

团 体 标 准

T/SDHTS 00003-2024

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

(编制说明)

此文本仅供个人学习、研究之用，未经授权，禁止复
制、发行、汇编、翻译或网络传播等，侵权必究

2024-08-06 发布

2024-08-06 实施

山东公路学会 发布

桥梁固结扩盘桩施工技术规范 编制说明

一、工作概况

（一）任务来源

根据山东公路学会《关于发布第一批山东公路学会标准立项计划的通知》（鲁公学会〔2023〕6号），《公路桥梁固结扩盘桩技术规范》为团体标准制定项目。

（二）任务分工

山东省交通规划设计院集团有限公司：负责制定总体技术路线；设计工艺验证；组织协调；具体负责编制前言、1 范围、2 规范性引用文件、3 术语和定义

山东高速基础设施建设有限公司：负责建设管理，项目应用；具体负责编制 4 基本规定，审核 1 范围、2 规范性引用文件

山东省路桥集团有限公司：负责施工现场保障；具体负责编制 5.1 施工工艺流程，审核 3 术语和定义

山东固盘工程技术有限公司：负责施工工艺设计；具体负责编制 5.2 固结体施工、5.3 桩体施工，审核前言

中铁建投（山东）东阳高速公路有限公司：负责项目应用，施工工艺验证；具体负责审核 5.1 施工工艺流程、5.2 固结体施工

山东高速工程检测有限公司：负责检测工艺设计；具体负责编制 6 质量控制

济南金诺公路工程监理有限公司：负责检测工艺验证；具体负责审核 6 质量控制

中建八局第一建设有限公司：负责施工工艺验证；具体负责审核 5.3 桩体施工。

（三）编制原则

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。

充分考虑使用要求，兼顾全社会的综合效益。

合理利用资源，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、择优、通

用和互换，做到技术上先进、经济上合理。

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）编制工作过程

1. 立项及起草阶段（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建设、施工、检测、监理单位参与，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，于2023年3月在山东公路学会立项并形成草稿。

2. 初审及征求意见阶段（2023年4月~2023年12月）

在充分调研和分析总结的基础上，编制组在草稿的基础上确定标准的各项技术指标，经过讨论和改进，形成初稿，于2023年12月12日组织初稿审查会，根据审查会专家意见，将立项名称《公路桥梁固结扩盘桩技术规范》改为《桥梁固结扩盘桩施工技术规范》，并对其他内容修改完善，期间编制组召开讨论会3次，于2023年12月底形成征求意见稿进行公开征求意见。

3. 送审稿形成阶段（2024年1月~2024年3月）

于2024年1月~2024年3月完成征求意见，编制组共征求11家单位意见，收到成孔检测、固结体的高喷施工质量控制要求和钢筋笼安装等方面的意见共32条。根据征求意见汇总和处理情况，对标准进行修改，提交山东公路学会审核。

4. 送审稿审查修改阶段（2024年4月~2024年7月）

2024年5月根据山东公路学会审核意见，修改落实形成送审稿，于2024年7月10日组织送审稿审查会议。

5. 报批稿修改阶段（2024年7月~2024年8月）

根据送审稿审查会专家意见，修改完善形成报批稿，7月中旬提交山东公路学会审核，根据审核意见修改完善后发布。

二、主要技术内容及其确定依据

（一）技术背景

目前,我国桥梁桩基在大规模的使用常规混凝土灌注桩,随着近几年国内桥梁建设的快速发展,跨度、荷载有逐渐增大的趋势,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,同时该桩型也面临着新的问题: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 $30 \text{ kN/m}^2 \sim 80 \text{ kN/m}^2$;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,土体的抗压能力更强,地基土提供的支撑力一般为 $600 \text{ kN/m}^2 \sim 4000 \text{ kN/m}^2$,而且在土体抗压方面,在小变形情况下以弹性变形为主,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,创新技术固结扩盘桩(简称:固盘桩,曾用名:复合扩盘桩)应运而生,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,又可提高工效,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在提高桥梁桩基承载力的同时缩短桩长,大幅度减少钢筋和混凝土的用量,相应的也减少了水泥、石子、砂子、水等原材料的消耗和碳排放,可降低施工风险,减少泥浆的排放,有利于环境保护,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)等国家标准及《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363-2019)等行业标准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,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中应用，均取得了良好的经济效益和社会效益。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，该技术具有广阔的发展前景和很高的推广价值，已具备市场化及规模化应用的基础，在促进技术发展和提升我国在国际桥梁桩基础领域的国际竞争力方面，均有必要对固结扩盘桩技术进行标准的编制工作。

(二) 主要技术内容

固结扩盘桩技术的技术核心是利用固结体对盘腔的支撑与固结作用，以及在易塌孔地层采用固结土对桩孔进行护壁，通过固结体杜绝了常规扩底、扩盘类桩基础盘腔易塌孔的工艺技术缺陷，也通过固结土也杜绝了易塌孔土层的塌孔风险。利用固结体对原状土强度的提高，进一步增加了盘体的承载能力，固结扩盘桩在保留了扩盘类桩型大幅度提高单桩承载力、减小沉降变形以及差异沉降、缩短桩长等优点的基础上，进一步优化，确保了扩盘类桩基础的成桩质量，使之更加安全、可靠、稳定。

固结扩盘桩技术大幅度减少钢筋和混凝土等原材料的消耗，大幅度降低碳排放，同时降低长桩基的施工风险，减少泥浆的排放，在降本、提质、增效方面有着显著的优势。

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，另一方面将端承摩擦桩变革为多支点摩擦端承桩，改变了常规摩擦桩的受力方式，为桥梁桩基础领域的重大技术革新。

本标准在编制过程中参考了《公路桥涵地基与基础设计规范》（GTJ3363-2019）和《桥梁固结扩盘桩技术规范》（TTMAC 074-2023）。

(三) 主要试验验证情况分析

本标准在编制过程中进行了广泛的调研，并在京台高速齐河至济南段改扩建工程进行了固结扩盘桩修改的试验，包括原位桩的承载力试验和场外破坏性试桩试验。试验的测试验证具体内容如下：

1. 试桩试验一（原位桩）

2022 年 11 月 5 日，京台高速改扩建齐济段京沪三四线公铁立交两组固结扩盘桩试桩承载力原位试验，试验时间为 2022. 10. 30~2022. 11. 05，累计用时 7 天。

(1) 试验方案

桩基设计与试桩加载方案分别见表 1、2。

表 1 试验一固结扩盘桩设计方案

桩基类型	桩径(m)	桩长(m)	盘径(m)	盘数量(个)
固结扩盘桩	1.6/1.2	40	2.4	4

表 2 试验一加载方案

试桩编号	单桩设计承载 (kN)	极限承载 (kN)	预估最大加 (kN)	试桩位置	检测数量
SZ-4~SZ-5	8100	16200	16200	京沪三四线公铁立交	2

(2) 试桩试验一现场

SZ-4 和 SZ-5 静荷载试桩现场图片分别见图 1、2。



图 1 SZ-4 静荷载试验现场图片
(2022. 10. 30~11. 1)



图 2 SZ-5 静荷载试验现场图片
(2022. 11. 3~11. 5)

(3) 成孔检测结果

SZ-4 和 SZ-5 成孔检测结果分别见图 3、4。

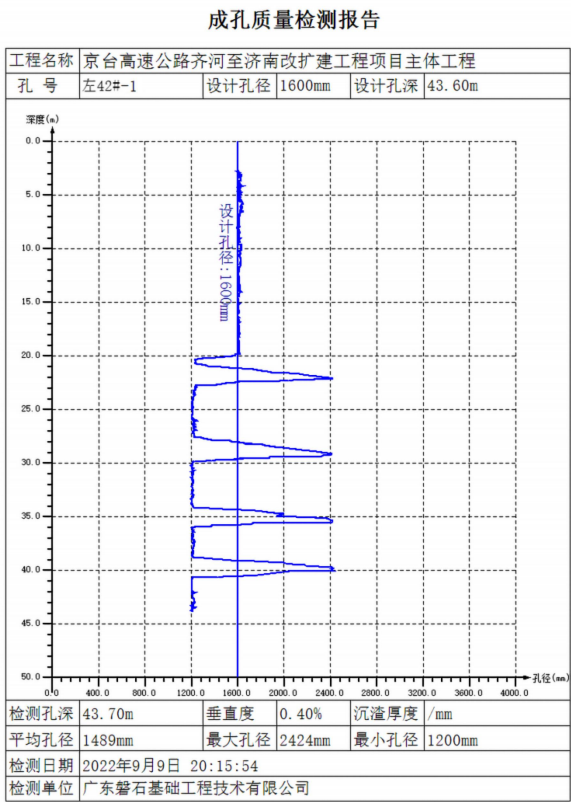


图 3 SZ-4 成孔检测报告

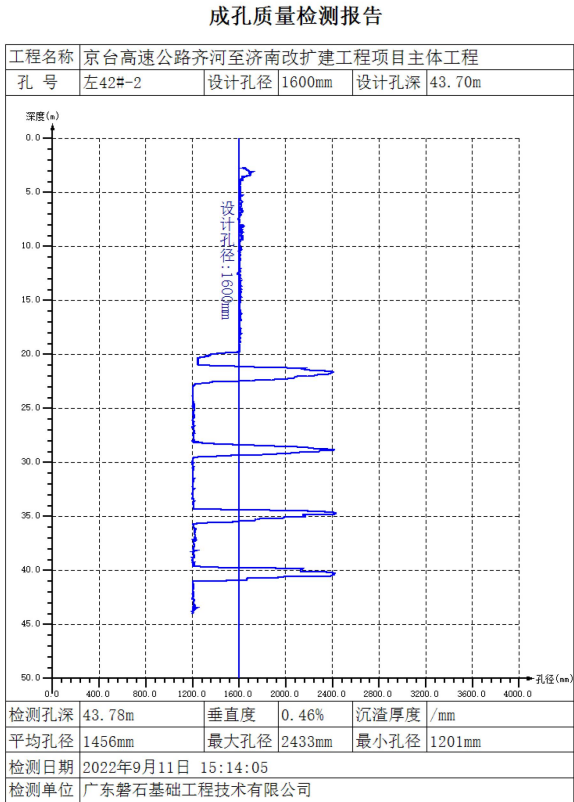


图 4 SZ-5 成孔检测报告

(4) 试桩结果

SZ-4 和 SZ-5 荷载与沉降（Q-S）曲线分别见图 5、6。

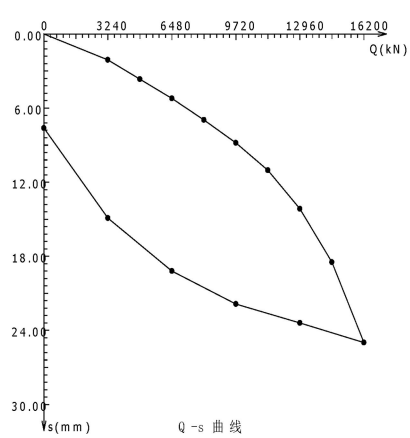


图 5 SZ-4 Q-S 曲线

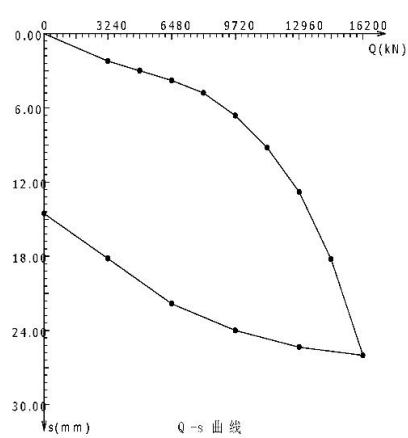


图 6 SZ-5 Q-S 曲线

(5) 试桩试验一结论

第一组扩盘桩最大位移量 24.98 mm，最大回弹量：17.38 mm，回弹率：69.58 %；（见表 3）

第二组扩盘桩最大位移量 25.99 mm，最大回弹量：11.47 mm，回弹率：44.13 %。

表 3 试桩一试验结果

桥梁名称	桩号	桩径 (m)	桩长 (m)	单桩承载力设计值 (kN)	最大试验荷载 (kN)	最终沉降量 (kN)	回弹率 (%)	备注
京沪三四线 公铁立交左 42#墩	SZ-4	1.6/1.2	40	8100	16200	17.38	69.58	满足
	SZ-5	1.6/1.2	40	8100	16200	11.47	44.13	满足

2. 试桩试验二（场外破坏性对比试验）

2023 年 11 月 28 日，京台高速公路改扩建齐济段青岛路固结扩盘桩场外破坏性试桩试验。

(1) 试验方案

桩基设计与试桩加载方案分别见表 4、5。

表 4 试验二固结扩盘桩和常规桩设计方案

桩基类型	桩径(m)	桩长(m)	盘径(m)	盘数量(个)
固结扩盘桩	1.2	30	2.4	4
常规桩	1.2	30	-	-

表 5 试验二加载方案

试桩编号	单桩设计承载力(kN)	极限承载力(kN)	预估最大加载(kN)	试桩位置	检测数量
固结扩盘桩	4326	8725	17450	青岛路 区间高架	1
常规桩	2910	5820	11640		1

(2) 试桩试验二现场：

固结扩盘桩静载荷试桩现场图片见图 7。



图 7 试桩试验二场外破坏性对比试验（2023. 11. 25~12. 01）

（3）试桩试验二结果

常规桩和固结扩盘桩第一次加载、固结扩盘桩二次加载的静载试验曲线见图 8。

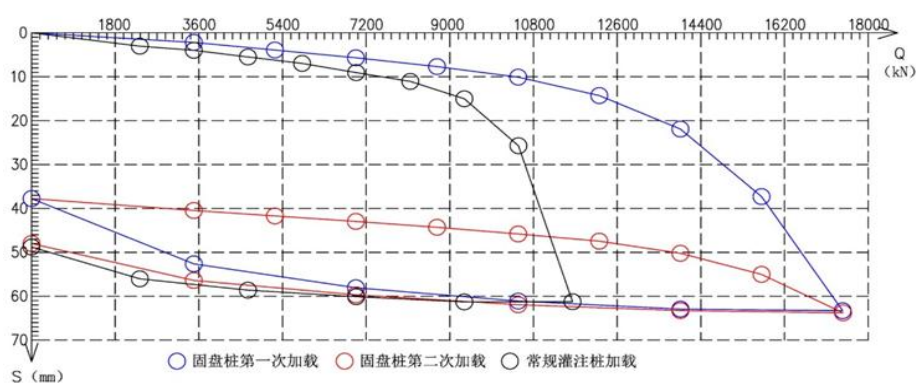


图 8 常规桩和固结扩盘桩第一次加载、固结扩盘桩二次加载的 Q-S 曲线

固结扩盘桩在首次加载和二次加载荷载作用下各盘与侧摩阻力内力分布关系如图 9、10 所示。

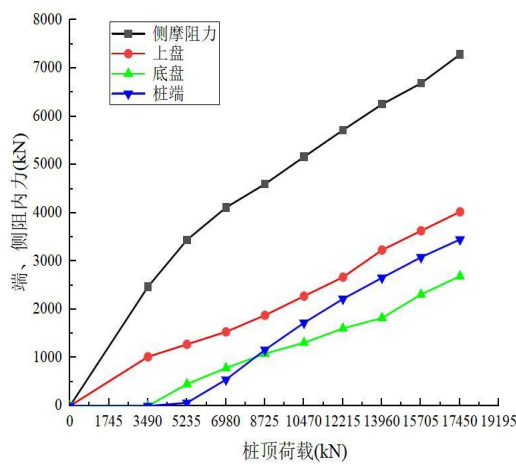


图 9 固盘桩首次加载各级荷载作用下各盘与侧摩阻力内力分布图

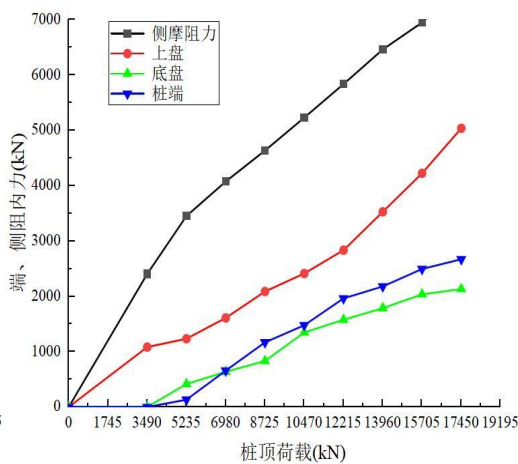


图 10 固盘桩二次加载各级荷载作用下各盘与侧摩阻力内力分布图

固结扩盘桩在首次加载和二次加载荷载作用下各盘与侧摩阻力内力分布关系见图 11、12、。

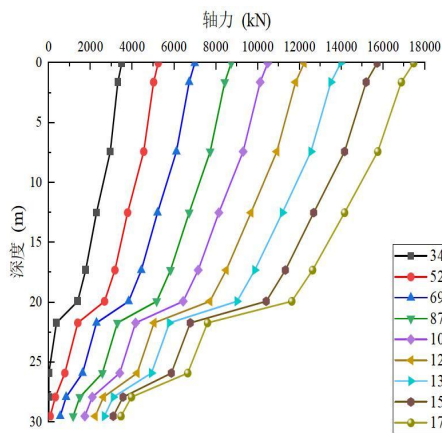


图 11 固盘桩首次加载各级荷载作用下轴力分布图

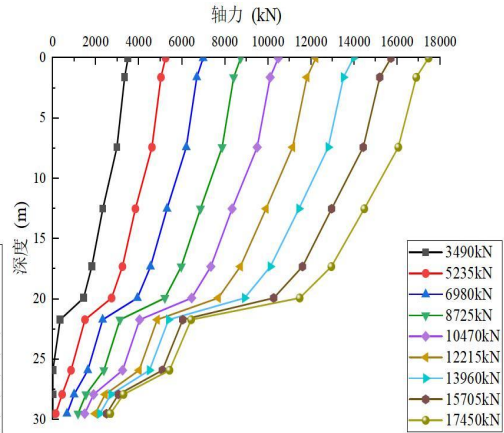


图 12 固盘桩二次加载各级荷载作用下轴力分布图

(4) 试桩试验二结论

- ① 固结扩盘桩首次加载至特征值 4 倍仍未出现拐点陡降段；
- ② 固结扩盘桩两次加载至 7200 kN 之前沉降几乎相同，可以判断为弹性变形；
- ③ 固结扩盘桩加载至特征值 4 倍时，卸载回弹率仍很高。

3. 总体试验结论

- (1) 同桩径同桩长的情况下，固结扩盘桩的承载力高于常规桩 2 倍以上；
- (2) 在使用荷载条件下，固结扩盘桩的沉降变形为弹性变形；
- (3) 在极限荷载条件（加载至特征值 4 倍）下，固结扩盘桩仍未破坏。

(四) 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。
- 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。
- 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固结扩盘桩适用性试桩研究，阶段性的试桩成果显示，该技术有显著的安全可靠性，取得了良好的经济和社会效益。

本标准旨在通过优化扩盘型桩基础技术的盘腔成形工艺，结合固结扩盘技术，在确保盘腔稳定性的基础上，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，提高常规扩盘型桩基础的承载力，降低原材料消耗和泥浆排放。

三、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效益等情况

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。

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 倍~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。

以京台高速公路齐河至济南段改扩建工程项目为例，目前共完成固结扩盘桩 94 根，项目经济效益分析见表 5。

表 5 项目经济效益分析

常规灌注桩			固结扩盘桩					工程量比较	
桩径 (m)	桩长 (m)	工程量 (m ³)	桩径 (m)	盘外径 (m)	盘数量 (个)	桩长 (m)	工程量 (m ³)	工程量节省量 (m ³)	工程量节省比例 (%)
1.6	65	130.7	1.6/1.2	2.3	4	40	60.8	69.85	53.45
1.8	64	162.9	1.8/1.4	2.5	4	40	79.6	83.23	51.11
1.8	68	173.0	1.8/1.4	2.5	4	42	82.7	90.33	52.20
2	64	201.1	2.0/1.6	2.7	4	38	96.5	104.55	52.00

该技术适用范围较广，对普通钻孔灌注桩具有很大的替代作用，市场推广应用场景广阔。

四、国家标准、行业标准、地方标准同类标准技术内容的对比情况

目前本就是领域涉及的国家标准、行业标准、地方标准同类标准主要有《复合地基技术规范》（GB/T 50783-2012）、《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363-2019）和《桥梁固结扩盘桩技术规范》（T/TMAC 074-2023），对比情况如下：

《复合地基技术规范》（GB/T 50783-2012）、《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363-2019）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。

《桥梁固结扩盘桩技术规范》（T/TMAC 074-2023）对固结扩盘桩技术的总体进行了规定，但没有对施工内容的具体描述。

对于本技术领域内的其他同类技术，对比情况见表 6。

表 6 固结扩盘桩技术与同类技术对比分析

对比桩型	固结扩盘桩技术	挤扩盘体桩技术	其他扩盘类技术
盘腔成形方式	单个盘腔一次性旋切成形	单个盘腔多次叠加挤扩成形	单个盘腔一次性旋切成形
盘腔保护	复合固结体保护盘腔	无	无
盘腔塌孔现象	无	易塌孔	易塌孔
缩径现象	无	易	易
承载力提高程度	高	较高	较高
扩孔率	可实现大于 55cm 以上的盘环宽度	可实现小于 55cm 以上的盘环宽度	难以实现大于 30cm 以上的盘环宽度
总体施工工艺	预先施工复合固结体，之后盘腔成形与桩孔成孔同步进行	先进行桩孔成孔施工，之后进行盘腔成形，再用钻机回钻清孔	以盘腔成形与桩孔成孔同步进行为主
盘腔高度	小，满足盘体抗剪切要求，摩擦力损失小	高，需要降低塌孔风险，摩擦力损失大	高，需要降低塌孔风险，摩擦力损失大
适用地层	除基岩和颗粒大于 2cm 碎石土以外的各类地层	仅限于砂性较高且粒径小于 2cm 土层	主要针对黏粒含量高的土层以及基岩地层
规模化应用	配套旋挖工艺或钻扩一体设备，易规模化应用	限于专用盘腔挤扩成形设备，难规模化应用	配套旋挖工艺或钻扩一体设备，易规模化应用

五、标准涉及专利情况

无。

六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况

未采用国际标准和国外先进标准。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本规程在编制过中无重大分歧意见。

八、其他应予说明的事项

无

