

深圳市工程建设地方标准

SJG

SJG 186 – 2024

填筑工程连续压实监控技术标准

Technical standard for continuous compaction control
in landfill engineering

2024-12-27 发布

2025-03-01 实施

深圳市住房和城乡建设局 发布

深圳市工程建设地方标准

填筑工程连续压实监控技术标准

Technical standard for continuous compaction control
in landfill engineering

SJG 186 - 2024

2024 深 圳

前 言

根据深圳市住房和建设局《关于发布 2020 年深圳市建设工程标准制定修订计划项目(第一批)的通知》(深建标〔2020〕2 号文件),标准编制组经广泛调查研究,借鉴国内、国外铁路和公路行业有关连续压实监控技术的应用经验,并在大量试验研究和广泛征求意见的基础上,编制完成本标准。

本标准共分 7 章和 5 个附录,主要章节包括:总则、术语和符号、基本规定、目标值校准法、薄弱区识别法、测值增量法、压实质量报告。

本标准由深圳市住房和建设局批准发布,由深圳市住房和建设局业务归口并组织深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心等编制单位负责技术内容的解释。本标准执行过程中如有意见或建议,请寄送深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心(地址:深圳市南山区铁二路工程质量大厦,邮政编码:518052)或铁科院(深圳)研究设计院有限公司(地址:深圳市南山区生态科技园 12B 栋 17 层,邮政编码:518063)。

本标准主编单位:深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心
铁科院(深圳)研究设计院有限公司

本标准参编单位:深圳市建筑工务署文体和水务工程管理中心
深圳市建筑工务署工程管理中心
深圳市建筑工程质量安全监督总站
深圳市市政工程质量安全监督总站
深圳市福田区建设工程质量安全中心
深圳市福田区建设工程质量检测中心
铁科院(深圳)检测工程有限公司
深圳市建设工程质量安全检测鉴定学会
深圳大学
广东省岩土与地下空间工程技术研究中心
广州中海达卫星导航技术股份有限公司
深圳市市政工程总公司
深圳市水务工程检测有限公司

本标准主要起草人员:江辉煌 舒国志 高明显 张道修 潘锦君
吴龙梁 罗明亮 赵崇基 张建东 苏怀锋
郑子栋 翟翠文 黄冬生 吴争光 范少峰
郭海轮 刘学 孟照辉 张晓东 肖兵
李承宗 罗启灵 袁广州 左玉云 席毅
任振洋 马驰 闫晓夏 黄晓城 杨明新
季永贤 张译天 于芳 王帅 张欣
李正东 何小军 张广泉 徐轶昀 周武
袁志远 于会来 姜晓光

本标准主要审查人员:杨志银 李广平 汪四新 付文光 陈发波
曾春鸣 温召旺

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	4
3.1	一般规定	4
3.2	设备与信息管理平台	4
3.3	质量监控方法	5
3.4	试验校准区	7
4	目标值校准法	8
4.1	一般规定	8
4.2	校准试验	8
4.3	相关性分析	8
4.4	现场检测	10
5	薄弱区识别法	12
6	测值增量法	13
7	压实质量报告	14
	附录 A 相关性校验记录	15
	附录 B 薄弱区识别报告	16
	附录 C 测值增量法报告	17
	附录 D 连续压实记录及统计表	18
	附录 E 连续压实质量报告	18
	本标准用词说明	20
	附：条文说明	21

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
3	Basic Requirements.....	4
3.1	General Requirements.....	4
3.2	Equipment and Information Management Platform.....	4
3.3	Quality Monitoring Methods.....	5
3.4	Test Zone.....	7
4	Target Value Calibration Method.....	8
4.1	General Requirements.....	8
4.2	Calibration Test.....	8
4.3	Association Analysis.....	8
4.4	On-Site Testing.....	10
5	Weak Area Identification Method.....	12
6	Measurement Increment Method.....	13
7	Compaction Quality Report.....	14
Appendix A	Correlation Verification Report.....	15
Appendix B	Weak Area Identification Report.....	16
Appendix C	Measurement Increment Record Report.....	17
Appendix D	Compaction Process Filing Record.....	18
Appendix E	Continuous Compaction Quality Test Report.....	18
	Explanation of Wording in This Standard.....	20
	Addition: Explanation of Provisions.....	21

1 总 则

1.0.1 为了更好地控制填筑质量，统一连续压实质量监控技术要求，规范连续压实监控技术应用，做到技术先进、数据可靠、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于深圳市填筑工程采用连续压实监控技术进行施工质量的过程控制和压实质量检测评价。

1.0.3 填筑工程压实质量除应符合本标准规定外，应符合国家、广东省、深圳市现行有关标准规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 连续压实监控 continuous compaction control

土方填筑碾压过程中，根据土体与振动压路机相互动态作用原理，通过连续量测振动压路机振动轮竖向振动信号，建立检测评定与监控体系，实现对整个碾压面连续压实质量的实时动态监控。

2.1.2 定位系统 positioning system

将无线电接收器固定在某个指定位置，使用卫星信号，在碾压过程中对压实区或压实机械进行定位的系统。可采用北斗、GPS 等。

2.1.3 振动压实值 vibratory compaction value (VCV)

基于振动压路机在碾压过程中振动轮竖向振动响应信号所建立的反映填筑体压实状态的指标。

2.1.4 振动压实工艺参数 vibratory compaction technology parameters

土方填筑碾压过程中，振动压路机的自重、激振力、振动频率、振幅及行驶速度等影响压实质量参数的统称。

2.1.5 压实稳定性 compaction stability

土方填筑碾压过程中，在振动压路机振动压实工艺参数一定的情况下，土方压实程度变化随碾压遍数趋于稳定的性质。

2.1.6 压实均匀性 compaction uniformity

土方填筑碾压过程中，碾压区内土层压实程度分布的一致性。

2.1.7 试验校准区 test area

正式施工前，开展仪器设备性能测试和目标值校准等相关试验的区域。

2.1.8 薄弱区 weak area

每个检验区中连续振动压实值 (VCV) 较低的区域，区域面积可大于 10m²。

2.1.9 测值单元 VCV unit

单个连续压实振动值 (VCV) 所代表区域的面积，可指压路机振动轮宽度与行驶距离的乘积。

2.1.10 压实合格率 qualified rate of compaction

满足压实质量合格要求的测值单元的面积之和与检验区总面积的比值。

2.1.11 相关性校验 correlation verification

采用对比试验方式，建立振动压实值与常规检测指标之间相关性的过程。振动压实值与常规检测指标之间的线性相关程度称为相关系数，用 r 表示。常规检测指标可采用灌砂法、灌水法、动力触探法及 K30 法等方法获得。

2.1.12 振动目标值 vibration target value

通过相关性校验确定的常规检测指标合格时对应的振动压实值。

2.1.13 目标值校准法 target value calibration method

通过对比分析振动压实值与振动目标值的关系评价压实质量的方法。

2.1.14 薄弱区识别法 weak area identification method

通过识别压实薄弱区，根据薄弱区的压实质量评价整体压实质量的方法。

2.1.15 测值增量法 measured value increment method

通过对比分析连续碾压两遍的振动压实值的增量评价压实质量的方法。

2.2 符 号

V_{CV} ——振动压实值

V_{CV_i} ——碾压面上第 i 个测值单元振动压实值的检测结果

$\overline{V_{CV}}$ ——振动压实值的平均值

$[V_{CV}]$ ——常规质量验收指标合格值相对应的目标振动压实值，简称振动目标值

Q ——压实合格率，压实质量评价合格的面积与检验区总面积之比

r ——相关系数

δ ——振动压实值的变化率

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 连续压实监控系统（图 3.1.1）应包括加载设备、定位系统、检测设备和压实信息管理系统等。

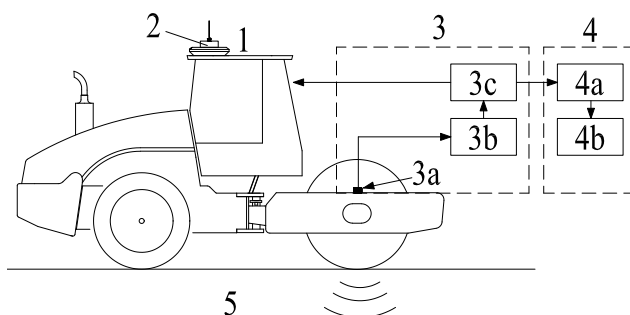


图 3.1.1 连续压实系统示意图

1—加载设备；2—定位系统；3—检测设备；3a—振动传感器；3b—数据采集与处理；3c—显示装置；4—压实信息管理系统；4a—后台信息管理；4b—远程信息管理；5—填筑层

3.1.2 连续压实监控系统应具备以下功能：

- 1 将填筑料压实至满足相关质量标准；
- 2 实时定位；
- 3 对填筑层的加载和振动响应实时量测与处理；
- 4 根据反馈信息对填筑质量进行实时评定与监控；
- 5 对检测数据进行传输和管理；
- 6 反馈信息显示和数据处理。

3.1.3 填筑工程连续压实监控应符合下列规定：

- 1 检测设备在使用前应进行检查，功能正常才能使用；
- 2 实施连续压实监控前应根据填料和场地情况，选择合适的连续压实监控指标及质量评价方法；
- 3 选用目标值校准法时，实施连续压实监控前应在相应的试验校准区上进行相关性校验；
- 4 实施连续压实前应根据填料种类、填筑厚度、碾压工艺进行检测划分；
- 5 连续压实过程控制应在振动碾压作业过程中根据实时监测的相关信息进行压实质量反馈控制；
- 6 连续压实质量检测确认的压实薄弱区应作为压实质量验收的控制区域。

3.1.4 当连续压实质量评价不合格时，可采用常规质量检测方法进行复核。复核不合格时，应采用增加碾压遍数、调整填料含水率、局部换填等措施进行补充碾压，并重新进行连续压实质量评价。

3.1.5 填筑工程连续压实监控的压实质量报告可作为工程质量的验收依据。

3.2 设备与信息管理平台

3.2.1 实施连续压实监控的振动压路机应选用滚轮式振动压路机。

3.2.2 振动压路机除满足施工工艺要求外，还应满足下列要求：

- 1 自重不宜小于 20t；

- 2 行驶速度宜为 3km/h，最大不宜超过 4km/h；
 - 3 具备定位、检测、信号传输等设备的安装条件。
- 3.2.3** 振动压路机在连续压实监控期间应满足如下要求：
- 1 振动频率保持稳定，波动幅值应满足 Δf 小于 2Hz；
 - 2 振幅保持稳定，波动幅值满足 Δa 应小于 0.1mm；
 - 3 行驶速度保持稳定，波动幅值满足 Δv 应小于 1km/h。
- 3.2.4** 检测设备应由振动传感器、数据采集与处理系统、显示装置等部分组成，技术性能应符合下列规定：
- 1 各组成部分使用性能应相互匹配，符合国家有关仪器标准要求；
 - 2 振动传感器宜采用加速度传感器，灵敏度不应小于 10mV/(m·s⁻²)，量程不应小于 10g；
 - 3 数据采集与处理系统的模/数转换位数不应小于 16 位，采样频率不应小于 400 Hz；
 - 4 数据采集与处理系统应实时将采集到的振动信号进行分析与处理，转换成压实质量相关信息；
 - 5 显示装置应实时以数字和图形方式显示压实质量的相关信息。
- 3.2.5** 填筑工程连续压实监控的检测设备应进行检定或校准，技术指标应符合相关质量标准的
要求。
- 3.2.6** 振动传感器应紧密牢固地垂直安装在振动压路机振动轮的内侧机架中心位置上。
- 3.2.7** 定位系统应信号通畅，基站宜安装在空旷环境，定位终端安装在车顶，接收面应向上。
- 3.2.8** 连续压实监控装备进入现场使用前，应对压路机定位的准确性进行验证。验证时，在碾压试验道设置 3 个障碍物，障碍物可采用木条或其它材质，间隔 10m。压路机在设置障碍物的碾压道来回通过，两次定位差异不宜大于 0.5m。
- 3.2.9** 连续压实监控装备进入现场使用前，应对振动压实值的可重复性进行验证。验证时，应选择完全压实的碾压道进行，两次碾压方向相同的振动压实值的差值不应大于 5%。
- 3.2.10** 压实信息管理系统应包括对现场压实质量信息的后台管理和远程管理，由相关软件、计算机和网络等组成。
- 3.2.11** 后台管理系统应具备对现场采集的压实质量信息进行处理、生成压实质量报告并具有传输给远程管理终端的功能。
- 3.2.12** 远程管理系统应具备接收传输的压实质量相关信息、显示或回放现场碾压过程和读取相关压实质量信息的功能。
- 3.2.13** 信息管理平台生成的压实质量报告可作为全面反映压实质量信息的技术文件，其显示、存储和传输应符合下列规定：
- 1 应以图形和数字的方式显示整个碾压区域的压实质量状况；
 - 2 相关信息应采用易于读取和存储的数据格式；
 - 3 除应进行常规存档外，尚应进行电子数据存档。

3.3 质量监控方法

- 3.3.1** 连续压实监控覆盖压实过程的连续综合控制和整个压实区域的测试验收，振动压实值可用于压实工程的质量控制和质量保证。
- 3.3.2** 可通过谐波比法、刚度/模量法、动力学法和能量法计算振动压实值。
- 3.3.3** 连续压实质量评价方法可包括目标值校准法、薄弱区识别法、测值增量法。连续压实质量评估方法可按表 3.3.3 的规定。

表 3.3.3 连续压实质量评价方法

质量评价方法	适用的工程项目	压实测值推荐计算方法
目标值校准法	重大工程、一般工程	谐波比法、动力学法
薄弱区识别法	一般工程、次要工程	谐波比法、刚度/模量法、动力学法、能量方法
测值增量法	一般工程、次要工程	刚度/模量法、动力学法

注：重大工程也可采用薄弱区识别法与测值增量法相结合的方法

3.3.4 当设计有均匀性要求时，应采用目标值校准法，振动压实值应控制在振动目标值的 90%~120%之间，且小于目标值的面积占比不应大于 5%。

3.3.5 振动压实值可用来评价填筑层的刚度、压实程度以及压实均匀性等。

3.3.6 连续压实检测过程应保持填料和碾压工艺的一致性，并应符合以下要求：

- 1 检验区的填料、含水率、填层厚度等应与试验校准区的参数一致；
- 2 振动压路机及其振动压实工艺参数应与试验校准区采用的一致；
- 3 检测设备应与试验校准区采用的一致，使用前经过校准，且应安装牢固；
- 4 连续压实监控过程，保持振动压路机与填筑层紧密接触，避免出现跳振、偏振。

3.3.7 连续压实监控前应根据工程实际制定专项方案，并应符合以下要求：

- 1 填筑工程检测批的划分，单个检测批宜按 100m 长度段进行划分，不足 100m 的按一个计；
- 2 单个检测批的长度和宽度，在起始线和终止线处应设置标志；
- 3 碾压轮迹数，宜根据检测批宽度、压路机轮宽和相邻轮迹间重叠宽度确定；
- 4 碾压工艺参数应满足相关过程控制要求；
- 5 采用目标值校准法时，应事先确定振动目标值；
- 6 采用薄弱区识别法时，应制定常规质量检测 and 验证的方案。

3.3.8 连续压实监控过程中应实时记录和处理压实过程数据，并应符合以下要求：

1 每一填筑层碾压完成后应及时进行压实过程归档记录，碾压全过程控制的相关信息和连续压实监控的压实质量报告应进行存档，其内容和样式可按照本标准附录 D 执行；

2 单个检测批统计的检测结果应包括最大值、最小值、平均值、极差、标准差、变异系数及分布直方图等。

3.3.9 填筑工程连续压实监控工艺流程应符合图 3.3.9 的规定。

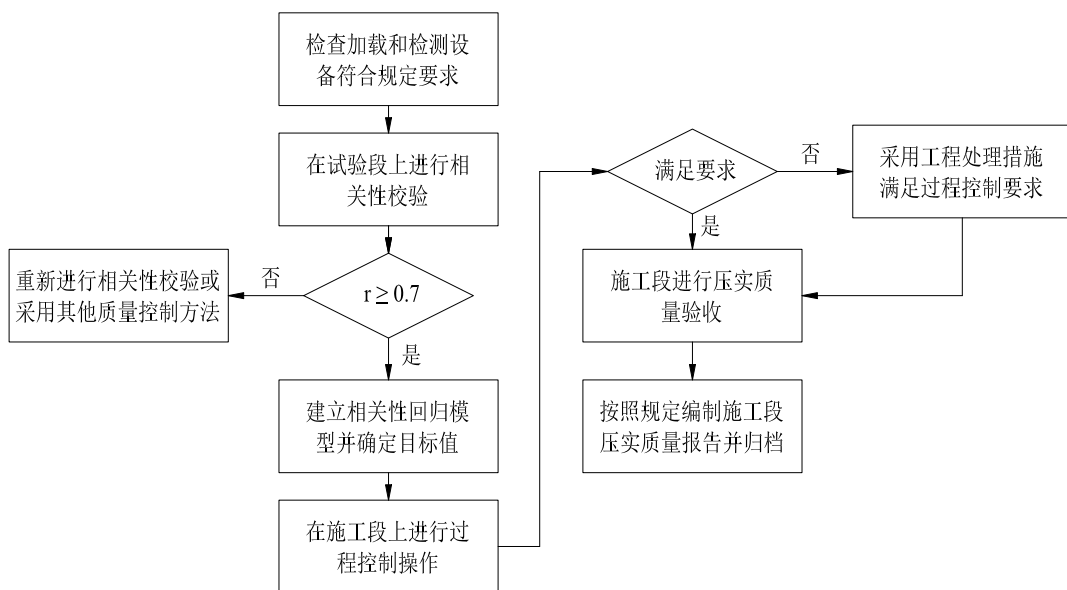


图 3.3.9 连续压实监控工艺流程图

3.4 试验校准区

3.4.1 工程项目正式使用连续压实监控技术前，宜选择试验校准区进行试验，试验校准区应采用与工程项目相同的工艺和填料。

3.4.2 试验校准区应具有代表性，充分考虑场地环境条件、填料、摊铺工艺、碾压工艺、碾压参数等因素。若填料或碾压工艺等关键因素不同，宜分别进行试验。

3.4.3 试验校准区应保持平整，单个试验校准区的长度不宜小于 100m，宽度不宜小于 10m。

3.4.4 试验校准区应设置 5 条碾压道，中间 3 条用于试验测试，两侧边缘碾压道保持相同碾压。

3.4.5 填筑过程中，填料类型或振动压实工艺参数发生变化时，应评估是否重新进行校准试验。

4 目标值校准法

4.1 一般规定

4.1.1 采用目标值校准法前，应根据工程实际情况选择试验校准区进行校准试验。试验校准区应具有代表性。

4.1.2 校准试验应结合常规检测方法进行，常规检测方法可选用压实度的检测方法、动力触探法、K30法等。

4.1.3 填筑环境或施工工艺存在下列情况时，相关性校验应重新进行：

- 1 填料类型、含水率及填层厚度等发生变化；
- 2 振动压路机或振动压实工艺参数发生变化；
- 3 机械参数的波动幅度不满足 3.2.4 条要求。

4.1.4 重要工程和一般工程的校准试验相关系数不应小于 0.70，次要工程的校准试验相关系数不应小于 0.65。

4.2 校准试验

4.2.1 在开始校准前，应根据工程实际情况制定校准试验方案。

4.2.2 不同类型填筑料应分别开展校准试验，校准过程应满足下列规定：

- 1 根据试验段长度应设置试验段起始和终止标志线；
- 2 校准试验时碾压的振动频率、振幅和行车速度应保持稳定，宜采用低振幅碾压；
- 3 相关校验中的常规检测试验宜在连续压实后 2 小时内完成；
- 4 试验校准区的基底应具有充足的承载能力和较好的均匀性，满足相关质量验收要求。

4.2.3 根据碾压面压实状态分布图，应选择轻度、中度、重度三种不同压实状态区，分别进行常规试验，每种压实状态区域内的检测点数量不应少于 3 个。

4.2.4 试验完成后，应绘制碾压面压实状态分布图与每一碾压轮迹的振动压实曲线，相关校准记录格式可按本标准附录 A 执行。

4.3 相关性分析

4.3.1 每个测点的振动压实值应当与常规压实指标进行线性回归分析，根据线性关系得出振动目标值。

4.3.2 振动压实值与常规检测结果之间的相关系数应按下列公式计算：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.3.2)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

式中：

x ——常规质量指标；

y ——振动压实值；

x_i, y_i —— x 和 y 的样本值，其中， $i=1, 2, \dots, n$ ，代表常规检测数量；

r —— x 和 y 之间的相关系数。

4.3.3 振动压实值与常规检测结果之间的相关关系应采用下列线性回归模型确定：

1 根据常规质量验收指标检测结果确定振动压实值，检测结果的回归模型应按下列式计算：

$$y = a + bx \quad (4.3.3-1)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

式中：

a, b ——回归系数。

2 根据振动压实值检测结果确定常规检测结果的回归模型应按下列式计算：

$$x = c + dy \quad (4.3.3-2)$$

$$c = \bar{x} - d\bar{y}; \quad d = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

式中：

x ——常规质量指标；

y ——振动压实值；

x_i, y_i —— x 和 y 的样本值，其中， $i=1, 2, \dots, n$ ，代表常规检测数量；

c, d ——回归系数。

4.3.4 相关校验结果应包括振动压实值与常规检测结果之间的相关系数、线性回归模型和振动目标值等。

4.3.5 振动目标值应根据常规质量验收指标的合格值进行确定（图 4.3.5），其公式应按下列式计算：

$$[VCV] = a + b[x] \quad (4.3.5)$$

式中：

$[x]$ ——按照现行相关标准确定的常规质量验收指标的合格值；

$[VCV]$ ——振动目标值；

a, b ——回归系数。

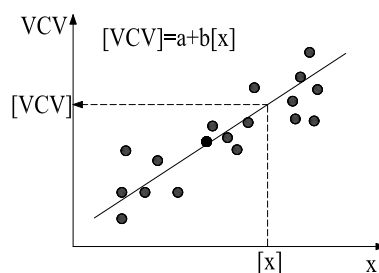


图 4.3.5 振动目标值的确定

4.3.6 相关校验完成后应及时编制相关校验报告，作为连续压实监控的压实质量报告组成部分，

其内容和样式可按本标准附录 A 执行。

4.3.7 相关性校验工艺流程应满足图 4.3.7 的要求。

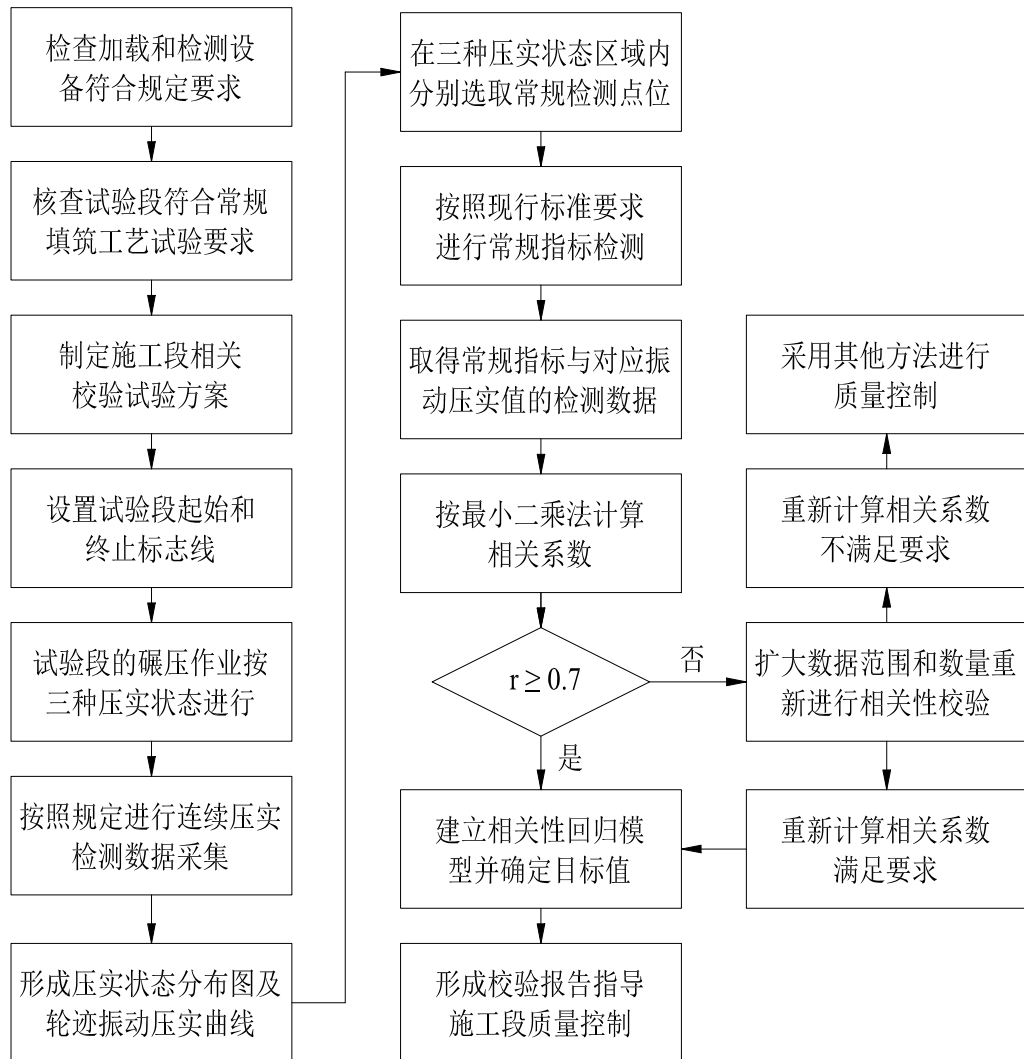


图 4.3.7 相关性校验工艺流程图

4.3.8 当相关系数无法达到本标准第 4.1.4 条的要求，应重新试验。如果仍然无法满足，可选用薄弱区识别法、测值增量法或其组合方法进行连续压实监控。

4.4 现场检测

4.4.1 常规质量验收指标检测应按照现行相关标准要求在必定的位置上进行，其中重度压实状态区域的检测结果应达到填筑体相关标准规定的压实合格标准。

4.4.2 常规质量验收指标的检测结果可采用公式 (4.3.3-2) 的线性回归模型计算。其公式应按下式计算：

$$\hat{x} = c + dVCV_i \quad (4.4.2)$$

式中：

\hat{x} ——常规质量验收指标检测预测值；
 VCV_i ——目标振动压实值；
 c, d ——回归系数。

4.4.3 当振动压实值大于振动目标值时，可判定检测测值单元的压实质量合格。

4.4.4 同一检测批的压实合格率大于 95%时，可判定该检测批压实质量合格。压实合格率按下式进行计算：

$$Q = \frac{S_1}{S_2} \times 100\% \quad (4.4.4)$$

式中：

Q ——压实合格率；
 S_1 ——压实质量评价为合格的检测测值单元的面积之和；
 S_2 ——检测批的总面积。

5 薄弱区识别法

- 5.0.1** 采用薄弱区识别法进行连续压实监控时，划分的检测批最大面积不宜超过 10000m²，宽度不宜小于 10m。
- 5.0.2** 每个检测批内，宜选取振动压实值最小的 3 个区域作为薄弱区。
- 5.0.3** 在薄弱区进行常规验收指标检测，每个薄弱区检测不应少于 1 个点。
- 5.0.4** 采用薄弱区识别法的常规检测应符合下列规定：
- 1** 选点宜在振动压实值最小处；
 - 2** 检测的现场工作宜在连续压实后 24 小时内完成。
- 5.0.5** 当常规检测结果的平均值不小于相关技术标准要求的 90%，最小值不小于相关技术标准要求的 80%，可判定该检测批压实质量合格。
- 5.0.6** 薄弱区识别法的报告可按附录 B 编写。

6 测值增量法

6.0.1 采用测值增量法进行连续压实监控时，划分的检测批最大面积不宜超过 10000m²，宽度不宜小于 10m。

6.0.2 采用测值增量法进行现场检测时碾压参数应满足本标准第 3.2 节的规定，用于质量评价的振动压实值应符合下列规定：

- 1 采用振动压路机同一行驶方向的振动压实值数据；
- 2 根据同一碾压轮迹上前后两遍振动压实值数据的差异进行判定。

6.0.3 当同一碾压轮迹上前后两遍振动压实值的变化率 δ 不大于 5%时，可判定该检测测值单元合格。当检测批中合格检测数据单元的面积占比不小于 95%时，判定该检测批合格。其中，振动压实值变化率 δ 的应按下式计算：

$$\delta = \frac{|VCV_{n+1} - VCV_n|}{VCV_n} \times 100\% \quad (6.0.3)$$

式中：

VCV_n ——检测数据单元碾压第 n 遍时的振动压实值；

VCV_{n+1} ——检测数据单元碾压第 $n+1$ 遍时的振动压实值。

6.0.4 测值增量法的报告可按附录 C 编写。

7 压实质量报告

7.0.1 压实质量报告应包括下列基本信息：

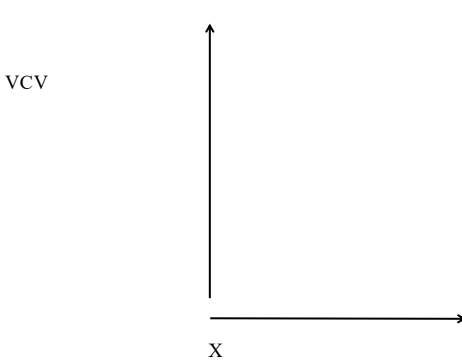
- 1 工程信息应包括工程概况、施工段起始里程、填筑宽度、填筑厚度、填筑层位、填料类型和含水率、碾压面积、碾压遍数、碾压日期等；
- 2 加载信息应包括振动压路机自重、激振力、振动频率、振幅、行驶速度等；
- 3 定位信息应包括定位系统、定位精度等；
- 4 天气、坡度等其他相关信息。

7.0.2 压实质量报告内容应包括：

- 1 检测批的检测数据及其统计结果，其记录格式可按本标准附录 D 执行；
- 2 检测数据的分析结果应包括振动压实值、压实状态分布图、压实程度分布图。报告结论格式可按本标准附录 E 执行；
- 3 采用目标值校准法时，还应包括相关性校验试验的对比试验数据、相关关系、回归模型等，并附有校准试验区压实状态分布图和碾压轮迹振动压实曲线。

附录 A 相关性校验记录

表 A 相关性校验记录表

试验编号		工程名称	
试验里程		振动压路机的型号	
填筑厚度		振动压实工艺参数	
填料类型		常规质量检测类型	
检测设备		试验日期	
编 号	检测数据		编 号
1			10
2			11
3			12
4			13
5			14
6			15
7			16
8			17
9			18
相关系数 $r=$, $n=$.			
回归方程: $VCV = a + bx$ VCV - x 关系图:			
			
常规质量验收试验指标合格值 $[x] =$, 对应的 $[VCV] =$ 。			

试验人:

审核人:

附录 B 薄弱区识别法报告

表 B 薄弱区识别法报告

工程信息								
项目名称								
起始位置				碾压层号				
终止位置				碾压面积				
填筑材料				碾压轮数				
填筑厚度				碾压遍数				
填筑宽度				碾压时间				
加载信息								
压路机型号				振动频率(Hz)				
振动质量(kg)				振幅 (mm)				
激振力 (kN)				行驶速度(km/h)				
薄弱区域信息								
整体振动压实值范围				整体振动压实值平均值				
选点的薄弱区域				验收结论				
薄弱区域 编号	位置	面积	最大振动 压实值	振动压实 值平均值	平均值 下浮	常规质量检测结 果		质量判定 结果
01								
02								
03								
04								
05								
示意图:								

试验人:

审核人:

附录 C 测值增量法报告

表 C 薄弱区识别法报告

工程信息						
项目名称						
起始位置				碾压层号		
终止位置				碾压面积		
填筑材料				碾压轮数		
填筑厚度				碾压遍数		
填筑宽度				碾压时间		
加载信息						
压路机型号				振动频率(Hz)		
振动质量(kg)				振幅(mm)		
激振力(kN)				行驶速度(km/h)		
检验区域信息						
整体振动 压实值范围				整体振动 压实值平均值		
总体压实 合格率				验收结论		
碾压道 编号	起 点	终 点	最小测值增量	最大测值增量	平均测值增量	压实合格率
01						
02						
03						
04						
05						
示意图：						

试验人：

审核人：

附录 D 连续压实记录及统计表

表 D 连续压实记录及统计表

工程信息								
项目名称								
起始里程				碾压层号				
终止里程				碾压面积				
填筑材料				碾压轮数				
填筑厚度				碾压遍数				
填筑宽度				碾压日期				
加载信息								
压路机型号				振动频率(Hz)				
振动质量(kg)				振幅(mm)				
激振力(kN)				行驶速度(km/h)				
质量信息								
目标值				常规值				
碾压遍数	碾 压 时 间	压实程度					压实均 匀性	压实稳定 性
		通过率	最大值	最小值	平均值	变 异 系 数		
01								
02								
03								
04								
05								
06								
示意图：								

记录人：

审核人：

附录 E 连续压实质量报告

表 E 连续压实质量报告

建设单位：_____ 监理单位：_____

施工单位：_____ 检测单位：_____

工程信息			
监测单元编号			
起始位置		碾压层号(标高)	
终止位置		碾压面积	
填筑材料		碾压轮数	
填筑厚度		碾压遍数	
填筑宽度		碾压日期	
加载信息			
压路机型号		振动频率(Hz)	
振动质量(kg)		振幅(mm)	
激振力(kN)		行驶速度(km/h)	
质量信息			
质量评价方法		验收结论	
<p>压实状态分布图(薄弱区分布图)</p>			
<p>压实程度分布图(薄弱区常规检测结果)</p>			

记录人：

审核人：

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
- 2 条文中指定按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

深圳市工程建设地方标准

填筑工程连续压实监控技术标准

SJG 186 - 2024

条文说明

目 次

1	总则.....	23
3	基本规定.....	24
3.1	一般规定.....	24
3.2	设备与信息管理平台.....	24
3.3	质量监控方法.....	26
3.4	试验校准区.....	26
4	目标值校准法.....	27
4.1	一般规定.....	27
4.2	校准试验.....	27
4.3	相关性分析.....	28
4.4	现场检测.....	28
5	薄弱区识别法.....	30
6	测值增量法.....	31
7	压实质量报告.....	32

1 总 则

1.0.1 连续压实监控技术（英文缩写 CCC）起源于 20 世纪北欧。瑞典于 20 世纪 70 年代中期提出了压实计方法，进入 20 世纪 80 年代后，国外对这项技术从原理、量测设备、处理软件等方面进行了研究。从 20 世纪 90 年代开始，国外建立了连续压实监控的相关技术标准，自 21 世纪以来，国外着手研究新的评定控制体系并更新相关技术标准。国内在 20 世纪 80 年代曾有部门引进瑞典压实计方法用于碾压混凝土和坝体的压实质量控制，但没有得到广泛推广应用。20 世纪 90 年代以来，一些科研院所对这项技术从指标体系、量测与分析技术等方面进行了系统研究，并在公路领域进行了一些初步的工程应用，但没有形成相关技术标准。2008 年铁道部组织技术力量对这项技术从理论体系、测试技术、工程应用和规程编制等方面进行了系统研究，形成了具有自主知识产权的系统技术。随后于 2015 年和 2017 年先后颁布了铁路和公路领域的技术标准《铁路路基填筑工程连续压实监控技术规程》（Q/CR 9210—2015）和《公路路基填筑工程连续压实监控系统技术条件》（JT/T 1127—2017）。为适应新时期填筑工程建设需要，充实和完善填筑工程质量的全过程控制技术，明确连续压实监控技术的使用方法和规范操作，建立适用于深圳地区的技术标准是非常必要的。本标准认真总结连续压实监控技术在深圳机场 T4 航站区软基处理工程、深圳市青少年足球训练基地等项目实践的科研和应用成果，并在铁路和公路相关科研与工程应用成果的基础上，综合考虑了国内外连续压实监控技术成果以及国外相关技术标准而进行编制的。

1.0.2 连续压实监控技术是填筑工程施工质量实施全过程控制的有效手段，具有以下优点：（1）由点的抽样检测转变为覆盖整个碾压面的全面监控与检测，现场可视化显示压实结果；（2）与常规检测方法结合起来，可以使常规检测的随机控制变为关键（薄弱）区域控制，大量减少常规检测的数量，并且可以确定常规检测不合格点所处的范围；（3）实现了施工过程的全过程监控，与施工同步，效率高、不干扰施工，并且能够指导现场施工，对欠压地段及时进行补充碾压，同时可以避免过压，保证压实质量的均匀性和优化碾压遍数；（4）量测设备智能化程度高，操作简单，安装在驾驶室内实时显示压实信息，便于操作使用；（5）对于大粒径填料路基，常规检测很难进行本项技术是目前可行的质量控制方法。同时，这项技术也存在一些局限性，一是大多数情况下需要进行相关性校验，建立与常规质量检测指标的相关性时比较费时费力；二是对于一些狭窄地段，振动压路机使用受限制，很难采用。总体来讲，连续压实监控技术改变了传统意义上的随机抽样检测控制方式，不但使用在碾压的全过程中，还体现在对整个碾压面的全覆盖式控制上，被誉为筑路技术的第三次革命，采用这项技术不仅能提高生产效率，还能有效地控制和提高压实质量。

连续压实监控技术是土木工程与电子技术、信息技术结合的产物，在碾压过程中能够实时地提供大量有用的压实质量信息，可以采用数字和图像等形式存储在计算机中并且可以进行实时的远程数据传输，供有关部门进行施工管理。

连续压实监控的压实质量报告作为路基工程验收的必要组成部分，这既是填筑工程建设信息化管理的要求，也将为质量责任追溯、认定以及运营阶段制定养护维修提供可靠依据和基础数据。报告可以采用数字和图像的方式进行存档。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 本条规定了连续压实监控系统的组成。从试验的角度看，振动压路机的碾压过程可以看作是一种动态试验—振动压实试验，其中试验对象为填筑层，振动压路机为试验过程中的加载设备，加上检测设备组成了一个完整的振动压实试验系统。连续压实的基本原理是将振动碾压过程看作一种动态试验过程（振动压实试验），振动压路机为动态加载设备。在碾压过程中振动轮同时受到来自机械本身的激振力和结构的抵抗力（反力）作用，二者的共同作用引起振动轮的振动响应，基于这种振动响应建立相应的评定与控制体系，并集合卫星定位系统可获取任意碾压位置处的碾压参数和压实质量评价结果，从而实现碾压过程中的实时监控。

3.1.2 连续压实系统的定位系统可采用北斗、GPS等。压实质量相关信息的采集、储存和传输需符合国家有关信息安全的规定。填筑工程的连续压实监控系统需具备对碾压面的实时监测和信息反馈控制能力，提高压实质量的均匀性。

3.1.3 本条规定了连续压实监控实施过程中的四个环节（设备检查、相关性校验、过程控制和质量检测）的关键点。连续压实监控可以看作是一个动力学试验过程，加载设备需符合一定的技术要求方可以进行。对量测设备进行检查是动态测试技术的一般要求。

压实监控是对整个碾压面进行的，除了对碾压面的压实程度做出评定外，更重要的是确定整个碾压面的不同压实状态（物理力学状况）的分布情况，由此可以识别压实质量的薄弱区域，指导常规质量验收的选点。填筑碾压过程中，通过对振动压路机碾压过程中的振动轮振动响应信号的连续跟踪量测，安装在压路机驾驶室中的显示装置能实时形象化地显示当前压实结果及需要反馈控制的相关信息，做到在碾压过程进行实时的压实质量控制。

目前对压实质量的控制都是基于常规抽样检验进行的，抽样检验隐含的一个前提条件就是：性能参数一般需服从正态分布规律，在这种状态下，采用“抽样”的方法进行检验，其结果在一定保证率条件下能够代表该段的性状。如果结构的物理力学性能发生变异即不均匀，那么采用抽样方法进行检验的结果不一定具有代表性。碾压面的连续压实质量检测，最重要的目的之一就是检测和识别压实质量的薄弱区域。当对填筑层进行压实质量验收时，这个区域也是常规质量验收所需要控制的区域，避免了常规检测的随机性，做到有的放矢。

3.1.4 当连续压实质量评价结果不合格时，需注意到在连续压实监控的过程中是否存在异常情况。动态检测比静态检测要复杂得多，在量测过程中难免会出现各种问题。最常见的就是数据出现异常变化（如突然变大或变小），此时需检查振动频率是否异常波动、传感器连接及仪器接口是否松动、电源电压是否稳定等，另外，碾压层局部含有大粒径石块或在测量深度范围内有空洞等也会造成数据波动。

3.2 设备与信息管理平台

3.2.1 常用的滚轮式振动压路机主要包括以下几类：

- 1 单振动轮振动压路机：表面平滑，可驾驶，在行驶速度均匀的条件下能得到最佳压实结果；
- 2 串联振动压路机：由两个振动轮串联，实用性较低。对于某些和不利的地势（比如斜坡），压路机可能遭受振动轮的滑移，压实速度有时候也难以控制；
- 3 智能压路机：通过改变振幅或频率来调节压实能量，智能压路机需要校正振幅和频率。

3.2.2 振动压路机在碾压量测过程中，其自重、激振力、振动频率、振幅及行驶速度等振动压实工艺参数要保持稳定，这是振动压实试验对加载设备的基本要求，只有符合这种规定的振动压路机才能作为振动压实试验用的加载设备。

振动压路机的自重是决定量测深度（即影响深度）的重要因素。国内外的实测资料显示，不同自重的振动压路机碾压影响深度是不同的。一般而言，对于一定自重的压路机结构刚度越大，其影响的量测深度也越深。因此在选择振动压路机自重时，需根据所要求的量测深度，进行合理的选择。此外压路机自重对于连续量测结果也有影响，同样条件下，自重越大，其量测结果一般也越大。

量测深度尤其取决于滚轮的静态线性加载、振幅、振动频率、压实层的硬度。表 1 展示了在填料均匀的条件下，表面平滑的单滚轮压路机碾压碎石层的预计量测深度。

表 1 预计量测深度（碎石层，单滚轮振动压路机）

名称	重量	静态线性荷载	预计量测深度	
			低振幅（0.8~1）mm	高振幅（1.5~2）mm
低重量单滚轮	< 10t	（15~30）kN/m	约（0.4~0.6）m	约（0.6~1.0）m
中等重量单滚轮	（10~15）t	（20~40）kN/m	约（0.4~0.8）m	约（0.6~1.5）m
高重量单滚轮	（15~22）t	（40~60）kN/m	约（0.6~1.2）m	约（1.0~2.0）m
超高重量单滚轮	> 22t	（60~80）kN/m	约（0.6~1.2）m	约（1.0~2.5）m

3.2.3 由于激振力与振动频率的平方成正比，因此在连续量测过程中如果压路机的振动频率波动较大，将会导致激振力出现更大的波动，量测结果出现异常变化，不能正确反映压实状态的变化。要求振动压路机行驶速度保持匀速主要是基于振动压实试验的要求而提出的，实际就是要求单位长度上受到的荷载作用次数应该保持一致，否则会影响对压实效果的判定和控制。行驶速度大小主要影响到单位长度受到的振动次数（即加载次数）。提高压路机的行驶速度，单位长度上的振动次数将减少，即减少了力的作用次数，也就相当于减少了碾压遍数，一般会引起连续量测结果变小，反之亦然。对振动压路机行驶速度的要求主要是基于现行施工规范提出的，考虑到本技术的特殊性，本标准的要求相对严格。

3.2.4 本条规定了检测设备组成以及对软硬件技术性能的基本要求。现代检测技术的发展，已经将硬件与软件融为一体，数据的采集与记录工作都是由电脑和软件完成的。

4 碾压过程中，连续采集取得的压路机振动响应信号要经过适当的处理和分析才可以转变成有用的压实信息，这部分工作由软件完成，也是对软件的基本要求。压实质量相关信息是指根据振动响应得到的振动压实值数据的统计特性、压实程度、均匀性、稳定性信息以及振动参数等；

5 按照实时监控的要求，安装在驾驶室中的显示装置需能实时地提供可视化的信息。当前碾压轮迹的压实信息给作业人员（主要是压路机操作人员）提供一个形象的、易于理解的信息，便于进行实时压实质量控制。

3.2.5 全面检查检定和校准是指采用标准振动装置对量测系统进行的校准，以便检验其动态特性。设备的校准与检定一般在计量单位进行。

3.2.6 本条规定振动传感器垂直安装在内测机架中心位置上是为了直接接收来自振动轮的振动信号，而外机架由于经过减振器，其振动信号已经衰减许多，并且减振器随着时间的推移还会发生变化，测得的信号很难反映真实的振动情况。此外，如果传感器不垂直安装，得到的信号也不能准确反映真实的垂直振动情况。

3.3 质量监控方法

3.3.2 连续压实监控检测技术确定振动压实值指标的计算方法有十余种。例如，谐波比法 CMV、刚度/模量法 K_s 、动力学法 VCV 和能量法 DMV 等。不同型号压路机所安装的系统有不同的计算方法，针对不同填料和碾压工艺选择压路机时，要关注压路机所安装的系统。

3.3.3 连续压实质量评价方法主要包括以下三种：

1 目标值校准法用于间接进行密度与刚度的连续控制，需要在振动测量前进行相关性校准测试。目标值校准法适用于刚度测量，也适用于连续的、颗粒状的填筑层和连续的复合填筑层间接密度测量。每种填筑层填料必须进行校准试验；

2 薄弱区识别法是通过找出振动压实值最低的区域，并在该区域进行常规质量检测以评价整体压实质量的方法。该方法适于颗粒状、复合材料和细土，需特别注意填筑料的含水率；

3 测值增量法是通过得到不同碾压遍数下的最大测量值，并控制该值与前一次相比增长率不超出限值以评价质量的方法。这种方法适用于所有的颗粒和复合材料填筑层以及岩石填充材料。

3.3.6 本条规定的实质是以试验校准区为参照物，要求检验区与试验校准区在各方面都相同或相似，包括试验校准区方面、加载设备与量测设备方面等，这样就能将试验校准区的相关校验成果应用在检验区上。

3.3.8 填筑层在碾压过程中，需要通过连续压路机的测试系统，实时测量压路机振动轮的振幅、频率、行驶速度、行驶方向、测量深度、土层厚度等参数。连续压实监控技术的突出优点就是对填筑层碾压全过程进行连续的定量控制，因此要求对每一填筑层都要提交压实过程归档报告。该报告包含了从振动碾压的第一遍到最后一遍的所有与压实质量相关的特征数据，这是实施信息化管理不可或缺的资料，也可以作为施工全过程的证明材料。

3.4 试验校准区

3.4.1 试验校准区的填料类型、填筑厚度、摊铺工艺、压路机具和碾压工艺需与所代表的工程区域保持一致。

3.4.4 试验校准区设置 5 条碾压道，中间 3 条用于试验测试，两侧边缘碾压道保持相同碾压，以减少边缘干扰影响。

4 目标值校准法

4.1 一般规定

4.1.1 本条规定了在进行施工段压实质量过程控制前需要进行相关校验试验的内容，试验校准区要求具有较好的代表性。

4.1.2 目标值是控制填筑工程压实效果的关键参数，需结合常规控制压实质量的方法进行合理选择，根据不同的使用用途，选择合适的常规试验方法。常规的压实质量控制方法有灌砂法、灌水法，动力触探以及 K30 法等。

4.1.3 从振动压实试验系统的角度看，只有在加载设备与量测设备相同、试验对象相似条件下，所得到的结果才具有可比性。本条规定正是基于动态试验的角度而提出了重新进行相关性校验的条件。

1 试验对象相似的含义就是施工段与试验段在填料类型含水率、层厚等方面基本相同，在这种情况下试验段取得的结果才可以应用在后续施工段上。

2 加载设备相同的含义就是试验段与施工段采用的是同一台振动压路机以及相同的振动压实工艺参数。由于机械原因，不同压路机或者采用的振动压实工艺参数不相同，所引起的振动响应都有可能是不同的。

3 量测设备相同的含义就是采用包括传感器在内的同一套量测系统对施工路段与试验段进行量测。更换量测设备中的任一部分都认为是不相同的。但是如果更换量测设备后已经经过计量部门校准合格的设备也可认为是相同的。

4.1.4 相关系数用于衡量两个变量之间的相关程度。在统计学上相关系数大小与相关程度之间并没有严格的划分界限，但在实践中有一个经验判断准则。0.7 是相关程度强弱的一个分界点，同时便于与国际接轨（目前瑞典规范规定 $r \geq 0.6$ 时相关性成立，德国和奥地利等国家规定 $r \geq 0.7$ 时相关性成立）。因此，本规定将重要工程和一般工程相关系数的下限定为 0.7，次要工程相关系数取中间值 0.65。重要工程、一般工程、次要工程的分类宜参考现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 相关规定。

4.2 校准试验

4.2.2 从振动压实试验系统的角度看，只有在加载设备与量测设备相同、试验对象相似条件下，所得到的结果才具有可比性。本条规定正是基于动态试验的角度而提出了重新进行相关性校验的条件。

试验对象相似的含义就是施工段与试验段在填料类型含水率、层厚等方面基本相同，在这种情况下试验段取得的结果才可以应用在后续施工段上。由于机械原因，不同压路机或者采用的振动压实工艺参数不相同，所引起的振动响应都有可能是不同的。设置好施工段的起点与终点标志和轮迹数的目的是为了便于数据采集和计算。连续压实检测与常规质量验收指标检测之间的时间间隔应尽量短暂，以减小时效误差。

4.2.3 碾压面压实状态分布和每一碾压轮迹振动压实曲线的目的是为了更直观形象地进行常规质量验收指标检测点位的选取。在每一种压实状态中按振动轮压实值低、中、高进行选取的主要目的也是为了使检测数据分布更广、更均匀一些。需通过控制碾压遍数按轻度（碾压遍数较少）、中度（碾压遍数增多）和重度（碾压遍数不断增多，直至振动压实值不再变化）三种压实状态进

行碾压作业。选择轻度、中度、重度三种不同压实状态区，回归方程的有效范围就能覆盖住常规质量检测的合格区域，这样就可以较为准确地确定目标值，避免将回归方程进行外延而预测目标值缺陷。

4.3 相关性分析

4.3.8 相关系数是一个用来衡量两个独立变量（即振动压实值与常规质量验收指标）之间线性相关程度的指标，在应用时需要注意两点。（1）相关系数只反映了两个变量之间是否线性相关，不反映其他形式是否相关；（2）有时个别异常数据可能会影响相关系数的大小，在计算时需注意并进行必要的的数据预处理。在进行相关性校验时，对于普通填料，常规质量验收指标原则上选取地基系数、二次变形模量、动态变形模量和压实系数都是可行的，只要满足相关性判定要求即可。但对于粗粒料，由于材料变异性，碾压面各点的标准干密度是有差异的，致使压实系数存在一些问题，与振动压实值的相关性变差。地基系数是在高速铁路和普通铁路都采用的指标，选择地基系数进行相关性校验更具有普遍性。如果相关性系数无法达到要求，需增加对比试验数量和扩大试验数据分布范围并重新进行分析计算，仍然达不到要求，可以选用薄弱区识别法、测值增量法或其组合方法进行连续压实监控。

4.4 现场检测

4.4.2 大量研究结果表明，对于非黏性土，振动压实值与常规验收指标之间采用一元线性回归模型处理是可以满足精度要求的，这已经被工程实践所证明。但是对于黏性土，尽管在一定含水率条件下可以建立线性回归方程，但当含水率发生变化时该回归方程不一定能够适用，主要是由于含水率的变化会对路基结构的力学性质产生显著影响。初步研究结果表明：这种情况下需进行多元回归分析，将含水率作为一个变量考虑更为合适。此外，线性回归关系是建立在统计学意义下的，与确定性的函数关系不同，它具有一定的统计学意义，即不能将其看作是确定性关系。

4.4.3 目标振动压实值是控制压实程度的主要指标，选择合适的目标值是非常关键的。目标值是依据路基相关标准确定的常规质量验收指标合格值、采用回归方程确定的，是一种统计学意义下的取值，具有一定的概率含义，其可靠性与相关系数的大小有关。在应用回归方程时有一个适用范围的问题，原则上需在自变量的取值范围内（即检测数据范围内）适用，采取内插法求取不同常规指标值所对应的振动压实值，对于超出检测数据范围部分，使用外插法确定出的振动压实值是不可靠的，详细情况可以参考有关数理统计方面的资料。

4.4.4 碾压面压实程度评定是在整个碾压面完成某一遍的碾压作业时进行的。对于岩土填料，碾压面的压实程度通过率要求达到 100%是非常高的，现场不易实现。根据实际经验，允许有 5%的不通过区域存在是可行的，但这部分区域的分布要分散若集中地连续分布在一起，有可能会造成局部的过大变形（沉降），影响上部结构。

对整个碾压面压实程度控制的规定有多种做法。奥地利的规定较为复杂，主要采用目标值进行控制，但目标值是以常规指标的 95%所对应的连续压实检测数据确定的，同时对于连续压实检测数据的平均值也有要求，并且规定所有连续压实检测数据都不能小于目标值的 80%，同时满足这三方面压实程度才算通过。德国主要有两种做法，其一是按目标值控制，要求 90%的连续压实检测数据要大于目标值才算通过，即允许有不超过 10%的点存在，但不能呈连续分布状态；其二是按 10%最小分位点控制，即目标值不是按照常规指标规定的合格标准确定的，而是按照 10%最小分位点要求进行。美国明尼苏达州运输部（MNDOT）规定 90%的连续压实检测数据大于目标值的 90%时属于压实通过。此外，我国铁路和公路领域的连续压实监控技术标准明确了压实合格

率需大于 95%的验收要求。因此，本条借鉴国内外相关技术标准，结合工程实际提出了本条要求。

5 薄弱区识别法

5.0.4 压实质量薄弱区域是一个相对概念。对于一个碾压面的所有振动压实值数据而言，经过适当的分组，其低值区域就是压实质量的薄弱区域，从最低值分组开始，可以依次称作压实质量最薄弱区域、次薄弱区域等，一般都从压实质量的最薄弱区域开始控制。

6 测值增量法

6.0.2 测值增量控制是在碾压过程中进行的。控制测值增量除了可以优化压实工艺外，更重要的目的是控制填筑工程结构的稳定性。在许多情况下，即使振动压实值达到控制值，但路基结构不一定是稳定的。原则上路基的稳定性需采用疲劳试验方法进行评定，但疲劳试验方法比较费时费力。在碾压过程中，振动压路机施加给路基结构的是一种重复移动荷载，与疲劳试验的加载方式类似，可也可看作是一种疲劳试验，因此测值增量法更能控制填筑工程结构的稳定性。

6.0.3 振动压实值的变化率是表示同一填筑工程中同一检测单元连续碾压两遍的振动压实值的变化幅度，变化率越小表明压实质量越稳定可靠（图1）。

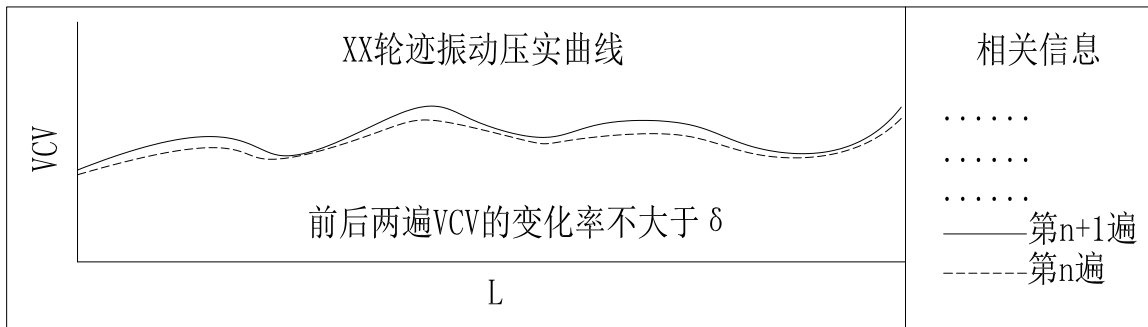


图1 测值增量控制示意图

7 压实质量报告

7.0.1 连续压实质量的评价，需要通过压实质量报告体现出来，基本信息包含工程信息、设备的加载信息，为实现位置控制的定位信息等。填筑质量的控制不仅取决于压实设备和填筑材料，不同情况下压实控制方法不同。如果施工的填筑面具有一定坡度，其压实方法和压实功率都需要调整。一般情况下，填筑工程在不下雨的情况下进行，特殊情况下，下点小雨也有助于填筑工程施工质量的控制，有利于改善填筑材料的含水率，因此压实质量报告还要包含天气、坡度等其他相关信息。

7.0.2 压实质量报告除了基本信息，还需重点包含检测数据和统计结果。由于连续压实质量检测不是对碾压面“抽样”而是全部检测，所以检测数据的统计量更能真实地反映路基的压实质量情况。最大值、最小值、平均值、极差、标准差和变异系数等是质量控制中重要统计量，从不同角度对该路段的质量特征进行描述。其中变异系数是一个值得注意的指标，其能更准确地反映数据的波动情况。相关统计数据有利于现场压实质量的控制和管理，使用单位可利用这些信息来提高填筑工程的施工质量。