

某溶洞发育地区桩基础施工技术

文 / 许德磊 广州机施建设集团有限公司

程瀛 广州建筑股份有限公司

摘要：岩溶地区通常具有溶洞分布不均匀、地貌保持长时间相对稳定性的特点，其地质具有极大的复杂性，溶洞的存在对桩基础施工与设计有着很大的制约，对建设工程地基基础施工质量、进度、安全、成本影造成了很大影响。为了提高桩施工质量，以广州市白云区某项目为例，通过超前钻、溶洞处理、桩基施工等施工工艺，介绍其桩基础布置特点和岩溶地质情况，提出了该项目所在溶洞发育地区桩基础施工技术和相应的质量控制措施。

关键词：岩溶地区；超前钻；溶洞处理；桩基施工；溶洞发育地区

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.019

引言

岩溶地区又称为“喀斯特”，是由于水对可溶性岩石长时间冲刷破坏和改造，导致岩石长期沉积沉淀产生的地貌和水文现象^[1]。我国是个岩溶发育地区较多的国家^[2]，伴随我国经济的蓬勃发展，全国涌现越来越多的建筑，项目在建设过程中会经常碰到各种岩溶发育的地区。岩溶地区具有非常的隐蔽性和不确定性，其中的溶洞破坏了地基的稳定性和完整性，对桩基础施工造成极大的不便。桩基础作为结构的承载体，是工程的重点。溶洞处理不当造成工程桩基础施工出现安全、质量、进度、造价等诸多问题^[3]。为了提高施工质量，保证施工进度，本项目采取超前钻、溶洞处理、桩基施工等施工工艺，解决溶洞发育地区桩基础施工的问题^[4]。

一、工程概况

某工程项目位于广州市白云区，其中13地块包括：B1～B3、A4～A6高层住宅及配套公建裙楼（B1栋高78.8米、B2栋高102米、B3栋高91.2米、A4栋高102米、A5栋高102米、A6栋高91.2米），1栋3层独栋肉菜市场，一所18班幼儿园；规划建设用地面积28899.6m²，总建筑面积131249m²，地下室建筑面积27462.4m²。项目地基基础采用冲孔灌注桩基础。

二、项目重难点

根据项目特点及地质情况，本项目重难点主要为4个方面，分别如下：

（一）场内多工序穿插施工

建设场内工序较多，施工现场工程桩分布较密，在工程桩施工的同时，伴随溶洞预处理、渣土处理外运、桩基检测等其他工序施工，合理布置才能确保施工进度。

（二）钻孔偏斜，出现卡钻、塌孔、漏浆等情况，桩基础工程施工不可遇见因素较多

场区内地质条件复杂，场内砂层厚，砂层地质松软，岩质软硬不均匀，在钻孔时容易出现钻孔偏斜和卡钻；钻头碰到溶洞发育地区，泥浆造成大面积渗漏，易发生缩颈、塌孔、漏浆等情况。

（三）工程桩数量多且入岩深，桩超长、超深，工期紧，工程桩质量要求高

本工程工程桩共924根，空桩长约6m，质量保证难度大；桩端承载为微风化岩层，设计要求岩层硬、入岩深，桩长长，成桩周期长。

（四）本工程地质条件差，岩溶发育等级为高等发育

项目地质具有溶洞见洞率高、溶洞大、全填充少、洞顶壳薄弱以及砂层较厚的特点，工程地质条件差，工程桩施工过程不可预见因素多，施工难度大。

为了解决以上重难点，通过合理布置总体施工顺序，采用超前钻、溶洞处理、桩基施工等施工工艺，实现项目桩基础高标准、高质量完成施工。

三、溶洞处理方法

现溶洞处理法主要有抛填法和溶洞预处理法两种^[5]，分别如下：

（一）抛填法

对于溶洞高度小于2m范围内的，通过采取短冲程、快频率的冲击方法击穿溶洞，使溶洞内水位下降，再采用补充泥浆、抛填片石、粘土复冲止漏处理溶洞的方法填充溶洞，等回填高度大于2m时形成护臂再继续施工。

（二）溶洞预处理法

对于溶洞高度大于2米的溶洞，通过采取袖阀管进行注浆，当注浆量大于80立方米时，应增加双液浆对溶洞进行封堵；局部揭露大型溶（土）洞，在其周边按2m×2m的方格网加密布设检查注浆孔，直至找不到溶洞为止。

四、超前钻施工

由于本项目溶洞、土洞较多，桩位的超前钻可以采用“一桩一钻”，力求掌握每根桩下是否存在不良地质的情况。按超前钻资料显示，场地下伏基岩为灰岩，岩溶强发育，且场地砂层较厚，持力层岩面埋深变化大，基岩隙率高。超前钻施工过程中漏水、掉钻情况较普遍，且发生了三次较为大型的地面塌陷情况。

超前钻共揭露有604个钻孔孔深范围内揭露土洞、石芽、溶沟、溶洞等岩溶形态，按建筑物之中B2栋最发育（见洞率为90.91%）、A5栋最不发育（见洞率28.38%）。各区段溶（土）洞发育情况如下表1：

表 1 各区段溶（土）洞发育情况

楼号	孔数 (个)	揭露到溶洞 钻孔数 (个)	揭露到土洞 钻孔数 (个)	溶（土）洞总数 (个)	见洞隙率	洞高超过 5m 的孔数 (含串珠状)	备注
A4 号楼	78	65	1	66	84.62%	30 个	最大的 17.30m
A5 号楼	74	20	1	21	28.38%	1 个	最大的 8.90m
A6 号楼	77	68	12	70	90.91%	24 个	最大的 11.30m
B1 号楼	74	43	0	43	58.20%	20 个	最大的 15.5m
B2 号楼	74	64	2	66	86.50%	28 个	最大的 15.0m
B3 号楼	74	47	3	50	63.60%	12 个	最大的 13.9m
13 地块裙楼	337	213	21	221	65.58%	69 个 (2 个土洞)	最大的 14.0 (土洞) m
菜市场	46	23	2	24	52.18%	7 个	最大的 9.85m
幼儿园	83	41	14	43	51.81%	9 个 (3 个土洞)	最大的 10.70m
合计	924	584	56	604	/	200	/

场地区域内土洞不均匀分布，土洞见洞率为 6.6%。土洞可见无充填、掉钻且普遍出现漏水、漏浆现象，局部充填软塑状黏性土。

场地区域内岩溶剧烈发育，分布于整个场地，尤其在 A4 号楼、A6 号楼、13 地块裙楼、14 地块裙楼，(A4、A6) 单栋楼岩溶见洞隙率达 85% 以上。溶洞呈无充填、半充填或全充填状态，串珠状溶洞发育，最大洞高达

25.6m，其充填物主要为流~软塑状黏性土，部分充填可塑状黏性土及粗砾砂，夹少量中、微风化岩块，有部分钻具自落，有的可直接压入钻进，有的钻进时速度较快，且普遍出现漏水、漏浆现象。

按照超前钻结果，根据溶洞的大小以、填充程度可分为以下 5 类，如表 2 所示：

表 2 溶洞分类情况

序号	溶洞情况	钻孔反映数量
1	全充填的高度小于 2.0 米的土（溶）洞；	25
2	半充填和无充填的高度小于 2.0 米的土（溶）洞；	147
3	全充填的高度大于 2.0 米的土（溶）洞；	36
4	半充填和无充填的高度大于 2.0 米且不大于 10m 的土（溶）洞；	365
5	单层洞高或多层串珠状累加超过 10m 特大溶洞，且填充物为半充填或无充填。	28

五、溶洞处理

(一) 溶洞处理原则

为降低项目施工安全风险和提高施工质量，本项目采取超前钻溶洞分布情况，施工按照先大后小的原则进行处理。对于半填充和无填充的溶洞，溶洞洞高≥10 米的溶洞先泵送素混凝土，随后袖阀管注浆处理；洞高>2m<10m 的溶洞先泵送砂浆，随后袖阀管注浆封堵；洞高小于 2 米的溶洞直接进行袖阀管注浆处理。对于全填充的溶洞，小于≤2m 的不作处理，若成桩过程漏浆，采用抛填片石、粘土方式处理，>2m 的进行袖阀管注浆处理。

根据不同溶洞的大小和特点，采取下列溶洞处理方式，分别为：

- 1) 对于全充填、洞高<2m 的溶洞，不进行预处理。若成桩过程漏浆，采用抛填片石、粘土方式处理。
- 2) 对于半填充或无填充、洞高<2m 的溶洞，采用袖阀管注浆施工，单孔注浆量控制值为 20m³。
- 3) 对于全填充、洞高≥2m<10m 的溶洞，采用袖阀管注浆施工，单孔注浆量控制值为 20m³。
- 4) 对于半填充或无填充、洞高≥2m<10m 的溶洞，采用混凝土变压泵送混合砂浆和袖阀管注浆相结合的施工工艺进行处理。混合砂浆灌注完毕，拔注浆钢管，等砂浆有一定强度后，再钻袖阀注浆孔进行袖阀管注浆，单孔注浆量控制值为 30m³。
- 5) 对于洞高>10m 或多层串珠状溶洞累计洞高>

10m 的溶洞，采用混凝土变压泵送素砼和袖阀管注浆相结合的工艺进行处理。砼灌注完毕，拔泵送钢管，等砼有一定强度后，再钻袖阀注浆孔进行袖阀管注浆。单孔用量控制值为 30m³。

(二) 溶洞处理

对于采用抛填片石、粘土复冲止漏处理溶洞的方法，主要采取的工艺为：

准备好充足的水源、1~2 台水泵，3:7 片石和黄泥；当漏浆泥浆面迅速下降时，首先及时补水补浆，然后将片石和黄泥按大约 3:7 的比例往下投 4~6m，再重新开钻。当再次漏浆时，仍按上述方法处理，直至止漏最终成孔。抛填示意图如图 1 所示：

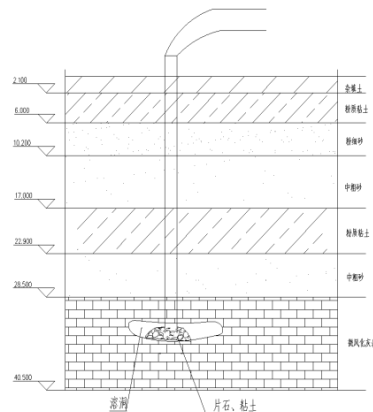


图 1 抛填示意图

对于采取袖阀管注浆溶洞预处理方法，主要采取的工艺为：

对超前钻揭示有溶洞存在的区段，每根已揭露有溶洞的桩暂定3个钻孔用于探查、注浆和排气（排气孔不少于一个），钻孔距离桩中呈等边三角形布置。袖阀管注浆采用Φ48PVC管，采用地质钻机钻至钻至溶洞底，钻孔孔径为110mm；泵送混合砂浆或素混凝土采用Φ150×5.0钢管，从溶洞底以上500mm处开始注浆，钻孔孔径为：

168mm；排气孔采用PVC排水管，管直径为75mm，钻孔孔径为110mm。

在注浆过程中，观察相邻注浆孔的返水、排气、冒浆情况，若周围孔有浆液冒出，说明注浆效果好；若周围注浆孔没有反应，并且注浆量过大，特别是在溶洞底浆液流失过大时，应采用“间歇定量分序注浆法”进行注浆，或将单液浆改为水泥、水玻璃双液浆进行封堵，以控制浆液扩散范围。袖阀管注水泥浆钻孔、布管示意图如图2所示：

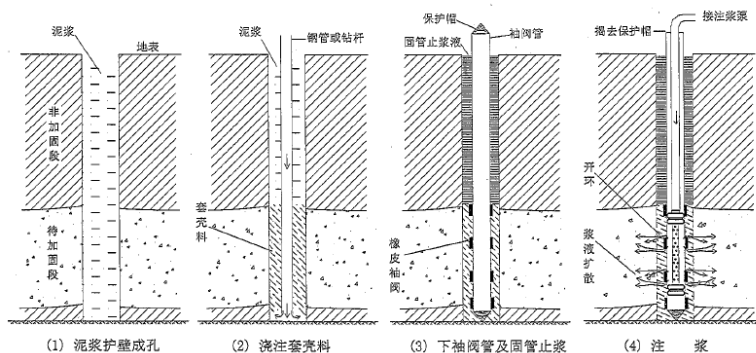


图2 袖阀管注水泥浆钻孔、布管示意图

六、桩基础施工

项目考虑主要采用冲孔桩机进行工程桩成孔工作。桩基础施工采用分区、分段施工，以优先施工南往北为原则。为减少施工中对已完成桩的影响，桩基在施工过程中采取“跳打法”，按照计划以及场地布置条件，整个场地计划划分为3个作业区域，如图3所示，分别为：

A区，包含肉菜市场以、B3栋以及对应裙楼范围；

B区，包含幼儿园、A6栋以及对应裙楼范围；

C区，包含A4栋、A5栋、B1栋、B2栋以及对应裙楼区域

项目开工时，优先由南往北施工A区以及B区，最后施工C区，待A区以及B区施工完毕后，可根据实际情况调配设备施工C区区域工程桩。三个施工区，相对独立，但又相互配合，各区段配置为独立预处理班组以及冲孔桩机班组。

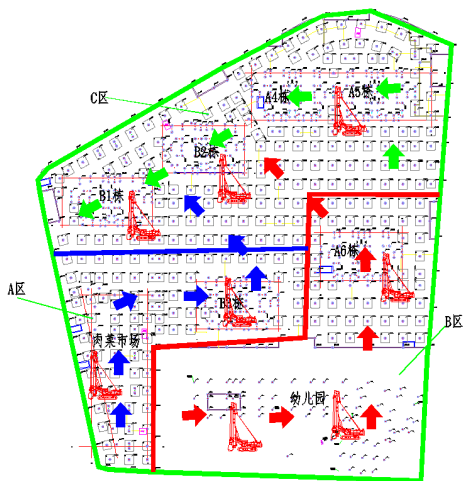


图3 总体施工部署

结语

目前桩基础已施工完成，根据规范要求，对10%的桩体的强度和完整性进行钻芯检测，结果显示所有桩均为I类或II类桩，无III类、IV类桩，全部满足设计要求，实现了一次性检查全部合格。

项目岩溶发育等级高、见洞率高，桩基础在施工过程中通过超前钻获得溶洞分布情况，再对不同大小的溶洞进行抛填和预处理，解决溶洞对桩基础施工造成影响，既确保了项目建设工期进度，又提高了质量安全，造价也未超出建设方要求，受到参建各方认可。总体而言，为实现桩基础顺利施工完成，需提前做好充分技术准备，落实相关质量安全措施，方可实现建设目标。

参考文献

[1] 刘治余. 复杂溶洞地层中大直径桥桩基础的动力稳定性研究 [D]. 重庆大学, 2016.
 [2] 杨仕升, 何声, 谢开仲, 蒙雷. 我国岩溶区建筑震害分析与抗震研究进展 [J]. 地震研究, 2013, 36 (03): 401-406+408.
 [3] 庄玉海. 溶洞地区某工程桩基础施工技术研究 [J]. 广州建筑, 2018, 46 (01): 41-44.
 [4] 刘勇, 付饶, 常龙, 杨冬, 毛黎明, 张威. 溶洞发育地区桩基础施工技术 [J]. 施工技术, 2017, 46 (14): 10-12.
 [5] 胡智敏. 敏感区域大型溶洞群桩基础施工处理技术 [J]. 工程与建设, 2020, 34 (04): 733-734.

作者简介：许德磊，1978年4月，男，汉，广东省阳江市，大学本科，工程师，广州机施建设集团有限公司，主要从事建筑工程施工方面的工作。