

广东某工程建筑桩基选型综合分析及发展趋势

秦建国

广州城建开发设计院有限公司

摘 要：作为向地基深层传递荷载的关键构件，桩基础对工程安全性与经济性具有决定性影响。其中，灌注桩与预应力高强混凝土管桩（PHC 管桩）因技术成熟、适用性广，成为当前工程实践的主流桩型。本文以里仁洞安置房项目为依托，通过系统对比两类桩型在设计理论、施工工艺、环境适应性及成本控制等方面的特性，深入探讨桩基选型的设计要点及其对施工的关键影响，进而展望未来桩基技术的主要发展趋势，为类似工程的桩基选型与施工提供参考依据。

关键词：复杂地质；桩基选型；技术经济分析；发展趋势

引言

作为建筑物向地基深层传递荷载的核心承力构件，桩基础的性能直接决定了工程整体的安全性与经济性^[1-2]。尤其在荷载较大或地质条件复杂的建设项目中，桩基的合理选型成为确保结构稳定、控制工程投资的关键环节。面对多样化的地质环境与工程需求，如何在众多桩型中科学选择，平衡承载力、施工效率、环境影响及全生命周期成本等多重因素，是工程设计实践中持续面临的挑战^[3-4]。

灌注桩与 PHC 管桩是当前应用最广泛的主流桩型^[5]。灌注桩对复杂地层适应性强、单桩承载力高，但存在施工效率偏低、泥浆排放等环境影响大的不足；PHC 管桩则凭借高度工业化生产，在施工速度、成桩质量稳定性和综合经济性上优势显著，但对深厚硬土层或地下障碍物的穿透能力相对有限。实际工程选型需根据具体条件，权衡二者特性，方能做出最优决策^[6-7]。

因此，本文以里仁洞村洗马棚地块首期复建安置房项目为依托，系统对比分析灌注桩与 PHC 管桩在设计理论、施工工艺、环境适应性及全周期成本等维度的特性差异。旨在结合项目具体地质条件与需求，论证最优桩基应用策略并提出新的技术建议，为后续类似项目提供科学依据。

1 工程概况与岩土勘察

1.1 工程概况

本文以里仁洞安置房为工程背景。该项目规划总建筑面积为 94777.30m²，用地面积 15668.71m²，建筑组成主要包括 3 栋 32 层、1 栋 33 层高层住宅楼、1 个社区服务中心及 1 个商业服务设施。场地所在区域抗震设防烈度为 7 度，设计基本地震加速度值 0.10g，设计地震分组为第一组。工程重要性等级确定为一级，岩土工程勘察等级为甲级。

1.2 工程地质概况与水文地质条件

1.2.1 工程地质概况

据钻孔揭露，本次勘察揭露的地层主要为第四系人工填土层、冲积层、残积层，下伏基岩为震旦系花岗岩。

（1）人工填土层

①素填土：褐黄色，松散，稍湿，主要由黏性土、砂及少量碎石等堆填，未完成自重固结，约层厚 0.60 ~ 3.60m，平均厚度 2.36m。

（2）冲积层

②淤泥质土：灰黑色，流塑，饱和，以黏粒为主，富含有机质及少量粉细砂。揭露到层厚 0.80 ~ 3.90m，平均厚度 2.23m。

③粉质黏土：灰黑色，可塑，湿，为淤泥质土固结而成，以黏粒为主，富含有机质及少量粉细砂。揭露到层厚 1.10 ~ 4.20m，平均厚度 2.35m。

④中粗砂：灰白色，稍密，饱和，主要成分为石英，分选性一般，级配良好，含少量砾砂。揭露到层厚 1.10 ~ 8.90m，平均厚度 3.94m。

⑤粉质黏土：褐黄色，可塑，湿，主要由黏粒、粉粒组成，切面稍光滑，韧性及干强度中等，含砂粒，揭露到层厚 1.00 ~ 8.30m，平均厚度 3.92m。

（3）残积层

⑥砂质黏性土：褐黄色，硬塑，湿，花斑状，为花岗岩残积而成，黏性差，含少量石英砂粒，遇水软化易崩解。揭露到层厚 1.40 ~ 29.30m，平均厚度 14.17m。

（4）震旦系花岗岩

本场地下伏基岩为花岗岩，按风化程度可分为全风化花岗岩，平均厚度 19.09m；强风化花岗岩，平均厚度 16.91m；中风化花岗岩，平均厚度 4.30m。

1.2.2 水文地质条件

场地地下水位：历史最高达地表，近 5 年最高埋

深约 0.3m；勘察期间初见水位 1.50 ~ 2.40m，稳定水位 1.71 ~ 2.63m，受季节影响明显。地下水主要为第四系孔隙水(上层滞水和孔隙承压水)，基岩裂隙水(赋存于基岩风化裂隙中)。

2 工程岩土勘察

根据场地揭露的地质条件，结合工程破坏后果及场地、地基复杂程度等按国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021—2001，2009 年版）第 3.1.1 ~ 3.1.4 条综合判断，工程重要性等级为一级，工程场地等级为二级(中等复杂场地)，地基等级为二级(中等复杂地基)。综合判定本工程岩土工程勘察等级为甲级。

2.1 标准贯入试验

标准贯入试验采用自动脱钩的自由落锤法进行试验，锤重 63.5kg，落距 76cm，记录击入 30cm 的锤击数。

2.2 钻孔回填

勘探钻孔施工完成 24 h 后，要对已形成的钻孔洞隙进行回填封孔，主要采用全孔回填压实钻孔岩芯等黏性土或砂性土进行封孔，封孔用重锤锤击压实回填的黏性土或砂性土，使回填土密实度达到中密以上，上部预留不少于 40cm。封孔完成后，要定期对封孔质量进行检查，发现孔内水泥浆下沉后应及时补浆，直到与自然地面标高一致。项目岩土勘察参数如表 1 所示。

3 桩基选型与优化设计方案

根据上述工程地质和水文地质条件，选取了钻(冲)、旋挖灌注桩和预应力管桩（PHC 桩）三种具有代表性的桩型进行详细的比较分析。

3.1 桩基选型

3.1.1 钻（冲）孔灌注桩

钻（冲）孔灌注桩是通过机械在现场钻孔，清孔后吊放钢筋笼，最后浇筑水下混凝土而形成的桩体。该技术的核心优势在于其极强的地质适应性，能够穿越软土、砂层、砾石层乃至风化岩层等几乎所有土层，且单桩承载力高，桩径和桩长可根据设计需要灵活调整，尤其适用于地质复杂、荷载巨大的大型工程。然而，

传统冲孔桩存在施工效率低、泥浆污染严重、噪音大等问题。

3.1.2 旋挖灌注桩

旋挖灌注桩作为钻孔灌注桩技术的重大革新，采用动力头驱动的旋挖钻具进行成孔，具有施工效率高、振动小、噪音低、成孔质量好、环境污染少等显著优点。旋挖钻机已成为中国桩基施工中的主导设备，特别是在大直径、超深桩的施工中占据了主导地位。但其共同缺点在于施工周期相对较长,湿作业对现场管理要求高，且存在缩颈、断桩等潜在质量风险，造价相对较高。

3.1.3 预应力管桩（PHC 桩）

预应力管桩是在工厂通过离心成型、高压蒸汽养护等工艺预制而成的高强度混凝土构件，运至现场后通过锤击或静压方式沉入土中。

其主要优点包括：工业化生产，质量稳定可靠；施工速度快，工期短；单方造价较低；桩身强度高。这些优点使其在工期紧、投资控制严格的房地产和工业项目中备受青睐。

其局限性也十分明显：对地质条件有一定要求，在穿越硬质土层、孤石或密实卵石层时存在困难；沉桩过程会产生挤土效应，可能对邻近建筑物或地下管线造成不利影响；锤击法施工时噪音和振动较大；桩身抗水平力和抗弯性能相对灌注桩较弱。

3.2 桩基选型与优化设计方案

本项目桩基设计遵循“因地制宜、精准设计”的原则，针对不同建筑单体的结构特性与地质条件进行差异化选型。对于 3 栋高层住宅楼，采用旋挖灌注桩与钻孔灌注桩的组合方案。该方案以旋挖灌注桩作为主导桩型，利用其成孔效率高、振动噪音小、环境污染少的优势，满足主楼区巨大荷载与抗浮要求，并保障施工进度与环保标准。同时，将钻孔灌注桩作为辅助与保障桩型，用于处理地层中可能出现的孤石、坚硬岩层等复杂情况，其极强的地质适应性为成孔质量与工程可靠性提供了坚实底线。

表 1 项目岩土勘察参数

序号	工作项目	工作量	备注
1	施工勘探钻孔	63 孔 /3775.50m	XY-1 型钻机，钻孔复测
2	标准贯入试验	234 次	采用 63.5kg 的穿心锤，76cm 的自由落距，记录连续贯入 30cm 的锤击数
3	采取原状土土样	116 件	
4	采取扰动土土样	7 件	
5	采取岩石样	24 件	进行饱和状态下单轴抗压强度试验
6	采取易溶盐样	2 件	
7	采取水样	2 组	
8	钻孔高程及坐标测量	126 点	包含钻孔复测

对于荷载相对较小的商业服务设施,则采用PHC桩。该区域浅部存在性质较好的黏性土层可作为理想持力层。优先采用静压法沉桩,在确保承载力的同时,能彻底避免振动噪音干扰,完美匹配商业配套项目对施工速度、工程造价和环境影响的严苛要求。设计中将通过控制沉桩顺序、预钻引孔等措施严格管理其挤土效应。

拟建项目上部建筑荷载较大,对沉降较为敏感,要求工程场地地基具有较高的承载力,浅部土层难以满足建筑对地基土强度和变形的要求,因此根据场地岩土工程条件,上覆第四系地层具有一定的厚度,场地较宽敞,采用桩基础是可行的。

4 对未来桩基技术的展望与建议

未来桩基选型的技术发展将围绕智能化、绿色化与高性能化三大核心趋势纵深演进,驱动传统基础工程向精细化、高效化与可持续化的方向转型升级。

首先,智能化施工与数字化管理日益成为提升工程品质的核心驱动力。桩基工程正逐步由经验主导转向数据驱动范式。基于北斗系统的高精度实时动态定位(RTK)技术,可实现桩机自动导引与精准就位;集成于钻机、桩架的多源传感器系统(如倾角、压力、轴力传感器),可实时采集并反馈成孔深度、垂直度、旋挖扭矩、压桩力等关键工艺参数,实现施工全过程的可视化监控与质量溯源,从根本上保障成桩质量。结合建筑信息模型(BIM)与数字孪生技术,可在设计施工-运维全生命周期内进行协同模拟、碰撞检测与决策优化,为构建设计施工一体化与智能运维平台提供关键技术支撑。

其次,绿色低碳与环境友好型技术成为行业可持续发展的必然选择。随着环保政策趋严和生态要求提高,静压桩、旋挖成孔等低噪声、低振动工法的应用范围将进一步扩大。泥浆循环净化系统的集成使用可实现泥浆的减量化与资源化,显著降低废弃泥浆的环境污染。同时,通过节材设计、低碳胶凝材料的研发与应用(如固废基胶凝材料)以及可回收型桩体(如预应力钢管桩)的探索,将从材料与结构层面推动桩基工程的碳减排,提升资源利用效率。

最后,新材料与新型桩基结构持续拓展工程应用的性能边界。为适应超高层建筑、跨海大桥等重大工程对承载力的严苛要求,桩体材料向高强、高性能方向发展。在结构构造方面,挤扩支盘桩、螺杆桩等变截面桩型通过扩大侧阻与端阻面积,可大幅提高单桩承载力;受生物启发的树根状桩、分形桩等仿生结构形式,则展现出优越的抗拔与抗侧移性能。这些创新技术在实现桩基承载力显著提升的同时,也有助于节

约材料、降低基础造价,推动工程结构向轻量化、高性能化发展。

综上所述,未来桩基选型不再局限于单一桩型的技术经济比较,而是逐步发展为融合智能感知、绿色建筑与高性能材料于一体的系统性解决方案,旨在最终实现安全可靠、经济合理与环境友好的工程目标。

5 结论

本文通过对一个典型的复杂地质条件下的高层建筑项目进行案例分析,对钻(冲)孔灌注桩、旋挖灌注桩和PHC管桩三种常用桩型进行了系统性的对比研究,得出以下结论:

(1)桩基选型必须建立在详尽的工程地质勘察和深刻理解上部结构需求的基础之上,任何脱离实际条件的选型都可能导致安全隐患或经济浪费。

(2)在包含软弱夹层、饱和砂层和坚硬持力层的“上软下硬”复杂地质中,传统钻(冲)孔灌注桩的施工风险和质量控制难度大,而PHC管桩的沉桩能力和桩身完整性面临严峻考验。

(3)旋挖成孔灌注桩凭借其高效的施工能力、对复杂地层的强大适应性、可靠的成桩质量以及良好的环保特性,展现出显著的综合优势,是此类工程项目的理想选择。

(4)在进行桩基方案决策时,不应仅比较单位造价,而应进行包含工期成本、风险成本和环境成本在内的全周期综合经济评价,以实现工程项目的整体最优化。

本研究分析方法和结论,可为未来类似工程的桩基设计与施工提供有益的借鉴。

参考文献:

- [1] 黄灿灿. 复杂地质条件下岩土工程勘察技术的运用分析[J]. 工程建设与设计, 2024,72(10):38-40.
- [2] 张昌盛. 岩溶强发育区筏板基础岩土工程勘察实践:以深圳市龙岗区某房屋建筑工程为例[J]. 房地产世界, 2023,31(22):121-123.
- [3] 刘贤德, 赵伟河, 祁荣伟, 等. 基于岩土工程勘察技术的桩型方案选择探究[J]. 江西建材, 2023,43(4):251-252,255.
- [4] 吕辉, 徐宇鸣. 深圳岩溶地区某超高层项目嵌岩桩基础设计探讨[J]. 广东土木与建筑, 2022,29(1):18-21.
- [5] 中国建筑科学研究院. 建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
- [6] 赵姗姗. 成都某酒店基础选型设计与分析[J]. 建筑结构, 2022,52(增刊):2344-2347.
- [7] 丁庆峰, 张庆华. 惠州某项目地基基础方案分析[J]. 广东土木与建筑, 2023,30(1):21-25,43.