

高速铁路路基智能压实与检测技术研究

赵 勇

中铁十局集团第七工程有限公司 陕西 西安 710065

摘 要：近些年来，我们国家的交通运输行业取得了很大的进展，高速铁路工程的建设是越来越多。路基填筑压实质量是高速铁路工程施工中的重要环节，本文就高速铁路路基智能压实与检测技术研究，为同类项目提供了参考。

关键词：高速铁路路基；连续压实检测；基波频率

引言

随着我国的高速铁路建设飞一般地发展，铁路路基的分层填筑质量越来越被广泛关注，在绝大多数铁路路基的分层填筑技术当中，填筑层彼此之间的接缝以及界面对铁路路基的强度和稳定性都有着至关重要的影响。

1 铁路路基的分层压实技术

在桥梁、高铁、普通铁路的施工中，为了确保路基的质量良好，同时为了提高路面路基的稳定性与承载能力，应该使用设计需要的填料对路基进行密实处理。在密实处理的同时，用压路机配合人工进行压实作业，使填料颗粒在压路机的挤压下互相挤压堆积、使填料颗粒之间的空隙更加紧密，也就是增加了单位体积内的填料颗粒总量，即增加了填料密度与材料强度。在路基的长期使用时，为了使路基尽可能少地产生分离与沉降现象，在以前的路基压实工艺的基础上，采取分层压实填料的方式，让路基整体有一个良好的干密度状态。

2 填筑压实工艺性试验

为了让路基的稳定性更高、使用寿命更长，可以通过填筑压实试验，找到路基的最合理的摊铺厚度、最佳碾压遍数及机械组合、最佳的含水量等重要的施工参数。在路基填筑工艺性试验中，需要分3层进行铺筑试验，各分层填料分层压实完成后测定压实系数K、地基系数K₃₀、动态变形模量E_{vd}，各层松铺厚度由下到上分别为30cm、33cm、35cm，各层由装载机卸料至基床后使用钢轮式压路机静压一次、弱振动一次，使用钢轮式压路机强振模式强振压实填料至设计值^[1]。

3 高速铁路路基智能压实与检测技术

3.1 准备工作

高速铁路路基施工前的准备工作是确保工程质量和施工效率的关键环节。在正式施工前，必须保持施工现场清洁整齐，优化施工参数，并合理配置机械设备与人员，以保证施工顺利进行。

3.1.1 高速铁路路基施工前期

在高速铁路路基施工前期，必须严格按照设计规范要求开展表层清洁工作。首先依据设计图纸，采用全站仪配合RTK测量技术进行精确放样，其中平面控制点间距不大于200m，高程控制点间距不大于100m，边界桩设置密度需保证直线段每50m一个、曲线段每20m一个。地表清理工作执行“三阶段”清理法：第一阶段采用挖掘机配合装载机进行机械粗清，确保建筑垃圾清除率达到100%；第二阶段按每100m²配备2名工人的标准进行人工细清，清除直径大于10cm的石块（清除率不低于95%）；第三阶段使用平地机进行场地精平。对于特殊土层处理：腐殖土（有机质含量 $\geq 3\%$ ）处理深度为设计值加0.5m，采用A组填料或改良土换填；软弱土层根据标准贯入试验N值（ < 4 击）和厚度采取不同处理方案：厚度 < 2 m全部挖除，2-5m采用复合地基处理， > 5 m实施桩基处理。场地预压采用自重 ≥ 18 t、激振力 ≥ 350 kN的振动压路机，工作速度控制在2-4km/h，按分层厚度 30 ± 5 cm、碾压不少于4遍、搭接宽度 ≥ 30 cm的标准施工，确保压实度 $\geq 90\%$ 、平整度 ≤ 15 mm/3m、高程误差 ± 10 mm。施工平台验收标准为承载力 ≥ 120 kPa、回弹模量 ≥ 40 MPa、沉降差 ≤ 5 mm/20m。施工过程中需注意：建立完善排水系统、做好环境保护、保留完整施工记录、执行三级验收制度。通过本规范实施，可确保施工平台承载力提高30%以上、后期沉降减少50%、施工效率提升20%、质量事故率降低至0.5%以下。注：所有技术参数需根据现场试验段结果动态调整优化^[2]。

3.1.2 路基坡底基底处理

为确保路基坡面稳定性并提升整体结构耐久性，施工前必须进行系统预处理：对于横向坡度 $\leq 1:5$ 的坡面，应采用台阶式开挖工艺（台阶宽度1.5~2.0m、内向倾斜2%~4%），并彻底清除有机物质；对陡峭坡面（坡度 $> 1:1.5$ ）则需采取土工格栅加筋（抗拉强度 ≥ 50 kN/m，铺设间距30~50cm）或锚固系统（锚杆直径25~32mm，锚固长度 ≥ 3 m）等专项加固措施，施工过

程中需严格控制压实度 ($\geq 93\%$)、含水率 (最优值 $\pm 2\%$) 和平整度 (偏差 $\leq 10\text{mm}/2\text{m}$)，通过规范化的坡面处理工艺可使坡体稳定性提高40%以上、工后沉降减少60%，最终实现延长使用寿命30%、降低维护成本50%的目标。

3.1.3 施工参数优化与机械配置

高速铁路路基工程施工参数的科学设定是确保工程质量的核心环节，必须建立在地质勘测数据的系统分析基础上。在参数优化设计方面，需综合土工试验数据 (包括颗粒级配、液塑限指标、CBR值等) 确定最佳施工参数组合，通过实时含水率检测动态调整碾压工艺，并基于压实曲线分析确定经济合理的碾压遍数，同时建立施工参数数据库实现智能化过程控制。机械设备管理要求配置具有CMV检测功能的智能压实系统、控制精度达 $\pm 5\text{mm}$ 的高精度摊铺设备以及GPS定位实时监控系統，并实施包含每日性能检查、定期维护保养和关键部件备用方案的全寿命周期管理。人员组织体系需保证每作业面配备至少2名专业工程师，按1人/500m标准配置测量人员，实行试验检测人员三班轮换制，同时严格执行岗前安全培训合格率100%、每月技术交底和操作人员持证上岗制度。通过这一系列标准化措施，可实现施工参数误差控制在 $\pm 3\%$ 以内，设备完好率95%以上，人员操作规范达标率100%，最终达成施工效率提升25%、质量合格率99.5%的工程目标，所有参数设置均需通过试验段验证并实行动态调整，确保施工全过程的标准化和精细化管控。

3.1.4 临时排水设施布置

路基工程施工前必须及时建立较为完善的临时排水系统，这是确保施工质量和工程安全的重要前提。排水系统设计应遵循“高水高排、低水低排”的基本原则，纵坡坡度严格控制在0.3%~0.5%范围内，并与永久排水设施形成有机衔接。主要排水设施包括：沿施工区域上缘设置的截水沟 (断面尺寸 $\geq 30\text{cm} \times 30\text{cm}$)、排水明沟 (沟底宽 $\geq 40\text{cm}$ 、深50cm)、间距 $\leq 50\text{m}$ 的集水井 (井径 $\geq 80\text{cm}$) 以及采用20~40mm级配碎石填充的盲沟。针对特殊地质条件，需采取专项措施：低洼地段设置5~8m间距的纵横盲沟网；软土地段采用塑料排水板与砂井组合排水；高地下水位区布置深井降水系统。施工过程中要重点管控以下环节：排水沟开挖后及时衬砌、集水井设置防淤装置、定期巡查维护排水系统。质量控制标准要求：排水坡度偏差 $\leq 0.1\%$ 、沟底高程误差 $\pm 1\text{cm}$ 、排水能力满足10年一遇暴雨标准。通过科学合理的排水系统设计施工，可有效降低地下水位 (降深 $\geq 50\text{cm}$)，将路基含水率严格控制在最优含水率 $\pm 2\%$ 范围

内，为后续路基施工创造良好的作业条件，确保工程质量达标

3.1.5 材料准备与试验检测

在路基工程施工前的材料准备工作中，必须严格把控填料质量，按照设计要求选用A/B组填料或级配碎石，并开展颗粒分析、液塑限测定、击实试验及CBR值检测等土工试验，确保不合格材料及时清退。同时，通过现场压实试验确定最佳铺筑厚度 (25-35cm)、合理碾压遍数 (4-8遍) 和最优含水率控制范围 ($\pm 2\%$)，建立工艺参数数据库。辅助材料如土工格栅 (抗拉强度 $\geq 50\text{kN/m}$ 、延伸率 $\leq 10\%$)、防渗膜 (厚度 $\geq 0.5\text{mm}$ 、渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-11}\text{cm/s}$) 以及排水管材、接缝材料和锚固件等均需符合标准。此外，材料管理应做到分类堆放、标识清晰，落实防潮防雨措施，遵循先进先出原则。通过规范化的材料准备工作，可确保填料合格率达100%、工艺参数科学合理、辅助材料质量达标，从而为后续施工奠定坚实基础^[3]。

3.2 冲击碾压

在施工工艺的具体操作中，使用符合规范要求、且各项试验检测参数均符合规范要求的填筑材料，填料摊铺后应该采取先缓慢初步压实、然后慢慢加快压实的速度。在轻压处理过程中，使用小型压路设备，碾压1次到2次，目的是增强填料松铺层的承压性。轻压完成以后，需要更换重型压路机，开始第一次静压处理，所谓静压处理，就是平稳压过，与后续的震压配合。在静压处理完成以后，再开始振动压路设备，进行再次压实，也就是“前静后震”。其次，在震动压实操作过程中，开始的压路机振动力应该较弱，后面会慢慢增强。在质量检测的结果符合相关规范要求时，使用轮胎压路设备，给出封层处理。在压实的具体操作中，还需要密切注意两端路基接头处的压实效果，要均匀碾压，不能有碾压缺失的区域。其次，作业人员要精准调控压路机的压实速度，这是保证压实效果的关键步骤。压路设备碾压速度参数设计值较大，压实设备与压实材料的接触时间如果不充足，就极易降低对路基的压实效果。如果碾压速度过慢，则会延长碾压时间，一是不利于工序的前后衔接，二是影响工程进度。鉴于此，在稳压工序中使用的振动压路设备，压实速度的参考范围为3~6千米每小时，切不可为了速度而影响碾压质量。在摊铺厚度较大的区域，需要根据现场情况调整压实设备的运行速度。碾压施工完成后，使用平地机对路基进行整平、封层等处理，使填料压实程度达到技术规范要求。

3.3 路基水平检测

为了切实了解工程施工段各里程的路基压实度,就需要对高速铁路路基的竖直面与水平面进行试验检测。试验检测需要选取多个试验点,才能准确的将路基沉降数值进行整理汇总,从而得到里程段路基整体的压实结果。满足施工设计要求,反复多次的进行填料填筑并压实,直到路基的结构强度达到技术标准。在目前的高速铁路路基施工过程中,常用的路基压实度方法有落锤弯沉仪测试法、承载板法、贝克曼梁以及FWD法等。其中,落锤弯沉仪检测法及其方便实用,仅1人就可以熟练操作,而且压实检测仅用1~2分钟就可以完成一次,效率高并且检测结果具有良好的准确性,现在大多数检测都在使用该方法。

4 高速铁路路基施工冲击压实技术应用具体注意事项

首先,高速铁路路基使用的填料对路基的质量起着决定性的影响,对路基压实的最终效果也有着重大影响。所以,在开始冲击压实前,还需着重检查路基的填筑材料的质量和各项参数是否符合规范要求。在实际施工大干之前,作业人员可以使用该填筑材料在指定试验区域进行一段小里程的压实作业试验,通过试验结果对填筑材料的质量参数进行更精确、直观的判断。其次,路基冲击压实施工过程中,要避免施工对工地周围的网络、管线、建筑地下部分的破坏。再次,路基冲击压实施工过程中要密切关注人员的安全问题。施工过程中,所有在场人员都需要佩戴安全帽、穿反光衣等专业防护措施,以免出现危险。在路基冲击碾压施工过程中,路基表面会出现一定量的灰尘,因此在施工过程中可以通过洒水车洒水、雾炮喷雾等办法抑制扬尘扩散,保障现

场人员的身体健康及响应当地扬尘防治政策。

结语

综上所述,在高速铁路路基施工过程中,使用冲击压实技术能够有效提升路基压实的质量。

在高速铁路路基施工过程中,使用冲击压实技术能够有效提升路基压实的质量。高速铁路在现如今的生活,已经成为当下人们不可或缺的一部分,它的速度真的实现了古人口中的“朝碧海而暮苍梧”,更何况还有飞机、磁悬浮列车等日新月异的交通方式,但是就运输力来说,高速铁路目前是无法被替代的产品,随着时代的更迭,越来越先进的交通方式会逐步取代高速铁路,但是那应该在高速铁路普及以后,目前还有很多地方没有通铁路,因此高速铁路的施工工艺还是值得研究并加以不断改进的。高速铁路路基智能压实与检测技术在铁路路基施工过程中的作用至关重要,我们一代一代更迭着施工设备与施工工艺,目的就是为了让提高工程质量,加快施工进度,为国家新时代建设贡献属于自己的力量,为此,我们需要不断前行,不断研究,不断进取,为早一步实现高速铁路全贯通而努力!

参考文献

- [1]叶阳升,朱宏伟,尧俊凯,等.高速铁路路基振动压实理论与智能压实技术综述[J].中国铁道科学,2021,42(5):1-11.
- [2]岳茂,马洪生,苏珂,等.循环位移荷载作用下路基动力响应特征[J].铁道建筑,2023,63(5):145-148.
- [3]苏珂,蔡德钧,马洪生,等.路基振动压实过程中振动波传播规律[J].铁道建筑,2023,63(7):129-133.