

隐覆型岩溶地基稳定性分析与压浆预处理

孙成访¹, 杨安蓉², 董汉雄³, 彭少民⁴

(1. 广西工学院土木工程系, 广西柳州 545005; 2. 江汉石油学院土木工程系, 湖北荆州 434102;
3. 铁道部第一勘测设计院, 兰州 730080; 4. 武汉理工大学土木工程与建筑学院, 武汉 430070)

[摘要] 通过对隐覆型岩溶地基稳定性的分析, 采用压浆法预处理隐覆型岩溶地基, 并对压浆效果进行了分析评价, 研究表明, 压浆预处理隐覆型岩溶地基在技术上和经济上是可行的。

[关键词] 岩溶地基; 压力压浆; 效果评价

[中图分类号] TU471.5; TU471.6 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1009-1742(2002)07-0056-04

引言

泰安市主要街区位于隐覆型岩溶地基之上。隐覆型岩溶的主要特点是下伏基岩岩溶发育, 存在丰富的溶洞、溶沟、溶隙等岩溶形态; 上覆土层土洞发育, 存在横向、竖向等多种形态土洞, 有空洞、半充填的和全充填的, 洞内充填物遇水失稳。充填型土洞在工程地质勘察时, 容易被忽视, 认为是一般的土层, 这将会给建筑物及工程施工带来不利影响。在泰安市某贸易中心大楼人工挖孔桩施工时, 有30%的桩孔在挖孔作业时因岩溶、土洞及地下水的的作用而发生垮孔事故, 致使工期拖延了100多天, 施工单位经济效益严重受损。最后采取压力压浆措施, 才使垮孔问题得以顺利解决。泰安客站配套工程综合服务楼也位于隐覆型岩溶区, 在进行工程地质勘察时, 充分关注了岩溶、土洞和地下水对工程施工的影响, 采用了压浆预处理方案, 并取得了成功。

1 工程概况

1.1 建筑概况

泰安客站配套工程综合服务楼地上主楼14层, 地下1层, 基础埋深15m。采用人工挖孔桩基础(桩位布置图如图1所示), 桩径1.2m或1.4m,

部分桩孔扩底至1.5m或1.8m, 孔深为进入完整基岩0.5m。

1.2 工程地质概况

建筑场地地层由第四系冲洪积地层和中寒武统鲕状灰岩构成。覆盖层厚度受基岩面起伏控制, 一般厚度为14~16m。地层从上至下依次为: a. 人工填土, 厚0.3~0.7m, 在基坑开挖时将挖除。b. 粉质粘土, 冲洪积成因, 一般厚为0.8~2.3m, 棕黄, 硬塑, 在基坑开挖时将挖除。c. 漂石土, 冲洪积成因, 一般厚度3~5m, 漂石成分主要为花岗岩、花岗片麻岩, 磨圆度较差。充填物为砂土及粉质粘土, 局部地段富集中、粗、砾砂。潮湿-饱和, 中密, $f_k=400$ kPa。d. 风化严重卵石土, 冲洪积成因, 一般厚度4~10m, 卵石成因主要为花岗岩、花岗片麻岩。卵石风化严重, 形态模糊, 长石已高岭土化, 卵石粘土, 厚度变化极大, 局部。e. 粘土, 厚度变化极大, 局部主要由下部基岩起伏控制, 厚度0~14.1m, 局部夹有风化严重卵石土及砂土。细粒均匀, 具有纵横交错的原始结构面。上部可塑, 下部基岩面附近及溶沟、溶槽里呈流塑状, $f_k=100$ kPa。f. 石灰岩, 粗粒结构, 块状构造。岩石坚硬、致密、性脆, 层理产状近于水平。节理、裂隙发育, 岩溶化程度高。

地下水有两层, 即第四系潜水和石灰岩中的岩

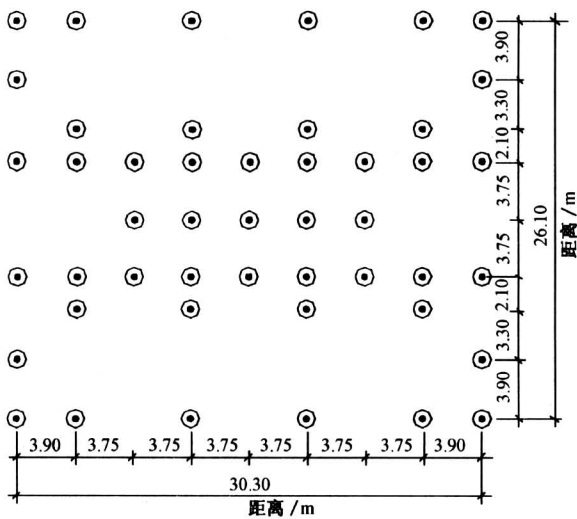


图 1 人工挖孔桩桩位布置图

Fig.1 Position layout of manual digging piles

溶裂隙水。第四系潜水赋存于漂石土层，埋深 5 m 左右，补给来源主要靠大气降水，受季节影响明显，年水位变幅 2~3 m。地下水流向为北西到南东。岩溶裂隙水富集程度受石灰岩岩溶发育程度控制，具承压性，提水过程中有涌砂现象。稳定水位与第四系潜水位持平。

2 岩溶和土洞

2.1 岩溶

受岩性和地下水的控制作用，本场地岩溶很发育。钻孔遇溶洞率 33%，线岩溶率为 6.3%~76.9%，平均线岩溶率为 31.7%。岩溶发育深度一般在基岩面以下 10m 范围，且主要集中地基岩面以下 5m 范围。岩溶形态以溶洞、溶沟、溶槽为主。溶洞一般半充填、充填，充填物为软塑-流塑状粘土，其间混有已扰动风化严重卵石土。溶沟、溶槽一般充填软塑-流塑状粘土和已扰动风化卵石的混合物。

2.2 土洞

由于岩溶裂隙的存在以及地表水和地下水的作用，本场地有土洞发育。在钻探过程中，发现 3 处半充填土洞，充填物为松散土体。

当大气降雨时，地表水渗入地下，补给第四系潜水。潜水遇到土层中的裂隙或原始结构面，将补给岩溶裂隙水。在水流的冲蚀作用下，自上而下形成土洞。当地下通道排泄不畅时，由于水流所携带泥砂的沉积和洞壁浸蚀坍塌，再加上人类活动倾倒

的建筑垃圾等，土洞被充填，处于一种暂时相对稳定状态。

2.3 岩溶土洞对场地稳定性的影响

1) 岩溶岩面起伏，导致其上覆土质地基压缩变形不均。在水平方向上相距很近的二点上，土层厚度相差可达十几米，甚至更大。在土层较厚的溶槽、溶沟底部，往往又有软弱土存在，更加剧了地基沉降的不均匀性。

2) 人工挖孔桩施工作业时，挖到土洞松散土体或基岩面附近流塑-软塑状粘土时，将产生塌孔或涌泥现象，对施工带来不利影响。

3) 岩体洞穴顶板变形造成地基失稳。尤其是一些浅埋、扁平状、跨度大的洞体，其顶板岩体受数组结构面切割，在自然或人为作用下，有可能塌落造成地基的局部破坏。

4) 基岩节理、裂隙发育，岩体完整性差。当桩基坐于独立的岩柱或岩笋顶上时，会影响其承载力和稳定性。

5) 岩溶水的承压性和动态变化对施工和建筑物使用造成不良影响。当人工挖孔桩施工时，若作业面土压力低于岩溶水压力，则会在水压差作用下产生“涌泥”现象。如在场内或附近抽排岩溶水时，将造成岩溶水水力梯度增大和压力水位反复升降，使岩溶水对土层产生潜蚀和搬运作用，形成土洞或扩展土洞，发展到一定程度，将产生地面塌陷或建筑物破坏。

3 处理方案

为了消除岩溶土洞对施工和建筑物的影响，采取压力注浆方案对其进行处理。根据人工挖孔桩桩位布置图，每桩一孔，对地层进行钻孔压力注浆。施工顺序：先施工周边的桩孔，后逐渐向中心推进；先灌注土层，后灌注基岩岩溶裂隙。因漂石层难于钻孔，故在钻孔前按照人工挖孔桩的挖孔要求，先挖除漂石层，再进行钻孔作业。采用 XY-1 型钻机进行钻孔作业；采用 WJ80-1 型联合搅灌机进行制浆、压浆作业。压浆材料采用 425 号普通硅酸盐水泥、氯化钙、河砂和自来水。

4 压力注浆施工工艺

4.1 钻注浆孔

钻孔孔位为人工挖孔桩中心位置（如图 1 所示）。采用合金钻头跟管钻进。先下 $\phi 150$ 、 $\phi 130$

两路套管, $\phi 130$ 套管底端距基岩面 3 m, $\phi 150$ 套管距地面 6 m。当钻至基岩面时, 停钻进行土层压浆。土层压浆结束后, 等孔内水泥浆液凝结, 再清孔钻进基岩, 下 $\phi 110$ 套管至基岩面下 0.5 m。钻进基岩面 0.5 m 时即可终孔, 用 $\phi 110$ 套管对基岩进行压浆。如遇溶洞, 则穿透洞底 0.5 m。

4.2 注水试验

压浆前对孔内进行注水试验, 以测定注浆段的单位吸水率, 用以确定浆液浓度、注浆方式, 并作为工程质量验收的参考依据。单位吸水率是单位注浆段在单位米水柱压力下单位时间里的吸水量, 其大小既反映岩溶裂隙的发育程度, 又反映压浆效果。

4.3 压力注浆

浆液为纯水泥浆加速凝剂(氯化钙), 浆液水灰比为 1:1~1:0.6。为使浆液尽可能控制在加固范围内, 又能保证加固质量, 对吸水率较大的注浆孔采用间歇定量多次注浆。对个别在自流状态下吸浆量较大的注浆孔在注浆的同时加注粗骨料河砂, 并对砂料的投入速度严格控制, 浆砂比一般为 10:1~15:1。这样既避免浆液过多流失, 又防止注浆通道被砂料堵塞。对吸水率较小的注浆孔则采用加压连续注浆。当出现地面冒浆时, 可采用水玻璃进行处理, 以保证注浆压力和压浆效果。

4.4 压浆结束标准

土层压浆孔口压力达到 200 kPa, 基岩压浆孔口压力达到 300 kPa, 单位吸浆量小于 0.5 L/min·m, 且连续 30 min, 可终止压浆。

5 压浆效果评价

1) 在相同地层情况下, 前期施工的压浆量大于后期施工的压浆量。后期钻进注浆孔时, 在岩芯中可见片状、饼状、短柱状水泥。

2) 有一部分孔在压力灌注土层或基岩时, 在孔口 0~50 m 范围内出现冒浆现象。说明岩溶裂隙和土层中的土洞、松散体和裂隙是相联通的, 在压浆时, 溶洞、裂隙、土洞等已被充满, 在压力作用下, 才冒出地表。

3) 风化卵石土中土洞、裂隙被充填, 土体被挤密, 工程地质条件得到了改善, 其指标见表 1。

4) 流塑-软塑状粘土经压浆后, 其强度有明显提高, 呈可塑-硬塑状态。人工挖孔桩挖到此层时, 可见网状、脉状水泥挤入其间。其物理学指

标变化见表 2 所示。

表 1 风化卵石土压浆前后的对比表

Table 1 Contrast table before and after pressure grouting in efflorescent pebble

项目	压浆前	压浆后
动力触探 $N_{63.5}/(\text{击} \cdot 10 \text{ cm}^{-1})$	4~6	5~8
承载力标准值 f_k/kPa	200	250

表 2 粘土物理力学指标压浆前后的对比表

Table 2 Contrast table of the clay physics and mechanics index before and after pressure grouting

项目	压浆前	压浆后
$w/\%$	44.5	35.45
$\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.72	1.83
e	1.40	1.093
$Sr/\%$	90.6	91.45
C/MPa	37.8	76
$\phi/(\circ)$	13.5	18.75
$\alpha_{0.1-0.2}/\text{MPa}^{-1}$	0.54	0.22
E_s/MPa	5.0	9.27
f_k/kPa	100~150	200~300

5) 压浆结束后, 进行人工挖孔桩挖孔作业, 未出现涌水、涌泥、缩孔、塌孔现象, 孔内水量很小, 不用抽排水即可挖孔。47 个桩孔均顺利挖至设计深度, 达到了压浆目的。

6 结束语

隐覆型岩溶地基为不稳定或不良地基, 不经处理在其上进行建筑施工, 将对施工和建筑物的安全性带来危害。通过压浆处理, 封堵了地下水的岩溶裂隙通道, 充填、挤密了上覆土层中的土洞、松散体以及裂隙、裂缝, 阻隔了地表水下渗。没有地表水的补给, 没有地下水流通路径, 地下水活动受阻, 岩溶、土洞就不会再产生、发展。这就从根本上解决了隐覆型岩溶地基对建筑物和工程施工的不良影响。泰安客站配套工程综合服务楼就采用了压浆预处理地基, 工期按计划完成, 总造价比不经压浆预处理地基降低 100 万元左右。由此可见, 压浆预处理这种地基处理方法在技术上和经济上是可行的, 在隐覆型岩溶地区具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 岩土工程手册编写委员会. 岩土工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994

Analysis for the Stability of Covered Karst Base and a Pre-disposing Way with Pressure Grouting

Sun Chengfang¹, Yang Anrong², Dong Hanxiong³, Peng Shaomin⁴

(1. Department of Civil Engineering, Guangxi Institute of Technology, Liuzhou, Guangxi 545005, China;

2. Department of Civil Engineering, Jiangnan Institute of Petroleum, Jingzhou, Hubei 434102, China;

3. The First Survey and Design Institute of the Ministry of Railways, Lanzhou 730080, China;

4. College of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Science and
Technology, Wuhan 430070, China.)

[Abstract] By analysis on the stability of covered karst base, a kind of way, which can be adopted to pre-dispose the covered karst base using pressure grouting, is developed in this paper. The evaluation of grouting effect indicates this way can be carried out economically and technically.

[Key words] karst base; pressure grouting; evaluation of effect

新书推荐

超光速研究新进展

著者黄志洵 2002年6月由国防工业出版社出版 中国工程院陈太一院士及
美国 NEC 基础研究所王力军研究员作序

本书是关于超光速研究方面的系统性的论文集,以研究电磁波和光波的本质为核心。全书分3部分,第1部分主要讲述超光速的理论与实验,介绍了多国(美国、德国、意大利、中国)科学家的贡献,指出王力军博士等人的实验(2000年)主要是回答了有关负群速的问题。此外,讨论了超光速研究中的负能量概念。第2部分涉及与超光速研究有关的一些特殊问题:波粒二象性理论;从EPR思维,Bell不等式到量子信息学;微波异常传播中的负折射率问题;中微子质量的研究进展。第3部分从表面上看与超光速研究关系不大,实际上是互相关联的——这些文章讨论了涉及光本性的著名实验、极慢光速、四维电磁位与电磁场量子化及现代科学中的一些非线性问题。

本书的贡献表现为用不同学科(经典电磁理论、狭义与广义相对论、量子力学、量子电子学、量子光学、快子动力学、EPR思维、量子场论、色散理论、微波技术等)的方法从多角度论述超光速科学问题。

本书可供广大科研人员、工程技术人员、大专院校师生、科学爱好者阅读,对于电子学家、物理学家特别有参考价值。

本书定价 22.0元/册

购买方法:请与国防工业出版社发行部联系,邮购电话:(010)68466644,68465544;E-mail:ndip@public3.bta.net.cn。地址:北京市海淀区紫竹院南路23号(邮编 100044);开户行:工行北京百万庄分理处,账号:02000014090890016-78;邮费:外埠按总书款的15%,本市10%。