

《黄河冲积平原粉土路基设计施工技术规范》 山东省地方标准编制说明 报批稿

一、工作简况

（一）任务来源

根据山东省市场监督管理局印发的 2022 年度《全省标准化创新发展项目计划》（鲁市监标函〔2022〕247 号），《黄河冲积平原粉土路基设计施工技术规范》（以下简称《规范》）列入当年山东省地方标准制修订项目计划附件第 42 项。本标准由山东省交通运输厅提出并组织实施，由山东省交通运输标准化技术委员会（TC41）归口。

（二）起草单位、主要起草人及任务分工

1. 主要起草单位

山东高速济南绕城西线公路有限公司、山东高速建设管理集团有限公司、山东交通学院、山东高速股份有限公司、山东省交通科学研究院、山东建筑大学

2. 主要起草人

本《规范》主要起草人：岳宏智、庞传琴、韦金城、路本升、吴文娟、马亚、孙兆云、张新、刘晓东、王晓燕、王扬、章清涛、徐希忠、王松涛、赵林、姚望、张晓萌、任瑞波、王晓然、刘姗、李洁、张磊、户桂灵、闫翔鹏、韩洪超、徐钦升、张正超、陈婷婷、徐润泽。

3. 任务分工

山东高速建设管理集团有限公司、山东高速济南绕城西线公路有限公司主要负责标准的立项需求调研、编制进度把关、协助征集相关方意见等事项。山东省交通科学研究院、山东建筑大学主要负责标准文本及编制说明的起草修改完善、征求意见的汇总、归纳和处理。山东高速股份有限公司主要负责粉质土路基施工、质量控制等部分工作，总结了相应的施工工艺和质量控制方法。其中：岳宏智担任标准起草组组长，全面组织、协调标准的编制工作；庞传琴、韦金城、路本升、马亚对规范技术内容进行把关，组织协调标准编制所需资源；吴文娟、孙兆云、张新、刘晓东、王晓燕、王扬、王松涛、赵林、张晓萌、任瑞波负责标准起草编写、对各相关方的意见和建议进行总结、归纳和处理以及标准编制进度把控；章清涛、徐希忠、姚望、王晓然、刘姗、李洁、张磊、户桂灵、闫翔鹏、徐钦升、韩洪超、张正超、陈婷婷、徐润泽负责标准制定过程中的试验及数据采集，并负责组织召开标准研讨会议、标准专家审查会等事务。

（三）起草过程

1. 准备阶段

标准计划下达后，在山东省交通运输厅标准化秘书处的指导下，于2022年10月成立了由山东高速济南绕城西线公路有限公司、山东高速建设管理集团有限公司、山东交通学院、山东高速股份有限公司、山东省交通科学研究院、山东建筑大学

等单位共同参与的标准编制组，编制组讨论了工作进度安排、任务分工及标准的初步思路，正式启动标准制定工作。

2. 现状调研

2022年11月至2023年8月，编制组对黄河冲积粉质土在路基中的应用情况进行了调研，查阅搜集了与粉质土路基相关的行业和地方标准，并收集了设计、施工、质量过程控制、检测结果等详细资料，并对调研反馈的信息进行了整理、汇总和分析；在此基础上，编制组广泛调研了山东省内黄河冲积平原粉质土在各等级公路路基中的应用情况，掌握了目前黄河冲积平原粉质土在我省公路路基工程中的需求状况、应用场景、技术短板等情况，为黄河冲积平原粉质土路基设计施工技术规范编制奠定了必要基础。

截至目前，我国发布了 JTG D30-2015《公路路基设计规范》、JTG/T 3610-2019《公路路基施工技术规范》、JTG 3430-2021《公路土工试验规程》、JTG 3450-2019《公路路基路面现场测试规程》、JTG F80/1-2017《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》、TB 10102—2023《铁路工程土工试验规程》等行业标准，对本标准的起草和编写提供了方向和借鉴。目前粉质土路基应用仍主要参考现行行业标准《公路路基设计规范》JTG D30 和《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610 等，没有针对性，适应性不强。本规范的定位是对现行《公路路基设计规范》和《公路路基施工技术规范》细化和补充；遵循就地取材、经济适用原则，综合考虑自然环境、交通

特性等条件，细化粉质土路基设计内容，优化粉质土路基设计指标；充分总结粉质土路基施工技术工程经验，细化施工技术要求和质量控制标准。

3. 标准起草

2023年9月起，编制组结合我省道路工程行业要求和黄河冲积平原粉质土路基的应用现状，在依托科研项目《黄河冲积平原粉土无集料基层及其新型路面结构关键技术研究》、《抗水性自修复粉土柔性固化技术及其在路基和基层中的应用研究》、《高承载永久路基分层设计、控制标准及施工关键技术研究》和省内、外多项粉质土路基现场检测项目的研究成果和经验基础之上，经多次实地试验验证、考察和交流，进一步修改完善，于2023年11月编制完成初稿，并报送省交通运输标准化技术委员会秘书处审核。2023年12月18日编制组根据秘书处审核意见进一步修改完善，形成最新标准初稿，于2024年1月17日组织召开了标准初稿审查会。

4. 征求意见

起草组根据专家组意见，进一步明确了标准定位，修改完善了标准的总体框架，细化了标准内容，形成了标准征求意见稿。2024年3月27日由山东省交通运输标准化技术委员会发布了《关于征求<黄河冲积平原粉土设计施工技术规范>(征求意见稿)地方标准意见的通知》，截至2024年6月17日，起草组面向全国高校、科研院所、业主单位、设计单位、施工单位、检测单位等35家单位统一发函广泛征求意见。起草组共收到

“征求意见稿”回函的单位 30 个，回函并有建议或意见的单位 24 个，反馈意见 58 条，经认真整理、分析后，共采纳意见 48 条，部分采纳意见 2 条，未采纳意见 8 条。起草组根据反馈意见对标准进行了进一步的修改和完善，具体修改情况详见《黄河冲积平原粉土路基设计施工技术规范》征求意见汇总处理表。起草组在补充相关室内及现场验证性试验后，结合相关征求意见对标准进行了修改完善，形成了标准送审稿。

5. 标准送审

起草组根据反馈意见进一步修改完善后形成了标准送审稿，于 2024 年 8 月通过山东省标准化信息公共服务平台向山东省市场监督管理局提报了送审材料。送审后经省市场监督管理局审查，建议本文件与 DB37/T 3359-2018《黄河中下游粉质土路基冲击碾压施工技术规范》技术内容进行合并，起草组重新组织编写，同时邀请行业内技术专家多次审查后，最终形成了送审稿，于 2025 年 6 月 18 日组织召开并顺利通过了送审稿专家审查会。

二、标准制定的目的和意义

路基是路面的重要支撑体，路基状态的好坏将逐层反射到路面，进而影响路面结构服役性能和使用寿命。路基的承载力越高，对于路面结构受力越有利，可保证路面使用性能，延长道路使用寿命。

黄河冲积平原粉质土是我国特有的一种土质，黄河携带大量黄土高原泥沙进入山东境内随地壳振荡式下沉，河身的反复

摆荡，塑造了鲁西北、鲁西南黄河冲淤积平原。在山东，黄河冲积平原粉质土遍布菏泽、济宁、德州、滨州、济南、淄博和潍坊等广大地区。约占山东省总面积的35%左右。黄河冲积粉质土具有粉粒含量高、黏粒含量低、颗粒磨圆度高、级配不良、孔隙率高等特点，是传统意义上的不良路基填筑材料，在工程应用中容易出现路基难压实、压实后表面易松散、路床易开裂等用不好的问题，进而引发路基和路面的病害，影响路面使用寿命。山东高速公路交通量大、多重载重车，对粉质土路基的要求越来越高。同时，近年来随着土地自然资源的加强保护和交通基础设施的快速发展，工程建设中填筑材料匮乏的现象日益严重，如何科学、规范、充分地利用当地材料作为公路路基填筑材料具有重要的社会、经济、环保意义。

现行行业标准《公路路基设计规范》（JTG D30-2015）和《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610-2019）中均无专门针对粉质土路基的技术要求，针对性不强。对粉质土路基均未作明确要求。因此，山东省作为黄河下游重要省份，迫切需要一部针对黄河冲积平原粉质土路基设计与施工的技术规范，进行粉质土路基应用指导。

本标准作为《公路路基设计规范》（JTG D30-2015）和《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610-2019）的细化和补充，旨在通过制定针对黄河冲积粉质土路基的设计、施工、质量检测等技术措施，提高粉质土路基填筑的整体稳定性、工后沉降控制和路基强度等性能指标，达到提升粉质土路基建设水

平和高质量发展的总体目标。

我国现行《公路路基设计规范》JTG D30-2015和《公路沥青路面设计规范》JTG D50-2017中对**路基的回弹模量最高要求为70MPa，对于路基强度的要求普遍偏弱**，这一方面使得路面设计方对路基回弹模量取值偏小，导致路面设计厚度过大，造成筑路材料的浪费；另一方面使得道路施工方对路基的施工质量不重视，易造成路基留下潜在工后沉降过大的弊端，对于性能较差的粉质土路基，偏低的路基技术要求对维持路基稳定性及其路面使用性能极为不利。同时，**在粉质土路基的施工工艺、质量检测方法和质量控制标准等方面也未形成系统性技术标准**。随着黄河冲积粉质土在各等级道路中逐步大量应用，对于指导其填筑路基的规范、标准需求越来越迫切。

本规范的制定对解决我省黄河冲积平原粉质土道路工程建设的关键技术问题，特别是对于解决粉质土路基承载力低难以满足新型路面结构要求的现状，提高公路的使用质量，延长公路的使用寿命，降低工程建设和养护费用，节约环境资源，具有重要的理论指导、社会和经济意义。

三、标准编制原则、主要技术内容和依据

（一）标准的编制原则

本标准的制订原则是依据 GB/T 1.1-2020 给出的原则和有关标准、政策法规进行编制的。制订本标准时充分考虑到满足我国的技术发展和生产需要，充分体现行业进步和发展趋势，符合国家产业政策，推动行业技术水平提高。标准文本格式、

条款主要是根据 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》进行编制。

(1) 协调性原则。充分做好资料调研工作，做好与相关标准、规范的协调、衔接，保证本标准与现行《公路路基设计规范》(JTG D30)、《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)等相关行业标准协调性。

(2) 可操作性原则。结合现有室内试验研究及已完工的实际工程，起草的条文应明晰、规范，便于工程应用，试验方法内容应详细、明确，可操作性强。

(3) 代表性和先进性原则。标准必须能够满足道路工程对粉土路基的基本性能要求，同时也必须结合实际工程，确保标准内容据实可行；同时能够引导粉质土路基路面工程质量的改进、完善，进而有利于交通行业建设水平的持续提升。

(4) 成熟性原则。标准须进行充分技术论证或试验验证，并在实际工程中加以验证，确保标准制订内容依据充分，理论正确，验证可信，确保技术成熟性、可靠性。

(5) 指标合理性原则。标准中的指标应具有明确的针对性、实用性和现实性。

(二) 主要技术内容及依据

本标准的名称表述为《黄河冲积平原粉质土路基设计施工技术规范》，内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、基本要求、设计、施工、施工质量控制与验收。具体的技术内容及依据说明如下：

1. 范围

对本标准包含的主要内容进行了规定，重点突出了本标准对于黄河冲积平原地区公路粉质土路基设计、施工、质量控制与检查验收等关键环节的技术要求。同时，还规定了本标准的适用范围是适用于黄河冲积平原区采用粉质土填筑的公路路基工程。

2. 规范性引用文件

本章列出本标准涉及的 10 本规范性文件。

JTG D30—2015 公路路基设计规范

JTG D50—2017 公路沥青路面设计规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

JTG/T D32 公路土工合成材料应用技术规范

JTG 3441—2024 公路工程无机结合料稳定材料试验规程

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

TB 10102—2023 铁路工程土工试验规程

DB37/T 4814 高速公路路基超厚度施工技术规范

3. 术语和定义

本章节是标准使用者准确理解和实施标准的前提条件。为了便于标准使用者理解，保障本标准的顺利实施，对“黄河冲积粉质土”、“黄河冲积粉土”、“黄河冲积粉质黏土”、“改良粉质土”、“冲击碾压”等进行了明确的定义。

4. 基本要求

4.1 本条款基于现行《公路路基设计规范》JTG D30，对粉质土路基应具备的性能作出规定。

4.2 本条款规定了粉质土路基设计施工遵循的基本原则和考虑因素。因冲（淤）积而形成的黄河中下游流域土质、水文地质条件随地形地貌、地下水位深度等的不同存在较大差异。路基土质、湿度情况对路基设计、施工效果具重要影响，因此，应认真分析路段的土质条件、地形地貌、水文地质等因素，确定合理的设计与施工技术方案。

4.3 本条款规定了粉质土路基的设计与施工除应符合本文件的规定外，尚应符合现行国家、行业有关标准、规范的规定。

5. 设计

5.1 一般规定

5.1.1 本条款规定了路基设计指标的选择条件。

5.1.2 本条款规定了改良粉质土路基应根据不同粉质土的工程性质（如颗粒组成、塑性指数、含水率等），选择合适的处置方案，在满足技术要求的基础上，确定经济合理的改良材料类型、配合比与工艺参数。

5.1.3 本条款规定了黄河冲积平原区粉质土路基应加强防排水设计。水是造成路基病害的主要因素之一。黄河中下游冲积平原地下水位高，地势平坦，排水困难，粉质土路基因特殊的土质特性，更易发生水损害，丧失强度，因此，应充分考虑水对路基性能的影响，加强防排水设计。

5.1.4 本条款规定了粉质土路基应结合工后沉降计算，确定合理的地基加固和路基填筑方案。通过沉降预测选择合理加固方式，有针对性提高地基承载力；优化路基填筑方案，预防沉降不足引发的病害风险，并保证施工工期。

5.1.5 本条款规定了公路地基及其表层处理设计、粉质土用作路基填料时的最小承载比（CBR）要求以及高填方粉质土路基设计等其他设计要求应符合 JTG D30 的相关规定。

5.2 路堤设计

5.2.1 本条款参考了现行《公路路基设计规范》JTG D30 的相关内容编制，规定了路堤高度的设计要求。考虑到黄河冲积粉质土工程性质较差、稳定性差，及结合工程实践综合判定，粉质土路堤临界高度不超过 6m，超过 6m 时进行稳定性验算。

5.2.2 本条款参考了现行《公路路基设计规范》JTG D30 规定了粉质土填料的适用部位，规定了路堤浸水部位、桥涵过渡段、低填浅挖路段不宜直接采用粉土填料填筑，宜采用粒料类材料或改良粉土填筑。

5.2.3 黄河中下游冲积平原地下水位高，压实粉土、粉质黏土毛细作用明显，相关试验研究表明，压实粉土毛细水上升高度约为 1.5m~1.7m；同时黄河中下游冲积平原局部地区盐渍化严重，土的含盐量高，盐分会在毛细上升作用下进入到上部土中，因此在潮湿路段、地下水位较高以及盐渍土路段，路基地底部设施隔断层，本条款参考了现行《公路路基设计规范》JTG D30 规定了隔断层的设置条件，隔断层材料及厚度设置要求。

5.3 路床设计

5.3.1 本条款规定了粉质土的适用部位。由于黄河中下游冲积平原粉质土黏粒含量低，压实后土体强度低、水稳定性差，特别是用于路床时，行车荷载作用土颗粒难以稳定，因此黄河冲积粉质土不宜直接填筑于高速公路、一级公路等高等级公路路床；考虑到该地区缺乏其他优质填料，建议高等级公路路床部位粉质土进行改良处置，可采用无机、有机或复合材料进行改良，石灰改良粉土水稳定性差，因此粉土不宜采用石灰改良。

5.3.2 本条款规定了路床为处置土时应进行配合比试验，以确定改良材料的类型、掺量以及改良粉质土的适用部位。

配合比设计步骤根据现行《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 进行。在室内进行配合比设计时，宜根据经验选择不少于 3 个改良材料掺量进行配比试验，以对材料掺量进行初选，选取合适的掺量范围。

5.3.3 本条款规定了改良原材料的技术要求，配合比试验前应进行原材料检验，所有材料指标满足要求方可使用。

5.3.4 本条款规定了改良粉质土的技术指标要求。经改良后的粉质土，应满足路基相应部位对其技术要求，确保路基有足够强度、稳定性和耐久性。

现行《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20、《公路沥青路面设计规范》JTG D50 以 7d 龄期无侧限抗压强度为控制指标。编制组对不同改良粉质土的无侧限抗压强度进行测试分

析，图 1 分别给出了水泥改良粉土、石灰改良粉质黏土、固化剂改良粉土、固化剂+水泥改良粉土以及水泥改良粉质黏土、石灰改良粉质黏土等的 7d 和 28d 龄期无侧限抗压强度值（平均值），可以看出不同土质、不同改良材料类型和掺量下改良粉质土强度随龄期变化规律相同，初期（7d）龄期强度增长较快，7d 龄期后强度增长缓慢，因此，本规范采用 7d 龄期无侧限抗压强度作为改良粉质土配合比设计的依据，试验方法按照现行 JTG 3441 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》中 T0805 的规定进行。

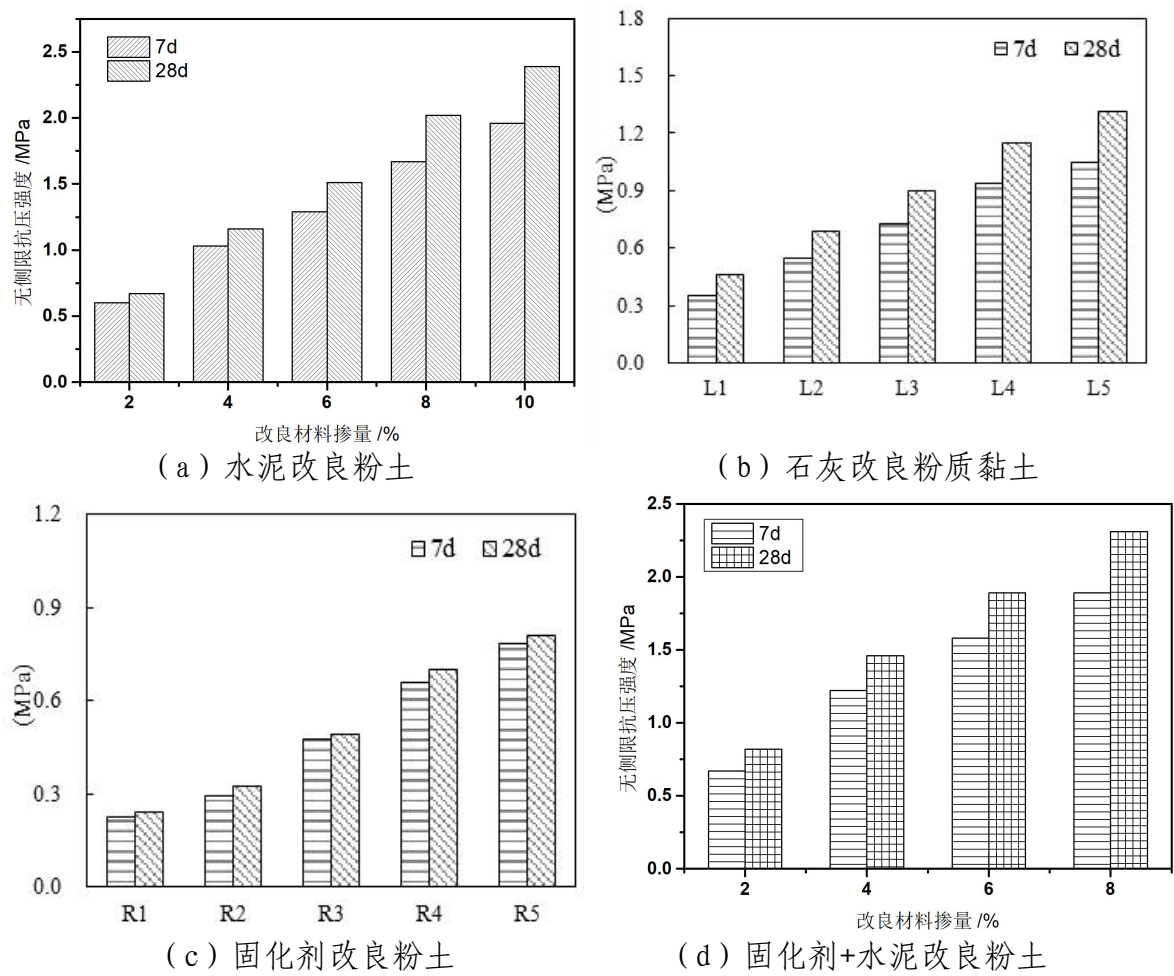


图 1 不同材料改良粉质土的无侧限抗压强度情况

在实际工程中，路床处置时常用的改良材料主要为水泥、石灰等无机结合料。采用水泥改良粉质土时，水泥掺量一般为 3%~6%，采用石灰改良粉质土时，石灰掺量一般为 5%~8%。实际工程中不同公路等级改良材料的掺量一般按下表 1 的范围取值。

表 1 工程中水泥、石灰推荐掺量

路基部位		路面底面以下深度 (m)	改良材料掺量，不小于 (%)		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路床		0 ~ 0.3	6 (10)	4 (8)	4 (6)
下路床	轻、中等及重交通	0.3 ~ 0.8	4 (8)	3 (6)	3 (5)
	特重、极重交通	0.3 ~ 1.2	4 (8)	3 (6)	—

注：括号前数值为水泥掺量，括号内数值为石灰掺量。掺量为水泥、石灰与干土的质量之比。

改良粉质土的 7d 无侧限抗压强度代表值结果见表 1，由于石灰改良粉质土的强度略低于水泥改良粉质土强度，两者相比选低值，由此确定改良粉质土 7d 无侧限抗压强度代表值如表 3 所示。同时根据现场施工经验，当改良粉土最小无侧限抗压强度值满足表 3 中的要求时，路床结构改良粉土填料可以满足顶面回弹模量要求。

当采用专用固化剂时，可根据推荐掺量，并按照现行 JTG 3441 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》进行无侧限抗压强度试验验证后选用。

表 2 改良粉质土的 7d 无侧限抗压强度代表值

	水泥 / %	石灰 / %
--	--------	--------

	3	4	6	8	5	6	8	10
7d 无侧限抗压强度 /MPa	0.46	0.69	0.97	1.28	0.42	0.52	0.64	0.86

表 3 改良粉质土 7d 无侧限抗压强度标准（代表值）

路基部位		路面底面以下深度, m	7d 无侧限抗压强度代表值, 不小于 MPa		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路床		0 ~ 0.3	0.8	0.6	0.5
下路床	轻、中等及重交通	0.3 ~ 0.8	0.6	0.4	0.4
	特重、极重交通	0.3 ~ 1.2	0.6	0.4	—

5.3.5 本条款提出了粉质土路基设计控制指标和验收指标, 提出了各等级公路下的路基结构各层顶面回弹模量设计要求。

现行《公路路基设计规范》JTG D30-2015 和《公路沥青路面设计规范》JTG D50-2017 中对路基的回弹模量最高要求为 70MPa, 对于路基强度的要求普遍偏弱, 这一方面使得路面设计方对路基回弹模量取值偏小, 导致路面设计厚度过大, 造成筑路材料的浪费; 另一方面使得道路施工方对路基的施工质量不重视, 易造成路基留下潜在工后沉降过大的弊端, 对于性能较差的粉质土路基, 偏低的路基技术要求对维持路基稳定性及其路面使用性能极为不利。

本条款提出对路基结构进行分层设计, 有利于路基质量控制, 并有效指导路基施工。

粉质土路基回弹模量控制标准主要来自山东省黄河冲积平

原高速公路路基的实测弯沉计算结果。编写组通过对山东省内多条特重交通下高速公路粉质土路基进行弯沉检测（见表 2～7），粉质土路床顶面弯沉代表值均控制在 142（0.01mm）以内甚至更小，路堤顶面弯沉代表指均控制在 264（0.01mm）以内甚至更小。弯沉与回弹模量根据现行《公路沥青路面设计规范》JTG D50 的相关公式换算，得到相应粉质土路床顶面回弹模量不小于 130MPa，路堤顶面回弹模量不小于 70MPa。

我国公路基层、底基层以半刚性为主，水稳粒料的模量基本在 1500MPa 以上，稳定土的模量基本在 500MPa 以上。从受力状况分析，提高路基模量将明显改善路面结构层应力状况，提高疲劳使用寿命。某种意义上，路面基层、底基层与路床结构层之间没有明确的界限，只是各层在受力状况上不同，因此各层的力学特性宜相平衡协调。

综上，本条提高了粉质土路基回弹模量的设计指标要求，并提出当路床需要改善时，路基应以路堤和路床顶面回弹模量为结构设计控制指标，根据特重交通粉质土路基实测结果，提出了特重、极重交通荷载等级下粉质土路床、路堤顶面回弹模量控制要求分别为不小于 130MPa 和 70MPa；重交通荷载等级下粉质土路床、路堤顶面回弹模量控制要求适当放宽，分别为不小于 100MPa 和 60MPa；轻、中等交通荷载等级下一般不对路床进行处置，路床顶面回弹模量控制要求为不小于 70MPa。

表 2 京台北高速改良粉土路基 1 试验段 FWD 弯沉数据汇总

层位	粉土	改良粉土
----	----	------

深度/cm	80-100		60-80		40-60		20-40		0-20	
测点位置	北侧	南侧	北侧	南侧	北侧	南侧	北侧	南侧	北侧	南侧
平均值/0.01mm	232.3	236.2	172.0	172.4	127.4	126.2	78.6	82.2	26.9	26.5
标准差	15.9	18.8	13.4	15.6	13.1	18.2	11.0	4.9	5.5	6.0
代表值/0.01mm	258.5	267.2	194.1	198.2	149.0	156.3	96.8	90.3	35.9	36.3

表 3 京台北高速改良粉土路基 2 试验段 FWD 弯沉数据汇总

层位	粉土		改良粉土							
深度/cm	80-100		60-80		40-60		20-40		0-20	
测点位置	北侧	南侧	北侧	南侧	北侧	南侧	北侧	南侧	北侧	南侧
平均值/0.01mm	229.1	223.9	174.8	177.5	130.8	127.1	83.5	83.0	47.5	45.5
标准差	15.1	14.6	10.9	9.9	18.3	16.3	8.8	13.2	10.9	6.8
代表值/0.01mm	254.0	247.9	192.9	193.8	161.0	154.0	98.0	104.7	65.5	56.8

表 3 枣菏高速路床顶面 FWD 弯沉数据汇总

项目	枣菏高速 1	枣菏高速 2	枣菏高速 3	枣菏高速 4
弯沉平均值/0.01mm	68.64043478	74.00285714	83.808	75.19416667
标准差	27.51851668	36.23252033	23.11977416	25.78010539
代表值/0.01mm	114.0459873	133.7865157	121.9556274	117.7313406

表 5 济南大西环绕城高速路床顶面 FWD 弯沉数据汇总

项目	1 分部	2 分部	3 分部	4 分部	8 分部
弯沉平均值/0.01mm	76.06	80.42	69.88	70.38	67.65
标准差	24.81	30.17	26.98	26.22	23.24
代表值/0.01mm	117.0	130.21	114.40	113.64	105.99

表 6 泰东高速素土顶面 FWD 弯沉数据汇总

项目	泰东高速 1	泰东高速 2
弯沉平均值/0.01mm	118.2380952	134.0673
标准差	46.96243755	48.04644
代表值/0.01mm	195.7261172	213.3439

表 7 济菏高速路基各层顶面 FWD 弯沉数据汇总

项目	94 区顶	96 区顶
弯沉平均值/0.01mm	236.2155	71.89583
标准差	16.23300	2.290045
代表值/0.01mm	263.00000	75.67441

5.3.6 本条款平衡湿度状态下路基回弹模量确定直接引用《公路路基设计规范》JTG D30-2015 的相关规定，包括平衡湿度下路基回弹模量设计值、标准状态下路基回弹模量的确定方法和粉质土路基回弹模量湿度调整系数、干湿循环或冻融条件下路基土模量折减系数的确定方法。其中，改良土的回弹模量湿度调整系数取 1.0。

5.3.7 本条款规定了粉质土路基分层设计的流程。路基分层设计能更好的控制路基质量。分层设计流程可用于设计路床、路堤的材料及其回弹模量（前提已经确定各层厚度），也可用于设计各层厚度（前提已经确定各层模量）。

5.4 防排水与边坡防护

5.4.1 ~ 5.4.3 参考了现行《公路路基设计规范》（JTG D30）的相关内容，对防排水和边坡防护作了规定。

6. 施工

6.1 一般规定

6.1.1 本条款规定了粉质土路基施工前应通过铺筑试验段确定施工参数和质量检测控制标准。

6.1.2 本条款规定了路堤、路床施工时采用的施工方法。

黄河冲积平原区粉土路基填料受含水率影响较大、难以晾晒和难以压实，可采用常规振动压实、冲击压实或大吨位大厚

度压实等施工方法，可根据工期安排、施工进度以及土质情况进行选择。

冲击碾压能显著提高路基的承载力和压实度，填料充分压缩，且使用填料的含水率范围较大，冲击碾压法处置粉土路基时最佳虚铺厚度和碾压速度远超普通压路机，施工效率高，与普通压路机相比有明显优势。

但研究表明，表层土体压实度达到或超过 93 % 后，不同深度处土体压实度曲线出现拐点，继续碾压对提高土体压实效果越来越小，较难使下层土体压实度达到 96 %。此外，路床一般采用处治土，冲击碾压振动大，对处治土性能影响大，同时考虑经济性和施工效率，冲击碾压法处置粉土路基时不适宜用于路床区，宜用于路堤区，路床适用于振动影响小的振动压路机碾压。

近年来，为缓解工期紧张问题，大吨位大厚度施工技术在国内部分高速公路建设路基施工中得到应用。

6.1.3 本条款规定了粉质土路基在振动敏感（如邻近构筑物）及空间受限路段采用液压夯等低振动机具施工，以减小扰动风险，适应狭小空间。为确保实施方案安全、经济、有效，应先进行试验段验证，充分论证后实施。

6.1.4 本条款规定了粉质土高填路堤、陡坡路堤施工应加强施工过程监控。鉴于粉质土本身的工程特点，高填方易产生较大工后沉降，同时粉质土抗剪强度低，尤其在陡坡地段，不当施工易诱发局部失稳或滑坡，因此高填路堤、陡坡路堤施工

时应加强施工过程中沉降、位移、稳定性等监测。

6.1.5 本条款规定了雨季施工的关注重点。黄河中下游冲积平原粉质土路基边坡稳定性差，极易受雨水冲刷破坏，因此雨季施工时应做好集中排水工作，应根据现场情况，增设临时排水设施。做好防护工作，边坡出现冲沟和溃坡时应及时进行修复。

6.1.6 本条款规定了除满足本标准的规定，其他技术要求引用 JTG/T 3610《公路路基施工技术规范》的相关规定。

6.2 施工准备

6.2.1 本条款规定了对来源不同的拟作为路堤填料的黄河冲积粉质土进行复查和取样试验。黄河中下游冲积平原区局部区域土壤盐渍化较为严重，土的含盐量偏高，应根据盐渍化程度进行土的含盐量监测，判断是否适宜用作路基填料。局部区域土的有机质含量偏高，应进行有机质含量检测，判断是否适宜用作路基填料。

6.2.2 本条款规定了改良粉质土施工前进行配比试验，以验证设计配比对粉质土的实际改良效果（强度、水稳性），确保路基性能达标。当土源发生变化需通过试验调整配比，避免因土质变化导致改良失效或成本浪费。

6.2.3 本条款基于现行 JTG/T 3610《公路路基施工技术规范》对场地清理、地基处理作出规定。黄河冲积平原地下水位高，局部路段存在黏土夹层，地基压实常难以达到设计要求，并导致上层路堤土压实困难，难以达到压实标准。因此，地基

施工宜避开雨季，并尽量安排在地下水位较低时施工。在地下水位较高，碾压难以达到设计要求的地段，应根据地基地下水位和土质情况采用相应的地基处理措施，确保地基施工质量。

6.2.4 本条款规定了粉质土路基施工前应进行试验段以确定正式施工时的施工参数、控制标准等，本部分主要基于现行 JTG/T 3610《公路路基施工技术规范》编写。不同的压实机械的施工工艺和关键工艺参数不同，故应在试验段确定合适的施工机械。此外，本标准规定了回弹模量测试方法除落锤式弯沉仪法，还增加了便携式弯沉仪测得的动态变形模量，试验段应确定适宜的质量控制方法和标准。

6.3 路基施工

6.3.1 本条款主要根据 JTG/T 3610《公路路基施工技术规范》、DB37/T 4814《高速公路路基超厚度施工技术规范》对路基分层填筑、超填宽度、施工作业段长度、压实厚度等作出规定。

常规振动压实法施工时宜在路基设计宽度以上增加宽度 50cm~100cm；冲击碾压法施工时路基填筑的外边线应大于设计宽度 1.3m~2.0m；大吨位大厚度施工时，路堤超填宽度不应小于 50cm。

6.3.2 本条款主要根据 JTG/T 3610《公路路基施工技术规范》规定了常规振动压实法的施工要求，包括设备要求、施工技术要点等。

黄河中下游冲积粉质土具有良好的频率响应特性，密实时

的自振频率为 33~40Hz，激振频率接近粉质土的自振频率时效果最佳，路基在碾压过程中，路基土逐渐密实，其频率响应及所需压实能量也会发生变化。滨大高速公路、青银高速公路、安徽德上高速公路等典型粉质土路基现场碾压试验表明，使用振动压路机时，采用静压-高频弱振（或低频强振）-低频强振（或高频弱振）-静压等变频变幅的碾压工艺能达到较好的压实效果。振动压实遍数不少于 3 遍，不超过 5 遍。

黄河中下游冲积粉质土保水性差、失水快，粉质土路基填筑施工时含水率控制是关键，应根据是施工地温度、风力等因素灵活控制翻晒、整平、碾压尤其碾压作业的含水率。正常摊铺整平作业控制大于最佳含水率 3%-5%，碾压作业控制大于 2%-3%，当春秋季节、早晚、微风时取低值、当夏季、日中、风大等水分蒸发快的情况，取高值。

6.3.3 本条款规定了路堤采用大吨位大厚度压实法的施工要求，包括设备要求、松铺厚度要求、压实工艺要求等，主要基于 DB37/T 4814《高速公路路基超厚度施工技术规范》编写。

6.3.4 本条款规定了冲击碾压法的施工要求，包括设备要求、材料要求、施工场地要求和施工技术要点等。

冲击压路机的非圆形压实轮一般是由曲线为边构成的三、四、五等正多边形压实轮。为了获得较大的冲击能量，在地基、路堤的冲击碾压工程中一般采用正三边形压实轮。大量的工程经验也表明，压实轮为正三角形的冲击压路机对路堤、地

基的冲击碾压效果优于正四边形、正五边形的冲击压路机。正三边形冲击压路机冲击势能一般为 25kJ（冲击能量以 25kJ 为基本型号，还有 15kJ、20kJ、30kJ、35k 等）。高临高速公路和济东高速公路路堤、地基的冲击碾压均采用了该种类型的压路机（高临高速公路 3 合同段采用 YCT25kJ 正三边形拖式双轮形冲击压路机，冲击势能为 25k；济东高速公路第 8、9、13、16 合同均采用了相同型号的冲击压路机）。冲击压路机的行驶速度取决于牵引车或驱动机的功率，其功率应与冲击压路机的型号、吨位相匹配，在有效冲击碾压长度内应保证行驶速度在 10km/h~15km/h 之间。

由于冲击式压实机具有较大的冲击能量，土体的含水率会严重影响冲击碾压的效果，含水率过大时，容易造成翻浆、弹簧等一系列问题，表面含水率过大时容易形成表面推移，同时上层 20cm 的土体和下层土体会出现脱离的现象；含水率太小，对路基的压实十分不利，因此应严格控制土体保持适宜的含水率。当与土的最佳含水率的误差范围控制在 $\pm 3\%$ ，可保证压实效果。土体含水率过大时，应采取晾晒等措施，不宜将含水率过大的土体直接在施工作业面上翻晒；含水率不足时，应采取补水措施。

控制松铺厚度可以有效提高施工效率和经济性。对于不同松铺厚度，作用在单位面积上的压实功不同，单位面积压实功小，表明松铺厚度较好。按照公式（1）确定最佳松铺厚度，假定冲击能量只作用在新填筑土体上，冲击轮冲击路基面简化为

冲击轮宽，计算不同虚铺厚度时单位面积压实功 W_a 。

$$W_a = NE / HL \quad (1)$$

式中：N 为冲击碾压遍数；E 为单次冲击能量，压实轮为正三角形的冲击压路机，冲击势能不宜小于 25kJ，工作速度 10km/h ~ 15km/h，取为 25kJ；L 为冲击轮的宽度，正常工作速度工作时，取值为 180cm。图 2 表示了单位面积压实功和松铺厚度的关系，虚铺厚度小于 80cm 时，单位面积压实功随虚铺厚度的增加而减小，虚铺厚度大于 80cm 时，单位面积压实功随虚铺厚度的增加而增大，这说明虚铺厚度为 80cm 时，压实效率高且经济，最适宜的虚铺厚度应为 80cm。

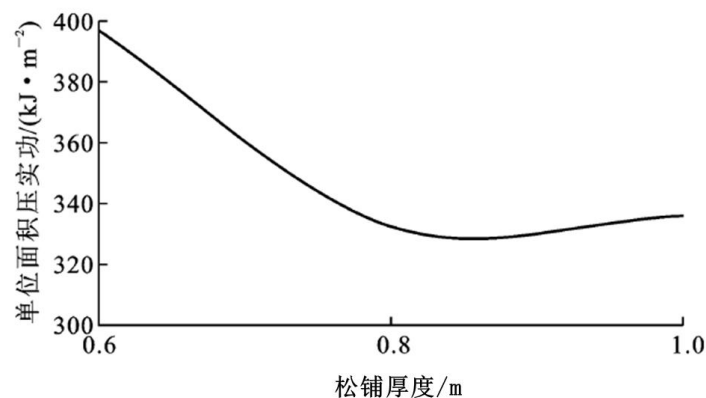


图 2 单位面积压实功与松铺厚度关系曲线

根据济东高速试验场冲击碾压处置粉质土路基效果，当松铺厚度为 0.8m 时，冲击碾压 20 遍后不同深度压实度（如图 3）满足规范要求，同时沉降变化已经很小（如图 4），即填筑层密实度已趋于稳定，因此推荐黄河冲积平原粉质土路堤适宜的冲击碾压遍数为高速公路、一级和二级公路不宜少于 20 遍，三四级可适当降低不少于 15 遍。

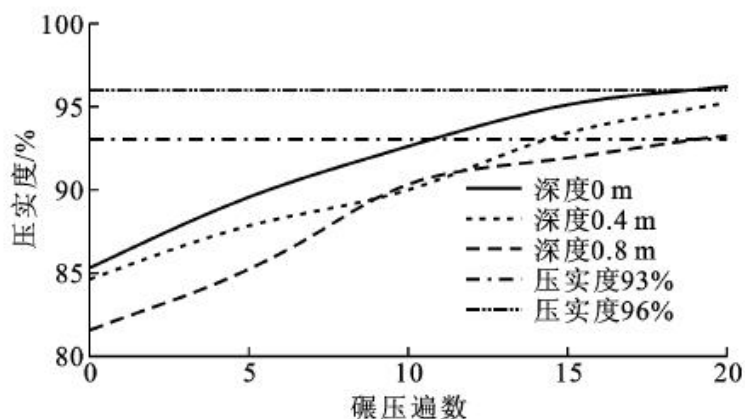


图 3 压实度与碾压遍数关系曲线 (松铺厚度 0.8m)

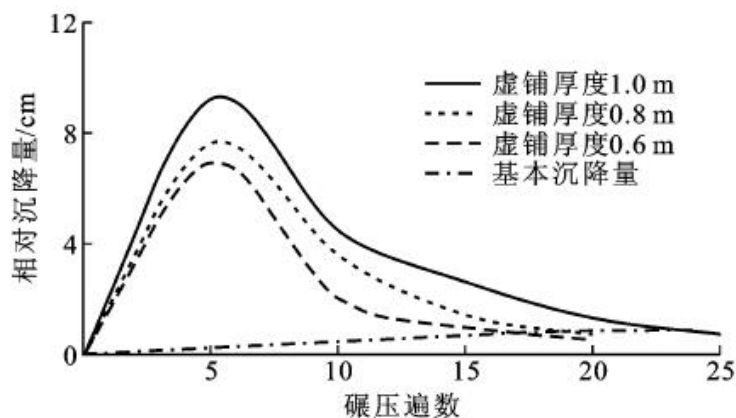


图 4 相对沉降量与碾压遍数关系曲线

在路基冲击碾压过程中，冲击压路机周期性地冲击地面，在凸行轮的作用下形成峰谷，轮迹太深会对压路机的前行速度造成不利影响，同时会对路基压实度造成不利影响，因此通常每冲压 4 遍，对作业面按路拱横坡度要求进行整平一次，然后才能进行后续冲碾。为防止冲击碾压过程中有大量灰尘扬起，通常需要利用洒水车进行洒水除尘。

利用冲击式压实机进行碾压的过程中，由于机械设备需要较大的掉头范围，同时形成较长的连续冲碾不仅可以使冲碾效果得到提升，同时还能从最大程度上避免由于过多“接头”而

对路基整体性、均匀性造成不利影响，因此一般采用错轮回转法进行冲击碾压等方式进行冲击碾压，施工场地宽度较小时，需要场地两端预留足够的场地供设备掉头转弯。

冲击碾压采用来回错轮的方式，冲击碾压压实轮为双瓣三角形凸轮式冲击轮，冲击轮在纵向以每前行一周压实 $1/6$ 轮的运行方式进行碾压，在同一碾压带上错轮碾压 6 次相当于利用圆轮压路机进行一遍碾压。因此，利用冲击式压力机进行路基碾压时，同一碾压带纵向至少要进行 6 次以上的冲击，才能在纵向土层达到均匀的效果；横向错轮不重叠碾压，横向错轮碾压时下一遍碾压时外侧冲击轮向内错轮 $1/6$ 轮周距，4 遍为一轮回。因此，考虑施工效率和经济性，采用横向错轮碾压的方式进行冲压，保证路基受到均匀冲击压实，不出现漏冲或过冲现象。

6.3.5 本条款规定了采用改良粉质土填筑路基的施工技术要点。

采用改良粉质土填筑路基时，为保证压实质量，压实厚度应不超过 25cm。

改良粉质土路基施工最易出现的质量事故为采用路拌机拌和深度不足、未拌和到底而出现素土夹层，为避免出现素土夹层，拌和遍数应不少于 2 遍，专人跟随拌和机，并人工挖取检查，每 20m 宜检测一次拌和深度，拌和深度宜深入下承层 1~2cm；拌和过程中拌和机宜每次拌和重叠不小于 30cm；拌和后混合料颜色应均匀一致。未拌和到底时须重新拌和。

改良粉质土采用的改良材料中含有水泥成分时，应在水泥终凝前，强度形成前，完成压实，水泥终凝后进行压实会破坏已经形成的结构强度，影响路基整体强度。覆盖保湿养生，有利于强度增长，养生时间一般不小于 7 天。

7. 施工质量检测与验收

7.1 一般规定

7.1.1 本条款规定了粉质土路基的质量控制指标和标准。以往路基施工过程中一般以压实度作为质量控制标准，为有效控制路基施工质量，本标准以顶面回弹模量为最终控制标准。

试验表明，路基回弹模量（弯沉）检测的有效影响深度约在 1.5~2.0m 之间。对路基不同层位提出质量控制指标要求，可以降低路基顶面回弹模量不够的风险，同时也可以根据检测结果合理调整确定路床填料与填筑方案。因此，除压实度检测外，提出了路堤顶面和路床顶面均应进行回弹模量检测，路堤弯沉检测合格后方可进行路床部位施工，当达不到回弹模量要求时，应分析原因，并采取补压等针对性措施。

7.1.2 本条款规定了改良粉质土路基施工前，应对改良材料进行产品质量检验，这是保证改良粉质土路基施工质量的前提。

7.1.3 本条款考虑到改良材料掺量对改良粉质土的强度有显著影响，施工过程影响因素较多，进行材料质量检查是保证施工质量的重要环节，应开展改良材料掺量检测，严格控制改良材料掺量不少于设计值。

7.2 施工过程质量检测

7.2.1 本条款规定了粉质土路基施工质量控制方法。

7.2.2 本条款规定了粉质土路基施工过程中压实度检测的方法和频率，主要根据 JTG/T 3610《公路路基施工技术规范》、DB37/T 4814《高速公路路基超厚度施工技术规范》编写。考虑到冲击碾压施工压实厚度较大，在不同深度处检测压实度更为可靠。

7.2.3 本条款规定了粉质土路基施工后地基、路堤和路床的压实度标准。

7.2.4 本条款规定了改良粉质土路基检测改良材料掺量的方法和频率。

7.2.5 本条款提出了回弹模量的检测方法，可采用落锤式弯沉仪或便携式落锤弯沉仪测试方法。

采用落锤式弯沉仪（FWD）时，通过测得各测点的回弹弯沉值，按照 JTG D50—2017 式（B.7.1），由实测弯沉值计算确定路基顶面回弹模量。

便携式落锤弯沉仪是一种体积较小，便于携带的基础表面动力承载能力试验检测设备，在国外相关规范中，常被称为便携式落锤弯沉仪（PFWD: Portable Falling Weight Deflectometer），简称 PFWD，可以克服落锤式弯沉仪（FWD）等测试人员多、偏僻地方不宜到达等缺点，施工过程中可实现快速检测。试验研究显示，路基回弹模量与动态变形模量有较好的相关性。为验证粉质土路基回弹模量与动态变形模量的关

系，编写组通过对大西环、京台北等典型粉质土路基进行了 PFWD 和 FWD 现场测试，建立了 FWD 测定获得回弹模量和 PFWD 动态变形模量的对应关系，结果如图 5 所示。

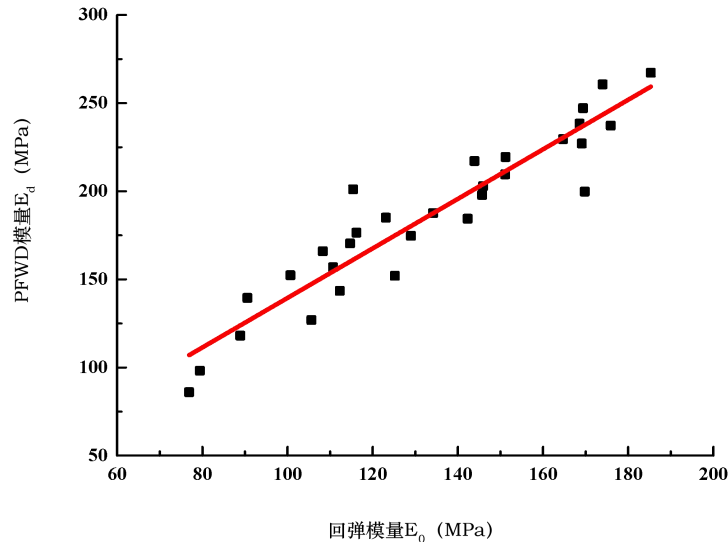


图 5 FWD 测定回弹模量和便携式落锤弯沉仪动态变形模量的对应关系

$$E_d = 1.405 \times E_0 - 1.204 \quad R^2 = 0.8829 \quad (2)$$

由以上结果可知，粉质土路基通过落锤式弯沉仪测定获得回弹模量和便携式落锤弯沉仪动态变形模量有较强的相关性，通过试验段找到落锤式弯沉仪测得的回弹模量对应的动态变形模量控制值可作为评价粉质土路基施工质量的指标。

同时，PFWD 不仅可直接获得路基的动态模量，还可以通过找到压实度对应的动态变形模量控制值，作为评价路基压实效果的指标。

7.3 交工验收

7.3.1 本条款规定了路基工程验收前应进行自检。

7.3.2 本条款规定了路基交工验收的方法和标准。依据现行 JTG D50《公路沥青路面设计规范》规定了路基顶面弯沉验

收方法和标准， K_1 为路基顶面弯沉湿度影响系数，是路基顶面实测代表弯沉值计算的重要参数，本标准给出了 K_1 的计算公式，经湿度调整后路基顶面验收弯沉值 l_A 和经湿度调整前路基顶面验收弯沉值 l_B 应根据路基分层结构，采用弹性层状体系理论，由地基土、路堤填料及路床各层材料室内试验获得的回弹模量综合确定。

7.3.3 本条款直接引用了 JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》中路基交工验收的相关规定。

四、与现行相关法律、行政法规和其他标准的关系

本标准与现行的法律、法规和强制性国家标准无冲突和违背。

目前，已发布与本标准相关的行业标准有 JTG D30—2015《公路路基设计规范》、JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》、JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》、JTG/T D32《公路土工合成材料应用技术规范》、JTG 3441—2024《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》、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》、TB 10102—2023《铁路工程土工试验规程》等。本标准在编制过程中涉及相关内容与以上标准相应内容协调一致，不存在冲突。

现行行业标准《公路路基设计规范》JTG D30 和《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610 中均无专门针对粉土路基的技术要求，针对性不强，对粉土路基均未作明确要求。同时，我国

现行《公路路基设计规范》JTG D30-2015 和《公路沥青路面设计规范》JTG D50-2017 中对路基的回弹模量最高要求为 70MPa，对于路基强度的要求普遍偏弱；同时，在粉土路基的施工工艺、质量检测方法和质量控制标准等方面也未形成系统性技术标准。

本标准的制定是对现行行业规范中粉土路基有关设计方法、施工、质量检测的细化与补充，包括提高了对粉土路基填料强度和结构强度的设计技术指标和要求，提出了进行粉土路基分层控制的设计方法；详细给出了直接采用粉土填筑路基和改良粉土路基填筑的施工工艺；提出了粉土路基施工过程分层质量检测指标、方法和技术要求等。

与本标准相关的地方标准有《高速公路路基超厚度施工技术规范》（DB37/T 4814）。

山东省地方标准《高速公路路基超厚度施工技术规范》（DB 37/T 4814—2025）主要规定了高速公路路基超厚度施工的主要技术内容。本标准给出了粉质土路基设计、施工和质量控制与验收的有关规定，在路基设计部分给出新的粉质土路基填料强度和结构强度设计要求，提出了进行粉土路基分层控制的设计方法；在粉土路基施工部分主要规定了采用常规振动压路机、大吨位大厚度法以及冲击碾压法的施工工艺，提出了压实度和强度双指标的质量控制方法和标准，大吨位大厚度法施工工艺和质量检测标准引用了《高速公路路基超厚度施工技术规范》（DB37/T 4814-2015）的内容。

五、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

本标准在编制过程中无重大分歧意见。

六、对地方标准自发布日期至实施日期之间的过渡期（以下简称“过渡期”）的建议及理由

建议过渡期 3 个月。

公路建设单位、设计单位、施工单位和监理单位等是标准实施的主体，为确保其准确理解、掌握和执行标准，规范黄河冲积平原粉土路基设计与施工项目的实施，标准发布后将向标准实施主体进行推广和宣贯，推动标准的落地实施。预计此项工作需要 3 个月的时间。

七、其他需要说明的情况

1. 名称变更

本文件经送审后，根据标准内容和征求意见情况，建议标准名称修改为《黄河冲积平原粉质土路基设计施工技术规范》。

2. 实施效益分析

本标准的制定是对现行行业规范中粉土路基有关设计方法、施工、质量检测的细化与补充，旨在通过制定针对黄河冲积粉土路基的设计、施工、质量检测等技术措施，提高粉土路基填筑的整体稳定性、工后沉降控制和路基强度等性能指标，达到提升粉土路基建设水平和高质量发展的总体目标，有利于提高山东省黄河冲积平原粉土路基设计、施工水平，提高道路结构的可靠性，延长道路的使用寿命，提升公路的使用质量，减少养护维修次数，节约环境资源；同时，黄河冲积平原约占

山东省总面积的 35%左右，冲积粉土的有效利用，有助于缓解我省黄河冲积平原地区公路建设中的土资源严重缺乏的现状，同时推动我省绿色发展新模式和绿色经济转型，符合公路建设环保、经济、可持续发展和经济社会“五大发展理念”要求。

提出部门：山东省交通运输厅

2025 年 9 月