

螺锁式链接异型方桩与传统预制桩连接方式的优劣

孙红燕 岳永 卢小志 李昭

廊坊卓越工程检测有限公司 河北 廊坊 065000

摘要: 预制桩基础在建筑工程中应用普遍,其连接方式关乎结构安全与施工效率。传统焊接、机械咬合连接技术成熟,但存在效率低、质量波动大、环境适应性差等不足。螺锁式连接是新型机械连接技术,靠螺纹啮合实现桩体快速连接。本文从技术原理出发,对比其与传统方式在连接效率、承载能力、施工适应性及环保性等方面的优劣。结果显示,螺锁式连接优势明显,但在材料性能和标准化上有优化空间,为连接方式选型提供参考。

关键词: 螺锁式连接;异型方桩;传统预制桩;连接效率

引言: 预制桩基础凭借施工速度快、质量可控性强、环境影响小等优势,在工业与民用建筑、桥梁、港口工程等领域广泛应用。桩基连接节点是预制桩关键部位,其可靠性影响整体结构的安全性与耐久性。传统预制桩连接主要有焊接和机械咬合两种,焊接强度高但受天气和焊工技能影响大,效率低且焊缝质量难全检;机械咬合施工快但承载能力有限、加工精度要求高。近年螺锁式连接技术用于异型方桩,对比两者优劣对工程实践和桩基设计意义重大。

1 螺锁式连接异型方桩的技术原理与特点

1.1 螺锁式连接技术原理

螺锁式连接是基于机械螺纹啮合的新型桩基连接技术。其核心构造有桩端部的螺锁式接头与配套锁紧螺母。连接时,上下两节桩端部对接,旋拧锁紧螺母让螺纹逐步啮合,实现桩体刚性连接。该连接受力机理分两部分:螺纹直接承载,多道螺纹分散传递轴向拉力;端面承压,主要承担轴向压力,保障连接部位整体稳定。与靠熔融金属凝固连接的焊接不同,它是纯机械连接,无材料相变,不受环境温湿度影响,质量更稳定可靠。连接件多采用高强度合金钢制造,经防腐处理后耐久性好。施工时用专用扳手旋拧至规定扭矩即可,操作简单快捷,无需专业焊工,对现场作业条件要求低。

1.2 异型方桩的设计优势

异型方桩是在传统方桩的基础上不断创新发展而成的一种新型桩型,其截面通常为非标准方形,或者带有翼缘、凹槽等特殊构造。这种独特的设计理念为桩体带来了诸多显著优势。首先,异型方桩的设计增加了桩体与周围土体的接触面积,在相同桩长的情况下,能够显著提升桩体与土体之间的侧摩阻力,进而使桩的承载力得到大幅提高。其次,其截面惯性矩相较于普通方桩更大,这使得异型方桩的抗弯刚度得到显著增强。在承受

水平荷载时,异型方桩能够展现出更优的受力性能,有效抵抗水平力的作用,减少桩身的变形和位移。因此,在深基坑支护、高耸结构基础等需要承受较大弯矩的工程场景中,异型方桩具有明显的优势。另外,异型方桩的预制工艺已经十分成熟,可采用离心或振动成型工艺进行生产。通过这些先进的工艺,能够保证桩身混凝土的密实度,使桩的强度等级可达C80以上。而且桩端部预埋的连接件在预制过程中能够进行精确定位,确保加工精度符合设计要求^[1]。异型方桩与螺锁式连接具有很好的适配性,连接件采用紧凑设计,能够很好地适应异型截面的空间限制,充分发挥桩身的承载性能,实现桩身与连接强度的良好匹配,为桩基工程的安全与稳定提供有力保障。

2 传统预制桩连接方式的技术局限

2.1 焊接连接的缺陷

焊接连接是预制桩工程常用传统方式,通过焊缝连接上下节桩端部预埋钢板。虽经长期实践检验,规范标准完善,但局限性明显。其一,焊接质量依赖焊工技能,不同焊工操作差异大,导致焊缝质量波动。其二,受环境因素影响大,雨天、大风或低温时,需防护或停工,影响进度。其三,焊接热影响区改变母材组织性能,产生热应力和残余应力,是复杂荷载下的薄弱环节。其四,焊缝冷却收缩变形可能致桩身偏斜,影响垂直度和定位精度。其五,焊缝质量检测成本高且难全检。其六,防腐处理困难,腐蚀性环境中易锈蚀。另外,焊接作业耗能,产生烟雾和弧光,污染环境,在环保要求高的区域受限。

2.2 机械咬合连接的不足

机械咬合连接是另一类传统预制桩连接方式,主要包括插筋式连接、套筒式连接等形式。这类连接通过预埋钢筋或机械套筒实现上下节桩的对接,具有施工快捷、

不受天气影响等优点。然而,机械咬合连接也存在明显的技术局限。连接承载力通常低于桩身强度,成为桩基承载的薄弱环节。在承受较大荷载时,连接部位容易发生破坏,限制了桩基整体承载能力的发挥。机械咬合连接对预埋件的加工精度要求较高,加工偏差过大会导致安装困难或连接不可靠。连接部位的间隙处理较为复杂,若填充不密实会影响荷载传递效率。机械咬合连接在承受反复荷载或动力荷载时的疲劳性能研究尚不充分,在抗震设防地区的应用受到一定限制。连接部位的防腐密封处理较为困难,水分和腐蚀性介质容易侵入,影响长期耐久性。部分机械咬合连接形式在检测验收时难以直接观察内部连接状态,主要依靠施工过程控制保证质量,存在一定的不确定性^[2]。机械咬合连接的适用桩型范围有限,对于异型截面桩的适配性较差,限制了其在异型方桩中的应用。

3 螺锁式连接异型方桩与传统连接方式的对比分析

3.1 连接效率与质量

连接效率是评价桩基连接方式的重要指标,直接影响工程进度和综合效益。螺锁式连接采用机械旋拧方式完成连接,单根桩连接时间仅需数分钟,较焊接连接的数十分钟大幅缩短。在大型桩基工程中,这种效率优势可转化为显著的工期节约。螺锁式连接不受天气条件影响,雨雪天气仍可正常施工,避免了传统焊接因恶劣天气造成的停工损失。连接质量方面,螺锁式连接通过扭矩控制确保连接可靠性,施工过程可实时监测旋拧扭矩,质量可控性强。焊接连接的质量受焊工技能和天气因素影响较大,焊缝内部缺陷难以完全避免。螺锁式连接属于机械连接,无热影响区问题,避免了材料性能劣化。连接完成后可通过外观检查直接确认锁紧状态,质量验收简便直观。传统焊接需进行无损检测,检测成本高且难以全覆盖。螺锁式连接的重复拆装性能优于焊接,在需要调整或维修时更具优势。从连接质量稳定性来看,螺锁式连接的离散性较小,质量一致性较好,有利于保证工程整体质量水平。

3.2 承载能力与稳定性

承载能力是桩基连接的核心性能指标,直接关系到结构安全。螺锁式连接通过多道螺纹共同承载,受力均匀,能够充分发挥材料强度。试验研究表明,合理设计的螺锁式连接其极限承载力可达到或超过桩身强度,实现等强连接目标。焊接连接的承载力取决于焊缝质量和热影响区性能,存在一定离散性,在复杂荷载作用下焊缝部位容易发生脆性破坏。机械咬合连接的承载力通常低于桩身强度,成为承载瓶颈。稳定性方面,螺锁式连

接具有良好的抗疲劳性能,螺纹啮合结构在反复荷载作用下表现出较好的耐久性。连接部位刚度与桩身刚度匹配较好,避免了因刚度突变引起的应力集中。螺锁式连接在承受偏心荷载时仍能保持较好的受力性能,螺纹结构具有一定的自适应调整能力。异型方桩与螺锁式连接的良好适配性使桩基整体受力更加合理,充分发挥异型截面的抗弯优势。传统焊接连接在承受动力荷载时的疲劳性能受焊缝质量影响较大,存在不确定性。长期荷载作用下,螺锁式连接的螺纹自锁效应有助于保持连接紧密性,而焊接连接可能因残余应力释放产生变形^[3]。

3.3 施工适应性与经济性

施工适应性反映连接方式对不同工程条件的适用能力。螺锁式连接对施工环境要求较低,可在狭窄场地、水上作业、夜间施工等条件下正常进行。焊接连接需要较大作业空间,且对通风条件有一定要求,在地下室、隧道等封闭空间施工时受限。螺锁式连接的机械化程度高,减轻了工人劳动强度,有利于提高施工安全性。经济性方面,螺锁式连接的初期材料成本高于传统焊接,主要体现在连接件制造费用上。综合考虑施工效率提升带来的工期节约、人工成本降低、检测费用减少等因素,螺锁式连接在大型工程中往往具有更好的综合经济效益。焊接连接的人工成本较高,且受焊工技能水平影响,质量返工带来的额外成本不容忽视。机械咬合连接的材料成本相对较低,但承载力限制可能增加桩长或桩数,间接增加基础造价。螺锁式连接在特殊工程条件下的适应性优势可转化为直接经济效益,如水中施工可避免围堰等临时措施费用。从全生命周期成本角度分析,螺锁式连接的耐久性优势减少了后期维护需求,综合经济性较好。

3.4 环保性与可持续性

环保性与可持续性是现代工程建设的重要考量因素。螺锁式连接施工过程不产生焊接烟雾、弧光、噪声污染,对周围环境影响小,特别适用于城市敏感区域或环境保护要求严格的工程。焊接连接产生的大量烟雾和有害气体需要采取通风措施,在环保要求日益严格的背景下应用受限。螺锁式连接能耗较低,仅需少量电能驱动旋拧工具,较焊接设备的大功率消耗具有节能优势。材料可持续性方面,螺锁式连接件采用可回收的高强度合金钢制造,工程结束后可回收再利用,符合循环经济理念。焊接连接消耗的焊条、焊剂等耗材不可回收,资源利用率较低。螺锁式连接的施工过程安全环保,避免了焊接作业的火灾风险和烫伤隐患。从碳减排角度分析,螺锁式连接的施工能耗低、施工周期短,整体碳排放量低于传统焊接。随着绿色建筑评价标准日益严格,螺锁式连接的

环保优势将更加凸显。异型方桩与螺锁式连接的组合应用,通过提高单桩承载力减少用桩数量,进一步降低了资源消耗和环境负荷,体现了绿色建造的发展方向。

4 螺锁式连接异型方桩的优化方向

4.1 材料创新

材料创新是提升螺锁式连接异型方桩性能的核心方向,当前该类型方桩主要采用普通混凝土与普通钢材,在高强度、耐腐蚀、抗疲劳等方面仍有提升空间。首先,可采用高性能混凝土材料,如纤维增强混凝土、自密实混凝土,提升桩体的抗压、抗裂、抗腐蚀性能,增强桩体整体强度与耐久性,适配复杂地质与恶劣环境下的工程需求。其次,针对螺锁式锁扣结构,可采用高强度合金钢材,替代传统普通钢材,提升锁扣的抗磨损、抗疲劳性能,避免长期咬合与荷载作用下出现锁扣变形、损坏,延长接头使用寿命。此外,可研发新型密封材料,替代传统密封胶条,提升连接部位的密封性能与耐久性,尤其适用于腐蚀性较强的海洋、地下工程环境^[4]。同时可探索新型复合材料的应用,如碳纤维复合材料,减轻桩体自重,提升桩体的抗腐蚀、抗老化性能,降低施工难度与运输成本,推动螺锁式连接异型方桩的性能升级。

4.2 智能化施工

智能化施工是推动螺锁式连接异型方桩推广应用的重要方向,当前其施工仍以人工操作为主,存在施工精度不足、效率仍有提升空间等问题。首先,可研发专用智能化吊装与连接设备,集成自动对位、自动旋入、自动检测功能,通过传感器与控制系统,实现桩体连接的精准对位与自动化操作,减少人为误差,提升连接精度与效率。其次,可引入BIM技术,构建桩体连接的三维模型,提前模拟施工过程,优化施工方案,避免施工过程中的碰撞、对位偏差等问题,提升施工合理性与效率。此外,可开发智能监测系统,在螺锁式连接部位安装应力、应变传感器,实时监测接头在施工与服役过程中的受力状态与变形情况,及时发现异常问题,采取针对性处理措施,提升工程安全性。可推动施工过程的数字化管理,实现施工数据的实时采集、分析与共享,提升施

工管理水平,降低施工风险。

4.3 标准完善

当前螺锁式连接异型方桩作为新型技术,相关行业标准与规范仍不完善,导致其设计、生产、施工、检测等环节缺乏统一依据,影响推广应用。因此,标准完善是其优化发展的重要保障。首先,制定统一的产品标准,明确螺锁式连接异型方桩的截面尺寸、材料性能、锁扣结构参数、质量要求等,规范桩体制备过程,确保产品质量一致性。其次,完善施工规范,明确螺锁式连接的施工流程、操作要点、质量控制标准、安全要求等,指导施工人员规范施工,提升施工质量。建立统一的质量检测标准,明确连接接头的检测方法、检测指标、合格标准等,规范质量检测过程,确保检测结果的准确性与可靠性。同时,结合工程实践,不断修订完善相关标准,结合新型材料、智能化施工技术的应用,补充相关技术要求,推动螺锁式连接异型方桩技术的标准化、规范化发展,为其广泛应用提供制度保障。

结束语

螺锁式连接异型方桩作为新型桩基技术,凭借连接效率高、承载能力强、施工适应性好、环保可持续等优势,展现出广阔的应用前景。尽管在材料性能、智能化施工及标准规范等方面仍有优化空间,但随着材料创新、智能技术应用及标准体系的完善,其综合性能将进一步提升,为建筑工程提供更安全、高效、绿色的桩基解决方案,推动预制桩技术向更高水平发展。

参考文献

- [1]邱尚印,吴君涛,耿少寒,等.带扩大桩靴桩侧同步灌浆预制桩承载力计算分析[J].土木工程学报,2025,58(5):79-91.
- [2]周家伟,弹卡式连接预应力混凝土方桩接头受弯性能研究[J].建筑结构,2020,50(13):121-127.
- [3]吴小鹭.预应力混凝土方桩螺锁式机械连接施工技术[J].中国建筑金属结构,2024,23(10):91-93.DOI:10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2024.10.032.
- [4]刘旭,林经雄,周斌斌,等.提高螺锁式连接预应力混凝土方桩施工质量[J].中华建设,2023(07):146-148.