

# 岩溶区桩基础施工关键技术要点及其实践应用分析

文 / 廖军云 江西中煤建设集团有限公司

**摘要:** 本文主要从岩溶区桩基础地质构造的概述出发, 阐述了桩基础选型依据及考虑因素, 明确不同施工技术的适用范围和优缺点, 同时, 分析了对岩溶区桩基础施工关键技术要点, 并对工程实例进行了探讨, 为岩溶地区的建筑工程桩基础施工提供理论支持和实践指导, 旨在提高工程的质量和安全性, 降低施工成本和风险, 推动岩溶地区建筑工程的可持续发展。

**关键词:** 岩溶区; 桩基础施工; 技术要点

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.12.010

## 引言

随着城市化进程的加速, 建筑工程不断向复杂地质区域拓展, 岩溶地区的桩基础施工技术成为了研究热点。岩溶地区由于其独特的地质条件, 如溶洞、溶蚀裂隙等的存在, 给桩基础施工带来了诸多挑战, 如塌孔、漏浆、卡钻等问题, 严重影响工程的质量、进度和安全。因此, 深入研究岩溶区桩基础施工关键技术要点及其实践应用具有重要的现实意义。

### 一、岩溶区桩基础地质构造的概述

岩溶地区地质构造类型多样, 主要有褶皱、断层、节理等。褶皱让岩层弯曲变形, 形成背斜和向斜, 岩溶在背斜顶部与向斜轴部集中发育, 因其岩石破碎、裂隙多, 利于地下水溶蚀。断层破坏岩石完整性, 形成破碎带, 地下水在附近流速加快, 溶蚀增强, 易形成大型溶洞和地下暗河。节理是岩石裂隙, 其发育程度和方向影响岩溶发育, 沿节理方向岩溶更明显, 形成溶蚀裂隙、溶沟等。岩溶区由于其特殊的地质条件, 如溶洞、溶蚀裂隙等的存在, 给桩基础施工带来了诸多挑战。而桩基础作为建筑物的重要基础形式, 其施工质量直接关系到整个工程的安全与稳定。因此, 深入研究岩溶区桩基础施工关键技术要点及其实践应用具有重要的现实意义, 需要相关企业充分考虑岩溶区的地质特性, 合理选择桩型, 并严格控制施工过程中的各个环节。尤其是随着建筑工程的不断发展, 岩溶区桩基础施工技术也在不断改进和创新, 岩溶区桩基础施工技术将不断完善和提高, 以适应复杂多变的地质环境, 满足工程建设的需求。

### 二、桩基础选型依据及考虑因素

#### (一) 各类桩型在岩溶区的适用性

在岩溶地区, 桩型的选择至关重要, 不同桩型具有各自的优缺点和适用场景。

##### 1. 灌注桩

(1) 钻孔灌注桩施工噪音小、振动小, 能适应各种地层。其施工是用钻机钻孔后灌注混凝土或钢筋混凝土。在岩溶地区, 合理选择钻机和钻进工艺可穿越溶洞和复杂地层。如某高层建筑场地岩溶发育, 采用旋挖钻孔灌注桩, 旋挖钻机靠强大扭矩旋转挖掘并快速提出钻渣, 可干作业施工, 特殊地层需泥浆护壁时泥浆主要起支护

作用。该方法能有效穿过石灰岩层和溶洞到达设计深度, 成孔快、质量易保证, 解决了岩溶地区桩基施工难题。

(2) 冲孔灌注桩则是通过冲击钻机将带刃的重钻头提高到一定高度, 靠自由下落的冲击力切削破碎岩层或冲击土层成孔。这种桩型适用于地质条件较为复杂、岩石硬度较高的岩溶地区, 能有效破碎坚硬的岩石层, 但施工过程中产生的噪声和振动较大, 对周边环境有一定影响, 且在冲孔过程中可能遇到卡钻、掉钻等问题。

##### 2. 预制桩

预制桩包括预应力管桩、混凝土实心方桩等, 具有成本低、配筋率小、节约钢材、施工简单、工期短等优势。如在浅层岩溶发育且溶洞规模小、上部土层承载力好的地区, 用静压预制桩可利用上部土层作持力层, 避开深部岩溶区, 降低施工难度和成本。但在岩溶地区遇溶洞或硬夹层, 桩身易倾斜、断裂。同时, 预制桩的挤土效应会影响周边土体, 在饱和土中可能使桩体上浮, 影响桩的承载能力和稳定性。

#### (二) 桩基础选型的综合考虑因素

桩基础选型在岩溶地区是一个复杂的决策过程, 需要综合考虑以下多个因素, 以确保桩基础的安全性、可靠性和经济性。

(1) 地质条件。岩溶地区的地质状况对桩型选择影响重大。岩溶发育程度低、溶洞小且分散、基岩起伏平缓的区域, 可考虑用施工快、成本低的静压预制桩, 利用上部土层承载力, 避开深部岩溶区。但岩溶发育强烈、溶洞大且连通、基岩面起伏大时, 预制桩施工易出现桩身倾斜、断裂等问题, 此时灌注桩更合适。

(2) 工程要求。建筑物的类型、荷载大小和分布、对沉降的敏感度以及抗震要求等都决定了桩基础的选型。对于高层建筑、大型桥梁等对沉降要求严格、荷载较大的工程, 需要选择承载能力高、稳定性好的桩型, 如大直径灌注桩或扩底桩, 以确保建筑物的安全使用。而对于一些对沉降要求相对不高、荷载较小的轻型建筑, 可以在满足地质条件的前提下, 选择较为经济的桩型, 如小直径灌注桩或预制桩。

(3) 施工成本。不同桩型的材料成本、设备租赁费用、人工费用和施工工期等因素都会影响工程总成本。

如灌注桩施工成本较高但适应性强，能在复杂地质条件下保证工程质量；预制桩生产成本低，不过在岩溶地区可能需对溶洞预处理等额外措施，会增加成本。所以选型时要综合权衡桩型成本效益，选择满足工程要求又能降低成本的桩型。

### 三、岩溶区桩基础施工关键技术要点

#### (一) 灌注桩施工技术

##### 1. 钻孔灌注桩

###### (1) 施工工艺

钻孔灌注桩在岩溶地区施工工艺复杂，需考虑地质特殊性。先场地平整、桩位放线，再安装钻机，采用正循环或反循环钻进。钻机选型依地质情况，岩石硬度高、溶洞发育低区域可选旋挖钻机，其钻进快、成孔质量高；溶洞发育复杂、岩石破碎区域选冲击钻机，其冲击力强可破岩穿溶洞。钻进时依地质调参数，遇溶洞需要投放黏土、片石护壁防漏浆塌孔。

###### (2) 技术要点

**泥浆制备：**钻进过程中，泥浆护壁是关键，泥浆性能对钻孔灌注桩施工至关重要，需依地质条件调整。在岩溶区，泥浆要有良好护壁性能和胶体率，防止孔壁坍塌与溶洞漏浆。可采用膨润土、纤维素等制浆，依实际调整泥浆比重、黏度和失水率，增强胶体率、稳定性与护壁效果，避免塌孔和漏浆。

**钻进控制：**钻进时要保持钻机平稳，控制好钻进速度，速度过快易致孔壁不稳，过慢影响施工效率，还可能引发漏浆、塌孔、卡钻等问题。同时要密切关注泥浆变化，若泥浆面突降，可能是溶洞漏浆，需及时处理。

**清孔：**钻孔达到设计深度后，要进行清孔作业，以清除孔底的沉渣。清孔方法可采用换浆法、抽浆法等，确保孔底沉渣厚度符合设计要求，一般端承桩的沉渣厚度不大于 50mm，摩擦桩的沉渣厚度不大于 100mm。

##### 2. 冲孔灌注桩

###### (1) 施工工艺

冲孔灌注桩施工工艺涵盖场地平整、桩位放线、埋设护筒、冲孔、清孔、钢筋笼安装及混凝土灌注等。冲孔时冲程控制关键，开孔阶段低冲程保钻头稳定防孔位偏移；进入黏土层冲程加大至 1.0-2.0m 提效率；遇溶洞或岩石层，依溶洞大小和岩石硬度调冲程，小溶洞、低硬度岩石冲程 1.5-2.5m，大溶洞、坚硬岩石用更大冲程，但要防钻头损坏和孔壁坍塌。

###### (2) 技术要点

**护筒埋设：**护筒的作用是固定桩位、保护孔口和维持孔内水头。在岩溶区，护筒应埋设牢固，深度要足够，一般埋深不小于 2m，且要穿透松散土层和溶洞顶板进入稳定土层一定深度，防止冲孔过程中护筒下沉或偏移。

**冲程控制：**根据地质情况合理控制冲击锤的冲程。在土层中冲程不宜过大，一般为 0.7-1.0m，以免造成孔壁坍塌；在岩石层中，冲程可适当增大，但也要防止因冲程过大导致锤体损坏或卡钻。

**泥浆护壁：**冲孔过程中要及时补充泥浆，保持孔内泥浆面的高度，防止塌孔。泥浆的性能指标应根据地质条件和冲孔进度进行调整，如在溶洞较多的区域，可适当增加泥浆的黏度和比重。

**溶洞处理：**当冲孔遇溶洞，需据溶洞大小和填充情况处理。小型溶洞，投入黏土、片石、水泥等混合材料填充后继续冲孔；大型溶洞，可能采用钢护筒跟进法，先下内护筒，外侧填充混凝土等材料后再下外护筒，保障孔壁稳定。

#### (二) 预制桩施工技术

##### 1. 静压桩技术要点

静压桩在岩溶地区施工有一定可行性，但需详勘分析地质条件。在岩溶发育程度低、溶洞规模小且分散区域，静压桩可缓慢压入，避免冲孔或钻孔时塌孔、漏浆问题。不过在溶洞、溶沟发育充分区域，应用静压桩需谨慎，以防桩身遇溶洞倾斜、断裂。因此，实际施工中，需把握以下施工要点：

(1) **桩身垂直度控制：**桩身垂直度是静压桩施工质量的关键因素之一。在压桩过程中，要通过全站仪或经纬仪等仪器对桩身垂直度进行实时监测和调整，确保桩身垂直度偏差不超过规范允许范围，一般不大于 0.5%。

(2) **压桩力控制：**根据地质勘察报告和设计要求，合理确定压桩力。压桩力过大可能会导致桩身破裂或桩端穿透持力层，压桩力过小则可能无法满足设计承载力要求。在施工过程中，要密切观察压桩力的变化情况，当压桩力达到设计值时，要根据桩的入土深度、桩身反弹等情况综合判断是否达到终压条件。

(3) **接桩：**当桩长不够时，需要进行接桩作业。接桩时要保证上下节桩的中心线重合，焊接质量要符合规范要求，焊接完成后要进行外观检查和探伤检测，确保接桩质量可靠。

##### 2. 锤击桩技术要点

锤击桩是利用锤击设备将预制桩打入土中，在岩溶地区施工的优点是施工速度较快，能够在较短的时间内完成大量桩基础的施工任务。在岩溶地区，其技术要点主要包括：

(1) **锤重选择：**根据桩的类型、规格、地质条件等因素选择合适的锤重。一般来说，锤重应根据桩的极限承载力和桩身材料强度进行计算确定，以保证桩能够顺利打入土中且不损坏桩身。

(2) **落距控制：**在锤击过程中，要控制锤的落距，避免落距过大导致桩身受损或锤击能量过大引起周围土体的隆起和破坏。落距一般根据桩的入土深度和锤击贯入度进行调整，初始落距可稍大，随着桩的入土深度增加，逐渐减小落距。

(3) **桩身监测：**在锤击过程中，要对桩身的完整性进行监测，可采用低应变检测等方法。如果发现桩身出现裂缝或断裂等情况，要及时停止锤击，采取相应的处理措施，如补桩或对桩身进行加固。

#### 四、工程实践应用案例

某地区一高层建筑项目，该项目位于市郊，总建筑面积约为10万平方米，地上30层，地下3层，采用框架-核心筒结构体系。由于工程所在区域的地质条件极为复杂，属于典型的岩溶发育地区。地层从上至下主要包括第四系人工填土层、粉质黏土层、圆砾层以及下伏的石灰岩基岩。通过详细的地质勘察发现，场地内岩溶发育程度高，溶洞分布广泛且形态各异，溶洞大小从几十厘米到数米不等，部分溶洞呈串珠状分布，溶洞内填充物主要为黏土、碎石和流塑状粉质黏土等，且地下水水位较高，地下水类型主要为岩溶裂隙水，对桩基础施工构成了严峻挑战。桩基础设计采用了钻孔灌注桩，桩径为1000mm-1200mm，桩长根据地质条件和建筑物荷载要求设计为20-35m不等，桩端持力层为中风化石灰岩，要求桩端进入持力层的深度不小于2m。考虑到岩溶地区的特殊性，设计中还对桩身混凝土强度等级、配筋率等参数进行了优化，以提高桩基础的承载能力和稳定性。

##### (一) 主要施工方案

综合考虑地质条件、工程要求和施工成本等因素，本项目采用旋挖钻机成孔工艺（如图1），并结合泥浆护壁、钢护筒跟进、溶洞预处理等技术措施。在施工过程中，针对不同的溶洞情况制定了详细的处理方案，如对于小型溶洞，采用抛填片石、黏土和水泥的混合物进行封堵，然后继续钻进；对于较大的溶洞，则采用钢护筒跟进至溶洞底部，确保成孔过程中的孔壁稳定和施工安全。



图1 旋挖钻机成孔

##### (二) 施工过程与技术实践应用情况

本工程桩基础施工过程中，首先进行场地平整和桩位放线，确保桩位准确无误，然后采用旋挖钻机进行成孔作业。根据工程地质详勘及物探技术补充勘察揭示的溶洞情况，灵活调整泥浆性能。钻进遇小型溶洞，适当提高泥浆比重和黏度防漏浆塌孔。钻头接近溶洞顶板，低冲程钻进并关注钻进速度和钻机扭矩，异常时立即停钻处理。小型溶洞（高度小于1米且填充物少），抛填片石、黏土和水泥混合物封堵后继续钻进，如某桩孔施工遇漏浆，经多次抛填钻进成功封堵并钻至设计深度。较大溶洞（高度大于2米或填充物多且复杂），采用钢护筒跟进方法。在钢筋笼制作和安装时，严格按设计把控钢筋间距、直径、长度等参数，保证焊接质量牢固。

用吊车整体吊装，确保钢筋笼中心与桩孔中心重合，偏差在允许范围。混凝土灌注采用导管法进行水下灌注，保证连续和密实。灌注中，严控导管埋深在2-6米，防导管拔出混凝土面致断桩，通过测量混凝土面上升高度及时调整导管埋深，保障灌注顺利。

然而，在施工过程中也遇到了一些问题。例如，在部分桩孔钻进时，因溶洞内填充物不均匀致钻头偏斜卡钻，施工人员用上下提动、旋转钻头及高压水冲射卡点等方法多次尝试解卡，保障施工顺利。混凝土灌注时，因溶洞致灌注不均、混凝土面上升缓慢，施工人员增加坍落度并振捣，使混凝土面顺利升至设计高程。

通过对该工程实践应用的分析可知，在岩溶地区桩基础施工中，针对不同的溶洞情况，针对性采取合理的施工工艺和技术措施是确保工程质量和安全的关键。同时，通过加强施工过程中的质量控制和监测，及时发现并解决相应问题，能够有效提高桩基础的施工质量，保障工程的稳定和安全。

##### (三) 工程效果评估与经验总结

通过对该工程桩基础的质量检测，结果表明桩身完整性良好，I类桩占比达到90%以上，II类桩占比在10%以内，无III类及IV类桩出现。单桩竖向承载力通过静载试验检测，均满足设计要求，且沉降量在允许范围内，说明桩基础的施工质量可靠，能够为建筑物提供稳定的支撑。在施工过程中，采用的旋挖钻机成孔工艺结合泥浆护壁、钢护筒跟进、溶洞预处理等技术措施取得了显著成效。

通过对工程实践案例分析，总结出岩溶地区桩基础施工的成功经验：施工前要详细地质勘察，了解地质情况并制定针对性方案；选择合适桩型与施工工艺很关键，如本工程采用钻孔灌注桩和旋挖钻机成孔工艺及相应技术措施应对复杂地质；施工中质量控制和监测是保证工程质量的关键，要把控泥浆性能、钻进速度等各环节，及时解决问题确保施工顺利。

##### 结语

在工程建设地基基础工程施工中，由于岩溶地区存在地质环境复杂多变的特点，易受多种因素的影响，若处理不好，很容易引起工程质量问题。因此，建设单位应密切关注岩溶区的地质状况，根据岩溶区的地质特征，采用先进的勘测手段与科学手段，开展岩溶地区地质调查工作。采取合理的施工工艺，对各工序进行严格的控制，保证了桩基的施工质量，保证了整个工程的安全性、稳定性，为以后的项目建设奠定了坚实的基础。

##### 参考文献

- [1] 黄智国. 岩溶地区桩基施工中的溶洞地基处理分析[J]. 西部资源, 2019, 23(4): 31-32.
- [2] 李江龙. 试论岩溶地基岩土工程勘察与地基处理[J]. 工程建设与设计, 2019, 401(03): 73-75.
- [3] 王棠浩. 岩溶发育场地静压预应力管桩施工技术[J]. 工程技术研究, 2018, 14(4): 99-100.

作者简介：廖军云，1976-10，男，江西峡江，汉族，本科，高级工程师，研究方向：建筑施工。