

技术方法

# 济南东部岩溶发育区高层建筑地基处理方案分析

吕仁军<sup>1</sup>, 王铮<sup>2</sup>, 刘文峰<sup>1</sup>, 蒋硕<sup>1</sup>

(1. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013; 2. 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031)

**摘要:** 依据工程实例, 结合场地地质情况, 分别从区域地质条件、场地工程地质条件、岩溶发育特点、地基基础方案选择及检测方案等方面进行了分析比较, 就济南东部岩溶发育区高层建筑地基基础处理方案提出了针对性建议。

**关键词:** 高层建筑; 地基处理; 岩溶发育; 济南东部

**中图分类号:** TU470; P642.25

**文献标识码:** B

济南市东部产业带地处主城区东侧, 拟规划发展形成全国重要的软件产业基地、环渤海湾地区的高新技术产业和高附加值制造业走廊以及山东省的新型工业化基地、技术创新基地和高科技成果产业化基地。规划园区内多为 20 层以上的高层建筑群, 基础荷重大, 对地基基础的要求越来越高; 而济南市东部第四系厚度一般为几米至十几米不等, 下伏为奥陶纪灰岩, 岩溶裂隙较发育。第四纪岩土层, 厚度不均, 岩土工程特性较差, 不能满足高层建筑的地基要求, 因此地基基础多采用岩石地基, 以奥陶系灰岩做基础持力层。在这种情况下, 灰岩的岩溶发育对基础方案的选择就变得尤为重要。

## 1 区域地质条件

济南东部地区属华北地台地层区鲁西地层分区, 总体上是一个以古生代地层为主体的向北倾斜的单斜构造。区域地层自下而上发育有寒武系、寒武-奥陶纪崮山组、张夏组、九龙群三山子组、奥陶纪马家沟组, 第四纪大站组。区内出露的地层主要为奥陶纪碳酸盐岩夹碎屑岩, 新生界第四纪松散堆积物广泛分布在山前及沟谷地带, 厚度由南向北逐渐增大, 在顿丘一带出露燕山期辉长岩。

区内发育 NW 向的断裂, 如港沟断裂、孙村断裂、东梧断裂等, 该断裂主要发育在古生界地层内, 其中东梧断裂是一条区域性大断裂, 一般被认为是济南泉域的东边界。断裂带常常形成岩溶强发育

带, 因断裂带附近岩体破碎, 孔隙增加, 成为良好的含水带和导水带; 在岩性相同的条件下, 距断裂越近岩溶越发育, 远离断裂逐渐减弱<sup>[1]</sup>。

该区属鲁中南中低山丘陵岩溶区半干旱岩溶区<sup>[2]</sup>, 区内奥陶纪岩层以白云质灰岩、泥晶灰岩为主, 岩溶主要顺层发育, 地表可见一些溶沟、溶槽、溶隙以及蜂窝状溶孔等, 一般没有较大的溶洞。根据钻孔资料, 地下岩溶形态主要为一些垂向溶隙, 局部发育有较小的溶孔、洞, 直径一般 5~30 cm; 在上部岩层(<60 m)内岩溶发育多不贯通, 无暗河, 地表无常年径流河, 与外部水系无水力联系; 岩溶裂隙多被硬塑的红粘土充填, 不具备继续发育的条件。

## 2 工程地质条件及地基处理方案分析

通过济南东部 3 个高层建筑群的地基基础处理实例进行对比分析, 根据具体场地岩溶发育特点, 制定不同的地基基础处理方案。

### 2.1 实例一

某高层住宅商住楼项目位于济南市高新区刘智远村西侧, 经十东路以北, 凤凰路以西。场地地层: ①素填土: 黄褐色、灰褐色, 松散, 稍湿。②黄土: 黄褐色, 可塑—硬塑。③粉质粘土: 红褐色, 可塑—硬塑。④碎石混粉质粘土: 灰褐色、红褐色, 中密—密实, 稍湿; 隙间充填红褐色粘性土。⑤强风化灰岩: 灰色, 隐晶质结构, 层状构造, 节理裂隙及溶沟、溶槽

\* 收稿日期: 2011-06-16; 修订日期: 2011-08-17; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 吕仁军(1978—), 男, 山东济南人, 工程师, 主要从事水文地质及工程地质工作; E-mail: sdsjkey@126.com。

很发育,充填粘土及方解石脉;岩石坚硬程度<sup>[3]</sup>为较硬岩,岩体完整程度为破碎,岩体基本质量等级为Ⅳ。⑥强风化角砾状泥质灰岩:灰黄色、棕黄色,泥质结构,层状、角砾状构造,角砾为灰岩,岩心呈土状、块状、短柱状,岩石表面局部溶孔发育强烈,呈蜂窝状;岩石坚硬程度为软岩,岩体完整程度为破碎,岩体基本质量等级为Ⅴ。⑦-1 强风化角砾状灰岩夹泥灰岩:灰色,灰黄色,局部肉红色,碎屑结构,层状构造,角砾岩性为灰岩,溶孔较发育,呈蜂窝状。⑦-2 中风化角砾状灰岩夹泥灰岩:灰色,灰黄色,局部肉红色,角砾岩性为灰岩,溶孔较发育,呈蜂窝状。⑦-3 岩溶强发育带:灰色,灰黄色,局部肉红色,岩性为灰岩、泥灰岩,岩溶裂隙极其发育,呈槽状、蜂窝状,充填红粘土。典型的岩溶发育剖面如图 1。

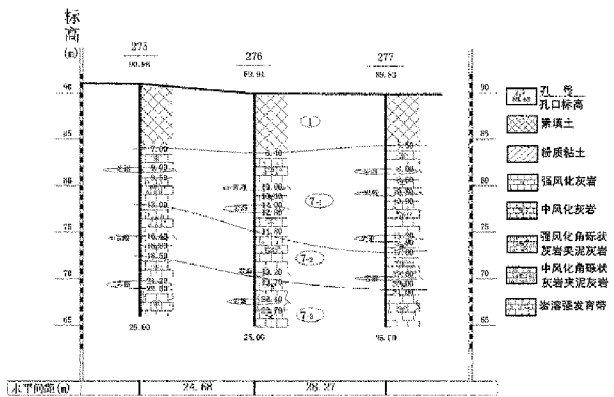


图 1 53-53'工程地质剖面图

拟建场地距东坞断裂约 5 km,其断裂对场地岩溶发育影响较小。由钻孔揭露的地层情况可以看出,岩溶在垂直方向上呈层状不连续发育,厚度不均,岩溶裂隙较小,多集中在 40~80 cm,充填硬塑粘土;在水平方向上发育不连续,也多不在同一水平面上,无连通。

该场地拟建建筑物为 27~28F 的高层住宅楼,基础荷重大,根据地质情况可采用天然地基或桩基础。采用天然地基,基础以基岩作为基础持力层;采用桩基础,宜采用嵌岩桩<sup>[4]</sup>,且桩端必须落在稳定的基岩上,且桩端以下 3 倍桩径的范围内无岩溶发育,并应在桩底应力扩散范围内无岩体临空面<sup>[5]</sup>。如采用桩基础,因基岩中的岩溶发育在垂直方向上呈多层发育,以层厚较小的岩溶裂隙为主,多溶沟、溶槽,充填粘土,桩长不好控制,桩端持力层不确定,地基基础设计方案需不断变更。在这种情形下,采用桩

基础,费用和工期无法有效控制。综合考虑岩溶发育的特点,建议采用天然地基,筏型基础,通过加大基础宽度与刚度来保证建筑物的结构安全。通过验算证实,这种处理方案切实可行,在结构安全的前提下,比桩基础节省费用约 50%。

## 2.2 实例二

某 IT 知识经济总部产业基地项目位于经十东路北约 50 m,舜华路东约 300 m。场地地层:①素填土:黄褐色,松散,稍湿。②粉质粘土:黄褐色,可塑—硬塑。③粘土:红褐色、棕红色,局部棕黄色,可塑—硬塑,局部坚硬。③-1 粉质粘土混碎石:红褐色,可塑—硬塑;混约 10%~30%的碎石,局部见角砾。④强风化角砾状泥灰岩夹灰岩:灰黄色、灰色,溶蚀及节理裂隙发育,见溶孔,局部呈蜂窝状,充填粘土;岩石坚硬程度为软岩—较软岩,岩体完整程度为破碎,岩体基本质量等级为Ⅴ。⑤-1 中风化灰岩:灰色,局部呈碎块状,溶蚀及节理裂隙较发育;局部地段岩石表面见溶孔,见有竖向裂隙,节理裂隙充填粘性土;岩石坚硬程度为较软岩,岩体完整程度为破碎,岩体基本质量等级为Ⅴ。⑤-2 中风化灰岩:灰色,溶蚀及节理裂隙较发育,局部地段岩石表面见溶孔。⑤-2-1 中风化灰岩:灰色,溶蚀及节理裂隙较发育,局部地段岩石表面见溶孔,岩溶裂隙非常发育,有竖向裂隙,节理裂隙充填粘土。⑤-3 中风化灰岩:灰色,溶蚀及节理裂隙稍发育,局部地段岩石表面见溶孔,充填粘土。典型的岩溶发育剖面如图 2。

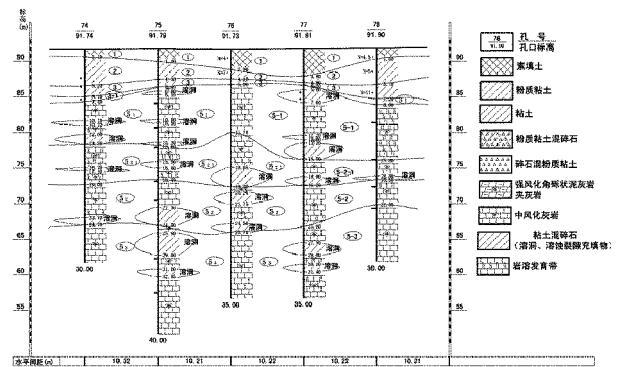


图 2 18-18'工程地质剖面图

拟建场地距东坞断裂约 0.9 km,其断裂对场地岩溶发育影响较大,属岩溶强发育带。由图 1 可以看出,岩溶在垂直方向上呈多层状不连续发育,厚度不均,洞体垂直高度 0.4~3.5 m,多集中在 2.0 m

左右,充填硬塑粘土;在水平方向上发育不连续,无规则。

该场地拟建 17~37F 的综合办公楼。根据地质结构,优先考虑采用天然地基,以基岩做为基础持力层,但是该场地岩溶裂隙很发育,垂直方向上洞体高度较大,洞体上方无有效的岩体安全厚度<sup>[6]</sup>,建筑物的结构安全不好保证。在这种情况下,只能采用桩基础,在桩基础施工中因岩溶发育无法找到稳定的桩端持力层时,采用原桩位两侧各加一棵辅助桩处理,并加大加宽基础连梁以及采用糖葫芦桩形,将桩端持力层放在不同深度的完整岩层中。后期的桩基检测及沉降观测数据表明这种处理方案安全经济,受到建设各方的认可。

### 2.3 实例三

某产业基地工程项目位于山东大学齐鲁软件学院南约 60 m。场地地层:素填土:黄褐色,稍湿,松散;主要由粘性土组成,含少量风化岩碎屑及红色砖屑。粉质粘土:黄褐色,可塑—硬塑。粘土:红褐色,可塑—硬塑。全风化泥灰岩:灰黄色;原岩结构、构造不清,岩芯呈土状、碎块状。全风化辉长岩:灰绿色,暗绿色;原岩结构、构造不清。强风化泥灰岩:灰黄色,浅黄色;岩心呈块状,溶蚀较发育,见少量溶孔,节理、裂隙较发育,裂隙充填方解石及红褐色粘土。强风化泥灰岩:灰黄色,浅黄色;溶蚀稍发育,见少量溶孔,节理、裂隙较发育,裂隙充填方解石。强风化泥灰岩:灰黄色;岩心呈碎块状,短柱状。强风化石灰岩:青灰色,溶蚀较发育,见较多溶孔。强风化石灰岩:青灰色,溶蚀较发育,见少量溶孔,节理、裂隙较发育,裂隙充填方解石及红褐色粘性土。中风化石灰岩:青灰色,见少量溶孔,节理、裂隙稍发育,裂隙充填红褐色粘土。典型的岩溶发育剖面如图 3。

拟建场地距东坞断裂约 1.2 km,其断裂对场地岩溶发育影响较大,属岩溶强发育带。由地质剖面图可以看出,局部见有侵入岩体辉长岩;岩溶在垂直方向上呈层状不连续发育,厚度不均,洞体垂直高度 0.4~1.5 m,多集中在 1.0 m 左右,充填硬塑粘土;在水平方向上发育多不连续,无规则,局部呈近水平连通;在泥灰岩与石灰岩接触带附近岩溶裂隙更发育,多溶槽、溶沟。

该场地拟建 13~14F 的研发楼。依据场地地层,优先考虑采用天然地基,以基岩做为基础持力

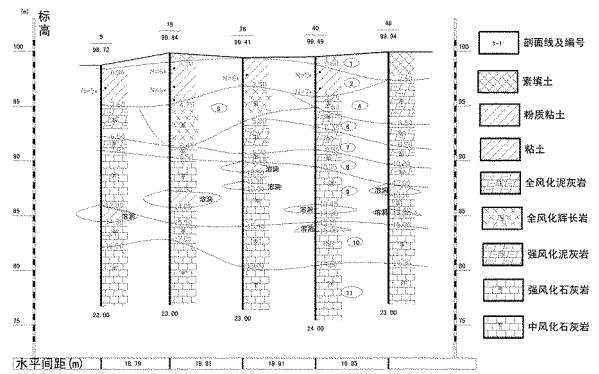


图 3 7-7'工程地质剖面图

层,但是上部泥灰岩风化严重且不均匀,地基承载力较低,局部地段有辉长岩侵入体,设计时需按土岩结合地基<sup>[6]</sup>处理,并应充分考虑下部岩溶发育对上部结构的影响;下部石灰岩中的岩溶裂隙在垂直方向上呈层状发育,洞体高度较大,在泥灰岩与石灰岩接触带岩溶裂隙更发育,对上部结构安全影响大。通过验算比较,采用天然地基无法满足地基基础设计要求,建议采用人工挖孔桩基础,以下部中风化石灰岩做为桩端持力层。

## 3 基础施工中的检测方案

由于岩溶地基的复杂性和隐蔽性,施工时必须制定专门的岩溶检测方案。采用天然地基,基槽开挖后,应采用工程物探方法进一步查明地基基础基底以下 5 m 范围内岩溶发育情况。对浅部较小的岩溶裂隙,宜采用镶补、嵌塞与跨盖等方法处理;对洞口较大的岩溶裂隙,宜采用梁、板和拱等结构跨越<sup>[5]</sup>。基槽开挖后应尽快地及时处理,以免基岩裸露或雨雪季节造成基坑浸水,时间过长而降低地基承载力。

采用桩基础,建议采用一桩(柱)一探<sup>[7]</sup>方法对桩端(柱基)持力层进行施工勘察、岩基载荷试验<sup>[5]</sup>及地质雷达探测,以确定桩端(柱基)下无软弱夹层(溶洞、裂隙)及破碎带,最终确定有效桩长。单桩竖向极限承载力标准值应通过现场单桩静载试验确定<sup>[4]</sup>。

## 4 结语

(1)济南东部岩溶发育区高层建筑勘察应在掌握充分区域地质资料的基础上采用钻探、物探以及工程地质测绘等多种手段结合的方法查明岩溶裂隙的位置、规模、埋深、岩溶填充物性状和地下水特征,对地基基础的设计提出建议。

(2)地基基础方案需在掌握岩溶洞隙的分布、形态、填充物性状和发育规律,结合场地岩性及第四系覆盖层厚度,综合分析比较确定处理方案,并优先考虑天然地基。

(3)由于岩溶地基的复杂性和隐蔽性,施工时必须制定专门的岩溶检测方案。

### 参考文献:

- [1] 彭凯,赵有美,李岚.鲁中南岩溶发育的控制因素[J].山东国土资源,2010,26(10):26-30.
- [2] 赵有美,彭凯,李岚.鲁中南岩溶分区初步研究[J].山东国土

源,2010,26(11):28-32.

- [3] 中华人民共和国建设部. GB50021—2001 岩土工程勘察规范[S]. 2001.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ94—2008 建筑桩基技术规范[S]. 2008.
- [5] 中华人民共和国建设部. GB50007—2002 建筑地基基础设计规范[S]. 2002.
- [6] 常士骝,张苏民. 工程地质手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [7] 中华人民共和国建设部. JGJ72—2004 高层建筑岩土工程勘察规程[S]. 2004.

## Analysis on Foundation Treatment Program of High-rise Buildings in Karstic Areas in East Part of Jinan City

LV Renjun<sup>1</sup>, Wang Zheng<sup>2</sup>, LIU Wenfeng<sup>1</sup>, JIANG Shuo<sup>1</sup>

(1. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shijiazhuang Economic University, Hebei Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** According to engineering practices, combining with geological conditions of sites, regional geological conditions, site engineering geological conditions, karst characteristics, foundation program selection and testing programs are analyzed and compared respectively. Some suggestions are put forward for making foundation treatment programs of high-rise building in karstic areas in Jinan city.

**Key words:** High-rise buildings; ground treatment; karstic areas; east part of Jinan city