

团 体 标 准

T/SDHTS XXXXX-XXXX

桥梁固结扩盘桩施工技术规范

Technical standard for construction of consolidated
under-reamed drilled shafts for bridges

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2024-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

山东公路学会 发布

目 次

前言	II
引言	III
桥梁固结扩盘桩施工技术规程	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和符号	1
3.1 术语	1
3.2 符号	3
4 基本规定	3
5 施工	4
5.1 工艺流程	4
5.2 固结体施工	4
5.3 桩体施工	5
5.4 成孔检测	6
5.5 钢筋笼安装	6
5.6 混凝土浇筑	6
6 质量控制	6

前 言

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》的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通规划设计院集团有限公司提出。

本文件由山东公路学会归口。

本文件起草单位：山东省交通规划设计院集团有限公司、山东高速基础设施建设有限公司、山东省路桥集团有限公司、广东磐石基础工程技术有限公司、山东东泰工程咨询有限公司、日照交通规划设计院有限公司、山东路达工程设计咨询有限公司、山东高速沾临高速公路有限公司、中建八局第一建设有限公司。

本文件主要起草人：

引 言

本标准的发布机构提请注意如下事实：

本标准条文中涉及了固结扩盘桩（简称固盘桩）技术的结构、工艺及检测等相关专利技术（ZL 201910211363.2、ZL 201900120424.5、ZL 201911204427.2、ZL 202122086161.5），其受到法律保护，使用者在使用前应获得专利权人的专利实施许可。

本标准的发布机构对专利的范围、有效性和验证资料无任何立场。

专利持有人已向本标准的发布机构保证，愿意同任何申请人在合理和非歧视的条款和条件下，就专利实施许可进行洽谈合作。有关内容可从以下联系方法获得：

专利权人：祝波 裴隽仪 广东磐石基础工程技术有限公司

所属单位：广东磐石基础工程技术有限公司

通讯地址：深圳市前海深港合作区前湾一路1号A栋201室

联系电话：13316863865；13920806660

网址：<http://www.ultipile.com>

电子邮箱：ultipile@163.com

桥梁固结扩盘桩施工技术规范

1 范围

本文件规定了固结扩盘桩施工的基本规定、工艺流程与质量控制。

本文件适用于固结扩盘桩的施工与质量控制。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修订单）适用于本文件。

GB/T50783 复合地基技术规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

T/TMAC 074 桥梁固结扩盘桩技术规范

3 术语和符号

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语

3.1.1

固结扩盘桩 consolidated under-reamed drilled shafts

在已形成的固结体内通过旋切形成扩径盘腔的灌注桩。固结扩盘桩的一般构造如图 1 所示。

3.1.2

双超高压喷射工艺 rodin jet pile (RJP)

利用超高压水和压缩空气、超高压浆液和压缩空气喷流体所具有的动能将土层的组织结构破坏，并将被破坏的土颗粒和浆液硬化材料进行混合搅拌，从而形成一定直径和高度固结体的工艺。

3.1.3

全方位高压喷射工艺 metro jet system (MJS)

在双超高压喷射工艺基础上，采用多孔管和前端强制吸浆装置，实现孔内强制排浆和地内压力监测的工艺。

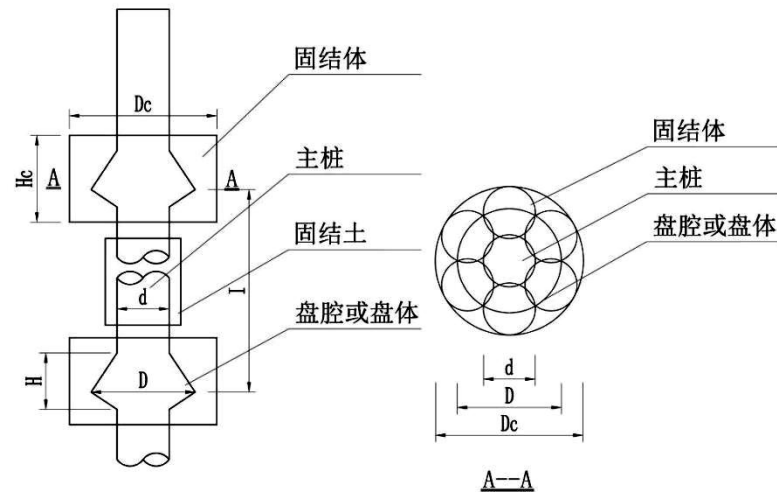


图1 固结扩盘桩一般构造示意图

3.1.4

固结体 consolidated unit

在设置盘体的位置，采用 RJP 或 MJS 工艺预先将盘周土体用水泥浆等胶结物进行固化而形成的固化土体。

3.1.5

固结土 consolidated soil

在设置盘体以外主桩易塌孔位置，采用 RJP 或 MJS 工艺预先将主桩周围土体用水泥浆等胶结物进行固化形成的固化土体。

3.1.6

主桩 drilled shaft body

除盘体以外的混凝土桩身，可采用变直径桩身。

3.1.7

盘腔 under-reamed cavity

固结体内以旋切方式形成的扩径腔体。

3.1.8

盘体 under-reamed body

盘腔灌注混凝土后形成的突出于桩身且嵌于固结体的盘状混凝土体。

3.1.9

盘位 under-reamed elevation

盘体最大直径段中心处所在的标高或深度。

3.1.10

超钻高度值 exceeded drilling height

旋切钻头张开后最大直径位置与钻头箍圈（钻扩一体机钻头）或旋切钻头底部（旋挖钻机的旋切钻头）的垂直高度值。

3.1.11

扩盘指示器 under-reaming indicator

钻机上判断旋切钻头是否张开到位的判别装置，以保证盘径满足设计要求。

3.2 符号

3.2.1

固结体高度 (H_c)

固结体立面投影内侧的高度。

3.2.2

固结体直径 (D_c)

固结体水平投影的外截圆直径。

3.2.3

桩径 (d)

主桩的直径。

3.2.4

盘径 (D)

盘体水平投影的直径。

3.2.5

盘高 (H)

盘体立面投影的高度。

3.2.6

盘间距 (l)

相邻盘体相同部位的竖向间距。

4 基本规定

4.1 固结扩盘桩适用于黏性土、粉土、砂土、砾砂层、粒径小于 10cm 的砾石层等 RJP 或 MJS 工艺能够成形固结体的地层。

4.2 固结扩盘桩属于钻孔灌注桩，其施工和质量控制除需执行本文件规定以外，尚应满足国家及项目所在地现行的有关标准规范以及《桥梁固结扩盘桩技术规范》（T/TMAC 074）的要求。

4.3 桩基入土深度超过 100m 时或设计有其他特殊要求时宜通过静载试验确定单桩承载力。

4.4 对工程地质、水文地质或技术条件特别复杂的固结扩盘桩施工，宜在施工前进行试成孔，获得相应的工艺参数后再进行正式施工。

4.5 对于泥浆护壁的桩孔施工，固结扩盘桩对泥浆没有特殊要求。除设计特别要求外，在整个施工过程中泥浆比重不宜超过 1.25。

4.6 固结扩盘桩施工过程中出现异常时，必须及时上报监理单位，并会同设计部门商榷。

5 施工

5.1 工艺流程

固结扩盘桩的施工分为两个工序，即固结体施工和桩体施工，固结体施工结束后需要养护一周以上时间再进行桩体施工。此外，可以通过在固结体施工时的喷射胶结物中添加速凝剂等添加剂的方式缩短养护时间。

固结扩盘桩施工工艺流程如图 2 所示。

5.2 固结体施工

5.2.1 固结体施工采用 RJP 工艺，使用长螺旋 RJP 设备或普通 RJP 设备配引孔钻机。对桩周地面隆起有要求的地区，宜采用 MJS 设备施工。

5.2.2 RJP 或 MJS 工艺的施工可参照《复合地基技术规范》（GB/T 50783）中高压旋喷桩三管法施工，RJP 或 MJS 工艺的喷浆工作压力值 $\geq 36\text{MPa}$ 。

5.2.3 在制定 RJP 或 MJS 工艺施工方案时，应掌握场地的工程地质、水文地质资料等。

5.2.4 如需进行 RJP 或 MJS 工艺试验，试验场地应选择整个工程有代表性的地段，通过试验能够反映出固结体的成形尺寸。

5.2.5 应根据固结体的最大设置深度、需要喷浆的直径以及土质条件来选择使用 RJP 或 MJS 工艺的设备型号。当桩孔深度超过 50m 或者深度超过 40m 且存在厚度超过 10m 的连续砂性土层时，宜先引孔。

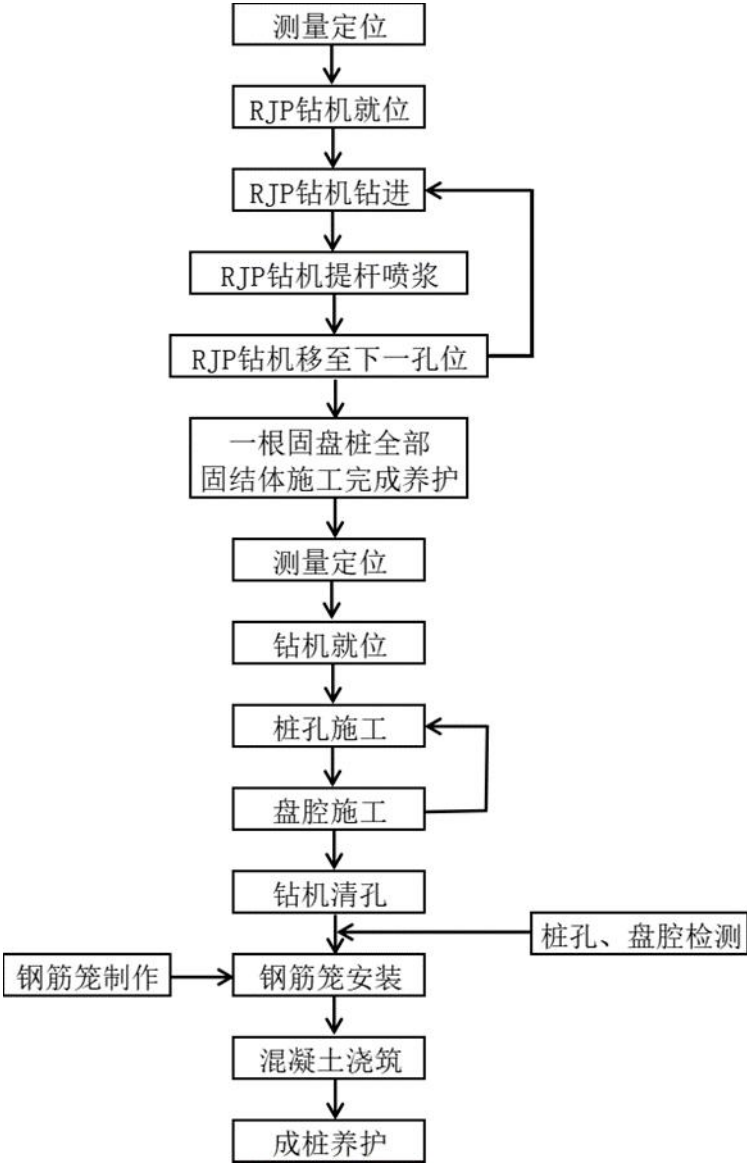


图2 固结扩盘桩施工工艺流程图

- 5.2.6 设计图纸中固结体的做法为示意图，固结体可以根据现场情况从固结扩盘桩中心钻孔一次喷射 RJP 或 MJS 短柱成形，也可以围绕桩中心喷射一圈互相咬合的 RJP（或 MJS）短柱（ ≥ 4 根）成形。
- 5.2.7 RJP 或 MJS 施工时，应先钻进至底盘所在深度以下 $\geq 80\text{cm}$ ，然后由下至上逐步喷浆。
- 5.2.8 若主桩深度范围内存在易塌孔土层，则宜在该部位设置固结土。固结土的喷浆量宜为固结体的 $1/2.5\sim 1/3$ ，固结土与固结体同步施工，且与固结体的 RJP 或 MJS 短柱同心，但不必互相咬合。
- 5.2.9 RJP 或 MJS 工艺的水泥掺入比宜为 15%，水灰比宜为 1。

5.3 桩体施工

- 5.3.1 桩体施工可以使用旋挖钻机或反循环钻机，这两种钻机均需配旋切钻头，使用反循环钻机时，宜采用钻扩一体钻头。
- 5.3.2 钻孔前应测量超钻高度值，钻进至设定盘位时，应适当超钻该高度值。

5.3.3 桩体施工流程包括测量定位、钻机就位、桩孔施工、固结体内盘腔施工、钻机清孔、钢筋笼安装、混凝土浇筑、成桩养护。桩身盘体设置超过 2 个时，其中的桩孔施工和固结体盘腔施工宜采取桩孔施工—固结体内盘腔施工—继续桩孔施工—固结体内盘腔施工的循环方式。

5.3.4 每次盘腔施工结束后需查验扩盘指示器确定旋切钻头是否完全张开，以判定盘腔尺寸是否达到设计要求。

5.3.5 桩体施工除应执行本章规定外，尚应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的相关规定。

5.4 成孔检测

5.4.1 固结扩盘桩施工终孔后，必须用成孔质量检测仪对桩孔进行扫描自检，检测项目包含孔深、孔径、盘位、盘腔直径和盘腔高度等。

5.4.2 对桩孔、盘腔检测的成孔质量检测仪器宜选用可调提升速度的伞形井径仪，在扫描至盘腔位置时，宜调慢井径仪的提升速度，以防止产生较大误差。

5.4.3 成孔检测完成后应将数据及时上报监理，满足设计要求后方可进行下一道工序施工。

5.5 钢筋笼安装

钢筋笼的安装应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的相关规定。

5.6 混凝土浇筑

固结扩盘桩桩端以上 5m 范围内设置有盘体时，混凝土初灌量的计算应包含盘腔的体积。

6 质量控制

6.1 固结扩盘桩的质量控制除应执行本章规定外，尚应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）和《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）的相关规定。

6.2 检查项目应增加固结体水泥掺入比、盘腔的深度、直径及高度等内容，允许偏差应符合表 1。

表 1 检查项目

检查项目		规定值或容许偏差	检查方法
固结体水泥掺入量		\geq 设计水泥用量	计算水泥掺入量，确定盘腔成形效果：每桩检查
盘腔	盘径（mm）	$\leq -50\text{mm}$	成孔质量检测仪：每盘检查
	标高（mm）	$\pm 100\text{mm}$	成孔质量检测仪：每盘检查
	盘高（mm）	$\leq -100\text{mm}$	成孔质量检测仪：每盘检查

桥梁固结扩盘桩施工技术规范

（征求意见稿）编制说明

一、项目背景

（一）任务来源

目前我国桥梁桩基在大规模地使用常规混凝土灌注桩，并且随着近几年国内桥梁建设的快速发展，跨度、荷载有不断增大的趋势，对下部桩基的要求也越来越高，大直径、超长桩基础越来越普遍，同时该桩型更面临新的问题：一是桩基础不能无限度地加长、加粗，二是长桩、超长桩的施工风险巨大、质量难以保证；三是大直径、超长灌注桩自重大，对承载力的损耗也更大；四是长桩、超长桩的桩身压缩变形大，刚度小。

常规摩擦型灌注桩，主要是利用土体的抗剪能力来提供桩的承载力，但土体的抗剪能力存在两大缺点：一是土体抗剪能力弱，提供给桩的摩擦力一般为 $30\sim 80\text{kN/m}^2$ ；二是土体抗剪变形以塑性变形为主，这就导致了桥梁的工后沉降较大且沉降持续时间长。同土体的抗剪能力相对比，土体的抗压能力却很强，地基土提供的支撑力一般为 $600\sim 4000\text{kN/m}^2$ ，而且在土体抗压方面，在小变形情况下以弹性变形为主，在小变形情况下具有压密特点，所以工后沉降小，稳定速度快。在土体抗压变形达到一定程度后，地基土才会产生滑移，从而产生破坏，而基底面积越大其产生土体滑移的难度也越大。因此，研究利用地基土的支撑力与桩周土的摩擦力协同作用将是对提高桩基础承载力的有益探索。近三十年来，随着桥梁桩基础技术的进步，相继出现了后压浆、扩盘桩等桩基工程技术，其中扩盘型桩基础技术是能够较为充分利用地基土的承载力和桩周土摩擦力协同作用的典型代表，但由于常规的扩盘型桩基础工艺存在着盘腔易塌孔的风险和工艺缺陷，加之伴随盘腔成形过程中易出现缩径以及工艺本身扩孔率小等问题，导致扩盘型桩基础技术近三十年来一直无法取得规模化应用。

在总结各种桩基设计、施工方法优缺点的基础上，广东磐石基础工程技术有限公司于2019年提出了“固结扩盘”的概念并研发出固结扩盘桩（简称：固盘桩，曾用名：复合扩盘桩）的新技术，该技术结合了扩盘工艺和复合地基处理工艺，即在预先设置的复合固结体中将桩身进行变径扩盘以形成突出于桩身的盘体且盘体嵌于复合固结体内并与复合固结体融为一体的复合桩结构，利用复合固结体一方面强化了盘周土，另一方面又完全杜绝了常规扩盘型桩基础存在的盘腔易塌孔的工艺缺陷，而且还可以进一步加大扩孔率。该技术能够进一步提高扩盘型桩基础的承载力、降低施工风险，同时又可提高工效并且有效降低建设成本。固结扩盘桩技术一方面改变了桩基础设在天然地基上的行业传统，另一方面改变了摩擦桩的

常规受力方式，为桩基础领域的重大技术革新。固结扩盘桩技术能够用在提高桥梁桩基承载力的同时缩短桩长，直接大幅度减少钢筋和混凝土的用量，相应的也减少水泥、石子、砂子、水等原材料的消耗和碳排放；同时可降低施工风险，减少泥浆的排放，对环境保护产生有利的作用，完全符合国家智能绿色、安全可靠、资源节约的基础设施建设导向。

目前的《复合地基技术规范》（GB/T 50783-2012）等国标及《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363-2019）等行标仅对复合地基和挤扩支盘桩等分项工艺技术分别进行了规定，并不能完全适用于固结扩盘桩技术。

固结扩盘桩技术已经在河北荣乌高速新线、山东沾临高速公路和京台高速公路齐河至济南段改扩建工程项目上进行了应用，均取得了很好的经济效益和社会效益，研究课题《固结体解决扩盘桩盘腔塌孔缺陷的创新应用》荣获2022年中国公路学会第三届全国公路微创新大赛金奖，《大直径固结扩盘桩成套工艺技术研究》荣获2022年第十一届中国技术市场协会金桥奖优秀项目奖，其中《大直径固结扩盘桩成套工艺技术研究》由中国技术市场协会交通委员会于2022年5月18日组织并进行了科技成果评价，专家组一致认为，该成果总体上达到国际先进水平，其中固结体内旋切扩盘技术达到国际先进水平（科技成果评价证书：[2022]第002号）。经过近几年的项目应用和总结完善，固结扩盘桩技术工艺已经相对成熟。鉴于该技术具有广阔的发展前景和很高的推广价值，并且该技术已具备市场化及规模化应用的基础，无论是从技术的发展规划还是提升我国在国际桥梁桩基础领域的国际竞争力，均有必要迫切对固结扩盘桩技术进行标准的编制工作。

（二）协作单位及主要起草人

本标准主编单位为山东省交通规划设计院集团有限公司，参编单位包括山东高速股份有限公司、山东高速基础设施建设有限公司、山东省路桥集团有限公司、广东磐石基础工程技术有限公司、山东东泰工程咨询有限公司、日照交通规划设计院有限公司、山东路达工程设计咨询有限公司、山东高速沾临高速公路有限公司、中建八局第一建设有限公司等单位。

本标准主起草人：于坤，参与起草人：林占胜、柳磊、丁毅、王海山、罗小宝、张涛、黄家东、王宗健、杜昆、裴晓峰、祝波、王宇驰、岳秀鹏、董永泉、赵昌勇、崔亚军、王树照、郑昊等。

（三）工作过程

根据山东公路学会《关于申报第一批山东公路学会标准的通知》（鲁公学会〔2022〕23号），本标准由山东省交通规划设计院集团有限公司提出并由山东公路学会2023年3月批准立项。

山东省交通规划设计院集团有限公司于2022年底成立标准编制工作组，负责本标准的编制工作，并于2023年3月完成标准草案，2023年8月完成标准征求意见稿，计划于2023年9月完成标准送审稿并召开送审稿审查会，具体工作过程如下。

1. 立项及初稿阶段（2023.1~2023.3）

2022年12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、使用单位参与，对桥梁固结扩盘桩技术进行了充分研究，结合已有的研究基础和工程项目实施经验，对该技术提出了相应改进意见，并就该技术的国内外相关技术标准进行了充分的调研，在充分吸收现有扩盘型桩基础技术的基础上对该项技术进行了详细补充和完善。

2. 初审及征求意见稿起草阶段（2023年4月~2023年12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，完成初审和征求意见稿，并将于2023年12月进行公开征求社会意见。

3. 送审稿起草阶段（2024年1月~2024年3月）

计划于2024年1月~2024年4月，根据意见汇总和处理情况，对《桥梁固结扩盘桩技术规范》进行修订，完成标准送审稿，于2024年5月召开标准送审稿审查会。

4. 报批稿起草阶段（2024年4月）

计划于2024年5月，根据标准送审稿审查会各位专家意见，对《桥梁固结扩盘桩技术规范》修订，完成标准报批稿，于2024年4月提交归口单位，进行报批。

二、主要技术内容

（一）主要技术内容：

本标准主要包括范围、规范性引用文件、术语和符号、基本规定、施工、质量控制。

（二）相关的科研、调研、测试验证、工程应用

1. 河北荣乌高速新线：2020年固结扩盘桩技术首次在河北荣乌高速新线进行了常规应用。依托该项目的《固结体解决扩盘桩盘腔塌孔工艺的创新应用》荣获中国公路学会2022年“第三届中国公路微创新大赛”金奖。

2. 山东沾临高速：2021年，固结扩盘桩技术应用于山东沾临高速引黄济青干渠大桥，解决了该项目重大工程难题。项目课题《大直径固结扩盘桩成套工艺技术研究》荣获2022年第十一届中国技术市场协会金桥奖的优秀项目奖。

3. 京台高速公路齐河至济南段改扩建工程：2022年，固结扩盘桩技术在京台高速公路齐河至济南段改扩建工程中进行了规模化应用，取得了良好的经济和社会效益。研究课题《黄河冲积平原桥梁新型桩基础关键技术研究与应用》目前正在同步进行中。

本标准旨在通过优化扩盘型桩基础技术的盘腔成形工艺，结合所研发的固结扩盘技术，在确保盘腔稳定性的同时，还可进一步发挥扩盘型桩基础技术的优越性，有效降低长桩基的施工风险，进一步提高常规扩盘型桩基础的承载力，并大幅度降低原材料消耗和泥浆排放，更好服务于“绿色交通”及“碳达峰、碳中和”战略。

三、编制原则

（一）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。

（二）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，也应兼顾全社会的利益。

（三）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。

（四）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。

（五）积极采用国际标准和国外先进标准，有利于促进对外经济技术合作和发展对外贸易，有利于我国标准化与国际接轨。

四、主要试验（验证）的分析，技术经济论证，预期的经济效果

（一）主要实验（验证）的分析

固结扩盘桩技术已在河北荣乌高速新线项目、山东沾临高速公路引黄济青干渠大桥项目以及京台高速公路齐河至济南段改扩建项目中进行了实际应用，其中依托河北荣乌高速新线项目的《固结体解决扩盘桩盘腔塌孔工艺缺的创新应用》荣获中国公路学会2022年“第三届中国公路微创新大赛”金奖；依托山东沾临高速引黄济青干渠大桥的《大直径固结扩盘桩成套工艺技术研究》荣获2022年第十一届中国技术市场协会金桥奖的优秀项目奖；在《大直径固结扩盘桩成套工艺技术研究》的科技成果评价中，专家组一致认为，该成果总体上达到国际先进水平，其中固结体内旋切扩盘技术达到国际领先水平（中国技术市场协会科技成果评价证书：[2022] 第002号）。

在京台高速公路齐河至济南段改扩建项目中，进行了固结扩盘桩适用性试桩研究，阶段性的试桩结果显示，该技术有显著的安全可靠性，经济和社会效益俱佳。

（二）技术经济论证

在常规钻混凝土孔灌注桩和其他扩盘型桩基础技术应用的基础上，固结扩盘桩技术对桩基础的技术进行了革新，与常规钻孔灌注桩相比较，固结扩盘桩能够大幅度提高承载力、缩短桩长、降低长桩基施工风险、提高工效并降低桩基础造价。与常规扩盘型桩基础技术对比，固结扩盘桩技术妥善解决了常规扩盘型桩基础存在的盘腔易塌孔和缩径的风险及工艺缺陷，进一步提高了扩盘型桩基础的承载力。固结扩盘桩技术具有非常显著的经济效益、社会效益和非常可观的碳排放降低量。

（三）预期的经济效果

与常规钻孔灌注桩相比较，固结扩盘桩技术可以提高承载力1.5~2.5倍，缩短桩长30%以上，节省混凝土50%左右，节省钢筋30%左右，降低碳排放40%左右。与常规扩盘桩技术比较，该技术能够进一步提高常规扩盘型桩基础的承载力和施工工效。

五、采用国际标准的程度及水平的简要说明

标准在编写过程中查阅了国内外相关的技术标准，经过分析论证固结扩盘桩技术的性能指标，高于同领域的其他标准的技术要求，具有国际领先水平。

六、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。

七、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。