

《多层互剪搅拌桩技术规程》

团体标准编制说明

标准编制组

二零二五年四月

目录

一、工作概况	1
二、主要技术内容.....	5
三、编制原则	5
四、主要试验（验证）分析，技术经济论证，预期经济效果.....	6
五、重大分歧意见的处理经过和依据	7
六、其他应予以说明的事项	7

一、工作概况

1、任务来源

我国地处亚洲东部，太平洋的西岸，有着漫长的海岸线，随着自然的变迁，这种天然形成的地理位置和地理特征造就了我国沿海广泛分布着大量软土，从北往南，典型的软土有渤海湾天津地区软土、唐山地区软土、濒临东海的上海地区软土、杭州地区软土、宁波地区软土、温州地区软土、濒临南海的广州地区软土、深圳地区软土、珠海地区软土等，这些软土普遍具有含水量高、孔隙比大、压缩性大、强度低、结构性强、灵敏度高等不良特性，而我国沿海也是经济较为活跃的地区，是承载着大量的国民生产生活活动的区域。软土沉积形成的深厚软基对公路交通、公建工业、水利水电等各个领域的发展形成了阻碍和挑战。处在软基中以及上部的建构筑物，其建造成本要远远高于处在稳定土层地区的，而且因为软基处理不当而出现的问题也是数不胜数，如路基沉降导致的桥头跳车、差异沉降导致地面开裂起伏、软土地区不均匀沉降导致的建筑物开裂、基坑蠕变导致的基坑坍塌等等，严重影响了人们生产生活安全，因此深厚软基处理一直是挑战我国乃至全球工程界的难题。

深层搅拌工法作为目前全世界应用最为广泛的深厚软基处理技术，20 多年前欧美日国家已完成了深搅技术以及相关智能化装备的产业化探索，实现了工艺设计、设备制造及应用全产业链构建，极大提高了建筑工程安全与质量，降低了耗材与成本。我国在交通、市政、建筑等领域的深层搅拌处理技术应用仍有很大的发展空间。目前我国的工程监管部门对较为落后的传统搅拌技术实行了限制应用或者淘汰的指示，与此同时对高水平的工法、智能装备、数字化施工建造等提出迫切的需求。

因此，开展深层搅拌技术及装备升级成为一项重要技术工作。

浙江坤德创新岩土工程有限公司、浙江工业大学、浙江交工集团股份有限公司联合开展多项与数字化智能深层搅拌工法关键技术及装备研发有关的课题研究，对深层地基处理工艺各个环节、各核心节点进行创新研发，在钻机钻具、工艺工法、测控技术等方面突破了多项关键技术瓶颈，提出了由五项关键技术构成的成套多层互剪搅拌桩（以下简称CS-DSM桩）技术体系。

五项关键技术

（1）框架式互剪搅拌核心钻具

新钻具采用的5~7层框架式多层互剪搅拌结构是强力均匀搅拌、控制成桩质量的核心技术。钻具结构采用同轴双层管设计，由内外管、外框架、搅拌翼板、钻掘翼板和输浆管组成。外框架和搅拌翼板可根据地层条件、桩长及桩径调整尺寸、角度、间距和几何形式。钻具结构通过内外管上设置的多层交错分布的搅拌翼板可实现正反向旋转剪切对搅的功能

（2）大扭矩搅拌桩施工关键装备

针对常用搅拌桩施工钻机的有效施工深度不足、施工桩径较小的弊病。开发出多种型号的CS-DSM桩施工钻机，其输出扭矩提高到100~300 k N*m，一序施工深度可达到50m，最大施工桩径达到2m。新装备采用电动或液压动力头及同轴双层钻杆结构，钻杆和钻具中设置了多通道输浆管路，并拥有多个喷浆口。

（3）两搅一喷快捷施工关键工艺

传统搅拌桩施工通常采用四搅两喷工艺，成桩时间较长。基于多个CS-DSM桩工程的应用数据分析，现将常规搅拌桩工艺简化为两搅一喷、下钻喷浆的快捷施工工艺，并引入了细分桩段的恒量或变量可控喷浆量工艺，为缩短工艺流程、减少施工工期提供了可能性。

（4）单位桩长搅拌次数T计算方法

工程实践证明，搅拌桩的搅拌均匀性是控制成桩质量的核心因素，而单位桩长搅拌次数 T 是评价搅拌桩均匀性的关键指标；日本与美国搅拌桩施工的常用T值为350~450。依据我司室内模型试验数据，发现在水泥掺量恒定条件下，CS-DSM桩的桩身均匀性和平均强度与搅拌次数 T 正相关。为此，提出了基于两搅一喷、下钻喷浆工艺的T值计算公式。

$$T = M_1 \left(\frac{N_1}{v_1} + \frac{N_2}{v_2} \right) + M_2 \left(\frac{N_3}{v_1} + \frac{N_4}{v_2} \right)$$

式中，M1为内钻杆搅拌翼板个数；M2为外钻杆搅拌翼板个数；v2为钻具下沉速度（m/min）；v1为钻具提升速度（m/min）；N1为下沉阶段内钻杆转速（rpm）；

N2为提升阶段内钻杆转速（rpm）；N3为下沉阶段外钻杆转速（rpm）；N4为提升阶段外钻杆转速（rpm）。

（5）可视化智能测控系统

可视化智能测控系统是确保CS-DSM桩施工过程规范、用材精准、品控可靠的关键系统，其由智能监测子系统与智能变频供浆控制子系统构成。智能监测子系统功能通过各类传感器对施工过程中的工艺参数进行实时感知、采集、显示、存储、报警及云平台信息传输。智能变频供浆控制子系统利用喷浆优化算法及反馈控制技术来实现注浆泵在细分桩段的恒量或变量喷浆。

由以上五项技术构成的成套新技术能够较好地解决现有搅拌桩施工中的诸多难题，实现了全施工流程的部分自动化、数字化、智能化，并为大深度、大直径搅拌桩施工提供了可能性，提高了施工效率和质量，效益明显。现已将多层互剪搅拌桩技术成功应用于浙江、广东的公路、市政等项目中，取得了良好的经济和社会效益。

苏台高速练市枢纽项目中，多层互剪搅拌桩技术成功解决了传统双向搅拌桩在深厚淤泥质土中桩身均匀性差，承载力无法满足设计要求的问题，大规模施工7天取芯无侧限抗压强度达到2.0MPa以上，有效保证了搅拌桩在高速公路路基工程中应用的可靠性，增强了搅拌桩在高含水率的软弱土层中的适用性；

浙江海上风电大容量风机制造出口基地项目中，多层互剪搅拌桩技术成功克服了传统双向搅拌桩在经过排水预压固结的场地中施工受排水板带限制的难题，采用两搅一喷的大直径搅拌施工工艺，在保证置换率的前提下将搅拌桩工程米数降低近50%，有效提升了施工效率，缩短了施工工期，为甲方创造了较高的经济价值。

对已经施工的多层互剪搅拌桩项目进行经验总结，为明确多层互剪搅拌桩的适用条件，设备要求，设计方法，材料要求，施工方法、过程控制及质量检验等技术要求，填补现有关于深层搅拌桩技术标准存在的空白，推动高端搅拌桩装备和配套测控与管理系统在深层搅拌桩技术上的应用，需要编制相应的技术标准。

2、协作单位及主要起草人

本标准于 2024 年由中国技术市场协会交通运输委员会提出并归口，由浙江坤德创新岩土工程有限公司、浙江工业大学主编，并由浙江交工集团股份有限公司、浙江大学、浙江数智交院科技股份有限公司、浙江交工宏途交通建设有限公司、交科院环境科技（北京）有限公司、广州地铁设计研究院股份有限公司、广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、中冶建筑研究总院有限公司、温州大学、宁波市交通规划设计研究院有限公司、广州市市政工程设计研究总院有限公司、厦兴科技（浙江）有限公司、武汉理想共达环境岩土技术有限公司、广东成方建筑工程有限公司、上海协骋岩土科技有限公司、浙江鼎业基础工程有限公司共同参与编制。主要起草人为马晓华、蔡袁强、杨仲轩、史海欧、刘钟、沈坚、戴显荣、毛斌、曾怀武、武可爽、刘吉福、段冰、曾嵘、彭熙建、蒋华龙、徐文田、朱宝林、薛子洲、孙宏磊、潘晓东、王军、江建坤、陈新国、单君、王开太、张楚福、朱斌科、文磊、陈天雄、王鹏、谢波涛、王瑞春、李正西、李斌、李朝阳、代仁平、王福林。

3、工作过程

2024年4月，由中国技术市场协会交通运输委员会提出，通过立项及大纲评审，启动了《多层互剪搅拌桩技术规程》团体标准的制定工作，成立了标准编制组，开始着手《多层互剪搅拌桩技术规程》标准的起草工作，于 2024 年 4 月完成标准大纲，2025年4月完成标准征求意见稿，计划 2025年6月完成标准送审稿并召开送审稿审查会，具体工作如下。

1）标准立项阶段（2024年3月），明确工作后立即成立了编制组，邀请行业内优秀企业及相关的设计和施工单位参与。对现有深层搅拌桩的技术要求进行了充分的调研研究，结合已有的智能化装备基础和施工经验，明确多层互剪搅拌工法的定义，并制定了的基本设计方法以及配套施工技术要点，并联合参编单位对多层互剪搅拌桩设备性能、成桩效果进行了系统试验论证，就该项目的国内外相关技术标准进行了充分的调研，在充分吸收现有技术的基础上对该项技术进行了详细补充和完善。

2）标准大纲阶段（2024年4月），起草组完成标准初稿，经归口单位审阅，并与起草组进行了标准开题论证会，编制组开始分析整理试验数据，明确了多层互剪搅拌工法设计方法以及施工技术要点，完成了准备资料的收集整理，完成编制大纲资料初稿，并召开立项评审会及标准编制大纲评审会。编制组根据专家意

见，对标准工作组草案进行修订，进一步完善了智能多层互剪搅拌桩的应用技术，同时完善了标准草案内容。

3) 征求意见稿起草阶段（2024年6月～2025年4月），在充分调研和分析总结的基础上，编制组在标准初稿的基础上确定标准的各项技术指标，经过讨论和改进，完成征求意见稿，并进行公开征求社会意见。

4) 送审稿起草阶段（2025年5月～2025年6月），根据意见汇总和处理情况，重新对《多层互剪搅拌桩技术规程》进行修订，完成标准送审稿，于2025年6月召开标准送审稿审查会。

5) 总校稿起草阶段（2025年7月～2025年8月），根据标准送审稿审查会各位专家意见，对《多层互剪搅拌桩技术规程》修订，完成标准报批稿，于2025年8月提交归口单位，进行报批。

二、主要技术内容

本标准是基于一种新型搅拌桩技术，该技术采用新型搅拌装备，通过数字化测控系统进行自动化施工，由大功率动力头通过同轴双层钻杆驱动框架式互剪搅拌钻具，框架式互剪搅拌钻具上交错分布的搅拌翼板可以实现对原位土体与固化剂浆液形成立体空间的多路径、多层次、相对剪切搅拌，形成质量可控的加固土体，能有效解决了传统搅拌桩施工效率低、成桩质量差、有效处理深度浅等问题。

本标准从总则、术语和符号、基本规定、设计、装备、施工、质量控制和附录等八个方面对多层互剪搅拌桩技术进行了规定。

三、编制原则

（1）认真贯彻国家有关法律法规和方针政策。标准中的所有规定，均不得与现行法律和法规相违背。

（2）充分考虑使用要求，并兼顾全社会的综合效益。满足使用要求是制定标准的重要目的，在考虑使用要求的同时，也应兼顾全社会利益。

（3）合理利用国家资源，推广先进技术成果，在符合使用要求的情况下，有利于标准对象的简化、选优、通用和互换，做到技术上先进、经济上合理。

（4）相关标准要协调配套。制定标准要考虑有利于标准体系的建立和不断完善，这样才能保证生产的正常进行和标准的有效实施。

四、主要试验（验证）分析，技术经济论证，预期经济效果

1、主要试验（验证）分析

我国自 1983 年开展石灰粉搅拌法加固软土研究以来，历经 40 年的发展，在机械、材料、地基处理设计计算理论、施工工艺、现场监测技术等方面积累了一定的工程经验，但在施工装备的核心技术、性能及效率，与施工装备相配套的数字化测控系统等方面还有较大的发展空间。

2021年-2024年浙江坤德创新岩土工程有限公司对水泥搅拌桩技术进行了系统研究，开展了多项与新型搅拌桩施工装备相关的课题研究工作，如“搅拌桩数字化智能信息采集传输系统研发”、“水泥浆自动化智能称量搅拌系统研发”、“单轴水泥土搅拌桩新型钻具研发”等，通过相关技术积累并针对现有工法技术的难点和痛点开发出了多层互剪搅拌桩新技术。相比传统搅拌桩工法，该技术体系从钻具结构、测控系统、施工工艺及质量控制等方面实现了全方位升级革新；通过室内缩尺模型试验、现场足尺试验、以及数值模拟等研究手段探究了新型搅拌桩控制质量的关键工艺因素及与传统DSM桩的技术效果差异。研究及应用结果显示：相比传统搅拌桩，多层互剪搅拌桩拥有明显的技术、成本和环保优势，具有较强的市场竞争力。

浙江坤德创新岩土工程有限公司自2023年以来，在研宁波市高新区重大科技专项一项：基于深厚软基处理的数字化智能深层搅拌工法关键技术及装备研发（2023CX050004）；参与浙江省交通运输重大研发项目：深厚软基处置新技术及新工艺集成研究与示范应用；先后完成了中国京冶工程技术有限公司的浙江海上风电大容量风机制造和出口基地项目（一期）、中交路桥建设有限公司的苏台高速公路南浔至桐乡段及桐乡至德清联络线（二期） TJ01标练市枢纽项目、中铁十一局集团有限公司的南沙至珠海(中山)城际工程(万顷沙-兴中段) 香山站-二十涌站区间软基加固项目、中铁十一局集团有限公司的宁波市轨道交通6号线一期工程SG6110标段正大路站换乘智能多层互剪搅拌桩加固项目，浙江交工路桥建设有限公司的甬舟高速公路复线金塘至大沙段工程软基处理工程等工程应用项目，效果良好，社会与经济效益显著，为多层互剪搅拌桩新技术的研究与技术推广打下了扎实的技术基础和性能验证数据。

2、技术经济论证

与传统搅拌技术相比，多层互剪搅拌桩技术在成本及环保方面具有明显优势：通过测控系统精准控制固化剂用量、阻断固化浆液外溢，节约固化剂用量的同时减少浆液污染，更加环保；新型钻具设计有效减少周边环境扰动，噪声小；采用两搅一喷快捷施工工艺可使提升施工速度，有效节约工期。因此多层互剪搅拌桩技术具有显著的经济效益和社会效益。

3、预期经济效果

基于相同地基承载力和施工质量条件下的对比，多层互剪搅拌桩技术相较传统搅拌技术能够节约工程成本5%~10%。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在编写过程中无重大意见分歧。

六、其他应予以说明的事项

虽然在标准的起草过程中，标准编制工作小组人员进行了大量调研工作，尽可能使标准制订地科学合理，但是由于认知的局限性，难免有疏忽之处。为了标准的进一步完善，请各单位在执行本标准的过程中，注意积累资料，总结经验，如发现需要修改和补充之处，请将意见和有关资料及时反馈给我们，以供修订时参考。