

DB42

湖北省地方标准

DB 42/ 159—20XX

路基填筑工程智能压实施工规范

Technical specification for intelligent compaction control of highway subgrade

(征求意见稿)

20XX – XX – XX 发布

20XX – XX – XX 实施

湖北省交通运输厅
湖北省市场监督管理局

发布

目 次

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语..... 1

4 智能压实系统说明..... 2

5 技术要求..... 3

6 工艺流程..... 5

7 过程控制与质量检验..... 6

8 施工质量管理..... 13

前 言

本标准 of 湖北省路基填筑智能压实施工技术标准。

本标准按照GB/T1.1-2020给出的规则起草。

本标准在编制过程中，参考了现行国家、行业标准，同时借鉴了铁路行业智能压实施工技术的要求，结合湖北地区路基填筑工程施工特点及智能压实技术的实践经验，配套编制了本规范，为湖北地区工程建设施工质量和安全提供技术支撑。

本标准共分8章，主要包括：范围、规范性引用文件、术语、智能压实系统说明、技术要求、工艺流程、过程控制与质量检验、施工质量管理，另附9个附录。

本标准主要编制技术内容如下：

- 1、在原有的智能压实技术的基础上，增加了高精度定位技术，明确路基智能压实质量“双控”。
- 2、对试验段的相关校验流程进行明确，相关校验计算进行说明；
- 3、明确了路基填筑工程智能压实技术的施工流程、控制要点以及施工质量管理办法；

本标准由湖北省交通运输厅提出并归口。

本标准主要起草单位：中建三局基础设施建设投资有限公司

本标准参编单位：湖北省公路学会

中南安全环境技术研究院股份有限公司

湖北省标准化与质量研究院

本标准起草人：

本标准由湖北省交通运输厅负责解释。

路基填筑工程智能压实施工规范

1 范围

本文件规定（确定、描述、给出）了公路路基填筑工程智能压实施工的术语、工作原理、施工工艺、工艺流程、过程控制与质量检验、施工质量管理

本文件适用于公路路基填筑智能压实施工和验收。

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。

JJG 676 测振仪检定规程

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

JTG F80 公路工程质量检验评定标准

JT/T 1127 公路路基填筑工程连续压实控制系统技术条件

3 术语

JT/T 1127和TB 10108界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 智能压实 Intelligent compaction

路基填筑碾压过程中，运用连续压实控制技术、高精度定位技术、无线数据传输、信息化数据处理及反馈等技术，通过连续量测与分析路基振动压实值、振动压路机运行轨迹等信息，实时检测评定路基压实状态，并对现场施工进行反馈控制，实现对整个路基碾压面压实质量的实时动态监测与控制。

3.2 振动压实值 vibratory compaction value

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力学指标。

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

路基填筑碾压过程中，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。

3.4 压实程度 compaction degree

路基填筑碾压过程中，压实检测值达到压实目标值的程度。

3.5 压实均匀性 compaction uniformity

路基填筑碾压过程中，路基结构压实状态分布的一致性。

3.6 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，路基结构压实状态随碾压遍数变化的性质。

3.7 平碾 sequence compaction

路基填筑质量连续检测时，振动压路机在碾压面上依次进行的前行式碾压作业，其中相邻两个轮迹碾压搭接宽度宜不大于10cm，前进碾压一次记为一遍。

3.8 叠碾 reciprocating compaction

振动压路机在一个碾压轮迹进行往返式碾压作业，其中往返一次记为一遍。

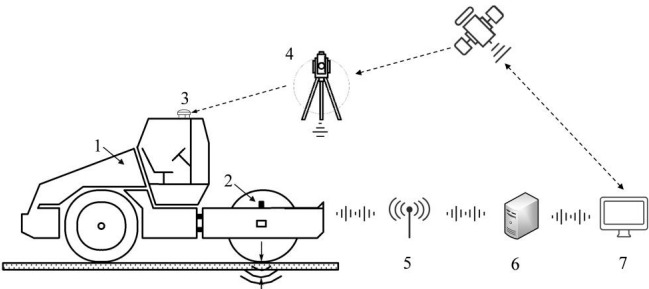
4 智能压实系统说明

4.1 智能压实控制技术原理

智能压实控制技术的基本原理是将振动碾压过程看作是一种动态试验过程,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路基结构的抵抗力（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,实现碾压过程中的实时监测和反馈控制。

4.2 智能压实系统组成

4.2.1 路基智能压实控制系统由加载设备、量测设备、高精度定位装置、无线数据传输装置、后台压实信息管理平台 and 远程压实信息管理平台组成，系统组成如图 1 所示。



注：1—加载设备；2—量测设备；3—车载高精度定位装置；4—信号收发基站；5—无线数据传输；6—后台信息管理平台；7—远程信息管理平台；

图 1 智能压实控制系统组成示意图

4.3 智能压实系统功能

- 4.3.1 试验段进行相关校验，智能压实控制系统应具备确定目标振动压实值、松铺厚度、碾压遍数、碾压速度等碾压参数的能力。
- 4.3.2 智能压实系统应具备对填筑体的压实程度、压实均匀性、压实稳定性和碾压面压实状态分布等进行实时分析和以图形及数字方式显示的能力。
- 4.3.3 智能压实系统应具备检验压实质量薄弱等异常区域，并实时传输、反馈、管理相关信息以控制压实质量的能力。

4.3.4 智能压实系统应具备对振动压路机的碾压速度、振动频率进行实时监测的能力。

4.4 智能压实设备要求

4.4.1 信号发射器、接收器安装在压路机车顶位置。

4.4.2 位移传感器的感应头应正对强磁铁 s 级，位移传感器的输出端连接至压实显示器。为保证测量结果的准确性，请均匀放置强磁铁，并保证强磁铁的位置固定。建议在加载的 1m 位移内分布不低于 4 个强磁铁。

4.4.3 振动传感器要垂直安装在加载振动轮的内壁上，输出端连接至压实处理器。为保证稳定性，建议将振动传感器固定在钢板上，并将钢板焊接在负载振动轮内壁上。

4.4.4 数字处理器须安装在加载驾驶仓内，但避免安装在热油软管附近以及类似的地方。A-SENSOR 端连接振动传感器以接收振动传感器采集到的压实信号，POW/OUT 端连接电源，串口输出端连接压实显示器，将处理完的压实信号输出到压实显示器。

4.4.5 压实显示器须安装在加载驾驶仓内。压实显示器与位移传感器、高精度北斗定位系统（可选）、压实处理器连接以获取它们的信号。

4.4.6 电源采用负载蓄电池，电压范围为：DC 12-36V，连接 12V 的系统功耗是 0.2-1.5A。

4.4.7 信号收发基站安装在地势开阔、便于保养维护的环境。

5 技术要求

5.1 加载设备

5.1.1 智能压实系统加载设备应采用振动压路机，振动压路机自重不宜小于 16t。

5.1.2 振动压路机的工作质量、振动轮分配质量、激振力、振动频率、振幅及碾压速度等振动压实工艺参数应明确标识。

5.1.3 振动压路机碾压时的振动频率应保持稳定，波动范围不宜超过稳定值 $\pm 0.6\text{Hz}$ 。

5.1.4 振动压路机碾压时的速度应保持匀速，碾压速度宜为 $(2.5 \sim 3.0)\text{km/h}$ ，最大不应超过 4.0km/h 。

5.1.5 振动压路机宜提供振动频率和碾压速度相应信号接口，相应位置上应预留量测设备安装接口。

5.2 量测设备

5.2.1 量测设备的振动传感器宜采用加速度传感器，灵敏度应不小于 $10\text{mV}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$ ，量程应不小于 10g，频率响应应不低于 500Hz。

5.2.2 量测设备的数据采集装置的模/数转换位数应不小于 16 bits，采样频率应不小于 400Hz。

5.2.3 量测设备的动态性能应稳定，线性范围为振动幅值在 $(5 \sim 100)\text{mV}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$ 时的相对误差应不大于 0.5%，振动频率在 $(5 \sim 120)\text{Hz}$ 时的相对误差应不大于 0.5%。

5.2.4 量测设备输出的振动压实值与常规检验指标之间的相关系数应不小于 0.7。

5.2.5 量测设备的系统控制软件应具备下列功能：

- a) 控制量测设备操作，对量测信息进行实时采集、处理、分析、显示和存储，记录施工相关参数等信息；
- b) 根据得到的压实信息对压实程度、压实均匀性、压实稳定性、压实状态分布以及相关统计量等进行实时分析并以数字和图形方式显示；
- c) 进行压实信息的传输和管理。

5.2.6 量测设备的压实度传感器应安装在压轮中心位置，振动传感器应垂直安装于振动轮的内侧机架中心位置或厂商提供的特殊安装架上，振动传感器安装时需要注意方向问题，严格按照厂家说明书进行安装。

5.2.7 传感器与数据采集装置之间的信号连接线应牢固地固定在振动压路机的机架上。

5.2.8 量测设备应每年进行一次全面检查和校准，其技术指标应符合相关质量标准的要求。

5.3 高精度定位设备

5.3.1 高精度定位设备是基于 GNSS 技术及 RTK 定位算法，根据实时环境下实际锁定卫星的情况，进行统一调配，动态调整差分实时解算技术。

5.3.2 高精度定位设备有车载移动站、数据传输电台、基站接收机等装备组成，通过对压路机进行实时厘米级高精度定位，从而获取路基填筑过程中压路机的碾压参数。

5.3.3 RTK 精度：平面： $\pm(10\text{mm} + 1 \times 10^{-6}\text{D})$ ，高程： $\pm(20\text{mm} + 1 \times 10^{-6}\text{D})$ 。

5.3.4 收发基站覆盖范围不小于 10km。

5.4 智能传输设备

5.4.1 智能压实传输设备内置嵌入式操作系统，搭载高精度主板、外挂天线；可以通过 RS232、RS485、4G/GPRS 及 LAN 进行实时数据传输。

5.4.2 数据输出频率不小于 50Hz。

5.5 后台压实信息管理平台

5.5.1 后台压实信息管理平台应具备下列功能：

- a) 接收量测设备传输的压实信息；
- b) 对现场记录的压实信息进行二次处理；
- c) 显示和管理压实程度分布图、压实均匀性分布图、压实稳定性分布图和压实状态分布图等；
- d) 将试验结果生成试验报告，报告内容应符合要求；
- e) 生成不可修改的电子数据包，并以一定形式传输给远程压实信息管理平台。

5.6 远程压实信息管理平台

5.6.1 远程压实信息管理平台应具备下列功能：

- a) 接收后台压实信息管理平台或量测设备传输的压实信息；
- b) 显示或回放现场压实过程及相关内容；
- c) 以数据库方式管理相关压实信息。

5.7 系统连接

5.7.1 量测设备的振动传感器应垂直安装于振动轮的内侧机架中心位置或厂商提供的特殊安装架上。

5.7.2 振动传感器与数据采集装置之间的信号连接线应固定于振动压路机适当位置。

5.7.3 数据采集、显示装置应牢固安装于振动压路机驾驶室合适位置，方便观察、操作。

5.7.4 车载定位装置、天线应安装固定于振动压路机顶部，信号收发基站采用固定式基础，保证信号稳定传输。

5.7.5 智能压实系统安装完成后，进行系统联合试运行，检查量测系统、定位系统、数据传输系统、后台数据处理系统的稳定性。

6 工艺流程

- 6.1.1 路基填筑工程智能压实应严格按照“设备检查、相关校验、过程控制、质量检测”四阶段进行。
- 6.1.2 路基填筑工程智能压实工艺流程如图 2 所示。

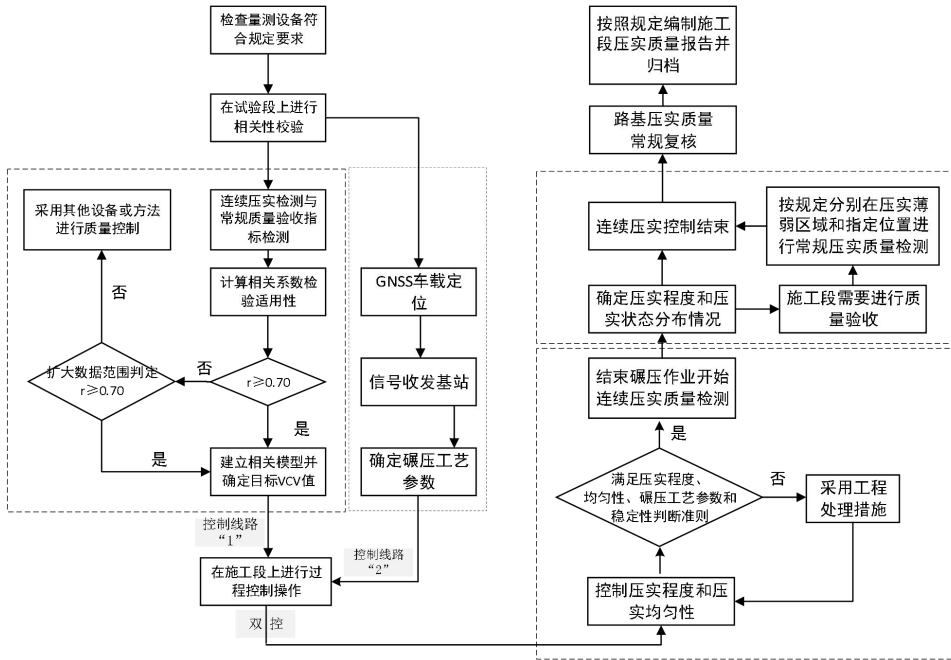


图 2 智能压实工艺流程图

7 过程控制与质量检验

7.1 一般要求

- 7.1.1 路基填筑智能压实前应对施工段和智能压实系统的加载与检测设备进行核查，并符合下列规定：
- a) 施工段的填料、含水量、虚铺厚度等应与试验段的参数保持一致，并符合公路路基现行相关标准要求；
 - b) 振动压路机及其振动压实工艺参数应与试验段保持一致；
 - c) 检测设备应与试验段保持一致并经过校准且应安装正确，连接牢固；
 - d) 振动压路机定位系统运行良好，定位精度达厘米级；
 - e) 数据传输及后台数据处理系统运行稳定。
- 7.1.2 路基填筑智能压实前应制定智能压实过程控制方案，并符合下列规定：
- a) 确认施工段的长度和宽度，在起始线和终止线处应设置标志；
 - b) 碾压轮迹数应根据施工段宽度、压路机轮宽和相邻轮迹间重叠宽度设定；
 - c) 智能压实的目标振动压实值、碾压工艺参数应根据试验段相关校验结果确定；
 - d) 压实程度控制应采用经过相关校验且已经取得目标振动压实值的振动压路机进行。
- 7.1.3 智能压实控制前应制定智能压实质量检测方案，并符合下列规定：
- a) 确认碾压作业已完成的施工段表面平整无积水，并符合相关标准要求；
 - b) 碾压轮迹数应按照碾压面宽度和检测用压路机轮宽划分，确保能够覆盖整个碾压面，振动压路机应采用平碾方式碾压，相邻碾压轮迹之间的重叠宽度应控制在 10cm 范围内；
 - c) 振动压路机宜采用弱振工艺进行智能压实质量检测。

7.2 现场操作

7.2.1 路基填筑智能压实过程控制工艺流程图如图 3 所示。

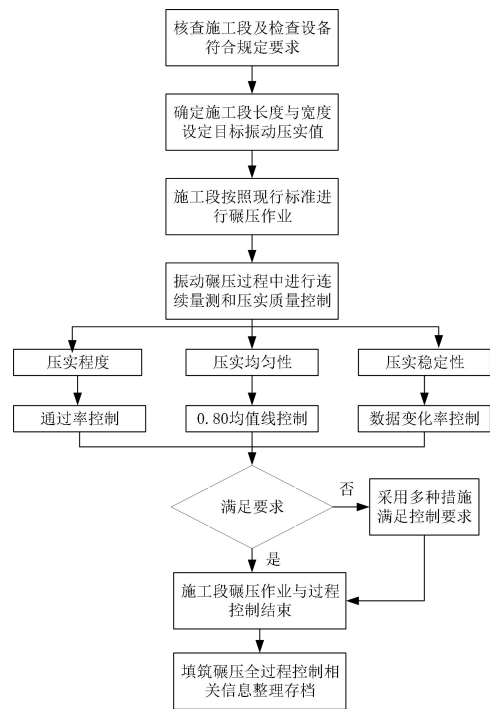


图 3 公路路基智能压实控制工艺流程图

7.2.2 智能压实施工过程控制的现场操作应符合下列规定：

- a) 施工段的碾压作业应按照现行有关路基施工标准要求进行，同时在振动碾压过程中对压实质量进行智能压实检测；
- b) 装备有检测设备、高精度定位装置的振动压路机在进入施工段起始线之前应达到正常振动状态；
- c) 振动压路机行驶速度应符合本规范第 5.1.4 条规定；
- d) 智能压实过程控制的数据采集应符合本规范第 5.2.2 条规定。

7.2.3 智能压实质量检测的现场操作应符合下列规定：

- a) 智能压实质置检测应在施工段智能压实作业结束时开始；
- b) 振动压路机宜从碾压面一侧开始按照本规范第 5.1.4 条第 3 款规定进行智能压实质量检测，直至完成对整个碾压面的操作；
- c) 振动压路机振动状态要求应符合本规范第 6.2.2 条第 2 款规定；
- d) 振动压路机行驶速度应符合本规范第 5.1.4 条规定，且应保持前进方向匀速行驶；
- e) 智能压实质量检测的数据采集应符合本规范第 5.2.3 条第 5 款规定。

7.2.4 智能压实控制实施过程中，出现以下异常情况时应查明原因分别处理：

- a) 振动压路机振动性能不稳定（表现为振动频率波动）时，应调整控制频率的机构，使之保持在规定的波动范围内；
- b) 检测设备部件的连接松动或供电电压不足时，应检查仪器部件的连接与接口、电源电压等，使之处于正常工作状态；
- c) 碾压面凹凸不平或积水时，应对碾压面进行处理直至符合要求，对于基底条件变化导致的量测数据异常应做好记录。

7.3 试验段相关性校验

7.3.1 相关校验目的

- 7.3.1.1 确定传统压实工艺主要参数：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允许偏差等。
- 7.3.1.2 计算振动压实值与常规质量验收指标之间的相关系数、确定相关关系和目标振动压实值等。

7.3.2 一般规定

- 7.3.2.1 相关校验的试验段应结合常规填筑工艺试验进行，填筑工艺试验段应满足现行相关标准的要求，并符合下列规定：
 - a) 试验段的填料、含水量及填层厚度等应与后续施工段的参数相同。
 - b) 试验段长度不宜小于 100 m。
 - c) 试验段的碾压面应平整且无积水，并符合相关标准要求。
 - d) 试验段应采用与施工段相同的振动压路机及振动压实工艺参数。
 - e) 试验段及采用的振动压路机等相关资料应记录归档。
- 7.3.2.2 试验段施工前，对加载设备及量测设备应进行检查，并符合以下规定：
 - a) 检查加载用振动压路机的振动压实工艺参数情况，确认振动频率保持在规定值的允许波动范围内。
 - b) 检查检测设备的安装及连接情况，确认安装正确且连接牢固。
- 7.3.2.3 相关试验实施前应制定相关校验实施方案，方案需要符合以下要求：
 - a) 方案中需根据试验段长度设置试验段起始和终止标志线。
 - b) 试验段应按轻度、中度和重度三种压实状态进行碾压作业。
 - c) 相关校验应先进行振动压实值的智能压实检测，再进行常规质量验收指标的检测。
 - d) 常规质量验收指标的检测应分别在三种压实状态区域内进行，每种压实状态区域内的检测数量应不小于 6 组。
- 7.3.2.4 振动压实值与常规质量验收指标之间的相关系数应按最小二乘法计算，相关系数不应小于 0.70。
- 7.3.2.5 试验段的填筑环境发生下列任一情况变化时，相关校验工作应重新进行。
 - a) 路基填料、含水量及分层厚度等发生变化。
 - b) 加载用振动压路机或其振动压实工艺参数发生变化。
 - c) 检测设备发生变化。

7.3.3 试验段施工

- 7.3.3.1 试验段应按照轻度、中度和重度三种压实状态分别进行碾压作业，如图 4 所示。

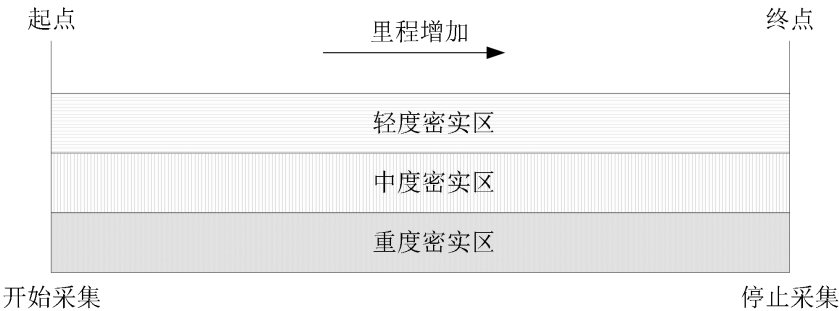


图 4 压实状态分区示意图

7.3.3.2 试验段施工流程如图 5 所示。

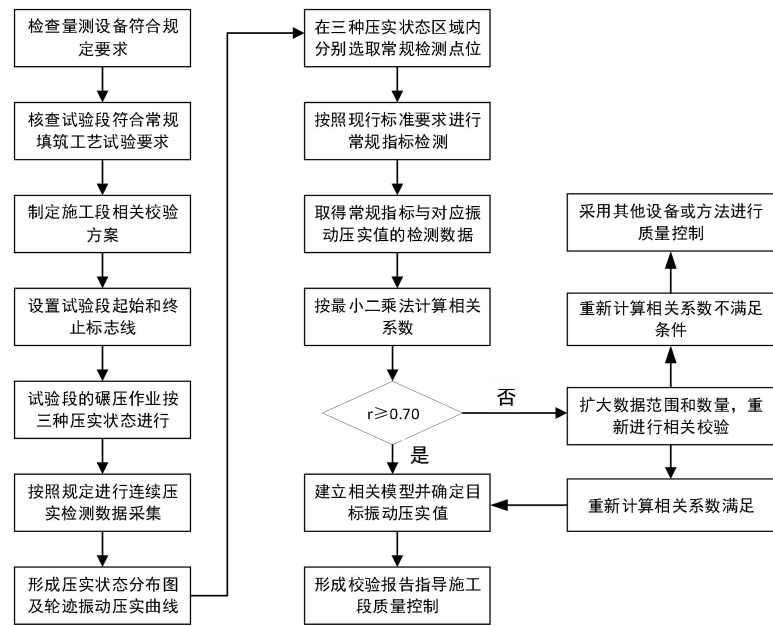


图 5 试验段施工流程

7.3.3.3 每种压实状态进行智能压实检测时，要求如下：

- a) 先对试验段的碾压面进行振动压实值的智能压实测试，再进行常规检验指标的测试。
- b) 装备有检测设备的振动压路机在进入试验段起始线之前应达到正常振动状态。
- c) 振动压路机在智能压实检测过程中应严格按照本规范第 4.2 条第 4 款规定的速度匀速行驶。
- d) 智能压实检测应采用平碾方式对整个碾压面进行碾压量测，振动压路机相邻碾压轮迹之间的重叠宽度应控制在 10cm 以内。

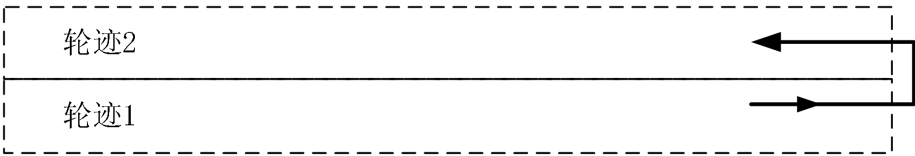


图 6 平碾施工示意图

- e) 振动压路机行驶到达起始线前开始智能压实检测的数据采集，离开终止线后停止采集。

7.3.4 高精度定位技术

7.3.4.1 高精度定位技术目的

公路路基填料质量存在变异性，通过高精度定位技术的应用对碾压参数（松铺厚度、碾压遍数、碾压速度）进行控制，与振动压实VCV值相配合，实现路基智能压实控制系统的“双控”。

7.3.4.2 高精度定位技术施工工艺流程见图 7。

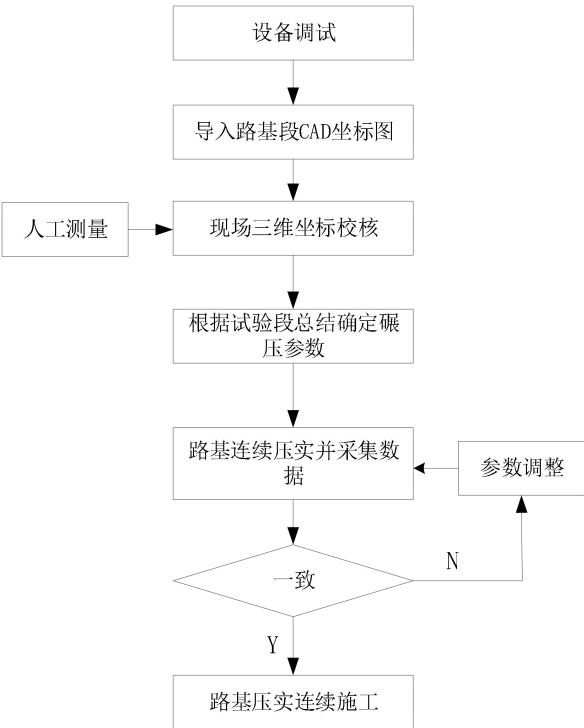


图 7 高精度定位技术施工工艺流程

7.3.4.3 三维坐标校验

- a) 智能压实控制系统安装在压路机上，处于不断振动状态，首先需要与人工测量高程进行对比分析，确定最终的参数。
- b) 碾压前用石灰在碾压轮迹中心处每隔 5m 画一个标记点，然后用 GPS 测量设备，分别测出碾压后每个点高程坐标，再将测得的数据绘制成曲线，与智能压实控制系统采集的 GPS 高程变化曲线对比，判断其精度和准确性，如图 8 所示。

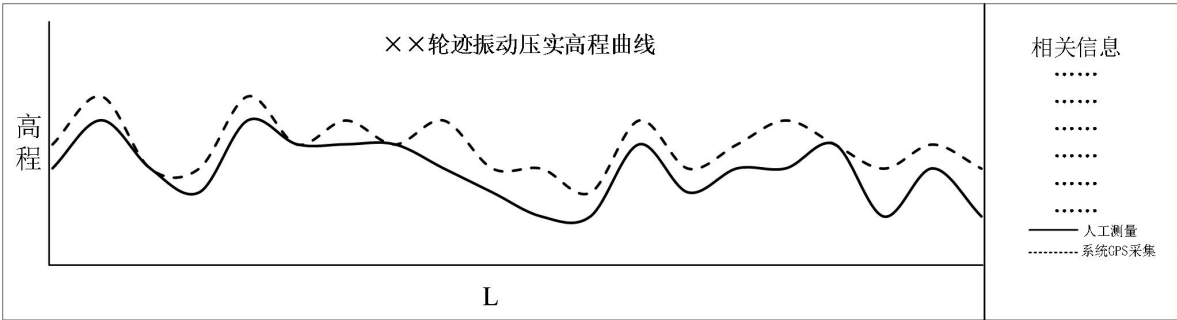


图 8 高程变化曲线

7.3.4.4 一般要求

- a) 将便携式基站安装在地势开阔、便于保养维护的环境。
- b) 路基高程坐标导入系统时应根据系统需求对坐标进行转换。
- c) 试验段智能压实控制系统采集的 GPS 高程值与人工测量的高程差值在不影响压实质量的范围之内视采集的高程有效，否则将重新调整相关碾压参数（铺层厚度、碾压厚度、碾压轨迹、运行速度等），重新采集数据。

d) 确定系统采集的 GPS 高程值有效后, 根据相邻的两次采集高程数据差小于规范规定的差值可判定此时路基压实质量满足该条规定。

7.3.5 相关校验操作要求

7.3.5.1 相关校验的智能压实检测结果应包含碾压面压实状态分布图和每一碾压轮迹的振动压实曲线。

7.3.5.2 相关性校验的常规质量验收指标检测点应根据智能压实检测结果选取, 并符合下列规定:

- a) 根据压实状态分布图, 在轻度、中度和重度三种压实状态区域内至少各选 6 个点。
- b) 每种压实状态区域内的检测点应根据轮迹振动压实曲线, 按照振动压实值低、中、高三种情况, 在振动压实曲线变化比较平缓的位置选取, 如图 9 所示。

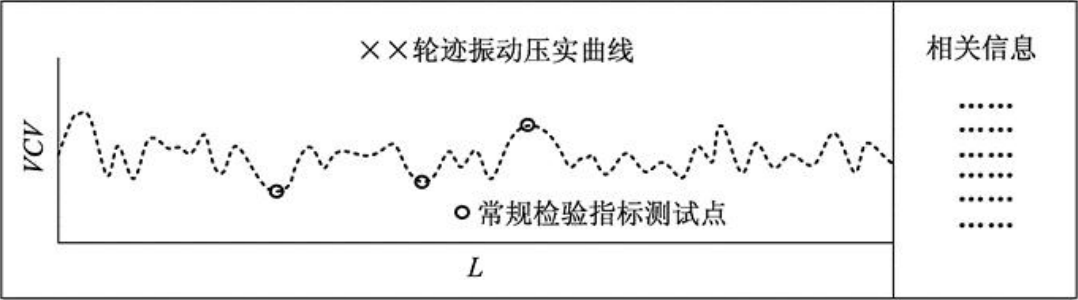


图 9 常规检测点选取示意图

c) 常规质量验收指标检测点所对应的智能压实检测数据应做好相应记录。

7.3.5.3 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 JTG F80 中的压实合格标准。

7.3.6 相关性计算

7.3.6.1 智能压实振动压实值与常规质量验收指标之间的相关系数应按下列公式计算:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7.3.1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.3.2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (7.3.3)$$

式中:

- x ——常规质量验收指标;
- 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。

2 智能压实振动压实值与常规质量验收指标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智能压实振动压实值检测结果的回归模型如下

$$y = a + bx \quad (7.3.4)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{7.3.5}$$

式中：
 x ——常规质量验收指标；
 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；
 a, b ——回归系数。

2) 根据智能压实检测结果确定常规质量验收指标检测结果的回归模型如下：

$$x = c + dy \tag{7.3.6}$$

$$c = \bar{x} - d\bar{y}; \quad d = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \tag{7.3.7}$$

式中：
 x ——常规质量验收指标；
 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。

7.3.7 试验段结果分析

- 7.3.7.1 相关校验结果应包括振动压实值与常规质量验收指标之间的相关系数、线性回归模型和目标振动压实值等。
- 7.3.7.2 振动压实值与常规质量验收指标之间的相关系数不小于 0.70 时，后续施工段的压实质量可采用智能压实控制系统及其相关校验结果进行控制。
- 7.3.7.3 目标振动压实值应采用本规范式 (7.3.4) 的线性回归模型，根据常规质量验收指标的合格值进行确定，如图 10 所示。其公式如下：

$$[VCV] = a + b[x] \tag{7.4.8}$$

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；
 $[VCV]$ ——目标振动压实值；
 a, b ——回归系数。

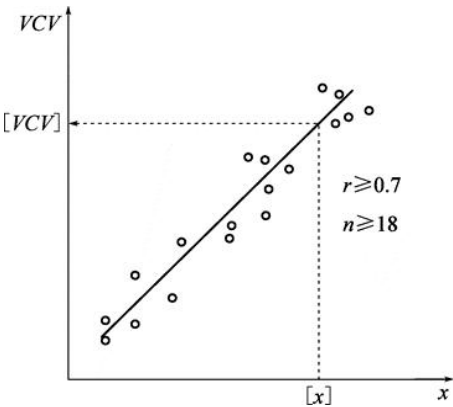


图 10 目标振动压实值示意

7.3.7.4 常规质量验收指标的检测结果可采用本规范式（7.3.7）的线性回归模型预测。其公式如下：

$$\hat{x} = c + dvcv_i$$

(7.4.9)

式中：

- $\hat{x}$ ——常规质量验收指标检测预测值；
- vcv_i ——振动压实值检测结果；
- c,d ——回归系数。

7.3.7.5 相关校验完成后应及时编制相关校验报告，作为智能压实控制的压实质量报告组成部分，其内容和样式可按本规范附录 B 执行。

7.3.8 路基智能压实“双控”

7.3.8.1 在试验段通过管理软件平台，实时调整路基填筑过程中压路机的碾压参数，进行施工工艺的数字化、自动化监控，达到智能压实振动压实值（VCV）和碾压参数“双控”效果。

7.3.8.2 当振动压实 VCV 值与碾压参数均在规定范围内时，认为路基智能压实质量“合格”，如图 11 所示。

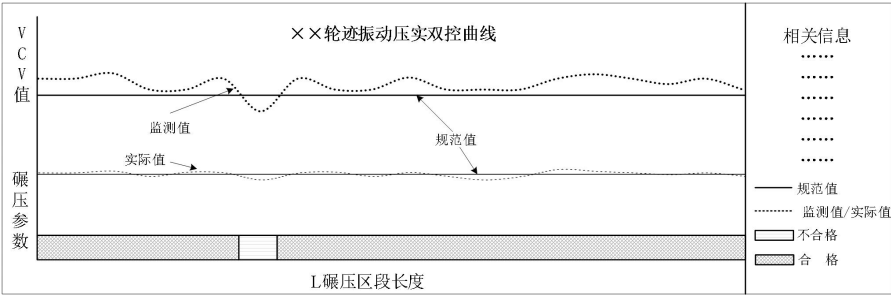


图 11 智能压实“双控”曲线图

8 施工质量管理

8.1 质量检测

8.1.1 公路路基填筑工程的智能压实质量检测应在填筑碾压过程控制完成后的碾压面上进行，确定碾压面压实状态分布和压实程度分布状况。

8.1.2 智能压实质量检测工艺流程如图 12 所示。

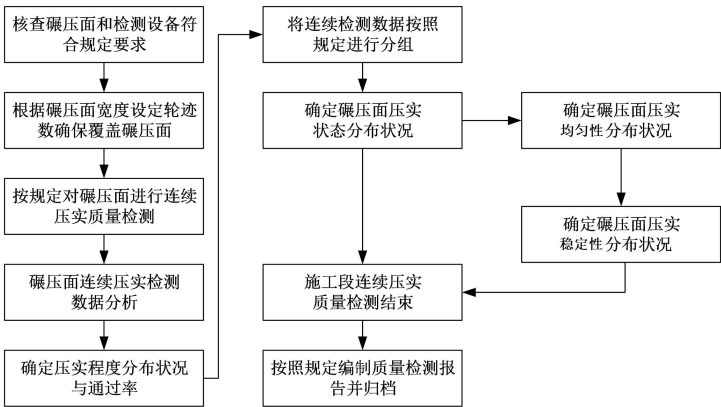


图 12 智能压实质量检测工艺流程图

- 8.1.3 施工段碾压面的智能压实质量检测数据分析应符合下列规定：
- a) 施工段智能压实质量检测数据的统计分析宜按 100m 长度划分为多个分析段进行，不足 100m 的施工段可单独取作一段。
 - b) 每 100m 长度的分析段宜统计智能压实质量检测数据的最大值、最小值、平均值、极差、标准差、变异系数及分布直方图等。
 - c) 施工段碾压面进行压实状态和压实程度分析的智能压实质量检测数据应为施工段实际长度的全部检测数据。

8.1.4 施工段碾压面压实状态的划分应符合下列规定：

8.1.4.1 碾压面智能压实质量检测取得的数据按照从低值到高值的顺序进行排序，满足 $VCV_i < VCV_{i+1}$ ($i=1,2,\dots,n$ 为碾压面检测单元数量)。

8.1.4.2 排序后的智能压实质量检测数据序列应以一定的间隔进行分组，数据分组宜按下式进行：

$$(VCV_i, VCV_i + \Delta VCV) \tag{7.4.10}$$

式中：

ΔVCV ——分组间距，可根据相关方程，按照不超过对应的常规质量验收指标合格值 20% 的变化率进行确定。

8.1.4.3 分组数据应按照由低值到高值的顺序和相应的位置进行图示和分布，形成碾压面压实状态分布图，其中每一分组代表一种压实状态，其内容和样式可按本规范附录 G 执行。

8.1.4.4 施工段碾压面压实质量薄弱区域应在压实状态分布图中的相对低值分组中选取，如图 13 所示。

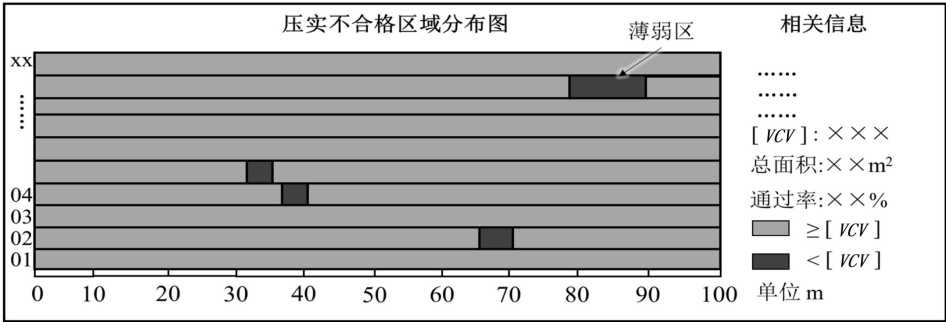


图 13 压实薄弱区域示意图

8.1.4.5 施工段碾压面压实程度分布与通过率应按照附录 A 执行，压实质量分布图的内容和样式可按本规范附录 D 执行。

8.1.4.6 公路路基填筑工程压实质量验收时应按照现行路基相关验收标准进行，并符合下列规定：

- a) 普通填料区间正线压实系数 6 个抽检点中选取 1 个点在压实质量薄弱区域内，另外 5 个点分别为距路基边线 1m 处左、右各 2 点，路基中部 1 点；地基系数 4 个抽检点中选取 1 个点在压实质量薄弱区域内，另外 3 个点分别为距路基边线 2m 处左、右各 1 点，路基中部 1 点。
- b) 改良区间正线土压实系数 6 个抽检点中选取 1 个点在压实质量薄弱区域内，另外 5 个点分别为距路基边线 1m 处左、右各 2 点，路基中部 1 点；无侧限抗压强度 3 个抽检点中选取 1 个点在压实质量薄弱区域内，另外 2 个点根据薄弱点所在位置补充确定。

8.1.5 施工段智能压实质量检测完成后应及时编制包含压实状态分布图和压实程度分布图在内的智能压实质量检测报告，作为智能压实控制的压实质量报告组成部分，其内容和样式可按本规范附录 F 和附录 G 执行。

8.2 压实质量复核

- 8.2.1 智能压实质量复核是针对整个工作面更大范围的校核，在智能压实施工过程常规复核通过后进行。
- 8.2.2 智能压实施工结束后，在工作面任意抽取有代表性的点进行压实质量常规检测，按照现行路基相关验收标准对智能压实质量进行复核。
- 8.2.3 常规复核的合格率原则上应达到 100%，否则对智能压实施工过程记录进行排查，发现薄弱区并采取措施进行补强，如图 14 所示。
- 8.2.4 压实质量复核报告内容与样式可按本规范附录 H 执行。



图 14 压实质量复核

8.3 压实质量报告

- 8.3.1 智能压实控制的压实质量报告作为全面反映路基压实质量信息的技术文件，显示、存储和传输应符合下列规定：
- a) 压实质量报告应以图形和数字方式显示整个碾压区域的压实质量状况。
 - b) 压实质量报告相关信息应采用易于读取和存储的数据格式。
 - c) 压实质量报告除应进行常规存档外，尚应进行电子数据存档。
 - d) 压实质量相关信息的传输内容应符合本规范第 7.1.1 条、7.1.2 条和第 7.1.3 条的规定。
- 8.3.2 智能压实控制的压实质量报告应全面提供各种压实质量信息，主要应包括相关校验报告、压实过程归档报告和智能压实质量检测报告，并符合下列规定：
- a) 相关校验报告应包括对比试验数据、相关系数、回归模型等，并附有试验段压实状态分布图和碾压轮迹振动压实曲线。相关校验报告内容和样式可按本规范附录 B 执行。
 - b) 压实过程归档报告应包括碾压段工程信息、振动压路机信息、压实质量信息等，提供每一碾压遍数压实数据的均值、最大值、最小值、变异系数、压实均匀性和压实稳定性等统计量。压实过程归档报告内容与样式可按本规范附录 I 执行。
 - c) 智能压实质量检测报告应包括压实状态分布图、压实程度分布图以及薄弱区域的压实质量验收资料。
 - d) 每幅压实状态分布图和压实程度分布图显示的碾压面长度宜为 100m, 施工段长度不足 100m 按实际长度显示，其内容与样式可按本规范附录 F、附录 G 执行。
- 8.3.3 智能压实控制的压实质量报告除应提供图形方式的压实质量状况外，还应包括下列与其相关的附加信息：
- a) 工程信息：文件编号，施工段起止里程，填筑宽度、填筑厚度填筑层位，填料类型，碾压面积，碾压遍数，碾压检测日期与时间等。
 - b) 加载信息：振动压路机自重、振动质量（振动轮分配质量）、激振力、振动频率、振幅、行驶速度等。
 - c) 质量信息：常规质量验收检测的合格值及对应的目标振动压实值，检测数据的最大值、最小值、极差、平均值、变异系数，压实均匀性和压实稳定性，振动压路机工作频率的最大值、最小值和平均值，压实程度通过率，压实状态分组数及组间距，统计直方图等。

d) 其他相关信息：气候，坡度等。

8.3.4 智能压实控制的压实质量报告应在施工段智能压实控制完成后编制，以常规和电子报告形式提交建设和监理单位签字确认后存档。

附 录 A

(规范目录)

设备核查

A.1 加载设备

A.1.1 振动压路机的振动压实工艺参数,按照产品说明书和标识牌进行核实,参数应符合4.2的要求。

A.1.2 采用量测设备或通用频率计对振动频率进行检测,记录实测频率值,比较实测振动频率与额定振动频率的差值,其误差应符合5.1.3的要求。

A.1.3 选择30m~50m长的路段,振动压路机以施工碾压时的速度行驶,测其行走距离(L),记录行驶时间(t),计算振动压路机行驶速度,计算数值应符合5.1.4的要求。

A.1.4 将量测设备与振动压路机的振动频率和行驶速度相应信号接口连接,查看显示数值是否与A.1.2、A.1.3检测结果一致。

A.2 量测设备

A.2.1 量测设备的加速度传感器性能参数按照说明书进行核实,应符合5.2.1的要求。

A.2.2 量测设备的模/数转换位数按照产品说明书进行核实,采样频率根据单位时间内采集数据的数据量进行检验,应符合4.3.2的要求。

A.2.3 量测设备的振动幅值特性和振动频率特性按 JJG 676 校准,校准结果应符合5.2.3的要求。

A.2.4 智能压实检测值与常规检测指标之间的相关系数按相关校验试验进行检验,其操作见7.3节,相关系数应符合7.3.5的要求。

A.2.5 振动压路机正常碾压,开启量测设备,对系统控制软件进行校验,校验系统控制软件的数据采集、处理、分析、显示、存储、传输、管理功能及数据处理结果显示形式,应符合5.2.5的要求。

A.3 压实信息管理系统

A.3.1 智能压实控制系统配套的信息管理软件按其菜单进行检验。开启相应功能,检验压实信息接收、处理、显示、生成电子报告和传输效果,应符合8.2.3的要求。

A.3.2 智能压实控制系统的远程信息管理平台按菜单进行检验。开启相应功能,检验压实信息接收、处理、显示、监控、管理,应符合5.6.1的要求。

附 录 B
(规范性录)

相关性校验试验

B.1 相关性校验完成后应及时编制相关校验报告，作为智能压实质量报告的组成部分，其内容和样式见表B.1。

表B.1 相关性校验试验报告

试验编号

工程名称

试验段起止桩号		振动压路机型号					
填层厚度		振动压实工艺参数填料类型					
量测设备		常规质量验收指标					
编号	检测数据			编号	检测数据		
	常规检验标	振动压实值	含水率		常规检验指标	振动压实值	含水率
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: $VCV=ax+b=$ _____							
VCV-x 关系图: VCV x							
常规质量验收指标规定值[x]=_____，对应的智能压实目标值[VCV]=_____。							
试验:		复核:		日期:			

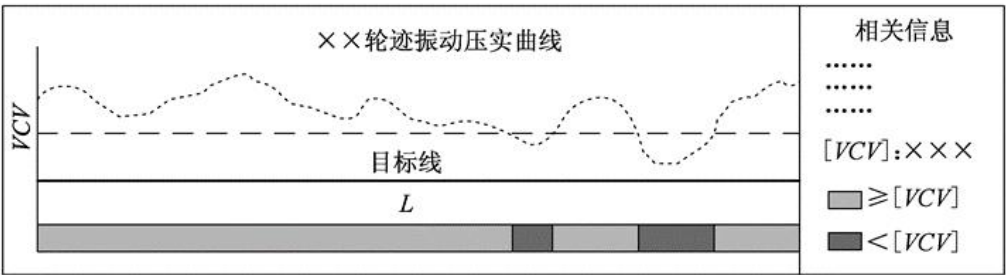
附 录 C
(规范性附录)
压实程度检测方法

C.1 压实程度判定

压实程度应根据与设定的智能压实目标值比较进行判定，如式C-1所示。第*i*个检测单元压实程度通过的判定应按下式进行：

$$VCV_i \geq [VCV]$$
 (C-1)

式中：
 VCV_i ——第*i*个检测单元智能压实的检测结果；
 $[VCV]$ ——智能压实目标值。



图C.1 检测单元压实程度判定示意图

C.2 压实程度的通过率

按通过面积（通过的检测单元数量）占碾压面积（检测单元总数量）的多少计算。通过率根据公路等级确定，一般按不小于90%进行控制，且不通过的检测单元应呈分散分布状态，如图C.2所示。

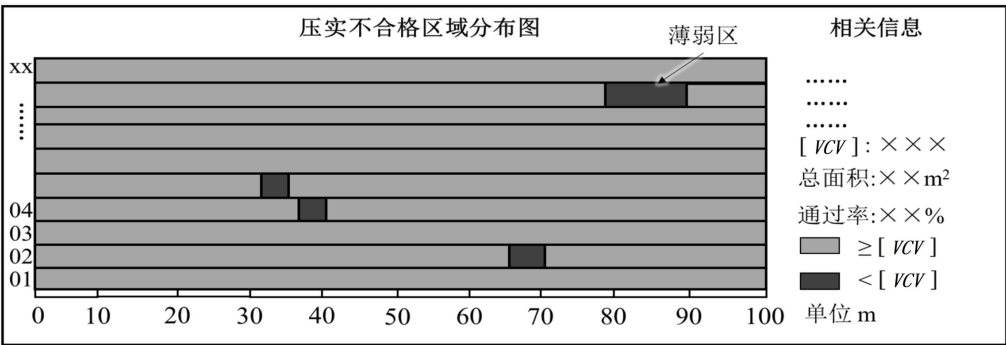


图 C.2 压实程度不合格区域分布状态示意图

附录 D
(规范性附录)
压实均匀性检测方法

D.1 压实均匀性判定

压实均匀性判定可通过碾压轮迹上振动压实曲线的波动变化程度和智能压实检测数据的分布特征进行判定。

D.2 压实均匀性控制

压实均匀性控制宜按智能压实检测数据不小于其平均值的80%，即 $vcv_i > 0.8\overline{vcv}$ 进行控制，如图D.1所示：

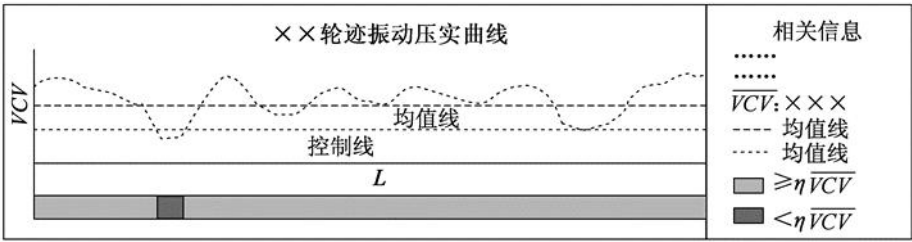


图 D.1 压实均匀性检测判定示意图

附 录 E

(规范性附录)

压实稳定性控制方法

E. 1 压实稳定性判定与控制条件

压实稳定性判定和控制应采用振动压路机同一轮迹相同行驶方向的振动压实检测数据进行。

E. 2 压实稳定性控制方法

压实稳定性应按同一碾压轮迹上前后两遍智能压实检测值变化率不大于 δ 进行控制,变化率可表示为 $\left[\left|VCV_{i+1}-VCV_i\right|/VCV_i\right]\times 100\%$ 。如图E. 1所示, 其中 δ 为规定的精度, 可根据相关方程, 按照对应的常规质量验收指标数据变化率进行确定, 一般取1%~3%。

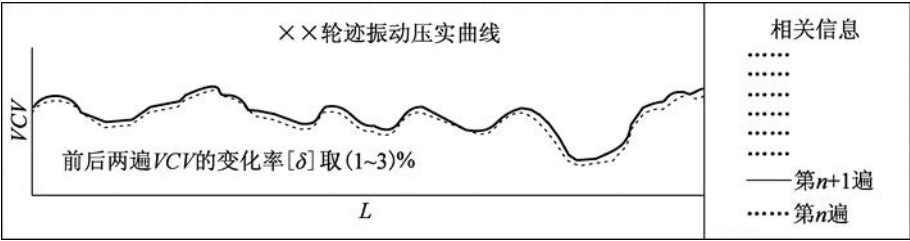
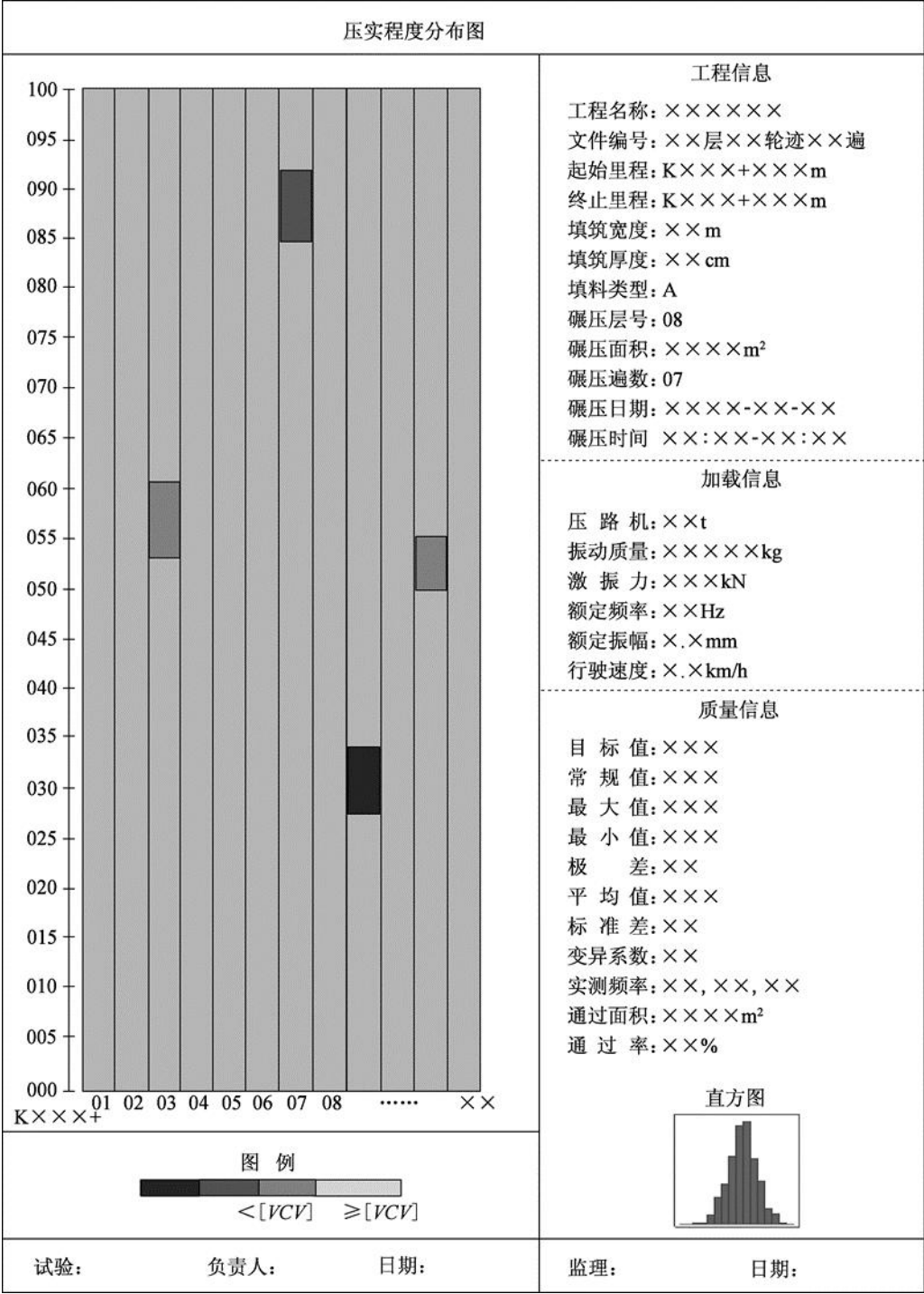
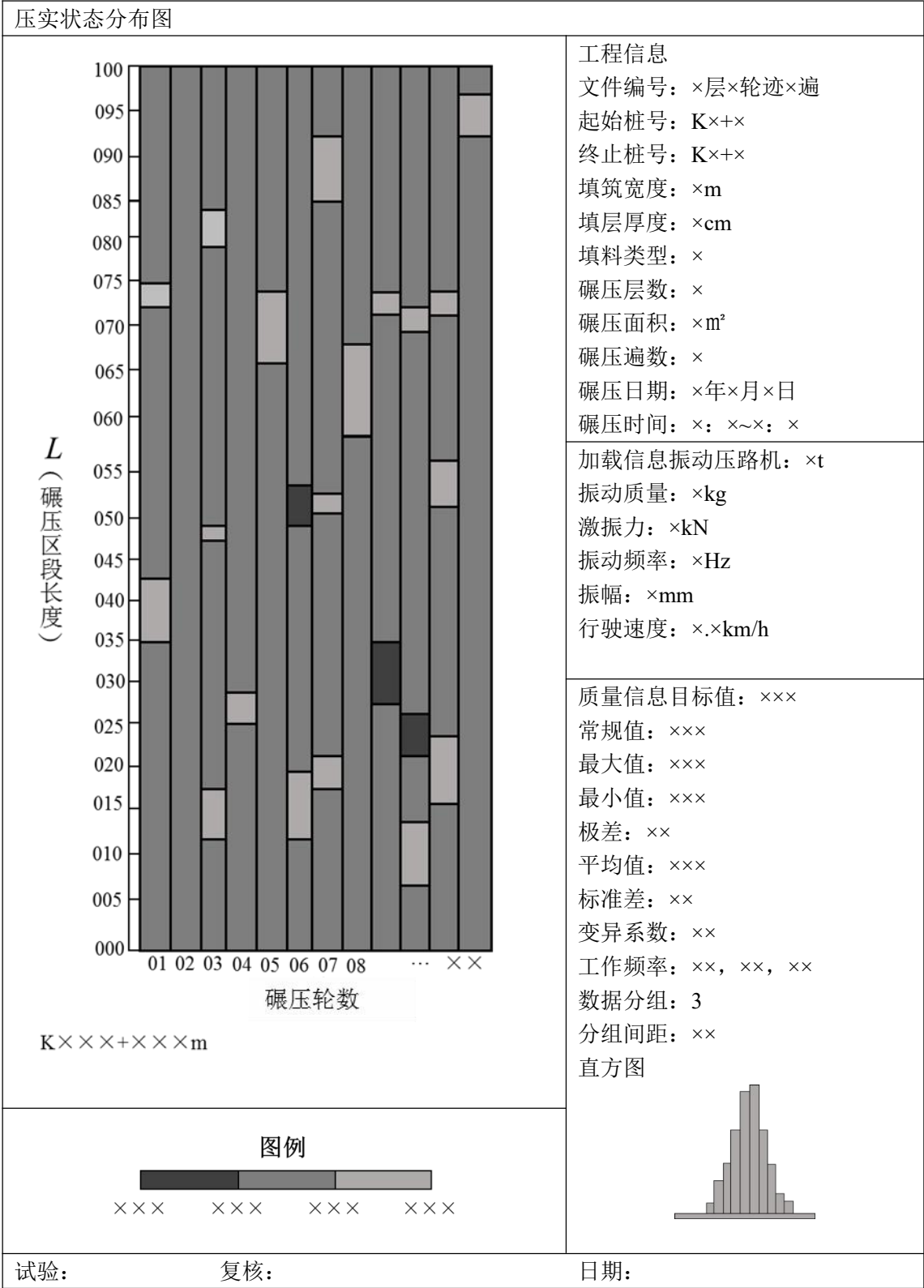


图 E. 1 压实稳定性判定与控制示意图

附录 F
(规范性附录)
压实程度分布图



附录 G
(资料性附录)
压实状态分布图



附 录 I
(资料性附录)

压实过程控制报告

工程信息								
项目名称								
起始桩号		碾压层数						
终止桩号		碾压面积						
填料类型		碾压轮数						
填层厚度		碾压遍数						
填筑宽度		碾压日期						
加载信息								
振动压路机		振动频率						
振动质量		振幅						
激振力		行驶速度						
质量信息								
目标值			规定值					
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								
07								
08								
09								
10								
K×××+××× K×××+××× 								
试验：			复核：			日期：		