

新建城镇隐伏型岩溶的勘察与治理

张运标

(深圳市勘察研究院, 深圳, 518026)

提 要 本文通过深圳市龙岗区新开发区埋藏型、覆盖型岩溶发育区的岩土工程勘察, 人工降水、桩基础的施工实践, 认为采用钻探与跨孔CT电磁波透视法相结合的勘探手段是查明建筑场地地下溶洞的空间分布规律的有效方法, 而该区的高层建筑采用冲孔灌注桩基础是既经济又安全可靠的基础类型。

关键词 埋藏型 覆盖型 岩溶 勘察 跨孔CT 桩基础

一、概 述

龙岗区位于深圳市的东北部。新建中心城处低丘陵地带, 经开山造地夷为平地。规划建设区政府及其下属部门的办公场所、商业街、住宅区等, 其中有很多是高层建筑。规划中心区下部广泛分布着覆盖型、埋藏型岩溶强发育带, 给城镇规划和建设带来极大的困难。曾采用联合剖面法、地质雷达法、浅层地震反射波法及钻探验证等, 基本能初步查清岩溶发育规律, 进行岩溶分区, 但尚未能满足拟建建筑场地的基础设计要求。采用何种勘察方法才能既快而省地查清溶洞的空间分布规律, 是广大工程勘察人员要探讨的重大的课题。笔者在该区进行的十余项埋藏型、覆盖型场地的岩土工程勘察、人工降水及桩基础施工实践, 认为采用钻探与跨孔CT电磁波透视法, 是查明溶洞的空间分布规律的有效方法, 处于岩溶强发育带的高层建筑场地采用冲孔桩基础, 是目前基础选型的最优方案。

二、龙岗中心区岩溶特征综述

1. 覆盖型岩溶

龙岗河及其支流河谷及I级阶地为覆盖型强岩溶发育区, 覆盖层厚度一般10~30 m, 荷坳、白灰村等地5~10 m, 覆盖层以第四系冲洪积粉质粘土、砾砂混卵石层为主, 砾砂混卵石层厚度1.0~5.0 m, 含少量粘性土, 卵石磨圆较好。其下为石炭系下统石磴子段灰岩、白云质灰岩、大理岩化灰岩, 厚层状、质纯, 几乎不含杂质, 受地质构造影响, 岩溶强烈发育。据志联佳、龙跃大厦场地钻探资料, 见溶洞率40~78.8%, 溶洞顶标高21.97~-18.0 m, 相差39.97 m, 洞底标高21.90~-22.83 m, 相差44.73 m。(表1)。岩溶发育带以-4.0~-8.0 m、-2.0~6 m及8.0~12.0 m段较发育, -12.0 m以下岩溶逐渐减

作者简介 张运标, 男, 1939年出生, 高级工程师, 勘察院副总工程师, 主要从事水文地质, 岩土工程及环境地质研究及勘查。

弱，溶洞少而规模小。岩溶多与北东向、北西向断裂关系密切。溶洞具多层性，多达 7 层。

表 1 志联佳、龙跃大厦钻孔内溶洞统计表
Tab. 1 Karst caves in the bore holes at the sites of zhilinjia and Longyue buildings

工 程 名 称	覆盖层 厚度 (m)	施工 钻孔 (个)	见溶洞 钻孔 (个)	见洞率 (%)	溶洞 高度 (m)	溶洞顶 标 高 (m)	溶洞底 标 高 (m)
志联佳详勘	15.6~ 32.0	134	56	41.8	0.2~ 20.2	- 17.65~ 16.60	- 22.83~ 14.59
志联佳补勘	17.39~ 40.74	66	52	78.8	0.1~ 15.0	- 18.0~ 16.0	- 18.25~ 21.90
龙跃大厦	13.2~ 24.0	40	16	40.0	0.2~ 3.9	11.98~ 21.97	11.35~ 21.47

大部分溶洞有充填物，上部溶洞为全充填、中部为半充填，深部溶洞无充填物。充填物以粘性土为主，底部含中细砂及碎石。溶洞发育极不规则，规模大小相差悬殊，最大东西宽 17 m，南北宽 15 m，洞顶高差 15 m。溶洞形状极为复杂，剖面上呈串珠状，星点状，锯齿状等（图 1，岩溶发育特征剖面，为钻探与跨孔 CT 成像成果的综合解释结果）。岩溶在浅部（覆盖层底部）较发育，多为溶沟、溶槽，随深度增加逐渐减弱。部分溶洞受地下水的浸蚀顶板已坍塌形成土洞，洞高 1.55~ 8.80 m，多被流塑~ 软塑粘性土充填。溶洞中含丰富的溶洞裂隙水，据龙跃大厦，志联佳大厦钻孔及降水井群孔抽水试验资料，地下水稳定水位埋深 4.17~ 6.52 m，标高 28.33~ 29.02 m，水位降低 1.58~ 11.90 m，单井涌水量 173.15~ 4968.00 m³/d，渗透系数 28.3~ 83.1 m/d（表 2）。

表 2 钻孔群孔抽水试验统计表
Table. 2 Pumping test results by group bore holes

工程名称	钻孔编号	水位降低值 (m)	涌水量		渗透系数 m/d
			l/s	m ³ /d	
龙跃大厦	主 1	2.56	2.004	173.15	28.3
	主 2	6.33	5.002	432.17	42.4
	主 3	1.58	5.492	474.51	83.1
志联佳大厦	9	7.70	9.500	820.80	
	10	8.42	13.200	1140.50	
	17	5.90	25.889	2236.80	
	18	7.50	57.500	4968.0	49.9
	21	11.90	19.389	1675.20	

2. 埋藏型岩溶

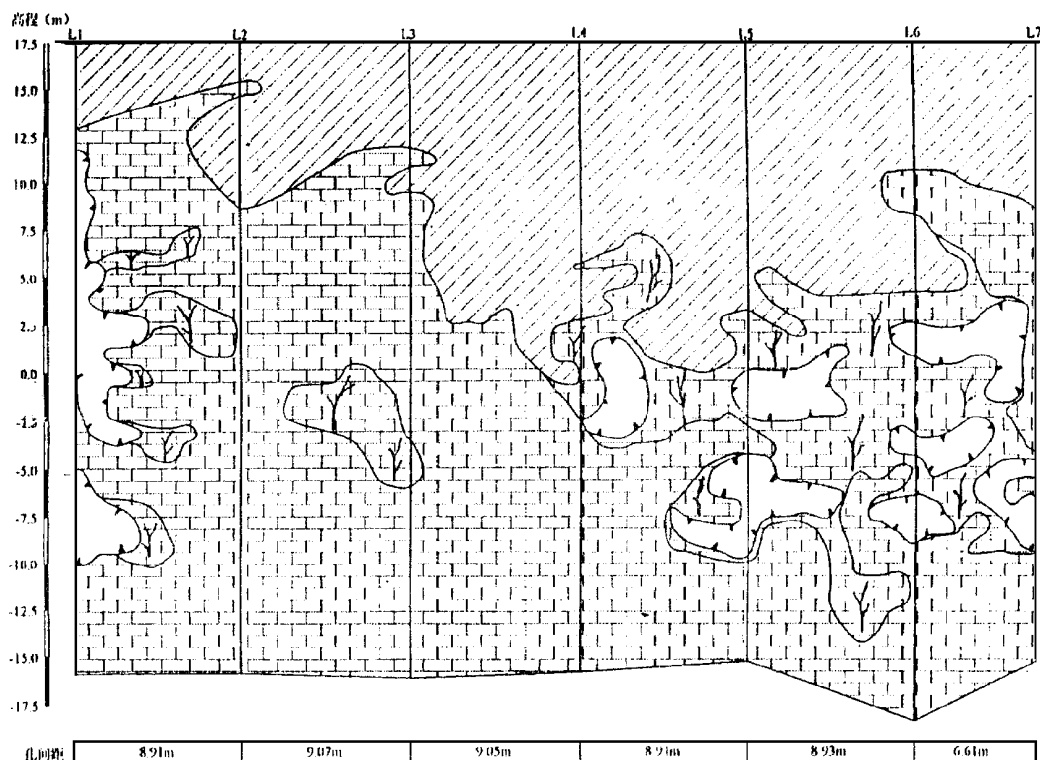


图 1 志联佳大厦岩溶发育特征剖面图

Fig. 1 profile chart of the karst development character
in the old LianJia large building site.

龙岗中心区低丘陵下部广泛分布着埋藏型岩溶,上部多为石炭系下统测水段石英砂岩、粉砂岩与页岩、炭质页岩,厚度一般 15.0~ 50.0 m, 部分地段大于 100 m, 石英砂岩风化程度较低,多呈中度风化夹层出现,粉砂岩及页岩风化较强,多呈粘性土或强风化出现。下部为石磴子段白云质灰岩,灰岩、大理岩化灰岩。沿接触带岩溶较发育。据龙岗计生中心大厦、无线大厦、邮电信息大厦详勘资料,碎屑岩与可溶岩接触带发育有溶沟,溶槽、溶洞等,受地下水的浸蚀破坏,溶洞顶板崩塌形成土洞,溶洞及土洞高度一般 2.0~ 8.0 m,个别可达 33.6 m,一般上部为空洞,高 2.7~ 8.1 m,下部为软塑粘土充填的溶沟、溶槽或溶洞(表 3)。接触带中溶洞、溶蚀裂隙中含丰富的地下水,涌水量 92.5~ 445.0 m³/d,地下水连通性好,挖孔桩施工时一旦遇到溶洞,无法或极难疏干地下水,被迫改变桩型。

表 3 碎屑岩与可溶岩接触带溶洞及土洞统计表

Tab. 3 Karst caves and earth caves along the contact zone of
clasic rock and soluable rock

工程名称	见溶洞孔数 (个)	洞高 (m)	埋深 (m)	标高 (m)	充填情况
无线大厦	6	1.10~ 33.6	52.2~ 85.3	- 0.18~ - 33.78	顶部 2.7~ 8.1 m 为空洞, 下为粘性土充填
邮电信息大厦	3	0.6~ 3.3	46.9~ 60.3	- 15.29~ - 23.50	全充填粘性土
计生中心大厦	5	1.9~ 7.7	16.7~ 32.4		全充填粘性土

三、钻探与跨孔 CT 电磁波透视法相结合 探明溶洞发育规律

龙岗志联佳大厦占地面积约 5500 m², 拟建 27 层综合楼, 设地下室 2 层, 地下室底板标高- 7.5 m。地貌上位于龙岗河与荷坳~ 西瓜铺支流的交汇部位, 受北东向及北西断裂构造影响, 场地内岩溶强烈发育, 地下水极丰富, 且与河水有较密切的水力联系。

1995 年底志联佳大厦进行过初步勘察, 布置地质雷达探测线 6 条、探测点 380 个、验证孔 7 个, 有二个孔揭露溶洞, 溶洞净高 2.0~ 2.2 m, 洞顶标高 8.4~ 19.3 m, 洞底标高 6.2~ 17.2 m。1996 年 1 月进行施工图设计阶段详细勘察。勘察部门提出采用钻探与 CT 跨孔电磁波透视法相结合的勘察手段, 但投资方不同意采用, 只同意按设计院布置的 77 个钻孔位置及孔深施工。在施工中发现场地内岩溶很发育, 地质情况复杂, 原主楼部位钻孔入基岩 3~ 5 m, 未能揭穿岩溶发育带, 为进一步查清溶洞的空间分布规律, 增加 36 个钻孔, 总计钻孔 113 个, 总进尺 3656.66 m。勘察部门根据场地岩溶强烈发育, 地下水丰富且与地表河水有水力联系, 挖孔桩不适合本场地使用, 建议采用冲孔桩基础, 但投资方未采纳该意见, 而选用挖孔桩基础。在基坑底部首先施工主楼部分的 49 根桩, 同时在无勘察钻孔控制的 21 根桩中补充超前钻孔 21 个, 总进尺 662.76 m。在桩孔之间布置 21 口降水井, 设计井深 20~ 43 m。主楼部分的 49 根桩同时开挖, 当挖至 3~ 8 m (个别 10~ 12 m) 时地下水从原钻孔中涌出, 一般涌水量 5~ 20 m³/h。最大 50 m³/h, 整个基坑总涌水量大于 3000 m³/d。以已完工的 18 号井作主孔, 选其周边 19 个孔作观测孔, 进行群孔抽水试验, 最大水位降深 7.5 m, 观测井水位降低 1.58~ 4.96 m, 平均 3.72 m, 涌水量 4968.0 m³/d, 降落漏斗直径 40 m 左右。用 9、10、17、18、21 号降水井进行同时抽水试验, 从 21 个观测井中观测水位降低。5 口井的抽水试验水位降低值为 5.9~ 11.9 m, 平均 8.28 m, 观测井水位降低为 1.71~ 7.58 m, 平均 5.95 m, 总涌水量 10841.3 m³/d, 平均单井涌水量 2168.26 m³/d, 降落漏斗直径 50 m。地面及降水井周围出现五处塌陷, 塌陷面积 0.84~ 14.8 m², 体积 0.72~ 36.0 m³。

为了可保证 44 根挖孔桩 (占挖孔桩总数 90%) 的降水需要, 尚有 5 根最深的挖孔桩深

部降水无法满足, 需采取特殊技术处理, 计算总涌水量 $64481 \sim 88360 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

从各挖孔桩涌水以来, 基坑的排水量逐日增大, 1996 年 6 月初起每天从基坑中抽排 $3000 \sim 4000 \text{ m}^3/\text{d}$ 地下水。1996 年 9 月 5 日至 14 日在分别对 18 号单井及 9、10、17、18、21 号五口井同时抽水试验期间, 每天从基坑中抽排地下水 $5000 \sim 11000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。至 10 月初场地南部距离 800 m 的西瓜铺村中道路突然塌陷, 直径 10 多 m, 深 3 m 多, 四周 30~40 m 范围内的民房出现不同程度的裂缝, 数十名村民找区政府要求处理。区建设局下令志联佳公司立即停止志联佳大厦基坑排水。就此宣告志联佳大厦人工挖孔桩方案彻底失败, 直接经济损失 400 多万元, 间接经济损失难以估计, 延误工期 1 年有余。

志联佳大厦挖孔桩失败后, 经区建设局有关领导与勘察、设计等有关专家研究决定将该大厦改为 19 层, 地下室一层, 将基坑回填至地下水位以上, 即回填约 2.5 m, 并将挖孔桩及降水井封死。同意勘察部门采用钻探与跨孔电磁波透视法相结合的勘察方法, 查清场地溶洞分布规律。按新设计建筑物的平面柱基, 采取每柱布一个钻孔, 共 66 个孔, 孔深 45 m, 局部 65 m, 各孔之间作跨孔 CT 成像及单孔波速测试。经 1997.4.18 至 7.18 的野外钻探, 46 个单孔波速测试、63 对跨孔 CT 成像测试及室内的资料整理、综合解释, 结合原施工的 152 个钻孔、降水井资料进行认真的分析对比, 准确地找出了溶洞, 溶蚀裂隙的数量及其空间分布规律与桩基础持力层位置。经后期的冲孔桩证实, 勾划的溶洞及持力层位置准确, 从而证实对强岩溶发育区的场地采用钻探与跨孔 CT 电磁波透视法相结合的勘察方法是既可靠快捷, 又经济的勘察手段。

四、冲孔灌注桩基础是强岩溶发育区可靠的基础类型

1. 志联佳大厦经钻探与跨孔 CT 电磁波透视法相结合的勘察手段补勘后, 查清了场地的溶洞空间发育规律, 决定采用冲孔桩基础, 以完整的石灰岩作持力层。在冲孔桩施工中发现 80 根桩中有 63 根见溶洞, 个别桩见溶洞 10 多个, 最大溶洞 16 m, 最深桩 60.5 m。在冲孔过程中发现了许多预想不到的疑难问题。如在冲孔至溶槽发育带中常遇到基岩面倾斜, 容易引起桩孔偏离, 施工队采用抛石与灌注混凝土纠偏; 当遇溶洞堆积物塌孔 (有 20 多根桩遇到) 则用大直径钢板卷管护筒护壁, 将土层或溶洞充填物固定; 当遇严重漏泥浆时则用膨脹土加水泥堵漏; 当遇空洞而将冲锤掉入空洞中无法捞出时则采用补桩。因施工措施得力, 施工顺利, 仅用 6 个月时间完成了 80 根冲孔灌注桩的任务。总桩基造价 720 万元, 略高于人工挖孔桩基础造价。

2. 龙岗计划生育中心大厦场地上部为石炭系下统测水段砂页岩风化残积粘性土, 厚度 8.8~24.8 m, 下部为石蹬子段大理岩化灰岩, 沿碎屑岩与灰岩接触带部位溶洞 (槽) 发育。施工的 31 个钻孔中有 5 个孔见到溶洞 (槽), 洞高 1.9~7.7 m, 多被粘性土全充填。该大厦采用人工挖孔桩基础, 桩底无溶洞或溶槽的桩孔则施工顺利, 地下水流量小, 当挖孔中见到溶洞或溶槽时则地下水流量大, 无法继续往下挖, 后在桩间打小口径降水井降水, 但只能将遇到小溶洞 (槽) 的桩孔挖好, 遇较大溶洞 (槽) 则无法挖穿溶洞。经 3~4 个月的补打大口径降水井, 但地下水位下降不到设计的深度。及时将大溶洞附近的桩孔改成在桩孔内冲孔, 仅用 10 多天即完成冲孔及灌注任务。

3. 从志联佳、计划生育大厦采用冲孔桩基础的成功经验证实: 在龙岗区强岩溶发育地

区通过有效的岩溶治理,可以继续兴建高层建筑;而冲孔桩基础则是该区当前进行高层、超高层建筑的最佳桩基类型。

五、结 论

1. 位于各类型岩溶发育区的建筑场地需进行详细勘察时宜采用钻探与跨孔 CT 电磁波透视法相结合的勘察手段,查清溶洞(槽)的数目及其空间分布规律,确定桩端持力层位置。此方法是既可靠又经济的勘察手段,值得推广应用。

2. 冲孔桩基础是强岩溶发育区高层建筑及其它建筑端承桩的既经济又安全可靠的桩基础类型,值得在龙岗区广泛应用。

Elementary Introduction of the Controlling and Investigation of Buried Karst in Newly-built Town

Zhang yunbiao

(Shenzhen Investigation & Research Institute, Shenzhen 518026)

Abstract This paper sums up the practice of geotechnical engineering investigation、underground dewatering and pile driving construction in the buried & overlay karst area of the New Development Zones in LongGang District, Shenzhen. It puts forward that investigation means are effective which combine boring and CT electromagnetic wave transillumination straddling bores. It has been proven that punching bored concrete pile foundation is economical for high-rise buildings in this area, and it's praiseworthy to be spread and adopted widely in the karst developed area.

Key words buried karst overlay karst investigation CT electromagnetic wave transillumination straddling bores pile foundation