

DB65

新疆维吾尔自治区地方标准

DB65/T 3919—2016

土石混填公路路基压实质量检测方法 便携式落锤弯沉仪法

The method for compaction quality detection of highway earth-rock subgrade
the method of portable falling weight deflectometer

2016 - 08 - 24 发布

2016 - 09 - 30 实施

新疆维吾尔自治区质量技术监督局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和符号 1

4 检测设备 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 检测设备与原理 2

5 现场检测 4

 5.1 一般规定 4

 5.2 检测流程 4

6 质量控制 5

 6.1 E_{vd} 基准值 5

 6.2 压实质量评定方法 5

 6.3 可疑值的处理 6

7 压实质量报告 6

附录 A（规范性附录） PFWD 技术参数 7

附录 B（资料性附录） $t_{\alpha}/\sqrt{n}$ 取值对照表 8

附录 C（资料性附录） 格拉布斯临界值的确定 9

附录 D（资料性附录） 现场路基 E_{vd} 压实质量检测记录表 10

附录 E（资料性附录） 路基压实度校核法质量评定记录表 11

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本标准由新疆维吾尔自治区交通运输工程质量监督局提出。

本标准由新疆维吾尔自治区交通运输厅归口。

本标准起草单位：新疆维吾尔自治区交通运输工程质量监督局、长安大学。

本标准主要起草人：陈建壮、郝培文、赵东歌、徐金枝、张永红、李亮、秦新栋、羊弘钊、蔡东坡、任国伟、张航、常睿、张子木、程晓明。

土石混填公路路基压实质量检测方法 便携式落锤弯沉仪法

1 范围

本标准规定了利用PFWD检测土石混填路基压实质量的术语和符号、检测设备、现场检测、质量控制和压实质量报告的要求。

本标准适用于不同等级公路最大粒径不超过100mm的土石混填路基压实质量的检测与评定。本标准不适用于施工质量的交竣工验收与仲裁。

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，仅所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 E42-2005 公路工程集料试验规程
JTG E60 公路路基路面现场测试规程
JTG F80/1-2004 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和符号

3.1 术语

下列术语适用于本文件。

3.1.1

土石混填路基 earth-rock subgrade

粘粉粒含量小于5%，粒径大于4.75 mm的石料含量占总质量30%~70%的土石混合材料修筑的路基。

3.1.2

压实度 degree of compaction

筑路材料压实后的干密度与标准最大干密度之比。

3.1.3

动态回弹模量值 dynamic elastic modulus

在瞬时动态荷载作用下，动态应力与回弹或可恢复变形的比值。

3.1.4

动态回弹模量基准值 the standard value of dynamic elastic modulus

在路基填筑碾压中，对应于某一料源、某一压实区的动态回弹模量值。

3.1.5

压实质量 compaction quality

路基填筑碾压过程中，表征碾压层压实的指标达到所规定的程度。

3.1.6**压实均匀性 compaction uniformity**

路基填筑碾压过程中，碾压面上各部分压实状态分布的一致性。

3.1.7**压实稳定性 compaction stability**

路基填筑碾压过程中，在振动压路机振动压实工艺参数一定的情况下，路基压实状态随碾压遍数变化的性质。

3.1.8**便携式落锤弯沉仪 portable falling weight deflectometer (PFWD)**

在冲击荷载作用下，承载板与路基表面产生竖向位移，便携式落锤弯沉仪通过内部传感器和软件将其转化为路基的动态回弹模量，进而检测路基的压实质量。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

$d_{\max}$ ——土石混填中石料的最大粒径，单位为（mm）；

E_{vd0} ——与规范要求某一压实度相对应的 E_{vd} 基准值，单位为（MPa）；

E_{vd} ——动态回弹模量，单位为（MPa）；

K ——压实度，单位为（%）；

P_s ——粒径大于4.75 mm的质量占土石混填总质量的百分含量，单位为（%）。

4 检测设备**4.1 一般规定**

4.1.1 PFWD 设备应每年进行 1 次校准，对设备的加载装置进行校核，测定落锤质量和最大冲击力是否与相关技术指标一致。技术指标见附录 A。

4.1.2 采用 PFWD 检测土石混填路基压实质量时，应符合下列要求：

- PFWD 具备对所反馈的数据进行自动记录、存储、输出的功能；
- PFWD 的导向杆光滑、平直；落锤脱钩装置的挂锤可靠、脱钩灵活；
- 首次使用 PFWD 检测土石混填路基压实质量前，应对比仪器厂家的技术参数表对 PFWD 仪器的相关技术参数进行测试，符合规定后方可使用，并在路基压实质量检测报告后附 PFWD 的型号及技术参数表；
- 测试时，操作杆必须垂直于承载板，并保证平行试验的落高、冲击能量一致。因操作不当测得的数据不得采用，应重新测试；
- 使用 PFWD 时，双手抬起落锤直到拇指可以压到控制擎，然后慢慢抬高落锤直到将其锁定到控制擎。为避免事故，落锤处于导杆顶部时，导杆的移动及测试时必须小心以防止落锤的意外释放。

4.2 检测设备与原理

4.2.1 PFWD 仪器由加载系统、数据采集系统与数据传输系统组成,如图 1 所示,并符合以下规定:

- a) 加载系统和数据采集系统包括:承载板、承力钢罩、导向钢套、阻尼装置、导向杆、落锤、脱钩装置。承载板固定有手把,承力钢罩内有位移传感器和荷载传感器;
- b) 数据传输系统外接数据输出装置,用于输出检测数据;

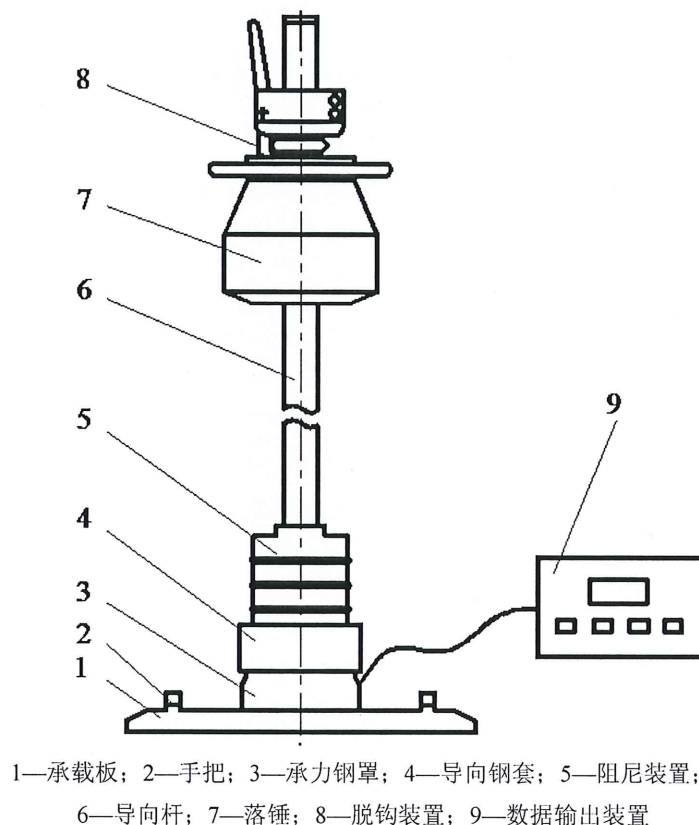


图 1 PFWD 系统组成示意图

4.2.2 设备工作及数据处理流程

- a) 将落锤提升至固定高度,然后释放落锤,在冲击荷载作用下,承载板与路基表面产生竖向位移;
- b) 压力传感器和位移传感器记录荷载与位移的数据,并传输到计算机数据处理软件中,根据压力和位移的峰值确定路基的 E_{vd} ;
- c) 数据输出装置显示 E_{vd} 值。

4.2.3 E_{vd} 值计算按式 (1)

$$E_{vd} = \frac{1.5 \times r \times \sigma}{S} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

- r ——承载板半径,单位为 (mm);
- σ ——承载板下的动应力,单位为 (MPa);
- S ——承载板的沉陷值,单位为 (mm);
- 1.5 ——承载板形状影响系数。

5 现场检测

5.1 一般规定

5.1.1 土石混填路基每 1 填筑层的填料应取自同一料场，施工工艺符合规范要求。

5.1.2 利用 PFWD 检测土石混填路基压实质量时，土石混填路基施工压实层厚度不得超过 400mm。

5.1.3 利用 PFWD 检测土石混填路基压实质量，不应在碾压完后立即进行，应在表面干燥后再进行测试，测试温度为 $-10^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.4 利用 PFWD 检测土石混填路基压实质量前，应制定压实质量检测方案，并符合下列规定：

- a) 1 个检测单元的路基长度为 200m~1000m，路基分项工程评定时为 500m~1000m，分层填筑检验时为 200m~1000m；
- a) 以 200m~1000m 作为 1 个检测单元，检测频率为 10 点/2000m²；
- b) 检测前应确认检测单元的长度和宽度，在起始线和终止线处设置标志或标示；
- c) 确认检测单元碾压作业已完成，表面平整干燥；
- d) 根据检测单元的面积确认相应的检测点数，并依据 JTG E60 附录 A 选择测试点的位置。

5.1.5 施工时，利用 PFWD 所测得的原始 E_{vd} 数据应全部保留，以进行 E_{vd} 数据的统计分析，评价压实均匀性和压实稳定性。

5.2 检测流程

5.2.1 利用 PFWD 进行土石混填路基压实质量检测的流程见图 2。

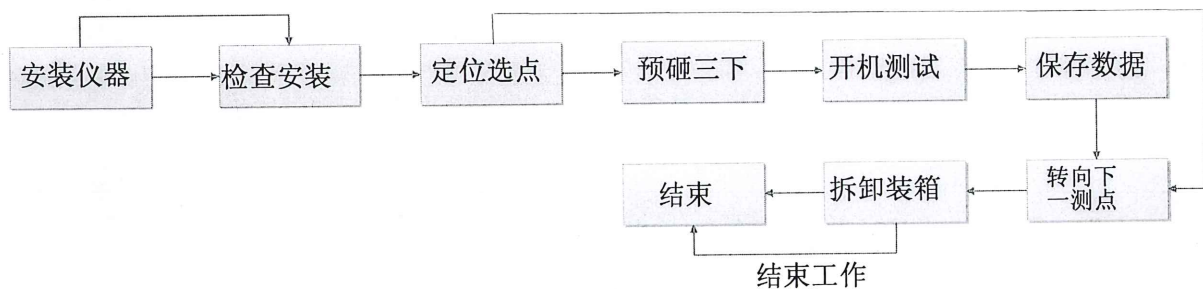


图 2 PFWD 检测流程图

5.2.2 利用 PFWD 检测土石混填路基压实质量的操作步骤如下：

- a) 根据压实质量检测方案，在现场找到随机选取的测点位置，测点表面应平整，应使承载板与测点表面完全接触，测点所在表面不平整，应人工削平或采用铺细砂找平；
- b) 将承载板放在测点上，安装 PFWD，确保各部件连接正确、准确；
- c) 对每一测点均进行 3 次冲击预压。落锤每次抬高到固定的高度，用控制擎固定，操作时将水准泡调至中央后，使导杆与测试面垂直，按下控制擎放下落锤，等回弹到圆柄处抓住落锤，重新提回并固定在控制擎上；
- d) 打开 PFWD 的测试开关，准备进行第 1 次测试。将落锤固定在控制擎上，按下 PFWD 测试按钮，通过水准泡使导杆与测试面垂直，按下控制擎放下落锤，待其回弹到圆柄处抓住落锤重新固定，再重复该步骤 2 次。仪器显示并储存每次落锤对应的最大动态回弹模量；
- e) 测试完毕后，再次按下测试按钮，仪器显示并储存 3 次落锤的平均动态回弹模量和平均弯沉值；

- f) 从承载板的插座上拔下测量线插头，放下落锤，关闭传输保险开关，使落锤固定，准备下一个测试点的检测，结束操作；
- g) 检测达到一定次数后，将 PFWD 外接数据输出装置，存储检测数据。

6 质量控制

6.1 E_{vd} 基准值

6.1.1 利用 E_{vd} 进行土石混填路基压实质量评定时，首先按 JTG E42-2005 中 T 0301-2005 方法对检测路段的路基填料取样，进行筛分试验，测定其最大粒径、含石量。根据路基所处层位压实度要求，带入 E_{vd} 与 K 的关系模型，见式 (2)，得到对应于某一料源、某一压实区的 E_{vd0} ，即 E_{vd} 标准值。

$$E_{vd0} = 1.317K + 0.165P_5 + 0.194d_{\max} - 107.603 \dots \dots \dots (2)$$

式中：

- E_{vd0} ——与规范要求某一压实度相对应的 E_{vd} 基准值，单位为 (MPa)；
- K ——压实度，单位为 (%)；
- P_5 ——粒径大于 4.75 mm 的质量占土石混填总质量的百分含量，单位为 (%)；
- $d_{\max}$ ——土石混填中石料的最大粒径，单位为 (mm)。

6.1.2 在确定 E_{vd0} 时，应考虑不同层位、不同地点的材料参数差异。材料参数差异较大时，应针对不同层位、不同地点分别确定 E_{vd0} ， E_{vd0} 精确至 1MPa。

6.1.3 当同一料源土石混填的材料参数在不同层位、地点变化比较频繁时，应在路基现场进行取样筛分，计算确定 E_{vd0} 。

6.1.4 对同一路段可能存在多个差异较大的土石混填料源的情况，应详细界定同一路段不同区域的 E_{vd0} 。

6.2 压实质量评定方法

6.2.1 按 5.1.4 中 a) 确定检测单元长度及测点频率，测定现场每个测点的 E_{vd} 值，采用 E_{vd} 值法和压实度校核法进行评定。

6.2.2 E_{vd} 值法是依据所测 E_{vd} 值评价路基压实质量，方法如下：

- a) 计算检测单元的 E_{vd} 代表值，见式 (3)。式中 $t_\alpha/\sqrt{n}$ 取值见附录 B，采用的保证率：高速公路路基、一级公路路基为 95%；其他公路路基为 90%。

$$E_{vd} = \overline{E_{vd}} - \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}} S \dots \dots \dots (3)$$

式中：

- $\overline{E_{vd}}$ ——检测单元各测点的 E_{vd} 平均值，单位为 (MPa)；
- S ——检测值的标准差，单位为 (MPa)；
- t_α ——t 分布表中随点数和保证率 (或置信度 α) 而变的系数；
- n ——检测点数。

- b) 当 E_{vd} 不得小于 E_{vd0} ，且单点 E_{vd} 全部大于 $80\% \overline{E_{vd}}$ ，该检测单元路基压实质量合格；当 $E_{vd} < E_{vd0}$ 时或某点 E_{vd} 小于 $80\% \overline{E_{vd}}$ 时，该检测单元路基压实质量不合格；
- c) 路基施工段小于 2000m^2 时，且样本数不得少于 10 个。

6.2.3 压实度校核法是采用压实度对每个检测单元所测 E_{vd} 值中的低值点进行校核来评价路基压实质量,方法如下:

- 将所测的 E_{vd} 值按由低到高的顺序排列,满足 $E_{vd\ i} < E_{vd\ (i+1)}$ ($i=1, 2, \dots, n$);
- 对低值点进行压实度校核,压实度校核根据实际情况,采用灌砂法或灌水法。低值点是指在每个检测单元中,按排序所得较小的 E_{vd} 值,在高速、一级公路路基中,其为总测点数的 5%,其他等级公路路基中,为 10%;
- 当需校核的测点中至少有 20% (高速、一级公路) 或 10% (其他等级公路) 的压实度满足要求,且所有测点的压实度全部大于 JTG F80/1-2004 中 4.2.2 规定的极值时,则该检测单元压实度合格。当校核的测点中达到压实度要求的测点小于 20% (高速、一级公路) 或 10% (其他等级公路),或有任一测点的压实度小于 JTG F80/1-2004 中 4.2.2 规定的极值时,该检测单元压实度不合格。其中 20% 或 10% 的测点个数应向上取整计算;
- 当 E_{vd} 值个数小于 40 时,取最小的 3 个值进行压实度校核。

6.3 可疑值的处理

采用格拉布斯法进行异常数据的判别,假定检测结果服从正态分布,根据相应统计量确定可疑数据的取舍。可疑值处理步骤如下:

- 进行 n 次试验,试验结果为 E_{vd1} 、 E_{vd2} 、 $\dots$ 、 E_{vdi} 、 $\dots$ 、 E_{vdn} ,将 E_{vdi} 按其值由小到大顺序重新排列,得 $E_{vd(1)} \leq E_{vd(2)} \leq \dots \leq E_{vd(n)}$;
- 根据顺序统计原则,计算出标准化顺序统计量 g ,见式(4)、式(5):

$$\text{当最小值 } E_{vd(1)} \text{ 可疑时,则 } g = \frac{\bar{E}_{vd} - E_{vd(1)}}{S} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{当最大值 } E_{vd(n)} \text{ 可疑时,则 } g = \frac{E_{vd(n)} - \bar{E}_{vd}}{S} \dots\dots\dots (5)$$

式中: $\bar{E}_{vd}$ ——样本平均值,单位为 (MPa); S ——标准偏差,单位为 (MPa)。

- 在指定的显著性水平 β (一般 $\beta=0.05$) 和样本数量 n 下,根据格拉布斯临界值表 (参见附录 C) 查得临界值 $g_0(\beta, n)$ 。当 $g \geq g_0(\beta, n)$, 则试验值是异常值,应予以舍去;当 $g < g_0(\beta, n)$, 则试验值是正常值,应保留;
- 该检验方法每次只能舍弃 1 个可疑值,当出现 2 个以上的可疑数据时,应该对数据逐个舍弃,每舍弃 1 个数据,试验次数减少 1 次。

7 压实质量报告

7.1 土石混填路基压实质量检测报告中,应以检测记录表显示整个碾压区域的压实质量状况。

7.2 压实质量报告应全面提供压实质量信息,应包括 PFWD 检测记录表,参见附录 D 和附录 E,检测记录表中应包括 E_{vd} 频率分布直方图。压实质量报告还应包括以下附加信息:

- 记录信息:施工段起止里程、路基宽度、结构层厚度、检测时间、结构层、检测车道、天气状况、操作人员信息;
- 质量信息: E_{vd} 标准值、质量检测所得的 E_{vd} 值及其平均值;
- 仪器信息:PFWD 技术参数,见附录 A;
- 其他相关信息:气候、坡度、碾压遍数。

附 录 A
(规范性附录)
PFWD 技术参数

A.1 PFWD技术参数

PFWD主要由加载系统、数据采集系统与数据传输系统组成，检测压实质量时对PFWD不同组成部分的技术参数有较高要求，需要对其严格控制。PFWD各组成部分技术参数见表A.1。

表A.1 PFWD 技术参数

系统组成	项目	单位	范围	精度
加载装置	落锤质量	kg	10.0	± 0.1
	最大冲击力	kN	7.07	± 0.02
	冲击持续时间	ms	17.0	± 1.5
	导向杆长度（落锤高度）	mm	850	± 2
承载板	直径	mm	300	± 1
	厚度	mm	20.0	± 0.5
	质量	kg	15.0	± 0.1
电子沉陷测定仪	沉陷测试范围	mm	0.1~2.0	± 0.02
	E_{vd} 测试范围	MPa	10~225	± 0.1
	采集频率	Hz	4000	± 5
	测试环境温度	$^{\circ}\text{C}$	-10~60	± 2

附 录 B
(资料性附录)
 $t_\alpha/\sqrt{n}$ 取值对照表

B.1 $t_\alpha/\sqrt{n}$ 取值对照表

E_{vd} 值法是依据所测 E_{vd} 值评价路基压实质量，在计算 E_{vd} 代表值的式(3)中，需要确定 t_α ，即t分布表中随点数和保证率(或置信度 α)而变的系数， $t_\alpha/\sqrt{n}$ 值见表B.1。

表B.1 $t_\alpha/\sqrt{n}$ 值

保证率 n	99%	95%	90%	保证率 n	99%	95%	90%
2	22.501	4.465	2.176	21	0.552	0.376	0.289
3	4.021	1.686	1.089	22	0.537	0.367	0.282
4	2.270	1.177	0.819	23	0.523	0.358	0.275
5	1.676	0.953	0.686	24	0.510	0.350	0.269
6	1.374	0.823	0.603	25	0.498	0.342	0.264
7	1.188	0.734	0.544	26	0.487	0.335	0.258
8	1.060	0.670	0.500	27	0.477	0.328	0.253
9	0.966	0.620	0.466	28	0.467	0.322	0.248
10	0.892	0.580	0.437	29	0.458	0.316	0.244
11	0.833	0.546	0.414	30	0.449	0.310	0.239
12	0.785	0.518	0.393	40	0.383	0.266	0.206
13	0.744	0.494	0.376	50	0.340	0.237	0.184
14	0.708	0.473	0.361	60	0.308	0.216	0.167
15	0.678	0.455	0.347	70	0.285	0.199	0.155
16	0.651	0.438	0.335	80	0.266	0.186	0.145
17	0.626	0.423	0.324	90	0.249	0.175	0.136
18	0.605	0.410	0.314	100	0.236	0.166	0.129
19	0.586	0.398	0.305	>100	$\frac{2.3265}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.6449}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.2815}{\sqrt{n}}$
20	0.568	0.387	0.297				

附 录 C
(资料性附录)
格拉布斯临界值的确定

C.1 格拉布斯临界值的确定

采用格拉布斯法进行异常数据的判别,假定检测结果服从正态分布,根据相应统计量确定可疑数据的取舍。在指定的显著性水平 β (一般 $\beta=0.05$) 和样本数量 n 下,根据格拉布斯临界值表查得临界值 $g_0(\beta, n)$,进而处理异常数据。临界值 $g_0(\alpha, n)$ 见表C.1。

表C.1 格拉布斯临界值 $g_0(\alpha, n)$

$n \backslash \alpha$	0.05	0.01	$n \backslash \alpha$	0.05	0.01
3	1.153	1.155	30	2.745	3.103
4	1.463	1.492	31	2.759	3.119
5	1.672	1.749	32	2.773	3.135
6	1.822	1.944	33	2.786	3.150
7	1.938	2.097	34	2.799	3.164
8	2.032	2.221	35	2.811	3.178
9	2.110	2.323	36	2.823	3.191
10	2.176	2.410	37	2.835	3.204
11	2.234	2.485	38	2.846	3.216
12	2.285	2.550	39	2.857	3.228
13	2.331	2.607	40	2.866	3.240
14	2.371	2.659	41	2.877	3.251
15	2.409	2.705	42	2.887	3.261
16	2.443	2.747	43	2.896	3.271
17	2.475	2.785	44	2.905	3.282
18	2.501	2.821	45	2.914	3.292
19	2.532	2.854	46	2.923	3.302
20	2.557	2.884	47	2.931	3.310
21	2.580	2.912	48	2.940	3.319
22	2.603	2.939	49	2.948	3.329
23	2.624	2.963	50	2.956	3.336
24	2.644	2.987	60	3.025	3.411
25	2.663	3.009	70	3.082	3.471
26	2.681	3.029	80	3.130	3.521
27	2.698	3.049	90	3.171	3.563
28	2.714	3.068	100	3.207	3.600
29	2.730	3.085			

附 录 D
(资料性附录)
现场路基 E_{vd} 压实质量检测记录表

D. 1 现场路基E_{vd}压实质量检测记录表

E_{vd}值法是依据所测E_{vd}值评价路基压实质量，压实质量报告应全面提供压实质量信息，应包括PFWD检测记录表，检测记录表中还应包括E_{vd}频率分布直方图，检测记录表参见表D. 1。

表D. 1 现场 E_{vd}值法检测记录表

检测编号_____工程名称_____

检测起讫桩号		检测单位			
最大粒径 (mm)		检测者			
含石量 (%)		校核者			
检测层位		试验日期			
试验天气、温度(℃)		仪器型号			
E _{vd0} (Mpa)					
编号	位置	E _{vd}	编号	位置	E _{vd}
1			2		
3			4		
5			6		
7			8		
9			10		
11			12		
13			14		
15			16		
17			18		
19			20		
.....					
.....					
.....					

E_{vd} 频数分布直方图

频数

E_{vd} 范围

错误！不能通过编辑域代码创建对象。=_____ S=_____

记录_____ 年__月__日 复核_____ 年__月__日

附 录 E
(资料性附录)
路基压实度校核法质量评定记录表

表E.1 路基压实度校核法检测记录表

检测编号_____工程名称_____

检测起讫桩号				检测单位			
最大粒径 (mm)				检测者			
含石量 (%)				校核者			
检测层位				试验日期			
试验天气、温度 (℃)				仪器型号			
土石混填最大干密度 (g/cm³)				E _{vd0} (Mpa)			
编号	位置	E _{vd} (Mpa)	编号	位置	E _{vd} (Mpa)		
1			2				
3			4				
5			6				
7			8				
9			10				
11			12				
13			14				
15			16				
17			18				
19			20				
.....							
.....							
压实度检验							
E _{vd} 编号	位置	E _{vd} 值	灌砂法所测干密度	现场 K 值	规定 K 值		
备注：室内最大干密度试验记录表和压实度记录表附后。							
记录_____ 年__月__日 复核_____ 年__月__日							