

# 岩溶地区岩土工程勘察及地基处理措施

鄢略剑\*

(贵州省煤田地质局一五九队, 贵州 盘州 553500)

**摘要:**在岩溶地区进行岩土工程勘察时,岩溶发育地区存在很大的隐蔽性和不确定性,给岩溶勘察工作带来了极大的困难。为更好进行工程项目施工,前期岩土工程勘察工作是一项极其基础的工作。岩溶地区地质条件复杂,岩土工程勘察工作难度较高,风险系数较大,进行勘察时需要扎实的专业技术支撑。再加上溶洞的发育情形和大小等都和勘察结果紧密联系,就需对其质量进行严格掌握,使用恰当的岩溶勘察技术,以某岩土工程勘察项目为例,对碳酸盐岩地区岩土工程勘察及场地进行分析评价。

**关键词:**岩溶地区;岩土工程;勘察钻探技术

**中图分类号:**TU195 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-5716(2025)01-0035-04

## 1 概述

岩溶地区是指可溶岩、碳酸盐岩发育地区,形成岩溶需满足以下条件:①有可溶岩的存在;②有流动的地下水;③有地下水运移的通道。由于岩溶的存在给工程建设带来极大的不安全因素,造成地基的不稳定,现代城市建设进程速度加快,在岩溶地区进行工程建设活动越发频繁,因此加强对岩溶地区岩土工程勘察的研究显得尤为重要。本文从岩溶地区岩土工程勘察的方法、场地评价、地基处理等主要方面对岩溶地区展开研究<sup>[1]</sup>。

## 2 岩溶地区勘察

根据岩土工程勘察等级、勘察任务要求、建筑物规模及场地特点,本次碳酸盐岩地区岩溶勘察主要以工程地质测绘和调查、工程测量、钻孔布置及工程钻探、岩土采样与试验等综合手段进行勘察,详细介绍如下。

### 2.1 工程地质测绘和调查

工程地质测绘和调查:岩溶地形地貌调查、地层岩性、水文地质调查、测量及试验等内容的野外调查,能够从宏观上把握岩溶发育的分布和特点,并据此进一步进行工程地质勘探工作,该方法简单,方便实用,能获得直观的野外工程地质基础资料,用以指导钻探施工。

### 2.2 工程测量

工程测量:根据设计部门提供的总平面布置图及钻孔平面图将设计的建筑物平面位置和高程,在地面上标定出来,作为施工的依据。准确地确定钻孔位置、

地下水水位和岩溶分布特征,为设计部门进行施工图设计提供可靠的依据。通过工程测量可以控制工程施工质量,包括水平面、垂直面、平面曲线和立面曲线等。

### 2.3 钻孔布置及工程地质钻探

(1)钻孔布置:为了更准确地查明场地内岩溶的分布及场地的稳定性,为地基基础设计提供可靠的依据,根据建设单位提供的总图及钻孔平面布置图,结合对周边建筑物的调查、现场实际情况,本次勘察采用一柱一孔方案进行勘探点的布置:本次共布置机钻孔204个,控制性钻孔占勘探点总数的1/3,钻孔间距在4.05~8.10m之间。

(2)工程地质钻探:根据场地岩土工程条件、结合建筑物特征、《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009年版)及《贵州省建筑岩土工程技术规范》(DBJ52/T046-2020),用以直接鉴定场地岩土类别、厚度,并利用其进行地下水位观测,采集岩土样进行室内岩样单轴饱和抗压试验和室内土工试验及原位测试实验<sup>[2]</sup>。

①钻进方式:土层冲击方式钻进,基岩采用金刚石钻头、清水回转方式钻进。土层回次进尺不大于0.50m,岩层回次进尺不大于1.0m,按工程地质钻探标准每个回次贴好岩芯牌,并按标准摆放,拍照存档。

②钻探质量:满足《工程地质钻探标准》(CECS240:2008)和《建筑工程地质勘探与取样技术规程》(JGJ/T87-2012)要求。

\* 收稿日期:2024-05-31

作者简介:鄢略剑(1992-),男(汉族),贵州盘州人,助理工程师,现从事工程地质岩土工程勘察方面的工作。

③勘探深度:根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009年版)4.1.8条和4.9.4条及《贵州省建筑岩土工程技术规范》(DBJ52/T046-2018)表6.2.4规定,结合勘察合同,拟建场地一般性钻孔孔深进入到基础底面以下3D(3倍桩径),且进入中风化基岩5.00m以上,控制性钻孔进入到基础底面以下5D,且进入中风化基岩8.00m以上。在钻探过程中,根据具体地质条件,如遇岩溶或地层特别破碎等特殊情况下,应按照上述要求加深钻孔深度,且应在岩溶洞隙发育规模较大的位置适当增加钻孔做补充勘察,查明该岩溶洞隙的分布范围、形态和发育规律,以便于对地基基础的设计及岩溶的分析评价提出合理的建议。

2.4 岩土采样与试验

岩土采样与实验:了解岩土体相关的物理力学参数,如岩石的饱和块体密度、饱和状态单轴抗压强度等指标;土的天然含水量、密度、孔隙比、饱和度、液限、塑限、塑性指数、液性指数、含水比、内摩擦角、内聚力、压缩系数、压缩模量等指标,为设计提供基础依据。

3 岩溶场地岩土特征

根据本次勘察表明,场地地层岩土构成自上而下为:黏土、基岩,现分述如下:

(1)土层。黏土( $Q_4^{al+dl}$ ):黄褐色,可塑,块状构造,结构较紧密,见网状裂隙,韧性中等,切面稍有光泽,裂隙为1~2条/m,局部含少量碎石团块。厚度为1.2m~3.61m,平均厚度约为2.67m,分布不均,整个拟建场区均有分布。

(2)基岩。场地下伏基岩为三叠系下统茅口组( $P_{1m}$ )灰岩:

强风化灰岩:灰—浅灰色,中厚层状,块状构造,脆性、较破碎,节理裂隙较发育,岩体较破碎,岩芯呈粉末状、短柱状。厚度为0.4~0.9m,平均厚度约为0.64m,分布不均。

中风化灰岩:灰—浅灰色,中厚层状,块状构造,脆性、较破碎,节理裂隙较发育,岩体较破碎,岩芯呈柱状、短柱状。根据饱和单轴抗压试验,其单轴抗压强度标准值为29.446MPa,较破碎,属较软岩。根据《岩土工程勘察规范》GB50021-2001(2009版)表3.2.2-3拟建场地中风化岩体基本质量等级可定为Ⅳ类。

4 岩土体物理力学特征

4.1 土质单元质量特征及其物理力学指标

黏土:本场地黏土较薄,主要呈硬塑状,平均厚度约为2.67m,本次勘察在黏土层中取原状土样9件进行了土工试验,其物理力学指标计算如下<sup>[3]</sup>:

根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009版)和《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)5.2.5条,假设 $b=3.00m$ , $d=1.00m$ ,由下式确定:

$$f_{ak} = M_b r b + M_d r_m d + M_c C_k$$

式中: $f_{ak}$ ——由土的抗剪强度指标确定的地基承载力特征值;

$M_b$ 、 $M_d$ 、 $M_c$ ——承载力系数;

$b$ ——基础底面宽度;

$C_k$ ——基底下一倍短边宽深度内土的黏聚力标准值;

$\gamma_m$ ——基础底面以上土的加权平均重度,地下水位以下取浮重度,详见表1。

表1 场地可塑状红黏土物理力学指标统计计算表

| 天然含水量(%) | 重度(kN/m <sup>3</sup> ) | 比重(Gs)    | 孔隙比e <sub>0</sub> | 液限(%)     | 塑限(%)     | 塑性指数      | 含水比a <sub>w</sub> | 内聚力(kPa)  | 内摩擦角(°) | 压缩系数(MPa <sup>-1</sup> ) | 压缩模量(MPa) |
|----------|------------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-----------|---------|--------------------------|-----------|
| 12       | 12                     | 12        | 12                | 12        | 12        | 12        | 12                | 12        | 12      | 12                       | 12        |
| 44~55.6  | 16.8~17.8              | 2.72~2.74 | 1.2208~1.5378     | 55.9~72.5 | 30.2~42.5 | 24.6~32.5 | 0.73~0.79         | 39.4~48.2 | 7.1~8.6 | 0.36~0.52                | 4.8~6.2   |
| 49.65    | 17.308                 | 2.734     | 1.366             | 65.275    | 37.492    | 27.783    | 0.762             | 43.25     | 7.783   | 0.427                    | 5.583     |
| 3.903    | 0.348                  | 0.007     | 0.112             | 5.843     | 3.846     | 2.526     | 0.022             | 2.768     | 0.508   | 0.054                    | 0.447     |
| 0.079    | 0.02                   | 0.003     | 0.082             | 0.09      | 0.103     | 0.091     | 0.029             | 0.064     | 0.065   | 0.126                    | 0.08      |
|          |                        |           |                   |           |           |           |                   | 0.966     | 0.966   |                          |           |
|          |                        |           |                   |           |           |           |                   | 41.78     | 7.518   |                          |           |

根据9件土样试验统计结果,按《贵州建筑地基基础设计规范》(DB22/46-2004)表3.1.2-1黏土的状态分类,场地黏土主要为可塑黏土。按《贵州建筑岩土工程技术规范》(DB22/46-2004),对黏土的 $C_k$ 、 $\varphi_k$ 进行修正,得 $C_k=41.78kPa$ , $\varphi_k=7.518^\circ$ 。结合《贵州建筑地基基础设

计规范》(DB22/45-2004)表4.2.6及公式4.2.6得: $M_b=0.08$ , $M_d=1.32$ , $M_c=3.61$ ,取 $\gamma=17.308kN/m^3$ , $C_k=41.78kPa$ ,假设基础宽 $b=3.00m$ ,基础埋深 $d=0.50m$ ,根据公式4.2.6计算得出地基黏土承载力特征值 $f_{ak}=166.602kPa$ 。因此,推荐场地可塑状黏土承载力特征值 $f_{ak}=160kPa$ ,

$C_k=41.78\text{kPa}$ ,  $\varphi_k=7.518^\circ$ ,  $\gamma=17.308\text{kN/m}^3$ ,  $E_s=5.583\text{MPa}$ , 建议本场地可塑状黏土的承载力特征值为 $f_{ak}=160\text{kPa}$ 。

4.2 岩质单元地基承载力参数

中风化灰岩:本次勘察在岩层中取中风化灰岩岩样6件进行了密度、饱和单轴抗压强度。按《岩土工程

勘察规范》(GB50021-2001)2009版中的规定统计计算,结果见表2:

根据表2的计算结果,中风化灰岩的饱和单轴抗压强度标准值为 $29.446\text{MPa}$ ,属较硬岩,取折减系数 $\psi=0.11$ 算得场地中风化灰岩地基承载力特征值为:

表2 岩体单元室内试验指标统计表

| 岩土单元  | 指标                      | 统计数 | 区间值           | 平均值    | 标准差   | 变异系数  | 统计修正系数 | 标准值    |
|-------|-------------------------|-----|---------------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 中风化灰岩 | 饱和容重( $\text{kN/m}^3$ ) | 6   | 26.49 ~ 27.34 | 26.922 | 0.337 | 0.013 |        |        |
|       | 饱和单轴抗压强度(MPa)           | 6   | 27.9 ~ 36.7   | 32.217 | 3.361 | 0.104 | 0.914  | 29.446 |

备注:本次试验样品高径比均为2:1

$f_a=\psi\times f_{rk}=0.11\times 29.446=3.239(\text{MPa})=3239(\text{kPa})$

根据临近建筑经验结合本次实验数据,综合建议本场地中风化灰岩地基承载力特征值 $f_a=3200\text{kPa}$ 。

5 场地分析评价

5.1 场地稳定性与地基适宜性评价

5.1.1 场地总体稳定性评价

场地及周围地形开阔平坦,无地面变形迹象,历史上也未发生过滑坡、崩塌、泥石流;地层平缓,场地周边无活动性断层通过,地层分布连续,岩性稳定,为抗震有利地段<sup>[4]</sup>。根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010),以及《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015),长顺地区地震烈度属为Ⅵ度区,设计地震分组为第一组,设计基本地震加速度值为 $0.05g$ ,设计特征周期值为 $0.35s$ ,而灰岩有较好的抗震性能,场地及区域的稳定性良好,适宜建筑。

5.1.2 岩土建设适宜性评价

拟建物为刚架结构,对地基质量要求一般,场地可塑黏土,具有一定厚度,但其承载力较低,若采用可塑黏土作为地基持力层,建议使用条形基础;场地回填到设计标高以后,对回填较深的部分基础,采用与可塑黏土力学性质一致的材料换填,换填材料由设计出具。强分化灰岩硬度不高,且承载力低,分布不均匀,不宜作为持力层。中风化灰岩岩性稳定分布连续,力学性能好,是理想的持力层。经安全及经济性综合分析,建议选择中风化灰岩作为持力层。

5.2 场地工程环境稳定性评价

拟建场地地下、地表均无建筑,场地北侧为母鸡坝水库,相距 $4\text{m}$ ,且场地相对水库较高,施工时做好排水工作,避免对水库水质造成污染。

5.3 场地岩土的地震效应评价

场地土层由黏土组成,厚度从 $\pm 0.00\text{m}$ 计算一般小

于 $3\text{m}$ ,其覆盖层小于 $3\text{m}$ 。根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010),场地类型可划分为中硬土,下伏为坚硬岩石,场地类别为Ⅱ类。根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010),以及《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015),长顺地区地震烈度属于Ⅵ度区,设计地震分组为第一组,设计基本地震加速度值为 $0.05g$ ,设计特征周期值为 $0.35s$ 。设计应按相关规定设防。

5.4 腐蚀性评价

(1)地下水腐蚀性评价。结合《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009年版)12.2.1节、12.2.2节腐蚀性评价标准,根据场地周边建筑工地的工程经验,可知地下水对混凝土及混凝土中钢筋具有微腐蚀性作用。

(2)土质腐蚀性评价。场区内上覆土层主要为黏土,且场地附近无污染源,故根据地区经验可知场地土对混凝土结构及混凝土中钢筋具有微腐蚀性作用。

5.5 地基均匀性评价

建设场地内黏土厚度较薄,厚度较均匀、连续;强风化灰岩厚度小,不均匀,建筑物采用中风化灰岩作地基持力层,中风化灰岩无压缩性,建筑物基本无沉降变形,地基均匀性好。

6 地基及基础方案分析建议

6.1 持力层的选择

拟建场地上黏土层分布较均匀,承载力较低,拟建物最大为3F的钢架结构,对地基的强度要求一般,可用可塑黏土作为地基持力层,建议使用条形基础;场地回填到设计标高以后,对回填较深的部分基础,采用与可塑黏土力学性质一致的材料换填,换填材料由设计出具。本场地中风化灰岩埋深较浅,均匀性及稳定性均较好,地基承载力较高,为场地内最佳地基



持力层<sup>[5]</sup>。

6.2 基础方案建议

场地按设计进行场平标高开挖后,场地上覆土较薄,根据场地地质条件、岩体地基的质量特征及岩溶发育规律,结合上部结构的荷载特点,可考虑采用人工成孔。场区地基基础方案论述如下:

(1)采用人工挖孔桩及独立基础,自±0.00m 标高

起,基础埋深小于3.0m,从科学安全、经济合理的角度考虑,建议采用独立柱基;基础埋深大于3.0m,建议采用桩基础。人工挖孔桩施工安全性较差,应做好施工安全防护措施,如护壁严格按照要求施工,做好孔口防护,严防掉渣。如遇雨季施工,应做好孔内抽排水及送风工作,确保人身安全。人工挖孔桩基础设计有关岩土参数见表3。

表3 桩基础设计参数表

| 岩土单元  | 重度<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | 内聚力<br>标准值(kPa) | 内摩擦角<br>标准值(°) | 抗压强度标<br>准值 $f_{ak}$ (MPa) | 承载力<br>特征值 $f_a$ (kPa) | 压缩模量<br>$E_0$ (MPa) | 备注 |
|-------|----------------------------|-----------------|----------------|----------------------------|------------------------|---------------------|----|
| 黏土    | 17.308                     | 41.78           | 7.518          |                            | 160                    | 5.583               | 实测 |
| 中风化灰岩 | 29.446                     |                 |                |                            | 3200                   |                     | 实测 |

7 结束语

(1)拟建物以中风化灰岩作地基基础持力层,中风化灰岩地基承载力特征值为 $f_a=3200\text{kPa}$ ,采用独立基础及桩基础形式。

(2)拟建物荷载较小,也可采用黏土作为地基持力层,建议采用条形基础,在部分回填较深的地段,建议挖至黏土层后,采用与黏土力学性质一致的材料换填,换填材料由设计出具。

(3)场地环境稳定性良好,岩体地基的稳定性也较好,岩溶发育对场地岩体地基的稳定性有一定的影响,通过合理选择基础形式及地基基础处理,场地是适宜建筑的。

(4)针对拟建场区,在后期场平至±0.00m 标高时需进行回填地段,建议换填材料宜选用满足相关施工规

范要求及设计要求的碎石类土、砂土或爆破石渣进行回填,且回填时需进行分层碾压,建议压实系数 $\lambda_c$ 不小于0.94。

参考文献:

[1] 李振华.岩溶地区工程地质勘察中地基处理的桩基形式[J].地球,2012(10):69-69,71.

[2] 谢文.岩溶地区的工程地质勘察方法研究[J].城市建设理论研究(电子版),2013(14).

[3] 刘湛省.岩溶地区铁路工程地质勘察浅探[J].西部探矿工程,2010,22(7):104-106.

[4] 石东虹,段辉云.深度探讨岩溶地区工程地质勘察的合理方法[J].科技资讯,2010(4):33-34.

[5] 杨艳琼.岩溶地区的工程地质勘察方法探讨[J].企业技术开发(学术版),2009,28(4):74-76.