

复杂地质条件下的建筑土建桩基施工技术要点分析

田伟伟

中煤长江基础设施建设有限公司

DOI : 10.32629/jpm.v7i5.8899

[摘要] 建筑工程建设进程中，桩基作为基础工程的核心构成，直接决定建筑物的稳定性能、安全等级与使用年限。我国地域广袤，地质环境呈现多元复杂态势，软土、岩溶、砂土、断层破碎带、回填土等复杂地质分布广泛，此类地质普遍存在承载力薄弱、压缩性突出、稳定性欠佳、地下水富集等问题，极易诱发桩基坍塌、断桩、偏位、沉降超标等质量隐患，显著提升施工难度与安全风险。本文结合复杂地质的典型特征，全面梳理桩基施工前期筹备工作、常用桩基类型适配情况、核心施工技术要点、质量管控手段及常见问题处置方案，深入探析复杂地质条件下桩基施工的关键技术与策略，为同类地质条件下建筑土建桩基施工提供理论参考与实践指导，保障桩基施工质量合格、工程安全可控、施工效率提升。

[关键词] 复杂地质；建筑土建；桩基施工

Analysis of Key Construction Techniques for Pile Foundations in Complex Geological Conditions

Tian Weiwei

China Coal Changjiang Infrastructure Construction Co., Ltd.

[Abstract] As the core component of foundation engineering, pile foundations directly determine a building's stability, safety rating, and service life during construction. China's vast territory features diverse and complex geological environments, including soft soils, karst formations, sandy soils, fault zones, and backfill soils. These geologies often exhibit weak bearing capacity, high compressibility, poor stability, and groundwater accumulation, significantly increasing risks of pile collapse, fracture, displacement, excessive settlement, and other quality issues that complicate construction and endanger safety. This paper comprehensively examines preparatory work for pile foundation construction, compatibility of common pile types, key technical approaches, quality control measures, and troubleshooting strategies under complex geological conditions. It provides theoretical insights and practical guidance for pile foundation construction in similar environments, ensuring compliance with quality standards, project safety, and improved construction efficiency.

[Key words] Complex geology; Civil engineering; Pile foundation construction

我国复杂地质分布地域广泛、类型多样，软土地基、岩溶地基、砂土地基、断层破碎带、人工回填土、淤泥质土等地质条件，均存在不同程度的工程隐患。软土具备高含水率、高压缩性、低强度特质，易导致桩基沉降过量；岩溶地质溶洞、溶沟发育，易造成桩基悬空、塌孔；砂土存在液化、渗透变形风险，易引发孔壁坍塌、缩颈；回填土成分杂乱、压实度不足，承载力离散性较大，易出现桩基失稳情形。复杂地质条件下的

桩基施工，既面临地质条件不确定、施工工艺适配性不足、安全风险突出等挑战，还需兼顾施工质量、进度与成本管控。施工技术选用不合理、操作流程不规范、质量管控不到位，极易引发桩基质量缺陷，甚至造成建筑后期开裂、倾斜等严重安全事故。深入探究复杂地质条件下桩基施工技术要点，规范施工流程、优化施工工艺、强化质量控制，对保障建筑工程整体质量与安全具备重要现实意义。

1. 复杂地质典型特征及对桩基施工的影响

1.1 软土地基

软土主要涵盖淤泥、淤泥质土、粉质黏土等，广泛分布于沿海、沿江及湖沼区域，核心特征表现为高含水率(50%~80%)、高压缩性、低抗剪强度、渗透性弱、固结周期长。此类地质承载力偏低(50~80kPa)，在外荷载作用下易产生塑性变形，导致桩基沉降量超标、不均匀沉降加剧；施工过程中易出现缩颈、塌孔、桩身倾斜等问题，且软土触变性较强，扰动后强度会急剧下降，进一步增大施工难度。

1.2 岩溶地基

岩溶地基主要分布于石灰岩、白云岩等可溶性岩石分布区域，地质特征体现为溶洞、溶沟、溶槽、裂隙发育，地下暗河、地下水丰富，岩体完整性差、承载力分布极不均衡。桩基施工阶段，溶洞易引发钻孔漏浆、塌孔、卡钻，桩端易处于悬空状态，无法有效传递荷载；地下水压力大、流动性强，易诱发孔壁坍塌、桩基偏移，严重时会造成断桩、废桩，大幅削弱桩基承载力与稳定性。

1.3 砂土地基

砂土地基由粉砂、细砂、中砂等物质构成，分布于河流冲积平原、滨海区域，核心特征为颗粒松散、黏聚力小、透水性强、易液化。砂土在地下水作用下易发生渗透变形，钻孔过程中孔壁稳定性较差，极易出现塌孔、流砂、缩颈现象；饱和砂土受振动荷载影响易发生液化，导致桩基承载力骤降、沉降突变；砂土地基承载力离散性大，桩基施工中易出现桩长不足、桩端持力层不稳定等问题。

1.4 断层破碎带与回填土地基

断层破碎带岩体破碎、裂隙发育、结构松散，夹杂泥质、碎石，承载力低、稳定性极差、地下水富集，桩基钻孔过程中易出现塌孔、掉块、卡钻，桩身易受破碎岩体挤压变形，桩端难以嵌入稳定持力层；人工回填土成分杂乱(含建筑垃圾、杂土、碎石等)、压实度不足、厚度不均、承载力离散性强，易发生不均匀沉降，桩基施工中易出现桩身倾斜、断裂、承载力不足等问题，且回填土遇水后会软化，进一步加重桩基失稳风险。

1.5 复杂地质对桩基施工的共性影响

复杂地质均存在承载力不足、稳定性差、地下水干扰大、地质条件不确定性强等共性问题，对桩基施工的影响主要体现在三个维度：施工工艺适配难度大，常规桩基施工工艺难以匹配复杂地质特性，易引发质量缺陷；安全风险突出，塌孔、漏浆、断桩、桩基失稳等事故频发，威胁施工人员人身安全；质量控制难度大，地质参数离散性大，桩基承载力、沉降量等指标难以精准把控，易遗留质量隐患。

2. 复杂地质条件下桩基施工前期准备工作

2.1 精细化地质勘察

复杂地质条件下，常规勘察手段难以精准掌握地质细节，

需开展精细化、全方位地质勘察工作，为桩基设计与施工提供可靠数据支撑。勘察内容涵盖：查明场地地层分布、岩土物理学参数；探明溶洞、溶沟、断层破碎带的位置、大小、埋深及分布规律；明确地下水水位、流向、水压及腐蚀性；排查孤石、障碍物分布情况。

勘察方法采用钻探、物探、原位测试相结合的模式，加密勘察点间距，重点区域增加勘察深度与数量，确保勘察数据全面、精准，规避因勘察不足引发的施工失误。

2.2 科学编制施工方案

依托精细化地质勘察结果，结合建筑设计要求、桩基类型及现场施工条件，编制针对性、可操作性强的桩基施工专项方案，严禁套用通用方案。方案核心内容包含：桩基类型选型、施工工艺确定、施工流程规划、质量控制标准、安全防护措施、常见问题处置预案、进度计划及资源配置。针对不同复杂地质，需明确差异化施工要点：软土地基重点制定防缩颈、防沉降措施；岩溶地基重点明确溶洞处理、防漏浆、防塌孔方案；砂土地基重点制定防塌孔、防流砂、防液化措施；断层破碎带与回填土地基重点明确加固处理、防桩身倾斜措施。方案需组织专家论证，优化完善后方可实施。

2.3 设备与材料准备

2.3.1 施工设备选型

结合复杂地质特性、桩基类型及施工工艺，选用适配性强、性能稳定、功率充足的施工设备，规避设备选型不当引发的施工故障。软土地基优先选用回转钻机、长螺旋钻机；岩溶、断层破碎带选用冲击钻机、潜孔钻机，配套泥浆循环净化系统；砂土地基选用旋挖钻机，配套护壁泥浆制备设备；回填土地基选用振动沉管钻机。同时配备吊车、混凝土搅拌机、钢筋笼加工设备、注浆设备、检测设备等，所有设备进场前需完成调试，确保运行正常。

2.3.2 材料质量控制

桩基施工所用材料需符合设计及规范要求，进场时需查验合格证、检测报告，按批次抽样复检，不合格材料严禁投入使用。钢筋需无锈蚀、无变形，规格符合设计标准；水泥选用强度等级 ≥ 42.5 的普通硅酸盐水泥，具备抗腐蚀性能；泥浆材料选用优质膨润土、纯碱、羧甲基纤维素(CMC)，保障泥浆护壁效果；混凝土配合比需通过试验确定，适配复杂地质施工需求，具备良好和易性、抗渗性与强度。

2.4 场地清理与人员配置

清理施工现场杂物、杂草、积水，平整场地表面，压实软弱区域，确保场地承载力满足施工设备行走、作业需求；合理规划施工区域、材料堆放区、钢筋笼加工区、泥浆循环区，设置完善排水系统，疏导地下水，防止场地积水浸泡地基。组建专业施工团队，配备项目经理、技术负责人、质量员、安全员、钻机操作员、钢筋工、混凝土工等持证上岗人员；施工前开展技术交底与安全培训，详细讲解复杂地质桩基施工工艺、技术要点、质量标准、安全风险及应急处置措施，提升施工人员专

业技能与安全意识，杜绝违规操作行为。

3. 复杂地质条件下常用桩基类型及适配性分析

3.1 钻孔灌注桩

钻孔灌注桩适配性最为突出，适用于软土、砂土、岩溶、回填土、断层破碎带等各类复杂地质，是复杂地质桩基施工的首选类型。施工流程为：场地平整、钻机就位、泥浆护壁钻孔、清孔、钢筋笼吊装、混凝土灌注、养护。其优势体现在施工设备简易、成本适中、桩径灵活、承载力高、对地层适配性强；劣势则表现为施工周期较长，易出现塌孔、缩颈、断桩、桩底沉渣过厚等问题，需严格把控泥浆质量与清孔质量。



图1 钻孔灌注桩

3.2 冲击灌注桩

冲击灌注桩适用于岩溶、断层破碎带、孤石发育、坚硬土层等地质，借助冲击锤冲击破碎岩石、地层实现成孔。其优势体现在穿透力强、可穿透坚硬岩层与破碎带、桩端嵌岩效果好、承载力高；劣势表现为施工噪音大、振动强烈、成孔效率低、泥浆用量大、易出现漏浆现象，不适用于软土、砂土等松散地质。



图2 冲击灌注桩

3.3 旋挖灌注桩

旋挖灌注桩适用于软土、砂土、一般黏性土、回填土等地质，成孔速度快、效率高。其优势体现在施工周期短、噪音振

动小、成孔质量好、泥浆用量少、环保性强；劣势则在于设备成本高、对场地承载力要求高，不适用于岩溶、破碎带等复杂坚硬地质。

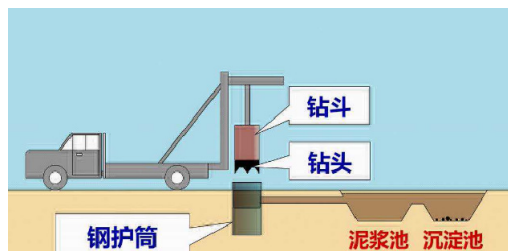


图3 旋挖灌注桩

3.4 沉管灌注桩

沉管灌注桩适用于软土、淤泥质土、一般黏性土、松散砂土等地质，通过振动锤将钢管沉入地基，灌注混凝土后拔管成桩。其优势表现为施工速度快、成本低廉、操作简便、无泥浆污染；劣势体现在桩径较小、承载力有限，易出现缩颈、断桩、桩身质量缺陷，振动会对周边环境产生影响，不适用于岩溶、破碎带、孤石发育地质。

3.5 人工挖孔桩

人工挖孔桩适用于地下水位低、土层稳定、无严重流沙、岩溶浅埋等地质，通过人工开挖成孔，浇筑混凝土成桩。其优势体现在施工设备简易、成本低廉、桩径大、承载力高、可直接观察桩端地质、质量可控；劣势表现为施工风险高、劳动强度大、施工周期长，不适用于地下水丰富、流沙、破碎带地质，需严格落实安全防护措施。

综合研判，复杂地质条件下优先选用钻孔灌注桩；岩溶、断层破碎带、孤石发育地质选用冲击灌注桩；软土、砂土、回填土地质且工期紧张时选用旋挖灌注桩；软土、淤泥质土地质且成本敏感、地下水位低时选用沉管灌注桩；地下水位低、土层稳定、岩溶浅埋地质可选用人工挖孔桩。

4. 复杂地质条件下桩基核心施工技术要点

4.1 钻孔灌注桩施工技术要点

4.1.1 泥浆护壁技术

泥浆护壁是钻孔灌注桩防塌孔、防缩颈、维持孔壁稳定的核心技术，复杂地质条件下需优化泥浆配比与性能。泥浆由膨润土、水、纯碱、CMC组成，软土地基泥浆比重控制在1.05~1.10，黏度18~22s；砂土地基比重1.10~1.15，黏度22~25s；岩溶、破碎带地基比重1.15~1.20，黏度25~30s。施工过程中实时监测泥浆比重、黏度、含砂率，及时补充新泥浆、净化旧泥浆，避免泥浆性能下降引发塌孔；岩溶地质钻孔遇溶洞时，加大泥浆比重，必要时投入黏土、片石封堵溶洞，防范漏浆、塌孔问题。

4.1.2 成孔质量控制

钻机就位后需调平，保证钻杆垂直度 $\leq 1\%$ ，规避桩身倾斜；软土地基采用低速钻进方式，控制钻进速度0.5~1.0m/h，防止扰动软土引发缩颈；砂土地基匀速钻进，保持泥浆循环通畅，

防范流砂、塌孔现象;岩溶地质钻进遇溶洞时,放慢钻进速度,反复冲砸、封堵,确保孔壁稳定;成孔深度达到设计要求后,停止钻进并开展清孔工作。

4.1.3 清孔技术

清孔分为一次清孔(钻杆清孔)、二次清孔(导管清孔),核心目标是清除孔底沉渣、降低泥浆比重,保障桩端承载力。一次清孔采用换浆法,将钻杆提至孔底30~50cm,开启泥浆泵循环,置换孔内泥浆,直至泥浆比重 ≤ 1.10 、黏度 $\leq 20\text{s}$;二次清孔在钢筋笼、导管安装完成后开展,采用导管循环清孔,清孔后孔底沉渣厚度需满足:端承桩 $\leq 50\text{mm}$,摩擦桩 $\leq 100\text{mm}$,清孔完成后30分钟内必须完成混凝土灌注,防止沉渣再次沉淀。

4.1.4 钢筋笼制作与吊装

钢筋笼依据设计图纸制作,主筋间距、箍筋间距、保护层厚度需符合设计要求,焊接接头错开布置,焊接质量达标;钢筋笼采用分段制作方式,长度 $\leq 9\text{m}$,避免吊装过程中发生变形;吊装时采用两点起吊方式,保持钢筋笼垂直、平稳,缓慢放入孔内,防止碰撞孔壁引发塌孔;钢筋笼下放到位后,需固定牢固,确保保护层厚度符合设计标准,防范上浮、偏移问题。

4.1.5 混凝土灌注

采用导管法水下灌注混凝土,导管直径250~300mm,密封性良好,下放至孔底30~50cm;混凝土配合比适配水下灌注需求,坍落度控制在18~22cm,具备良好和易性、流动性;首批混凝土灌注量需满足导管埋深 $\geq 1.2\text{m}$,实现连续灌注,严禁中断;灌注过程中实时监测导管埋深,控制在2~6m,及时提升、拆除导管,防范断桩问题;灌注至桩顶设计标高以上500~800mm,确保桩顶混凝土质量,养护期不低于7天。

4.2 岩溶地基桩基施工技术要点

施工前探明溶洞位置、大小、埋深,小型溶洞(直径 $< 1\text{m}$)投入黏土、片石、水泥浆封堵;大型溶洞(直径 $\geq 1\text{m}$)采用注浆填充、混凝土回填方式,待固化后再开展钻进作业。加大泥浆比重(1.15~1.20)与黏度,钻孔时低速慢钻,遇漏浆立即停钻,补充泥浆、投入黏土片石封堵,反复冲砸至不漏浆;成孔后快速完成清孔、混凝土灌注,缩短孔壁暴露时间。确保桩端嵌入稳定基岩 $\geq 500\text{mm}$,避免处于悬空状态;溶洞发育区域适当加深桩长,穿越溶洞至下部稳定岩层,保障桩基承载力。

4.3 软土地基桩基施工技术要点

控制钻进速度采用低速钻进方式(0.5~1.0m/h),减少对软土的扰动,防范缩颈、塌孔问题。泥浆比重控制在1.05~1.10,黏度18~22s,减少泥浆对软土的浸泡软化作用。合理控制桩间距,规避群桩施工导致软土挤压隆起、桩基上浮;采用跳打施工方式,间隔施工,减少相互扰动;成桩后静置养护,待软土初步固结后再推进后续施工。钢筋笼加密箍筋,增强桩身抗裂性能;混凝土适当提高强度等级,减少后期沉降变形。

4.4 砂土地基桩基施工技术要点

泥浆比重控制在1.10~1.15,黏度22~25s,加入适量CMC增强泥浆黏结力,防范砂层坍塌;保持泥浆循环通畅,及时带出砂粒,减少孔底沉渣。匀速钻进,避免速度过快导致砂层扰动;钻杆转速适中,减少对孔壁的冲刷;遇流沙层立即停钻,加大泥浆比重,投入少量黏土封堵,待稳定后再继续钻进。饱和砂土地基施工前可采用降水、振动加密等方式,降低砂层液化风险;桩基施工完成后,及时回填桩间土并压实加固,增强地基稳定性。

4.5 断层破碎带与回填土地基桩基施工技术要点

断层破碎带核心问题为塌孔、掉块、卡钻、桩身变形;回填土地基核心问题为承载力离散、桩身倾斜、沉降不均,施工要点如下:破碎带加固:断层破碎带钻进前,采用注浆方式加固破碎岩体,提高岩体完整性;钻进时低速慢钻,遇掉块、卡钻立即停钻,投入黏土、片石封堵,反复冲砸至稳定后再继续钻进。人工回填土地基施工前,清除大块建筑垃圾、杂物,采用强夯、碾压、注浆等方式加固,提高压实度与承载力;桩基施工采用跳打、间隔施工方式,减少回填土扰动。破碎带与回填土地基桩基钢筋笼加密,适当增加主筋数量,增强桩身抗变形、抗断裂能力;混凝土提高强度等级,确保桩身质量达标。

结束语:

综上所述,复杂地质条件下的建筑土建桩基施工,属于技术难度大、安全风险高、质量控制复杂的系统工程,地质的复杂性、不确定性直接制约桩基施工质量与安全。施工过程中需立足精细化地质勘察,精准掌握地层特性,科学选型桩基类型与施工工艺,针对软土、岩溶、砂土、断层破碎带、回填土等不同地质,落实差异化技术要点;构建全过程质量控制体系,加强原材料、施工过程、成品检测及隐蔽工程验收;及时处置塌孔、缩颈、断桩等常见问题,防范质量缺陷与安全事故。

[参考文献]

- [1]高明强.复杂地质条件下桥梁桩基施工关键技术与质量控制[J].居业,2026,(05):4-6.
- [2]倪鉴.复杂地质条件下桩基施工技术与质量控制研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(03):385-387.
- [3]吴鹏.复杂地质条件下的建筑土建桩基施工技术要点分析[J].散装水泥,2026,(03):122-124.
- [4]赵武.复杂地质条件下的地基桩基承载性能优化研究[J].技术与市场,2026,33(03):147-150.
- [5]曹健辉.复杂地质条件下桩基施工与基坑支护稳定性研究[J].四川建材,2026,52(03):140-142.
- [6]魏园成.复杂地质条件下市政桥梁桩基施工工艺与质量控制研究[J].居业,2026,(02):93-95.