

不同地质条件下桩基础的选型研究

黎乔林 敖成进 熊兆彪

西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司 云南 昆明 650217

摘要: 随着我国高层建筑、铁路、公路、水利等基础设施的大规模建设,桩基础作为建筑结构尤其是高层建筑、桥梁及复杂构筑物的主要基础形式,其选型直接关系到工程的安全性、适用性、经济性与环保性。本文旨在系统探讨在不同岩土地质条件下桩基础的合理选型问题。通过对目前市场主导桩型的优缺点进行对比分析,深入剖析不同地质条件对桩型选择的具体影响,明确桩基础选取的核心原则,并结合多个典型工程实例进行实证研究,最终总结出一套科学、合理的桩基选型方法论,以期为实际工程提供理论依据和实践指导,实现工程综合效益的最大化。

关键词: 桩基型式;各桩型优缺点;地质条件对桩型选择影响;桩基选取原则;工程实例

引言

近年来,科学技术的进步与社会经济的发展,极大地推动了基础设施建设。桩基施工工艺与产品随之不断创新与改进,在提升施工效率、降低成本和增强工程安全性方面成效显著。桩基础是承载建筑荷载并将其传递至深层稳定岩土体的关键构件,其选型的合理性是确保建筑物安全稳定与经济可行的基石。然而,不同的地质条件对桩基础的承载力特性、沉降控制及施工方法均提出差异化要求。因此,在桩基选型决策中,必须综合考虑地质条件、建筑结构类型、施工环境、技术可行性及经济合理性等多重因素,进行系统性的分析与比选。

1 市场主导桩型概述

当前工程实践中,桩基型式主要按其承载性状与施工方法进行分类。按承载性状,可分为主要依靠桩侧摩阻力承载的摩擦型桩(如预制混凝土桩、各类灌注桩),以及主要依靠桩端阻力承载的端承型桩(如人工挖孔桩、旋挖桩等)。按施工方法,则主要分为预制桩(如静压桩、振动沉桩等)和灌注桩(如挖孔、冲孔、旋挖、长螺旋钻孔灌注桩等)。不同桩型各有其适用的地质与工程场景^[1]。

2 各桩型优缺点对比分析

为清晰对比,现将常见桩型的主要优缺点归纳如下表所示:

常见各桩型主要优缺点比较表

桩型	优点	缺点
静压预制桩	桩身强度高;挤土效应可对桩间土产生加固作用;同桩径下单桩承载力常高于泥浆护壁钻孔桩;施工质量较易控制;施工进度较快。	挤土效应明显,对邻近建筑物及地下管线可能产生不利影响,要求较大的边桩间距;对施工场地表土耐力要求高,软弱表土需预处理;压桩力过大易导致管桩夹碎开裂;在地下障碍物或孤石多的场地易发生斜桩、断桩。
长螺旋钻孔灌注桩	成孔效率高、质量好;无振动、无冲击、噪音低;施工工期短,机械化程度高;地层适应性强;无泥浆污染。	施工桩长受设备限制;施工中易出现断桩、桩身夹泥、缩颈等问题;遇漂石、块石难以穿越;机械占地及通行要求高。
旋挖桩	穿透力较强,可穿透厚大粉土层;桩长可根据持力层埋深灵活控制;属非挤土桩,对周边环境影响小。	在厚大粉土层中易发生孔壁坍塌,影响混凝土成桩质量并导致混凝土超灌;桩底沉渣不易清干净;泥浆污染较严重;单桩承载力对端阻力依赖大,在缺乏硬持力层的地层中承载力难以提高。
冲(钻)孔灌注桩	适用范围极广,穿透各类地层能力强;受地下水与气候影响小;对周围环境影响相对较小。	造价相对较高,施工周期长;泥浆易造成环境污染;易发生缩孔、塌孔、混凝土离析、断桩等质量问题;孔底清渣难度大。
人工挖孔灌注桩	对邻近建筑物及环境的影响小;占地要求低;桩径可根据荷载灵活调整;工艺简单直观。	施工需经专项论证,安全风险较高;雨季施工困难;不适用于高水位或流沙地层。
钢管桩	强度高、稳定性好,可承受超大荷载。	施工难度大,成本高昂;穿透坚硬地层能力受限;钢材用量大,易腐蚀;施工设备复杂,振动与噪音大。

3 地质条件对桩型选择的影响分析

桩型选择需与具体地质条件紧密结合，主要考虑因素如下：

3.1 土层类型

(1) 粘性土、砂性土层：土层侧摩阻力发挥较好，可优先选用摩擦桩或端承摩擦桩。(2) 软土层（如淤泥、泥炭质土）：浅部土层承载力与侧摩阻力均很低，摩擦桩适应性差。应选用端承桩，将桩端嵌入下部状态较好的岩土层，充分利用端承力。(3) 碎石类土层（卵石、圆砾等）：厚度大且状态好时，常规灌注桩成孔困难。宜选用穿透力强的端承桩，如旋挖桩，使其有效嵌入碎石层，提供高承载力^[2]。

3.2 岩层类型

对于高层建筑、重型厂房或对沉降有严格控制的构筑物，当需以岩层作为持力层时，应选用能有效嵌岩的端承桩。强风化~中风化岩层可采用旋挖桩或冲孔桩，嵌入深度应满足设计要求以提供足够的抗拔和抗压能力。微风化~未风化硬质岩层则需要采用大功率旋挖钻机配合筒钻或牙轮钻头，或采用人工挖孔桩（在无地下水、安全条件允许时）。嵌岩桩设计时还需注意岩面倾斜、溶洞、破碎带等不良地质现象，必要时进行超前钻探，调整桩长或采用复合桩型。

3.3 地下水位较高情况

地下水位高会显著降低土层的有效应力，削弱侧摩阻力，同时增加施工难度与风险。在饱水砂层或粉土层中，普通钻孔桩易发生流砂、管涌等现象，造成孔壁坍塌。此时应优先选用防水性好、工艺适应性强的桩型，如全套管灌注桩、泥浆护壁钻孔灌注桩或静压预制桩。预制桩在沉桩过程中可减少地下水对成孔质量的影响，但需注意地下水位以下的腐蚀性环境对钢筋和混凝土的长期耐久性影响，必要时提高抗渗等级或增加保护层厚度。

4 桩基选型原则

4.1 与建筑结构匹配

桩基选型须满足建筑物结构形式、荷载特性、高度及对沉降控制的严格要求。高层建筑或大跨度结构竖向荷载大且水平作用显著，应选用承载力高、刚度大的桩型，如大直径灌注桩或高强预应力管桩；对于沉降敏感的设备基础或邻近历史建筑的新建工程，则需优先考虑非挤土桩并加强沉降监测。

4.2 与地质条件相适应

必须坚持“因地制宜”，根据场地具体的土层岩性、分布、地下水状况等选择技术上可行、安全可靠的桩型。例如，软土地区应选用穿越能力强的端承桩，岩

溶发育区宜采用冲孔桩或旋挖桩配合钢护筒，确保桩端嵌入稳定持力层，避免因地质突变引发工程事故。

4.3 符合资源节约型、环境友好型要求

选型应契合可持续发展国策，优先考虑节能、环保、经济、对周边环境影响小的桩型和工艺，减少资源消耗与环境污染^[3]。条件允许时优先采用静压预制桩以消除泥浆污染，城市敏感区避免振动沉桩，同时做好废弃泥浆和渣土的无害化处理与回收利用，实现绿色施工。

5 工程实例分析

为具体阐明选型思路，本文结合四个地块的实际工程进行剖析：

5.1 实例一：昆明市官渡区普自片区棚户区改造项目

概况：拟建7栋26-33层高层建筑，带2层地下室。周边有河流和已有建筑，但场地总体较为空旷，无紧邻的敏感保护对象。

地质：属湖相沉积区，浅部为厚度约8~15m的软弱土层（淤泥质粘土、泥炭质土），呈高压缩性、低强度特征；其下为状态较好的硬塑~可塑状粘土层，厚度大且分布稳定，局部夹薄层粉细砂；地下水位埋深约2~3m。

选型分析：建筑物高度大、荷载重，对单桩承载力要求高。浅部软弱土层无法提供有效侧摩阻力，必须将桩端嵌入深层硬粘土层。场地空旷无邻近建筑制约，可充分发挥静压预制桩的挤土效应——挤土过程能对桩间软土产生预压密实作用，提高土体强度，同时减少后期沉降。静压预制桩施工速度快、质量可控，单桩承载力高且造价相对灌注桩有优势^[4]。建议优先采用PHC-500-AB型管桩，终压值控制在设计承载力的1.6~1.8倍，并严格控制桩垂直度与接头焊接质量。需注意对周边河流堤岸的监测，必要时设置应力释放孔。

5.2 实例二：昆明市保利南亚之窗大厦项目

概况：拟建2栋超百米（约120m）高层办公楼，设3层地下室，场地开阔，周边无既有建筑物。抗震设防烈度为8度。

地质：同样属湖相沉积区，地质剖面与实例一类类似，但深层粘土层埋深更大（约20~25m），且其间夹有厚度不等的粉砂层，部分粉砂层呈稍密~中密状态，承载力尚可。

选型分析：超高层建筑对差异沉降极为敏感，且水平荷载（风+地震）显著。浅部软土无法利用，深层粘土层的侧摩阻力和端阻力可满足设计要求。场地空旷，静压预制桩依然为优选方案。但需特别注意：①穿越粉砂层时压桩阻力可能骤增，需选择较大压桩力的设备（≥800t）；②预制桩在8度区应加强桩顶与承台的连接

构造,提高延性;③宜进行试桩,确定合理的终压标准和复压次数。若试桩发现压桩困难或桩身破损率偏高,可备选方案为长螺旋钻孔灌注桩,但其泥浆处理需额外场地。最终经比选仍采用静压桩,通过优化桩长(部分桩加深至进入稳定粘土层5m以上)和桩径(采用PHC-600)满足承载力^[5]。

5.3 实例三:中国移动云南公司互联网应用基地建设

概况:地上5层建筑,场地狭窄,周边紧邻挡墙、道路和既有运营中的办公楼,施工红线内可用空间极小。无地下水水位影响。

地质:属山地斜坡地貌,覆盖层为厚度2~5m的残坡积粉质粘土,其下为全~强风化泥质砂岩,岩体较完整,工程地质性质较好,承载力特征值可达400~600kPa,且地下水埋深大于20m。

选型分析:场地狭窄限制了大型旋挖或静压设备的进出与回转,且施工振动和挤土可能对邻近建筑物及挡墙造成损伤。无地下水为人工挖孔提供了安全作业条件。拟建建筑仅5层,单柱荷载不大,人工挖孔桩可灵活调整桩径(通常0.8~1.2m),以中风化岩作为桩端持力层,单桩承载力富余度高。同时,人工挖孔桩无需大型机械,对周边环境影响极小,且工艺简单、质量直观可控。建议采用人工挖孔灌注桩,施工前必须编制专项安全方案,并经专家论证,配备通风、照明、通讯及应急救援设备。每挖一节(1m)及时浇筑护壁混凝土,严禁超挖。经实践,该方案成功避免了与周边建筑的矛盾,工期和成本均优于尝试其他桩型。

5.4 实例四:云南华鼎再生资源冶炼废渣综合利用项目

概况:厂区内多个工业构筑物(包括冶炼窑炉基础、料仓、转运站等),场地填方厚度大(最大约15.5m),填土成分复杂(含块石、碎石、建筑垃圾及工业废渣),地形起伏大,属高填方区。

地质:属溶蚀残丘地貌,填土层之下为强~中风化硬质白云质灰岩,岩面起伏较大,局部存在溶沟、溶槽,但无地下水。岩体饱和单轴抗压强度可达60~80MPa。

选型分析:深厚且不均匀的填土层无法作为天然地基,必须采用桩基础穿透填土并嵌入稳定基岩。填土中块石、硬杂质含量高,预制桩无法穿透;冲孔桩虽能穿透但施工速度慢、泥浆污染严重且孔底清渣困难;长螺旋钻机无法钻进硬岩。旋挖桩因其强大的地层适应性和穿透能力成为最优选择:可采用筒钻配合截齿钻进填土层,遇到硬岩后换用牙轮钻头或锥形螺旋钻头,钻进效率高;泥浆仅用于临时护壁,用量可控;桩长可根据岩面起伏灵活调整,避免浪费。同时,旋挖桩属于干式或少量泥浆作业,在无地下水条件下几乎无污染。建议采用直径800mm旋挖灌注桩,桩端嵌入中风化岩层不少于1.5倍桩径,施工前进行试桩以确定钻进参数和终孔标准。本工程采用该方案后,单桩承载力达到设计预期,施工周期较冲孔桩缩短约40%,经济效益显著。

结论

不同地质条件对桩基础选型具有决定性影响。科学合理的桩基选型是一个多目标决策过程,必须系统整合建筑结构需求、场地详细地质条件、施工环境限制、经济技术指标及环境保护要求。本文通过对各桩型的优缺点剖析、地质条件影响机制探讨、核心原则总结,并结合典型工程实例的实证分析,形成了一套从理论到实践的选型逻辑框架。在实际工程中,应严格遵循此框架,并高度重视施工过程中的质量控制与安全措施,从而确保桩基础工程的成功实施与建筑物的长期安全稳定。

参考文献

- [1]中华人民共和国国家标准.(GB50007-2011)建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社.2011.
- [2]中华人民共和国行业标准.(JGJ94-2008)建筑桩基技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社.2008.
- [3]《工程地质手册》编委会.工程地质手册[M].第五版.北京:中国建筑工业出版社.2018.
- [4]黎乔林.昆明市官渡区普自片区(5号地块)棚户区改造项目勘察、设计及施工一体化工程岩土工程详细勘察报告(内部资料),2024.
- [5]黎乔林.昆明市保利南亚之窗大厦项目拟建场地岩土工程详细勘察报告(内部资料).2018.