

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2010 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2010〕43 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制本标准。

本标准共分 7 章和 4 个附录,主要技术内容是:总则、术语和符号、基本规定、勘察与评价、地基计算和基础设计、岩溶地基处理与施工、检验与监测等。

本标准由住房和城乡建设部负责管理,由华东交通大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送华东交通大学土木建筑学院(地址:江西省南昌市双港东大街 808 号,邮政编码:330013)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:华东交通大学

江西中煤建设集团有限公司

参 编 单 位:江西省建筑设计研究总院

中国建筑科学研究院

贵阳建筑勘察设计有限公司

深圳市粤鹏建筑设计有限公司

唐山市规划建筑设计研究院

深圳市勘察研究院有限公司

江西省勘察设计院

河北省建筑科学研究院

贵州理工学院

湖南大学

广州大学

合肥工业大学

广西电力工业勘察设计研究院

江西省地质工程(集团)公司

中交第一公路勘察设计研究院有限公司

主要起草人: 郑福焱 钱力航 湛润水 黄志广 高文生
陈 进 宋泽华 蒋 伟 袁志英 刘小敏
曾马荪 宋建波 张振栓 赵明华 郝江南
陈忠平 周光孔 杨成斌 张和平 江中乐
曹忠民 邬国锋 吴春萍 张红芹 刘晓明
王冠亚 张留俊 刘洪春

主要审查人: 龚晓南 顾晓鲁 宫剑飞 刘汉龙 康景文
柳建国 裴 捷 周同和 卢玉南 唐建华
刘献刚

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(5)
4	勘察与评价	(7)
4.1	一般规定	(7)
4.2	红黏土地基	(8)
4.3	岩溶地基	(11)
4.4	地下水	(15)
5	地基计算和基础设计	(18)
5.1	一般规定	(18)
5.2	地基稳定性计算	(19)
5.3	地基基础设计	(22)
5.4	抗浮设计	(24)
5.5	基坑工程设计	(25)
6	岩溶地基处理与施工	(28)
6.1	一般规定	(28)
6.2	充填法	(29)
6.3	跨越法	(30)
6.4	桩基法	(31)
6.5	高压喷射注浆法	(31)
6.6	褥垫层法	(33)
6.7	其他处理方法	(33)

7 检验与监测	(35)
7.1 一般规定	(35)
7.2 检验	(36)
7.3 监测	(37)
附录 A 红黏土、石芽、溶蚀、溶洞分类表	(40)
附录 B 石芽地基或基岩的稳定计算	(43)
附录 C 溶洞的稳定计算	(45)
附录 D 泡沫轻质土充填处理的配合比	(48)
本标准用词说明	(50)
引用标准名录	(51)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(5)
4	Survey and evaluations	(7)
4.1	General requirements	(7)
4.2	Red clay subgrade	(8)
4.3	Karst subgrade	(11)
4.4	Groundwater	(15)
5	Foundation calculation and foundation design	(18)
5.1	General requirements	(18)
5.2	Stability calculation of foundation	(19)
5.3	Foundation design	(22)
5.4	Anti-floating design	(24)
5.5	Excavation engineering design	(25)
6	Foundation treatment	(28)
6.1	General requirements	(28)
6.2	Packing method	(29)
6.3	Cross method	(30)
6.4	Pile foundation method	(31)
6.5	GROUTING consolidation	(31)
6.6	Mattress layer method	(33)
6.7	Other processing method	(33)

7	Inspection and monitoring	(35)
7.1	General requirements	(35)
7.2	Inspection	(36)
7.3	Monitoring	(37)
Appendix A	Classification of red clay,clint,karst and caves	(40)
Appendix B	Stability calculation of clint subgrade and bedrock	(43)
Appendix C	Stability calculation of cave	(45)
Appendix D	Mix proportion of foamed lightweight soil	(48)
	Explanation of wording in this standard	(50)
	List of quoted standards	(51)

1 总 则

1.0.1 为在岩溶地区地基基础设计与施工中贯彻执行国家的技术经济政策,做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量、保护环境,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于岩溶地区建筑工程的勘察和地基基础的设计、施工与检测。

1.0.3 岩溶地区建筑地基基础设计与施工,应进行岩土工程勘察与评价,综合考虑工程结构类型、材料与施工条件等因素,因地制宜,精心设计与施工。

1.0.4 岩溶地区建筑工程的勘察和地基基础的设计、施工与检测,除应符合本标准的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 岩溶 karst

可溶性岩层被水长期溶蚀而形成的各种地质现象和形态,又称喀斯特。

2.1.2 岩体结构面 rock discontinuity structural plane

岩体内开裂和易开裂的面,如层面、节理、断层、片理等,又称不连续构造面。

2.1.3 土岩组合地基 soil-rock composite subgrade

在建筑地基主要受力层范围内,有下伏基岩表面坡度较大的地基;石芽密布并有出露的地基;大块孤石或个别石芽出露的地基。

2.1.4 红黏土地基 red clay subgrade

地基主要受力层由碳酸盐岩系露出的岩石经红土化作用形成的颜色为棕红、褐黄色的高塑性黏土组成的地基。

2.1.5 岩溶地基 karst subgrade

岩体中存在溶洞、溶蚀裂隙,或岩体表面在石芽、溶沟(槽)、溶蚀漏斗,或覆盖层中存在可溶岩类残积土(包括经搬运沉积次生的沉积土、冲积土)、伴生土洞等不良地质现象的地基。

2.1.6 石芽地基 clint subgrade

由溶沟(槽)间突起的石芽与红黏土在水平方向上交替分布组成的地基。

2.1.7 溶洞地基 cave subgrade

岩体中存在溶洞的岩石地基。

2.1.8 溶蚀(裂隙、漏斗)地基 dissolution (fractures,funnel)

subgrade

基础持力层为溶蚀(裂隙、漏斗)岩石的地基。

2.1.9 发泡倍率 foaming ratio

泡沫与产生该泡沫的发泡剂原液的体积比。

2.1.10 大气影响急剧层深度 depth of climate influenced markedly layer

在自然气候作用下,由降水、蒸发地温等因素引起的升降变形的有效深度。

2.2 符 号

2.2.1 作用及作用效应:

E_a ——主动土压力;

F ——浮力作用值;

G ——恒载;

M ——作用于基础底面的力矩或截面的弯矩;

p ——基础底面处平均压力;

p_o ——基础底面处平均附加压力;

Q_k ——相应于荷载效应标准组合时,桩基中单桩所受竖向力。

2.2.2 材料性能和抗力:

c ——黏聚力;

E_s ——土的压缩模量;

e ——孔隙比;

f_a ——修正后的地基承载力特征值;

f_{ak} ——地基承载力特征值;

f_{rk} ——岩石饱和单轴抗压强度标准值;

q_{pa} ——桩端土的承载力特征值;

q_{sa} ——桩周土的摩擦力特征值;

R_a ——单桩竖向承载力特征值;

γ ——土的重力密度,简称土的重度;

ν ——泊松比；
 φ ——内摩擦角；
 w ——土的含水量；
 w_L ——液限；
 w_p ——塑限。

2.2.3 几何参数：

A ——基础底面面积；
 b ——基础底面宽度(最小边长),或力矩作用方向的基础底面边长；
 d ——基础埋置深度,桩身直径；
 H_o ——基础高度；
 H_f ——自基础底面算起的建筑物高度；
 H_g ——自室外地面算起的建筑物高度；
 L ——房屋长度或沉降缝分隔的单元长度；
 l ——基础底面长度；
 s ——沉降量；
 u ——周边长度；
 z_n ——地基沉降计算深度；
 z_0 ——标准冻深。

2.2.4 设计参数和计算系数：

α ——压缩系数；
 $\bar{\alpha}$ ——平均附加应力系数；
 β ——边坡与水平面的坡角；
 δ ——填土与挡土墙墙背之间的摩擦角；
 δ_r ——填土与稳定岩石坡面之间的摩擦角；
 θ ——地基的压力扩散角；
 μ ——土与挡土墙基底之间的摩擦系数；
 η_b ——基础宽度的承载力修正系数；
 η_d ——基础埋深的承载力修正系数；
 ψ_s ——沉降计算经验系数。

3 基本规定

3.0.1 岩溶地区地基基础的设计等级应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

3.0.2 岩溶地区的勘察应查明建设场地岩溶的发育程度和分布规律、地基岩土的工程特性和地下水埋藏条件,并应对场地及地基做出综合评价。

3.0.3 岩溶发育程度的划分应符合表 3.0.3 的规定。

表 3.0.3 岩溶发育程度

等 级	岩溶场地条件
岩溶强发育	地表有较多岩溶塌陷、漏斗、洼地、泉眼; 溶沟、溶槽强发育,石芽密布,相邻钻孔间存在临空面且基岩面高差大于 5m; 地下有暗河、伏流; 钻孔见洞(隙)率大于 30%或线岩溶率大于 20%; 溶槽或串珠状竖向溶洞发育深度达 20m 以上
岩溶中等发育	介于强发育和弱发育之间
岩溶弱发育	地表无岩溶塌陷、漏斗; 溶沟、溶槽弱发育; 相邻钻孔间存在临空面且基岩面相对高差小于 2m; 钻孔见洞(隙)率小于 10%或线岩溶率小于 5%

3.0.4 岩溶地区的地基根据地层组成状况可分为下列类型:

1 土质地基:根据土的特性可分为红黏土地基、软土地基、填土地基和混合土地基;

2 土岩组合地基:根据岩土组合特征可分为半岩半土、多岩少土、多土少岩、上岩下土等土与岩石组合的地基;

3 岩溶地基:根据埋藏条件可分为裸露型、浅覆盖型、深覆盖型和埋藏型等地基;根据岩溶发育条件可分为溶洞地基、溶沟(槽)地基、溶蚀(裂隙、漏斗)地基、石芽地基、土洞地基;

4 岩石地基。

3.0.5 地基基础设计等级为甲、乙级的建筑物宜避开岩溶强发育的地段。存在下列情况之一且未经处理不应作为建筑物地基:

1 浅层溶洞成群分布,洞径大,洞体不稳定的地段;

2 溶沟(槽)、溶蚀(裂隙、漏斗)、石芽等强发育,其中充填物为软弱土体的地段;

3 溶洞、土洞以及塌陷等岩溶强发育的地段;

4 岩溶水排泄不畅,可能造成场地淹没的地段;

5 导水构造破碎带或断层交汇的地段;

6 岩溶中等发育且存在层流、越流潜蚀形成土洞条件的地段。

3.0.6 地基基础设计时,所采用的作用效应与相应的抗力限值应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

3.0.7 岩溶地区地基基础的勘察、设计尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

4 勘察与评价

4.1 一般规定

4.1.1 岩溶地区工程勘察应根据工程重要性、场地和地基复杂程度划分为甲级、乙级和丙级,并应符合下列规定:

1 甲级:在工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级中,有一项为一级;

2 乙级:除甲级和丙级以外均为乙级;

3 丙级:在工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级均为三级。

4.1.2 工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级的划分应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定。

4.1.3 岩溶地区红黏土的状态、结构、复浸水特性和均匀性分类应符合本标准第 A.0.1 条~第 A.0.4 条的规定,石芽地基根据空间产状分类并应符合本标准第 A.0.5 条的规定。

4.1.4 岩溶地区的岩土工程勘察应综合运用工程地质测绘和调查、钻探、物探、原位测试等,查明下列内容:

1 拟建场地的地形地貌、地质构造、地层岩性与产状;

2 岩溶发育的特征及主要影响因素;岩溶类型、发育程度、形态、大小、分布、充填情况,发育成因;

3 岩溶顶板和覆盖层厚度、性质,岩面起伏、形态;

4 地下水赋存条件、类型,动态特征,水位变化,补给、径流、排泄条件,地表水与地下水、覆盖层与岩层之间的水力联系;

5 溶洞、土洞和塌陷的成因及其发展趋势;

6 溶沟(槽)地基、溶蚀漏斗地基、石芽地基、溶洞(隙)地基、土洞岩溶地区地基的治理经验。

4.1.5 岩溶地区勘察报告除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定外,应重点评价下列内容:

1 拟建场地岩溶地下水的赋存、动态、补给、径流、排泄条件,地表水、覆盖层地下水与岩溶地下水之间的水力联系;

2 岩溶发育的成因类型、发育程度、形态和分布特征;溶洞充填程度与充填物;覆盖层厚度、性质;

3 溶洞(隙)、溶沟(槽)、溶蚀漏斗、石芽、土洞、岩面形态、岩溶顶板和覆盖层等岩溶地基的稳定性评价;

4 溶洞、土洞和塌陷的成因及其发展趋势;

5 对岩溶中等发育和强烈发育的浅覆盖层岩溶地基,当基岩面上部存在软弱土、混合土和易产生潜蚀土层时,应评价地下水的渗流与土洞塌陷的形成、发育关系,分析评价地基土的稳定性;对稳定性不良地段,应提出工程治理措施;

6 溶洞(隙)地基、溶沟(槽)地基、溶蚀漏斗地基、石芽地基、土洞地基的处理措施和基础方案的建议,降水排水截渗方案的建议,基坑开挖与支护方案的建议等;

7 岩溶治理设计所需岩土参数,建筑地基基础、地下水等监测要求的建议。

4.2 红黏土地基

4.2.1 红黏土地基工程勘察应包括下列内容:

1 不同地貌单元红黏土的分布、厚度、组成、性质等特征及其差异;

2 下伏基岩岩性、岩溶发育特征及其与红黏土的性质、厚度变化的关系;

3 地裂缝分布、发育特征及其成因、土体结构特征,土体中裂隙的密度、深度、延展方向及其发展规律;

4 地表水及地下水的分布、动态变化;

5 红黏土状态竖向分带,并确定大气影响急剧层深度;

6 既有工程经验。

4.2.2 红黏土地基的勘探孔应沿建(构)筑物轴线布置,各勘察阶段勘探孔的间距和勘探孔的深度应符合下列规定:

1 初步勘察勘探孔间距宜取 30m~50m,其中控制性勘探孔宜为勘探孔总数的 1/5~1/3,且每个地貌单元均应有控制性勘探孔;对均匀地基,勘探孔的深度可按表 4.2.2 确定;对不均匀地基,勘探孔应深入稳定分布的岩层。

表 4.2.2 初步勘察勘探孔深度(m)

勘察等级	一般性勘探孔	控制性勘探孔
甲级	≥ 15	≥ 30
乙级	10~15	15~30
丙级	6~10	10~20

2 对均匀地基详细勘察勘探孔的间距宜取 12m~24m,对不均匀地基宜取 6m~12m,独立基础宜按一柱一孔布置,勘探孔施工顺序宜先疏后密,先鉴别土性后取土试样。

3 详细勘察的勘探孔深度应大于红黏土地基主要受力层的深度,对于条形基础不应小于基础底面宽度的 3 倍,对于单独柱基不应小于基础底面宽度的 1.5 倍,且不应小于 5m。

4 对高层建筑和需进行变形计算的地基,详细勘察控制性勘探孔不应少于勘探孔总数的 1/3;控制性勘探孔的深度应大于地基变形计算深度。

5 当基础底面下红黏土层厚度小于地基变形计算深度时,详细勘察深度应按本标准第 4.3.7 条的规定执行。

6 在浅层岩溶发育地区的红黏土中分布有土洞、软弱土时,应采用物探方法初步查明土洞的成因、形态、规模和下伏基岩岩溶发育状况,并应采用加密、加深勘探孔的方法验证确定,勘探孔进入土洞或溶洞洞底完整土(岩)层的深度不应小于 3m。

4.2.3 初步勘察时取土试样和进行原位测试的勘探孔宜为勘探孔总数的 1/4~1/2,采取土试样和进行原位测试的数量均不应少

于 6 个(组);详细勘察取土试样和进行原位测试的勘探孔不应小于全部勘探孔的 $1/2$,且每栋主要建筑物不应少于 3 个;钻探取土试样孔的数量不应少于勘探孔总数的 $1/3$;采取土试样和进行原位测试的数量均不应少于 6 个(组)。

4.2.4 红黏土的勘探、取样、测试应符合下列规定:

- 1 钻探施工应采用干作业;
- 2 鉴别孔质量等级为Ⅲ、Ⅳ级的取样孔,可采用锤击钻进方式;
- 3 质量等级为Ⅰ、Ⅱ级的土样,应采用静压法、重锤少击法、探井取样法;
- 4 质量等级为Ⅰ、Ⅱ级的土样和原位测试位置 1.0m 以内的深度不得采用锤击钻进;
- 5 对红黏土地裂缝的勘探应采用井探或槽探,钻孔和探井(槽)工作完成后,应及时回填;
- 6 原位测试应根据土性采用静载荷试验、标准贯入、轻型圆锥动力触探、静力触探、旁压试验或十字板剪切试验;
- 7 室内试验除测定红黏土一般的物理力学性质指标外,对裂隙发育的红黏土尚应进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验;评价边坡稳定性时,宜进行重复剪切试验;判别红黏土的胀缩性时应做自由膨胀率试验、膨胀试验、收缩试验,并宜做复浸水试验;
- 8 土试样质量等级的划分应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定。

4.2.5 红黏土的地基承载力特征值应采用静载荷试验和其他原位测试、理论公式计算并结合当地经验等方法综合确定。

4.2.6 当基础浅埋、外侧地面倾斜或有临空面以及存在较大的水平荷载时,红黏土地基的承载力应结合下列因素综合确定:

- 1 土体结构和裂隙对承载力的影响;
- 2 开挖面长时间暴露、裂隙发展和浸水对承载力的影响;
- 3 地表水渗入深度的影响;

4 临空面水平荷载对承载力的影响。

4.2.7 红黏土的胀缩性评价应符合下列规定：

1 轻型建筑物的基础埋置深度应大于当地大气影响急剧层深度；

2 炉窑等高温设备的基础应分析地基土不均匀收缩变形的影响；

3 开挖明沟时，应分析土体干湿循环过程胀缩的影响；

4 基坑开挖时，宜采取保湿措施，边坡应及时维护，防止失水干缩。

4.2.8 红黏土地基岩土工程评价应符合下列规定：

1 根据工程需要划分红黏土类型的空间分布，并应分别提出特性参数及工程评价；

2 分析地表水、地下水、红黏土裂隙及土洞发育特征，评价场地有无土洞形成的可能性；

3 分析地表水、滞水、土岩界面水、岩溶水分布及相互连通补给关系，评价其对基坑工程、基础施工及建筑地基正常使用的影响；

4 评价场地内地裂缝分布和发育规律，并应对密集带或深长地裂缝提出避让或处理建议；

5 评价石芽露出地段地表水下渗、冲蚀对地基的影响，并提出处理建议；

6 在大范围挖方区，应提出保湿和防浸泡措施和建议；

7 对一般轻型建(构)筑物，应确定大气影响急剧层的深度，提出基础埋深建议。

4.3 岩溶地基

4.3.1 岩溶场地岩土工程勘察宜分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察和施工勘察等阶段，并应符合下列规定：

1 可行性研究勘察应调查溶洞(隙)、溶沟(槽)、石芽、溶蚀漏

斗、伴生土洞塌陷等岩溶发育条件,并对其危害程度和发展趋势做出判断,对场地的稳定性和工程建设的适宜性做出评价;

2 初步勘察应初步查明溶洞(隙)、溶沟(槽)、石芽、溶蚀漏斗、伴生土洞塌陷的分布、发育程度和发育规律,并对建筑地段的稳定性和适宜性做出评价;

3 详细勘察应查明拟建工程范围及影响地段的溶洞(隙)、溶沟(槽)、石芽、溶蚀漏斗、伴生土洞塌陷的位置、规模、埋深、岩溶堆填物性状和地下水特征,并对地基基础的设计和岩溶的治理提出建议;

4 针对地质条件、基础类型和施工过程中需进一步查明的专门问题应进行施工勘察。

4.3.2 初步勘察(钻探)勘探线、点的间距可按表 4.3.2 确定。对下列地段,应进行重点勘察:

表 4.3.2 初步勘察勘探线、勘探孔的间距(m)

地基复杂程度等级	勘探线间距	勘探孔间距
一级(复杂)	40~80	25~40
二级(中等复杂)	60~120	35~80
三级(简单)	100~150	50~100

注:表中间距不适用于地球物理勘探。

- 1 地面塌陷或地表水消失的地段;
- 2 地下水强烈活动的地段;
- 3 碳酸盐岩层与非碳酸盐岩层接触的地段;
- 4 碳酸盐岩埋藏较浅且起伏较大的石芽发育地段;
- 5 软弱土层分布不均匀的地段;
- 6 物探成果异常或基础下有溶洞、暗河、伴生土洞分布的地段;
- 7 构造导水断层或导水破碎带以及交汇地段;
- 8 存在采空区和其他人类工程活动强烈的地段。

4.3.3 初步勘察勘探孔的深度可按表 4.3.3 确定。

表 4.3.3 初步勘察勘探孔深度 (m)

工程重要性等级	一般性勘探孔	控制性勘探孔
一级(重要工程)	≥ 15	≥ 30
二级(一般工程)	10~15	15~30
三级(次要工程)	6~10	10~20

注:1 控制性勘探孔应为勘探孔总数的 $1/4 \sim 1/3$,且每个地貌单元均应有控制性勘探孔。

2 勘探孔包括钻孔、探井和原位测试孔等。

3 特殊用途的钻孔除外。

4.3.4 当遇下列情形之一时,初步勘察宜增减勘探孔深度:

1 当勘探孔的地面标高与预计整平地地面标高不一致时,应按预计整平地标高调整勘探孔深度:

2 在预定深度内遇碳酸盐岩时,控制性勘探孔钻入基底下完整碳酸盐基岩的深度不应少于 5m,一般性勘探孔至基岩面下能确认为碳酸盐岩时即可终止;

3 当预定深度内有软弱土、混合土等特殊土层时,控制性勘探孔应穿透特殊土层。

4.3.5 岩溶发育地区,综合物探应作为初步勘察阶段首选的方法,并宜根据工程地质测绘和调查结果,结合地质条件,确定勘探方法和测点布置。点距宜符合表 4.3.5 的规定,物探测线应布置在岩溶发育的构造破碎带、褶皱轴部、可溶岩与非可溶岩接触带和岩溶洞穴、塌陷地带等处。

表 4.3.5 主要物探方法及点距 (m)

物探方法 岩溶地基类型	电法	电磁法	地震波法	声波测井	层析成像
裸露型岩溶地基	3~5	3~5	3~5	0.2~0.5	0.1~0.2
浅覆盖型岩溶地基	3~5	3~5	3~5	0.2~0.5	0.1~0.2
深覆盖型岩溶地基	5~10	5~10	5~10	0.5~1	0.1~0.2
埋藏型岩溶地基	5~10	5~10	5~10	0.5~1	0.1~0.2

4.3.6 详细勘察勘探孔应沿建(构)筑物周边和角点布置,高层建

筑中心应布置勘探孔,勘探孔间距可按表 4.3.6 确定。对于岩溶强烈发育地段应加密勘探孔;对一柱一桩基础,应在每柱点下布置勘探孔。

表 4.3.6 详细勘察勘探孔的间距(m)

地基复杂程度等级	勘探孔间距
一级(复杂)	8~15
二级(中等复杂)	15~20
三级(简单)	20~25

4.3.7 详细勘察勘探孔的深度除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定外,尚应符合下列规定:

1 当基础底面以下土层厚度不大于独立基础宽度的 3 倍或条形基础宽度的 6 倍且具备形成土洞或其他地面变形条件时,全部勘探孔进入完整基岩的深度不宜小于 5m;

2 当预计深度内有溶洞存在且可能影响地基稳定时,全部勘探孔进入洞底基岩面下的深度不应少于 5m,并宜增加勘探孔和孔间物探剖面圈定洞体范围;

3 采用桩基础时,勘察深度不应小于桩底面下 3 倍桩径,且不小于 5m,当相邻桩底的基岩面起伏较大时应加深勘探孔的深度。

4.3.8 岩溶地基岩体的完整程度可采用声波测井方法定量划分,也可采用电磁波测井、放射性测井、电阻率辅助测井等方法划分。测点间距宜根据岩性结构及岩体破碎程度确定为 0.2m~0.4m。

4.3.9 当需要提供水文地质参数和确定岩溶水的连通性时,应进行抽水试验。抽水试验井孔宜按不同岩溶发育地段布置,岩溶强烈发育地段不宜少于 2 个,岩溶中等发育地段不应少于 1 个,当抽水试验可能造成对环境的不良影响时,应采用压水试验或注水试验。

4.3.10 取样、原位测试、现场试验除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定外,尚宜符合下列规定:

- 1 当追索隐伏洞隙的联系时,可进行物探或连通试验;
 - 2 评价洞隙稳定性时,可采取洞体顶板岩样和充填物土样进行物理力学性质试验,并宜进行现场顶板岩体的静载荷试验;
 - 3 当需查明土的性状与土洞形成的关系时,可进行复浸水、胀缩、可溶性和剪切试验;
 - 4 当需查明地下水的动力条件、潜蚀作用、与地表水或地下水径流的联系,预测土洞和塌陷的发生、发展时,宜进行流速、流向、流量的测定和水位、水质的观测。
- 4.3.11** 施工勘察工作量应根据建筑工程地基基础设计要求和场地复杂程度确定。应重点查明基底以下对地基稳定性影响范围内的溶洞(隙)、溶沟(槽)、石芽、溶蚀漏斗、伴生土洞塌陷的分布、发育程度和发育规律,并应对地基稳定性做出评价。
- 4.3.12** 岩体坚硬程度分类、完整程度分类以及基本质量等级划分应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定。

4.4 地下水

4.4.1 岩溶地区地下水勘察宜采用水文地质测绘、物探、钻探、水文地质试验、地下水动态观测等一种或多种方法进行。当地下水对地基稳定、地下结构抗浮、工程降水等有重大影响时,应进行专门水文地质勘察,并应符合下列规定:

- 1 水文地质测绘应在现场踏勘、收集并初步掌握场地水文地质资料的基础上进行,应重点调查微地貌、地层岩性、地质构造、地表岩溶发育、井(泉)等内容。

- 2 水文地质物探应在水文地质测绘的基础上,结合水文地质勘察需要布置。

- 3 水文地质勘探点布置数量应满足查明和评价岩溶场地地下水特征的要求;勘探点深度应根据场地地层、地下水条件和地下结构基底埋深确定。基底位于上覆土层时,勘探点深度应至上覆土层中最下一层含水层的底板以下不少于 3.0m;基底位于岩溶

层时,勘探点深度应至岩溶主要含水层底板以下不少于 2.0m。

4 水文地质参数应根据评价工作的需要选择抽水试验、连通试验、注(压)水试验、流速流量测试等试验测定方法确定,试验测定方法应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定。

5 应对与工程相关的地表水、地下水水位和水量进行动态观测。

4.4.2 岩溶地区地下水勘察应重点查明下列特征:

- 1 地下水的埋藏条件、分布范围、水位与动态变化特征等;
- 2 地下水的补给、径流、排泄条件;地表水、上覆土层孔隙水、上覆土层含水层与岩溶层地下水的水力联系;

3 当存在多层地下水时,应查明每层地下水的赋存条件、动态特征及各层地下水之间的越流渗透关系;

4 存在管道型地下水(地下暗河)时,应查明其空间分布与走向、流速与流量等形态要素。

4.4.3 当工程需要降排地下水时,地下水勘察应符合下列规定:

- 1 应提供含水层降深与补给水量,查明可压缩土层厚度等;
- 2 勘探孔应穿过含水层,至其下可压缩土层的下限,并进行原位测试及采样进行土工试验;

3 应分析评价降排岩溶层中的地下水对上覆土层或岩土接触带中已有土洞或引发新土洞的影响;

4 分析评价降排水对地面沉降、坍塌、地基沉降、基坑与边坡稳定和周边环境的影响,分析降排水的可行性及方式。

4.4.4 当埋藏型岩溶地区地下结构的基底位于上覆土层时,宜进行孔隙水压力测试,测试孔数量不应少于 3 个,平面上测试孔宜沿地层变化大的方向布置,测试孔竖向应按土层布设,每隔 2.0m~5.0m 设置一个测点,每层土不应少于 1 个测点。

4.4.5 地下水作用评价除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定外,尚应重点分析评价下列内容:

1 水位变化对基础、地下结构、基坑和挡土墙的静水压力或动水压力作用；

2 因水头压差、水位波动、渗流等对地基产生潜蚀破坏作用；

3 地下水补给排泄产生的水位升降对地基沉降或地面抬升的影响；

4 根据地下水渗透条件进行分析,判别基底产生管涌、流土(砂)等的可能性。

4.4.6 地下结构物抗浮设防水位应按下列原则确定：

1 当地有长期地下水观测资料时,宜采用长期观测期间的地下水最高水位,结合场地水文地质条件综合确定；

2 当地无长期地下水观测资料时,应根据当地抗浮设防水位经验、场地水文地质条件,结合勘察期间的地下水水位与预测远期地下水位最大变幅综合确定；

3 当场地地下水受地表水补给,且对地下水位变化有直接影响时,宜取地表水最高水位时的地下水位；

4 位于山区坡地的场地,应根据地形地貌特征与地表冲沟和汇水区分布,绘制沿坡地的地下水位分布线,按基础或地下结构埋置深度,取最不利条件下的最高水位；

5 当地下结构的基底位于含水层之间的弱透水层时,宜通过竖向一维渗流分析及现场孔隙水压力测试等确定基底相应位置最大孔隙水压力,并根据最大孔隙水压力计算抗浮水位,确定最大孔隙水压力时宜以弱透水层上下相对稳定含水层不利条件下最高水位作为边界条件。

5 地基计算和基础设计

5.1 一般规定

5.1.1 岩溶地区地基基础设计除应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定外,尚应符合下列规定:

- 1 当满足地基稳定性和变形要求时,基础宜浅埋;
- 2 稳定溶洞的完整顶板经验算满足强度要求后可作为基础持力层;
- 3 地基基础设计等级为甲、乙级的建筑物应进行地基稳定性分析。

5.1.2 岩溶地区地基基础设计时应进行下列分析:

- 1 有无崩塌、滑坡、泥石流、塌陷、地裂缝等不良地质现象;
- 2 有无影响场地稳定性的断层、破碎带、采空区、溶洞和土洞;
- 3 挖方、填方、堆载和卸载对地基基础稳定性的影响;
- 4 基岩面的起伏变化,有无影响地基基础稳定性的岩层倾角和临空面;
- 5 地表水和地下水对地基基础的影响。

5.1.3 岩溶地区的基础埋深应符合下列规定:

1 基础宜埋置在地下水位以上。当必须埋置在地下水位以下时,应采取地基土(岩)在施工时不受扰动的措施。当基础埋置于易风化、易软化、裂隙发育的岩石上时,施工时应在基坑开挖后立即浇筑垫层进行封闭。当地下水有腐蚀性时,应对基础采取防腐措施。

2 置于红黏土地基上的三层或三层以下砌体建筑,确定其基础埋深时应分析红黏土的胀缩性对上部结构的影响,其埋深宜大于大气影响急剧层深度;当基础埋深小于大气影响急剧层深度时,宜采取防水保湿等措施。

3 当地基为斜坡时,基础宽度方向的埋置深度不宜有差异;条形基础在长度方向可设置台阶,土质地基每级台阶高度不宜大于 500mm,长度不宜小于台阶高度的 2 倍;岩石地基基底台阶的高宽比,可根据岩石原表面的坡度及基础材料确定,但台阶高度不宜大于 1000mm,长度不宜小于台阶高度。

4 嵌岩桩的嵌岩深度应综合荷载、上覆土层、基岩质量、桩径和桩长等因素确定。当桩端全断面嵌入平整、完整的坚硬岩和较硬岩时,基桩嵌岩深度不宜小于 0.2 倍桩径,且不应小于 0.2m;当桩端嵌入倾斜的完整和较完整岩时,基桩全断面嵌入深度不宜小于 0.4 倍桩径,且不小于 0.5m;当桩端嵌入倾斜度大于 30% 的中风化岩时,宜根据倾斜度及岩石完整性加大嵌入深度。

5.2 地基稳定性计算

5.2.1 当地基中下伏基岩面为单向倾斜,岩面坡度大于 10%,基底下的土层厚度大于 1.5m 时,基础设计应符合下列规定:

1 当结构类型和地基承载力符合表 5.2.1-1 的规定时,可不进行地基变形验算。

表 5.2.1-1 下卧基岩表面允许坡度值

地基土承载力 特征值 f_{ak} (kPa)	四层及四层以下的 砌体承重结构,三层及 三层以下的框架结构	有 150kN 和 150kN 以下吊车的 一般单层排架结构	
		带墙的边柱和山墙	无墙的中柱
≥ 150	$\leq 15\%$	$\leq 15\%$	$\leq 30\%$
≥ 200	$\leq 25\%$	$\leq 30\%$	$\leq 50\%$
≥ 300	$\leq 40\%$	$\leq 50\%$	$\leq 70\%$

2 当不满足表 5.2.1-1 的条件时,应考虑刚性下卧层的影响,并按下式计算地基的变形:

$$s_{gz} = \beta_{gz} s_z \quad (5.2.1)$$

式中: s_{gz} ——具刚性下卧层时,地基土的变形计算值(mm);

β_{gz} ——刚性下卧层对上覆土层的变形增大系数,按表 5.2.1-2 采用;

s_z ——变形计算深度,相当于实际土层厚度按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 计算确定的地基最终变形计算值(mm)。

表 5.2.1-2 具有刚性下卧层时地基变形增大系数 β_{gz}

h/b	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
β_{gz}	1.26	1.17	1.12	1.09	1.00

注: h —基础下的土层厚度; b —基础底面宽度。

3 在岩土界面上存在软弱层时,应验算地基的整体稳定性。

4 当土岩组合地基位于山间坡地,山麓洼地或冲沟地带,存在局部软弱土层时,应验算软弱下卧层的强度及不均匀变形。

5.2.2 地基基础设计应考虑石芽及溶洞对地基稳定性的影响。石芽地基的稳定性可按本标准附录 B 验算,溶洞地基的稳定性可按本标准附录 C 验算。

5.2.3 对于承受较大水平推力的建筑物,其水平抗滑移稳定性应符合下列公式要求:

$$\frac{E}{H} \geq K_s \quad (5.2.3-1)$$

$$E = \mu W \quad (5.2.3-2)$$

式中: E ——水平抗滑力总和(kN);

H ——作用于基础底面的水平推力(kN);

K_s ——水平抗滑移稳定安全系数,可取 $K_s = 1.3$;

μ ——岩土体对建筑物基底的摩擦系数,由试验确定,也可按表 5.2.3 选用;

W ——作用于基础底面的竖向压力(kN)。

表 5.2.3 岩土体对建筑物基底的摩擦系数

岩土体的类别		摩擦系数 μ
黏性土	可塑	0.20~0.25
	硬塑	0.25~0.30
	坚硬	0.30~0.40

续表 5.2.3

岩土体的类别	摩擦系数 μ
软质岩	0.40~0.60
表面粗糙的硬质岩	0.65~0.75

5.2.4 具有外倾结构面的岩石地基,应考虑岩体结构面的最不利组合,按刚体极限平衡法验算稳定性,其稳定安全系数不应小于 1.35。

5.2.5 地基稳定性计算时,应根据岩土实际性状选择物理力学指标。当土层已经扰动或施工中可能扰动,宜取土的残余抗剪强度指标;新近填土或尚未固结土宜取土的直剪指标;地下水以上应取天然重度,地下水位以下应取浮重度。

5.2.6 在地下水强烈活动于岩土交界面的岩溶地区,应预估地下水在施工和建筑物使用期间的变化,分析地下水作用对地基稳定性的影响。

5.2.7 对地基基础设计等级为丙级且荷载较小的建筑物,当地基遇有下列条件之一时,可不考虑岩溶稳定性的不利影响:

1 基础底面以下土层厚度大于独立基础宽度的 3 倍或条形基础宽度的 6 倍,且不具备形成土洞或其他地面变形的条件。

2 基础底面与洞顶之间的岩土层厚度虽小于独立基础宽度的 3 倍或条形基础宽度的 6 倍,且不具备形成土洞或其他地面变形的条件,但遇有下列条件之一时:

- 1) 溶洞、溶隙或岩溶漏斗的堆积物充填密实,地基承载力特征值大于 150kPa,上覆土层均匀且无地下水影响;
- 2) 岩体基本质量等级为Ⅰ级或Ⅱ级,洞体顶板岩石厚度大于或等于跨度,经验算顶板稳定;
- 3) 洞体较小,基础底面大于洞的平面尺寸,并有足够的支承长度,不存在伴生土洞形成条件;
- 4) 竖向洞隙、落水洞的宽度或直径小于 1.0m,且不存在伴生土洞形成条件的近旁地段。

5.2.8 当不符合本标准第 5.2.7 条的条件时,应进行洞体地基稳定性分析,并应符合下列规定:

1 当顶板不稳定、洞内堆积物充填密实、无地下水影响时,可按堆积物受力的不均匀地基进行评价;

2 当能取得计算参数时,可将洞体顶板视为结构自承重体系进行力学分析;

3 有工程经验的地区,可按类比法进行稳定性评价;

4 在基础近旁有洞隙和临空面时,应验算向临空面倾覆或沿裂面滑移的可能,并应分析岩溶作用的不利影响。

5.2.9 对位于溶沟(槽)、溶蚀漏斗、石芽、岩石陡坎近旁的基础,当岩体中有倾向临空面的不利软弱结构面时,应验算地基滑移稳定性。软弱结构面的抗剪强度宜由试验确定,初步分析时,可按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 选用。当稳定系数大于或等于 1.35 时,可不考虑地基滑移。

5.3 地基基础设计

5.3.1 岩溶地区基础设计选型应根据地基土质、上部结构体系、柱距、荷载大小、使用要求以及施工条件等因素确定。可采用无筋扩展基础、扩展基础、柱下条形基础、岩石锚杆基础、筏形基础、桩基础等类型。基础设计计算及构造要求尚应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

5.3.2 红黏土地基基础设计应符合下列规定:

1 采用天然地基时,宜充分利用上部硬塑或可塑土层作为持力层;

2 当红黏土层的厚度或沿深度的状态急剧变化时,地基变形除应控制总变形外,尚应验算沉降差,在沉降计算深度范围内有基岩时,应按刚性下卧层条件下的附加应力验算地基变形。

5.3.3 土岩组合地基基础设计应符合下列规定:

1 置于土岩组合地基上的建筑物不宜采用独立基础,并应采

取增强基础和上部结构整体刚度的措施,且应进行沉降变形验算;

2 在土岩组合地基上不宜建造底部框架及多层内框架建筑;

3 土岩组合地基基础设计应考虑石芽稳定性对地基稳定性的影响;

4 当土岩组合地基层部范围内存在软弱下卧层时,应进行软弱下卧层承载力验算,计算土中附加应力和地基不均匀沉降时,应考虑坚硬基岩的影响;

5 在地基压缩性相差较大的部位,宜根据建筑物平面形状和荷载条件设置沉降缝。

5.3.4 岩石地基基础设计应符合下列规定:

1 置于完整、较完整、较破碎岩体上的建筑物可仅进行地基承载力计算;

2 地基基础设计等级为甲、乙级的建筑物,当同一建筑物的地基存在坚硬程度不同、两种或多种岩体变形模量差异达 2 倍及 2 倍以上时,应进行地基变形验算;

3 地基主要受力层深度内存在软弱下卧岩层时,应考虑软弱下卧岩层的影响,进行地基稳定性验算;

4 当建筑场地内存在临空面时,应验算基础向临空面倾覆和滑移的稳定性,当基础存在不稳定的临空面时,应将基础埋深加大至下伏稳定基岩,也可在基础底部设置锚杆,锚杆应进入下伏稳定岩体,并满足抗倾覆和抗滑移要求,同一基础的地基可以放阶处理,并应满足抗倾覆和抗滑移要求。

5.3.5 岩溶地基基础设计应符合下列规定:

1 岩溶地基基础设计应根据岩溶裂隙、溶蚀、溶洞、土洞等发育条件和发育程度,对基础选型进行论证;

2 当岩溶上部覆盖土层较厚时,宜利用上覆土层作为建(构)筑物的天然地基,当天然地基不能满足要求时,可采用复合地基或桩基;

3 当桩端以下 3 倍桩径及 5m 深度范围内为完整或较完整

岩层时,可利用溶洞顶板作为基桩持力层,并应对顶板进行强度计算和稳定性验算,当溶洞顶板不能作为基桩持力层时,桩端应进入强度和稳定性符合要求的岩层或对溶洞进行处理;

4 位于溶洞顶(隔)板岩体之间的基桩应进行桩身压屈稳定性验算;

5 基桩竖向承载力计算时,不宜计入溶洞顶(隔)板和洞内天然充填物产生的桩身侧阻力,当溶洞顶(隔)板岩体的基本质量等级为Ⅰ级或Ⅱ级且厚度大于2m时,可将溶洞顶(隔)板产生桩身侧阻力乘以0.75的系数;

6 对于完整、较完整的坚硬岩、较硬岩地基,且洞体较小,基础底面尺寸大于溶洞的平面尺寸,并有足够的支承长度,顶板岩石厚度大于或等于溶洞的跨度时,可不考虑岩溶对地基稳定性的影响,不符合以上要求时应进行洞体稳定性分析。

5.4 抗浮设计

5.4.1 当建筑物地下室底板位于抗浮水位以下时,应进行抗浮稳定性验算。当存在地下水渗流时,应分析渗流作用及其对地下结构上浮的影响;当存在岩石裂隙时,尚应考虑裂隙水在基坑内积聚对抗浮设计水位的影响。

5.4.2 计算上浮力时,不宜考虑地下结构侧壁及底板与岩土接触面的摩擦力和黏滞作用。除有可靠的长期控制地下水措施外,不对地下水浮力进行折减。

5.4.3 岩溶地区存在承压地下水时,应根据地下水勘察报告的实测数据,确定承压地下水的水头压力,并分析其对地下结构上浮的影响。

5.4.4 地下结构抗浮设计应符合下列规定:

1 当地下结构整体及其上建筑物自重与其他竖向永久荷载标准值的总和小于上浮力时,应对地下结构整体或建筑物在施工和使用期间的抗浮稳定性进行验算,满足整体抗浮要求;

2 当地下结构局部存在上浮作用时,应对该部分地下结构进行局部抗浮验算,除满足局部抗浮要求外,尚应满足与地下结构其他部分的变形协调;

3 有抗浮稳定要求的地下结构构件均应保证在地下水上浮作用下有足够的强度和刚度,并应满足构件抗裂或裂缝宽度控制要求。

5.4.5 当抗浮验算不能满足要求时,可采用配重法、底板增厚法、抗拔桩或抗浮锚杆法等抗浮结构措施。施工期间,可采取降低地下水位或压载等临时抗浮技术措施。抗浮稳定性计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

5.5 基坑工程设计

5.5.1 岩溶地区基坑工程设计安全等级、基坑支护结构安全使用期限、支护结构重要性系数等,应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定,并应保证基坑开挖、地下结构施工的安全和周围环境不受损害。

5.5.2 岩溶地区基坑工程支护设计应包括下列内容:

- 1 上覆土层与岩溶层的支护结构方案比选;
- 2 坑底位于土岩接触带时的整体稳定性验算;
- 3 坑壁为半土半岩且坑底位于岩溶发育带时,坑底涌水、涌土(砂)验算;
- 4 降排岩溶地下水的方式与地面沉降与坍塌的控制措施;
- 5 基坑施工对周边环境影响的控制措施且不应影响邻近建筑物或地下管线的正常使用;
- 6 基坑土层与岩溶层开挖方案;
- 7 岩溶区基坑工程影响范围的监测要求;
- 8 作用于支护结构的荷载除土压力和水压力外,尚应包括基坑工程影响范围内建(构)筑物荷载、地面附加荷载、施工荷载等。

5.5.3 红黏土层土压力宜根据其上硬下软的特点,按含水率、液

性指数与塑性指数等指标进行分层计算;埋藏型岩溶地层上覆的碎石土层土压力宜按黏性土计算;填土型岩溶场地填土为黏性土类时,应按黏性土计算土压力,填土为非黏性土类时,宜按砂土类土计算土压力。位于地下水位以下的红黏土层或碎石土层,当含砂量或碎石含量大于 40% 时,宜采用水土分算,并采用有效重度、有效应力强度指标。

5.5.4 当基坑深度大于土层与岩溶面的接触带,且接触带含水时,应考虑地下水的渗流作用,并应验算抗渗及抗管涌稳定性。

5.5.5 地下水控制设计应根据周边环境、地下水特点和开挖深度、支护形式等进行,可采用集水明排、降水、截水和回灌等方法进行处理。当坑底位于土岩接触带或岩溶层时,应对岩溶地下水实施控制性降排,防止地面沉陷。采用截水帷幕时,截水帷幕底部应穿过土岩接触带或岩溶层。

5.5.6 地层中承压水对支护结构有影响时,宜设置减压井。减压井布设的数量、间距应满足控制承压水头的要求,深度应大于承压水层,水头高度应降至基础底面以下。

5.5.7 岩溶层基岩采取爆破开挖时,应防止爆破作业对上部支护结构产生的损害。当存在较大溶洞或开放性岩溶通道时,应查明溶洞充填物性质或岩溶通道是否存在地下暗河等情况,基岩开挖应防止溶洞充填物突涌引发安全事故,或地下暗河大量涌水淹没基坑。

5.5.8 基坑支护结构采用支护桩时,在支护桩嵌固深度范围内遇溶洞时,桩端应穿过溶洞,进入溶洞底板以下不宜少于 1.0m;遇有土洞时,桩端穿过土洞的嵌固深度应满足计算要求。土(溶)洞应采用素混凝土、塑性混凝土或水泥砂浆封填。

5.5.9 支护结构采用锚杆时,锚杆应避免穿过土洞或溶洞。无法避免时,应先对土(溶)洞进行充填,并加大锚杆的长度,增加锚杆的锚固段。当基坑开挖深度较大,坑壁为半土半岩,支护桩桩端坐落于基岩时,应在支护桩下部设置锁脚锚杆,并验算其稳定性。

5.5.10 基坑监测应符合下列规定：

1 基坑开挖前，应对需要监测的周边建（构）筑物和市政道路、地下管线等设置观测基准点和观测点，观测点的观测数据精度应满足二级测量精度的要求；

2 从基坑降排水或开挖开始，即应进行支护结构顶部位移观测和邻近建（构）筑物、市政道路、地下管线等的变形观测，及时反馈监测数据信息，实行信息化施工；

3 监测点布设和测量仪器应满足监测设计要求；

4 当监测值达到预警值时应及时预警。

5.5.11 基坑支护结构计算、试验和检验应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定。

6 岩溶地基处理与施工

6.1 一般规定

6.1.1 选择岩溶地区地基处理方法时,应考虑地基、基础和上部结构的共同作用。

6.1.2 岩溶地区地基处理与施工时,应根据岩溶发育特征和地表水径流、地下水赋存条件制定截流、防渗、堵漏或疏排措施。

6.1.3 对塌陷或浅埋溶(土)洞宜采用挖填夯实法、跨越法、充填法、垫层法进行处理;对深埋溶(土)洞宜采用注浆法、桩基法、充填法进行处理。

6.1.4 对落水洞及浅埋的溶沟(槽)、溶蚀(裂隙、漏斗)等,宜采用跨越法、充填法进行处理。

6.1.5 大块孤石或石芽出露的地基宜对岩石表面进行修整,并按土岩组合地基设置褥垫层。

6.1.6 对于岩溶地区地貌、地质、水文条件复杂及塌陷量大、影响范围大的地段,可采用多种方法综合处理。

6.1.7 岩溶地基处理与施工时,应对岩溶水进行疏导或封堵,减少淘蚀、潜蚀。岩溶水的处理应符合下列规定:

1 对于流量较小、水路复杂、出水点多、影响范围广、水流分散不易汇集等地段,可采用与水流方向垂直设置的截水盲沟、截水墙、截水洞等截流(截渗)方法;

2 对于流量大而集中的岩溶水,可采用设置与水流方向一致的泄水洞、管道、桥涵及明沟等疏导方法;

3 应采取保证岩溶泉水流出和落水洞排水的措施;

4 当地下水量少且呈弥散径流时,可用砂浆、黏土及浆砌片石等进行堵塞;对水量大而集中及水压力的岩溶水径流,堵塞措

施应充分考虑地下水径流方式空间变化的不确定性,需经室内模拟、现场水文试验等方法确认后采用;

5 对覆盖型岩溶、土洞发育地段的地下水越流渗透进行地基处理时,可采用钻孔注浆、旋(摆)喷注浆等措施进行截渗处理。

6.2 充 填 法

6.2.1 充填法适用于溶(土)洞、溶沟(槽)、溶蚀(裂隙、漏斗)、落水洞的充填和石芽地基的嵌补。

6.2.2 充填材料可采用素土、灰土、砂砾、碎石、混凝土、泡沫轻质土等。当充填部位在地下水位以下、埋藏较深时,不宜采用素土、灰土充填;有防渗要求时,不宜采用砂砾、碎石、泡沫轻质土充填。

6.2.3 采用碎石及混凝土材料充填时,应根据岩溶发育程度、地下水特征、充填材料等因素选择施工机械。材料粒径宜由大到小的顺序,分层充填密实,逐步过渡至良好级配面层。充填材料中的碎石抗压强度不宜低于 15MPa。

6.2.4 泡沫轻质土采用的材料应符合下列规定:

1 水泥应符合国家现行标准《通用硅酸盐水泥》GB 175、《快硬硫铝酸盐水泥》JC 933 的规定;

2 粉煤灰应采用 F 类粉煤灰,并应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定,严禁采用 C 类粉煤灰作为泡沫轻质土的掺和料;

3 外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的规定;

4 发泡剂严禁采用动物蛋白类发泡剂,其性能应符合表 6.2.4 的规定;

5 泡沫轻质土的配合比应符合本标准附录 D 的规定;

6 泡沫轻质土的抗压强度应通过试验确定,且不应低于 1.5MPa。

表 6.2.4 发泡剂性能指标

性能指标	规 定 值
稀释倍率	40~60
发泡倍率	800~1200
标准泡沫密度(kg/m^3)	30~50
标准泡沫泌水率(%)	≤ 25

6.2.5 泡沫轻质土的制作和充填应采用专用机械。制作时应根据设计要求通过试验结果确定水泥砂浆配合比和发泡剂用量。

6.2.6 泡沫轻质土充填前应预先清理拟充填的溶洞、土洞或基坑,清除洞内或坑内的有机杂物,排除积水。充填完成后应加强养护。

6.3 跨 越 法

6.3.1 浅埋的开口型或跨度较大的溶(土)洞、溶沟(槽)、溶蚀(裂隙、漏斗)等岩溶地基,宜采用梁、板、拱等混凝土结构跨越。

6.3.2 采用跨越法时,应根据溶(土)洞、溶沟(槽)、溶蚀(裂隙、漏斗)、落水洞的大小、形状、岩体的强度、地下水等因素确定洞侧支承条件。洞侧支撑体可采用天然的或经过加固的岩(土)体。洞侧支撑岩(土)体应符合整体稳定性和局部承压的要求。

6.3.3 梁、板、拱等跨越结构,应符合结构计算的要求。跨度大的洞隙或溶沟、溶槽,可采用支撑调整跨距。支撑的洞底岩体也应符合强度和稳定性的要求。梁板式结构在支撑体上的长度应大于梁高的 1.5 倍。

6.3.4 跨越结构施工前应先检查、清理洞侧支撑岩(土)体,清除支撑面上的杂草、浮土及岩石碎片,保证支承面清洁平整。应通过清理支撑体侧面的岩石碎片检查岩体的完整性,对影响跨越结构施工的裂隙应采取灌浆等措施进行填补加固。

6.3.5 跨越结构设计应与施工应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

6.4 桩基法

6.4.1 当场地存在下列情况之一时,宜采用桩基础进行处理,且基桩宜穿过不稳定的岩土层:

1 浅埋的溶(土)洞、溶沟(槽)、溶蚀(裂隙、漏斗)或洞体顶板破碎的地段;

2 洞体围岩为微风化岩石、顶板岩石厚度小于洞跨或基础底面积小于洞的平面尺寸并且无足够支撑长度的地段;

3 基础底面以下土层厚度大于独立基础的3倍或条形基础的6倍,但具备形成土洞或其他地面变形条件的地段,未经有效处理的隐伏土洞或地表塌陷影响范围内设计等级为甲、乙级的建筑物。

6.4.2 岩溶地区桩基法的设计和施工应符合下列规定:

1 岩溶地基处理桩基础可采用预制桩基础、人工挖孔桩和钻(冲)孔灌注桩基础等。

2 当桩侧溶洞存在地下水且采用人工挖孔方法施工时,应采取疏导、堵塞等措施,并应满足干作业施工条件要求;当地下水位无法降低或发生涌水现象时,可采取钢套筒护壁、高压注浆帷幕法止水、异型板或斜管节支挡等措施。

3 采用钻(冲)成孔灌注桩穿过溶洞时,应根据溶洞大小备足泥浆及片石。当冲孔至溶洞位置发现孔内泥浆液面迅速下降时,应立即抛填片石封堵溶洞,并从储浆池向孔内补注泥浆至孔内泥浆面稳定后再继续成孔,防止漏浆及混凝土流失。当溶洞规模较大时,可采用强度等级不低于C20的速凝混凝土或水泥砂浆封堵,混凝土或水泥砂浆中应添加速凝剂。

6.4.3 桩基础的设计、施工及检验应符合现行国家标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定。

6.5 高压喷射注浆法

6.5.1 高压喷射注浆法可用于溶洞充填土体和较厚覆盖土层的

地基处理,也可与其他地基处理方法综合使用。

6.5.2 高压喷射注浆施工前应根据设计要求进行工艺性试验,数量不少于2根。

6.5.3 高压喷射注浆分旋喷、定喷和摆喷三种。根据工程需要和土质条件,可分别采用单管法、双管法和三管法。加固形状可分为柱状、壁状、条状和块状。注浆孔的平面布置可根据上部结构和基础特点确定。高压喷射注浆处理的地基和基础之间应设置褥垫层。

6.5.4 高压喷射注浆的施工技术参数应符合下列规定:

1 单管法和二重管法的高压水泥浆浆液流压力宜为20MPa~30MPa,二重管法的气流压力宜为0.6MPa~0.8MPa;

2 三重管法的高压水射流压力宜为20MPa~40MPa,低压水泥浆浆液流压力宜为0.2MPa~1.0MPa,气流压力宜为0.6MPa~0.8MPa;

3 双高压旋喷桩注浆的高压水的压力宜为35MPa±2MPa,流量宜为70L/min~80L/min,高压浆液的压力宜为20MPa±2MPa,流量宜为70L/min~80L/min,压缩空气的压力宜为0.5MPa~0.8MPa,流量宜为1.0m³/min~3.0m³/min;

4 提升速度宜为0.05m/min~0.25m/min,并应根据试桩确定施工参数。

6.5.5 注浆法的施工参数应根据土质条件、加固要求通过试验或根据工程经验确定,并在施工中严格控制。水泥浆液的水灰比应按工程要求确定,可取0.8~1.5。

6.5.6 钻机成孔直径宜为90mm~150mm,钻机定位允许偏差应为20mm,钻机安放应水平,钻杆垂直度允许偏差应为1/100。

6.5.7 注浆施工应记录注浆压力和浆液流量,并应采用自动压力流量记录仪。

6.5.8 注浆顺序应按跳孔间隔注浆方式进行,并宜采用先外围后内部的注浆施工方法。

6.5.9 在高压喷射注浆过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时,应查明原因并及时采取措施。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程,宜在原孔位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施。

6.6 褥垫层法

6.6.1 对于石芽密布并有出露、石芽间距小于 2m、其间为硬塑或坚硬状态的红黏土的地基,当房屋为六层以上的砌体承重结构、三层以上的框架结构或吊车荷载大于 150kN 的单层排架结构且基底压力大于 200kPa 时,宜利用稳定的石芽作支墩式基础,在石芽出露部位做褥垫。

6.6.2 对于大块孤石或个别石芽出露的地基,当土层的承载力特征值大于 150kPa,房屋为单层排架结构或一、二层砌体承重结构时,宜在基础与岩石接触的部位采用褥垫层进行处理。

6.6.3 褥垫层可采用中砂、粗砂、土夹石、级配砂石、碎石和毛石混凝土等材料,其厚度宜取 300mm~500mm,夯填度应根据试验确定。初步设计时,夯填度可按表 6.6.3 的规定取值。

表 6.6.3 夯填度标准

褥垫层材料	夯 填 度
中砂、粗砂	0.87±0.05
土夹石(其中碎石含量为 20%~30%)	0.70±0.05

注:夯填度为褥垫夯实后的厚度与虚铺厚度的比值。

6.7 其他处理方法

6.7.1 岩溶地区地基处理采用顶柱法、复合地基、爆破挖除法等方法时,应符合下列规定:

1 当顶板较薄、裂隙较多、洞跨较大、顶板强度不足以承担上部荷载时,为保持地下水通畅,条件许可时可采用附加支撑减少洞跨;

2 对溶(土)洞内软土较深地段,宜采用砂桩、碎石桩、石灰

桩、灰土桩、混凝土桩或钢(板)管桩等打入洞内形成的复合地基;

3 对浅埋的溶(土)洞,可采用挖除法进行处理;

4 当采用爆破处理岩溶地基时,应采取有效措施避免爆破对周围建(构)筑物的震害,当爆破对周围建(构)筑物震害较严重时,宜部分或全部采用人工开挖方案。

6.7.2 各种处理方法的施工尚应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定。

7 检验与监测

7.1 一般规定

7.1.1 岩溶地基处理的试验、施工以及竣工验收阶段,均应进行地基处理检测。为设计提供依据的试验阶段的检测应在设计前进行。

7.1.2 岩溶地基处理的检验要求宜根据工程重要性、工程地质情况、处理方法等综合确定,应选择浅层、深层、薄弱部位、特殊部位等采用多种方法综合检测,并应符合先简后繁、先粗后细、先面后点的原则。

7.1.3 检测内容宜包括地基承载力、基桩承载力、变形参数、复合地基增强体、地下水条件等方面的施工质量评价。检测方法可选择载荷试验、钻芯、静力触探试验、动力触探试验、标准贯入试验、物探、波速测试、孔内数字成像、水文试验等。

7.1.4 工程验收检测静载荷试验最大加载量不应小于设计承载力特征值的 2 倍。为设计提供依据的静载荷试验宜加载至破坏。

7.1.5 工程验收检测应在竖向增强体及其周围土体物理力学指标基本稳定后进行,岩溶地基处理施工完毕至检测的时间间隔可根据工程特点具体确定,对砂土地基,其间隔时间不宜少于 7d,对粉性土地基不宜少于 14d,黏性土地基不宜少于 28d;竖向增强体的检测宜在施工结束 28d 后进行。

7.1.6 检测抽检位置应按下列情况综合确定:

- 1 同类地基的抽检位置宜随机均匀分布,检测结果应具代表性;
- 2 建筑工程关键部位;
- 3 局部岩土特性复杂可能影响施工质量的部位;

4 当采用两种或两种以上检测方法时,应根据前一种方法的检测结果确定后一种方法的检测位置;

5 施工出现异常情况的部位。

7.1.7 岩溶地区地基与基础的检验与监测尚应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

7.2 检 验

7.2.1 钻芯法检测应符合下列规定:

1 应采用单动双管钻具,并配备相应的孔口管、扩孔器、卡簧、扶正器及可捞取松软渣样的钻具,混凝土桩应采用金刚石钻头,水泥土桩可采用硬质合金钻头,钻头外径不宜小于 100mm,混凝土芯样直径不宜小于 80mm;

2 钻芯孔垂直度偏差不应大于 0.5%,应使用扶正器等确保钻芯孔的垂直度;

3 水泥土桩钻芯孔宜位于桩半径中心附近,应采用低转速,采用较小的钻头压力;

4 对桩底持力层的钻探深度应满足设计要求,且不宜小于 3 倍桩径;

5 每回次进尺宜控制在 1.2m 内;

6 抗压芯样试件每孔不应少于 6 个,抗压芯样应采用保鲜袋等进行密封,避免晾晒;

7 钻芯孔均应进行分段漏水(浆)、分段注(压)水、全孔段注(压)水试验,如实记录渗水量、计算分段和全孔段的渗透系数并评价其地层的渗透性,全部钻芯孔结束后需采用微膨胀水泥等材料封孔;

8 尚应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

7.2.2 高压喷射注浆施工效果检测验收应符合下列规定:

1 注浆工程竣工验收检测应符合设计要求,地基承载力应采

用载荷试验检测；

2 注浆加固范围、深度和强度应达到设计要求，其平均无侧限抗压强度不应低于设计强度，检测效果应根据注浆前后的试验数据的比较，并结合沉降观测结果综合评定；

3 注浆效果的渗透性检测应采用钻孔进行注水、抽水、压水试验，或开挖检查井渗水试验等方法，加固范围内的平均渗透系数不应大于设计值，或测得的单位吸水量平均值不大于设计要求；

4 注浆检测可采用静载试验、钻取芯样、标准贯入试验、静力触探试验、轻型触探试验、室内试验、物探等方法；

5 注浆效果的物探布线应利于加固效果的对比，应布置在有代表性地段和薄弱部位；

6 取样检测孔宜进行孔内数字成像检验，确定岩溶及裂隙带内的浆液填充率。

7.2.3 物探检测应符合下列规定：

1 物探方法选择原则应前后方法一致，以利于地基处理效果的前后比较；

2 常用物探方法为瞬变电磁法、高密电法、数字浅震反射波法、面波法、井间电磁(或弹性波)CT法、地质雷达剖面法等；

3 检验测线不应少于原物探布置测线总数的30%，且不少于3条测线。

7.3 监 测

7.3.1 岩溶地区所采取的地基处理工程应进行全程监测，施工过程中必须随时检查材料准用记录、施工记录和计量记录、分项检验记录等内容，并按照规定的施工工艺对各工序进行质量评定。

7.3.2 岩溶地区进行地基处理的工程在地基处理和建(构)筑物施工期间均应进行变形监测，监测时间至达到建(构)筑物整体竣工稳定标准为止。

1 在周围有建筑的地基处理施工中应对周围建筑结构、裂缝、基础沉降变形进行监测,监测时间应至沉降达到稳定标准为止,对重要结构部位宜进行应力(应变)监测;

2 在施工过程中应对周围道路、地下工程、管线等设施的变形进行监测。

7.3.3 岩溶地区采用高压喷射注浆法进行地基处理时,应对水泥和外加剂的用量、注浆压力、注浆流量、注浆孔深、注浆顺序等项目进行监测。

7.3.4 降水施工监测应符合下列规定:

1 当降水引起的固结沉降或差异沉降预估值可能影响建筑物的正常使用或结构的稳定性时,应采取可靠的预防措施;

2 施工过程要做好成井结构、抽水含砂率的质量检验和水位观测,基坑边坡与坑底稳定性监测。

7.3.5 岩溶地下水监测点布置应符合下列规定:

1 岩溶地下水当采用深井降水时,基坑内水位监测点宜布置在建筑基坑中央、边线相邻两井的中间部位;当采用轻型井点、喷射井点降水时,水位监测点宜布置在建筑基坑中央、边线和周边拐角处,监测点数量应视具体情况确定;

2 基坑外地下水位监测点应沿基坑、被保护对象的周边、基坑与被保护对象之间布置,监测点间距宜为 20m~50m,在相邻建筑物重要的管线或管线密集处应布置水位监测点,当有止水帷幕时,监测点宜布置在止水帷幕的外侧约 2m 处;

3 水位观测管的管底埋置深度应在最低设计水位或最低允许地下水位之下 3m~5m,承压水水位监测管的滤管应埋置在所测的承压水层中;

4 地下水回灌控制水位的观测井应设置在回灌井点与被保护对象之间;

5 承压水的观测孔埋设深度应保证能反映承压水位的变化,承压降水井可以兼作水位观测井。

7.3.6 对孔隙水压力监测时,其监测点宜布置在基坑受力、变形较大或有代表性的部位。竖向布置上监测点宜在水压力变化影响深度范围内按岩溶和土层分布情况布设,竖向间距宜为 2m~5m,数量不宜少于 3 个。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

附录 A 红黏土、石芽、溶蚀、溶洞分类表

A.0.1 红黏土的状态分类应符合表 A.0.1 的规定。

表 A.0.1 红黏土的状态分类

状态	含水比 α_w	比贯入阻力 $P_s(\text{kPa})$
坚硬	$\alpha_w \leq 0.55$	$P_s \geq 2300$
硬塑	$0.55 < \alpha_w \leq 0.70$	$2300 > P_s \geq 1300$
可塑	$0.70 < \alpha_w \leq 0.85$	$1300 > P_s \geq 700$
软塑	$0.85 < \alpha_w \leq 1.00$	$700 > P_s \geq 200$
流塑	$\alpha_w > 1.00$	$P_s < 200$

注:含水比 $\alpha_w = 0.45I_L + 0.55$ 或 $\alpha_w = \omega/\omega_L$, ω_L 为液限, I_L 为液性指数。

A.0.2 红黏土的结构分类应符合表 A.0.2 的规定。

表 A.0.2 红黏土的结构分类

土体结构	类别	灵敏度 S_t	裂隙发育特征
致密状	I	$S_t > 1.2$	偶见裂隙(<1条/m)
块状	II	$1.2 \geq S_t > 0.8$	较多裂隙(1条/m~5条/m)
碎块状	III	$S_t \leq 0.8$	富裂隙(>5条/m)

A.0.3 红黏土的复浸水特性分类应符合表 A.0.3 的规定。

表 A.0.3 红黏土的复浸水特性分类

类别	I_r 与 I'_r 关系	复浸水特性
I	$I_r \geq I'_r$	收缩后浸水膨胀,能恢复到原位
II	$I_r < I'_r$	收缩后浸水膨胀,不能恢复到原位

注: $I_r = \omega_L/\omega_P$, $I'_r = 1.4 + 0.0066\omega_L$

A.0.4 红黏土的地基均匀性分类应符合表 A.0.4 的规定。

表 A.0.4 红黏土的地基均匀性分类

地基均匀性	地基压缩层 Z 范围内岩土组成
均匀地基	全部由红黏土组成
不均匀地基	由红黏土和岩石组成

注:1 “地基压缩层”的厚度 Z 一般应根据建筑物结构类型、基础形式、荷载等综合分析确定,当独立基础总荷载 P_1 为 $500\text{kN}\sim 3000\text{kN}$,条形基础线荷载 P_2 为 $100\text{kN/m}\sim 250\text{kN/m}$ 时, Z 值可分别按下式确定:

$$\text{独立基础: } Z(\text{m}) = \eta_1 P_1 + 1.5$$

$$\text{条形基础: } Z(\text{m}) = \eta_2 P_2 - 4.5$$

式中系数 η_1 可取 0.003m/kN , η_2 可取 $0.05\text{m}^2/\text{kN}$ 。

2 当箱(筏)基础无相邻荷载影响,基础宽度不大于 30m 时: $Z(\text{m}) = b(2.5 - 0.4\ln b)$ 。

3 对均匀地基,基底下 Z 深度范围内全部由红黏土构成。

A.0.5 石芽地基分类应符合表 A.0.5 的规定。

表 A.0.5 石芽地基分类

地基单元		地质特征
名称	程度	
石芽地基	强起伏	基岩面起伏剧烈,相邻钻孔或柱位间基岩面相对高差大于或等于 5m
	中起伏	基岩面起伏中等,相邻钻孔或柱位间基岩面相对高差大于 2m 小于 5m
	弱起伏	基岩面起伏较小,相邻钻孔或柱位间基岩面相对高差小于或等于 2m

A.0.6 溶蚀裂隙地基分类应符合表 A.0.6 的规定。

表 A.0.6 溶蚀裂隙地基分类

地基单元		岩体结构类型	地质特征	岩芯采取率 (%)	岩体质量指标 (RQD%)	纵波波速 V_p (m/s)	备注
名称	程度						
溶蚀裂隙地基	极强	散粒状结构	节理密集发育,结构体呈碎屑状、颗粒状,沿结构面溶蚀强烈,均不同程度充填黏土	0~10	0~5	1500	表中岩体质量指标(RQD)即用直径为 75mm 的金刚石钻头和双层岩芯管在岩石中钻进,连续取芯,回次钻进所取岩芯中,长度大于 10cm 的岩芯段长度之和与该回次进尺的比值

续表 A.0.6

地基单元		岩体结构 类型	地质特征	岩芯 采取率 (%)	岩体质量 指标 (RQD%)	纵波 波速 V_p (m/s)	备注
名称	程度						
溶蚀 裂隙地 基	强	碎裂状 结构	节理发育,其 间 距 0.1m ~ 0.4m,一般 3 组 以上结构呈碎块 状,沿结构面均 发生溶蚀,多数 充填黏土	10~30	5~20	1500~ 2500	—
	中	层状结 构,块状 结构,整 体状结构	节理发育,间 距 0.4m~0.7m, 一般 3 组以上, 结构面呈块状、 碎块状、柱状、板 状,沿结构面均 发生溶蚀,部分 充填黏土	30~60	20~50	2500~ 3500	—
	弱		节理微发育, 间 距 0.7m ~ 1.5m,一般 2 组~ 3 组,结构呈块 状、柱状、板状,多 数节理面溶蚀,偶 夹黏土	60~80	50~70	3500~ 5000	—

A.0.7 溶洞地基分类应符合表 A.0.7 的规定。

表 A.0.7 溶洞地基分类

地基单元		岩体结构 类型	地 质 特 征
名称	程度		
溶洞 地基	强	层状结构, 整体状结构	溶洞沿三个以上方向发育,溶洞之间有连通或溶洞沿一个方向发育,但溶洞中有岩溶管道水活动,常见水平无充填溶洞
	中		溶洞沿两个方向发育,溶洞之间局部连通,多为有充填溶洞
	弱		溶洞沿一个方向发育,溶洞之间无连通,多为有充填溶洞,且以竖向形态为主

附录 B 石芽地基或基岩的稳定计算

B.0.1 具有单一外倾软弱结构面的出露石芽或基岩(图 B.0.1), 其抗滑动稳定性应符合下式要求:

$$\frac{G \cos \alpha \tan \phi + c L b}{G \sin \alpha} \geq 1.35 \quad (\text{B.0.1})$$

式中: G ——滑动岩体自重(包括基础自重) W 与基础顶面集中荷载 P 的合力($\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$);

α ——外倾滑动结构面倾角($^{\circ}$);

ϕ ——外倾滑动结构面的内摩擦角($^{\circ}$);

c ——外倾滑动结构面的黏聚力(kPa);

L ——滑动岩体的滑动面长(m);

b ——滑动面平均宽度(m)。

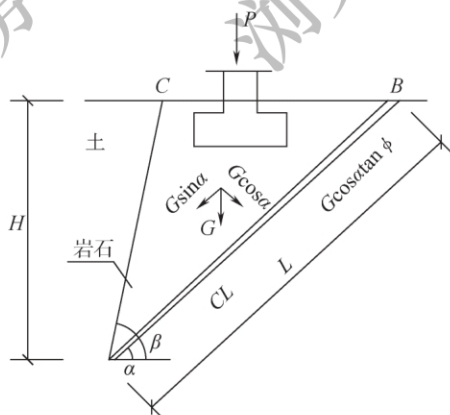


图 B.0.1 单一结构面石芽地基基础

H ——滑动岩体高(m); β ——岩体边坡对水平面坡角($^{\circ}$)

B.0.2 出露石芽或基岩按本标准式(B.0.1)验算稳定性时应符合下列规定:

1 外倾滑动结构面的走向应与石芽或基岩坡面平行或接近平行(约在 30° 范围内);

2 外倾滑动结构面应在坡面露出,即外倾滑动结构面的倾角(α)应小于基岩或石芽坡面的倾角(β)。

B.0.3 当外倾滑动结构面内有地下水时,应考虑地下水的影响。

附录 C 溶洞的稳定计算

C.0.1 对于一般建筑物,根据已查明的地质条件,结合基底荷载情况,对影响溶洞稳定性的各种因素进行分析比较,可采用经验比拟法按表 C.0.1 进行地基稳定性评价。

表 C.0.1 岩溶地基稳定性评价

评价因素	对稳定有利	对稳定不利
地质构造	无断层、褶曲,裂隙不发育或胶结良好	有断层、褶曲,裂隙发育,有两组以上张开裂隙切割岩体,呈干砌状
岩层产状	走向与洞轴线正交或斜交,倾角平缓	走向与洞轴线平行,倾角陡
岩性和层厚	厚层块状,纯质灰岩,强度高	薄层石灰岩、泥灰岩、白云质灰岩,有互层,岩体强度低
洞体形态及埋藏条件	埋藏深,覆盖层厚,洞体小(与基础尺寸比较),溶洞呈竖井状或裂隙状,单体分布	埋藏浅,在基底附近,洞径大,呈扁平状,复体相连
顶板情况	顶板厚度与洞跨比值大,平板状,或呈拱状,有钙质胶结	顶板厚度与洞跨比值小,有切割的悬挂岩块,未胶结
充填情况	为密实沉积物填满,且无被水冲蚀的可能性	未充填,半充填或水流冲蚀充填物
地下水	无地下水	有水流或间歇性水流
地震设防烈度	抗震设防烈度小于 7 度	抗震设防烈度大于或等于 7 度
建筑物荷重及重要性	建筑物荷重小,为一般建筑物	建筑物荷重大,为重要建筑物

C.0.2 岩溶地基稳定性的定量评价,可按下列公式对溶洞顶板的稳定性进行验算。

1 当顶板为中厚层、薄层,裂隙发育,易风化的岩层,顶板有

可能坍塌,但能自行填满洞体时,无需考虑其对地基的影响。此时所需塌落高度可按下式计算:

$$H = \frac{H_0}{K - 1} \quad (\text{C. 0. 2-1})$$

式中: H ——所需塌落高度(m);

H_0 ——塌落前洞体最大高度(m);

K ——岩石松散(涨余)系数,石灰岩 K 取 1.2;黏土 K 取 1.05。

2 当顶板岩层较完整、强度较高、层厚较大,并已知顶板厚度和裂隙切割情况时,可按抗弯、抗剪验算顶板稳定性,且应符合下列公式的规定:

1) 当顶板跨中有裂缝,顶板两端支座处岩石坚固完整时,可按悬臂梁计算:

$$M = \frac{1}{2} pl^2 \quad (\text{C. 0. 2-2})$$

2) 当裂隙位于支座处,而顶板较完整时,可按简支梁计算:

$$M = \frac{1}{8} pl^2 \quad (\text{C. 0. 2-3})$$

3) 当支座和顶板岩层均较完整时,可按两端固定梁计算:

$$M = \frac{1}{12} pl^2 \quad (\text{C. 0. 2-4})$$

4) 计算弯矩和剪力应符合下列公式的规定:

$$\frac{6M}{bH^2} \leq \sigma \quad (\text{C. 0. 2-5})$$

$$H \geq \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} \quad (\text{C. 0. 2-6})$$

$$\frac{4V}{H^2} \leq S \quad (\text{C. 0. 2-7})$$

$$H \geq \sqrt{\frac{4V}{S}} \quad (\text{C. 0. 2-8})$$

式中: M ——弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$);

p ——顶板所受总荷载($\text{kN} \cdot \text{m}$),为顶板的岩体自重、顶板上覆的土体重和附加荷载之和;

l ——溶洞跨度(m);

b ——梁板的宽度(m);

H ——顶板岩层厚度(m);

σ ——岩体计算抗拉强度(石灰岩一般为允许抗压强度的 $1/8$)(kPa);

V ——支座处的剪力(kN);

S ——岩体计算抗剪强度(石灰岩一般为允许抗压强度的 $1/12$)(kPa)。

C.0.3 按极限平衡条件计算顶板受剪切承载力时,应符合下列公式的规定:

$$T \geq P \quad (\text{C.0.3-1})$$

$$T = HSLu \quad (\text{C.0.3-2})$$

$$H \geq \frac{P}{SL} \quad (\text{C.0.3-3})$$

式中: T ——溶洞顶板的总抗剪力(kN);

P ——溶洞顶板所受总荷载(kN);

Lu ——溶洞平面的周长(m)。

附录 D 泡沫轻质土充填处理的配合比

D.0.1 泡沫轻质土的配合比应符合下列规定：

1 泡沫轻质土配合比设计应满足抗压强度、湿密度、流值的要求。

2 泡沫轻质土试配强度应符合下列公式的规定：

$$q_{u7d} \geq 0.5q_c \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$q_{u28d} \geq q_c \quad (\text{D.0.1-2})$$

式中： q_{u7d} 、 q_{u28d} ——7d 龄期抗压强度、28d 龄期抗压强度；

q_c ——设计抗压强度。

3 泡沫轻质土的流值宜为 160mm~190mm，当掺入可塑剂时，流值不宜高于 150mm。

4 泡沫轻质土抗压强度试验用的试件尺寸应为 100mm×100mm×100mm。

D.0.2 泡沫轻质土的配合比设计应按下列步骤进行：

1 根据设计要求确定泡沫轻质土施工湿密度 R_{fw} ；

2 确定水泥浆配合比，按下式计算水泥浆单方材料组成、湿密度：

$$\begin{cases} M_c = \frac{1}{Y} \\ M_f = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot M_c \\ M_w = \frac{M_c}{b \cdot (1-\alpha)} \\ R_L = M_c + M_f + M_w \\ Y = \frac{1}{b \cdot (1-\alpha) \cdot 1000} + \frac{1}{\rho_c} + \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot \frac{1}{\rho_f} \end{cases} \quad (\text{D.0.2-1})$$

3 按下式计算泡沫轻质土配合比单方材料组成、气泡率：

$$\begin{cases} \lambda = \frac{R_L - R_{fw}}{R_L - \rho_a} \\ m_w = M_w \cdot (1 - \lambda) \\ m_c = M_c \cdot (1 - \lambda) \\ m_f = M_f \cdot (1 - \lambda) \end{cases} \quad (\text{D.0.2-2})$$

式中： M_c 、 M_f 、 M_w ——水泥浆单位体积内水泥、粉煤灰、水的质量；

Y ——泡沫轻质土内水泥用量比例系数；

m_w 、 m_c 、 m_f ——轻质土单位体积内水、水泥、粉煤灰的质量；

R_L 、 R_{fw} ——水泥浆、轻质土单位体积质量；

ρ_c 、 ρ_f 、 ρ_a ——水泥、粉煤灰、泡沫密度；

λ ——轻质土气泡率。

4 在确定水泥浆配合比时，水固比参数 b 宜取 1.3~1.6，粉煤灰掺量 α 不应大于 30%。

D.0.3 配合比试配试验应符合下列规定：

1 根据计算的配合比，拌和水泥浆、泡沫轻质土；

2 测定泡沫轻质土流值是否符合要求，当不符合时，应按 0.05 的差额调整水固比参数 b ，重新拌和泡沫轻质土，直至流值满足要求为止；

3 进行标准沉陷距试验，标准沉陷距大于 5mm 时，应选择新的水泥、粉煤灰品牌重新进行试配；

4 取泡沫轻质土拌合物制备强度检测试件，并应检测 7d 龄期抗压强度，当抗压强度满足要求时，该配合比可作为施工配合比，否则，应增大泡沫轻质土的试配密度，重新进行试配试验；

5 当标准沉陷距满足要求时，也可调整水固比、试配密度，同步进行多组试配试验，以强度满足要求的配合比作为施工配合比。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
《混凝土结构设计规范》GB 50010
《建筑抗震设计规范》GB 50011
《岩土工程勘察规范》GB 50021
《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
《通用硅酸盐水泥》GB 175
《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
《混凝土外加剂》GB 8076
《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
《建筑桩基技术规范》JGJ 94
《快硬硫铝酸盐水泥》JC 933