

《黄河冲淤积平原中高液限黏土路基施工技术规范》

山东省地方标准编制说明 报批稿

一、工作简况

（一）任务来源

本文件的制定任务来源于山东省市场监督管理局《关于印发 2020 年度地方标准制（修）订计划项目的通知》（鲁市监标字〔2020〕249 号），《黄泛区中高液限黏土路基填筑技术规范》被列入山东省地方标准制修订计划，计划编号附件 1-128。

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

山东大学，参与单位为山东高速集团有限公司、济宁市鸿翔公路勘察设计研究院、山东省交通规划设计院、中建八局第二建设有限公司、青岛市交通科学研究院、山东高速济青中线公路有限公司、山东省公路桥梁建设集团有限公司、山东交通学院、山东交通职业学院。

2. 主要起草人

蒋红光、姚占勇、薛志超、陈鲁川、马川义、孙辉、周磊生、马晓燕、高雪池、龙厚胜、梁明、姚凯、张吉哲、杜

洪涛、孙杰、夏全平、毕玉峰、于坤、刘依依、赵庆、陈思涵、李莎莎、程勇、刘侠、鞠建、韩延吉、赵之仲、孟凡涛、尹刚、黄媛媛、岳晓晗、王术剑、吴传山、张荣华、解庆贺、杜磊、王超。

3. 任务分工

蒋红光：标准起草负责人，组织标准起草工作，把握标准制定技术方向，组织协调标准相关工程实施；姚占勇：标准起草负责人，组织确定标准制定方案，组织推进标准制定程序和进度，组织协调标准制定所需资源；薛志超：标准起草负责人，组织讨论确定标准框架、编写思路，组织起草组人员讨论确定标准化对象需要规范的技术要素；陈鲁川：整理标准相关技术文档，组织召开标准研讨会，组织征求意见等，协调调度起草组成员推进标准制定程序；马川义：组织起草组人员进行调研、收集素材，组织起草人员编写标准，参与标准编写，对编写过程进行现场指导；孙辉：统筹安排起草人员对标准编写所需的资料、素材，参与标准编写进行准备，协助征求意见等；周磊生：组织起草组人员进行调研、收集素材，组织起草人员编写标准，参与标准编写，对编写过程进行现场指导；马晓燕：标准起草负责人，组织实施标准制定方案，调度起草组成员推进标准制定程序和进度，组织标准审查、报批等工作；高雪池、龙厚胜：协助组织讨论确定标准框架、编写思路，协助组织起草组人员讨论确定标准化对象需要规范的技术要素；毕玉峰、于坤、赵庆、陈思

涵、刘侠、鞠建、程勇：参与标准调研、标准编写、标准讨论，协助整理标准相关技术文档，主要负责标准第四章的编写；梁明、姚凯、张吉哲、刘依依、赵庆、陈思涵、李莎莎、赵之仲、孟凡涛、杜洪涛、孙杰、夏全平：参与标准调研、标准编写、标准讨论，协助整理标准相关技术文档，主要负责标准第五章的编写；解庆贺、杜磊、王超、尹刚、黄媛媛、岳晓晗、王术剑、吴传山、张荣华、韩延吉：参与标准调研、标准编写、标准讨论，协助整理标准相关技术文档，主要负责标准第六章的编写。

（三）起草过程

1. 前期准备

2020年10月，组建《黄泛区中高液限黏土路基填筑施工技术规范》编制组，召开第一次工作协调会，明确任务要求、人员分工及工作进度计划，并对标准的整体框架及难点问题进行讨论；起草工作大纲、编制大纲。编制组结合现阶段主管部门的发文、要求以及试点实践等进行了深入分析和研究，完成已有标准、文献资料的收集、分析和总结。

基于国内资料调研和相关研究报告分析，制定了标准编写大纲，形成本文件编写方案。

2. 现状调研与实体工程应用经验总结

2020年11月至2021年12月，对山东省采用中高液限黏土填筑路基的济南至徐州高速公路、董家口至梁山高速公路、新泰至台儿庄高速公路、济南至乐陵高速公路和德州至

商丘高速公路进行了调研和取样,开展了中高液限黏土颗粒级配、界限含水率、CBR 值、无侧限抗压强度、改性处理、现场破碎晾晒工艺、碾压工艺等的试验研究和资料整理,为文本文件草案的撰写奠定了必要基础。

3. 标准起草

2022 年 1 月起,结合国内公路高液限土路基设计与施工技术相关行业、地方标准及其工程应用调研分析,开始本文件的编写工作。编制组经多次讨论、调研、专家意见征集等形式,于 2023 年 3 月完成标准草稿的编写工作,形成了标准草案和标准编制说明。山东省交通运输标准化技术委员会在 2023 年 8 月 11 日组织召开了地方标准《黄泛区中高液限黏土路基填筑施工技术规范》初稿审查会,会上合并整理了专家提出的意见及建议(详见山东省地方标准《黄泛区中高液限黏土路基填筑施工技术规范》(初稿)专家审查会议纪要及意见处理表),编制组根据专家的意见进行完善和修改后,形成《黄泛区中高液限黏土路基填筑施工技术规范》(征求意见稿)。

4. 工程验证

对标准中涉及到的关键性技术指标进行了重复的测试验证,验证了中高液限黏土路基填筑施工技术的可靠性,确定了相关技术指标及施工工艺等。

依托《不良土质填筑路基技术及路用性能研究》课题(山东省交通运输厅项目)、《黄泛区非饱和高液限黏土路基长期

动力稳定特性与关键技术研究》课题（山东省交通科技计划项目）、《稳健性道路路基湿化状态界定与湿度控制技术》课题（山东高速集团科技项目），验证了标准内黄泛区中高液限黏土最大粒径、含水率、压实度、CBR等相关技术指标及施工工艺的可靠性，填补了规范《公路路基设计规范（JTG D30-2015）》颁布以来，该领域这类土的研究空白，补充了规范关于黄泛区中高液限黏土动态回弹模量参数、平衡湿度状态以及压实控制标准的规定，实现了路基工程中中高液限黏土的资源化利用，有效推动我国路基施工技术进步，具有重要的经济、社会和环境效益。

5. 征求意见

2024年6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〈黄泛区中高液限黏土路基填筑施工技术规范〉（征求意见稿）地方标准意见的通知》，在行业内进行了为期一个月的意见征求。截至2024年7月31日，收到“地方标准草案征求意见稿”回函的单位有20家，共反馈意见34条，0家单位无意见。起草组对意见进行了修改处理，共采纳意见24条，不采纳意见10条。具体修改情况详见山东省地方标准《黄泛区中高液限黏土路基填筑施工技术规范》征求意见汇总处理表。起草组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。

6. 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10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,起草组根据建议组织编写,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2024年11月19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

黄河冲淤积平原中高液限黏土以粉粒为主,有较高的黏粒含量,黏粒与粉粒的含量占90%以上。与黄河冲淤积平原粉土相比,黏粒含量较高;相比于典型的高液限黏土,粉粒含量过高,如图1所示。黄河冲淤积平原中高液限黏土的液限在45%~60%之间,塑限在21%~27%之间,塑性指数在23~30之间。与南方红黏土及一般的高液限黏土相比,黄河冲淤积平原中高液限黏土由于黏粒含量相对偏低而粉粒含量很高,其液限并不高,在细粒土分类的塑性图上处于高液限土与低液限土分类的过渡范围。因此,结合黄河冲淤积平原该类土质特有的颗粒级配和界限含水率特征,定义黄河冲淤积平原中高液限黏土为粒径小于0.075mm的颗粒含量大于50%、液限介于45%~60%、塑性指数位于土体塑性图中A线上方的细粒土。

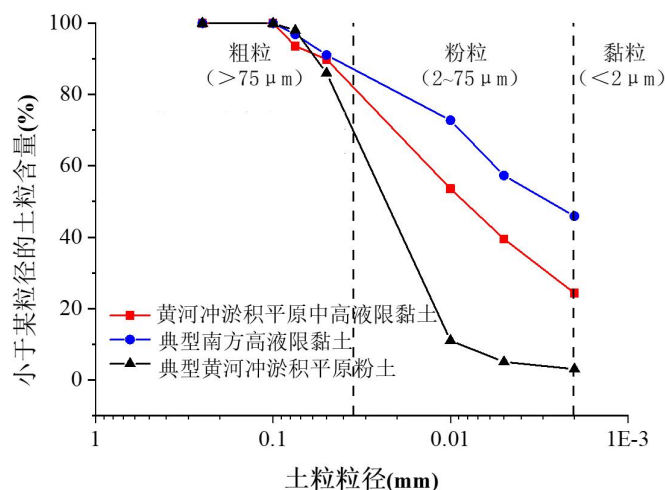


图1 土体粒径分布

由于黄河冲淤积平原中高液限黏土特殊的历史成因，土体用作公路路基的填筑材料时主要存在以下主要工程问题：一是天然含水率高，晾晒至最优含水率的工作量巨大，且晾晒时易形成“外干内湿”现象，晾晒效果不佳；二是液限较高（45%~60%）、易吸水、保水性强，碾压过程易形成表层硬壳层及水分上移等特点，出现“橡皮土”现象，压实度达不到设计要求；三是土体的水敏感性强，路基湿化后强度衰减明显。我国《公路路基设计规范（JTG D30-2015）》规定：液限大于 50%、塑性指数大于 26 的高液限土不能直接用于路基填筑。然而，黄河冲淤积平原区土地资源非常紧张，取土困难，全线普遍缺土，而沿线广泛分布的中高液限黏土，由于路用性能差，不允许直接在路基中填筑，若该类土弃之不用，将会造成巨大的资源浪费和环境问题。

为了解决黄河冲淤积平原中高液限黏土填筑公路路基的关键控制指标和技术难题，保证中高液限黏土路基在交通荷载作用下的稳定性、耐久性和变形可控性，实现中高液限

黏土的经济合理利用，山东省济南至徐州高速公路、董家口至梁山高速公路、新泰至台儿庄高速公路、济南至乐陵高速公路和德州至商丘高速公路中开展了相应的工程实践，通过合理控制施工含水率和一系列降水、碾压以及改性工艺组合，黄河冲淤积平原中高液限黏土填筑路基取得了良好的工程应用效果。但是，由于缺乏相关系统、规范、成熟的技术文件的指导，相关工程建设的关键技术指标、标准和工程建设工艺要求等均需要通过试验路的铺筑获得，各工程中采用做法也不尽相同，这给工程的设计、实施和管理带了诸多问题，也不利于工程质量的控制和规范管理。

为推动黄河冲淤积平原中高液限黏土在公路路基工程中的应用，规范该区域公路路基设计和施工，保障工程建设质量，特编制本规范。

三、标准编制原则、主要内容和依据

（一）标准的编制原则

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本标准的编制遵循“协调性、可操作性、成熟性、合理性、代表性和先进性”的原则。标准制定前，起草小组查阅和搜集了国内外相关的标准、文献资料；调查了相关行业的概况，开展了山东省济南至徐州高速公路等5个中高液限黏土路基填筑试验段的工程实践，并在制定过程中多次与行业

内人士进行了咨询和讨论并广泛征求意见,确保了标准的协调性、可操作性、成熟性、合理性、代表性和先进性。

本文件规定了黄河冲淤积平原中高液限黏土路基施工技术的术语和定义、基本规定、施工准备、质量和技术要求、施工工艺以及施工质量检验。主要内容是对黄河冲淤积平原中高液限黏土的实施条件和主要填筑技术提出要求。标准的编制主要遵循以下原则。

(1) 协调性原则。充分做好相关标准、资料的调研和分析,做好与相关标准、规范的协调和衔接。其中路基主要设计指标与 JTG D30《公路路基设计规范》相协调;路基填料室内试验方法与 JTG 3430《公路土工试验规程》相协调;路基施工安全与 JTG F90《公路工程施工安全技术规范》相协调;路基填筑技术与 JTG/T 3610《公路路基施工技术规范》相协调;路基现场施工质量测试与检验与 JTG 3450《公路路基路面现场测试规程》、JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准第一册 土建工程》相协调。

(2) 可操作性原则。标准条文明晰、规范,设计方法简便,技术指标明确、便于工程中获取,工程检测可操作性强。

(3) 成熟性原则。标准经充分论证和试验验证,具体内容依据充分,理论正确,验证可信,技术成熟、可靠。

(4) 指标合理性原则。标准中的技术指标具有明确的适用性、实用性和现实性。

(5) 代表性和先进性原则。标准针对我省黄河冲淤积平原中高液限黏土的分布范围、工程特性以及取土场普遍匮乏的突出特点，通过深入研究、广泛调研和工程验证，提出黄河冲淤积平原中高液限黏土的定义、适宜填筑路基的条件、施工准备、直接填筑与掺灰改良填筑的质量和技术及其施工工艺，确保中高液限黏土填筑路基质量，突破我国高液限土不能直接用于路基填筑施工的技术局限。

(二) 标准主要内容和依据

本文件的名称为《黄河冲淤积平原中高液限黏土路基施工技术规范》。标准主要内容包括基本规定、材料、施工准备、施工质量检测与验收的技术要求等。其中，路基的填料含水率控制、施工机械、松铺厚度、碾压遍数等是本次标准编制的关键指标。

1. 范围

本章说明标准的适用工程类别和主要应用范围。由于黄河中下游流域多次决口改道和沉积，地表形成一系列高差不大的河道高地和河间洼地，彼此重迭，纵横交错。由黄河携带的泥沙经过水的搬运，在河湖、洼地的静水环境下淤积形成中高液限黏土。黄河冲淤积平原中高液限黏土在山东省内主要分布在 4 个沉积区，即鲁西南冲积平原沉积区、鲁西北冲积平原沉积区、山前冲洪积平原与黄河冲积平原交接洼地沉积区，以及黄河三角洲沉积区，约占山东省面积的 34%。鲁西南冲积平原沉积区西起菏泽东明县，东至南四湖与东平

湖洼地连线，与鲁中地区丘陵相接；鲁西北冲积平原沉积区基本位于平阴—济南一线以西，胶济铁路西段以北的广大黄河流域地区；山前冲洪积平原与黄河冲积平原交接洼地沉积区围绕鲁中南山地丘陵呈裙折边沿状分布；黄河三角洲沉积区以垦利县宁海为轴点，北起套尔河口，南至酒脉河口，大约在沾化—利津—东营连线向东呈扇形展开。

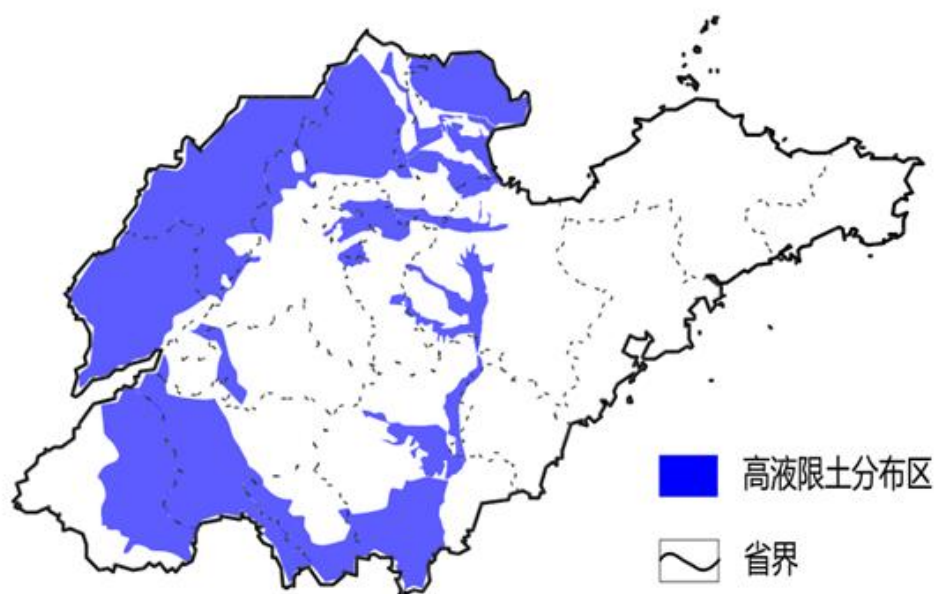


图2 山东省中高液限黏土的分布

2. 规范性引用文件

本章主要说明标准编制中引用和参照的现有国家、行业、地方标准名称。

3. 术语、定义和符号

明确的术语和定义，是标准使用者准确理解和实施标准的前提条件。为了方便标准的使用和体现便捷性，该标准列出了 JTG/T 3610 标准中有关术语和定义，对中高液限黏土、

掺灰改良、包边土等主要术语和定义进行了明确界定；对标准中出现的符号进行了注释。

4. 总体要求

4.1 条款规定了适宜黄河冲淤积平原中高液限黏土填筑路基的条件：取土较为困难、且施工现场附近分布大量中高液限黏土；黄河冲淤积平原地下水位较低的公路地基；下路堤和上路堤；采用湿土法制备土样的 CBR 值应不低于 3%。

4.3 条款规定了中高液限黏土填筑路基的强度、稳定性和耐久性应达到路基设计要求，未经掺灰改良的中高液限黏土填筑高度不应超过 8.0m。

5. 材料

5.1.1 条款规定黄河冲淤积平原呈层状分布的取土场，宜根据对土质的要求分层取土并填筑路堤；取土场土料的含水率一般比较高，应对土体进行适当翻晒，以降低含水率。

5.1.2 条款规定了直接填筑的黄河冲淤积平原中高液限黏土主要技术指标，土体最大粒径不宜超过 100mm，压实度和 CBR 值不得低于 92%和 3%

5.1.3 条款规定了掺灰改良填筑的黄河冲淤积平原中高液限黏土主要技术指标，土体最大粒径不宜超过 40mm，掺灰改良后的黄河冲淤积平原中高液限黏土压实度和 CBR 值不得低于 93%和 4%。

6. 施工

6.3.1、6.3.2、6.3.6 条款规定了直接填筑的黄河冲淤积平原中高液限黏土的松铺厚度宜为 30cm，碾压含水率应控制在 $\omega_{\text{opt}}-2\%\sim\omega_{\text{opt}}+4\%$ ；可选用光轮压路机静压 1 遍+羊足碾压路机强振 3~4 遍；压实完成后应进行整平，并采用光轮压路机进行光面处理。

(1) 直接填筑的碾压含水率

中高液限黏土烘干会破坏其内部结合水与颗粒间的结合力与分子结构，具有不可逆性。从图 3 的 CBR 结果看，干土法制样得到的 CBR 值均不满足路堤填料 CBR 值不小于 3% 的要求，且明显低于湿土法制样的结果。现场中高液限黏土的天然含水率一般高于土体最优含水率，需经过一定的降水工艺后才能满足分层碾压要求。因此，采用湿土法制样更符合实际施工工艺，所得结果更能反映中高液限黏土的实际路用性能。

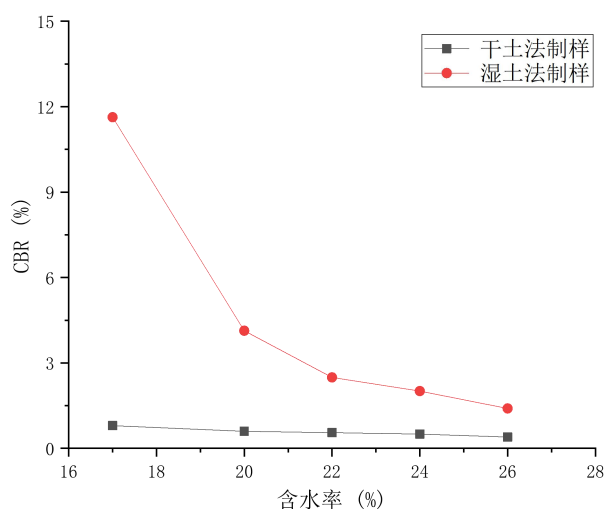


图 3 中高液限黏土 CBR 值

适宜直接碾压的中高液限黏土含水率上限按照湿土法制样的 CBR 值不小于 3% 确定，根据图 3 湿土法制样的 CBR 结果，对应的含水率上限为 $\omega_{\text{opt}}+4\%$ 。因此，适宜直接碾压的含水率范围取 $\omega_{\text{opt}}-2\%\sim\omega_{\text{opt}}+4\%$ ，可直接填筑下路堤。宜采用羊足碾进行碾压，根据试验路确定的压实遍数进行压实，可选用光轮压路机静压 1 遍+羊足碾压路机强振 3~4 遍；压实完成后用平地机进行整平，整平后用光轮压路机进行光面处理。压路机由路缘向路中心错位碾压，错位重叠宽度不小于 40cm，碾压行驶速度 2~5km/h，碾压做到无漏压、无死角，确保碾压均匀。

（2）施工机械

在董家口至梁山高速公路中高液限黏土填筑路堤现场试验中，分别采用羊足碾压路机和光轮压路机。由图 4 可知，羊足碾的土压力达到 0.46~0.51MPa，近似是光轮碾（0.24~0.27MPa）的两倍。由于羊足碾单位面积产生的土压力更大，从而能够更好的刺破土体表层硬壳，使土体碾压更加充分。

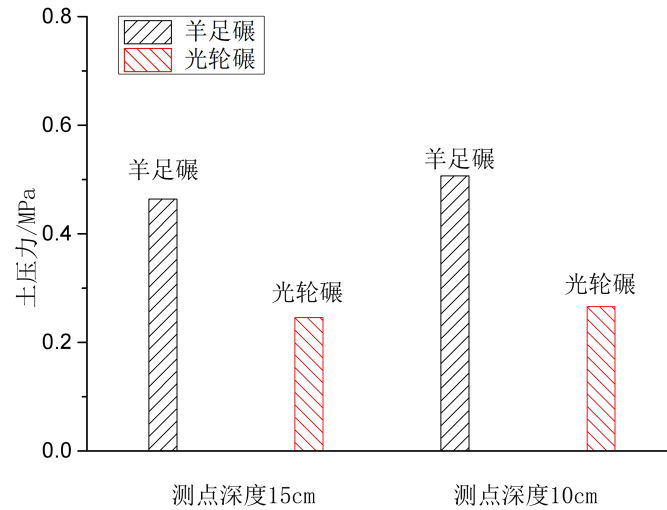


图4 碾压土压力

两种压路机碾压过程中，分别检测不同碾压遍数下的压实度，结果如图5~图7。从第一遍碾压开始，羊足碾区域的压实度便高于光轮碾区域，两种碾压机械碾压的表层压实度区别不大，但随着深度的增加，羊足碾压路机的压实效果明显好于光轮碾压路机。因此，在进行高液限黏土填筑路基施工时，建议使用羊足碾作为碾压机械。

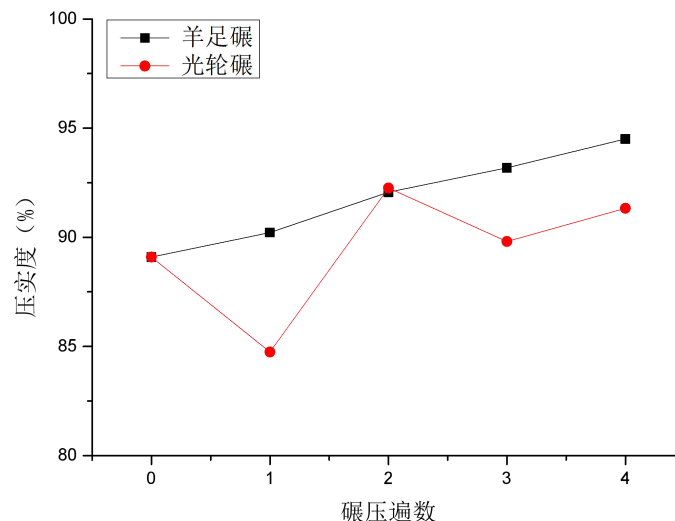


图5 测点深度 0cm

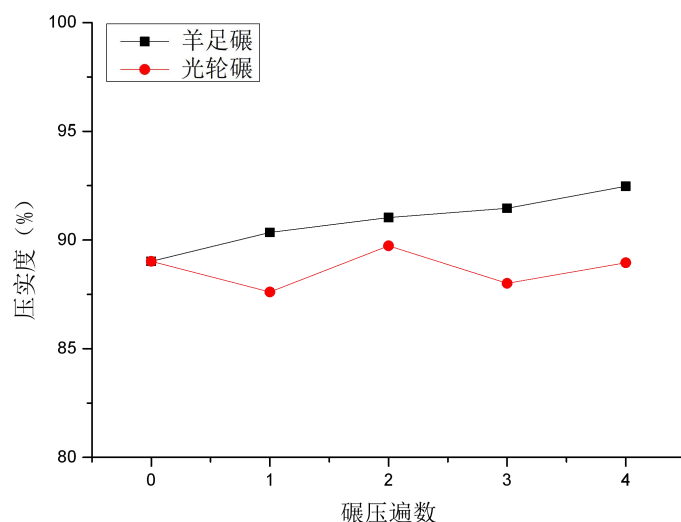


图6 测点深度 15cm

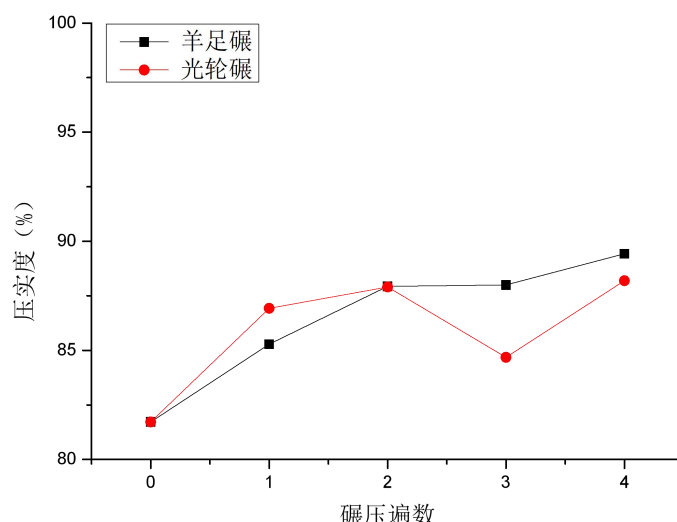


图7 测点深度 25cm

光轮压路机强振或冲击碾对土体施加的应力易使土体快速形成较高的超静孔隙水压力，孔隙水沿粉粒间的通道上升至碾压表面，导致碾压表层土体湿软，压实效果较差。羊足碾压路机单位压强大，可刺破土体表层，利于土体中气体的排出和超静孔压的释放，迫使有效应力在一定深度内增大。现场试验也证明羊足碾压路机是适宜的碾压机具。

(3) 松铺厚度

在董家口至梁山高速公路中高液限黏土填筑路堤试验中，分别采用 25cm、30cm 和 35cm 松铺厚度进行了试验路的铺筑，得到的路堤压实度与松铺厚度的关系如图 8 所示。结果表明，松铺厚度为 30cm 时，碾压效果要优于 25cm 和 35cm，4 次碾压后便可达到路堤区 93% 压实度的要求。因此，最佳松铺厚度为 30cm。

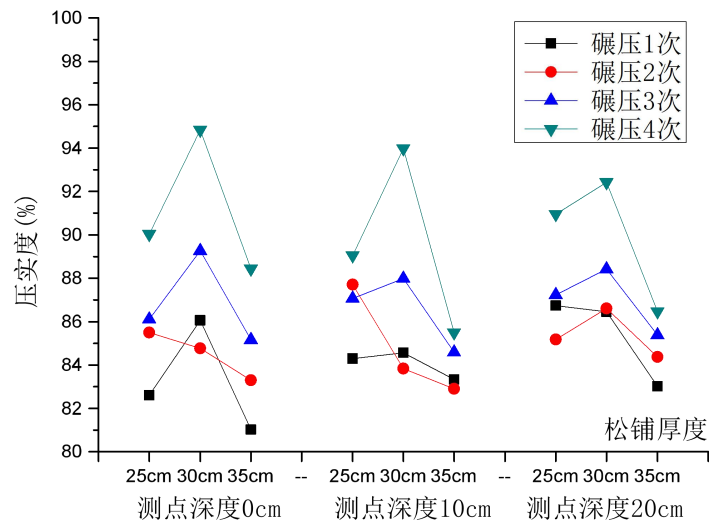


图 8 路堤的压实度与松铺厚度关系

(4) 碾压遍数

a) 现场试验路段：德州至商丘高速公路 MRK44+178—MRK44+535 段，松铺厚度为 30cm。

采用五铧犁翻晒 4 次，路拌机翻拌 2 次，经秋后 37 天晾晒，碾压前含水率 16.6%。采用光轮压路机静压 1 遍+羊足碾压路机碾压 3 遍，现场检测压实度 $K=95.4\%$ ；继续采用光轮压路机强振 2 遍，压实度 $K=92\%$ ；再继续强振 2 遍，压实度 $K=90.6\%$ ，如表 1 所示。结果表明在最佳含水率附近，羊足碾压路机碾压 3 遍土体达到约 95% 的压实度，压实后的

路基表层强度很高，用镐刨才可刨动。当土体结构强度形成后继续碾压，将导致土体结构受到扰动甚至破坏，强度与压实度降低。

表 1 碾压工艺及压实度

碾压设备及遍数	压实度 (%)	说明
光轮压路机静压 1 遍+羊足碾压路机碾压 3 遍	95.6	----
静压 1 遍+羊足碾压路机碾压 3 遍+光轮压路机强振 2 遍	92	----
静压 1 遍+羊足碾压路机碾压 3 遍+光轮压路机强振 4 遍	90.6	----
静压 1 遍+羊足碾压路机碾压 3 遍+光轮压路机强振 4 遍+搁置一段时间后，冲击碾 4 遍	88	11 月 13 日上冲击碾，碾压后检测回弹弯沉。

b) 现场试验路段：德州至商丘高速公路 MRK46+525—MRK46+780 段，松铺厚度为 30cm。

路拌机打碎后直接碾压，碾压前取三个点进行含水率检测，分别为：21%，21.7%，20.4%。采用羊足碾压路机压实，碾压 3 遍后检测压实度，并取土样检测含水率，如表 2 所示。结果表明，采用羊足碾压路机碾压 3~5 遍，路堤压实度可达到 92%以上。但是羊足碾压路机碾压完后用光轮压路机静压时，出现弹簧现象。

表 2 碾压工艺及压实度

碾压遍数	测点位置	含水量/%	压实度/%
羊足碾压路机碾压 3 遍	MRK46+750 右	22.8	92.7
羊足碾压路机碾压 4 遍	MRK46+750 右	23.5	92.9
羊足碾压路机碾压 5 遍	MRK46+750 右	21.4	95.8

c) 现场试验路段：济南至徐州高速公路 K49+550—K49+750 段，松铺厚度为 30cm。

由于天气和工期原因，现场中高液限黏土未能充分晾晒至碾压含水率，实测含水率为 24%~27%。图 9 给出了平均压实度随总碾压遍数的变化关系。结果表明，采用羊足碾压路机碾压 3~4 遍，路堤压实度达到 90%，未能符合路堤压实度不低于 92%的要求。

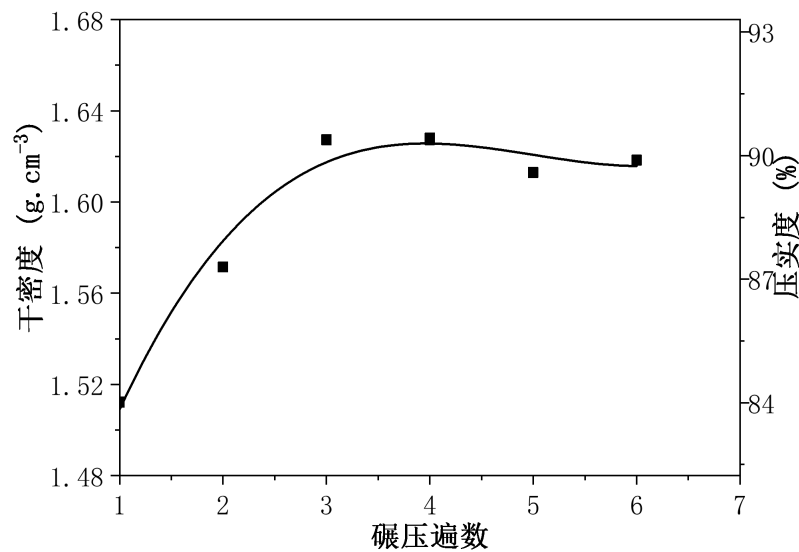


图 9 压实度与碾压遍数关系

6.3.3、6.3.6 条款规定了掺灰改良填筑的黄河冲淤积平原中高液限黏土施工含水率可选择控制在 $\omega_{\text{opt}}+2\%\sim\omega_{\text{opt}}+10\%$ ；可选用羊足碾压路机碾压 4 遍+光轮压路机光面 1 遍；压实完成后用平地机进行整平。

(1) 掺灰改良填筑的施工含水率

由于中高液限黏土在含水率较高时呈现为大黏土块的状态，在晾晒过程中易形成硬壳层，内部含水率难以降低，故在土体表面较为干燥时，使用路拌机或冷再生机械将土块进行破碎，使晾晒充分、均匀。同时，黏土含水率较高时，

在掺灰拌合的过程中，掺合料与表面土体率先接触、结合，导致土体内部无法得到改性，拌和不均匀。因此，为有效控制中高液限黏土施工含水率，必须对土体进行破碎和降水。

依托董家口至梁山高速公路开展了降水工艺和破碎工艺的探索，各个施工步骤的含水率变化如图 10~图 13 和表 3 所示。现场填土的初始含水率高达 $\omega_{\text{opt}}+10\%$ ，经过五铤犁翻晒、冷再生机械破碎晾晒（最大粒径不超过 15mm）、掺灰拌合晾晒和施工碾压后，含水率分别降低 0.89%、2.24%、4.08% 和 1.24%。组合降水后的含水率降低至 $\omega_{\text{opt}}\sim\omega_{\text{opt}}+2\%$ ，且掺灰拌合最好，冷再生破碎次之。因此，掺灰改良填筑的黄河冲淤积平原中高液限黏土施工含水率可选择控制在 $\omega_{\text{opt}}+2\%\sim\omega_{\text{opt}}+10\%$ ，推荐的掺灰施工工艺是：五铤犁翻晒 1 天+冷再生机械破碎 2 遍+掺灰拌合 2 遍。

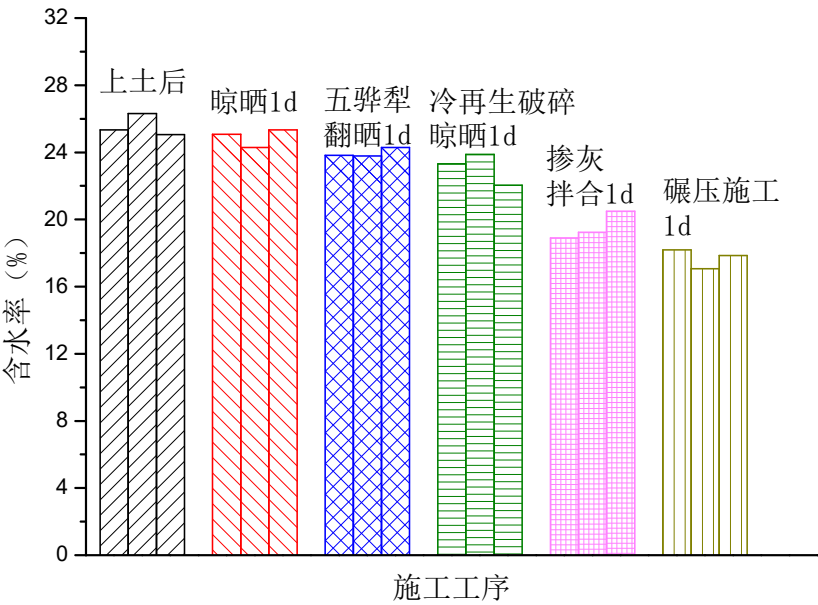


图 10 第一层填土

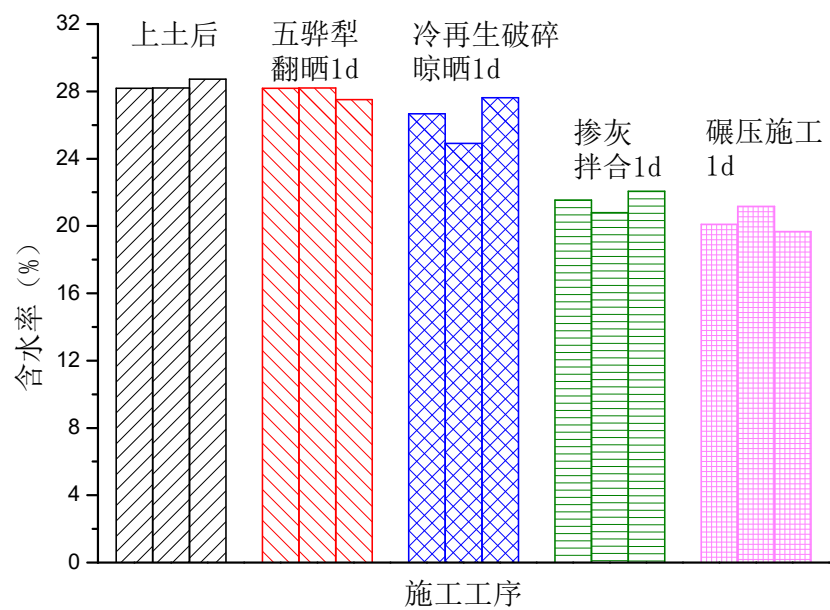


图 11 第二层填土

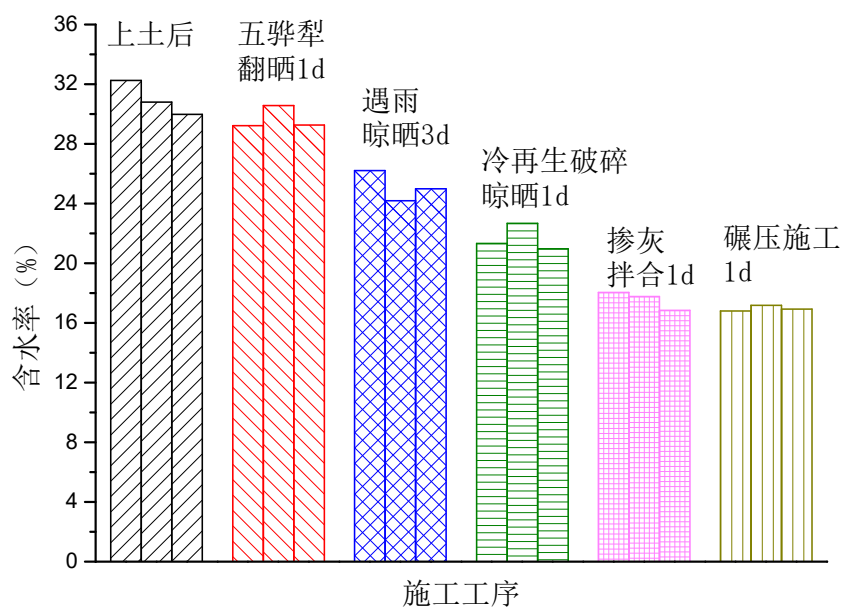


图 12 第三层填土

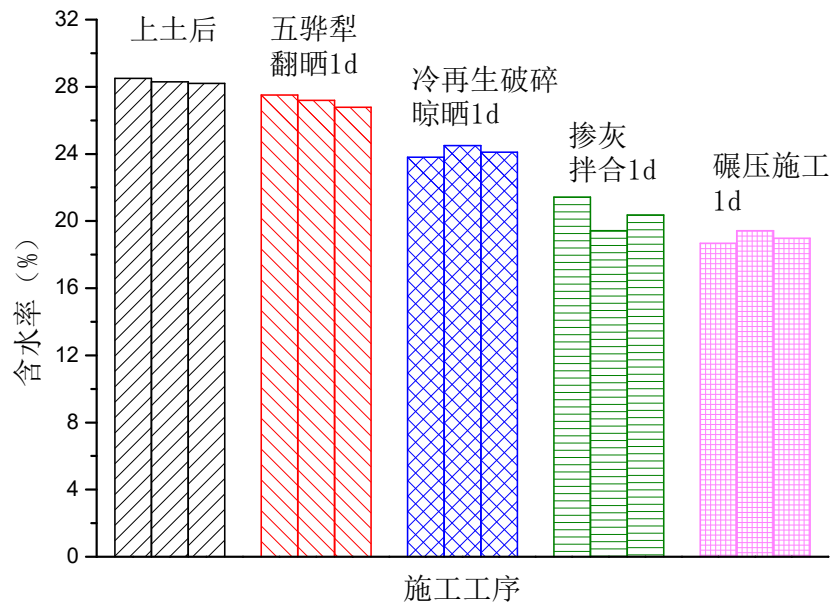


图 13 第四层填土

表 3 各个施工步骤降水效果

施工步骤	第一层	第二层	第三层	第四层	平均值
五铧犁翻晒	0.67%	0.41%	1.32%	1.17%	0.89%
冷再生破碎	0.89%	1.56%	3.47%	3.03%	2.24%
掺灰拌合	3.54%	4.93%	4.1%	3.73%	4.08%
碾压	1.83%	1.16%	0.59%	1.38%	1.24%

(2) 掺灰改良填筑的施工工艺

a) 现场试验路段：董家口至梁山高速公路 AK0+180—AK0+380 段，松铺厚度为 30cm。

现场天然含水率高达 28%~30%，由于工期紧张，无法通过充分晾晒至直接填筑所要求的含水率。采用掺灰施工工艺，即五铧犁翻晒 1 天+冷再生机械破碎 2 遍+掺灰拌合 2 遍，含水率降至 $\omega_{\text{opt}}+2\%\sim\omega_{\text{opt}}+4\%$ 。随后采用羊足碾压路机进行碾压，并检测每一遍不同深度处的土体压实度，如图 14 所示。羊足碾碾压 4 遍即可达到 93%压实度；碾压超过 5 遍时，会出现弹簧土现象。因此，建议黄河冲淤积平原中高液

限黏土掺灰改良填筑路堤时碾压方式为：羊足碾压路机碾压 4 遍+光轮压路机静压 1 遍。压实完成后用平地机进行整平；压路机由路缘向路中心错位碾压，错位重叠宽度不小于 40cm，碾压行驶速度 2~5km/h，碾压做到无漏压、无死角，确保碾压均匀。

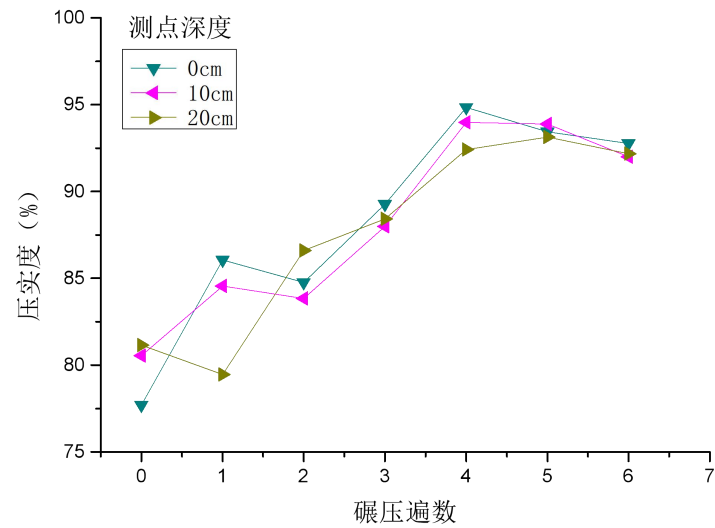


图 14 掺灰改良填筑路堤的压实度与碾压遍数关系

每层施工碾压完成后，采用灌砂法对本层压实度进行检测，作为施工验收的指标，若压实度未满足《公路路基施工技术规范》（JTG D30-2015）对于路堤区 93%压实度的要求，应进行补压等处理，待检测结果满足要求后方可进行下一层的施工作业。每一层的压实度结果表 4 所示：

表 4 每一层碾压后含水率和压实度

	含水率/%	压实度/%
第一层	18.45	94.78
第二层	20.82	93.06
第三层	18.10	93.45
第四层	21.42	93.18

由上表可知，将含水率控制在 $\omega_{\text{opt}}-1\%\sim\omega_{\text{opt}}+3\%$ 范围内，压实度均可以达到《公路路基施工技术规范》（JTG D30-2015）对于路堤区 93%压实度的要求。

四、与现行相关法律、行政法规和其他标准的关系

现阶段相关行业标准《公路路基设计规范》（JTG D30-2015）、《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610-2019）中关于中高液限黏土路基的相关内容较少，指导性不强；相关地方标准，如：湖南省地方标准《公路高液限土路基设计与施工技术规范》（DB43/T 2280-2021）、《广东省高液限土路基修筑技术指南》（GDJTG/T E01-2014）、《福建省高液限土路基设计与施工技术规范》（DB35/T 1640-2017）、《贵州省红黏土和高液限土路基设计与施工技术规范》（DB52/T 1041-2015）中各标准之间的相关要求差异较大，且对山东地区的中高液限黏土并不完全适用，未有考虑黄河冲淤积平原特殊条件的相关规定。

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意见分歧。

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

建议本文件发布后 1 个月开始实施。

各类施工单位是标准实施的主体，为确保其准确理解、掌握和执行标准，规范合同中关于黄河冲淤积平原中高液限黏土路基施工的技术实施，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、其他需要说明的内容

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《黄河冲淤积平原中高液限黏土路基施工技术规范》

八、公平性竞争审查情况

按照《公平竞争审查条例》（中华人民共和国国务院令 第 783 号）《公平精准审查条例实施办法》（国家市场监督管理总局令 第 99 号）《山东省市场监督管理局关于山东省地方标准起草中开展公平竞争审查的通知》和《公平竞争审查制度实施细则》规定的审查程序和标准要求，山东省交通运输厅于 2025 年 9 月 日- 日通过省厅网站向社会公开征集了本标准公平竞争审查意见，截至公示期结束，未收到有关意见。经审查，该地方标准没有违反公平竞争审查标准的内容。

提出部门：山东省交通运输厅

（盖 章）

2025 年 9 月