

陕西省地方标准

公路路基与基层智能压实控制技术规程

Code for Intelligent Control of Highway Subgrade and Base Compaction

(征求意见稿)

编制说明

2024-10

1、工作简况

1.1 任务来源

公路路基与基层压实智能控制具有实时监控路基与基层压实质量、减少压实变异性和优化人员调配及施工组织等优势。近年来随着国家公路网的建设、管理和规划，新建公路对路基与基层压实质量要求愈加严格，因此利用信息化手段为传统公路建设赋能，采用压实智能控制技术实时监控路基与基层压实过程，最大限度地提高压实质量与效率。

随着经济发展和交通强国战略实施，推动交通发展由追求速度规模向更加注重质量效益转变，根据交通运输部印发的《关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》，以数字化、网络化、智能化为主线，推动交通基础设施数字化转型、智能升级成为推动公路建设施工智能化和信息技术创新的主要任务。通过建立压实智能监控系统，精准监测压路机位置与高度、压实轨迹、压实遍数等一系列压实指标，以确保全面控制压实工艺以及施工质量符合要求。现行公路建设技术标准中均将监测控制和施工工艺提升到越来越重要的地位，并从公路路基与基层连续监测、振动压实等方面不断深化相应的施工监测与控制要求，但尚未有公路路基与基层压实动态智能控制的技术标准。以往对路基与基层的施工监测与控制也因实施单位能力，经费等因素有较大差异，缺乏统一的标准以供参考和制约。目前，我国在公路路基与基层压实智能控制方面具有相关理论研究，能够支撑在公路压实施工全过程的管控要求，新一代信息技术的发展也使得本技术规程的相关要求易于实现。

此外，项目组所在单位优势互补，集公路设计、科研、检测、施工控制、施工技术、项目管理等全过程、全链条的大型国有企业于一体，是陕西省内公路设计、施工、监控和科研的主力军。近5年内，项目组承担了多个公路工程智慧工地顶层设计，展开了多个公路路基压实智能建设项目和多项公路基层智慧化管控相关科研项目，具备了项目实施的人力、物力及管理方面的必要条件。

项目制订公路路基与基层压实智能控制技术规程的主要目的在于：深化和细化公路路基与基层施工相关的技术要求，填补压实过程动态智能管控标准的空白，提升路基与基层压实监测与控制实施效率和安全性；融入大数据、云计算、北斗、物联网、BIM等信息化技术，提升路基与基层施工监测与控制的精度，使管控目标和指标易于实现，管控手段方便可靠，为公路路基与基层施工安全稳定提供技术支持。

（1）公路路基与基层压实智能控制技术发展趋势

早期公路路基与基层压实质量控制由于通信手段和通信水平的限制，往往不能做到实时监测。随着公路路基与基层施工工艺的进步，计算机通信技术与互联网技术的普及与迅猛发展，现代远程监测技术已经可以实现实时在线监测，借助安装在现场的各类传感器，监测人员可以随时随地了解施工现场情况，对现场进行实时远程地监测与诊断。

智能管控技术能够逐步深入到公路路基与基层建设的原因在于：①实时监控与记录碾压时间、遍数、层数、长度等与施工管理密切相关的诸多参数；②全面监控压路机振动性能是否平稳并提供相应预警的功能，充分发挥压路机工作效率，保证压实均匀性；控制填筑体物理力学性能的稳定程度，优化压实遍数，全面检测碾压面压实状况，最大程度地降低填筑体压实质量存在问题的风险；③实现智能化传感器和高性能物联网终端对现场压实设备进行高质量的自动化数据采集，进行实时数据分析处理，建立动态、快速反应的分级管理机制。

（2）陕西省公路路基与基层压实智能控制需求

陕西省预计在“十四五”期间实现全省公路总里程突破 19 万公里，围绕提升路网连通性和开放性，实现高速公路“效能提升，通道畅通，中心强化，加密连通”等工程，预计高速公路通车总里程突破 7000 公里，国省干线建设规模超过 3500 公里，其中放射线及环线 8 条，纵向线 22 条，横向线 18 条，联络线 35 条，基本构建起省际间高效互联、区域间快速通达、城际间立体互通、城市内外顺畅转换、城乡间便捷连通的交通运输发展新格局，交通运输服务经济社会发展的作用更加突出。同时在要求公路基础设施充分发展的基础上，明确高速公路、普通国道、普通省道技术状况优等率分别达到 95%，85%，72%以上，因此对公路路基与基层服役性能提出了更高的要求，要通过数字化，网络化，智能化充分提高路基与基层压实应急纠偏能力和压实效率。在大力推动公路扩建改造以期提高运输效能的规划下，更要求路面养护管理规范高效，病害预防及时，也对压实工艺和效率提出了要求，因此在公路路基与基层压实过程亟待通过智能化、信息化手段转型升级。

（3）公路路基与基层压实智能控制技术的必要性

公路路基与基层压实智能控制技术项目是由建设方或者在建设方监督下由施工方委托技术团队开展。技术团队具有咨询的性质，压实监测与控制项目适用于公路路基与基层压实全过程，以及监控压实过程中的各类指标并及时进行纠偏，保证压实的均匀性和稳定性。

公路路基与基层施工过程繁多复杂，需要监测和控制工作的紧密配合。首先，由于

从压实智能控制指标的确定，在后续的施工工艺中难以调整，因此从路基与基层材料摊铺碾压开始要实时掌握与压实质量相关的碾压速度、碾压遍数等，系统将所有信息实时采集并反馈给控制中心，并提供相应控制机制以便应对随时可能发生的生产状况。其次，由于控制手段的缺乏，对路基与基层压实控制基本处于无序监管的状态，所有压路机的实时位置、实时激振速度、实时激振力等均不可控。通过对公路路基与基层压实智能控制技术研究，能够实现公路施工监管人员对全部压路设备的碾压速度、碾压遍数、填料的含水量等影响公路路基与基层压实质量的指标进行实时监控，并主动干预，保证压实施工过程中压实的均匀性和稳定性。最后，要建立压实智能控制指标与压实度的相关性，由于要经过连续压实检测，传统的检测手段属于事后检测控制，基本上在碾压结束后进行，不能实时处理发现的问题，而间断点式检测手段难以界定重新碾压的范围，当填料存在变异时，抽样点的代表性很难控制路基压实的均匀程度。借助加速度传感器、温度传感器，GPS 定位系统等新型传感器采集和存储装置，可以将整个路面压实过程完整记录并实时反馈，为路基与基层压实监管实现质的飞跃提供了有效的手段。

根据陕西省市场监督管理局、陕西省交通运输厅下发的《关于下达 2023 年度陕西省地方标准制修订项目计划的通知》（陕市监函[2023]410 号）要求，由陕西路桥集团有限公司、长安大学、西安市公路工程管理处、陕西高速公路工程试验检测有限公司、中交一公局西北工程有限公司共同主持承担陕西省地方标准《公路路基与基层智能压实控制技术规程》的起草工作。

1.2 主要工作过程

2023 年 3 月由陕西路桥集团有限公司、长安大学、西安市公路工程管理处、陕西高速公路工程试验检测有限公司、中交一公局西北工程有限公司向陕西省市场监督管理局提出申请的《公路路基与基层智能压实控制技术规程》获得陕西省市场监督管理局批准立项。

编制团队在充分比对国内外现有路基与基层压实智能控制技术规范的基础上，开始起草地方标准。依据《面向工业 4.0 的高速公路智慧工地关键技术研发与应用示范》、《基于 BIM 信息化技术的沥青路面施工管理平台研究》等项目完成进度，对该地方标准进行编写，于 2023 年 10 月完成初稿。之后编制团队结合试验和理论分析对标准内容反复推敲及修改，获得了各方知名专家提供的宝贵意见。于 2024 年 8 月形成了标准征求意见稿。2024 年 9 月开始通过网络、信函等方式向同行业、省内外有关方面专家征求

意见。

1.3 标准参编单位、人员及分工

表 1-1 参编单位及人员、任务分工

类别	名称	任务分工
主导单位	陕西路桥集团有限公司	总体负责
参与单位	长安大学	压实智能控制系统研发
	西安市公路工程管理处	压实智能控制推广应用
	中交一公局西北工程有限公司	压实智能控制施工分析
	陕西高速公路工程试验检测有限公司	压实智能控制的现场施工试验检测

序号	姓名	工作单位	专业技术职务（职称）	专业方向	具体承担内容
1	马朝鲜	陕西路桥集团有限公司	正高级工程师	路面工程	项目负责人
2	陈胜博	陕西路桥集团有限公司	正高级工程师	路面工程	应用技术研究
3	司伟	长安大学	副教授	道路与铁道工程	技术负责人
4	李程	长安大学	副教授	道路与铁道工程	技术负责人
5	周雄	陕西路桥集团有限公司	高级工程师	道路与铁道工程	应用技术研究
6	朱其涛	陕西路桥集团有限公司	工程师	道路与铁道工程	应用技术研究
7	程高	长安大学	高级工程师	桥梁工程	应用技术研究
8	石岩	长安大学	博士研究生	道路与铁道工程	技术动态调研
9	刘瑞	长安大学	硕士研究生	道路与铁道工程	应用技术研究
10	窦珩源	长安大学	硕士研究生	道路与铁道工程	试验研究
11	刘卫刚	陕西高速公路工程试验检测有限公司	高级工程师	道路与铁道工程	试验研究
12	路鑫	陕西高速公路工程试验检测有限公司	高级工程师	道路与铁道工程	试验研究
13	刘亚红	陕西高速公路工程试验检测有限公司	高级工程师	道路与铁道工程	试验研究

14	陈才	中交一公局西北工程 有限公司	高级工程师	土木工程	试验研究
----	----	-------------------	-------	------	------

2 标准编制原则和主要内容

2.1 标准编制原则

本文件立足于我省公路路基与基层压实施工现状，对公路压实施工技术规程进行深化研究，积极借鉴国内先进标准规范，遵循现行公路、铁路和城市道路建设中均将施工质量智能管控提升到越来越重要地位的原则，标准的制定旨在实现路基与基层压实施工的智能化监控与控制，提高施工质量和效率。主要体现在：

（1）文件内容将涉及公路路基与基层压实智能控制指标的确定，包括关键指标如压实程度、压实均匀性和压实稳定性等的监测方法和要求；

（2）为确保数据准确性和全面性对压实质量智能控制系统数据采集与处理技术包括硬件设备、软件平台和通信网络等方面提出要求；

（3）明确路基与基层压实智能控制施工流程和步骤，规定施工要求和操作流程，以及监测预警阈值与控制措施，当监测数据异常时采取相应的控制措施。

2.2 主要技术内容

本地方标准包含以下主要内容：1 范围；2 规范性引用文件；3 术语和定义；4 压实智能控制系统；5 施工碾压过程控制；6 施工质量检测。

2.3 与原标准主要差异情况

本文件为首次发布。

3 主要技术要求的说明

3.1 验证准确度、可靠性、稳定性的分析和说明

（1）标准主要创新性

本标准对已有标准规范进行了补充或创新主要体现在以下方面：

①从公路施工工艺流程和施工质量的管理需求出发，建立包括压实前和压实中压实程度、压实均匀性、压实稳定性的评价指标；

②增加了公路基层压实施工质量管控的实施细则，从现有规范基础上进一步扩展了

压实智能控制系统在公路施工中的应用；

③改善了仅用于明确路基路面各个施工流程中的测试规程，未涉及压实质量监控的弊端，强化了压实过程控制与压实过程质量评价，避免了仅通过事后检测造成的评价体系不完整的问题。

(2) 与国内已有同类标准对比情况

通过梳理公路工程有关路基与基层压实监测与控制技术条款或要求如表 3-1 所示，可以发现：

①公路路基与基层施工管控标准先是在通用公路路基压实施工技术规程下进行的具体的施工过程管理后再逐步完善的，之后随着“智慧工地”体系的不断完善以及物联网，大数据等技术的发展，推动了公路工程信息化管理手段的发展。现行规范标准已经明确公路路基压实施工工艺流程中各个步骤的质量智能管控要求，但仍缺少对于公路基层压实质量以及路基与基层压实智能控制技术的规定。

②公路压实施工信息化智能管控相关标准明确规定了公路路基压实施工过程中的关键指标和质量控制等总体要求，但未涉及到基层的相关要求。

③公路工程智能化压实施工管控技术规程规定了路基压实施工过程中的管控关键指标，数据采集方式，采集设备等技术要求，并对不符合要求的数据设置了数据预警及解决方法，但仍缺少基层压实质量动态智慧监测与控制技术的可实施性等内容。

项目拟制订的地方标准将填补公路路基与基层压实智能控制技术相关要求、实施细则，指导并规范施工监测与控制方案制定和工作开展。

表 3-1 公路路基与基层压实智能控制技术相关标准的对比分析

序号	标准名称	标准类别及实施时间	有关施工监控内容或条款	评析
1	JTG/F 3610-2019 公路路基施工技术规程	行业标准，2019.12	规定了一般路基施工过程，路基排水工程及路基防护与支挡工程的标准，包括验收指标的实测项目、允许偏差值及检测方法。	指导路基施工过程，确定压实关键参数的质量控制目标，也是公路路基施工监测与控制需要达到的基本目标。
2	JTG 5150-2020 公路路基养护技术规程	行业标准，2020.11	规定路基状况调查与评定、养护标准，从破损类型入手给出了各类病害的养护类型，最终规定了路基、排水及边坡等工程质量的评价指标与评价方法。	从养护角度给出了路基、排水、边坡等病害处理施工工艺流程，提供了路基数据采集与管理的方法和路基状况的评价指标和方法。
3	JTG 3450-2019 公路路基路面施工技术规范	行业标准，2019.12	给出了路基路面从施工阶段到验收阶段的检测项目、检测方法、允许偏差值及检测方法。	增补了部分测试设备的对比实验

	面现场测试规程	2019.10	收阶段的测试要求，明确各项评定指标的测试方法，设备以及要求。	方法和影响因素修正方法，仅用于明确路基路面各个施工流程中的测试规程，未涉及压实质量监控的指标。
4	JTG/T F20-2015 公路路面基层施工技术细则	行业标准，2015.7	给出了不同类型基层材料施工技术要求，明确基层施工质量标准计算和控制方法。	增补了水泥粉煤灰稳定材料的技术要求，提高了基层用粗集料的压碎值技术要求，增加了软石含量、针片状、粉尘含量等指标，增加了细集料技术要求。但未涉及基层过程控制技术。
5	DB11/T 1946-2021 智慧工地评价标准	北京市地方标准，2022.4	根据工程建设的施工流程给出了人员、物料、设备、能耗、质量等9类管理指标与评价手段，利用基础项评分满足工程建设基本要求，评分项关注实时应用效益，加分项关注拓展与创新应用。	对工程建设管理指标进一步细化，明确利用数据采集的管理手段与方法，但着重强调各项指标评分，对于具体工程管控还需进一步细化。
6	DB32/T 3972-2021 普通国省干线公路智慧工地建设技术要求	江苏省地方标准，2021.3	给出了公路工程智慧工地的架构与功能体系，从硬件设施，软件功能，数据库与数据接口及系统集成方面明确了公路工程管理需求。	缺乏从公路施工工艺流程出发对施工质量的管理需求，仅对公路工程所涉及物料，设备等各项进行全局管理。
7	DB62/T 4343-2021 公路路基压实质量动态模量检测技术规程	甘肃省地方标准，2021.7	从动态模量出发规范路基压实质量，建立数据采集系统和信息管理系统，并明确给出路基压实数据现场测试流程与结果评定。	具有明确的数据采集流程，同样给出了影响施工质量的关键指标的测试方法，缺乏动态模量指标与压实质量相关程度对比。
8	DB13/T 2572-2017 公路路基智能压实控制技术规程	河北省地方标准，2017.7	规定了公路路基智能压实的技术要求与工艺流程，并给出了质量过程控制和质量检测的管理要求，从压实工艺出发对施工质量进行控制与评价。	缺少公路基层压实施工质量管控的实施细则。
9	DB13/T 5579-2022 基于北斗的路基智能压实技术规范	河北省地方标准，2022.7	规定了基于北斗的路基智能压实系统组成、技术参数要求、定位精度校验和智能压实技术的压实相关性校验、压实过程控制等。	未明确在北斗技术支持下基层压实控制如何展开。

3.2 验证结果综述

本文件规定了公路路基与基层智能压实控制技术的术语与定义以及施工技术的控制系统、相关性校验、碾压过程控制和压实数据管理等基本要求。

本文件明确了路基与基层压实智能控制工艺流程、压实机械要求、施工阶段的压实

过程质量监测和压实质量管理的手段。

本文件介绍了压实智能控制系统各设施通用要求、压实质量控制指标、设施控制要求、试验段相关性检验及质量检测要求，规定路基与基层压实智能控制前的准备作业、压实施工过程中需要控制的指标和处理方法。

本文件给出了公路路基与基层压实智能控制质量检测方案制定、检测流程、检测数据分析方式、检测指标确定、压实报告形式与内容。

本文件介绍压实施工的评价指标，见表 3-2；说明了压实施工路面选取及测点布置要求和监测方法，提供施工监测仪器设备供参考并给出了施工设备要求，见表 3-3。

表 3-2 评价指标规定

项次	评价指标	定义	判定方式
1	压实程度	路基与基层填筑碾压过程中，压实量达到目标值的情况。	碾压面上 1.0m ² 面积上的振动压实值平均值高于压实目标值。
2	压实均匀性	路基与基层填筑碾压过程中，路基与基层结构力学性能分布的一致性。	碾压轮迹上第 i 遍的振动压实值的检测结果不低于平均值的 0.8 则认为压实均匀。
3	压实稳定性	路基与基层填筑碾压过程中，在振动压路机振动压实工艺参数一定的情况下，路基与基层结构压实状态随碾压遍数变化。	在相同的压实位置上，前后两次压实智能控制测试值之间的差异应该控制在 1%-3%之内。

表 3-3 施工设备和参数要求

项次	施工指标	精度要求
1	压实智能控制指标与传统压实质量	相关系数不低于 0.80
2	压路机振动频率变化幅度	±0.6Hz
3	压路机时速和极限速度	2.5-3.0km/h; 4.0km/h
4	滚轴碾压定位装置的定位	横向 10mm; 纵向 20mm
5	加速度传感器的灵敏度、量程、频率响应	不低于 10mV/ms ⁻² ; 10g; 500Hz
6	数据采集装置的模/数转换位数和采样频率	不低于 16bits; 400Hz

将各压实状态区的测点按压路机的压实线分为轻、中、重三个不同的压实状态，分别对其进行压实操作，密实状态分区参考如表 3-4 所示，并给出压实施工工艺流程的流程图如图 3-1 所示。

表 3-4 水平转体参数允许偏差

序号	压实度	压实状态	压路机规格	建议碾压遍数
1	<70%	轻度密实	22t	静压 1 遍+连续压实检测 1 遍
2	70%-90%	中度密实	22t	静压 1 遍+强振 1 遍+连续压实检测 1 遍

3	>90%	重度密实	22t	静压 1 遍+强振 3-4 遍+连续压实检测 1 遍
---	------	------	-----	----------------------------

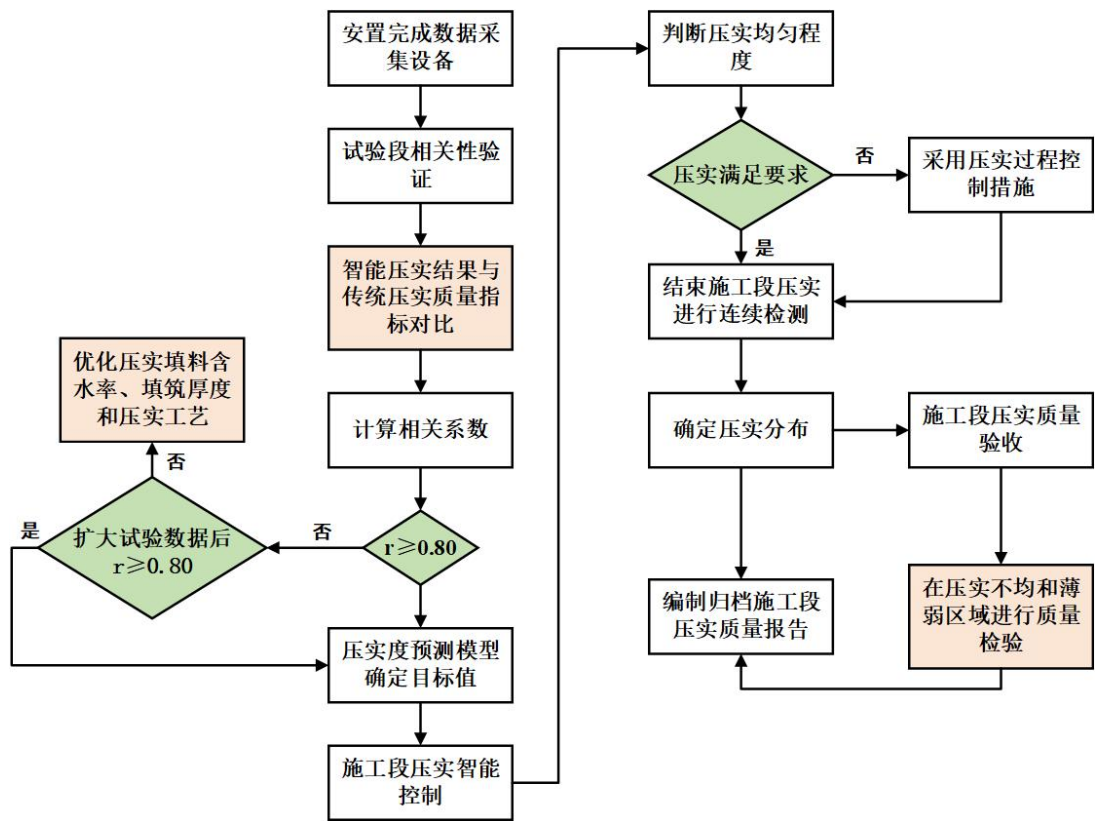


图 3-1 压实控制工艺流程

4 知识产权说明

本文件的最终知识产权归陕西路桥集团有限公司和各参与方所有。

5 采标情况

本文件为首次起草的陕西省地方标准，未采用国际标准和国外先进技术。

6 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

7 标准性质的建议说明

本文件对公路路基与基层压实施工工艺提出了明确规定，并对压实施工监测和控制提出主要技术指标。可为陕西省境内新建与改扩建公路、城市道路、轨道交通中路基与基层压实的施工监测与控制提供有力的技术指导，建议本文件审批发布为推荐性行业标准。

8 其他应予以说明的事项

主要参考资料:

DB13/T 5579-2022 基于北斗的路基智能压实技术规范

JTG/T 3610-2019 公路路基施工技术规范

JTG F80/1-2017 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

DB13/T 2572-2017 公路路基智能压实控制技术规程

JTG 3450-2019 公路路基路面现场测试规程

JTG/T F20-2015 公路路面基层施工技术细则

JT/T 1127-2017 公路路基填筑工程连续压实控制系统技术条件