

Q/CR

中国铁路总公司企业标准

P

Q/CR 9210—2015

铁路路基填筑工程连续压实 控制技术规程

**Technical Specification for Continuous Compaction Control of
Fill Engineering of Railway Earth Structure**

2015-02-16 发布

2015-06-01 实施



定 价：16.00 元

中国铁路总公司 发布

中国铁路总公司关于印发
《高速铁路路基工程施工技术规程》
等 16 项建设标准的通知

铁总建设〔2015〕80 号

现将《高速铁路路基工程施工技术规程》(Q/CR 9602—2015)、《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》(Q/CR 9210—2015)、《铁路路基工程施工机械配置技术规程》(Q/CR 9224—2015)、《铁路混凝土拌和站机械配置技术规程》(Q/CR 9223—2015)、《铁路桥梁工程施工机械配置技术规程》(Q/CR 9225—2015)、《铁路钢桥制造规范》(Q/CR 9211—2015)、《铁路桥梁钻孔桩施工技术规程》(Q/CR 9212—2015)、《高速铁路桥涵工程施工技术规程》(Q/CR 9603—2015)、《高速铁路隧道工程施工技术规程》(Q/CR 9604—2015)、《铁路隧道超前地质预报技术规程》(Q/CR 9217—2015)、《铁路隧道监控量测技术规程》(Q/CR 9218—2015)、《铁路隧道施工抢险救援指南》(Q/CR 9219—2015)、《铁路隧道工程施工机械配置技术规程》(Q/CR 9226—2015)、《铁路建设项目现场管理规范》(Q/CR 9202—2015)、《铁路建设项目工程试验室管理标准》(Q/CR 9204—2015)、《铁路工程试验表格》(Q/CR 9205—2015)等 16 项建设标准印发给你们,自 2015 年 6 月 1 日起施行。

原铁道部印发的《高速铁路路基工程施工技术指南》(铁建设〔2010〕241 号)、《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》(TB 10108—2011)、《铁路路基工程施工机械配置指导意见》(铁建设

中国铁路总公司企业标准
铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程
Q/CR 9210—2015

*

中国铁道出版社出版发行
(100054,北京市西城区右安门西街 8 号)
出版社网址:<http://www.tdpress.com>
中国铁道出版社印刷厂印
开本:850 mm×1 168 mm 1/32 印张:2.25 字数:62 千
2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

书号:15113·4380 定价:16.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社发行部联系调换。

发行部电话:路(021)73174,市(010)51873174

[2012]113号)、《铁路混凝土拌和站机械配置指导意见》(铁建设[2012]113号)、《铁路桥梁施工机械配置指导意见》(铁建设[2010]125号)、《铁路钢桥制造规范》(TB 10212—2009)、《铁路桥梁钻孔桩施工技术指南》(TZ 322—2010)、《高速铁路桥涵工程施工技术指南》(铁建设[2010]241号)、《高速铁路隧道工程施工技术指南》(铁建设[2010]241号)、《铁路隧道超前地质预报技术指南》(铁建设[2008]105号)、《铁路隧道监控量测技术规程》(TB 10121—2007)、《铁路隧道施工抢险救援指导意见》(铁建设[2010]88号)、《铁路隧道施工机械配置的指导意见》(铁建设函[2008]777号)、《铁路建设项目现场管理规范》(TB 10441—2008)、《铁路建设项目工程试验室管理标准》(TB 10442—2009)、《铁路工程试验表格》(铁建设函[2009]27号)等16项标准同时停止执行。

16项建设标准由中国铁路总公司建设管理部负责解释,单行本由经规院、中国铁道出版社组织出版发行。

中国铁路总公司

2015年2月16日

前 言

本规程是根据构建中国铁路总公司铁路工程建设标准体系要求,在原铁道部《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》(TB 10108—2011)的基础上修编而成。

本规程在编制过程中,与现行国家、行业标准和铁路总公司相关标准进行了协调;调整了原规程中不符合中国铁路总公司铁路建设项目特点和要求的有关内容;吸纳了原规程发布后在铁路工程建设中的实践经验;配套修改了标准动态管理工作中对相关标准已作的局部修订内容,为铁路工程建设施工质量和安全提供技术支撑。

本规程共分6章,主要包括:总则、术语和符号、基本规定、相关校验、连续压实控制、压实质量报告,另有4个附录。

本规程主要修订技术内容如下:

1. 增加了叠碾和平碾的定义,明确了碾压遍数的规定。
2. 补充完善了压实信息管理内容,修订了振动压路机的技术要求。
3. 补充完善了相关校验内容要求。
4. 增加了碾压过程控制需要提交的成果及压实过程归档报告格式。
5. 增加了压实信息传输的内容要求。

在本规程执行过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见和有关资料寄交西南交通大学(成都市二环路北一段111号,邮政编码:610031),并抄送中国铁路经济规划研究院(北京市海淀区北蜂窝

路乙 29 号, 邮政编码: 100038), 供今后修订时参考。

本规程由中国铁路总公司建设管理部负责解释。

主编单位: 西南交通大学。

参编单位: 中铁二院工程集团有限责任公司, 中铁二局集团有限公司, 中国铁道科学研究院。

主要起草人: 徐光辉、蔺安林、蔡 英、何广杰、黄 俊、高 辉、秦小林、卿三惠、张千里、胡 建、孙学奎、张家玲、刘 洋、张克跃、严 健、曾 勇。

主要审查人: 顾湘生、周诗广、彭泽仁、李海光、雷 涛、孙宏林、尹亚雄、李怒放、尤昌龙、吕文件、顾怀义、宋晓东、李安洪、史存林、唐 红、吴 波、吴连海、杨常所。

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 加载设备	5
3.3 检测设备	6
3.4 信息管理	7
3.5 工艺流程	7
4 相关校验	8
4.1 一般规定	8
4.2 现场操作	9
4.3 数据计算	10
4.4 校验结果	12
5 连续压实控制	14
5.1 一般规定	14
5.2 现场操作	15
5.3 过程控制	16
5.4 质量检测	19
6 压实质量报告	22
附录 A 相关校验报告	24
附录 B 压实过程归档报告	25

附录 C 压实状态分布图	26
附录 D 压实程度分布图	27
本规程用词说明	28
《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》条文说明	29

1 总 则

- 1.0.1** 为统一铁路路基填筑工程连续压实控制技术要求,提高路基填筑质量,制定本规程。
- 1.0.2** 本规程适用于采用连续压实控制技术进行铁路路基填筑工程施工质量的过程控制。
- 1.0.3** 铁路路基填筑工程应积极采用连续压实控制技术,体现智能化与信息化施工的技术特点。
- 1.0.4** 铁路路基填筑工程的连续压实控制系统应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。
- 1.0.5** 铁路路基填筑工程连续压实控制应结合填筑工艺试验进行相关校验,建立振动压实值与常规质量验收指标之间的相关关系,确定施工质量过程控制参数。
- 1.0.6** 铁路路基填筑工程连续压实的作业人员应经过专门技术培训后方可上岗。
- 1.0.7** 铁路路基填筑工程连续压实的操作应符合路基现行相关标准关于安全生产的规定。
- 1.0.8** 铁路路基填筑工程连续压实的检测设备应定期进行校准。
- 1.0.9** 铁路路基填筑工程连续压实的压实质量报告应作为路基填筑质量的验收资料进行存档。
- 1.0.10** 铁路路基填筑工程施工质量过程控制除应执行本规程外,尚应符合国家、行业及中国铁路总公司现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 连续压实控制 continuous compaction control

路基填筑碾压过程中,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响应信号,建立检测评定与反馈控制体系,实现对整个碾压面压实质量的实时动态监测与控制。

2.1.2 连续压实检测 continuous compaction check

路基填筑碾压过程中,利用振动压路机作为加载设备,采用连续压实控制技术对整个碾压面的物理力学性状进行的检测。

2.1.3 压实状态 compaction state

路基填筑碾压过程中,路基结构在压路机作用下所呈现出的物理力学性状。

2.1.4 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路基压实状态的指标。

2.1.5 振动压实工艺参数 vibratory compaction technology parameter

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

2.1.6 叠碾 superposition compaction

振动压路机在一个碾压轮迹上进行的往返式碾压作业。其中往返一次记为一遍。

2.1.7 平碾 sequence compaction

振动压路机在碾压面上依次进行的前进式碾压作业。其中相

邻两个轮迹碾压搭接宽度不大于 10 cm,前进碾压一次记为一遍。

2.1.8 压实程度 compaction degree

路基填筑碾压过程中,表征碾压层物理力学状态的指标达到规定值的程度。

2.1.9 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。

2.1.10 压实均匀性 compaction uniformity

路基填筑碾压过程中,碾压面上各部分物理力学性状(压实状态)分布的一致性。

2.1.11 检测单元 check unit

振动压路机连续压实检测时的最小分辨单位,以 m^2 计,是压路机振动轮宽度与行驶距离的乘积。一个检测数据代表一个检测单元面积上压实状态的平均值,本规程规定一个检测单元的面积 1.0 m^2 。

2.1.12 相关校验 correlation verify

采用对比试验方式建立振动压实值与常规质量验收指标之间相关关系的过程。

2.2 符 号

V_{CV}——振动压实值

V_{CV_i}——碾压面上第 i 个检测单元振动压实值的检测结果

$\overline{\text{V}_{\text{CV}}}$ ——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,简称目标值

$\Delta \text{V}_{\text{CV}}$ ——碾压面压实状态划分时连续压实检测数据序列分组的组间距

r ——相关系数

δ ——压实稳定性的控制精度

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 铁路路基填筑工程的连续压实控制系统应由加载设备、检测设备和压实信息管理系统等组成,如图 3.1.1 所示,并符合下列规定:

1 连续压实控制系统应具备对路基填筑层的加载和振动响应信号实时量测与处理功能。

2 连续压实控制系统应具备根据反馈信息对填筑质量进行实时评定与控制功能。

3 连续压实控制系统应具备对检测数据进行传输和管理功能。

4 压实质量相关信息的采集、存储和传输应符合国家有关信息安全的规定。

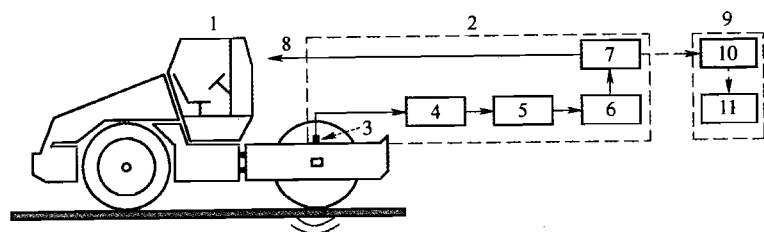


图 3.1.1 连续压实控制系统组成框图

1—加载设备;2—检测设备;3—传感器;4—信号调理;5—数据采集;6—分析处理;
7—显示;8—反馈控制;9—压实信息管理系统;10—后台信息管理;11—远程信息管理

3.1.2 铁路路基填筑工程连续压实控制技术可应用于填筑碾压过程控制和碾压面的连续压实质量检测。

3.1.3 填筑碾压过程控制应包括压实程度、压实均匀性和压实稳定性等压实质量控制内容。

3.1.4 连续压实质量检测应包括确定碾压面压实状态分布和压实程度分布等内容,识别压实质量薄弱区域。

3.1.5 铁路路基填筑工程的连续压实控制应符合下列规定:

1 加载和检测设备在使用前应进行检查,符合相关规定方可使用。

2 施工段实施连续压实控制前应在相应的试验段上进行相关校验,以确定连续压实控制系统的适用性和目标振动压实值等参数。

3 连续压实过程控制应在振动碾压作业过程中根据实时检测的相关信息进行压实质量反馈控制。

4 连续压实质量检测确认的压实质量薄弱区域应作为压实质量验收的控制区域。

3.1.6 铁路路基填筑工程采用连续压实控制时,路基工程施工质量验收尚应执行《高速铁路路基工程施工质量验收标准》TB 10751 和《铁路路基工程施工质量验收标准》TB 10414。

3.2 加载设备

3.2.1 加载设备应采用振动式压路机,并应符合下列要求:

1 振动压路机自重不宜小于 16 t。

2 振动压实工艺参数应明确标识。

3 碾压量测过程中振动压路机振动频率的波动范围不应超过规定值的 ± 0.5 Hz。

4 碾压量测过程中振动压路机应保持匀速行驶,行驶速度宜为 3.0 km/h,最大不应超过 4.0 km/h。

5 振动压路机宜提供振动频率和行走速度相应信号接口。

6 振动压路机相应位置上宜预留检测设备安装接口。

3.3 检测设备

3.3.1 检测设备应由振动传感器、信号调理(放大、滤波)、数据采集与分析处理、数据记录、显示装置和系统控制软件等部分组成,其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 $10 \text{ mV}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$,量程不应小于 $10g$ 。

3 数据采集装置的模/数转换位数不应小于 16 位,采样频率不应小于 400 Hz 。

4 系统控制软件应能将采集到的振动信号进行实时分析与处理、转换成压实质量相关信息,并能进行反馈控制以及压实信息的传输和管理。

5 显示装置应实时以数字和图形方式显示压实质量相关信息。

3.3.2 检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。

3.3.3 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上,如图 3.3.3 所示。

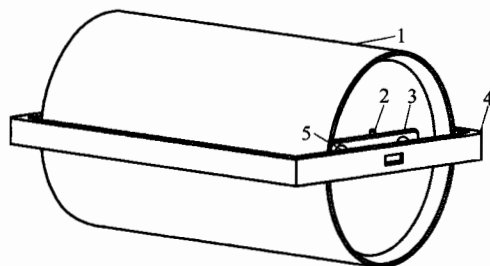


图 3.3.3 传感器安装位置示意图

1—振动轮;2—传感器;3—内机架;4—外机架;5—减震器

3.4 信息管理

3.4.1 压实信息管理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。

3.4.2 后台管理系统应具备对现场采集的压实质量信息进行进一步处理、生成压实质量报告(包括电子数据报告)并以一定形式传输给远程管理终端的能力。

3.4.3 远程管理系统应具备接受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能力。

3.5 工艺流程

3.5.1 铁路路基填筑工程连续压实控制应按照“设备检查、相关校验、过程控制、质量检测”四阶段进行。

3.5.2 铁路路基填筑工程连续压实控制工艺流程如图 3.5.2 所示。

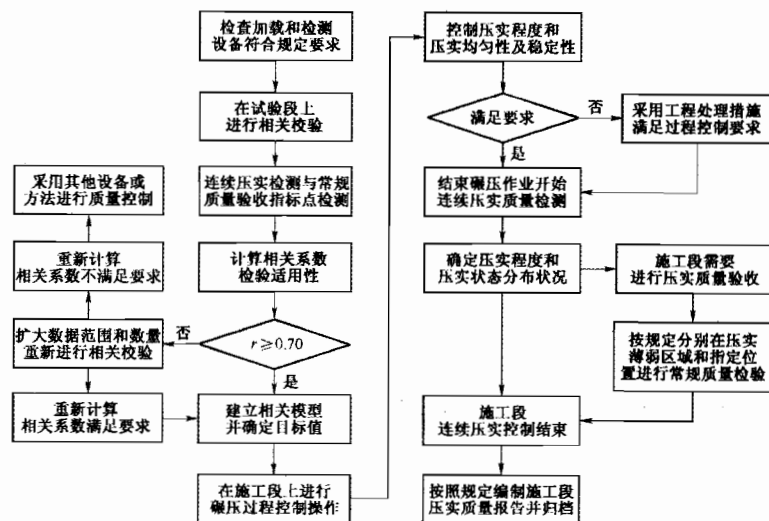


图 3.5.2 连续压实控制工艺流程图

4 相 关 校 验

4.1 一 般 规 定

4.1.1 相关校验应包括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。

4.1.2 相关校验的试验段应结合常规填筑工艺试验进行,填筑工艺试验应满足现行相关标准的要求,并符合下列规定:

1 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。

2 试验段长度不宜小于 100 m。

3 试验段的碾压面应平整且无积水,并符合相关标准要求。

4 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。

5 试验段及采用的振动压路机等相关资料应记录归档。

4.1.3 相关校验前连续压实控制加载设备和检测设备的检查应符合下列规定:

1 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,行驶速度匀速。

2 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。

4.1.4 相关校验前应制定校验方案,并符合下列规定:

1 根据试验段长度设置试验段起始和终止标志线。

2 试验段应按轻度、中度和重度三种压实状态进行碾压作业。

3 相关校验应先进行振动压实值的连续压实检测,再进行常

规质量验收指标的检测。

4 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。

4.1.5 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。

4.1.6 施工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。

1 路基填料、含水量及填层厚度等发生变化。

2 加载用振动压路机或其振动压实工艺参数发生变化。

3 检测设备发生变化。

4.2 现 场 操 作

4.2.1 试验段应按照本规程第 4.1.4 条第 2 款规定进行碾压并具备三种压实状态。

4.2.2 试验段的每种压实状态均应进行一次连续压实检测,其操作应符合下列规定:

1 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。

2 振动压路机在连续压实检测过程中应采用本规程第 3.2.1 条第 4 款规定的速度以前进方式匀速行驶。

3 连续压实检测应采用平碾方式对整个碾压面进行碾压质量检测,振动压路机相邻碾压轮迹之间的重叠宽度应控制在 10 cm 之内。

4 振动压路机行驶到达起始线前开始连续压实检测的数据采集,离开终止线后停止采集。

4.2.3 相关校验的连续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。

4.2.4 相关校验的常规质量验收指标检测点应根据连续压实检测结果选取,并符合下列规定:

1 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。

2 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 4.2.4 所示。

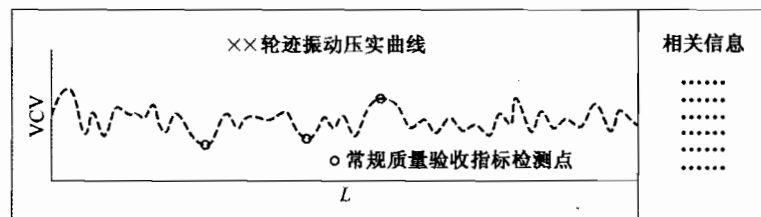


图 4.2.4 碾压轮迹上常规质量验收指标检测点选取示意图

3 常规质量验收指标检测点所对应的连续压实检测数据应做好相应记录。

4.2.5 常规质量验收指标检测应按照现行相关标准要求在选择的位置上进行,其中重度压实状态区域的检测结果应达到路基相关标准规定的压实合格标准。

4.3 数据计算

4.3.1 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:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.3.1)$$

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

式中 x ——常规质量验收指标,普通填料为地基系数,化学改良

土为压实系数;

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。

4.3.2 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振动压实值检测结果的回归模型如下:

$$y = a + bx \quad (4.3.2-1)$$

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

式中 x ——常规质量验收指标,普通填料为地基系数,化学改良土为压实系数;

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 根据振动压实值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:

$$x = c + dy \quad (4.3.2-2)$$

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

式中 x ——常规质量验收指标,普通填料为地基系数,化学改良土为压实系数;

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。

4.4 校验结果

4.4.1 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。

4.4.2 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连续压实控制系统及其相关校验结果进行控制。

4.4.3 目标振动压实值应采用本程式(4.3.2—1)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 4.4.3 所示。其公式如下:

$$[VCV] = a + b[x] \quad (4.4.3)$$

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。

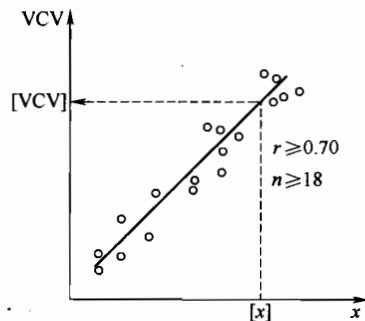


图 4.4.3 目标振动压实值确定图

4.4.4 常规质量验收指标的检测结果可采用本程式(4.3.2—2)的线性回归模型预测。其公式如下:

$$\hat{x} = c + d VCV_i \quad (4.4.4)$$

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。

4.4.5 相关校验完成后应及时编制相关校验报告, 作为连续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程附录 A 执行。

4.4.6 相关校验工艺流程如图 4.4.6 所示。

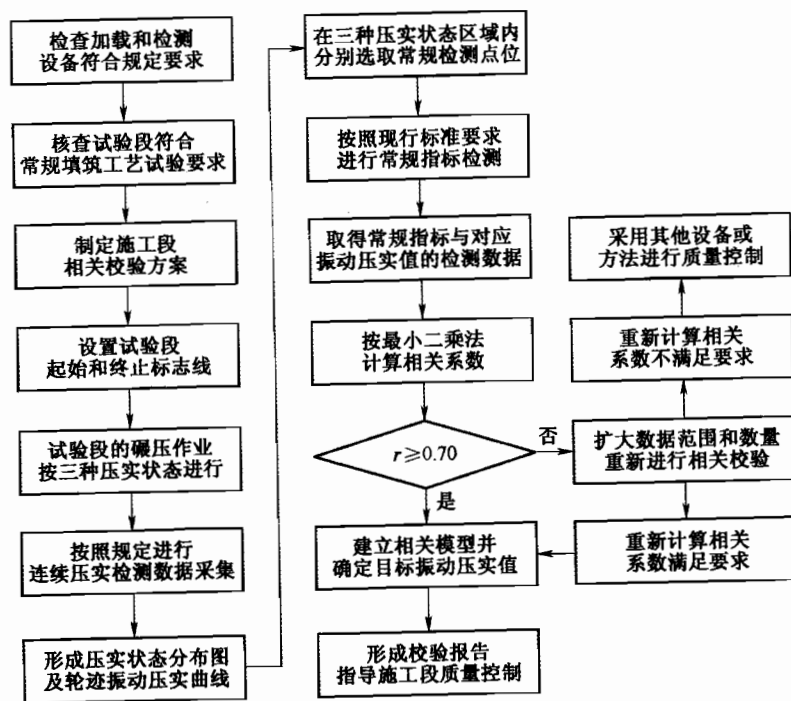


图 4.4.6 相关校验工艺流程图

5 连续压实控制

5.1 一般规定

5.1.1 连续压实控制前应对施工段和连续压实控制的加载与检测设备进行核查,并符合下列规定:

- 1 施工段的填料、含水量、填层厚度等应与试验段的参数一致,并符合路基现行相关标准要求。
- 2 振动压路机及其振动压实工艺参数应与试验段采用的一致。
- 3 检测设备应与试验段采用的一致并经过校准,且应安装正确,连接牢固。

5.1.2 连续压实控制前应制定连续压实过程控制方案,并符合下列规定:

- 1 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。
- 2 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。
- 3 连续压实控制的目标振动压实值应根据相应的相关校验结果确定。
- 4 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。

5.1.3 连续压实控制前应制定连续压实质量检测方案,并符合下列规定:

- 1 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。
- 2 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 10 cm 范围内。

3 振动压路机宜采用弱振工艺进行连续压实质量检测。

5.2 现场操作

5.2.1 连续压实过程控制的现场操作应符合下列规定:

- 1 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连续压实检测。
- 2 装备有检测设备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。
- 3 振动压路机行驶速度应符合本规程第 3.2.1 条第 4 款规定。
- 4 连续压实过程控制的数据采集应符合本规程第 4.2.2 条第 4 款规定。

5.2.2 连续压实质量检测的现场操作应符合下列规定:

- 1 连续压实质量检测应在施工段连续压实过程控制结束(碾压作业结束)时开始。
- 2 振动压路机宜从碾压面一侧开始按照本规程第 5.1.3 条第 3 款规定进行连续压实质量检测,直至完成对整个碾压面的操作。
- 3 振动压路机振动状态要求应符合本规程第 4.2.2 条第 1 款规定。
- 4 振动压路机行驶速度应符合本规程第 3.2.1 条第 4 款规定,且应前进方向匀速行驶。
- 5 连续压实质量检测的数据采集应符合本规程第 4.2.2 条第 4 款规定。

5.2.3 连续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:

- 1 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。
- 2 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。

3 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。

5.3 过程控制

5.3.1 铁路路基填筑碾压过程控制的连续压实检测与控制应同步进行,应根据振动碾压过程中检测取得的压实质量信息,按照压实程度、压实均匀性和压实稳定性的判定和控制准则进行实时的压实质量监控。

5.3.2 填筑碾压过程控制工艺流程图如图 5.3.2 所示。

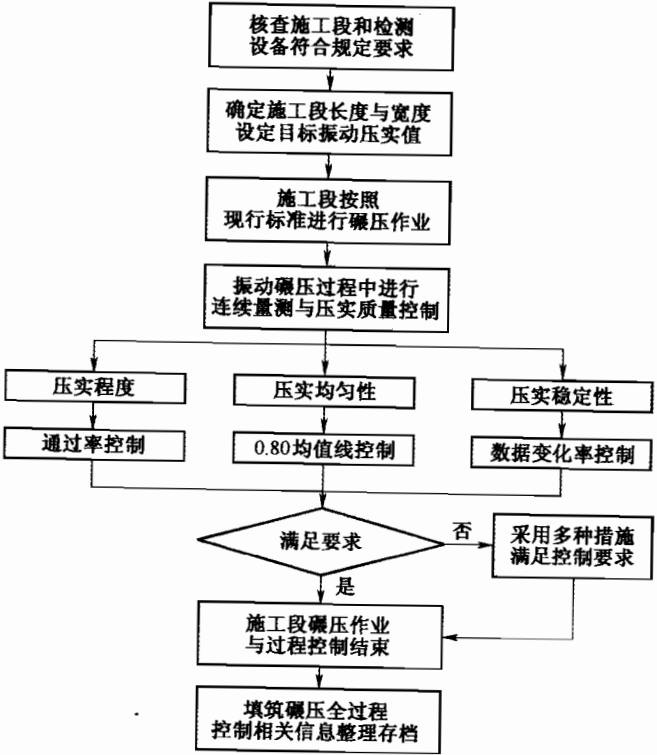


图 5.3.2 填筑碾压过程控制工艺流程图

5.3.3 施工段碾压过程中压实程度判定和控制应符合下列规定:

1 压实程度应根据与设定的目标振动压实值比较进行判定,如图 5.3.3—1 所示。碾压面上第 i 个检测单元压实程度通过的判定应按下式进行:

$$VCV_i \geq [VCV] \quad (5.3.3)$$

式中 VCV_i ——碾压面上第 i 个检测单元振动压实值的检测结果,代表碾压面上 1.0 m^2 面积上的平均值;
 $[VCV]$ ——目标振动压实值。

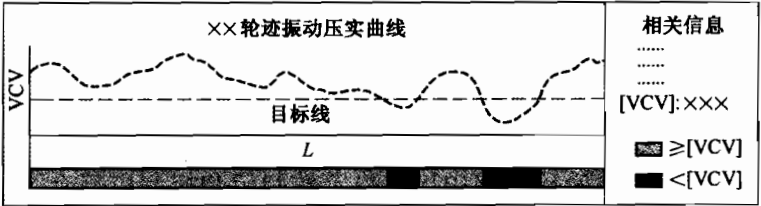


图 5.3.3—1 检测单元压实程度判定示意图

2 碾压面压实程度的通过率按通过面积(通过的检测单元数量)占碾压面面积(检测单元总数量)的多少计算。通过率应按不小于 95% 进行控制,其中不通过的检测单元应呈分散分布状态,如图 5.3.3—2 所示。

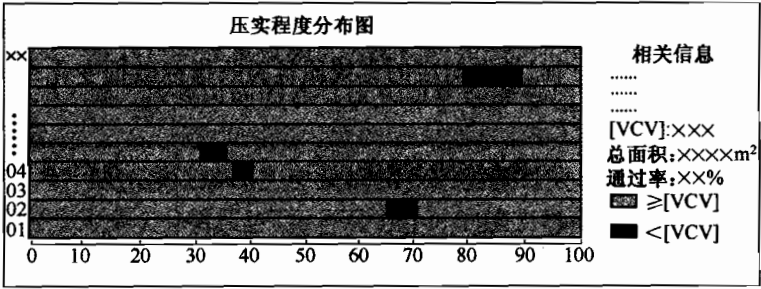


图 5.3.3—2 碾压面压实程度通过率判定与控制示意图

5.3.4 施工段碾压过程中压实均匀性判定和控制应符合下列

规定:

1 压实均匀性可通过碾压轮迹上振动压实曲线的波动变化程度和碾压面振动压实值数据的分布特征进行判定。

2 压实均匀性宜按振动压实值数据不小于其平均值的80%即 $VCV_i \geq 0.80 \overline{VCV}$ 进行控制,如图 5.3.4 所示。

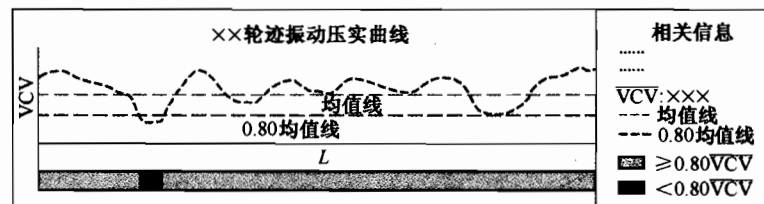


图 5.3.4 压实均匀性判定与控制示意图

5.3.5 施工段碾压过程中压实稳定性判定和控制应符合下列规定:

1 压实稳定性判定和控制应采用振动压路机同一行驶方向的振动压实值数据进行。

2 压实稳定性应根据同一碾压轮迹上前两遍振动压实值数据的差异进行判定。

3 压实稳定性应按同一碾压轮迹上前两遍振动压实值数据变化率不大于 δ 进行控制,如图 5.3.5 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不大于 5%进行确定。

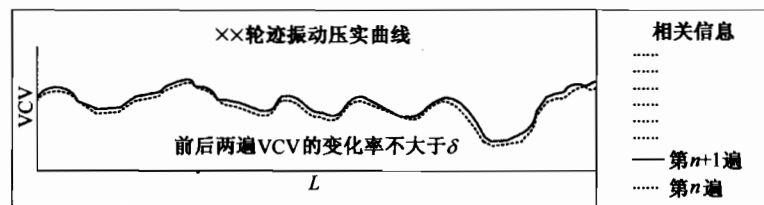


图 5.3.5 压实稳定性判定与控制示意图

5.3.6 施工段应根据连续压实过程控制的相关反馈信息采取有效措施,提高填筑层的压实质量,其处理过程应符合下列规定:

1 压实程度通过率小于 95%时,在不通过的区域范围内应改进压实工艺或更换压实机械进行补充碾压。补充碾压效果不明显时,可采取局部改善填料性质、调整含水量等措施进行处理。

2 前后两遍振动压实值数据的差异较大时,应在该轮迹上继续碾压至符合规定要求以提高压实稳定性,同时应进行压实程度判定。

3 在振动压实值数据低于 $0.80 \overline{VCV}$ 的压实区域范围内应采取上述多种措施,提高该区域的振动压实值数据至 $0.80 \overline{VCV}$ 以上以改善压实均匀性。

5.3.7 施工段每一填筑层碾压完成后应及时编制压实过程归档报告,作为碾压全过程控制的相关信息和连续压实控制的压实质量报告组成部分进行存档,其内容和样式可按本规程附录 B 执行。

5.4 质量检测

5.4.1 铁路路基填筑工程的连续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。

5.4.2 连续压实质量检测工艺流程图如图 5.4.2 所示。

5.4.3 施工段碾压面的连续压实质量检测数据分析应符合下列规定:

1 施工段连续压实质量检测数据的统计分析宜按 100 m 长度划分为多个分析段进行,不足 100 m 的施工段可单独取作一段。

2 每 100 m 长度的分析段宜统计连续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。

3 施工段碾压面进行压实状态和压实程度分析的连续压实质量检测数据应为施工段实际长度的全部检测数据。

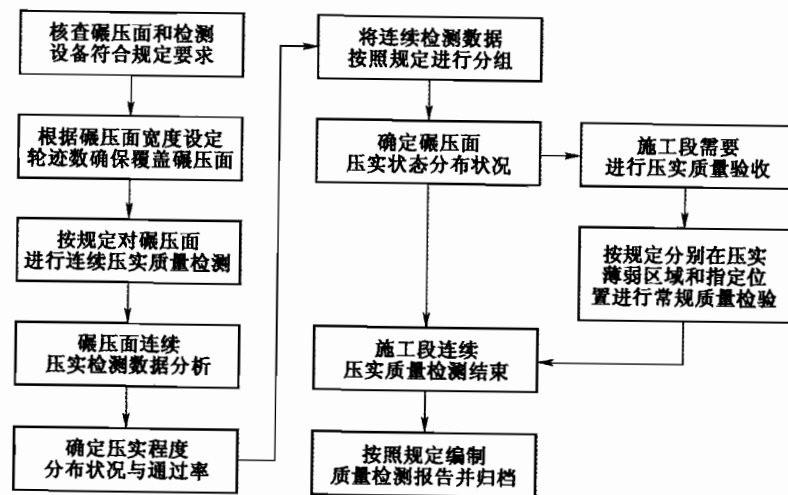


图 5.4.2 连续压实质量检测工艺流程图

5.4.4 施工段碾压面压实状态的划分应符合下列规定：

1 碾压面连续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)。

2 排序后的连续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：

$$(VCV_i, VCV_i + \Delta VCV) \quad (5.4.4)$$

式中， ΔVCV 为分组间距，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。

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程附录 C 执行。

5.4.5 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 5.4.5 所示。

5.4.6 施工段碾压面压实程度分布与通过率应符合本规程第

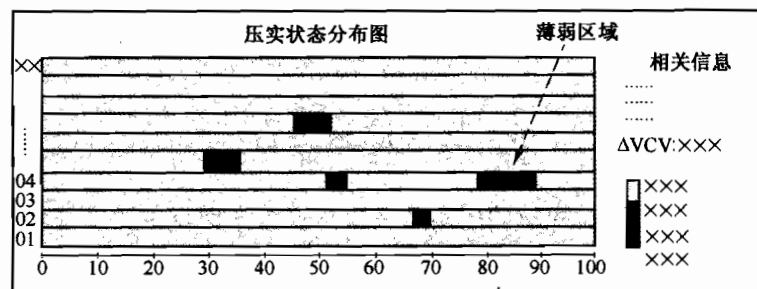


图 5.4.5 压实状态分布与薄弱区域示意图

5.3.3 条的规定，压实质量分布图的内容和样式可按本规程附录 D 执行。

5.4.7 铁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：

1 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 1 m 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 2 m 处左、右各 1 点，路基中部 1 点。

2 化学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 1 m 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。

5.4.8 施工段连续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连续压实质量检测报告，作为连续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程附录 C 和附录 D 执行。

6 压实质量报告

6.0.1 连续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:

1 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。

2 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。

3 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。

4 压实质量相关信息的传输内容应符合本规程第 6.0.2 条和第 6.0.3 条的规定。

6.0.2 连续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连续压实质量检测报告,并符合下列规定:

1 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程附录 A 执行。

2 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程附录 B 执行。

3 连续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。

4 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 100 m,施工段长度不足 100 m 按实际长度显示,其内容与

样式可按本规程附录 C、附录 D 执行。

6.0.3 连续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。

1 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。

2 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。

3 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。

4 其他相关信息:气候、坡度等。

6.0.4 连续压实控制的压实质量报告应在施工段连续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署确认后存档。

附录 A 相关校验报告

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					
检测设备			常规质量检测类型		

编号	检测数据			编号	检测数据		
	常规质量验收指标	振动压实值	含水量		常规质量验收指标	振动压实值	含水量
1				11			
2				12			
3				13			
4				14			
5				15			
6				16			
7				17			
8				18			
9							
10							

相关系数 $r =$, $n =$

回归方程: $VCV = a + bx =$

VCV—x 关系图:

常规质量验收指标合格值 $[x] =$, 对应的 $[VCV] =$ 。

试验: 日期: 复核: 日期:

附录 B 压实过程归档报告

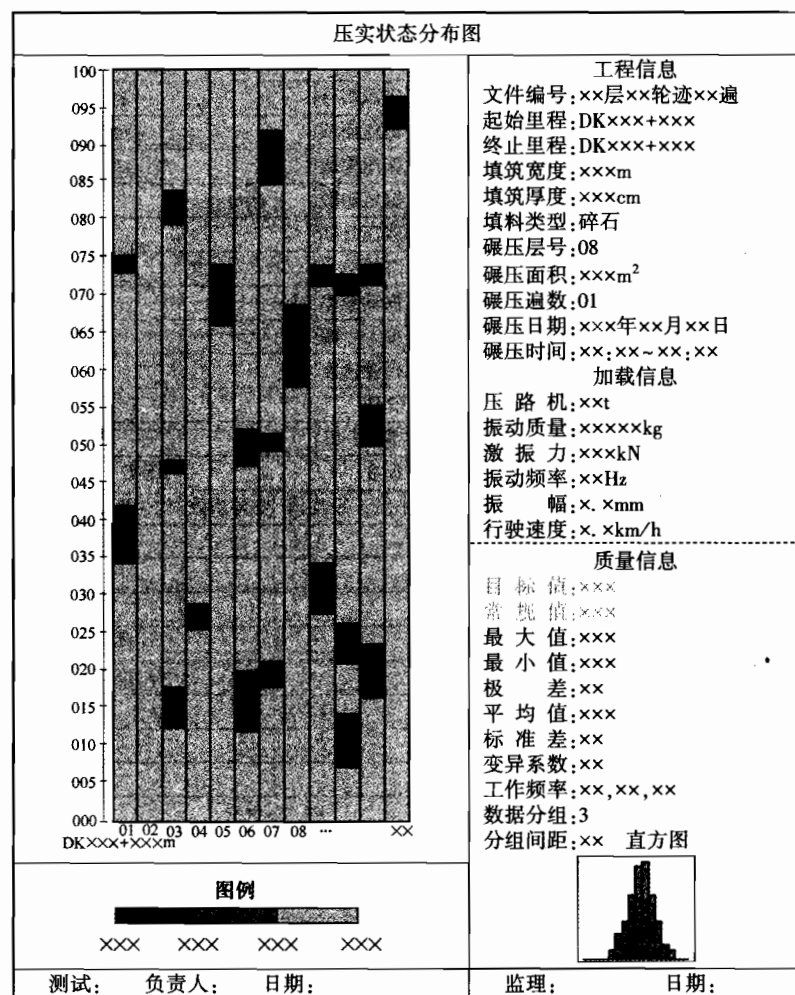
工程信息								
项目名称	xx线xx标段 DKxxx+xxx~DKxxx+xxx xx层							
起始里程	碾压层号							
终止里程	碾压面积							
填料类型	碾压轮数							
填筑厚度	碾压遍数							
填筑宽度	碾压日期							

加载信息								
压路机	振动频率							
振动质量	振 幅							
激 振 力	行驶速度							

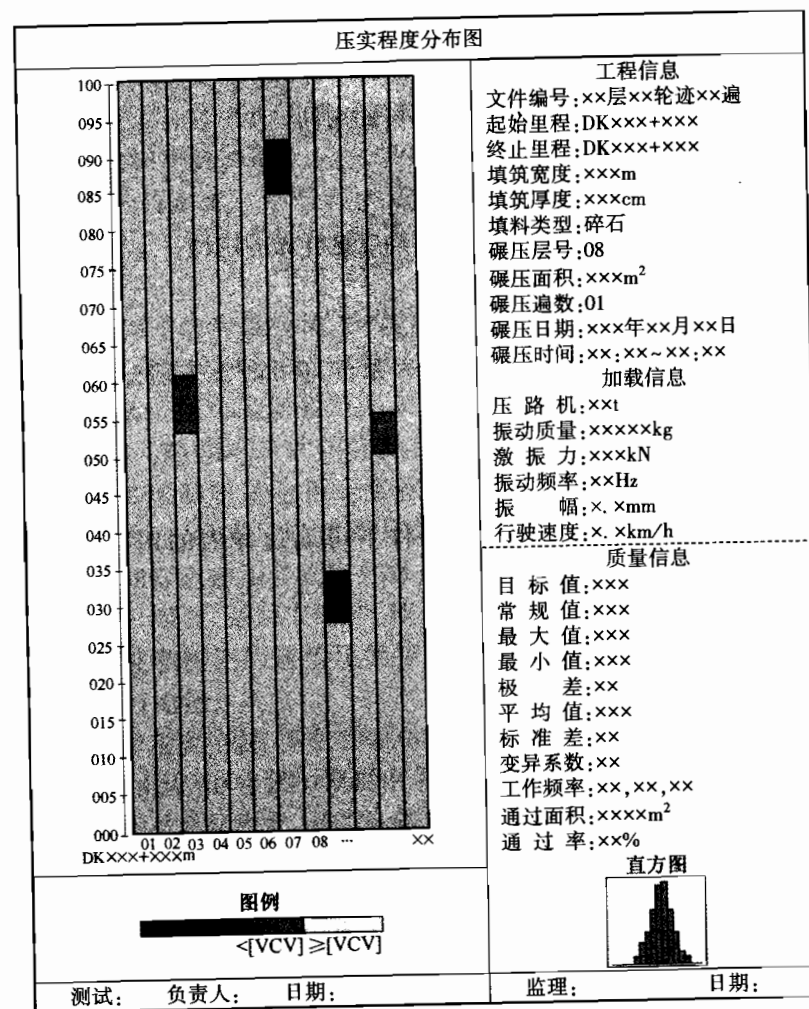
质量信息								
目 标 值	常 规 值							
碾压遍数	碾压时间	压实程度					压实均匀性	压实稳定性
		通过率	最大值	最小值	平均值	变异系数		
01								
02								
03								
04								
05								
06								
...								
...								

测试: 负责人: 日期: 监理: 日期:

附录 C 压实状态分布图



附录 D 压实程度分布图



本规程用词说明

执行本规程条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

(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,在有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”。

《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明,不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅,只列条文号,未抄录原条文。

1.0.1 路基结构是轨道结构的基础,随着列车运行速度的提高,要求路基结构要为上部结构提供更加平顺而稳定的支承。决定路基结构性能的关键要素是填料和碾压。再选定好填料的情况下,路基填筑的压实质量是决定其结构性能好坏的根本。路基压实质量包括压实程度、均匀性和稳定性三方面内容。目前,常规质量检测采用抽样方式进行,比较费时费力,只能检测局部点的压实程度并且是事后检测,较难适应机械化施工要求。因此,采用实时的、能够对整个碾压面压实质量进行全面监控和检测的连续压实控制技术是提高路基填筑质量的一条崭新途径。

连续压实控制(英文缩写 CCC)技术起源于 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 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 90 年代开始,国外建立了连续压实控制的相关技术标准;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;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年原铁道部组织技术力量对这项技术从理论体系、测试技术(量测设备与信号处理)、工程应用和标准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,为制定和编写技术标准奠定了基础,并于2011年颁布了我国首部连续压实控制技术的行业标准《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》TB 10108—2011。本规程是根据中国铁路总公司下达的编制任务,在原行业标准的基础上进行的编制。在编制过程中还吸收了原行业标准实施以来连续压实控制技术在高速铁路和普通铁路上的工程应用成果以及国家自然科学基金《高速铁路路基连续压实控制指标与控制机理研究》(编号51178405)的研究成果。

1.0.2 本规程适用于高速铁路和普通铁路路基填筑过程中的压实质量控制,二者主要区别在于确定连续压实控制的目标值时所采用的压实标准不同。

路基填筑工程质量控制分两类,其一是施工过程中的控制,是碾压全过程的控制,一般以施工单位为主;其二是施工完成后的控制,为质量部门进行的抽样验收控制。实践证明,过程控制与验收控制需有机结合,互为补充。加强填筑过程中的质量控制,不但有助于提高验收检验的通过率,更重要的是可以提高路基结构的整体工程质量,为安全运营提供基础保证。本规程的施工过程控制是指碾压全过程的压实质量控制,包含碾压过程(振动碾压第一遍到碾压结束)中的压实质量控制和碾压完成后对碾压面进行的连续质量检测控制两部分内容。

国内外的实践表明,连续压实控制技术可以用于各种填料压实过程中的质量控制,除一般岩土材料外,还可以对诸如二灰碎石类、碾压混凝土类、沥青混合料类等进行压实质量控制。特别是在

控制压实均匀性、压实稳定性和检测压实薄弱区域等方面,其方法是通用的。对于压实程度控制,不同填料的连续压实控制目标值的获取方法可能会有所不同,在使用时要注意区别。

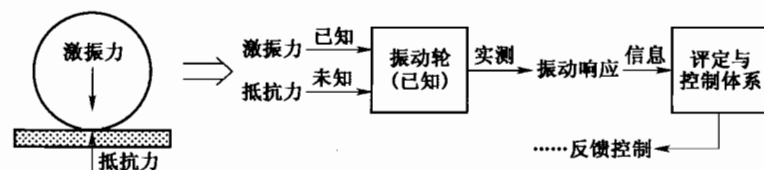
1.0.3 连续压实控制技术是铁路路基填筑工程施工质量实施全过程控制的有效手段,具有以下优点:(1)由点的抽样检测转变为覆盖整个碾压面的全面监控与检测,现场可视化显示压实结果;(2)与常规检测方法结合起来,可以使常规检测的随机控制变为关键(薄弱)区域控制,大量减少常规检测的数量,并且可以确定常规检测不合格点所处的范围;(3)实现了施工过程的全过程监控,与施工同步,效率高、不干扰施工,并且能够指导现场施工,对欠压地段及时进行补充碾压,同时可以避免过压,保证压实质量的均匀性和优化碾压遍数;(4)量测设备智能化程度高,操作简单,安装在驾驶室内实时显示压实信息,便于操作使用;(5)对于大粒径填料路基,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,一是需要进行相关校验,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,连续压实控制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。

连续压实控制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或者定时的远程数据传输,供有关部门使用和进行动态信息化施工管理。

1.0.4 实时监测是指对碾压过程进行的实时在线量测和监控,包括压实程度、压实均匀性、压实稳定性、碾压时间、碾压遍

数以及压路机的振动压实工艺参数等项目。信息反馈控制是指根据碾压过程中得到的压实信息对上述实时监测项目作出的控制。

连续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,如说明图 1.0.4 所示。



说明图 1.0.4 连续压实控制技术原理

如果以振动轮为研究对象,那么不管什么填料,路基填筑体对振动轮的作用总是可以用其抵抗力来表征。在振动轮参数和激振力已知的条件下,实测的振动响应信息包含了路基结构抵抗力的相关信息。由于提取相关信息以及如何反映路基填筑体抵抗力的方式不同,形成了几类具体方法,各有其适用条件和范围。

路基压实均匀性反映的是碾压面上各部分压实状态(物理力学状况)分布一致的特性。对于无砟轨道,来自路基结构的均匀支承是上部结构疲劳寿命和列车安全平顺运行的根本保证之一。对于有砟轨道,均匀的路基结构可以减少运营期的养护维修成本。本项技术根据实时反馈信息,可以在碾压过程中对压实质量欠佳的区域采取各种工程措施及时处理,从而在压实过程中提高路基结构性能的均匀性。

1.0.5 鉴于目前路基压实质量控制都是采用常规质量验收方法进行的,而常规质量验收指标的数据是通过常规检验取得的,因此在采用连续压实控制技术前首先要先在试验段上进行相关校验即对比试验,检验并建立连续指标与常规质量验收指标间的相关关系,其相关系数只有达到本规程的规定方能使用。本规程规定相关校验要结合填筑工艺性试验的目的主要是基于节约成本的考虑,也可以独立进行校验。施工过程参数主要是指连续压实控制的目标值以及相应的振动压实工艺参数。

目前,国内外连续压实控制技术既有的几种具体方法都是根据振动压路机在碾压过程中振动轮的竖向振动响应信号(加速度、速度以及位移等)、经过某种信息处理和计算所建立起来的,其称谓各异,如国外的动态测量值 DMV、压路机测量值 RMV、压实计值 CMV、振动模量 E_{vib} 、刚度系数 K_b 等,原铁道部科研成果《高速铁路路基连续压实检验控制技术与装备研究》(编号 2008G005-A)提出了以路基结构抵抗力(反力)作为评定与控制指标的技术体系。为适应各种表述,本规程统一称作振动压实值(英文缩写 VCV)。相关校验主要有两个目的:(1)判定方法和评定指标的适用性。当连续控制指标与常规质量验收指标之间的相关程度达到本规程要求时,表明该方法和指标是适用的。达不到规定要求意味着该方法和指标不能很好地反映常规检测结果,会发生指标数值大的地方实际刚度却是比较小的现象,如早期方法应用在粗粒料时就经常发生这种现象,需引起注意。(2)确定施工质量过程控制参数。当振动压实值与常规质量验收指标之间的相关程度达到本规程要求时,两种指标之间在统计学意义上是一致的,具有很好的相关性。除了可以确定填筑工艺试验有关振动压实工艺参数(压路机激振力、频率、振幅和行驶速度等)外,更重要的是还可以由常规质量验收指标的合格值确定对应的目标振动压实值(即连续压实控制的目标值,以下简称目标值),这些都是施工质量过程控制中的重要参数。

需要注意两个问题:其一,在进行相关校验时,由于填料类型、填层厚度、含水量等都会对连续量测结果产生较大影响(这种影响与对常规力学指标的影响是一致的)。因此试验段与后续施工段的参数要相同,并且与现行标准的要求一致。其二,实际使用经验和国内外相关资料表明,本项技术原则上对路基所有填料类型都是适用的,其连续检测结果与常规力学指标检测结果具有一致性,与物理指标压实系数(压实度)之间也具有一致性。对于黏性细粒土,含水量是影响其物理力学性质的重要因素,若想得到理想的压实效果,应该将填料的含水量控制在最优含水量附近,否则很难压实。根据近几年的工程实践,连续检测结果(振动压实值)与常规力学检测结果(地基系数)之间具有较好的一致性,即使填料的含水量不在最优含水量附近也是如此。但是振动压实值与物理指标压实系数(压实度)之间的关系较为复杂,只有填料的含水量变化不大的情况下,二者之间才可以建立相关关系。当填料的含水量变化过大时(例如从3%~25%),很难建立振动压实值与压实系数之间的相关关系。因为同一个压实系数(实际为干密度)可能对应着两个含水量(较小和较大),但二者的力学性质差别是很大的。

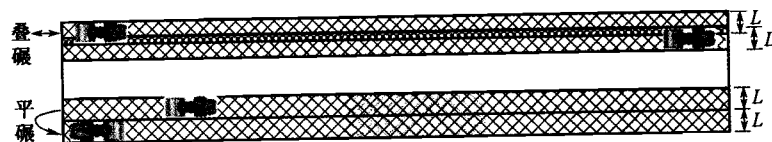
1.0.6 为了更好地对路基填筑工程进行连续压实控制,对从事连续压实控制的作业人员进行岗前技术培训是非常必要的。作业人员是指施工技术人员、管理人员、压路机操作人员和监理人员以及建设单位相关人员等。在进行连续压实控制前要针对不同对象分别进行实际操作、技术原理等业务培训。

1.0.9 连续压实控制的压实质量报告作为路基工程验收的必要组成部分,这既是铁路建设工程信息化管理的要求,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。为方便信息化管理,要求报告除了采用常规方式进行存档外,还需要采用人为不能修改的电子数据方式进行存档。

2.1.5 振动质量是指振动压路机的参振质量即振动轮分配质量,

有时也称作前轮分配质量。

2.1.6 规定压路机的碾压方式是为了规范目前现场施工的碾压操作。叠碾是压路机在碾压过程中使用的主要方式,具体是指振动压路机在一个碾压轮迹上进行前进碾压一次,然后再原轮迹后退碾压一次;平碾主要用于对碾压面的连续检测以及在进行相关校验试验时对碾压面的连续测试,是指压路机以前进方式在一个轮迹上碾压,然后依次在相邻轮迹上也按照前进方式碾压。叠碾与平碾如说明图2.1.6所示。



说明图 2.1.6 压路机的叠碾与平碾示意图

3.1.1 本条规定了连续压实控制技术的系统组成。一个完整的控制系统除了包括加载、检测(量测)和压实信息管理部分外,还要包括控制对象即路基填筑层。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,其中试验对象为路基填筑层,振动压路机为试验过程中的加载设备,加上量测设备组成了一个完整的振动压实试验系统。从动力学试验的角度解读本规程的有关规定和要求是易于理解的。

4 鉴于铁路是国家重大基础设施,随着路基施工过程信息化的实施,有关工程质量信息的存储和传输涉及到国家有关信息安全问题,因此规定了这一过程需符合国家最新信息安全的相关规定。

3.1.2 本条规定了连续压实控制技术的主要用途及内容。填筑碾压过程控制与质量检测都是路基填筑质量全过程控制中的关键环节,是施工质量过程控制中的两个阶段。

3.1.3 压实质量控制主要包括三方面内容。其一,压实程度是控制填筑体物理力学性能达到规定值的程度,解决填筑体是否有足

够的强度和刚度支承上部结构;其二,压实均匀性是控制填筑体物理力学性能的均匀分布程度,解决能否均匀支承上部结构;其三,压实稳定性是控制填筑体物理力学性能的稳定程度,解决在列车重复荷载作用下填筑体能否长期、有效地支承上部结构(疲劳问题)。

3.1.4 压实质量检测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。

3.1.5 本条规定了连续压实控制实施过程中的四个环节(设备检查、相关校验、过程控制和质量检测)的关键点。

1 连续压实控制可以看作是一个动力学试验过程,加载设备应该符合一定的技术要求方可以进行,其具体要求参见本规程第3.2.1条的规定。对量测设备进行检查是动态测试技术的一般要求。

3 路基填筑碾压过程中,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。

4 目前对路基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:路基性能参数一般服从正态分布规律,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路基的性状。如果路基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。

3.1.6 连续压实控制是对现有标准中的有关路基施工质量控制

的补充,是在碾压过程中增加的定量化的实时控制手段,是在现有相关标准规定基础上对压实质量控制进行的补充与完善。

3.2.1 规定选用振动式压路机主要是由于目前还有一种振荡式压路机,二者是有区别的。振动压路机在碾压量测过程中,其自重、激振力、振动质量、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。

1 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在碾压时的影响深度是不相同的,具体参考说明表3.2.1。

说明表 3.2.1 振动压路机影响深度参考范围

振动压路机自重(t)	10~12	15~17	18~20
平均影响深度(m)	0.7~0.8	1.2~1.5	1.5~1.7

说明表3.2.1给出的量测深度是一个范围,它会随着路基结构刚度的不同而发生变化。一般而言,对于一定自重的压路机,路基结构刚度越大,其影响的量测深度也越深。因此在选择振动压路机自重时,要根据所要求的量测深度,参照上表进行合理的选择。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。

3 此处所谓的规定值,一般是指振动压路机的额定工作频率或者稳定值。

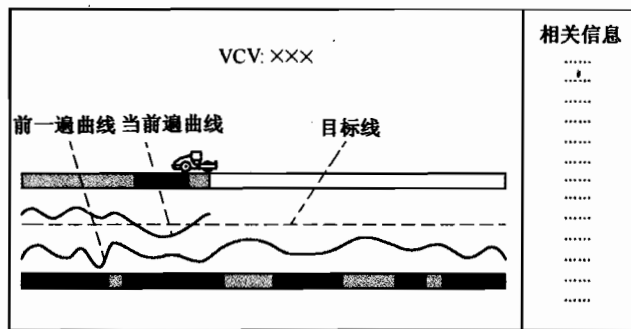
4 要求振动压路机行驶速度保持匀速主要是基于振动压实试验的要求而提出的,实际就是要求单位长度上路基受到的荷载作用次数应该一定,否则会影响对压实效果的判定和控制。行驶速度大小主要影响到单位长度路基受到的振动次数(即加载次数)。提高压路机的行驶速度,单位路基长度上的振动次数将减少,即减少了力的作用次数,也就相当于减少了碾压遍数,一般会

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路基施工规范提出的,考虑到本技术的特殊性,本规程的要求相对严格。

3.3.1 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。现代量测技术的发展,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微电脑和系统软件完成的。

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,这部分工作由控制软件完成,也是对控制软件的基本要求。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要能实时地提供数字和可视化形式的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,便于进行实时压实监控。说明图 3.3.1 为参考显示样式。



说明图 3.3.1 驾驶室显示装置需要实时显示的压实信息参考样式

3.3.2 全面检查和校准是指采用标准振动装置对检测(量测)系统进行的测试,以便检验其动态特性。一般在计量部门进行。

3.3.3 要求振动传感器垂直安装在内机架上是为了可以直接接受来自振动轮的振动信号,而外机架由于经过减震器,其振动信号

已经衰减许多,并且减震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轮振动情况。此外,如果传感器不垂直安装,得到的信号也不能准确反映振动轮的垂直振动。

3.4.3 回放现场压实过程是指在计算机上采用数据和图像等方式对碾压过程的模拟显示。

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。

4.1.2 本条主要规定了试验段的基本要求。更详细的要求参见现行有关路基施工标准中关于填筑工艺试验的规定。

2 试验段长度的规定主要是针对粗粒料路基而言的。考虑到粗粒料的变异性,填筑长度过短不能覆盖填料分布范围,同时也是为了与现行标准规定的试验段长度一致。

3 试验段表面存在较大的凹凸不平时,会对振动压路机产生一个附加的随机作用,影响到压路机振动响应信号的大小;而路表面积水将使路基含水量增大,力学性能降低,导致振动压实值减小,这与对平板载荷试验的影响是相似的。

4 作为加载设备,振动压路机和振动压实工艺参数的改变都会引起振动压实值与常规质量验收指标之间相关关系的改变,而引起目标值的变化,直接影响压实程度的评定和控制。

5 相关资料记录归档的主要目的是为了与后续施工段进行对比,同时也是编写校验报告所需要的资料。

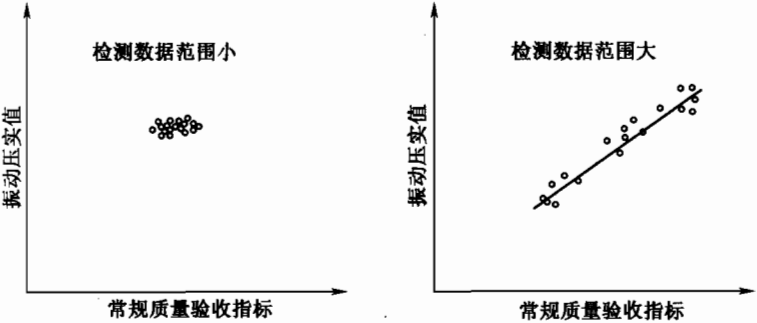
4.1.3 本条主要对检测设备在使用前的检查工作进行了规定。正常情况下,定期对检测设备按照测试仪器相关标准进行校准是必不可少的。

1 压路机振动压实工艺参数的稳定与否直接影响量测结果的准确性。其中,对振动频率的校核是一个关键环节。一般量测设备都具有检测振动频率的功能,可以方便地量测振动频率。振动压路机行驶速度的快慢实际上决定了碾压面单位面积上的振动次数多少,因此除了要求行驶速度不超过规定值外,还特别强调了

均匀行驶。

4.1.4

2 校验的目的是为了判定和建立振动压实值与常规质量验收指标之间的相关关系。如果只在一种密实状态下进行相关分析,检测数据之间差异一般会很小,数据会相对集中,此时不利于判定相关,如说明图 4.1.4—1 左所示。



说明图 4.1.4—1 数据范围不同对建立相关关系的影响示意图

为了避免上述现象发生,本规程规定将试验段碾压成轻、中、重三种压实状态,在三种压实状态下分别进行检测,这样便能获得较大的检测数据范围,便于分析相关和建立统计关系。密实状态可以参考说明表 4.1.4。

说明表 4.1.4 试验段密实状态分区参考表

区域序号	参考压实度	压实状态
1	<70%	轻度密实
2	70%~90%	中度密实
3	>90%	重度密实

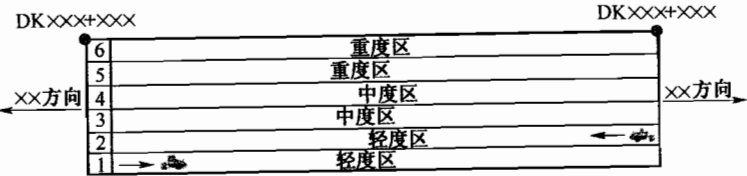
试验段有多种碾压方案,只要符合将试验段碾压成三种密实区域的方案都是可以的。有关说明如下:

——碾压方案 A

碾压方案 A 是在碾压时将整个碾压区域分成三个部分,同时碾压成不同密实状态,如说明图 4.1.4—2 所示。以下为给出的参考碾压遍数。

- (1)轻度区:静压 1 遍+连续压实检测 1 遍;
- (2)中度区:静压 1 遍+强振 1 遍+连续压实检测 1 遍;
- (3)重度区:静压 1 遍+强振 n 遍+连续压实检测 1 遍。

这种碾压方案的优点是可以一次性将常规检测做完,省去了反复调用试验设备的问题。“强振 n 遍”的含义是将碾压区域完全压实所需的遍数,可以采用连续压实控制技术进行压实监控,当振动压实值不再随碾压遍数变化时可结束碾压,若经过常规检测仍然没有合格,需换用更重型的压路机或改善填料继续碾压至合格要求。



说明图 4.1.4—2 碾压方案 A

——碾压方案 B

此方案是将整个碾压面先静碾 1 遍后进行连续压实检测,然后进行第一次的常规检测,取得轻度区域的对比数据后再继续将碾压面碾压成中度区进行检测,最后碾压成重度区进行检测。

3 规定先进行连续检测是为了便于在振动压实曲线上选取特征点进行常规检测。另外,路基填筑层碾压完后,其力学性质具有时效性,会随着时间的推移而发生一定的变化。如果常规检测耗时过长,试验数据差异就会变大,也将影响相关关系的确立。因此常规检测的时间不能拖的太长,详细参见相关规定。

4.1.5 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,如说明表 4.1.5 所示。

说明表 4.1.5 相关程度参考准则

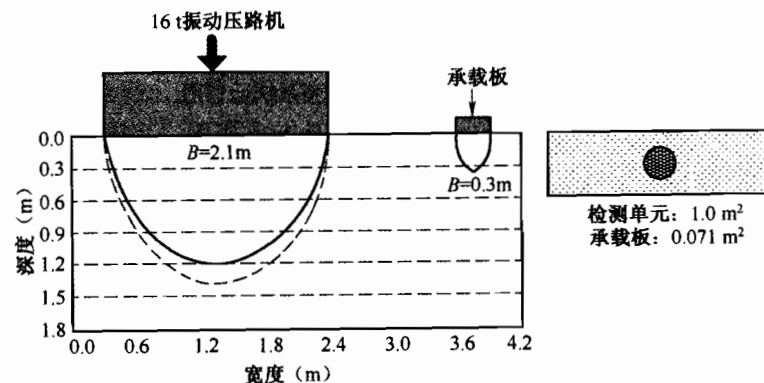
相关系数的绝对值	相关程度
0.90~1.00	相关性非常强
0.70~0.90	相关性强
0.50~0.70	相关性弱
<0.50	相关性非常弱

可以看出,0.70 是相关程度强弱的一个分界点。原铁道部相关课题通过对哈大客专、京沪高铁、成灌铁路、兰新铁路等现场的路基不同位置、不同填料、不同振动压路机的近千组对比试验结果表明,振动压实值与常规质量验收指标(K_{30} 、 E_{v2} 、 E_{vd})之间的相关系数大于 0.70 的占 85%,其中大部分又在 0.75 以上。2011 年连续压实控制技术标准颁布实施以来,沪昆客专、呼准鄂铁路等现场对比试验结果也再次验证了上述结论。但考虑到对于岩土材料而言,0.70 和 0.75 对于判定相关程度强弱的影响并不大,而 0.70 又是一个分界点,同时便于与国际接轨(目前瑞典规范规定 $r \geq 0.60$ 时相关性成立,德国和奥地利等国家规定 $r \geq 0.70$ 时相关性成立),因此本规定将相关系数的下限定为 0.70。如果 $r < 0.70$,要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,可能是所选择的方法和控制系统出现问题所致,需采用其他方法进行压实质量控制。

影响相关系数大小的因素是很多的,除了试验误差、操作误差、检测设备误差、动态与静态试验差异以及数据处理方式等之外,还有两种情况值得注意。

(1) 试验影响范围。振动压路机荷载与平板载荷试验荷载的影响范围具有明显的不同,以 16 t 振动压路机为例进行说明。如说明图 4.1.5 所示,在垂直方向上,压路机测深在 1.20 m~1.40 m

左右,而平板载荷试验的测深为 0.30 m~0.40 m 左右。如果影响范围内填料存在明显的不均匀,尽管二者都能正确反映各自量测范围内的路基性状,但两种试验结果之间的对应关系就会变的很弱。在水平方向上,连续压实检测的每一个数据都代表一个检测单元内压实状态的平均值。一个检测单元为 1.0 m^2 ,而平板载荷试验的量测面积只有 0.071 m^2 ,仅占前者的 7.1%。如果填料存在明显的不均匀,那么在一个检测单元的不同点进行平板载荷试验,其结果都是不相同的,这已为实践所证实。此时不同点的常规检测结果与同一个振动压实值数据对比,显然会存在较大的差异。因此无论是水平还是垂直方向上,只要路基填料存在变异性,二者的相关关系的离散性就会大一些。如果确认是由于填料变异性引起的,即使没有建立相关关系,也可以在施工路段中使用。

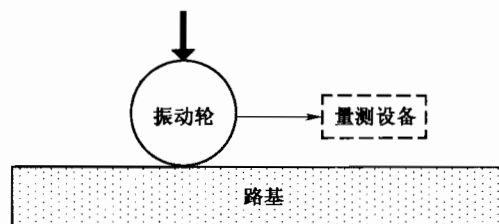


说明图 4.1.5 振动压路机与平板载荷试验影响范围示意图

(2) 控制指标与方法适用性。目前连续控制方法和指标都是基于振动轮振动响应建立起来的,但随着处理与计算方式的不同,得到的具体方法和指标都不尽相同,其适用条件和范围也各不相同。如早期瑞典的压实计方法所采用的谐波比指标(压实计值),就是假设振动轮振动响应信号中只含有基波和一次谐波成分,但实践证明,这种假设仅在采用某种型号振动压路机碾压某些填料

(如细粒料)时成立,这也是瑞典规范规定相关系数为0.60的主要原因。由于适用范围和使用条件引起相关系数达不到要求的问题,仅依靠增加试验数量和范围是不能解决的,应该改换方法和指标。

4.1.6 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(路基)相似条件下,所得到的结果才具有可比性,如说明图4.1.6所示。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。



说明图 4.1.6 振动压实试验系统示意图

1 试验对象相似的含义就是施工段与试验段在填料类型、含水量、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 检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。更换检测设备中的任一部分都认为是不同的。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。

4.2.2

1 由于振动压路机的振动有一个起振过程,因此要求压路机

在进入试验段之前要开始起振并达到正常工作状态,在离开试验段之后再停振,即压路机在试验段内要保持正常振动状态,否则会对数据采集带来影响。

2 实践证明,连续量测时振动压路机行驶速度的上限放宽到4.0 km/h是可行的。压路机行驶方向有两种,其一是正向(前进)行驶,其二是反向(倒退)行驶。由于机械原因,振动压路机正向行驶和反向行驶是有差异的,所测得的数据也有一定差异(反向时的数据一般小一些)。为消除误差,本规程规定在进行相关性检测和质量检测时要求压路机正向匀速行驶。

3 由于连续量测是对整个碾压面进行的,原则上要求压路机相邻碾压轮迹之间不重叠,考虑到实际情况,允许有一定误差,但重叠部分不要过大,否则所测结果总是包含有相邻轮迹的部分信息在内,同时也影响工时,造成不必要的浪费,因此提出重叠宽度的要求。但在正常碾压作业时,轮迹重叠宽度仍须按照现行施工相关标准要求进行。

4.2.3 规定以图形方式显示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。

4.2.4

2 在每一种压实状态中按振动压实值低、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。选择振动压实曲线变化比较平缓的位置附近是为了能准确选取点位,在曲线变化剧烈的地方不易选准点的位置。国外规范要求选在振动压实曲线相邻点之间的差异不超过10%的位置也是这个原因。

4.2.5 重度压实区域达到现行标准规定的压实合格标准,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的缺陷。

4.3.1 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,在计算时要注意并进行必要的数据预处理。

在进行相关校验时,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。地基系数是一个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校验更具有普遍性。对于化学改良土,材料的均匀性相对要好,标准干密度比较容易准确测定,并且压实系数在碾压现场就可以得到检测结果,与7d饱和无侧限抗压强度相比更方便一些,因此在进行相关校验时选择压实系数作为常规质量验收指标。

4.3.2 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。对于黏性土,根据近几年应用成果,当含水量变化不大的情况下是可以建立线性相关方程(也称作回归方程),其相关系数也满足要求。但当含水量发生变化很大时该回归方程不一定能够适用,主要是由于含水量的变化会对路基结构的力学性质产生显著影响。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。可以根据常规指标值(自变量)按照式(4.3.2—1)求取振动压实值(因变量),但是不能按照式(4.3.2—1)由振动压实值反求常规指标值,这时要重新建立回归关系,采用式(4.3.2—2)求常规指标值。

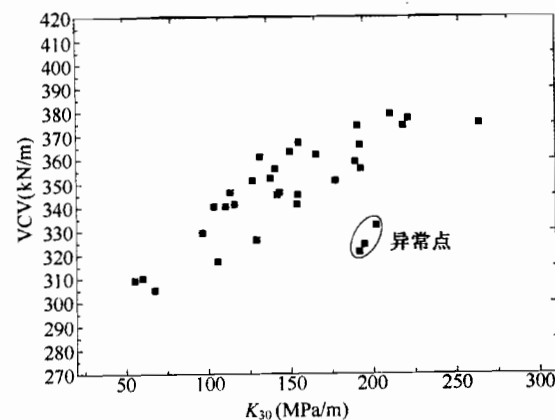
4.4.3 目标振动压实值是控制压实程度的主要指标,选择合适的目标值是非常关键的。目标值是依据路基相关标准确定的常规质量验收指标合格值、采用相关方程确定的,是一种统计学意义下的

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。在应用相关方程时有一个适用范围的问题,原则上应该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。

——工程应用说明

下面以实际工程为例说明相关系数的计算方法和如何建立和使用回归模型。一般可以按照以下步骤进行。

(1)数据预处理。由于各种原因导致的试验数据出现异常现象是经常发生的。因此,首先需要进行数据的预处理工作。比较好的办法就是做出散点图进行观察,如果数据出现异常点,要仔细分析原因进行甄别。



说明图 4.4.3—1 检测数据散点图

说明图 4.4.3—1 是根据京沪高铁某路基段检测数据绘制的散点图。发现其中有三个点明显出现偏离现象,经检查记录发现这三个点的常规检测时间比其他点晚一些,并且局部均含有较大粒径的石块。综合考虑认为这三个点为相对异常点,应该予以剔

除。经计算,剔除前的相关系数为 0.70,而剔除后的相关系数能达到 0.88,如说明图 4.4.3—2 所示。

(2) 计算相关系数。目前计算相关系数的商用软件非常普及,只要输入检测数据对,便可以方便地得到相关系数以及回归方程,并给出相关图。如果采用手工计算,可以采用说明表 4.4.3 的格式进行。只要按照表中要求进行计算便能得到相关系数,为简化篇幅,表中未给出具体数据。

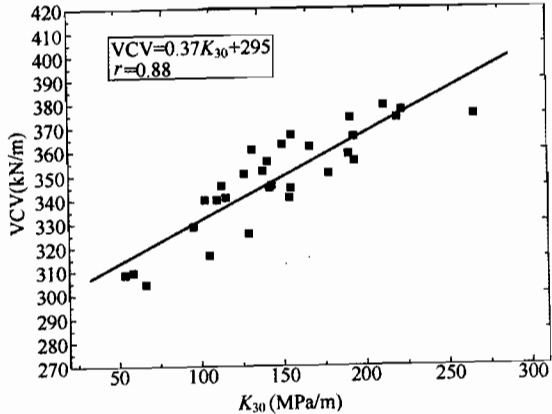
说明表 4.4.3 相关系数计算表

试验 编号	常规	连续	计 算 要 素				
	x_i	y_i	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$
1	...	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...	...
合计	...	...	0	0	...	...	...
平均数	...	...			S_{xx}	S_{yy}	S_{xy}
	$\bar{x}$	$\bar{y}$					
相关系数			$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}}$				

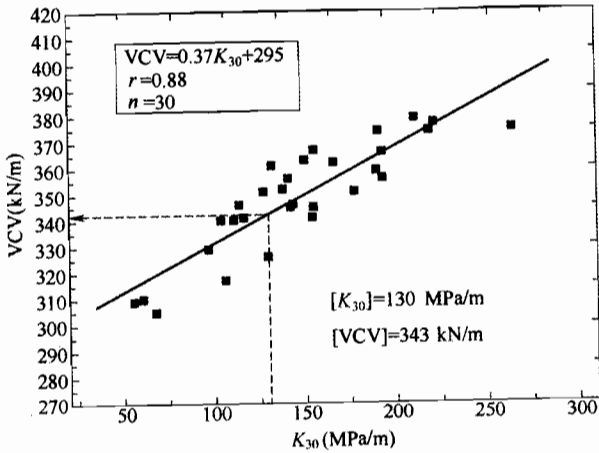
(3) 确定相关方程。经计算,在剔除三个试验数据后的相关系数 $r = 0.88 > 0.70$,满足本规程要求,因此校验结果可用,相关方程为: $VCV = 0.37K_{30} + 295$,如说明图 4.4.3—2 所示。

(4) 确定目标振动压实值。根据现行路基相关标准的规定,按照路基填料类型查得 K_{30} 最小的合格标准值为 $[K_{30}] = 130 \text{ MPa/m}$,将其带入回归方程即可得到目标值为 $[VCV] = 343 \text{ kN/m}$,如说明图 4.4.3—3 所示。

5.1.1 本条规定的实质是以试验段为参照物,要求施工段与试验段在各方面都相同或相似,包括试验段方面、加载设备与量测设备方面等。这样就能将试验段的相关校验成果应用在施工段上,避



说明图 4.4.3—2 K_{30} 与 VCV 关系图



说明图 4.4.3—3 目标振动压实值确定示意图

免了施工的盲目性。

5.1.2

1 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碾压面的统计特性。

4 研究表明,受振动压路机机械性能差异的影响,即使在同一试验段上,每台振动压路机在一定振动压实工艺参数下取得的目标值都是有差异的。因此原则上进行压实程度控制的每一台振动压路机都要经过校验取得目标值。对于同一厂商生产的同一型号的振动压路机,只有在确认同样振动压实工艺参数下的振动响应相同的情况下,一台压路机取得的目标值才可以在另一台上使用。其他情况下不能将一台振动压路机取得的目标值盲目应用在其他压路机上使用。当振动压路机仅进行压实稳定性和压实均匀性控制时,本规程不要求事先取得目标值,只要其振动性能稳定即可使用。同时在使用过程中也可以根据施工段的情况得到目标值。

5.1.3

2 对于质量检测,原则上要求压路机振动轮的行走轮迹间不相互重叠,但考虑到压路机操作人员水平参差不齐,因此允许存在一定的误差。轮迹重叠宽度不大于 10 cm 是对连续检测提出的误差要求。正常碾压施工时,其轮迹重叠宽度按照现行路基施工标准规定的要求进行。

3 压路机采用强振工艺在路基表面上行驶容易将其压松。因此为防止将已经碾压好的路基表面再次压松,本规程规定质量检测时压路机采用弱振工艺行驶。

5.2.1 连续压实过程控制的现场操作与相关校验的操作基本相同。但不要求振动压路机必须正向行驶,可以按照正常碾压程序进行。过程控制是在正常碾压基础上进行的,要求振动压路机达到本规程规定的要求且其振动性能稳定后方能使用。此外,在分析数据时,将压路机正向行驶的数据与反向行驶时的数据分开,不要混在一起分析。

5.2.2 连续压实质量检测的现场操作与相关校验和过程控制中的现场操作流程基本相同,但质量检测要求使用的振动压路机的

振动频率要稳定,并且需正向行驶,这是检测数据是否准确的关键所在。

1 本款明确了进行连续压实质量检测的顺序问题。

5.2.3 动态检测比静态检测要复杂的多。动态检测是在碾压过程中进行的连续量测,时间长、数据量大、野外环境相对不好是其特点,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),此时要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、电源电压变低等,另外,碾压层局部含有大粒径石块或在测量深度范围内有涵洞等构造物也会造成数据波动。

5.3.1 本条明确了在碾压全过程中进行过程控制以及需要控制哪些项目。过程控制是在正常碾压作业基础上、在振动碾压作业过程中进行的,是一种边量测采集数据、边根据控制要求进行实时压实质量控制的模式,更加强调碾压过程中的量化控制。

此外特别需要注意,连续压实控制是从地基以上填筑的第一层开始的,对于每一填筑层而言,是从振动碾压第一遍到最后一遍都需要进行的连续控制的。

5.3.2

这里需要强调的是,压实程度、压实均匀性和压实稳定性的控制是平行的关系,并没有先后顺序之分。一般来讲,在填料符合要求的情况下,只要压实稳定性和压实均匀性得到控制,压实质量一般是有保证的,会得到满足。因此,可以首先控制好压实稳定性和均匀性,然后再根据目标值判定压实程度。

当填料出现问题时,如粗粒料的级配不合理或者细粒料的含水量偏大(弹簧土)时,在进行连续控制时,压实稳定性和压实均匀性都很容易得到满足,但是压实程度却很难满足要求。因此,在填料出现问题时,需要重点检查压实程度控制情况。另外,初步的实践经验表明,当填料出现问题时,可以根据压实稳定性的变化率的变化进行控制,其正常变化规律是先大后小。若压实稳定性的

变化率的变化规律明显不符合先大后小的规律,一般都是填料出现问题所致。此结论是初步的,仍需要实践的进一步检验。

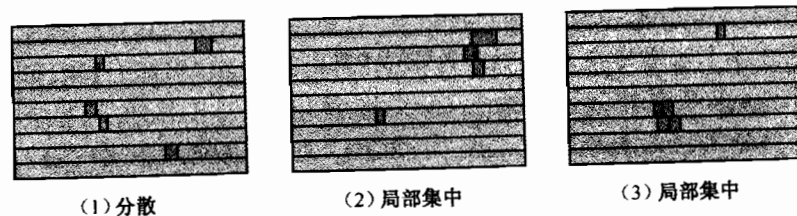
5.3.3

1 压实程度是路基碾压时表征其物理力学性质的指标达到规定值的程度,相当于压实度的概念。这里的检测单元就是连续压实检测时的一个“点”,与平板载荷试验点的概念相似,但二者的检测面积相差很大。

2 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一些,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。此外在图5.3.3—2,横向代表路基长度,纵向代表碾压轮迹的条数,后面的图示与此同。

对于不通过的检测单元集中与分散的描述,目前很难定量给出,一般根据分布图进行人工判断。说明图5.3.3—1示意性地给出几种情况,其中(2)和(3)都是不能接受的,应该进行工程处理。集中与分散的实质还是一个与均匀性有关的问题,需要进行深入的研究。如果进行定量描述,初步可以参考以下做法:不通过的连续面积之和按照高速铁路不大于 $5\text{ m}^2 \sim 6\text{ m}^2$ (相当于路基长度为 $2.5\text{ m} \sim 3\text{ m}$)、普通铁路不大于 10 m^2 (相当于路基长度为 5 m)进行考虑。因为对于高速有砟轨道结构来讲,路基面需要进行动力分析时,所取的范围为 $2.6 \times 1.8 = 4.68(\text{m}^2)$ 。对于无砟轨道结构,目前还缺少资料,但轨道板更宽一些,所以连续不通过面积按照不大于 6 m^2 考虑。普通铁路由于是有砟轨道结构,可以放宽到连续不通过面积不大于 10 m^2 。

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



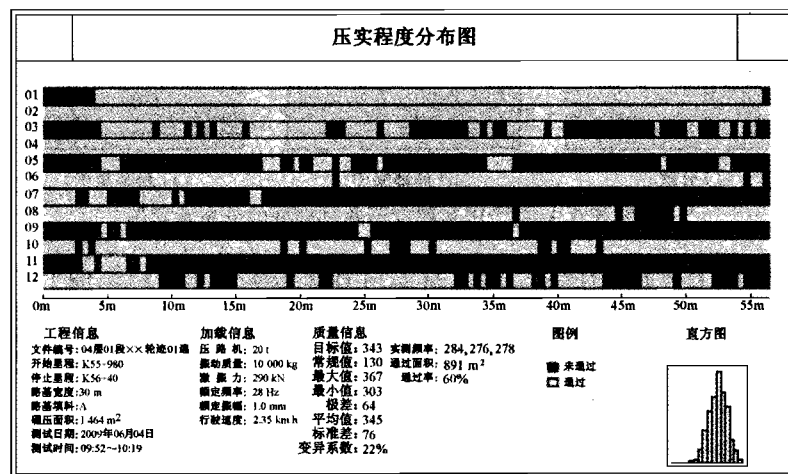
说明图 5.3.3—1 压实程度不通过部分的分布示意图

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。

——工程实例说明

采用第4.4.3条给出的实例数据。碾压路段采用 K_{30} 进行压实质量控制,根据填料和路基部位,按照现行路基有关规范可以查得 K_{30} 最小压实合格标准为 $[K_{30}] = 130\text{ kPa/m}$ 。根据 K_{30} 与VCV建立的相关方程可以得到相应的目标值 $[VCV] = 343\text{ kN/m}$ 。在碾压过程中压实程度的控制便可以采用目标值 $[VCV] = 343\text{ kN/m}$ 进行。说明图5.3.3—2为碾压5遍的结果,可见一部分区域已经碾压通过,通过面积占整个碾压面的60%。

5.3.4 压实均匀性控制是在碾压过程中以及碾压面碾压完某一遍时进行的。路基结构性能的均匀性是相对于变异性而言的。路基面力学性能的均匀与否会对上部结构的支承条件产生影响。力学性能的不均匀不仅仅是刚度的不均匀,更重要的是路基疲劳寿命的不均匀。路基在列车重复荷载长期作用下出现不均匀永久变形(沉降)会影响到上部结构乃至行车安全。在碾压时路基均匀



说明图 5.3.3—2 碾压面压实第 5 遍时的压实程度平面分布图

性可以通过碾压过程中振动压实曲线的变化反映出来。引起振动压实曲线异常波动的原因主要有三个: (1) 填料本身变异引起的路基结构性能变异; (2) 压路机激振力随机波动变化引起压实作用力不均匀; (3) 测量深度范围内下卧层刚度不均匀引起路基结构性能变异。原因(2)引起的振动压实曲线变异可以通过控制压路机的振动压实工艺参数予以控制; 原因(3)引起的振动压实曲线变异属于正常变异, 一般填筑层超过一定厚度后即可消除; 而原因(1)即填料引起的振动压实曲线变异是关注的重点, 也是最需要控制的。

1 如何精确地评定和控制路基结构性能的均匀性, 目前还没有成熟的技术成果和标准供参考。原铁道部科研成果《高速铁路路基连续压实检验控制技术与装备研究》(编号 2008G005—A) 提出了按照数理统计原理进行评定和控制的方法, 主要有两方面: 其一, 对碾压面整体均匀性进行评定, 可以采用碾压面数据的极差、标准差和变异系数作为评定指标, 其中以变异系数较好, 而采用直

方图具有直观的特点, 一般均匀性好的大都符合正态分布。其二, 确定碾压面均匀性分布, 可以采用数理统计理论中置信区间的概念进行, 即对于某一点(检测单元)的振动压实数据来讲, 如果 VCV_i 在 $[\mu - Z \cdot s, \mu + Z \cdot s]$ 范围内, 则认为该点属于均匀范围之内, 否则无论是超出下限还是上限, 都为不均匀点, 由此可以得到均匀性的分布图。其中 Z 为波动系数, 依据一定保证率而定, s 为振动压实数据的标准差, μ 为振动压实数据的平均值。实际上这就是数理统计标准, 俗称“ 3σ 原则”, 在许多工程试验工作中, 都用此原则来找出数据的奇异点。奥地利/ISSMGE 规范中初步提出控制所有的连续压实数据在 $0.80[VCV] \sim 1.50[VCV]$ 之间, 且变异系数不大于 20%。美国明尼苏达州运输部(MnDOT)对该州范围内的填料规定 90% 的连续压实数据在 $0.90[VCV] \sim 1.20[VCV]$ 之间, 且没有小于 $0.80[VCV]$ 的数据。但是国外都是基于目标值进行的, 没有对振动压实曲线本身的形状提出要求, 有可能出现满足规定要求, 而振动压实曲线(数据)依然有很大波动的现象。

2 鉴于目前压实均匀性评定与控制现状, 本规程提出了不低于振动压实值数据平均值的 80% 的规定, 这是最低下限要求, 是一种最小值控制方法, 大致相当于最多允许将常规质量验收指标数据平均降低 30%~50%, 即一组常规检测数据, 若有低于其平均值的 30%~50% 的点便认为是不均匀点, 其做法与数理统计方法中的“ 3σ 原则”类似。只对最低下限进行了规定是考虑到实际情况, 使用者可以在此基础上提高下限。

5.3.5 压实稳定性控制是在碾压过程中进行的。控制压实稳定性除了可以优化压实工艺外, 更重要的目的是控制路基结构的稳定性。在许多情况下, 即使压实程度通过, 但路基结构不一定是稳定的, 在列车重复荷载长期作用下仍然会处于失稳状态, 最终导致路基局部发生过大变形即沉降, 因此有必要在碾压过程中控制压实稳定性。原则上路基稳定性应该采用疲劳试验方法进行评定, 但比较费时费力。在碾压过程中, 振动压路机施加给路基结构的

是一种重复动荷载,与疲劳试验的加载方式类似,因此振动压实也可以看作是一种疲劳试验。

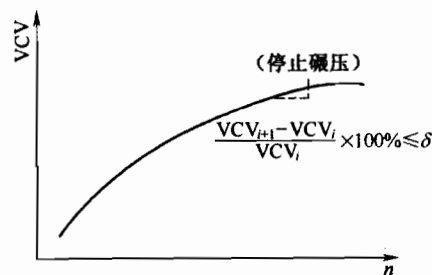
1 由于振动压路机正向和反向行驶时振动性能有差异,会导致量测数据的不一致,因此要求采用同一行驶方向的数据进行评定和控制。

2 研究结果表明,随着碾压遍数的增加,路基填筑层由松散向密实状态过渡的过程也是由不稳定逐渐向稳定过渡的过程,其力学参数也由小变大。由于振动压实值与路基结构反力成正比,因此当前后两遍振动压实值差值为零时,相应的路基结构反力的差值也为零,塑性变形停止,表明在该种工艺参数下压路机的压实功已经发挥到最大,路基结构的反力、压实状态和塑性变形都不再变化。此时应该停止该工艺下的碾压作业,压实是否通过需要由目标值进行判定,没有达到目标值时,要改变压实工艺参数或更换压路机,否则容易将表层压松。

3 理论上压实稳定性按照前后两遍振动压实值数据差值为零进行控制,但岩土填料在实际操作时控制一定的精度即可。前后两遍振动压实值数据的变化率可表示为 $[(VCV_{i+1}-VCV_i)/VCV_i] \times 100\%$,当小于规定精度时即可停止碾压,如说明图 5.3.5—1 所示。为了通用性,本规程对于控制精度没有直接给出,而是采用根据相关方程、按照对应的常规质量验收指标数据的变化率进行确定,规定前后两遍常规质量验收指标数据的变化率不大于 5% 时,其压实是稳定的。原铁道部相关研究表明,地基系数的变化率为 5% 时对应的振动压实值的变化率约为 1%~2%,如果按照振动压实值的变化率进行控制时,参考按照不大于 2% 的精度进行。

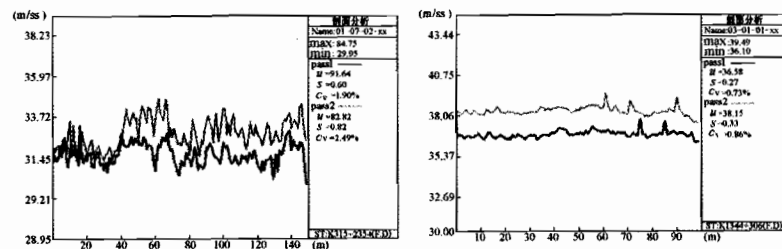
——工程实例说明

某碾压段常规质量验收指标采用 K_{30} ,压实稳定性控制按照前后两遍振动压实值数据的变化率 2% 进行。一般情况下操作者可以根据实时显示的相邻两遍压实曲线的变化即可初步判定压实是



说明图 5.3.5—1 碾压遍数与压实稳定性

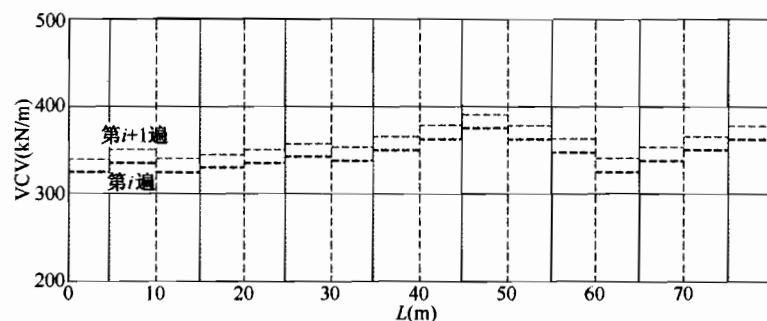
否稳定。说明图 5.3.5—2 左图为某一碾压轮迹上相邻两遍压实曲线的变化情况,可以看出从 20 m~150 m 范围内,后一遍的 VCV 大于前一遍的,表明路基结构抵抗变形的能力在增大,此时应该继续进行碾压作业,直至两遍差值很小。而在前 20 m,可以看出相邻两遍的 VCV 差值很小,可以认为在该压路机的压实工艺下已经达到了压实稳定状态,而右图则明显看出压实是不稳定的,需要继续碾压。



说明图 5.3.5—2 压实稳定性经验控制

此外,在实际操作中,采用一定长度的前后两遍的振动压实值平均值的变化率控制会更方便一些,如说明图 5.3.5—3 所示。其中一个统计段落长度为 5 m,按照每 5 m 取一次平均,只要比较前后两遍平均值的变化率即可。

5.3.6 提高路基压实质量的控制措施主要有两种,其一是通过控



说明图 5.3.5—3 压实稳定性精度控制

制压实机具来提高质量;其二是通过改善填料(包括粒径与含水量)来提高质量。工程中往往将两种措施结合起来使用。说明表 5.3.6 为根据控制原理而制定的控制建议方案,可供使用者在工程实践中参考。

说明表 5.3.6 反馈控制项目与建议控制措施

控制项目	控制对象	目标值	控制量	偏差标准	控制措施
振动参数	压路机	$[f]$	n	$ f-[f] \leq 0.5$	油门
压实程度	压路机/路基	$[VCV]$	VCV_i	$VCV_i \geq [VCV]$	工艺/填料
压实稳定	压路机/路基	δ	Δ	$\Delta \leq \delta$	遍数/填料
压实均匀	压路机/路基	$0.8[\mu]$ $[c_v]$	VCV_i c_v	$VCV_i \geq 0.8[\mu]$ $c_v \leq [c_v]$	遍数/填料

说明表 5.3.6 中, $[f]$ 代表压路机额定频率, n 代表转速; Δ 代表前后两遍振动压实值的变化率, δ 代表稳定性控制精度; $[\mu]$ 代表振动压实值的平均值, c_v 代表变异系数。

5.3.7 连续压实控制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,在附录 B 中对其内容和形式进行了规定。

5.4.1 连续压实质量检测是连续压实控制的最后一个环节,是在碾压面碾压作业结束时进行的。可以采用过程控制时采用的振动压路机,也可以选择另外的振动压路机,只要符合本规程的相关规定即可。

5.4.3 连续压实质量检测取得的数据要进行一定的处理和分析才能获得更多的压实质量相关信息,为了规范数据处理分析方法而制定本条规定。

1 原则上对施工段长度没有限制,一次可以检测任意长度的施工段。但是太长的段落会使统计数据明显增加,并且统计特性会随路段的长度变化而有所不同。为便于比较不同路段的统计特征,将路段分成几个长度的段落分别进行统计比较合适,本规程对此进行了统一,规定了统计的长度。

2 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了描述,从中可以了解到填料和压实工艺等一些信息。其中变异系数是一个值得注意的指标,能更准确地反映数据的波动情况。而直方图则更形象地反映了数据的分布情况。实践表明,在填料均匀、压实工艺一定的条件下,填筑层的性能参数是服从正态分布的。如果实测取得的振动压实值数据的直方图不是正态分布,例如是“双峰”型分布,则说明存在明显性质不同的填料,变异性较大。因此这些统计量有利于现场压实质量的控制和管理,使用单位要充分利用这些信息来提高施工质量。

3 压实状态与压实程度分布状况并不随碾压长度变化,因此规定了按实际施工段长度进行分析。

5.4.4 确定压实状态分布主要有两个目的。其一是提供碾压面

上不同压实状态区域的大小和分布位置,供有关单位在了解路基质量状况时使用。其二是确定压实薄弱区域,为压实质量验收服务。

2 选择好合适的组间距对连续压实检测数据的分组是非常重要的。组间距的选择主要还是根据振动压实值与常规质量验收指标之间的相关关系、由常规质量验收指标允许的变化率进行确定。本规程规定常规质量验收指标允许的变化率不超过合格值的20%主要是考虑了工程应用的实用性。变化率越小,其压实状态划分的数量就越多,精度也就越高,使用者可以根据实际情况在此基础上制定更高的划分精度。

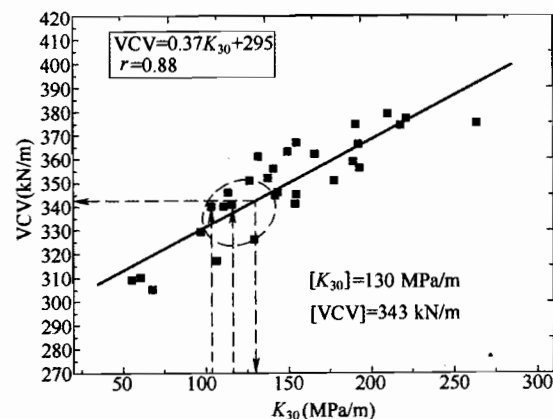
——工程算例说明

以本规程第4.4.3条算例中给出的数据为例。振动压实值数据的分布范围为(310,355),现对这组振动压实值数据进行压实状态划分。由 $VCV = 0.37K_{30} + 295$ 得: $\Delta VCV = 0.37\Delta K_{30}$ 。地基系数 K_{30} 的合格值为 130 kPa/m,如果按照合格值的20%变化率则有: $\Delta K_{30} = [130] \times 20\% = 26$, 计算组间距为 $\Delta VCV = 9.26$, 因此可以按照组间距为 10 将检测数据依次划分为 (310,320), (321,331), (332,342), (343,355), 共 4 种压实状态;如果按照 10%变化率则有: $\Delta K_{30} = [130] \times 10\% = 13$, $\Delta VCV = 4.8$, 可以按照组间距为 5 划分为 (310,315), (316,321), ..., 共 7 种压实状态。可见对于一组振动压实值数据而言,其组间距越小,压实状态划分的就越多,使用者根据实际需要,在规定的范围内合理地选择分组间距进行压实状态划分。

5.4.5 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。

5.4.7 目前采用连续压实控制技术进行的质量检测还不是质量

验收。由于使用的加载设备——振动压路机的型号和振动参数不统一,导致不同振动压路机的检测结果各异,但由于振动压实值与常规质量验收指标之间具有正相关性,即最小振动压实值对应着最小常规质量验收指标值,因此碾压面的压实最薄弱区域的常规质量验收指标值也是最低的,这是将薄弱区域作为常规质量验收区域的主要依据。因此要求在对填筑层进行压实质量验收时,部分常规质量检验点选在压实最薄弱区域内。但需要注意,由于两类指标是通过统计方法建立的关系,并非像确定性关系那样完全一一对应,因此在常规控制值与连续压实目标值相对应的区域内存在“临界点”效应问题,即出现常规检测合格而连续检测不合格、或者连续检测合格而常规检测不合格的现象,如说明图 5.4.7 所示。



说明图 5.4.7 常规控制值与目标值附近(临界点)对应关系的不确定性

需要说明的是,“临界点效应”只出现在目标值区域附近。当远离目标值时,检测是准确的。因此,除了临界点区域外,尽管存在一定的离散性,但是检测结果还是可靠的。压实质量控制最根本的目的还是要防止和控制压实状态最低区域的出现,而这种区

域一般都是远离目标值区域的。当压实最薄弱区域出现在临界值附近时,此时仍然以常规检测结果为准。若常规检测不合格,则增加常规检测数量、扩大范围进行检测,以保证质量控制的可靠性。

关于在压实薄弱区域内进行常规质量检测的数量,不同国家的规定不尽相同,参见说明表 5.4.7。

说明表 5.4.7 国外压实薄弱区域特征与常规检测数量

国 家	薄弱区域特征	常规质量检测	
	面 积	薄弱区域数量	常规检测数量
瑞典—规范	10 m ²	2 处/(5 000 m ²)	2 组/(5 000 m ²)
德国—规范	10 m ²	3 处/(5 000 m ²)	3 组/(5 000 m ²)
美国—州暂定	6 m ²	抽检数量按常规检测规定执行	
奥地利—规范	只规定了在最薄弱区域进行常规检测		

2 改良土 7 d 无侧限抗压强度 3 个抽检点的位置为左、中、右。如果薄弱点选在中间位置,则其余 2 点分别选在左、右;如果薄弱点选在左边位置,则其余 2 点分别选在中、右,依此类推。

6.0.1 压实质量报告是连续压实控制的技术成果,也是碾压全过程压实质量的证明文件以及路基填筑信息化施工和管理的主要依据之一。为了更好地对压实数据进行信息化管理,对压实质量信息的显示、存储和传输进行规定是非常必要的,采用统一的格式将有利于数据文件的共享与管理。

2 压实质量报告的数据应该容易输出,便于进行进一步的处理等工作,例如可以被诸如 Excel 等软件所读取。其输出以简单的文本格式为最好,采用专用格式的文件不利于数据共享和管理。

3 所谓电子数据存档,并不是指将纸制版保存为电子版(如 Word 文档保存在计算机中即成为电子版),而是通过专用软件,将

现场采集到的压实数据直接由专用软件生成电子报告(二进制数据文件,一般人为无法随意修改),再通过专用软件直接读取。这个过程人为是无法进行直接干预的。

4 在进行路基填筑压实信息化工作时,可能需要进行各种数据的传输工作,但其传输的内容要符合本规程的规定。

6.0.2 就单一施工段而言,一个完整的压实质量报告主要包括了采用连续压实控制技术的依据(通过相关性大小给出)、施工控制关键参数、碾压面的压实质量(压实状态与压实程度)分布状况以及压实质量验收资料(需要质量验收时)等内容,分别由本条规定的分报告给出。压实质量报告除了给出的图表之外还包括必要的文字描述,详见附录 A~附录 D 的相关说明。

6.0.4 这里再次强调了需要采用电子数据报告,这是为以后全面的信息化管理与控制奠定基础。

附录 A

除了给出的图表外,还有必要的文字描述。完整的校验报告主要包含(1)试验段信息——包括填筑长度、填筑宽度、填筑厚度、填料类型、含水量(主要是对含水量敏感的细粒料而言)、基底状况;(2)设备信息——振动压路机型号、自重、振动质量、激振力、频率、振幅、行驶速度以及量测设备信息;(3)对比试验信息——常规检测选点图(在压实状态分布图以及轮迹振动压实曲线上给出)、对比试验数据;(4)校验结果——相关系数、回归方程、目标值。

附录 B

主要规定了填筑层碾压全过程的压实质量相关信息如何显示以及显示哪些内容。其中从振动碾压第一遍到最后一遍的压实程度、压实均匀性和稳定性相关信息是不可或缺的。

附录 C、附录 D

这两个附录都是连续压实质量检测报告中的内容。除了给出的两幅图外,检测报告还有必要的文字描述。检测报告主要包括:

(1)施工段信息——包括填筑长度、填筑宽度、填筑厚度、填料类型、含水量、基底状况;(2)设备信息——振动压路机型号、自重、振动质量、激振力、频率、振幅、行驶速度以及量测设备信息;(3)连续检测时碾压面压实质量信息——压实状态分布图与压实程度分布图等;(4)质量验收信息——薄弱区域及压实质量验收资料。

需要说明的是,本规程给出的各种压实质量图均采用不同灰度进行区分,实际进行连续压实控制时的图形均为彩色图示。