《水泥土筒桩地基处理技术规范》

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《关于印发全省标准化创新发展项目计划的通知》（鲁市监标函〔2022〕247号），《大直径变截面水泥土筒桩技术规程》（初稿审查会并结合送审稿审查会专家意见建议标准名称修改为《水泥土筒桩地基处理技术规范》）列入2022年山东省地方标准制修订项目计划，计划编号2022-T-049。本文件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（鲁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**

山东高速建设管理集团有限公司、山东高速集团有限公司、山东建筑大学、山东省机械施工有限公司、山东大学、山东高速工程检测有限公司、山东省交通规划设计院集团有限公司、山东省交通运输厅内河水运发展服务中心。

**2. 主要起草人**

李海生，辛公锋，康 健，周 冲，王绍斌，吕新建，龙关旭，王 冠，马 亚，杨耀辉，魏小康，刘正飞，邹辰浩，王明明，李 帆，王 帅，刁荣亭，厉 超，李伟华，孙 康，刘晓东，张思峰，闫东琦，孙宁新，于 淼，房 明，朱建瑞，马鹏飞，杨 戬，丁德利，赵庆超，庄培芝，杜相波，范 芳，王育奎，岳红亚，张占奎。

**3. 任务分工**

山东高速建设管理集团有限公司主要负责标准的立项可行性、现场工程应用的研究以及立项需求调研和标准编制进度的把控。山东高速集团有限公司主要负责标准整体内容的编写及进度推进。山东建筑大学与山东省机械施工有限公司主要负责标准内容中涉及施工设备及技术工艺部分内容的编写。山东大学和山东高速工程检测有限公司主要负责标准内容中质量检测及验收部分内容的编写和现场检测工作。山东省交通规划设计院集团有限公司主要负责标准内容中设计原则和要求，承载力计算方法的提出等内容的研究和编写工作。山东省交通运输厅内河水运发展服务中心主要负责标准检测验收部分内容的编写以及标准整体格式的校对等工作内容。其中，李海生为标准编写组的组长，全面组织、协调标准的编制工作。辛公锋为标准编写的技术负责人，主要负责标准内容的制定和研究方案的确定。康健、王绍斌、吕新建、龙关旭、王冠、马亚、魏小康、张思峰等负责标准具体章节内容的审定。周冲、杨耀辉、刘正飞、邹辰浩、王明明、李帆、王帅、刁荣亭、厉超、李伟华、孙康、刘晓东、闫东琦、孙宁新、于淼、房明、朱建瑞、马鹏飞、杨戬、丁德利、赵庆超、庄培芝、杜相波、范芳、王育奎、岳红亚、张占奎负责标准的具体编写、试验研究的具体实施和标准研讨与审查会议的组织和召开等具体工作。

（三）起草过程

**1.准备阶段**

2022年10月12日，标准计划下达后，在山东省交通运输标准化技术委员会的指导下，山东高速建设管理集团有限公司，山东高速集团有限公司、山东建筑大学、山东省机械施工有限公司、山东大学、山东高速工程检测有限公司多家单位旋即成立了标准编制组，编制组讨论了工作进度安排、任务分工及标准的初步思路，结合现阶段交通运输部和山东省交通运输厅等主管部门颁布的有关文件，正式启动标准起草制定工作。

**2.现状调研**

标准起草前期，编制组主要开展了已有标准文献资料等的调研和现场工程应用调研。调研发现，筒型结构桩体在刚性桩基础中较为常见，但在水泥土搅拌桩等柔性桩基础方面的应用目前仍处于空白。虽有变截面水泥土桩（“T”型桩）方面的研究，但仍为实芯桩。

在标准方面，已有国家标准：如GB 50007《建筑地基基础设计规范》主要针对的专业方向为建筑方向，内容中仅第7章节软弱地基中涉及复合地基内容，GB/T 50783《复合地基技术规范》针对深层搅拌桩复合地基和高压旋喷桩复合地基的设计、施工、质量检验提出了要求，但涵盖的具体内容较为宽泛。已有行业标准：如JTG D30《公路路基设计规范》中在第7章特殊路基第7节软土地区路基中规定了加固土桩的设计要求。JTG/T D31-02《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》中规定了加固土桩的设计、施工和质量检测要求。JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》中规定了加固土桩的质量检验评定要求。JGJ 79《建筑地基处理技术规范》中规定了水泥土搅拌桩和旋喷桩复合地基的设计要求。JGJ 340《建筑地基检测技术规范》中规定了如水泥土钻芯法试验、复合地基载荷试验等的具体试验方法的要求。

通过对标准的调研，总结研究发现，现有标准在指导工程实践方面存在的不足之处，主要有两个方面：

**一是本行业内标准内容不充分、不全面。**现有涉及水泥土搅拌桩（交通行业领域称为“加固土桩”）的设计、施工、质量检测的要求内容较粗放，在真正指导现场工程实践方面不够细致全面，不利于施工过程中的质量控制。

**二是具体指标不统一。**比如，对于垫层厚度的要求，GB/T 50783《复合地基技术规范》中针对深层搅拌桩和高压旋喷桩的要求分别为150 mm~300 mm和100 mm~300 mm，JTG/T D31-02《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》中规定的加固土桩垫层厚度要求为300 mm~500 mm。JGJ 79《建筑地基处理技术规范》中规定的水泥土搅拌桩垫层厚度为200 mm~300 mm。再比如，质量检验频率方面，以“水泥土强度”指标为例，JTG/T D31-02《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》中要求的检查频率为总桩数的1%~2%。JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》中要求的检查频率为总桩数的0.5%，且不应少于3组。

现场调研主要走访设计单位、施工单位、监理单位和检测单位，深入了解水泥搅拌桩（浆喷桩、加固土桩）等的应用情况、质量通病及现场施工过程中存在的问题。总结发现，一是差异化设计不足。编制组调研了山东省20多年来高速公路建设过程中水泥搅拌桩的设计方案，桩身尺寸参数方面，桩径、桩长在全省范围内差异不大。二是施工过程中遇到黏土层时，水泥土搅拌桩的水泥土搅拌不均匀，成桩质量较差，甚至在高承压水路段难以成桩。

因此，综上所述，水泥土筒桩作为一种新型结构形式的复合地基加固处理措施，在结构形式、承载特性、荷载传递机制、工作机理方面与传统水泥搅拌桩（加固土桩）存在一定差异，因此有必要针对水泥土筒桩开展相关研究，确定其设计、施工、质量检测与验收的技术指标，编制《水泥土筒桩地基处理技术规范》，明确水泥土筒桩地基处理的设计、施工和质量检测及验收标准迫在眉睫。同时，这也将有利于本技术后续的大规模推广应用。对于提高山东省路基和建筑地基加固工程技术先进性、经济性等具有重大意义。

目前，水泥土筒桩已在山东省内高青至商河高速公路中获得工程应用，应用效果良好。成果应用证明如图1所示。

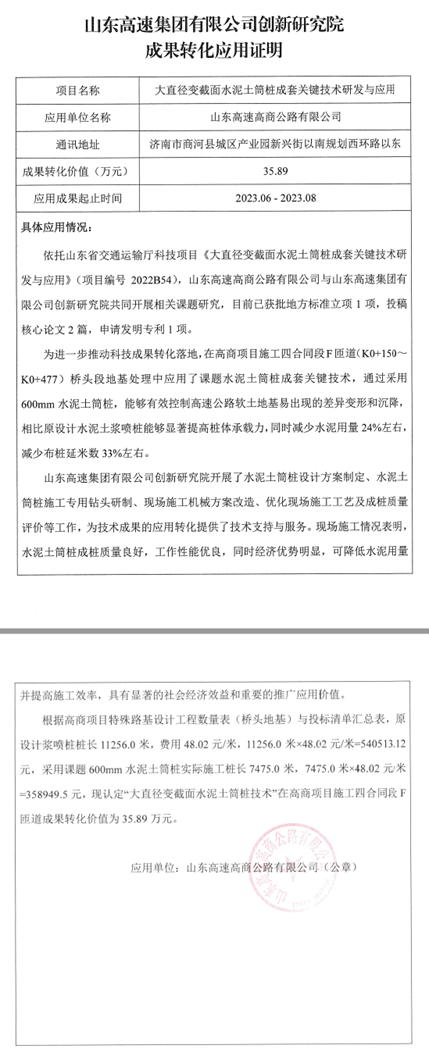


图1 水泥土筒桩成果应用证明材料

**3.标准起草**

2022年10月起，编制组依托山东省交通科技计划项目《大直径变截面水泥土筒桩成套关键技术研发与应用》及既往研究基础，借鉴我国近年来水泥土筒桩工程的实践经验和研究成果，结合我省复合地基处理实际的发展水平及现状，明确提出了水泥土筒桩地基处理的设计、施工、检测和验收等要求，编写了《大直径变截面水泥土筒桩技术规程》（初稿）。编制组前后进行了十余次的内部交流讨论和外部调研咨询，对水泥土筒桩地基处理的设计、施工及验收等内容进行了讨论和界定，并对具体内容进行了修改完善。于2024年7月完成了初稿编写工作，并于7月11日召开了初稿的专家审查会。

**4.征求意见**

2024年9月，山东省交通运输标准化技术委员会发布了《关于征求山东省地方标准〈水泥土筒桩地基处理技术规范（征求意见稿）〉意见的函》，在行业内进行了广泛的意见征求。截至2024年10月，收到30余单位的征求意见回函，其中，有27家单位反馈意见，3家单位无意见。累计反馈意见67条，采纳53条，未采纳14条，未采纳意见均给出了未采纳理由，具体修改情况详见山东省地方标准《水泥土筒桩地基处理技术规范》征求意见汇总处理表。

**5.送审稿阶段**

2024年10月至12月，标准编写组根据征求意见单位反馈的意见建议组织召开了内部研讨会，对意见进行了逐条讨论和修改，最终形成了送审稿。送审稿提交审查通过后于2025年3月20日，山东省交通运输标准化技术委员会在济南组织召开了送审稿专家审查会，会议一致同意该标准通过审查。会议要求起草单位尽快形成报批材料后上报山东省市场监督管理局。并提出了进一步修改建议。

**6.标准报批**

2025年3月，编制组组织召开内部会议，对专家意见进行集中交流研讨，整理形成专家审查会修改意见汇总表，修改标准条文，在编制说明中补充技术材料，汇总形成报批稿。

# 二、标准制定的目的和意义

针对各等级道路广泛存在的软土地基处理、桥（台）背回填、拼宽路段差异沉降等问题，工程中广泛采用水泥土搅拌桩来加固处理地基。传统水泥土搅拌桩具有工程造价低、加固体形式灵活、施工噪音小、绿色环保等优点。但受到地质条件、机械施工能力和工艺方法的限制，现有搅拌工艺往往存在水泥土搅拌不均匀、水泥浆易流失、桩身成桩质量差等缺陷，且现有水泥土桩桩径普遍较小，尤其山东省黄河流域地层是由黄河冲（淤）积粉土与黏土互层构造而成，地下水位高、土体强度低、变形大，为黄河冲击平原区的公路路基工程建设带来了众多难题。

由于水泥土搅拌桩的施工质量直接关系到高速公路等基础设施建设的质量安全和施工进度，若处治不当会引发重大事故隐患，严重影响高速公路路基稳定性和运营安全。为有效控制高速公路软土地基易出现的差异变形和沉降问题，本技术规范针对目前交通基础软基处理存在的问题，提出一种新型水泥土筒桩技术，既能提高单位水泥土的承载能力，降低工程造价，又能解决软土地基尤其是山东省广泛存在的黄河冲积平原区实芯水泥土搅拌桩普遍存在的工程质量问题。

针对山东省软土地基分布广泛、工程量大面广的现状，迫切需要解决水泥土筒桩新技术用于高速公路软土地基加固的难题，基于搅拌法工艺成桩，山东高速建设管理集团有限公司联合山东建筑大学和山东省机械施工有限公司等有关高校和企业，进行了新型水泥土筒桩技术的研发，其桩芯部为原位土，不同于传统实芯桩。搅拌成桩时设多重叶片、搅拌均匀，具有成桩速度快，水泥消耗量少，工程造价低等优点。**该项技术填补了行业空白，促进了科技进步和技术发展，本技术规范的编制将有利于该技术后续大规模推广应用。**

为了加快水泥土筒桩技术的推广应用，有效解决传统搅拌桩存在成桩直径小、质量差、成桩不均匀、水泥材料利用率低等缺点，规范水泥土筒桩地基处理的设计、施工、检验和验收，做到安全适用、技术先进、经济合理、节约资源、确保质量、保护环境，结合已有的研究与工程经验，编制《水泥土筒桩地基处理技术规范》地方标准。**本标准的编制，有利于推动山东省复合地基处理技术的发展，提高高速公路工程建设质量，助力“交通强国”和“交通强省”建设，其经济、社会、生态效益显著，具有十分重要的经济和社会意义。**

# 三、标准编制原则、主要技术内容和依据

（一）标准编制原则

标准编制遵循“适用性、先进性、协调性、规范性”的原则。

**1. 适用性原则：**标准制订立足于提高我省水泥土筒桩地基处理技术的施工质量和技术水平，结合山东地区施工实际情况，重视地方经验，因地制宜。标准中采用的技术应具有可操作性和可靠性、无重大异议，并能产生较好的经济和社会效益。

**2. 先进性原则：**标准内容应采纳适合我省省情的先进创新技术，并积极[采用国家标准](https://www.baidu.com/s?wd=%E9%87%87%E7%94%A8%E5%9B%BD%E9%99%85%E6%A0%87%E5%87%86&tn=67012150_cpr&fenlei=mv6quAkxTZn0IZRqIHcvrjTdrH00T1dWPH6zuWwhnhn4PyuWPAD30ZwV5fKWUMw85HmLnjDznHRsgvPsT6KdThsqpZwYTjCEQLGCpyw9Uz4Bmy-bIi4WUvYETgN-TLwGUv3EnHf1nj01Pj0vPjfzrjDzPj6drf)，力求标准技术规定或指标符合国家有关标准的要求。同时，有利于促进工程质量的改善和提升，推动行业的持续进步。

**3. 协调性原则：**本技术规范在编制过程中坚持三个层面的协调性：一是标准内容各条款之间的协调性；二是与DB37T 5141—2019《水泥土复合混凝土空心桩基础技术规程》等相关标准规范之间的协调性，三是与国家现行有关标准、政策的协调性。

**4. 规范性原则：**标准编写与表述严格按照GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定执行，做到格式规范、逻辑严谨、结构清晰、用词简明、规定明确。

（二）标准编制依据

本文件的编制是在深入阅读，充分理解《交通运输部关于印发《绿色交通“十四五”发展规划》的通知》（交规划发〔2021〕104号）、《山东省人民政府关于印发山东省“十四五”综合交通运输发展规划的通知》（鲁政字〔2021〕127号）、《山东省交通运输厅关于印发山东省交通运输科技创新“十四五”发展规划的通知》（鲁交发〔2021〕9号）、《山东省交通运输厅关于印发山东省交通运输节能环保“十四五”发展规划的通知》（鲁交发〔2021〕8号）、《山东省地方标准管理办法》等政策文件内容的前提下，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。

（三）主要技术内容

本文件主要技术内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、总体原则、设计、施工、质量检验及验收。本文件的编制工作参考了文献资料以及科技创新项目《大直径变截面水泥土筒桩成套关键技术研发与应用》的研究成果。具体技术内容及依据说明如下：

**1 范围：**

该部分说明了本文件的整体内容以及适用工程范围。

本文件规定了水泥土筒桩地基处理的总体原则、设计、施工、质量检验及验收方面的技术要求。

本文件适用于道路工程的地基处理。

**2 规范性引用文件**

本章节列出了本文件参考过的国家、行业标准。基于以下三个方面的考虑，列出了本文件引用的主要文件：一是充分利用现行国家、行业标准中相关内容，避免新标准内容上的重复、冗杂；二是地方标准中名词术语定义、技术要求等内容建立的前提是满足相应国家、行业标准规范要求；三是充分结合山东省现有地方标准的要求，与山东省地方特色保持一致。本文件引用的主要文件，如下所示：

（1）GB 175 通用硅酸盐水泥

（2）GB/T 50783 复合地基技术规范

（3）GB/T 51003 掺合料应用技术规范

（4）CJ/T 526 软土固化剂

（5）JGJ 63 混凝土用水标准

（6）JGJ 340 建筑地基检测技术规范

（7）JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

（8）JTG/T D31-02 公路软土地基路堤设计和施工技术细则

**3. 术语和定义**

为了明确本文件中涉及的术语和定义，本章节列出了水泥土筒桩、变截面水泥土筒桩、等截面水泥土筒桩的术语，并给出了具体明确的定义。

水泥土筒桩 cement-soil pipe pile

以水泥为主要固化材料，通过现场喷搅，与原位土共同形成的筒状加固体。

等截面水泥土筒桩 cement-soil pipe pile with equal section

通过专用喷搅钻具，使桩身形成相同直径及壁厚的水泥土筒桩。

变截面水泥土筒桩 cement-soil pipe with variable section

通过专用喷搅钻具，使桩身分段形成不同直径及壁厚的水泥土筒桩。

**4 总体原则**

本章节介绍了水泥土筒桩地基处理的工程应用和适用土层的条件、水泥土配合比确定的原则。

具体为水泥土筒桩的工程实践应坚持的基本原则、适用地层与不适用地层以及水泥土配合比的确定原则。

**5 设 计**

本章节介绍了水泥土筒桩地基处理特殊土层的要求，承载力、沉降和稳定性计算的通用要求，水泥土筒桩的单桩设计，水泥土筒桩复合地基的设计。

5.1 通用要求

本节规定了水泥土筒桩应用于特殊地层时的要求，进行承载力、沉降以及稳定性计算时应依据的具体规定。

水泥土筒桩复合地基设计应进行承载力、沉降计算和稳定性分析。复合地基的承载力、沉降计算应符合GB/T 50783的规定，稳定性分析应符合JTG/T D31-02的规定。

5.2水泥土筒桩单桩设计

本节介绍了水泥土筒桩的结构构造和桩身截面尺寸的选择范围，以及桩长、桩径、水泥土强度、垫层的具体要求。

本文件中推荐的等截面水泥土筒桩桩长为10 m，当超过10 m时，应采用变截面设计。主要是依据数值计算结果分析得出：桩长由6 m增加到12m，承载力提升35.7%，但承载力不是随着桩长的增加均匀提高，由6 m增加到10 m，承载力提升33.2%，由10 m增加到12 m，承载力仅提升2.5%，因此，推荐等截面水泥土筒桩桩长为10 m，当桩长超过10 m时，应采用变截面设计。

桩径推荐不宜小于0.6 m，主要是因为筒型的结构形式，若桩径偏小，水泥土筒桩桩壁较薄，易发生破坏，且此时筒桩结构形式节省水泥材料的优势发挥不明显。相比传统水泥搅拌桩桩径为0.5 m，水泥土筒桩最小桩径为0.6 m，能够降低布桩数量，在节约工期、加快施工进度方面取得较大提升。推荐桩径最大尺寸为变截面扩大段为1.0 m，考虑施工机械，桩径过大，施工机械的扭矩越大，对现有施工机械需要做出较大改进，不利于本技术的大规模应用。因此，综上所述，桩径不宜小于0.6 m，推荐桩径尺寸为0.6 m~1.0 m。

文件中要求加固深度不宜大于20m。主要依据了JTG/T D31-02 《公路软土地基路堤设计和施工技术细则》，其明确规定了不同工法的加固深度限制：浆喷法施工的加固深度不宜超过20m；粉喷法施工的加固深度不宜超过12m。水泥土筒桩施工为浆喷法施工工艺，故要求其加固深度不宜大于20m。

文件中要求水泥土筒桩壁厚不宜小于0.25*D*1，由图2和图3可知，壁厚由150 mm增加到250 mm时，单位体积极限承载力明显减小，降低了17%左右，但壁厚由250 mm增大到300 mm后，单位体积极限承载力减小不明显。考虑到水泥土材料强度不高，不同于水泥混凝土，筒桩桩壁过薄，容易造成水泥土桩身破坏，因此本研究所选取的最小筒桩桩身厚度为0.25*D*1，由此来控制筒桩内径。

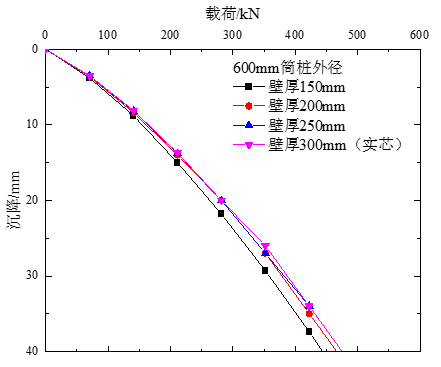


图2不同筒桩内径的 Q-s 曲线对比



图3承载力随筒桩内径的变化

文件中要求桩中心距不宜大于4*D*1。原设计方案桩间距分别为1.2m、1.5m和1.8m。采用水泥土筒桩后的设计桩间距为1.5 m、1.8 m和2.2 m。桩间距由原来的2.4~3.6倍增大为2.5~3.66倍，原设计和新设计方案的桩间距均为超过4倍桩径，且依据工程设计经验，当水泥加固土桩桩径过大时，容易形成“孤桩”效应，对群桩整体承载力造成影响，因此，确定水泥土筒桩桩间距不宜大于4倍桩径。

文件中应对等截面水泥土筒桩上部4*D*1范围进行复喷复搅处理。从图4竖向受力特点来看，桩顶上部4*D*1左右范围内是受力较大的部位，可对其进行复喷复搅处理，增加水泥掺入量，提高桩顶强度，对保证桩身更好的受力是有益的。由图5可知当600mm筒桩到达极限承载力时，屈服破坏区主要集中在桩顶4*D*1直径范围内，再次表明应对桩身上部4*D*1范围内进行复喷复搅，提高桩顶水泥土的强度。



图4 筒桩桩身轴向应力传递沿深度变化规律

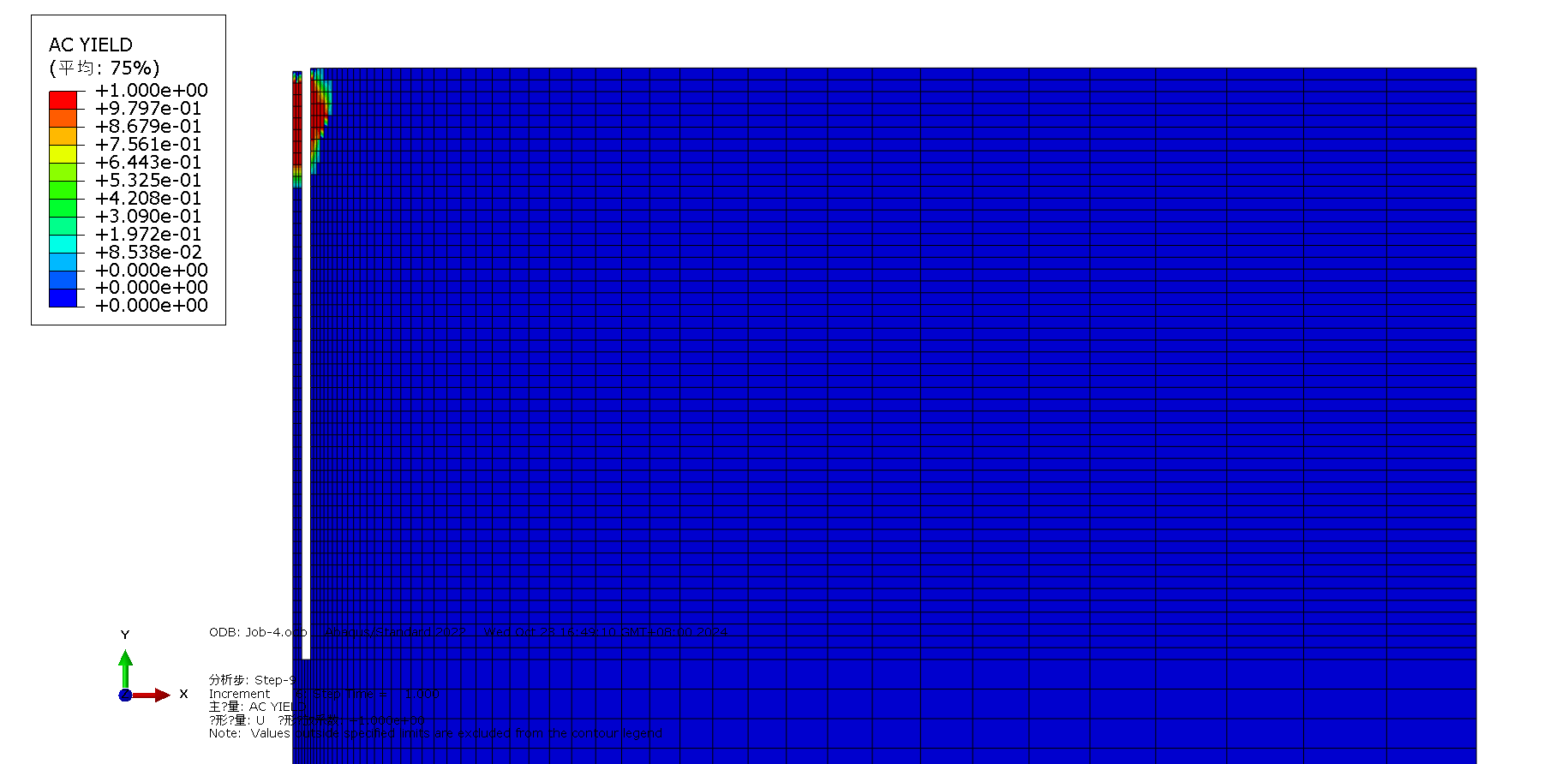
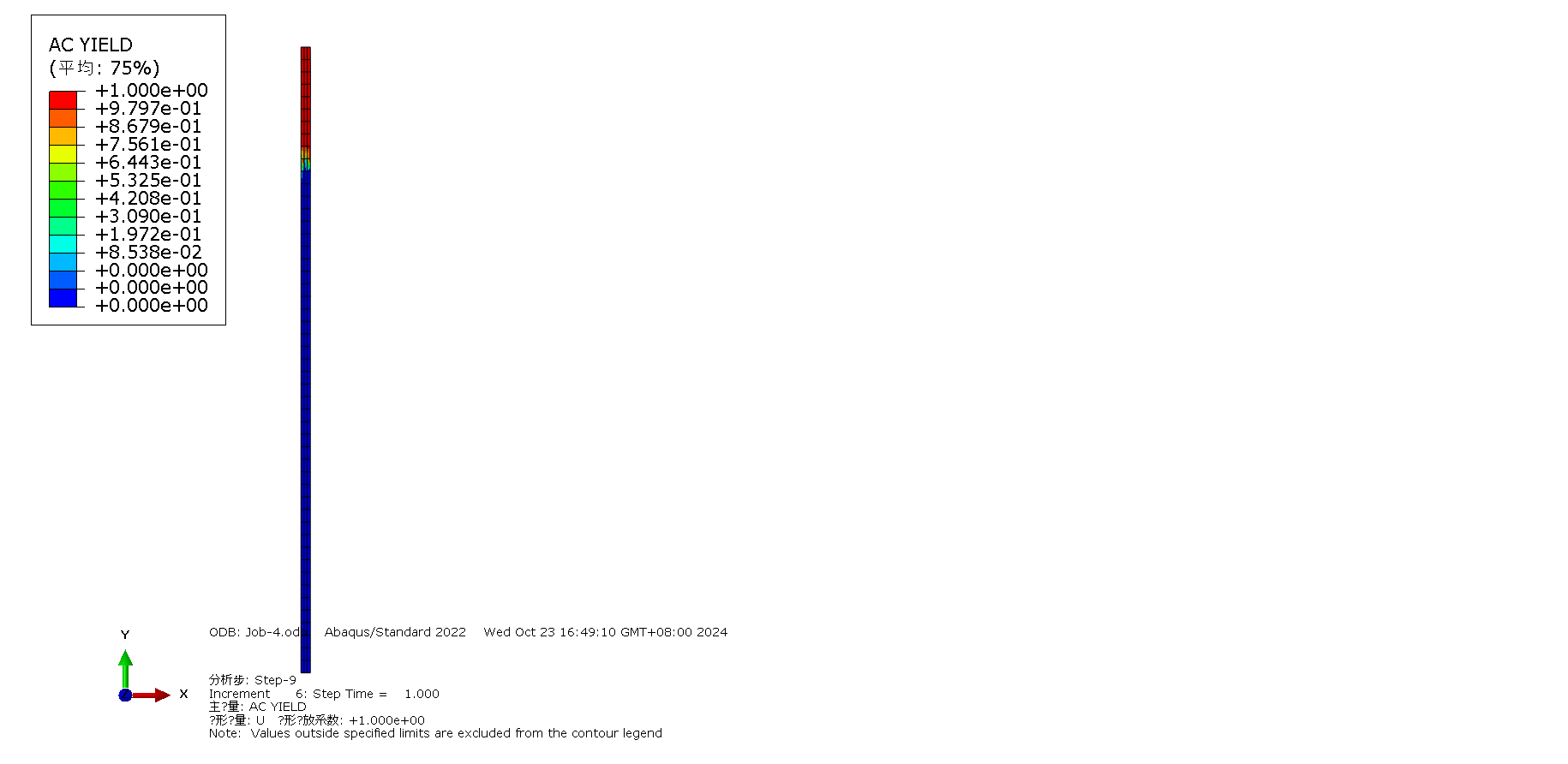
 

图5 桩顶载荷563.2 kN时筒桩的屈服区变化图

文件中变截面水泥土筒桩应对水泥土筒桩上部4*D*2范围进行复喷复搅处理。可由图6开始加载时，上部扩大头和下部桩体的轴力都呈现由上到下逐渐减小的趋势，变截面位置出现了明显的骤减突变，同时由图7可知，对于BUDM-3和BUDM-4的模型，变截面筒桩的破坏同时发生在扩径部分及靠近扩径部分下部桩身的位置（桩身上部4*D*2范围），表明应对桩身上部4*D*2范围内进行复喷复搅，提高桩顶水泥土的强度。

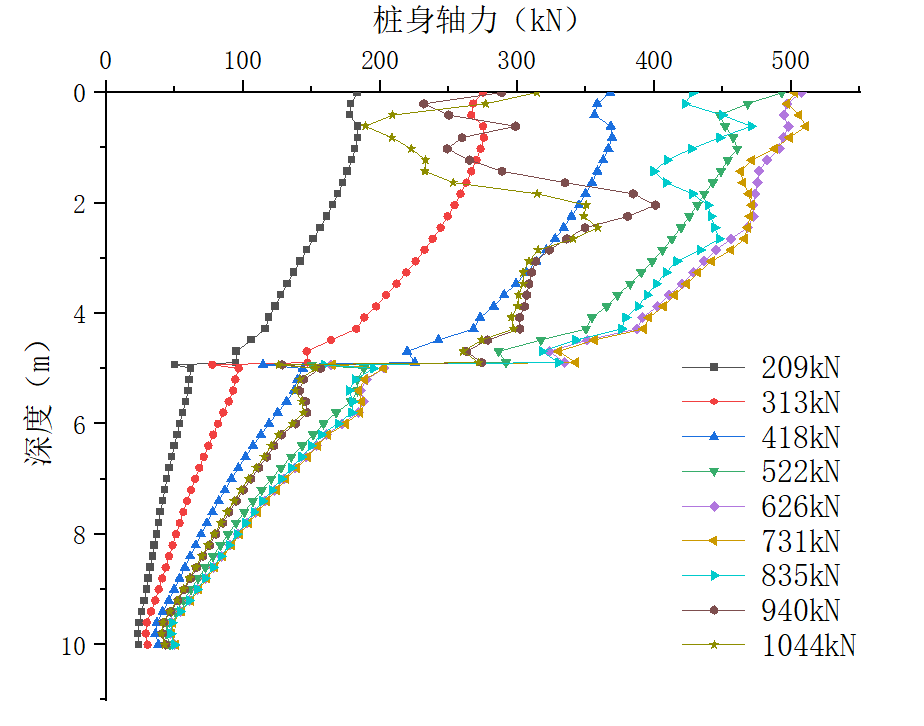


图6桩身轴力传递沿深度变化规律

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

图7极限承载力下不同桩型的屈服区变化图

文件中对水泥土强度提出了明确具体的要求。针对传统实芯水泥土搅拌桩，设计单桩承载力特征值一般为140kN，截面面积为0.19625 m2，因此水泥土强度的最低要求为1.43 MPa，设计要求的水泥土28 d抗压强度为1.45 MPa，90 d抗压强度平均值为2.00 MPa。因此，依据上述确定标准，水泥土筒桩中对应的水泥土强度要求可按照单桩承载力特征值（极限承载力）与桩身截面面积确定，由于600 mm等截面筒桩的单桩单位截面面积承载力最大，因此，以600 mm等截面筒桩即可确定水泥土强度要求。600 mm筒桩特征值为210 kN，截面面积为0.21195 m2，当达到极限应力状态时，对水泥土28d龄期的无侧限抗压强度的最低要求是1.98 MPa，取整确定为2.0MPa，90d水泥土抗压强度要求值取整为3.0MPa。

本文件要求垫层厚度为0.3m~0.5m，是在综合多项规范中要求的垫层厚度的基础上，结合水泥土筒桩实际提出的。如：JTG/T D31-02《公路软土地基路堤设计和施工技术细则》中要求加固土桩应设置垫层，垫层厚度宜为0.3m~0.5m；JGJ 79《建筑地基处理技术规范》中规定水泥土搅拌桩垫层厚度可取0.2m~0.3m；旋喷桩垫层厚度宜为0.15m~0.3m；灰土挤密桩应设置0.3m~0.6m厚的垫层；夯实水泥土桩应设置厚度为0.1m~0.3m的垫层；GB/T 50783《复合地基技术规范》中要求高压旋喷桩的垫层厚度可取0.1 m~0.3 m；灰土挤密桩应设置厚度不小于0.5 m的垫层；夯实水泥土桩宜铺设厚度为0.1 m~0.3 m的垫层；石灰桩可设置厚度为0.2 m~0.3 m的垫层。在实际工程应用中，水泥土搅拌桩垫层设计厚度通常为0.5 m。因此，本文件中要求的垫层厚度取值，结合工程实践，综合考量经济原则和技术可靠原则，确定垫层厚度取值范围为0.3m~0.5m。

5.3水泥土筒桩复合地基设计

本节介绍了水泥土筒桩的平面布置形式，单桩竖向承载力特征值计算公式和复合地基承载力计算公式。对于等截面筒桩和变截面筒桩分别给出了各自的单桩竖向承载力和复合地基承载力计算方法。

对于水泥土筒桩单桩承载力和复合地基承载力开展了现场原位试验研究，其中，600 mm、700 mm、800 mm水泥土筒桩单桩承载力现场原位试验实测平均数值分别为210kN、290 kN、370 kN，公式计算数值分别为211 kN 、288 kN 、377 kN。底部800 mm，变截面扩大部分桩径为1000 mm的现场原位试验实测平均数值为470 kN，公式计算数值为445 kN，实测值与计算值误差均在6%以内，因此，本文提出的水泥土筒桩单桩承载力计算公式是可靠的。

**6 施工**

根据水泥土筒桩技术特点和工程应用经验，介绍了水泥土筒桩工程应用的通用要求，机具设备，水泥浆材料的具体指标要求，施工工艺与施工方法，并明确了各施工工艺的技术参数，给出了施工流程。

6.1 通用要求

本节规定了水泥土筒桩施工前的技术资料、准备工作以及试桩与检测原则、施工记录的具体要求。

6.2 机具设备

本节规定了水泥土筒桩在施工过程时所需的桩机设备、高速制浆设备、高压喷嘴、输浆管路、泥浆泵等的相关要求。制备水泥浆宜选用高速制浆设备。搅浆机性能应与浆液类型和供浆量相适应，能保证浆液拌制均匀和连续供应。6.2.5　水泥土筒桩高压泥浆泵的额定压力不宜小于20MPa。搅拌钻头的直径应定期复核检查，其磨耗量不应大于10mm。图8展示了水泥土筒桩喷浆钻头的示意图和实物图。



（a）设计图



（b）实物图

图8 水泥土筒桩喷搅钻头

6.3 水泥浆

本节规定了水泥土筒桩在施工过程中关于水泥浆所用水泥品种和标号、水泥浆的搅拌时间、具体使用规定、水灰比、水泥浆用水等的相关要求。

6.4 施工方法

本节规定了水泥土筒桩在成桩过程中的施工工序，明确了水泥土筒桩的施工流程，给出了参考的施工工艺参数。

具体施工工艺参数主要依据现场原位试验及工程实践经验获得，具体分析论证详见研究基础与指标论证章节中施工工艺参数的描述。

**7 质量检测及验收**

本章规定了水泥土筒桩施工质量检测的验收标准、验收项目的检测方法和频率、水泥土强度、桩身完整性和承载力的具体试验检测方法及规定。

（四）研究基础与指标论证

编制组成员长期从事复合地基加固处理方面的研究，主编山东土木建筑学会标准《劈裂喷浆水泥土搅拌桩技术标准》（图9）。

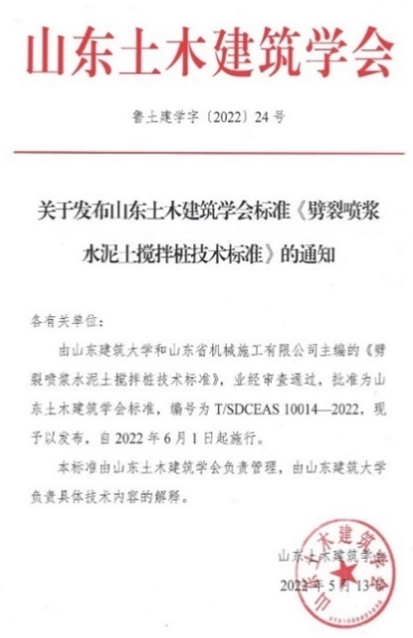


图9 《劈裂喷浆水泥土搅拌桩技术标准》证明材料

编制组从2020年开始水泥土筒桩设备机具和工艺的研发工作，2023年，本技术在高青至商河公路工程项目中开展了工程应用。内容包括专用设备、机具的研制和成桩工艺验证，成桩质量检测与工艺优化，桩身承载特性分析等。针对黄河冲积平原区的黏性土与粉土互层地基等不同地层，进行了试验、积累数据，达到工艺可行、技术可靠。

1.针对水泥土筒桩桩长的确定：“水泥土筒桩桩长超过10m时，宜采用变截面设计。”通过数值计算分析结果（图10）发现，桩长由6 m增大至12 m时，单桩极限承载力由336 kN增大至456 kN，增大了35.7%，但桩长由10 m增大至12 m时，单桩极限承载力由445 kN增大至456 kN。仅增大了2.5%。说明桩长超过10 m时，继续增大桩长对单桩承载力的贡献已不大。因此，当桩长超过10 m时，不建议继续增加桩长，而是通过改变桩身截面形式的方式提高单桩极限承载力。



图10 单桩极限承载力随桩长变化

2.水泥土强度指标的确定

针对传统实芯水泥搅拌桩，设计单桩承载力特征值一般为140kN，截面面积为0.19625 m2，因此水泥土强度的最低要求为1.427 MPa，设计要求的水泥土28 d抗压强度为1.45 MPa，90 d抗压强度平均值为2.00 MPa。因此，依据上述确定标准，水泥土筒桩中对应的水泥土强度要求可按照单桩承载力特征值（极限承载力）与桩身截面面积确定，由于600 mm等截面筒桩的单桩单位截面面积承载力最大，因此，以600 mm等截面筒桩即可确定水泥土强度要求。600 mm筒桩特征值为210 kN，截面面积为0.21195 m2，当达到极限应力状态时，对水泥土28d龄期的无侧限抗压强度的最低要求是1.98 MPa，取整确定为2.00MPa，90d水泥土抗压强度要求值为2.76MPa。

3.单桩承载力计算公式

单桩承载力计算公式现场试验实测值与公式计算值见表1。现场实测曲线如图11所示。

表1 单桩承载力公式计算值与实测值对比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩身尺寸  外径（内径）  （mm） | 600（300） | 700（350） | 800（400） | 变截面  800-1000（400） |
| 公式计算值（kN） | 211 | 288 | 377 | 445 |
| 现场实测值（kN） | 210 | 290 | 370 | 470 |
| 误差（%） | 0.9 | 0.7 | 1.7 | 5.6 |

通过对比分析，误差依次为0.9%，0.7%，1.7%和5.6%，均在6%以内，因此，可以认为提出的计算公式是合理可靠的。



图11 现场试验实测单桩*Q-S*曲线

4.桩间距

表2 原设计与水泥土筒桩设计参数对比

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分区 | 桩间距/m | | 单桩承载力特征值/kN | | 复合地基承载力特征值/kPa | 布桩数量/m | | 水泥用量/t | |
| 设计 | 筒桩 | 设计 | 筒桩 | 设  计 | 筒  桩 | 设  计 | 筒  桩 |
| A | 1.2 | 1.5 | 140 | 210 | 180 | 11256 | 7475 | 617 | 447 |
| B | 1.5 | 1.8 | 140 | 210 | 145 |
| C | 1.8 | 2.2 | 140 | 210 | 135 |

原设计方案桩间距分别为1.2m、1.5m和1.8m。采用水泥土筒桩后的设计桩间距为1.5 m、1.8 m和2.2 m。桩间距由原来的2.4~3.6倍增大为2.5~3.66倍，因此，确定水泥土筒桩桩间距不宜大于4倍桩径。

5.施工工艺参数

依托高商高速F匝道段地基处理工程，开展水泥土筒桩现场工程应用研究。现场施工过程中，控制水泥掺入量15%。水泥浆压力值为12MPa，水泥浆水灰比为0.8，浆液流量为40L/min。钻杆提升速度50cm/min，成桩过程中基本无废浆涌出地面，未发生水泥浆液流失现象。

开挖检测成桩情况看，成桩外观均匀齐整，水泥土搅拌均匀、强度较高。28d后在桩壁上钻孔取芯，承载力检测均符合设计要求（图12）。



（a）现场施工装备图

（b）筒桩现场成型图



（c）静载荷试验

图12 现场施工过程及载荷试验检测

原设计500mm普通桩单桩承载力为140kN，采用600mm筒桩方案后单桩承载力设计值为210kN，检测结果（图13）表明筒桩单桩承载力和复合地基承载力均满足设计要求。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 单桩承载力 | 复合地基承载力 |

图13 现场检测结果

# 四、与现行相关法律、行政法规和其他标准的关系

本标准依据现行的有关法律、法规和强制性标准制定与各项法律、法规及强制性标准没有冲突。

现行地方标准明确了山东省涉路工程的桩基的设计和施工方案，并对桩基处理技术进行了规范和要求。其中《黄泛区公路工程地质勘察与地基处理技术规范》规定了黄河冲积平原区公路工程的地质勘察、稳定性与沉降、地基处理设计以及地基处理施工等内容；《水泥土复合混凝土空心桩基础技术规程》适用于水泥土复合混凝土空心桩基础的设计、施工、质量检验与验收，主要用于工业民用建筑，该规程的重点是水泥土复合混凝土空心桩设计与施工，并未对水泥土筒桩成套关键技术及其工程技术进行详细规定；《透水混凝土桩复合地基技术规程》适用于山东省内透水混凝土桩复合地基的设计、施工、质量检验与工程验收；《建筑桩基检测技术规范（修订）》适用于山东省区域内的建筑基桩的承载力和桩身质量的监测与评价；《山东省涉路工程技术规范》从法律法规层面给公路涉路工程管理提供了依据。对涉路工程建设单位合理制定涉路工程技术方案，保障公路安全运营，规范编制设计、施工技术文件提供了规范性指导；《山东省公路工程地基承载力标准》用于山东省境内修建的公路桥涵及路基岩土工程勘察。地处跨界工程地质分区分界线上的县（市）可参照本标准考虑相邻两区工程地质条件后综合确定。已有的标准主要针对水泥土复合混凝土空心桩、透水混凝土桩的设计、施工、质量检验与验收进行了基本说明。本规范主要针对课题组自主研发的水泥土筒桩，提出在道路、铁路以及机场工程领域的设计、施工、质量检测和验收方面的技术要求，为其在工程中的大规模应用提供技术支撑。

# 五、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

无。

# 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

建议过渡期是1个月。

公路及城市道路建设单位、设计单位、施工单位及检测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，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1个月的时间。

# 七、其他需要说明的内容

1.实施效益分析

随着山东省乃至全国高速公路事业进入改扩建与新建并存的新阶段，公路等地基加固工程市场规模庞大，水泥土复合地基应用十分广泛。沿用传统的水泥土搅拌桩及旋喷桩，施工效率低、成桩质量差、工程造价高的问题仍未解决，不仅导致了严重的工程浪费，也引起了重大事故隐患，会严重影响后期高速公路运营安全和稳定性。

本标准所涉及的水泥土筒桩是基于搅拌法工艺成桩，成桩钻具不用大直径筒钻。搅拌法成桩时设多重叶片、搅拌均匀，水泥消耗量少，工程造价低等优点。

（1）经济效益：

以桩径600mm、壁厚150 mm的搅拌法水泥土筒桩为例，与桩径500mm的实芯水泥土搅拌桩相比较，在相同面积置换率前提下，可节约25%以上的水泥用量；且布桩数量减少33%左右，综合测算，工程造价可减少25%以上，同时能大大加快施工进度，节约工期30%以上。

（2）社会效益：

研发水泥土筒桩装备，提出针对黄河冲积平原区地质条件的水泥土筒桩的设计方法，优化施工工艺，形成水泥土筒桩设计、施工与质量评价成套关键技术。研究成果有利于提高高速公路软土地基加固效果，解决高速公路软土地基易出现的桥头跳车、工后差异沉降等问题，保障高速公路建设及运营安全，社会效益显著。

（3）生态效益:

借助搅拌桩的成桩机理，使水泥浆以较高的压力和一定流量从位于水平搅拌杆端头的喷嘴中射出，水泥浆液对土层的切割劈裂作用，迫使水泥浆掺入到水平搅拌杆外侧的土层中，使形成一种类似于管状的固结体，这种桩的创新点在于突破了传统实心水泥土桩的工艺，可以达到提高施工效率、降低工程造价、减少水泥用量的效果。具有广阔的推广应用价值和前景。符合国家节能减排绿色环保施工的政策，积极响应了国家大力提倡的“双碳”重大战略，生态效益突出。

2.名称变更说明

根据初稿审查会专家意见和送审稿审查意见，鉴于筒桩桩径从600mm至1000mm不等，名称中大直径的要求应为800 mm以上，因此，专家建议去掉“大直径”的界定描述。针对水泥土筒桩的桩型既包含等截面筒桩，也包含变截面筒桩，专家建议去掉“变截面”的界定描述。基于水泥土筒桩的实际工程应用是与地基土体共同形成复合地基，因此，补充“地基处理”界定描述，强调水泥土筒桩在复合地基处理过程中的具体要求。同时，为满足工程建设对水泥土简桩应用技术要求的需要，补充现行规范的缺失，经专家建议，标准名称由原来的《大直径变截面水泥土筒桩技术规程》变更为《水泥土筒桩地基处理技术规范》。

提出部门：山东省交通运输厅

2025年5月