

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/ T 529—2011

垂直振动法水泥稳定碎石 设计施工技术规范

2011 - 12 - 16 发布

2011 - 12 - 31 实施

陕西省质量技术监督局 发布

前 言

本标准由陕西省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：陕西省交通厅基本建设工程质量监督站、长安大学。

本标准主要起草人：蒋应军、张毅、孔庆学、杨国强、乔怀玉、董鑫、李剑平。

本标准由陕西省交通运输厅负责解释。

本标准为首次发布。

垂直振动法水泥稳定碎石 设计施工技术规范

1 范围

本标准规定了垂直振动击实仪技术要求、垂直振动试验方法、原材料技术要求、设计技术、施工技术、施工质量检查与验收。

本标准适用于新建和改扩建高速、一级公路水泥稳定碎石设计与施工，其他等级公路参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 D50-2006 公路沥青路面设计规范
JTG E51-2009 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
JTG F80/1-2004 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
JTJ034-2000 公路路面基层施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

垂直振动击实仪 (VVTE) Vertical Vibrocompression Testing Equipment

指工作时只产生垂直振动力而没有水平力的振动击实仪。

3.2

垂直振动试验方法 (VVM) Vertical Vibrocompression Testing Method

指采用垂直振动击实仪将水泥稳定碎石振动击实，确定水泥稳定碎石最大干密度和最佳含水量、成型圆柱体试件的试验方法。

3.3

垂直振动击实试验方法 method for reference density and water content using VVTE

指采用垂直振动击实仪将不同含水量的水泥稳定碎石振动击实，击实后测试不同含水量水泥稳定碎石的密度，并绘制干密度—含水量曲线，确定水泥稳定碎石最大干密度和最佳含水量的试验方法。

3.4

试件垂直振动成型方法 fabrication method of specimens using VVTE

指采用垂直振动击实仪将水泥稳定碎石振动击实至规定压实度和尺寸要求的圆柱体试件的方法。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 材料运至现场后,应抽样检测,检测合格后方可使用。

4.1.2 相同料源、规格、品种的原材料作为一批,应分批检测和储存。

4.2 水泥

4.2.1 水泥应符合国家相关标准的要求,初凝时间应大于4 h,终凝时间应大于6 h。宜采用普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥,禁止使用快硬水泥、早强水泥及受潮变质水泥。

4.2.2 采用散装水泥时,水泥出炉后应停放7 d以上,且安定性检测合格后才能使用。运至工地的散装水泥入罐温度应低于50℃,使用时若高于此温度,应采取降温措施。冬季施工,水泥入拌缸温度应高于10℃。

4.3 集料

4.3.1 集料按粒径分为A料19 mm~37.5 mm、B料9.5 mm~19 mm、C料4.75 mm~9.5 mm和D料0~4.75 mm(石屑)四种规格,并按表1的规定生产和使用。

表1 集料规格

料号	规格/mm	通过下列筛孔尺寸/mm的质量百分率/%								
		37.5	31.5	19	16	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
A料	19.0~37.5	100	70~90	0~15	0~5	—	—	—	—	—
B料	9.5~19.0	—	100	80~100	—	0~15	0~5	—	—	—
C料	4.75~9.5	—	—	—	100	80~100	0~10	0~5	—	—
D料	0~4.75	—	—	—	—	100	90~100	—	30~50	10~20

4.3.2 粗集料宜采用石灰岩碎石和花岗岩碎石,不宜采用砂岩碎石;粗集料生产过程中二次破碎禁止采用颚式破碎机,并应符合表2的规定。

表2 粗集料技术要求

项目	表观密度/(t/m ³)	压碎值/%	针片状含量/%	
			大于9.5 mm	9.5 mm~4.75 mm
技术要求	≥2.6	≤25	≤15	≤20

4.3.3 细集料宜使用采石场破碎石料时通过4.75 mm的筛下部分石屑。石屑应洁净、干燥、无风化、无杂质,并应符合表3的规定。

表3 细集料技术要求

项目	表观密度/(t/m ³)	砂当量/%
技术要求	≥2.5	≥50

4.4 水

4.4.1 采用无污染水或饮用水。

4.4.2 遇到可疑水源,应按表4进行检测,合格后方可使用。

表4 水技术要求

项 目	PH 值	SO ₄ ²⁻ 含量/(mg/mm ³)	含盐量/(mg/mm ³)
技术要求	≥4	<0.0027	≤0.005

5 VVTM 水泥稳定碎石设计

5.1 一般规定

5.1.1 采用的垂直振动击实仪应符合本标准附录 A 的规定。

5.1.2 采用本标准附录 B 方法确定水泥稳定碎石最大干密度和最佳含水量。

5.1.3 采用本标准附录 C 方法成型水泥稳定碎石直径 150 mm×高度 150 mm 圆柱体试件。

5.2 配合比设计

5.2.1 技术要求

5.2.1.1 矿料级配

水泥稳定碎石矿料级配应符合表5的规定。

表5 强嵌挤骨架密实型水泥稳定碎石矿料级配

层位	通过下列筛孔尺寸 (mm) 的质量百分率 (%)							
	37.5	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
(底)基层	100	88~100	58~70	38~46	28~36	20~28	8~16	3~6

5.2.1.2 压实度和强度

水泥稳定碎石压实度、7d龄期劈裂强度及无侧限抗压强度代表值应符合表6的规定。

表6 水泥稳定碎石压实度、强度及水泥剂量要求

层位	压实度 /%	7d 强度代表值/MPa				水泥剂量/%	
		水泥稳定石灰岩碎石		水泥稳定花岗岩碎石		最小值	最大值
		劈裂强度	抗压强度	劈裂强度	抗压强度		
基层	≥98	≥0.65	≥7.0	≥0.60	≥6.6	3.0	4.5
底基层	≥97	≥0.60	≥6.5	≥0.55	≥6.0	2.5	4.0

5.2.1.3 水泥剂量

水泥剂量应符合表6的规定。

5.2.2 室内配合比设计

5.2.2.1 根据工地实际使用集料的筛分结果和表 5 矿料级配的要求, 确定各规格集料之间比例。

5.2.2.2 分别按下列四种水泥剂量配制同一种矿料级配、不同水泥剂量的混合料:

底基层用: 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%

基层用: 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%

5.2.2.3 采用本标准附录 B 方法确定各水泥剂量混合料最大干密度和最佳含水量。

5.2.2.4 按表6中规定压实度分别计算不同水泥剂量混合料试件应有的干密度。按计算的干密度和最佳含水量,按照本标准附录C方法成型不同水泥剂量混合料直径150 mm×高度150 mm圆柱体试件,每组试件不小于6个。

5.2.2.5 试件放入温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度在95%以上标养室内养生6 d,取出后浸入 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温水槽中,并使水面高出试件顶约2.5 cm。

5.2.2.6 将浸水24 h的试件取出,用软布吸去试件表面的水分,量高称重后,立即进行无侧限抗压强度试验和劈裂强度试验,并按公式(1)、(2)计算强度代表值:

$$R_{0.95} = \bar{R}(1 - 1.645C_v) \dots\dots\dots (1)$$

$$R_{0.95} = \bar{R} - 1.645 \cdot S \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$R_{0.95}$ ——保证率95%的强度代表值,MPa;

$\bar{R}$ ——该组试件强度的平均值,MPa;

C_v ——该组试件强度的变异系数,%;

S ——该组试件强度的标准差,MPa。

5.2.2.7 根据表6的要求,确定水泥剂量。若达不到要求,重新调整配合比或更换原材料。

5.2.2.8 通过上述方法确定混合料矿料级配、水泥剂量和最大干密度、最佳含水量。并通过试验确定延迟时间,施工允许延迟时间不应超过水泥初凝时间。

5.2.3 施工配合比确定

5.2.3.1 室内配合比应通过稳定土拌和机实际拌和检验和不少于200 m试验段的验证。根据摊铺、碾压以及7 d的现场芯样情况,确定施工配合比。

5.2.3.2 视拌和设备水泥剂量控制精度,结合施工中原材料变化和施工变异性等因素,工地实际采用水泥剂量可增加0~0.5%。

5.2.3.3 每天开盘前,应检测原材料级配及天然含水量,验证混合料配合比准确性及稳定性。拌和混合料含水量应不超过最佳含水量值0.5%,并确保碾压时混合料含水量处于或略大于最佳含水量。

5.3 路面设计参数

5.3.1 水泥稳定碎石劈裂强度和抗压模量推荐值见表7。

表7 水泥稳定碎石材料设计参数推荐值

设计参数		VVTM法推荐值	
		石灰岩	花岗岩
劈裂强度 σ /MPa		0.90~1.95	0.85~1.45
抗压模量E /MPa	弯沉计算用	2600~3400	2100~2700
	拉应力计算用	3600~4700	3000~4000
水泥剂量/%		2.5~4.5	

5.3.2 水泥稳定碎石抗拉强度结构系数推荐公式见式(3)。

$$K_s = \frac{N_e^{0.043}}{A_c} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

K_s ——抗拉强度结构系数;

$N_e^{0.043}$ ——设计年限内一个车道的累计当量轴次, 次/车道;

A_c ——公路等级系数, 高速公路、一级公路为1.0, 二级公路为1.1, 三、四级公路为1.2。

6 VTM 水泥稳定碎石施工

6.1 一般规定

6.1.1 施工前, 结合垂直振动法水泥稳定碎石设计与施工特点, 建设单位应组织设计、施工、监理单位进行技术交底, 施工单位应进行施工组织设计, 施工、监理人员应培训后上岗。

6.1.2 下承层验收合格后, 方可以进行上结构层施工。

6.1.3 正式开工之前, 应铺筑不小于 200 m 的试验段, 确定施工工艺和质量控制要求。

6.1.4 应采用流水作业法施工, 使各工序紧密衔接, 尽量缩短从拌和到碾压终了之间的延迟时间。延迟时间不应超过水泥初凝时间, 否则混合料应予以废弃。

6.2 混合料拌和

6.2.1 拌和设备要求

6.2.1.1 稳定土拌和机额定产量应不小于 500 t/h, 拌缸长度不小于 2.5 m。

6.2.1.2 进料斗应不少于 5 个, 料斗间加设高度不小于 50 cm 的隔板以防窜料。

6.2.1.3 至少配置 2 个容量 80 t~100 t 水泥罐, 罐仓内应配有水泥破拱器以防水泥起拱停流。

6.2.1.4 料斗、罐仓应装配高精度电子动态计量器, 加水量使用高精度流量计控制。

6.2.2 拌和机实际产量应不超过额定产量的 85%, 并保证实际出料能力应超过实际摊铺能力的 10%~15%。

6.2.3 拌和前, 应先调试和标定所用设备, 确保配合比符合设计要求。原材料发生变化时, 应重新调试和标定设备。

6.2.4 每天开始拌和前, 应检查集料的含水量, 计算当天的施工配合比。高温作业时, 早晚与中午的拌和含水量要有区别, 要按温度变化及时调整, 保持现场摊铺碾压含水量接近于最佳含水量。

6.2.5 每天出料时, 检查配合比是否符合设计要求。施工过程中按规定频率抽检配合比情况。

6.2.6 装车时车辆应前后移动, 分三次装料, 减少粗细集料离析。

6.3 混合料运输

6.3.1 运输车辆数量、运输能力应满足拌和出料与摊铺需要。

6.3.2 运输车上的水泥稳定碎石混合料应覆盖, 减少水分损失。

6.4 混合料摊铺

6.4.1 摊铺机应具有良好的抗离析能力, 新旧程度不宜低于 80%。

6.4.2 为防止水泥稳定碎石混合料离析，应对摊铺机采取下列措施：

- 螺旋分料器不应安装在高位；
- 螺旋分料器与前挡板刮板和熨平板之间间隙应不大于 25 cm；
- 应采取措施降低前挡板刮板离地高度，如设塑料或橡胶挡板等；
- 前挡板刮板两端安装塑料或橡胶挡板等，以防止两端混合料自由滚落。

6.4.3 摊铺准备工作应符合以下要求：

- 严格控制基层厚度和高程，保证路拱横坡度满足设计要求；
- 下承层洒水湿润后，对无机结合料稳定类表面还应撒水泥。水泥用量宜为 $1.0 \text{ kg/m}^2 \sim 1.2 \text{ kg/m}^2$ 。

6.4.4 摊铺应符合以下要求：

- 采用梯队流水作业模式，相邻两台摊铺机前后间距不应超过 10 m；
- 摊铺速度宜控制在 $1.5 \text{ m/min} \sim 2.0 \text{ m/min}$ ，且尽量匀速、不停歇地摊铺；
- 螺旋分料器应匀速、不间断地旋转送料，且全部埋入混合料中；
- 螺旋分料器转速应与摊铺速度相适应，保证两边缘料位充足；
- 摊铺机应开启振动器和夯锤。振动器振动频率应不低于 30 Hz，夯锤冲击频率应不低于 20 Hz。

6.5 碾压

6.5.1 12 t 以上双钢轮压路机不少于 1 台，26 t 以上胶轮压路机不少于 2 台。足够数量的 20 t 以上单钢轮振动压路机，确保与拌和、摊铺能力相匹配。压实设备的新旧程度为 80 % 以上。

6.5.2 直线段碾压时，压路机应从外侧向路中心碾压；平曲线有超高路段，由低侧向高侧、自内向外碾压。

6.5.3 应按表 8 方案碾压，每遍重叠 $1/2$ 轮宽。并通过试验路段最终确定碾压程序与工艺。

表8 碾压方案

阶段	压路机类型及组合	碾压速度	工艺要求	遍数
初压	胶轮压路机+双钢轮压路机	$1.5 \text{ km/h} \sim 1.7 \text{ km/h}$	紧跟摊铺机，胶轮压路机在前，双钢轮压路机在后	不少于2遍
复压	振动压路机	$1.8 \text{ km/h} \sim 2.2 \text{ km/h}$	先弱振1遍，再强振不低于4遍，最后弱振1遍	不低于6遍
终压	胶轮压路机或与双钢轮压路机组合	$1.5 \text{ km/h} \sim 1.7 \text{ km/h}$	以弥合表面微裂纹、松散以及消除轮迹为停压标准	

6.5.4 碾压作业应在水泥初凝前完成，并达到规定压实度，基层表面无明显轮迹和微裂纹。否则，应进行返工处理。

6.6 接缝处理

6.6.1 摊铺时应连续不间断作业，若遇下列情况应设置横向施工缝：

- 因故中断时间超过 2 h，则应设横缝；
- 每天收工之后，第二天开工的接头断面应设置横缝；
- 通过桥涵特别是明涵、通道，在其两边应设置横缝，且基层横缝应与桥头搭板尾端吻合。

6.6.2 横缝应与路中心线垂直设置。

6.7 养生与交通管制

- 6.7.1 每一作业段碾压完成且检测合格后，（底）基层表面应及时采用透水土工布覆盖保湿养生。
- 6.7.2 水泥稳定石灰岩碎石保湿养生一般不少于 7 d、水泥稳定花岗岩碎石保湿养生一般不少于 10 d。工程进度许可的情况下，尽量在养生 14 d 后铺筑上结构层。若上结构层不能及时铺筑，则应保持（底）基层表面湿润时间宜不少于 21 d。
- 6.7.3 养生用洒水车应采用喷雾式喷头，严禁采用高压式喷管，以免破坏（底）基层结构。
- 6.7.4 养生期间，应封闭交通。养生结束后应实行交通管制，并尽量使车辆轮迹横向均匀分布地行驶。

7 施工质量检查与验收

7.1 一般要求

- 7.1.1 水泥剂量采用滴定法检测，要求拌和出料后立即取样并在 10 min 内送达工地试验室进行滴定试验。同时，应记录每天实际水泥用量、集料用量和实际工程量，计算日均水泥剂量。
- 7.1.2 基层裂缝采用聚酯土工布处理。灌缝并洒完透层油后，在裂缝两侧各 50 cm 范围内洒 SBR 粘层油并铺上宽度 100 cm 土工布，压实后再洒一层 SBR 粘层油使土工布完全浸透。要求采用聚酯土工布单位面积质量不小于 120 g/m²。

7.2 施工过程质量检查

施工单位应按表9和表10要求对原材料、混合料、施工质量及外形尺寸进行自检，监理工程师按所列频率的20%进行抽检。

表9 质量检验项目和频率

名称	检查项目	质量标准	频率
集料	含水量	确定天然含水量和拌和加水量	每天拌和前测 2 个样品；每 2000 m ³ 测 2 个样品；发现异常时，随时检测。
	级配	符合表 1 和表 3 要求	
	表观密度	符合表 2 和表 4 要求	材料组成设计时测 2 个样品；碎石种类变化时测 2 个样品；发现异常时，随时检测。
	针片状	符合表 2 要求	
	压碎值	符合表 2 要求	
水泥	强度	符合国家相关标准	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	符合国家相关标准	
混合料	级配	符合表 5 要求	每 2000 m ² 检测 1 次；异常时，随时检测。
	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。
	含水量	碾压时不超过最佳含水量+0.5%	每 2000 m ² 检测 1 次；发现异常时随时检测。
	均匀性	无粗细集料离析现象	随时检测。
施工质量	压实度	符合表 6 要求	每作业段或每 2000 m ² 测 6 次以上。
	强度	符合表 6 要求	每作业段或每 2000 m ² 测一组 9 个试件。

表10 外形检查项目、频率和质量标准

序号	检查项目		质量标准		频 率
			底基层	基层	
1	纵断高程/mm		+5, -15	+5, -10	每 200 m 测 4 个断面
2	宽度/mm		符合设计要求	符合设计要求	每 200 m 测 4 个断面
3	横坡/%		±0.3	±0.3	每 200 m 测 4 个断面
4	平整度/mm	最大间隙	12	8	每 200 m 测 2 处, 每处连续 10 尺
		标准差	—	3.0	连续式平整度仪
5	厚度/mm	代表值	-10	-8	每 200 m 每车道测 1 点
		合格值	-25	-15	

7.3 交工验收

7.3.1 基本要求应符合以下规定:

- 集料应符合本标准和设计要求;
- 水泥剂量和矿料级配应符合设计要求;
- 混合料应在最佳含水量状态下碾压至规定的压实度。从加水拌合到碾压终了的时间不得超过水泥初凝时间;
- 检测合格后, 应立即覆盖保湿养生, 养生应符合本标准要求;
- 养生至第 7 天, 应采用直径 150 mm 钻头取芯检查, 芯样应完整。

7.3.2 实测项目

实测项目见表11。

表11 水泥稳定碎石基层和底基层实测项目

序号	检查项目		规定值或允许偏差		检查方法和频率
			底基层	基层	
1	压实度/%	代表值	97	98	按 JTG F80/1-2004 附录 B 检查, 每 200 m 每车道 2 处
		极 值	93	94	
2	平整度/mm		≤12	≤8	3 m 直尺, 每 200 m 测 2 处, 每处连续 10 尺
3	纵断高程/mm		+5, -15	+5, -10	水准仪, 每 200 m 测 4 个断面
4	宽度/mm		应符合设计要求		尺量, 每 200 m 测 4 处
5	厚度/mm	代表值	-10	-8	按 JTG F80/1-2004 附录 H 检查, 每 200 m 每车道 1 点
		合格值	-25	-15	
6	横坡/%		±0.3	±0.3	水准仪, 每 200 m 测 4 个断面
7	强度/MPa		符合设计要求		按 JTG F80/1-2004 附录 G 检查

7.3.3 外观鉴定

外观鉴定应符合以下规定:

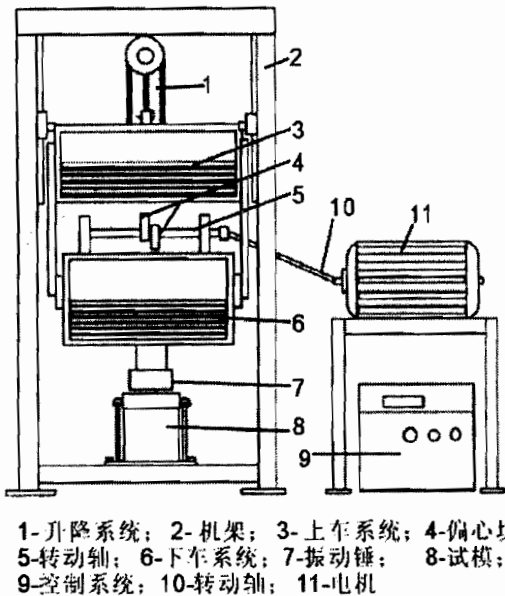
- 表面平整密实、无坑洼、无明显离析;
- 施工接缝平整、稳定。

7.3.4 水泥稳定碎石(底)基层应按 JTG F80/1-2004 进行质量检验评定。

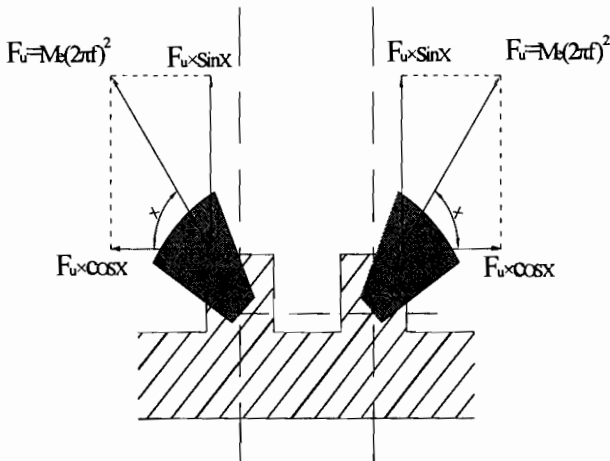
附 录 A
(规范性附录)
垂直振动击实仪的技术要求

A. 1 VVTE的构造及原理

VVTE的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。



(a) VVTE构造



(b) 偏心块产生的离心力

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VTE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

工作频率：30 Hz ± 1 Hz；

名义振幅：1.3 mm ± 0.05 mm；

工作重量：3.0 kN ± 0.02 kN；

上车系统重量：1.2 kN ± 0.01 kN；

下车系统重量：1.8 kN ± 0.01 kN；

激振力：7.6 kN ± 0.02 kN。

附录 B
(规范性附录)

最大干密度和最大含水量测定方法——垂直振动击实试验方法

B.1 适用范围

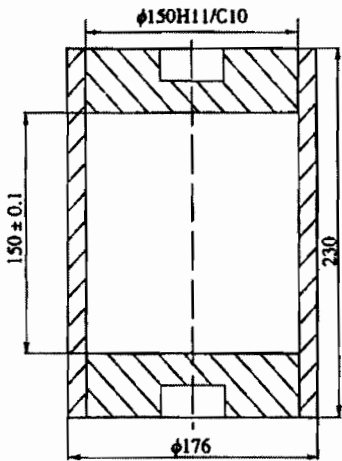
本方法适用于室内对水泥稳定碎石进行振动击实试验，以绘制水泥稳定碎石在振动击实条件下的干密度——含水量曲线，并确定其最大干密度和最佳含水量。

B.2 仪器设备

B.2.1 垂直振动击实仪：应符合本标准附录A的规定。

B.2.2 试模：试模尺寸应符合图B.1的规定。

单位为毫米



图B.1 圆柱形试模和垫块设计尺寸

注：H11/C10表示垫块和试模的配合精度。

B.2.3 电子天平：量程30 kg，感量0.1 kg。

B.2.4 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。

B.2.5 量筒：200 ml、500 ml的量筒各1个。

B.2.6 直刮刀：长约200 mm~250 mm、宽约30 mm、厚约3 mm，一侧开口的直刮刀1把。

B.2.7 拌和工具：约1000 mm×1000 mm×1 mm长方形铁皮，拌和用平头小铲等。

B.2.8 脱模器、烘箱等其它用具。

B.3 试验准备

试验前，将各种规格集料置烘箱中烘干至恒重，烘箱温度为105 ℃±5 ℃，时间为4 h~6 h。

B.4 试验步骤

试验步骤包括以下内容:

- a) 将烘干后的各种规格集料按照矿料级配要求配制 5 份~6 份, 每份试料的干质量 m_s 为 5000 g~5500 g。
- b) 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。
- c) 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量, $i=1, 2, 3, 4, 5$; 一般地, $w_1=4\% \sim 5\%$;
- d) 将直径 149 mm、高 40 mm 的试模下压柱放入试模下部并使底部齐平, 所述试模的内径 150 mm $\times$ 高度 (230 mm $\pm$ 10 mm), 取制备好的湿混合料一份, 按四分法装入试模中;
- e) 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 100 s;
- f) 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 mm $\pm$ 10 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;
- g) 计算第 i 次试验所得的试样干密度:

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

式中:

$\rho_{d(i)}$ ——第 i 次试验时试样的干密度, g/cm³;

$m_{2(i)}$ ——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量, %;

V_i ——第 i 次试验时的试样体积, cm³。

- h) 计算第 $i+1$ 次试验时所需的拌和含水量:

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的拌合含水量

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

当 $m_{1(i)} - m_{2(i)} \geq 50$ g 时, $w_{i+1} = w_i - 0.7\%$;

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

B.5 结果整理

B.5.1 混合料计算密度应保留小数点3位有效数字, 含水量应保留小数点后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 g/cm^3 。

B.6 报 告

报告应包括以下内容:

- a) 试样的最大粒径、超尺寸颗粒的百分率;
- b) 水泥的品牌、种类和强度等级;
- c) 水泥剂量;
- d) 最大干密度;
- e) 最佳含水量;
- f) 附振动击实曲线。

B.7 记 录

本试验的记录格式见表B.1。

表B.1 水泥稳定碎石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
含水量 $w/\%$						
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 $= (176.71 \times h) \text{ cm}^3$						
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

(规范性附录)

水泥稳定碎石圆柱体试件制备方法——试件垂直振动成型方法

C.1 适用范围

本方法适用于水泥稳定碎石无侧限抗压强度、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。圆柱体试件尺寸为直径150 mm×高度150 mm。

C.2 仪器设备

仪器设备包括以下内容:

- 垂直振动击实仪: 应符合本标准附录 A 的规定;
- 试模: 试模尺寸应符合图 B.1 的规定;
- 电子天平: 量程 30 kg, 感量 0.1 kg;
- 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;
- 量筒: 200 ml、500 ml 的量筒各 1 个;
- 直刮刀: 长约 200 mm~250 mm、宽约 30 mm、厚约 3 mm, 一侧开口的直刮刀 1 把;
- 拌和工具: 约 1000 mm×1000 mm×1 mm 的长方形铁皮, 拌和用平头小铲等;
- 脱模器、烘箱等其它用具。

C.3 试验准备

试验前, 将各种规格集料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。

C.4 试验步骤

试验步骤包括以下内容:

- 称取制备一个试件所需的干燥试料质量 m_d , 其中, $m_d = \rho_{d\max} \times 2655 \times (1 - 0.01 \times P)$,

$\rho_{d\max}$ 为振动击实确定的混合料最大干密度, P 为预设水泥剂量;

- 加入质量为 $\rho_{d\max} \times 2655 \times 0.01 \times P$ 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 $\rho_{d\max} \times 2655 \times 0.01 \times w_o$ 的水到干混合料中, 拌合均匀得到湿混合料, 其中, w_o 为

振动击实确定的混合料最佳含水量;

- 将直径 149 mm、高 40 mm 的试模下压柱放入试模下部并使底部齐平, 所述试模的内径 150 mm × 高度 (230 mm ± 10 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 = $2650.72 \times k\rho_{d\max}(1+0.01w_0)$ ，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 $-0.1 \text{ mm} \sim +0.3 \text{ mm}$ 。

C.5.2 试件的质量损失应不超过 15 g。

C.6 记录

本试验的记录格式见表 C.1。

表C.1 垂直振动成型水泥稳定碎石圆柱体试件记录表

工程名称	_____	混合料名称	_____
配合比	_____	最佳含水量/%	_____
最大干密度/(g/cm ³)	_____	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	2	3	平均		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						