

劲性复合桩在绿色数据中心建设中的工程应用

薛书洋

(中通服咨询设计研究院有限公司)

【摘要】在全球“双碳”目标与数字化转型的双重驱动下，绿色数据中心已成为行业发展方向，其建设需兼顾高性能基础设施与低碳环保要求。桩基础作为建筑根基，造价比重显著，更需贴合绿色建筑“低碳、高效、可持续”的核心理念。传统桩型存在高耗材、高能耗、高碳排放等问题，难以适配绿色发展需求。文章通过梳理劲性复合桩的基本原理与应用优势，深入分析其与绿色建筑理念的契合路径，结合工程案例验证其在复杂地质条件下的适应性与经济性，量化分析其节能减排成效，也为绿色数据中心桩基础选型提供了理论支撑与实践参考。

【关键词】绿色数据中心；低碳环保；劲性复合桩；节能减排

中图分类号：TU473.1

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2026.02.039

Engineering Application of Rigid Composite Piles in Green Data Center Construction

XUE Shu-yang

(China Information Consulting & Designing Institute Co., Ltd.)

【Abstract】Driven by the dual imperatives of global carbon peaking and carbon neutrality and digital transformation, the green data center has become the development direction of the industry. Its construction needs to balance high-performance infrastructure with low-carbon and environmental protection requirements. As the foundation of buildings, pile foundations account for a significant proportion of the total cost, and thus need to conform to the core concepts of green buildings: low carbon, high efficiency and sustainability. Traditional pile types are problematic with high material consumption, high energy consumption and high carbon emissions, making them difficult to meet the needs of green development. By sorting out the basic principles and application advantages of reinforced composite piles, this paper deeply analyzes the path of their integration with the concept of green buildings, verifies their adaptability and economy under complex geological conditions combined with engineering cases, and quantitatively analyzes their energy-saving and emission-reduction effects. It also provides theoretical support and practical reference for the pile foundation selection of green data centers.

【Keywords】green data center; low-carbon and environmental protection; rigid composite pile; energy conservation and emission reduction

1 引言

绿色数据中心是全生命周期依托设计优化与节能技术,实现资源高效利用、低耗低排的新型数据中心,核心特征体现为低碳化、高效化、可持续化,既注重IT设备节能运行,更强调建筑本体及基础设施的绿色化构建。

桩基础作为建筑核心根基,直接关联工程建设的资源消耗、能耗控制与环境影响,是绿色数据中心建设的关键环节。当前,数据中心规模持续扩张、算力需求稳步攀升,能耗与碳排放管控压力日益突出,低碳高效的桩基础技术已成为其践行“双碳”目标的重要支撑。

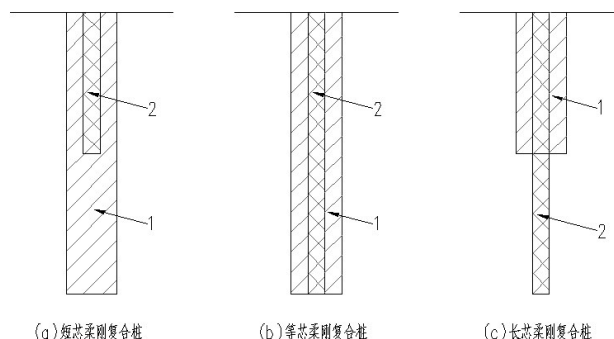
2 劲性复合桩的基本原理与特性

2.1 结构组成与工作原理

劲性复合桩包含散柔、柔刚、散刚、三元复合桩等类型,数据中心常用柔刚复合桩^[1](后文简称劲性复合桩,见图1),由刚性桩与柔性桩复合施工而成。柔性桩多为水泥土搅拌桩,通过固化剂与原土搅拌混合形成加固体,提供侧摩阻力;刚性桩多为预应力混凝土管桩,插入柔性桩后形成复合结构,增强竖向承载力。

在工作机理上,竖向荷载主要由刚性桩(内芯)承担,由刚性桩传递到柔性桩(外芯),再由柔性桩与土体的接触面扩散至周边土体(即内芯→外芯→土

体)。外芯桩尺寸较大,直径普遍在800mm以上,内芯的插入又使外芯桩向外挤扩,周围土体受到挤密作用从而侧摩阻力也有提升,因此劲性复合桩的竖向承载力有大幅提升^[2];在水平荷载下,内芯承担主要抗弯和抗剪能力,外芯通过与土体的摩擦力分散荷载。二者协同工作,性能互补,实现高承载、小变形、稳定性强的效果。



1—柔性桩,2—刚性桩

图1 柔刚复合桩构造示意图

2.2 核心优势

①高承载力:刚柔桩荷载协同分担,竖向承载力较预制桩大幅提升^[3],满足数据中心高荷载需求。

②沉降控制:刚柔桩协同变形,且规避灌注桩桩端沉渣隐患,沉降量较传统桩型显著降低^[4-5],适配精密设备沉降要求。

③环境影响小:非挤土施工工艺,现场基本无泥浆排放,粉尘和噪音少,符合绿色施工要求。

3 劲性复合桩与绿色建筑理念的契合

劲性复合桩依托原土利用与材料优化,精准契合绿色建筑“减量化、资源化”理念。柔性桩以“原土+固化剂”现场制备,无需大规模开采砂石,大幅减少土方扰动,还可掺入粉煤灰等工业废料实现资源化利用,相较传统桩型,混凝土与钢材消耗量显著降低,节材成效突出。

其节能减碳价值核心体现在两方面:一是柔性桩原位利用原土,摒弃传统桩基“弃土外运+外购填料”模式,大幅降低运输能耗;二是材料生产阶段减少核心建材用量,钢材与混凝土较传统桩型减少50%以上,碳排放量降低20%,减碳成效显著,契合低碳发展诉求。

此外,施工对环境扰动极低,土壤保护上避免大规模开挖,柔性桩固化土体还能强化地基稳定性;水

污染控制方面基本无泥浆排放,较钻孔灌注桩减少95%以上泥浆污染;刚性桩静压施工噪音控制在60dB~70dB,适配敏感区域。

4 劲性复合桩的应用案例分析

4.1 项目概况——廊坊中鼎云智算产业项目一期

该项目位于河北省廊坊市广阳区,总建筑面积约12万平方米,包含4栋数据中心及配套附属用房。项目地处8度(0.20g)高烈度设防区,场地类别为III类,建筑设防类别为乙类。数据中心使用活荷载标准值较高,以3#数据中心为例,其地上5层,层高约8米,建筑高度近40米,柱底轴力峰值接近20000kN,对桩基的竖向承载力、水平承载力及沉降控制均提出严苛要求。

地勘报告表明,场地土层为中软土,上部土层的桩极限侧阻力标准值、下卧深厚粉质黏土层的桩极限端阻力标准值均处于较低水平。劲性复合桩兼具高承载能力、全生命周期低碳环保、高性价比等多重优势,成功成为本项目的优选桩型。

4.2 劲性复合桩设计与施工

项目采用水泥土搅拌桩(柔性桩)+PHC预应力管桩(刚性桩)组合方案:水泥土搅拌桩外径900mm,桩长28m;内芯预制管桩采用PHC500 AB 120,短芯设计,桩长26m。

施工流程:先施工水泥土搅拌桩(控制搅拌速度不低于40转/min、提升速度0.6m/min~1.0m/min,水泥掺入量不低于20%)^[3];水泥土桩施工后6h内,采用静压法插入预应力管桩,预制芯桩垂直度偏差不得超过0.5%^[1]。

4.3 应用效益分析

本项目选用劲性复合桩,契合绿色数据中心理念,桩基造价节约千万以上、碳排放减少千吨以上,缩短施工工期,获得参建各方的一致认可。

4.3.1 直接成本

以3#数据中心为例,对当地三种桩型施工期间信息价进行询价:劲性复合桩约500元/m,钻孔灌注桩约650元/m,预应力管桩约310元/m,得出三种桩型桩身成本对比见表1。①相较于预应力管桩,劲性复合桩桩身单位造价略低,降幅约4.4%;而预应力管桩需大幅增加桩数,进而推高桩承台、桩基检测等

配套费用,最终劲性复合桩综合造价(含承台、检测等全流程费用)降低约15%。与此同时,预应力管桩在高烈度区中软土地质条件下的适配性欠佳,进一步凸显劲性复合桩的应用优势。②与灌注桩方案相比,劲性复合桩造价桩身降低近50%,且施工无需大量泥浆护壁材料,又可降低施工成本。

表1 劲性复合桩桩身成本对比

桩类型	桩参数	桩长/m	桩数/根	单桩竖向承载力/kN	综合造价/万元
劲性复合桩	外芯:900mm 混凝土 内芯:PHC500 AB-120	外径:28 内芯:26	737	2100	1031.8
钻孔灌注桩	直径800mm	40	737	2100	1916.2
预应力混凝土管桩	PHC600 AB-110	31	1123	1500	1079.2

4.3.2 间接成本

1)时间成本

劲性复合桩单桩施工时长约2.5h,较钻孔灌注桩(单桩约3h)缩短20%。单栋数据中心需桩737根,劲性复合桩两台设备作业,日成桩16根,施工周期约46d;钻孔灌注桩同配置下日成桩12根,施工周期约61d。单栋可提前15d投产,按日均运营收益10万~50万元计,4栋合计收益600万~3000万元,隐性价值突出。

2)质量与风险成本

劲性复合桩适配软土、液化土等复杂地质条件^[6],沉降量较传统桩型降低较多^[4-5],有效避免因地基不均匀沉降导致的结构开裂、设备移位等问题,减少后期返修费用;劲性复合桩适用于高烈度区,承载稳定性与抗震性能优异,可保障数据中心在极端工况下的可靠运行。

3)合规成本

劲性复合桩契合绿色数据中心建设标准,满足“双碳”政策与环保要求,避免因材料消耗超标、泥浆排放违规等处罚成本。

4.3.3 绿色低碳效益

在材料生产阶段,劲性复合桩的碳减排幅度最为突出,是实现全生命周期碳减排目标的核心环节;在施工阶段,该桩型施工周期短,现场基本无泥浆排

放,能耗较传统桩型有显著降低。以3#数据中心为例,材料生产阶段碳减排数据对比见表2,相较钻孔灌注桩,劲性复合桩方案混凝土用量减少约80%,钢材消耗减少约75%,碳减排约1300t,减少约20%,减碳成效显著。

表2 材料生产阶段碳减排数据对比

桩型	混凝土用量/t	钢材用量/t	水泥用量/t	碳排放量(CO ₂ 当量)/t
劲性复合桩	约6900	约200	约5300	约5700
钻孔灌注桩	约37000	约800	/	约7000

注:生产1t混凝土、钢材、水泥过程中排放的碳当量分别约为:0.14t、2.2t、0.8t。

5 结语

本文结合理论分析与工程案例,研究劲性复合桩在绿色数据中心的应用,明确其与绿色建设理念高度契合,可为同类项目选型提供参考。

①劲性复合桩具备高承载、小变形、稳性性强的优势,适配数据中心需求;②经济效益突出,施工周期短且适配复杂地质条件,兼具技术可靠性与经济合理性。③减碳节材成效显著,钢材与混凝土用量大幅减少、减碳效果突出,泥浆污染减少95%以上,契合“双碳”目标。

现阶段,受施工工艺制约,劲性复合桩桩长相对较短,在软土地区应用效果优良,而在硬土区域的适用性不及传统桩型。未来,可升级施工工艺以突破桩长制约、拓展地质适配边界;健全低碳效益量化体系,为行业高质量发展提供支撑。

参考文献

[1] JGJ/T 327-2014. 劲性复合桩技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.

[2] JGJ 79-2012. 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[3] 钱于军, 许智伟, 邓亚光, 等. 劲性复合桩的工程应用与试验分析[J]. 岩土工程学报, 2013, 35 (增刊2): 998-1001.

[4] 王海东, 隋明昊, 牛井恒, 等. 某封闭煤场改造项目钻孔灌注桩与劲性复合桩方案对比分析[J]. 工程质量, 2020, 38 (6): 76-81.

[5] 王俊, 干钢, 沈金, 等. 劲性复合桩在海南省三亚地区砂土地基的应用研究[J]. 建筑结构, 2023, 53 (20): 130-134.

[6] 乔吉申. 劲性复合桩在上海中心城区工程中的应用研究[J]. 建筑科技, 2025, 9 (4): 120-123.