

Optimization of Investigation for Pile Foundation Construction

Xianfa Cao^{1,2*}, Hailing Li^{1#}

¹College of Civil Engineering and Architecture, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²Guangxi Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Guilin Guangxi

Email: caoxianfa@126.com, #lh0102@126.com

Received: May 2nd, 2019; accepted: May 17th, 2019; published: May 24th, 2019

Abstract

The optimization of investigation for pile foundation construction is proposed, in which the depth of intensity karstification becomes the criterion for determining borehole depth. Results show that, one pile with several boreholes can effectively solve the problem of insufficient depth in pile construction investigation, but the economical rationality is arguable. If all boreholes exceed certain depth range of intensity karstification, and intact rock over 5 m below pile tip is no less than three times the thickness of pile diameter, the optimization scheme of one-pile-with-one-borehole is technically feasible, and the economic benefits are also rational.

Keywords

Karst, Depth of Intensity Karstification, Investigation for Pile of Construction

岩溶区建筑桩基施工勘察方案优化

曹贤发^{1,2*}, 李海玲^{1#}

¹桂林理工大学, 土木与建筑工程学院, 广西 桂林

²广西岩土力学与工程重点实验室, 广西 桂林

Email: caoxianfa@126.com, #lh0102@126.com

收稿日期: 2019年5月2日; 录用日期: 2019年5月17日; 发布日期: 2019年5月24日

摘要

针对目前岩溶建筑桩基施工勘察的主要问题, 提出了以岩溶强发育深度作为桩基施工勘察钻孔最小深度

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 曹贤发, 李海玲. 岩溶区建筑桩基施工勘察方案优化[J]. 土木工程, 2019, 8(3): 735-741.

DOI: 10.12677/hjce.2019.83086

控制标准的施工勘察优化方案。结果表明：一桩多孔方案虽可有效解决施工勘察深度不足的问题，但其经济合理性值得商榷；若所有钻孔均进入岩溶强发育层以下一定深度范围，同时满足钻孔底部完整岩厚度大于3倍桩径且不小于5 m的要求时，则一桩一孔方案具有很好的技术可行性，也能取得良好的经济效益。

关键词

岩溶, 岩溶强发育深度, 桩基施工勘察

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

岩溶是工程建设中十分常见的不良地质作用[1]。GB50021-2001 岩土工程勘察规范(2009年版, 以下简称勘察规范)规定, 岩溶区桩基施工前应进行桩基施工勘察, 其勘察工作的最低要求为: 每一个桩位处应至少布置一个勘察钻孔, 钻孔深度应进入完整岩体深度不小于3倍桩径, 且不小于5.0 m。为降低施工勘察成本大部分建设单位均要求将上述最低要求作为施工勘察工作依据。然而, 实践表明, 勘察规范最低要求常常不能保证桩端下揭露的完整岩厚度满足设计要求, 尤其在复杂岩溶场地, 许多钻孔深度并未揭露场地的强岩溶发育深度范围, 甚至出现桩基成孔深度超过勘察钻孔深度的情况, 最后导致不得不进行一次或多次施工补充勘察的情况, 这不仅增加了桩基工程造价, 也延长了桩基施工工期, 因此, 对岩溶区嵌岩桩桩基施工勘察方案优化进行深入研究具有积极的工程实际意义。

目前关于岩溶勘察方面的研究主要侧重于地质雷达[2]、微重力法[3]及电法[4]等岩溶物探技术的理论及应用研究, 但各种物探方法均有其适用条件和局限, 且其技术应用范围仍然较小, 钻探依然是建筑工程中的主要方法。由于岩溶发育的不确定性, 准确圈定岩溶发育的空间范围仍是岩溶勘察的一个难题[5]。尽管目前在工程实践中有不少勘察单位针对岩溶区嵌岩桩施工勘察积累了丰富经验, 但并未形成权威可靠的优化方案。因此, 关于岩溶区嵌岩桩施工勘察方案的优化仍有待深入研究。

本文结合岩溶区桩基施工勘察实践经验, 讨论了岩溶地区桩基施工勘察中常常应用的一桩多孔方案的合理性。结合岩溶地基岩溶强发育深度特征提出了基于勘察规范的最低要求的优化方案。最后通过具体的工程案例对上述两种方案的技术可行性和经济成本进行了比较, 论证了本文所提出的优化方案的合理性。

2. 一桩多孔勘察方案

工程实践表明, 复杂岩溶场地岩面不连续起伏十分剧烈, 小直径的勘察钻孔全面入岩深度一般要早较大直径的桩体全面入岩深度。勘察钻孔直径和桩径相差越大, 两者全面入岩深度差异也越大, 因此, 要确保桩端下完整岩层厚度满足设计要求, 应在桩孔中布置多个钻孔, 将各钻孔揭露的岩面最大最深(或洞隙最大深度)作为桩基全面入岩深度, 这是目前在广西岩溶地区应用较为广泛的桩基施工勘察优化方案(下简称一桩多孔方案), 其钻孔布置形式基本一致, 如图1, 其钻孔深度与勘察规范的最低要求一致。

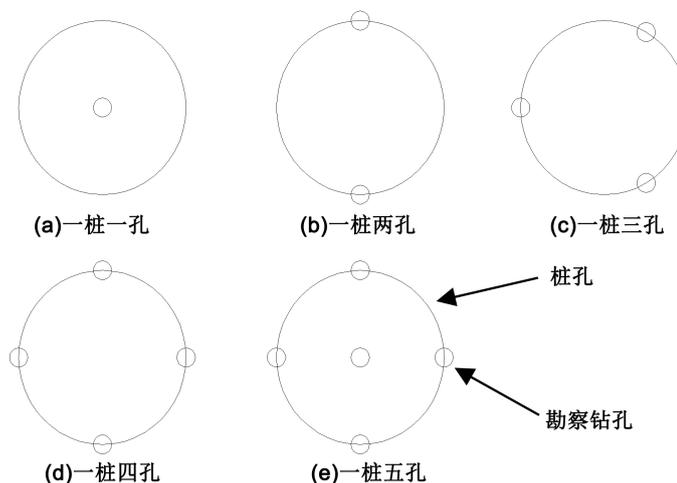


Figure 1. Borehole layout of one pile with multiple boreholes

图 1. 一桩多孔方案布孔示意图

一桩多孔方案一般能有效解决桩基施工勘察钻孔深度不足的问题,但也存在以下几个问题:

1) 勘察钻孔一般根据单桩桩径大小情况确定,但由于缺乏相关的规范规程规定,布孔的桩径标准并不统一。不同单位或不同地区,甚至同一单位不同技术人员的钻孔数量布置标准也可能不一致。

2) 一桩多孔方案的应用条件不明确,很多岩溶发育程度不高的场地也采用一桩多孔方案,不仅增加了勘察造价,也延长了勘察周期,造成了明显的工程浪费。柳州钢铁厂的工程实践表明,该厂区的岩溶发育程度较低,场地一般只有少量的小规模溶洞发育,岩面连续性较好,起伏程度较低,采用一桩一孔方案一般就可有效确定桩基入岩深度,即使一桩多孔方案时,同一个桩孔中的多个勘察钻孔的钻探情况基本一致。然而,有的勘察单位仍主要采用一桩多孔方案,显然是不合理的。

3) 与勘察规范的一桩一孔方案相比,一桩多孔方案需要增加大量勘察工作量,经济合理性值得商榷。工程实践表明,一桩多孔方案在柳州岩溶地区桩基工程施工场地中,其勘察钻孔数量通常是桩孔数量的2~3倍,其勘察工作量的增加十分显著的。

3. 一桩一孔勘察方案优化

岩溶发育程度具有随深度而减弱的规律,因此岩层上部的深度范围即岩溶最为发育的深度范围[6] [7] [8] [9]。岩溶地区桩基工程施工实践表明,嵌岩桩一般需要穿过岩层表层一定范围内才能找到安全可靠的桩端持力层,由此可以推断在碳酸盐岩场地中,岩溶发育给建筑地基带来的沉降差异和稳定性问题主要集中在碳酸盐岩层表层一定深度范围。这个深度范围可认为是场地强岩溶发育带的分布深度范围,即。

GB50021-2001 岩土工程勘察规范(2009年版)规定,在岩溶场地初步勘察阶段,钻孔应至少穿过场地强岩溶发育带的深度范围。由于在初步勘察阶段和详细勘察阶段的勘察资料较少,因此岩溶强发育深度无法合理确定。但在施工勘察阶段,场地详细勘察阶段已完成,场地岩溶发育规律也基本查明。因此,若能根据详细勘察资料确定场地岩溶强发育的深度,该深度则可作为施工勘察钻孔最小深度的控制标准。

在综合考虑场地岩面溶蚀和洞隙溶蚀的溶蚀率定义发育情况的基础上,可得到能合理反映溶蚀程度具有随深度呈指数衰减的规律的溶蚀率深度分布曲线[10] [11],据此可确定场地的强岩溶发育带深度。

GB50007-2011 建筑地基基础设计规范规定: 1) 对于地基设计等级为丙级的荷载较小的建筑物,当基底以下垂直洞隙面积小于25%时,可不考虑岩溶对地基稳定性的影响; 2) 对地基稳定性有影响的裂隙,若基底以下洞隙面积不超过25%且充填物难以挖除时,可通过钢筋混凝土板跨越或钻孔桩穿越进行处理;

3) 当线岩溶率为 20%或遇洞率为 30%时, 场地应判为强发育。实践表明[12], 当线岩溶率小于 15%时, 岩溶发育对岩溶地基的稳定性影响较小; 线岩溶率在 15%~25%时, 岩溶发育对地基稳定性的影响为中等; 线岩溶率大于 25%时, 岩溶发育对地基稳定性的影响较大。根据溶蚀率曲线确定方法可知, 在一定深度以下的溶蚀率主要取决于洞隙发育程度, 此时溶蚀率反映的主要就是该深度处的洞隙面积率。综合 GB50007-2011 建筑地基基础设计规范的上述规定可以推断, 在岩溶强发育场地的溶蚀率深度分布曲线上, 溶蚀率取 25%时, 对应的高程即作为场地强岩溶发育深度。

确定岩溶强发育分布深度范围后, 即可得到本文提出的施工勘察优化方案: 岩溶地区的施工勘察钻孔可按照一桩一孔布置, 但钻孔最小深度应进入岩溶强发育深度以下 3 倍桩径且不小于 5 m。岩溶场地的岩溶强发育深度由溶蚀率深度分布曲线[10][11]求得, 该曲线能刻画出大部分岩溶场地的溶蚀率深度分布规律, 故本文提出的优化方案能适用岩溶地区大部分建筑场地的施工勘察。

4. 工程案例

广西柳州市金盛广场位于柳州市原东环菜市场, 共由五栋高层建筑组成, 场地自上而下由杂填土、淤泥质土和红粘土和石灰岩组成。4#楼设计采用人工挖孔桩基础, 设计桩数 56 根, 桩型为: 桩径有 0.8 m 的 22 根、1.2 m 的为 8 根、1.4 m 的为 11 根和 1.5 m 为 15 根。桩基础设计平面见图 2。

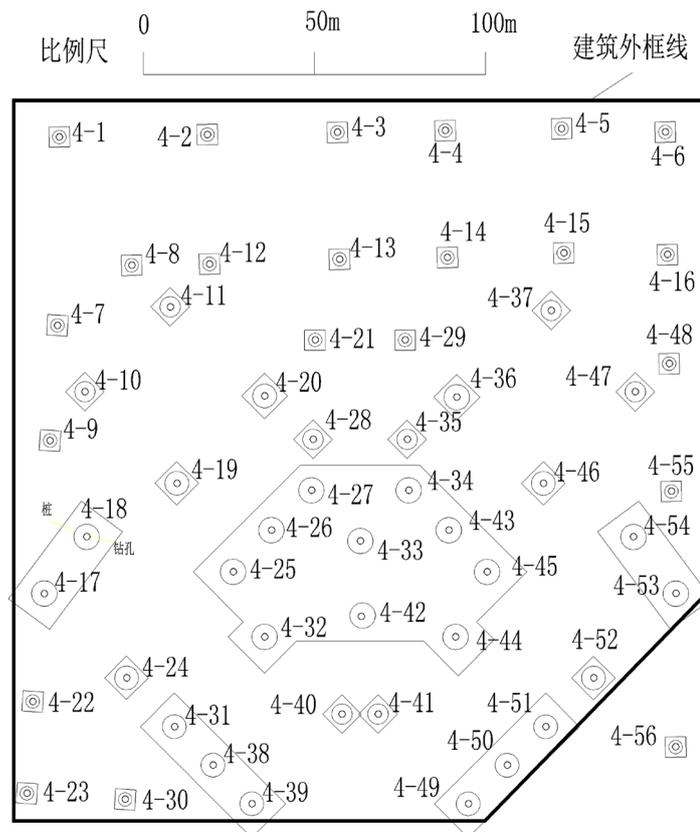


Figure 2. Layout of investigation borehole for pile construction
图 2. 桩孔及施工勘察钻孔平面布置图

根据勘察资料, 按文献[8]方法可求出该场地的溶蚀率 r 随深度分布曲线, 见图 3, 根据本文方法可求得场地岩溶强发育深度为 67.7 m。

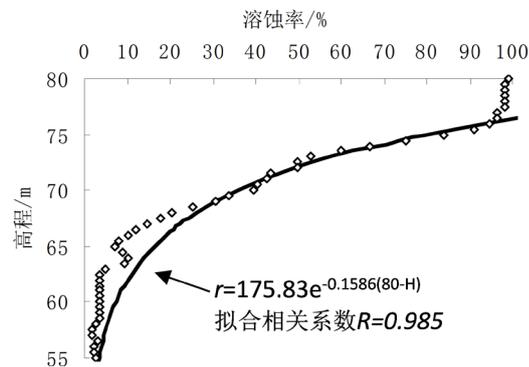


Figure 3. Dissolution ratio curve of No. 4 in Liuzhou Jinsheng Square

图 3. 柳州金盛广场 4#楼溶蚀率曲线

该工程桩基施工勘察实际是按勘察规范最低要求进行, 即一桩一孔方案, 共在每个桩心布孔 56 个, 按勘察规范最低要求控制钻孔深度。

人工挖孔桩开挖情况表明, 场地石芽密度, 溶洞也十分发育, 大部分施工勘察钻孔的揭露深度与桩孔开挖初次见岩深度及成桩深度相差很大, 其中有 18 个桩孔成桩深度以下的完整厚度不能满足设计要求 (见表 1), 4-2、4-29、4-39、4-46、4-54 等 5 个桩孔成桩深度甚至已超过原来施工勘察钻孔深度, 为给桩基施工提供足够依据, 不得不中断桩基施工以进行必要的补充桩基施工勘察工作。

若采用一桩多孔方案, 按照该地区经验, 桩径为 0.8 m 时布置 2 个勘察钻孔, 桩径不小于 1.2 m 且小于 1.6 m 时布置 3 个勘察钻孔, 则该场地共需要布置勘察钻孔 146 个, 其勘察工作量是规范最低要求的 2.6 倍。按该合同单价预算, 其勘察费用约为 28 万, 比原来增加 1.6 倍, 为 18 万。可见, 一桩多孔勘察方案能满足桩基施工要求, 有效预防因勘察深度不足导致重复勘察的问题, 但其勘察工作量较大, 经济效益较差。

若采用本文的优化方案, 即仍按照一桩一孔进行施工勘察钻孔布置, 但其钻孔最小深度应至少达到高程 64.7 m 以下, 此时与勘察规范的最低工作量要求相比, 各钻孔增加的岩层进尺和钻探情况见表 1。

Table 1. The optimization in comparison with the original for one-pile-with-one-borehole scheme

表 1. 一桩一孔勘察方案在孔深优化前后的情况比较

孔号	勘察规范最小要求		本文方法	
	孔底高程/m	施工要求	增加孔深/m	施工要求
4-1	68.3	不满足	3.6	满足
4-2	69.56	不满足	4.86	满足
4-3	67.57	满足	2.87	不满足
4-6	69.8	不满足	5.1	满足
4-14	68.45	不满足	3.75	满足
4-15	65.25	不满足	0.55	不满足
4-16	68.41	不满足	3.71	满足
4-25	64.72	满足	0.02	不满足
4-27	68.22	不满足	3.52	满足
4-29	70.83	不满足	6.13	满足

Continued

4-30	67.75	满足	3.05	不满足
4-36	64.91	满足	0.21	不满足
4-39	74.32	不满足	9.62	满足
4-43	68.71	不满足	4.01	满足
4-45	68.02	不满足	3.32	满足
4-46	71.92	不满足	7.22	满足
4-47	70.19	不满足	5.49	满足
4-49	69.44	不满足	4.74	满足
4-50	66	满足	1.3	不满足
4-51	65.61	满足	0.91	不满足
4-52	69.19	不满足	4.49	满足
4-53	70.02	不满足	5.32	满足
4-54	70.13	不满足	5.43	满足
4-55	68.13	不满足	3.43	满足

从表 1 可知, 按岩溶强发育深度控制钻孔深度后, 所有钻孔可满足桩基施工要求, 但场地岩层进尺仅增加 93.2 m, 按照实际合同单价计算, 仅需增加施工勘察费用 1.02 万元, 约为实际合同单价的 10%。与一桩多孔方案相比, 则节约施工勘察费用约 17 万元, 其费用仅为为一桩多孔方案的 39%, 其经济效益十分显著。可见, 本文提出的一桩一孔施工勘察优化方案具有明显的技术可行性和经济合理性。

5. 结论

1) 在复杂岩溶场地桩基施工勘察采用一桩一孔方案时, GB50021-2001 岩土工程勘察规范(2009 年版)规定的最小勘察深度不一定能满足桩基施工要求, 而采用一桩多孔方案虽可有效解决岩溶桩基施工勘察深度不足导致多次补充勘察的问题, 但其经济合理性值得商榷。

2) 若能确保桩基施工勘察钻孔深度超过场地岩溶强发育深度, 同时满足钻孔底部完整岩厚度大于 3 倍桩径且不小于 5 m 的要求时, 那么一桩一孔方案不仅具有明显的技术可行性, 也能取得良好的经济效益。

基金项目

广西自然科学基金面上项目(2018GXNSFAA138139); 广西岩土力学与工程重点实验室基金资助项目(14-B-05); 桂林理工大学博士科研启动基金(GUTQDJJ2014031)。

参考文献

- [1] 王晓楠, 张燕奇, 王建良. 桥梁桩基下伏溶洞围岩应力状态分析[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(14): 3390-3393+341010.
- [2] Estrada-Medina, H., Tuttle, W., Graham, R.C., Allend, M.F. and Jiménez-Osornio, J.J. (2010) Identification of Underground Karst Features Using Ground-Penetrating Radar in Northern Yucatán, México. *Vadose Zone Journal*, **9**, 653-661. <https://doi.org/10.2136/vzj2009.0116>
- [3] Debeglia, N. and Dupont, F. (2002) Some Critical Factors for Engineering and Environmental Microgravity Investigations. *Journal of Applied Geophysics*, **2002**, 435-454. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(02\)00194-5](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(02)00194-5)

- [4] Youssef, A.M., El-Kaliouby, H. and Zabramawi, Y.A. (2012) Sinkhole Detection Using Electrical Resistivity Tomography in Saudi Arabia. *Journal of Geophysics and Engineering*, **9**, 655-663. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/9/6/655>
- [5] 姚伟, 李文尧, 张文杰. 高密度电阻率法和探地雷达在昆明长水国际机场岩溶勘查中的应用[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(31): 8175-8179.
- [6] Zhao, J.B., Chen, B.Q., Yue, Y.L. and Juan, D. (2006) Karst Subzone Division in Vertical Cycle Zone and Its Significance. *Geographical Sciences*, **16**, 472-478. <https://doi.org/10.1007/s11442-006-0411-9>
- [7] 周文生, 汪玉松, 陈国栋, 等. 江西省武山铜矿岩溶发育规律及影响因素研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(2): 124-127.
- [8] 郭长宝, 郭书泰, 彭涛, 等. 辽宁省大窑湾某建筑场地岩溶发育特征及工程地质条件评价[J]. 中国岩溶, 2010, 29(2): 176-182.
- [9] 王启国, 林仕祥, 吴树良, 等. 汉江崔家营航电枢纽坝基隐伏岩溶问题研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(11): 1772-1779.
- [10] 曹贤发, 张家生, 刘之葵, 等. 岩溶建筑地基溶蚀程度及深度分布规律[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(8): 2787-2792.
- [11] 曹贤发, 张家生, 刘之葵, 等. 溶蚀程度随高程分布特征的定量分析方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(7): 2339-2345.
- [12] 刘宏, 赵跃平, 郭相国, 等. 强溶蚀带岩溶地基稳定性研究[J]. 矿业研究与开发, 2011, 31(3): 35-39.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjce@hanspub.org