ (0.01mm)	$R_1 = 1/2(R_1 + R_2)$ (0.01mm)	l （mm）

表 D.2 膨胀率试验记录

膨胀率	试验次数			1	2	3
	筒号	(1)				
	泡水前试件 (原试件) 高度 (mm)	(2)				
	泡水后试件高度 (mm)	(3)				
	膨胀率 (%)	(4)	$\frac{(3)-(2)}{(2)} \times 100$			
	膨胀率平均值 (%)					
密度	筒质量 m_1 (g)	(5)				
	筒+试件质量 m_2 (g)	(6)				
	筒体积 (cm ³)	(7)				
	湿密度 ρ (g/cm ³)	(8)	$\frac{(6)-(5)}{(7)}$			
	含水率 w (%)	(9)				
	干密度 ρ_d (g/cm ³)	(10)	$\frac{(8)}{1+0.01w}$			
	干密度平均值					
吸水量	泡水后筒+试件合质量 m_3 (g)	(11)				
	吸水量 w_A (g)	(12)	(11)- (6)			
	吸水量平均值 (g)					

