

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	7
4.1	一般规定	7
4.2	勘察工作量布置	10
4.3	取样与原位测试	14
4.4	岩土工程评价	17
5	设 计	22
5.1	一般规定	22
5.2	地基稳定性计算	23
5.3	地基基础设计	25
5.4	基坑设计	27
6	地基处理	29
6.1	一般规定	29
6.2	充填法	29
6.3	跨越法	30
6.4	复合地基	31
6.5	桩基法	31
6.6	注浆法	32
6.7	褥垫层法	34
6.8	其他处理方法	35
7	施 工	36

7.1	一般规定	36
7.2	基础施工	36
7.3	基坑施工	38
8	检测与验收	40
8.1	一般规定	40
8.2	检验与检测	40
8.3	验收	43
附录 A	溶洞的稳定性半定量计算	44
附录 B	渗透变形类型判别	47
附录 C	泡沫轻质土充填处理的配合比	52
	本规范用词说明	54
	引用标准名录	55
	附：条文说明	56

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirement	5
4	Geotechnical Investigation	7
4.1	General Requirement	7
4.2	Geotechnical Investigation Work	10
4.3	Sampling and in Situ Tests	14
4.4	Evaluation	17
5	Design	22
5.1	General Requirement	22
5.2	Stability Calculation of Foundation	23
5.3	Foundation Design	25
5.4	Excavation Engineering Design	27
6	Foundation Treatment	29
6.1	General Requirement	29
6.2	Packing Method	29
6.3	Cross Method	30
6.4	Composite Foundation	31
6.5	Pile Foundation Method	31
6.6	Grouting Consolidation	32
6.7	Mattress Layer Method	34
6.8	Other Processing Method	35
7	Construction	36

7.1	General Requirement	36
7.2	Foundation Construction	36
7.3	Excavation Construction	38
8	Inspection and Acceptance	40
8.1	General Requirement	40
8.2	Inspection	40
8.3	Acceptance	43
Appendix A	Semiquantitative Stability Calculation of Karst Cave	44
Appendix B	Types of Osmosis	47
Appendix C	Mix Proportion of Foamed Lightweight Soil	52
	Explanation of Wording in This Code	54
	Normative Standards	55
	Addition:Explanation of Provisions	56

1 总 则

1.0.1 为在广西岩溶地区地基基础设计与施工中，贯彻执行国家有关技术经济政策，结合本地区自然条件，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于广西建筑和市政工程的勘察设计、施工、检测与验收。

1.0.3 岩溶地区建筑和市政工程的地基基础设计与施工，应进行岩土工程勘察和评价。

1.0.4 广西岩溶地区建筑和市政工程的勘察及地基基础的设计、施工、检测与验收除应符合本规程外，尚应符合国家、行业和广西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

可溶性岩石（碳酸盐岩、硫酸岩、卤化物岩等）在水的溶蚀作用下，产生的各种地质作用、形态和现象的总称。

2.1.2 岩溶地基 karst foundation

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。

2.1.3 土 洞 karstic earth cave

岩溶区上覆的第四系松散层，被地下水潜蚀所形成的洞穴或松散体。进一步发育可形成地面塌陷。

2.1.4 岩土工程勘察 geotechnical investigation

根据建设工程的要求，查明、分析、评价建设场地的地质、环境特征和岩土工程条件，编制勘察文件的活动。

2.1.5 岩土工程评价 geological evaluation

根据已获得的地质资料，结合具体工程特点进行岩土工程条件分析，经过定性评估和定量计算，对场地的稳定性和适宜性、有利条件和不利条件、建筑地基基础的设计施工方案、不良地质现象的防治措施等作出的总结性的意见。

2.1.6 岩体结构面 rock discontinuity structural plane

岩体内开裂的和易开裂的面，如层面、节理、断层、片理等，又称不连续构造面。

2.1.7 地基处理 ground treatment

为提高地基承载力，或改善其变形性质或渗透性质而采取的

工程措施。

2.1.8 复合地基 composite foundation

部分土体被增强或被置换，而形成的由地基土和增强体共同承担荷载的人工地基。

2.1.9 桩基础 pile foundation

由设置于岩土中的桩和连接于桩顶端的承台组成的基础。

2.1.10 顶柱法 interior pillar support

当溶洞（或土洞）顶板较薄、裂隙发育、洞跨较大且顶板强度不足以承担上部荷载时，为减少洞跨并保持地下水通畅，在洞内砌筑浆砌块石或现浇混凝土支墩作为附加支撑，同时对洞顶进行填补加固的施工措施。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

G 一恒载；

F 一基础顶面竖向力；

E_a 一主动土压力；

M 一作用于基础底面的力矩或截面的弯矩；

p 一基础底面处平均压力；

p_0 一基础底面处平均附加压力；

Q_k 一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 材料性能和抗力性能

f_a 一修正后的地基承载力特征值；

f_{ak} 一地基承载力特征值；

f_{rk} 一岩石饱和单轴抗压强度标准值；

q_{pa} 一桩端土的承载力特征值；

q_{sa} 一桩周土的摩擦力特征值；

R_a 一单桩竖向承载力特征值；

γ 一土的重力密度，简称土的重度；

ν 一泊松比；

- φ — 内摩擦角；
- c — 黏聚力；
- E_s — 土的压缩模量；
- e — 孔隙比；
- 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，或桩身直径；
- β — 一边坡面与水平面的夹角；
- L — 房屋长度或沉降缝分隔的单元长度；
- l — 基础底面长度；
- u — 周边长度；
- z_n — 地基沉降计算深度；
- s — 沉降量。

2.2.4 计算系数

- a — 压缩系数；
- \bar{a} — 平均附加应力系数；
- 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，按表 3.0.1 选用。

表 3.0.1 地基基础设计等级

设计等级	建筑和地基类型
甲级	(1) 重要的房屋建筑和市政基础设施工程 (2) 30 层以上或高度超过 100m 的高层建筑 (3) 体型复杂，层数相差超过 10 层的高低层连成一体建筑物 (4) 大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等） (5) 对地基变形有特殊要求的建筑物 (6) 体型、刚度相差较大的连体结构建筑物 (7) 复杂地质条件下的坡上建筑物（包括高边坡） (8) 对原有工程影响较大的新建建筑物 (9) 场地和地基条件复杂的一般建筑物
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑
丙级	(1) 场地和地基条件简单、荷载分布均匀的七层及七层以下房屋建筑及重要性等级为三级的市政基础设施工程 (2) 次要的轻型建筑物

3.0.2 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下列规定：

1 按地基承载力确定基础底面积及埋深，或按单桩承载力确定桩数时，传至基础或承台底面上的作用效应，应按正常使用极限状态下作用的标准组合；相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩承载力特征值；

2 计算地基变形时，传至基础底面上的作用效应，应按正常使用极限状态下作用的准永久组合，不应计入风荷载和地震作用；相应的限值应为地基变形允许值；

3 计算挡土墙、地基或滑坡稳定以及基础抗浮稳定时，作用效应应按承载能力极限状态下作用的基本组合，但其分项系数均为 1.0；

4 在确定基础或桩基承台高度、支挡结构截面、计算基础或支挡结构内力、确定配筋和验算材料强度时，上部结构传来的作用效应和相应的基底反力、挡土墙土压力以及滑坡推力，应按承载能力极限状态下作用的基本组合，采用相应的分项系数。当需要验算基础裂缝宽度时，应按正常使用极限状态作用的标准组合；

5 基础设计安全等级、结构设计使用年限、结构重要性系数应按国家现行相关标准的规定采用，但结构重要性系数不应小于 1.0。

4 勘 察

4.1 一般规定

4.1.1 岩溶地区岩土工程勘察宜分阶段进行，可分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察和施工勘察。

4.1.2 拟建工程场地或其附近存在对工程安全有影响的岩溶时，应进行岩溶勘察。

4.1.3 岩溶地基根据碳酸盐岩地层被覆盖埋藏的情况可分为裸露型岩溶、浅覆盖型岩溶、深覆盖型岩溶和埋藏型岩溶等四种类型。

4.1.4 根据岩溶发育程度，场地岩溶发育等级可按表 4.1.4 确定。

表 4.1.4 场地岩溶发育等级

岩溶发育等级	地表岩溶发育密度 (个/ km ²)	线岩溶率 (%)	遇洞隙率 (%)	单位涌水量 (L/s · m)	岩溶发育特征
岩溶弱发育	<1	<5	<10	<0.1	以不纯碳酸盐岩为主，地表岩溶形态稀疏，泉眼、暗河及溶洞少见，无岩溶塌陷、漏斗； 溶沟、溶槽弱发育； 相邻钻孔存在临空面且基岩面高差小于 2m
岩溶中等发育	1~5	5~20	10~30	0.1~1	以次纯碳酸盐岩为主，地表发育有洼地、漏斗、落水洞，泉眼、暗河稀疏、溶洞少见；介于强烈发育与弱发育之间。

续表 4.1.4

岩溶发育等级	地表岩溶发育密度 (个/ km ²)	线岩溶率 (%)	遇洞隙率 (%)	单位涌水量 (L/s · m)	岩溶发育特征
岩溶强烈发育	>5	>20	>30	>1	岩性纯，分布广，地表有较多的洼地、漏斗、落水洞，泉眼、暗河、岩溶塌陷；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；溶槽或串珠状竖向溶洞发育深度达20m以上

注：1 同一档次的四个划分指标中，根据最不利组合的原则，从高到低，有1个达标即可定为该等级；

2 地表岩溶发育密度是指单位面积内岩溶空间形态（塌陷、落水洞等）的个数；

3 线岩溶率是指单位长度上岩溶空间形态长度的百分比，即：线岩溶率=（钻孔所遇岩溶洞隙长度）/（钻孔穿过可溶岩的长度）×100%；

4 遇洞隙率是指钻探中遇岩溶洞隙的钻孔与钻孔总数的百分比。

4.1.5 岩溶地基勘察应遵循地质调查分析由面到点，勘探工作由疏到密的原则；针对建筑物特征和场地条件，宜采用工程地质测绘和调查、物探、钻探等多种手段结合的方法进行。勘探时应先施工控制性勘探点，后施工一般性勘探点，并应符合下列规定：

- 1 可行性研究勘察应查明岩溶洞隙、土洞的发育条件，并对其危害程度和发展趋势作出判断，对场地的稳定性和工程建设的适宜性作出初步评价；
- 2 初步勘察应查明岩溶洞隙及其伴生土洞、塌陷的分布、发育程度和发育规律，并按场地的稳定性和适宜性进行分区；
- 3 详细勘察应充分搜集场地及其邻近地段的有关岩土工程勘察资料、建筑规模、结构、基础形式、埋深，持力层岩土性质

及当地建筑经验。查明拟建工程范围及有影响地段的各种岩溶隙和土洞的位置、规模、埋深，岩溶堆填物性状和地下水特征，对地基基础的设计和岩溶的治理提出建议；

4 施工勘察应针对某一地段或尚待查明的专门问题进行补充勘察。当采用大直径嵌岩桩时，应进行专门的桩基勘察。

4.1.6 岩溶场地的工程地质测绘和调查应调查下列内容：

1 岩溶洞隙、塌陷、漏斗、洼地、泉眼的分布、形态和发育规律；

2 覆盖层厚度，基岩面起伏、溶沟、溶槽、石芽形态及分布情况；

3 岩溶地下水赋存条件、水位变幅、水质水量和运动规律；

4 岩溶发育程度、规模、埋深、顶板厚度及完整性、充填物性质、充填程度及其与地貌、构造、岩性、地下水的关系；

5 土洞和塌陷的分布、形态、成因、发育规律和发展趋势；

6 场地附近地下水开采及矿山疏排水情况；

7 当地治理岩溶、土洞和塌陷的经验。

4.1.7 采用物探进行岩溶地区勘察时，应符合下列规定：

1 在应用物探方法时，应进行方法的有效性试验，试验地段应选择在有对比资料且具有代表性的地段；

2 应有一定数量的钻探验证孔，在相互验证基础上，对物探资料进行综合解释，未加钻探验证的物探成果不能作为施工图设计的依据。

4.1.8 物理勘探方法应根据工作场景、地质条件和勘察目的，按表 4.1.8 所列方法选择。

表 4.1.8 岩溶区地球物理勘察方法适用范围表

工作场景	物探方法	适用地质条件及探测目的
地面	1. 浅层地震法 2. 高密度电法 3. 探地雷达法	1. 浅层地震法：适用于第四系松散覆盖层较厚（>5m）的区域； 2. 高密度电法：适用于红黏土覆盖区、岩溶发育区的电性差异探测； 3. 探地雷达法：适用于干燥 / 低含水率的灰岩裸露区、砂土层覆盖区。
单孔	1. 钻孔弹性波成像 2. 管波探测 3. 声波测井 4. 声呐反射法 5. 井中雷达法 井下电视	1. 钻孔弹性波成像：适用于各类岩性，尤其灰岩、白云岩等硬质岩的岩体完整性横向探测； 2. 管波探测：适用于浅孔（<50m）的灰岩、白云岩等硬质岩的岩体完整性横向探测； 3. 声波测井：适用于井壁风化分带以及岩体完整性探测； 4. 声呐反射法：仅适用于孔内水或泥浆大于 25cm 的灰岩、白云岩等持力层完整性纵向探测； 5. 井中雷达：适用于各类岩性，尤其灰岩、白云岩等硬质岩的岩体完整性横向探测； 6. 井下电视：适用于井壁稳定、井眼规则、且井内流体透明的条件下精细探测、裂缝、地层产状、溶洞等。
孔间	1. 孔间 CT 2. 电测深配合电剖面法	1. 孔间 CT：适用于钻孔间距<30m、需高精度探测的重要工程； 2. 电测深配合电剖面法：适用于探测覆盖层厚度、基岩面起伏、构造破碎带及地下水等地质问题。

4.2 勘察工作量布置

4.2.1 可行性和初步勘察宜采用工程地质测绘、综合物探并结合钻探进行。控制性勘探孔的深度应穿过表层岩溶发育带。

4.2.2 初步勘察勘探线、点的间距可按表 4.2.2 确定。对下列异常地段，应进行重点勘察，并加密勘探点：

- 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、暗河分布的地段；
- 7 构造发育带、破碎带及构造相交地段。

表 4.2.2 初步勘察勘探线、勘探点的间距 (m)

地基复杂程度等级	勘探线间距	勘探点间距
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：表中间距不适用地球物理勘探。

4.2.3 初步勘察勘探孔的深度可按表 4.2.3 确定。

表 4.2.3 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

4.2.4 当遇下列情形之一时，应适当增减勘探孔深度：

- 1 当勘探孔的地面标高与预计整平地面临较大时，应按其差值调整勘探孔深度；

- 2 当勘探深度内遇碳酸盐岩时，除控制性勘探孔钻入基底完整或较完整碳酸盐灰岩不应少于 5m 外，一般性勘探孔的深度达到基岩面下能确认碳酸盐岩即可终孔；

- 3 当勘探深度内有软弱土层时，勘探孔深度应增加，控制

性勘探孔应穿透软弱土层，且不应少于 5m。

4.2.5 详细勘察勘探点应沿建筑物周边和角点布置，勘探点间距可按表 4.2.5 确定。异常地段应进行重点勘察，并加密勘探点。

表 4.2.5 详细勘察勘探点的间距（m）

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

4.2.6 详细勘察勘探点的深度应满足下列要求：

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它地面变形条件时，全部勘探点钻入碳酸盐岩不宜小于 5m；

2 当勘探深度内有溶洞存在且影响地基稳定时，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 对重大建筑物基础应加深勘探点的深度；

4 为验证物探异常带布置的勘探点，应钻入异常带以下适当深度，但最大深度不宜超过 50m。

4.2.7 岩溶场地存在影响基础稳定或不均匀变形的土洞、溶洞、溶沟、溶槽等岩溶问题时，岩溶中等发育及以上等级的应进行施工勘察；岩溶弱发育场地施工勘察可根据施工揭露的实际地质情况及设计要求确定。

4.2.8 施工勘察的勘探点布置应符合表 4.2.8 的规定。

表 4.2.8 施工勘察勘探点布置

场地岩溶发育等级	勘探方法	基础类别	具体规定
岩溶中等发育	钻探	竖向受力较大或大直径嵌岩桩	不应少于 1 个钻孔。
岩溶强烈发育	物探结合钻探	独立基础	不应少于 1 个钻孔。
		条形基础	沿中线每 6m~12m 布置不应少于 1 个钻孔。
		筏板基础	物探异常区应进行钻探验证，每 16m ² 布置不应少于 1 个钻孔。
		竖向受力较大或大直径嵌岩桩	不应少于 1 个钻孔。
	钻探	独立基础	1) 宜均匀布孔； 2) 基础面积 $A \leq 4\text{m}^2$ 时，不应少于 1 个钻孔； 3) 基础面积 $4\text{m}^2 < A \leq 9\text{m}^2$ 时，不应少于 3 个钻孔； 4) 基础面积 $A > 9\text{m}^2$ 时，不应少于 5 个钻孔。
		条形基础	沿中线每 2m~4m 布置，不应少于 1 个钻孔。
		筏板基础	每根柱下均不少于 1 个钻孔，对核心筒和剪力墙部位应适当加密。
		竖向受力较大或大直径嵌岩桩	1) 桩径 $\leq 1\text{m}$ 时，不应少于 1 个钻孔； 2) $1\text{m} < \text{桩径} \leq 1.2\text{m}$ 时，不应少于 2 个钻孔； 3) $1.2\text{m} < \text{桩径} \leq 1.6\text{m}$ 时，不应少于 3 个钻孔； 4) 桩径 $> 1.6\text{m}$ 时，不应少于 4 个钻孔。

注：以土层为持力层的土洞勘察，在土洞、塌陷可能分布的地段，可在已开挖的基槽内采用动力触探或钎探的方法进行勘察，勘探点的间距可在上表基础上加密。

4.2.9 施工勘察勘探点的深度应满足下列要求：

1 对于条形基础、独立基础，土层地基勘察深度不应小于基础底面以下基础底面宽度的 3 倍且不小于 5m 或到岩层面，当基础底面下土层厚度小于地基变形计算深度，应钻入基岩 5m；

对于筏板基础，勘探深度应满足设计要求；

2 对于条形基础、独立基础，岩石地基勘察深度不应小于基础底面以下基底宽度的 3 倍或进入作为持力层的基岩不小于 5m；对于筏板基础，勘探深度应满足设计要求；

3 大直径嵌岩桩勘探深度应为桩端以下不小于桩径的 3 倍且进入较完整岩或完整岩不小于 5m；

4 摩擦桩勘探深度应满足单桩承载力和变形要求；

5 当邻近基础或桩底的基岩面起伏较大时，应适当加深，同时在相邻基础（桩）间增加勘探点，查明可能影响基础（桩端）滑移的临空面。

4.2.10 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应少于 2 个，岩溶中等发育地段不应少于 1 个，预测降水可能造成不良环境工程问题时，宜将抽水试验改为压水试验或注水试验。

4.2.11 岩溶地下水抗浮水位应根据实测地下水位，并结合当地长期地下水位观测的历史最高水位进行综合评价。

4.3 取样与原位测试

4.3.1 初步勘察采取土试样和进行原位测试应符合下列规定：

1 采取土试样和进行原位测试的勘探点应结合地貌单元、地层结构和土的工程性质布置，其数量可占勘探点总数的 1/4～1/2；

2 采取土试样的数量和孔内原位测试的竖向间距，应按地层特点和土的均匀程度确定；每层土均应采取土试样和进行原位测试，其数量均不宜少于 6 个。

4.3.2 详细勘察采取的土试样和进行原位测试应符合国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《工程勘察通用规范》GB 55017 及《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ 72 的规定，并应符合下列规定：

1 采取土试样和进行原位测试的勘探孔的数量，应根据地层结构、地基土的不均匀性和工程特点确定，且不应少于勘探孔总数的 1/2，钻探取土试样孔的数量不应少于勘探孔总数的 1/3；

2 每个场地每一主要土层的土试样或原位测试数据不应少于 6 件（组）；

3 一个场地内每一单体的主要土层的土试样和原位测试数据各不应少于 2 件（组）；

4 在地基主要受力层内，对厚度大于 0.5m 的夹层或透镜体，应采取土试样或进行原位测试。

4.3.3 根据场地岩性条件、建筑物的重要性和地基条件，岩溶地基原位测试应符合下列规定：

1 当确定天然地基或桩基持力层的地基参数指标时，对强风化、软弱、破碎及软硬互层岩体上的工程重要性等级为一级的工程应进行岩基静载荷试验，同一岩性层或岩体单元上的试验不应少于 3 个点；

2 对破碎和较破碎岩石的地基宜进行岩块点荷载强度试验，同一岩性层或岩体单元不应少于 6 组，对岩芯试件每组不应少于 10 个，对方块体或不规则块体每组不应少于 20 个；

3 为进行斜坡场地稳定性计算，宜对岩体中的控制性软弱结构面进行现场大型剪切试验。

4.3.4 岩石室内试验应符合下列规定：

1 每个岩性层或岩体单元参加统计的数量不应少于 6 组；对 3 栋及 3 栋以上的建筑群，每栋每一主要岩层的试样不应少于 2 组；

2 评价岩石地基承载力时，应根据岩石的坚硬程度进行饱水和或天然状态单轴抗压试验；

3 当需提供岩石的弹性模量和泊松比时, 应进行单轴压缩变形试验;

4 当需提供岩石的抗剪强度指标时, 应根据岩石的坚硬程度进行三轴压缩强度试验或直剪试验。

4.3.5 详细勘察的勘探工作应符合下列规定:

1 在土洞和塌陷发育地段, 可采用静力触探、小口径钻探等手段, 详细查明其分布;

2 当需查明断层、岩组分界、洞隙和土洞形态、塌陷等情况时, 应布置适当的探槽或探井;

3 若初步勘察阶段发现存在较大规模的岩溶、空洞等不良地质现象, 宜根据场地物性条件采用有效的物探方法进行勘察。当发现或可能存在危害工程的洞体时, 应根据建筑物的重要性、场地的复杂程度确定物探测线线距;

4 人员可以进入的洞体, 可入洞勘察, 入洞勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察安全标准》GB/T 50585 的有关规定;

5 为评价浅埋溶洞顶板强度与稳定性, 可进行原位实体基础载荷试验, 最大加载可不小于地基设计荷载的 2 倍;

6 对岩溶地基岩体完整程度的定量划分, 可采用声波测井, 测点间距应根据岩性结构及岩体破碎程度取 0.2m~0.4m; 必要时可采电磁波测井。

4.3.6 岩溶勘察的测试和观测应符合下列规定:

1 当追索隐伏洞隙的联系时, 可进行连通试验;

2 评价洞隙稳定性时, 可采取洞体顶板岩样和充填物土样做物理力学性质试验;

3 当需查明土的性状与土洞形成的关系时, 可进行湿化、胀缩、可溶性和剪切试验;

4 当需查明地下水动力条件、潜蚀作用, 地表水与地下水联系, 预测土洞和塌陷的发生、发展时, 可进行流速、流向测定

和水位、水质的长期观测。

4.3.7 岩溶场地勘探应符合下列规定：

1 钻孔孔径应满足勘察目的、取样、测试及钻进工艺的要求。鉴别和划分地层的孔径不应小于 75mm，采取软质岩试验岩样孔径不宜小于 91mm；孔内测试试验的孔径应满足相应的要求；

2 岩芯采取率对完整、较完整岩体不应低于 80%，对较破碎、破碎岩体不应低于 65%；应选用合适的钻探工艺提高岩芯采取率；

3 对不同岩性界面和软弱结构面等需重点查明的部位，应采用双层单动取芯钻具连续取芯等措施提高岩芯采取率；

4 当需采用岩石质量指标（RQD）评价岩石质量时，应采用 75mm 口径双层岩芯管；

5 钻进回次进尺不应超过 2m，对不同岩性界面应减小回次进尺；

6 不同岩性分层的界面深度量测误差不应超过 5cm。

4.3.8 勘探编录应符合下列规定：

1 岩石与岩体性状的内容；

2 描述应包括结构面、结构体、岩层厚度和结构类型；

3 应计算岩芯采取率、岩石质量指标 RQD 等量化指标；

4 钻进过程应有无掉钻、漏浆、涌水现象及其深度；

5 对探井、探槽应绘制剖面图、展示图等反映井、槽壁和底面岩性、地层分界、构造特征、取样和原位试验位置。

4.4 岩土工程评价

4.4.1 根据岩溶发育强烈程度，对场地进行地段划分，重大建筑宜避开岩溶强烈发育区段。

4.4.2 当场地存在下列情况之一时，可判定为不宜作为地基的不利地段：

- 1 浅层洞体或溶洞群、洞径大，且不稳定的地段；
 - 2 埋藏的漏斗、槽谷等，并覆盖有软弱土体的地段；
 - 3 土洞或塌陷成群发育地段；
 - 4 岩溶水排泄不畅，可能暂时淹没的地段。
- 4.4.3** 当地基属下列条件之一时，对工程重要性等级为二级及以下工程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它地面变形的条件；

2 基础底面与洞体顶板间岩土厚度虽小于本条第 1 款的规定，但符合下列条件之一时：

- 1) 洞隙或岩溶漏斗被密实的沉积物填满且无被水冲蚀的可能；
- 2) 洞体为基本质量等级为 I 级或 II 级岩体，顶板岩石厚度大于或等于洞跨；
- 3) 洞体较小，基础底面大于洞的平面尺寸，并有足够的支撑长度。
- 4) 平行于基础轴线的长度或直径小于 1.0m 的竖向洞隙、落水洞近旁地段。

4.4.4 当不符合本规范第 4.4.3 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 顶板不稳定，但洞内为密实堆积物充填且无流水活动时，可认为堆填物受力，按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，计算分析应符合本规范附录 A 的规定；

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；

5 对不稳定的岩溶洞隙应采用地基处理或桩基础。

4.4.5 一般工程的岩溶地基稳定性评价可按表 4.4.5 划分。

表 4.4.5 岩溶地基稳定性评价（类比法）

评价因素	对稳定有利	对稳定不利
地质构造	无断裂、褶曲，裂隙不发育或胶结良好	有断裂、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，且无被水冲刷的可能性	未充填，半充填或水流冲刷充填物
地下水	无地下水	有水流或间歇性水流
地震设防烈度	地震设防烈度小于 7 度	地震设防烈度等于或大于 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

4.4.6 对钻探深度范围内的溶洞，查明其平面形态后，遇到下列情况时应评价其顶板在建筑荷载作用下的稳定性：

1 当基底面积大于溶洞平面尺寸并满足支承长度要求时，对于基本质量等级为Ⅰ级岩体中的溶洞，其基底以下的溶洞顶板厚度大于 $0.3d$ （ d 为溶洞直径），Ⅱ级岩体中的溶洞，其溶洞顶板厚度大于 $0.4d$ ，Ⅲ级岩体中的溶洞，其溶洞顶板厚度大于 $0.5d$ 时，可不考虑溶洞的影响；

2 当基底面积小于溶洞平面尺寸时，对基本质量等级为Ⅰ级或Ⅱ级的岩体，可按冲切锥体模式验算溶洞顶板的抗冲切承载力。岩石极限抗拉强度标准值宜由试验确定，初步确定时，可取

0.05 倍岩石饱和单轴抗压强度。基础底面以下的溶洞顶板厚度大于 1.7d (d 为溶洞直径) 时, 可不考虑溶洞的影响;

3 对基本质量等级为Ⅲ级或Ⅳ的岩体, 可作原位实体基础静载荷试验评价溶洞顶板的强度与稳定性, 最大加载量应不小于地基设计要求的 2 倍。

4.4.7 对位于溶槽、漏斗、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, 初步确定时, 可按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定选用。当稳定系数大于或等于 1.35 时, 可不考虑地基滑移。

4.4.8 对岩溶地基稳定性判定时宜按下列步骤进行:

- 1 按本规程第 4.4.1 条~第 4.4.6 条进行定性分析;
- 2 按附录 A 进行半定量分析。

4.4.9 有土洞分布的场地, 应分析土洞成因, 预测其发生和发展的趋势, 评价土洞对场地稳定性的影响。

4.4.10 对岩溶中等发育和强烈发育的浅覆盖型岩溶地基, 当基岩面上部存在软弱土层时, 应从地下水的潜蚀及土洞塌陷的形成、发育等方面, 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。

4.4.11 对地下水位高于基岩面的场地, 需进行施工降水时, 应评价降水对周围环境的影响。在岩溶强发育区的降水影响半径范围内, 有道路、管线等公共设施或以土层作地基持力层的建筑物时, 如未采取可靠的防护措施, 不宜采用降水施工。建筑场地附近不宜建供水水源井, 对已建的供水水源井, 应评价供水井抽水对场地稳定性的影响。

4.4.12 岩溶岩土工程勘察报告应包括下列内容:

- 1 勘察的目的、任务要求和依据的技术标准;
- 2 拟建工程概况;
- 3 勘察方法和勘察工作布置;
- 4 场地地形、地貌和岩溶发育的地质背景、形成条件;

- 5 土和水对建筑材料的腐蚀性；
- 6 基岩面等高线图；
- 7 洞隙、土洞、塌陷纵横剖面图；
- 8 岩溶发育程度分区图，洞隙、土洞、塌陷的平面位置图；
- 9 岩溶洞隙、土洞特征一览表；
- 10 岩溶稳定性分析；
- 11 建议基础埋置深度（高程）一览表；
- 12 地下水埋藏情况、类型、水位，降水方案的建议；
- 13 岩溶治理和监测的建议。

5 设 计

5.1 一般规定

5.1.1 岩溶地区地基基础设计时应应对下列条件进行分析：

- 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、溶洞、土洞和采空区；
- 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临空面；
- 5 地表水和地下水对地基基础的影响。

5.1.2 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，应采取对地基土（岩）在施工时不受扰动的措施；当基础埋置于裂隙发育的岩石上时，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 当地基为斜坡面时，基础宽度方向的深度不宜有差异；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；

3 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 $0.2d$ ，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 $0.4d$ ，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，其深度由设

计验算确定。

5.2 地基稳定性计算

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

1 当结构类型和地质条件符合表 5.2.1-1 的要求时，可不作地基变形验算；

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	具有 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 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 —基底下的土层厚度； 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 对于承受较大水平推力的建筑物，其水平抗滑移稳定性应满足下列公式的要求。

$$\frac{E}{H} \geq K_S \quad (5.2.2-1)$$

$$E = \mu W \quad (5.2.2-2)$$

式中： E —水平抗滑力总和（kN）；
 K_S —水平抗滑移稳定安全系数，取 $K_S=1.2\sim1.3$ ；
 H —作用于基础底面的水平推力（kN）；
 W —作用于基础底面的竖向压力（kN）；
 μ —岩土体对建筑物基底的摩擦系数，由试验确定，也可按表 5.2.2 选用。

表 5.2.2 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	0.2~0.25
	硬塑	0.25~0.30
	坚硬	0.30~0.40
软质岩		0.40~0.60
表面粗糙的硬质岩		0.65~0.75

5.2.3 对承受较大水平力、存在倾覆可能的建筑物，应进行抗倾覆稳定性验算，并应满足下式的要求。

$$\frac{M_{RC}}{M_C} \geq K_S \quad (5.2.3)$$

式中： M_{RC} —抗倾覆力矩（kN·m）；

M_c —倾覆力矩 ($\text{kN} \cdot \text{m}$) ;

K_s —抗倾覆稳定安全系数, 取 1.5。

5.2.4 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。

5.3 地基基础设计

5.3.1 岩溶地基基础方案的选定应根据建筑结构型式、荷载大小、岩溶形态特征、洞体围岩的岩质及完整程度、地下水赋存条件、技术上的可行性和经济上的合理性等因素综合确定。

5.3.2 岩溶地基基础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, 应根据地基分类进行基础设计。

5.3.3 当岩溶上部覆盖土层较厚时, 经判定岩溶洞隙顶板在设计附加荷载作用下处于稳定状态的地基, 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, 应根据工程实际情况对地基进行处理。在满足地基承载力和沉降要求的前提下, 进行基础设计。

5.3.4 当天然地基不能满足要求时, 岩溶地区基础形式宜选用刚性桩复合地基浅基础; 采用桩基时, 可选择长短桩复合桩基、后压浆桩基、桩筏基础等。

5.3.5 在溶沟、溶槽、石芽或岩溶洞隙强烈发育, 不能满足独立基础或条形基础的地基条件, 但存在较大面积可靠支点分布的场地, 可采用筏基、箱基或桩筏、桩箱基础。为增强筏板刚度与强度, 可辅以暗梁。必要时, 基底下的破碎岩体可采用灌浆加固; 对深度不大的溶沟溶槽, 可清除填充物后回填毛石混凝土。

5.3.6 浅埋岩溶地基基础设计应符合下列规定:

1 当基底下岩溶洞隙呈开口状或顶板不满足稳定性要求时, 可炸开洞隙顶板, 清除填充物, 回填素混凝土(洞体较小)

或毛石混凝土（洞体较大），按原定基础方案设计；

2 如溶洞平面尺寸远大于基础底面积、地下水位低于溶洞或地下水涌水量不大，可采用桩基础穿过溶洞，将桩端置于稳定岩体内。

5.3.7 当基底下遇竖向溶槽、溶洞或串珠状溶洞地基时，地基基础设计应符合下列规定：

1 可采用梁、板跨越，梁式结构在可靠岩石上的支承长度应大于梁高的 1.5 倍，梁、板在溶槽或溶洞平面投影范围外的支承面积上的基底承载力应等于或略大于基础设计荷载的 1.25 倍，并采取措施保证梁板不向洞隙方向滑移；

2 对于荷载不大的低层或多层建筑，如溶洞位于条形基础端头，跨越工程量大时，可按悬臂梁设计；如溶洞位于单独基础重心一侧，可按偏心荷载设计基础；

3 如设计桩径大于溶槽宽度或溶洞直径，可按悬挂式嵌岩桩进行计算，如嵌岩段的岩体基本质量等级为 I 级或 II 级时，嵌岩深度应大于 2 倍桩径，如嵌岩段的岩体基本质量等级为 III 级或 IV 级岩体（除破碎岩体）时，嵌岩深度应大于 5 倍桩径，且侧阻力应大于设计荷载的 1.25 倍，并于基岩面上加做适当尺寸的承台；

4 岩溶洞隙发育深度较大、地下水位较高、涌水量大或不宜作降水施工的岩溶地基，可采用钻孔灌注嵌岩桩基础，将桩端嵌入洞隙底部稳定岩体内。单桩承载力根据洞隙底部的岩质、岩体完整程度按嵌岩桩基设计。

5.3.8 桩基础设计应符合下列规定：

1 端承桩选形宜以圆形截面桩为主，在技术支持条件下可采用变截面桩、扩底桩；

2 当完整基岩厚度小于 $3d$ ，基岩裂隙发育时，桩端宜穿越溶洞进入下层基岩；

3 当端承桩桩端以下 $3d$ 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；

4 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外理；

5 如果桩侧摩阻力所占比例超过 50%时，顶板厚度可适当减小，但应不小于 $2.5d$ 或 $4m$ ；

6 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；

7 基桩竖向承载力计算时，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，其它情况不宜计入溶洞顶（隔）板和洞内天然充填物产生的桩身侧阻力。

5.4 基坑设计

5.4.1 岩溶基坑工程设计安全等级、结构设计使用期限、支护结构重要性系数，应根据基坑工程的设计、施工及使用条件按国家现行有关标准的规定采用，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。

5.4.2 岩溶基坑工程支护设计应包括下列内容：

- 1 支护方案技术与经济比较；
- 2 支护结构强度、稳定和变形计算；
- 3 基坑稳定性验算；
- 4 基坑降水或止水帷幕设计；
- 5 基坑工程监测和检验要求；
- 6 基坑工程施工顺序及技术要求。

5.4.3 岩溶基坑工程支护设计应符合下列规定：

- 1 根据监测信息进行动态设计；
- 2 根据基坑岩土条件、周围环境、开挖深度、施工条件等，合理选择支护结构形式；

3 作用于支护结构的荷载除土压力和水压力外，尚应包括基坑开挖影响范围内建筑物的荷载、地面荷载、施工荷载等；

- 4 坑底位于土岩接触带时应进行整体稳定性验算；
- 5 支护结构变形及降水引起的地基沉降不应影响邻近建筑物、道路或重要管线的正常使用；
- 6 岩溶区基坑工程影响范围应进行监测。
- 5.4.4 当基坑深度大于土层与岩溶表面的接触带，且接触带含水时，应考虑地下水的渗流作用，验算抗渗与抗管涌稳定性。渗透变形的判别应符合本规程附录 B 的规定。
- 5.4.5 基坑排水应根据周边环境、地下水特点和开挖深度、支护形式等进行基坑地下水控制设计，可采用集水明排、降水、截水和回灌等方法进行处理。
- 5.4.6 减压井宜根据承压水压力和施工需要设置。减压井布设的数量、间距应满足控制承压水头的要求。
- 5.4.7 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。
- 5.4.8 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。
- 5.4.9 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。

6 地基处理

6.1 一般规定

6.1.1 岩溶地基处理方法选择，应考虑地基、基础和上部结构的共同作用效应。

6.1.2 岩溶地基处理方法可采用充填法、跨越法、复合地基、桩基法、注浆法、褥垫层法等。

6.1.3 岩溶地基处理时，应根据岩溶发育特征和地表水迳流、地下水赋存条件制定截流、防渗、堵漏或疏排措施。

6.1.4 对塌陷或浅埋溶（土）洞宜采用强夯法、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、充填法、桩基法进行处理。

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

6.1.6 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。

6.1.7 对地貌、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。

6.2 充填法

6.2.1 充填法适用于溶（土）洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）、落水洞、塌陷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、块石、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、块石、泡沫轻质土充填。

6.2.3 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、《快硬高铁硫铝酸盐水泥》JC/T 933 的有关规定；
- 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 的有关规定；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 的有关规定；
- 4 发泡剂严禁采用动物蛋白类发泡剂，其性能应符合表 6.2.3 的规定；

表 6.2.3 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

- 5 泡沫轻质土的配合比应符合本规范附录 C 的规定。
- 6.2.4 泡沫轻质土的抗压强度应通过试验确定，且不应低于 1.5MPa。
- 6.2.5 基础坐落在基岩上，且其下发育有直径或宽度较大的溶洞、溶沟、溶槽以及裂隙时，洞体平面范围不大于基础面积 1/6，深度不大于 3.0m 时，应挖去其充填物，清理岩石表面，回填素混凝土或毛石混凝土，混凝土强度等级不应低于 C15。

6.3 跨越法

6.3.1 采用跨越法处理岩溶地基时，可根据溶洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）、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，进行结构计算。

6.3.2 浅埋的开口型或跨度较大的溶（土）洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）等岩溶地基，宜采用梁、板、拱等结构跨越；规模较大的洞隙或溶沟、溶槽，可采用洞底支撑、沟槽底部连续支撑或调整结构柱距等方法处理。

6.3.3 采用梁、板、拱等结构跨越时，梁式结构在岩石或支撑体上的支撑长度应大于梁高的 1.5 倍。

6.3.4 跨越结构施工前应先查明洞侧支撑岩体强度和完整性特征，保证支承岩体稳定，对影响跨越结构施工的裂隙应采取加固或其他措施。

6.4 复合地基

6.4.1 复合地基适用于地基承载力或变形不满足地基基础要求的岩溶地基处理。

6.4.2 采用复合地基时应评估基岩的稳定性。

6.4.3 对散体材料复合地基增强体应进行密实度检测；对有粘结强度的复合地基增强体应进行强度及桩身完整性检测。

6.4.4 混凝土桩、预制桩、水泥粉煤灰碎石桩复合地基适用于处理覆盖层为黏性土、粉土、砂土和填土的地基；高压旋喷桩、水泥土搅拌桩复合地基适用于处理覆盖层为淤泥质土、素填土、黏性土、粉土和砂土的地基；溶洞内的充填土体的处理宜采用高压旋喷桩。

6.4.5 对地基承载力要求高或变形敏感的建（构）筑物宜采用刚性复合地基。

6.4.6 刚性复合地基加强体可采用素混凝土桩、预制桩、微型钢管桩等多种桩体。

6.5 桩基法

6.5.1 当地存在下列情况之一时，可采用基桩穿过不稳定岩土层：

- 1 浅埋的溶洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙）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度，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虽大于独立基础的3倍或条形基础的6倍，但具备形成土洞或其它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安全等级为一级的建筑物。

6.5.2 桩基础设计施工前应收集拟建场地的岩土工程勘察报告，掌握场地岩溶、土洞的发育条件、发育程度、发展趋势、分布特征，以及地下水情况。对于岩溶发育中等和强发育场地的桩基础应进行施工勘察。

6.5.3 采用桩基础时，应进行单桩承载力载荷试验和成桩工艺可行性试验，试验总桩数不宜少于3根。

6.5.4 对于溶洞、土洞发育的场地，可先采用注浆或填料注浆等方法对溶洞、土洞进行治理，再进行桩基施工。

6.5.5 基桩的入岩深度、桩端基岩的类别必须满足设计要求。

6.5.6 基桩类型的选择应根据岩溶地基类型、发育程度、建筑结构特点综合确定，并应符合下列规定：

- 1 预制桩应采取植桩工艺施工；
- 2 锚（冲）孔灌注桩适宜于各类岩溶地基。

6.5.7 桩基础的设计、施工及检测应符合国家现行相关标准的规定。

6.6 注浆法

6.6.1 注浆法适用于小型溶洞、隐伏土洞和松散覆盖层的处理，注浆法与其它地基处理方法宜结合使用。

6.6.2 注浆处理前应进行室内配比试验和现场试验确定设计参数。

6.6.3 注浆方法和注浆材料的选择应符合下列规定：

- 1 对土洞、较小的溶洞、发育裂隙或土体结构松散的地层

可采用以水泥为主剂的浆液充填注浆；

2 充填注浆可采用全孔一次注浆或分段注浆的方式；

3 充填注浆时胶凝材料可采用水泥浆、水泥水玻璃浆等悬浮液；

4 水泥浆液中可加入膨润土、黏性土、粉煤灰、水玻璃等材料调整浆液性能，降低充填成本。膨润土、黏性土、粉煤灰等材料的掺加量不宜大于水泥用量的 50%，水玻璃的掺加量不宜大于水泥用量的 5%。

6.6.4 注浆孔的布置应符合下列规定：

1 注浆孔的布置应根据工程需要、地质条件的复杂程度、注浆扩散半径以及试验成果综合确定；

2 注浆孔的布置应沿勘察划定的边界线向内布置，宜按梅花型或正方形布置；

3 注浆孔的间距不宜超过 5.0m，并应分序布置。

6.6.5 注浆孔施工应符合下列规定：

1 应根据工程地质条件选用钻进方式；开孔直径不宜小于 130mm，终孔直径不宜小于 75mm；

2 注浆孔深度应进入完整岩面；

3 钻孔过程应进行记录，内容应包括：岩层、岩性变化，发生掉钻、塌孔、钻速变化，回水变色、失水、涌水等异常情况。

6.6.6 采用注浆法加固松散覆盖层、土洞或较小溶洞时，应符合下列规定：

1 注浆孔深度较小，注浆段长度不超过 10m 时，可采用全孔一次注浆或分段注浆方式；

2 对地层较破碎，钻进困难时，可采用自上而下分段注浆方式；

3 对地层相对完整，钻进较容易时，可采用自下而上分段注浆方式；

4 采用分段注浆时宜采用袖阀管注浆的方式。

6.6.7 注浆施工过程应符合下列规定：

1 施工前应检查注浆点位置、浆液配比、浆液组成材料的性能及注浆设备性能；

2 注浆时宜在加固范围内由外向内分序进行；

3 袖阀管注浆孔的设置应与注浆段的位置相适应；

4 注浆压力应通过现场注浆试验确定，应为 $0.2\text{MPa} \sim 3.0\text{MPa}$ ；

5 施工中应抽查浆液的配比及主要性能指标，注浆的顺序及注浆过程中的压力控制等；

6 注浆施工应记录注浆压力和浆液流量，宜采用自动压力流量记录仪。

6.7 褥垫层法

6.7.1 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粘土的地基，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，在石芽出露部位作褥垫。

6.7.2 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。

6.7.3 褥垫层可采用中砂、粗砂、土夹石、级配砂石、碎石等材料，其厚度宜取 $300\text{mm} \sim 500\text{mm}$ ，夯填度应根据试验确定。初步设计时，夯填度可按表 6.7.3 规定取值：

表 6.7.3 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 $20 \sim 30\%$ ）	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。

6.8 其他处理方法

6.8.1 岩溶地基处理还可采用顶柱法、爆破挖除法等方法，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（顶柱法）；

2 对浅埋的溶（土）洞，可采用换填法进行处理；

3 当采用爆破处理岩溶地基时，应采取有效措施避免对周围建（构）筑物产生震害。当爆破对周围建（构）筑物产生的震害较严重时，宜部分或全部采用人工、静态爆破、液压胀裂开挖方案，并避免岩溶塌陷。

6.8.2 岩溶地基处理时，应对岩溶水疏导为主、封堵为辅，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）措施；

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、桥涵及明沟等进行疏导；

3 应采取措施保持岩溶泉出水和落水洞排水不受影响；

4 覆盖型岩溶、土洞发育地段的岩溶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。

7 施 工

7.1 一般规定

7.1.1 施工前应组织图纸会审，会审纪要连同施工图等应作为施工依据，并列入工程档案。

7.1.2 施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等临时设施，必须在开工前准备就绪，施工场地应进行平整处理，保证施工机械能正常作业。

7.1.3 控制点和水准点应设在不受施工影响的地方。开工前，经复核后应妥善保管，施工中应经常复测。

7.1.4 施工前应调查掌握邻近建（构）筑物基础型式、埋深及管线资料，根据影响情况预先采取相应保护措施。

7.1.5 地基施工完毕且验收合格后，应及时进行基础施工与基坑回填。

7.2 基础施工

7.2.1 在岩溶地基基础工程施工中，应根据出现的问题，进行必要的补充勘探、测试与监测，及时修改设计及施工方案，对岩溶强发育场地，应有勘察设计人员配合工程施工。

7.2.2 穿过溶洞段的钻孔灌注桩应下套管，溶洞内充填软土时，应做好超前支护。

7.2.3 利用岩体侧阻力的地段，为保持桩（孔）侧壁岩体的完整性，水位以下的灌注桩，应按水下灌注混凝土的工法施工。

7.2.4 浅层溶洞桩基施工应符合下列规定：

1 对基桩处于单层或层数不多的浅层溶洞区，且洞高小于3m的浅层溶洞，当冲孔桩冲至距溶洞顶1m左右时，应减小冲

程，通过短冲程快速冲击方式逐渐将洞顶击穿，防止因冲程过大导致卡钻；

2 在钻至地下水位以上范围内的浅层溶洞顶前，应预先准备充足的直径 10cm~20cm 为的片石、直径 15cm~20cm 为粘土和水泥，粘土应做成球状或饼状。根据溶洞的大小，应回填片石和粘土的混合物，并进行反复冲砸补漏。片石和粘土混合物的比例应为 4:1；

3 对浅埋的溶洞，可将其挖开或爆破揭顶，如洞内有塌陷松软土体，应将其挖除，再以块石、片石、砂等填入，然后覆盖粘性土并夯实，再行施工；

4 对埋深在 10m 以内、洞体较小、空洞或半充填的溶洞，可采用挖孔桩施工工艺成孔；

5 当使用冲击钻机钻孔时，钢护筒内径应比钻头直径大 40cm；护筒厚度应为 $1/130d \sim 1/150d$ ，且不应少于 10mm；护筒顶面宜高出施工水位或地下水位 2m，还应满足孔内泥浆面的高度要求，在旱地或筑岛时还应高出施工地面 0.5m。当表层土层较软弱时且溶洞发育强烈，钢护筒应全面入岩，且不允许落在倾斜岩面上；若下层土层较坚硬密实，且无溶洞发育，钢护筒应进入该密实土层至少 0.5m；

6 钢护筒跟进方法应采用分段驳接振入法，即边成孔边用振动锤振入驳接加长钢护筒，或在确定进入岩面时，直接从孔顶驳入护筒。同时节段间的焊接应密实，不漏水；

7 护筒顶面中心与设计桩位偏差不得大于 5cm，倾斜度不得大于 1%。

7.2.5 深部溶洞桩基施工应符合下列规定：

1 埋深大于 10m 且洞高小于 5m 的溶洞，溶洞为单个情况下，可采用片石加黏土的反复冲孔，或灌注一定的低标号混凝土，然后进行冲孔；溶洞为串珠状情况下，可提前在桩基中心周边 0.5m~1.0m 的范围内采用溶洞压浆技术或旋喷帷幕施工工艺；

2 埋深大于 10m 且洞高大于 5m 的溶洞，在有充填物情况下，可填片石与黏土。在单个溶洞无充填物情况下，可回填片石和黏土，以片石为主，或填充砣、压浆。串珠状溶洞或空洞洞高超过 8m 的情况下，可提前在桩基中心周边 0.5m~1.0m 的范围内采用压浆或旋喷帷幕施工工艺。

7.2.6 施工抽降水过程中，应避免水位急剧下降和反复升降，并应对环境进行监测，发现地形地物异常或抽出泥浆，有可能引发环境灾害的地段应分析原因，必要时应停止抽排并设置隔水灌浆帷幕。

7.3 基坑施工

7.3.1 基坑工程施工前应根据设计文件，结合现场条件和周边环境要求、气候等情况，编制支护结构施工、土方开挖和降水、环境保护等专项施工方案。施工方案中应结合工程具体情况，编制施工应急预案。对临水基坑尚应考虑波浪、潮位等对施工的影响，并应符合防汛主管部门的相关规定。

7.3.2 基坑支护结构施工以及降水、开挖的工况和工序，应符合设计图纸要求。

7.3.3 基坑支护结构施工与拆除不应影响邻近市政管线与地下设施、周围建（构）筑物等的正常使用，必要时应采取减少环境影响的措施。

7.3.4 基坑工程施工中，应采取信息化施工，对支护结构自身、已施工的主体结构和邻近道路、市政管线与地下设施、周围建（构）筑物等进行监测，并应根据监测信息进行动态调整，及时采取有效措施。基坑监测应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 的有关规定。基坑工程施工中应加强对监测点的保护。

7.3.5 施工现场道路布置、材料堆放、车辆行走路线等应符合设计荷载的控制要求，并减少对主体结构、支护结构、周边环境等的影响；必要时，可设置施工栈桥。施工栈桥应进行专项

设计。

7.3.6 基坑工程施工中，如邻近工程进行桩基施工、基坑开挖、边坡工程、盾构顶进、爆破等施工作业，应根据实际情况协商确定相互间合理的施工顺序和方法，必要时应采取措施减少相互影响。

8 检测与验收

8.1 一般规定

8.1.1 砂、石、水泥、钢材等原材料质量的检验项目和检验方法应符合国家现行有关标准的规定。

8.1.2 采用桩基法对岩溶地基进行处理时，应进行桩位、桩长、桩径、桩身质量、垂直度及承载力检验。

8.2 检验与检测

8.2.1 重大基础经地基处理后，应按国家现行有关标准的规定进行变形观测。岩溶地基处理工程应进行全程监测，施工过程中应随时检查材料使用记录、施工记录和计量记录、分项检验记录等内容。

8.2.2 对于采用松散材料回填地基，应采用采用环刀或灌砂（水）法检验垫层密实度。检验点数量，条形基础下垫层每10m~20m不应少于1个点，独立基础、单个基础下垫层不应少于1个点，其他基础下垫层每50m²~100m²不应少于1个点。

8.2.3 对采用梁、板、拱等跨越结构，检验项目和检验方法应与所采用的结构措施相对应；采用混凝土结构时应符合现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的有关规定，采用砌体结构时，应符合现行国家标准《砌体工程现场检测技术标准》GB/T 50315 的有关规定。

8.2.4 采用跨越结构措施，对荷载集中、变形控制严格的重要结构部位应全部检验，也可采用现场实体加载的方法检测。

8.2.5 当采用桩基法进行溶（土）洞处理时，应在完成基桩检测符合要求后再进行下一步施工。受检桩应先进性桩身完整性检

测，后进行承载力检测。当基础埋深较大时，桩身完整性检测和承载力检测应在基坑开挖至基底标高后进行。

8.2.6 基桩桩身完整性检测应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定，并应符合下列规定：

1 位于岩溶强发育区的桩基工程，评价基桩完整性时，检测数量不应少于总桩数的 50%，且不应少于 20 根；

2 位于岩溶强发育区，且穿过溶洞、土洞的基桩，应在本条第 1 款规定的检测数量范围内，按不少于总桩数 20%的比例采用声波透射法或钻芯法检测；

3 当灌注桩采用声波透射法进行检测存在疑问时应采用钻芯法进行验证，验证深度应穿过桩身进入持力层不应少于 0.5m；

4 当基桩为管桩时，应采用低应变法全数检测；

5 当管桩采用低应变法进行检测存在疑问时，管桩内孔通畅时宜采用桩芯孔内电视检测法进行验证。

8.2.7 单桩承载力的检测应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

8.2.8 复合地基检测应符合下列规定：

1 对有粘结强度的复合地基增强体，应采用低应变法或钻芯法检测增强体完整性，检测数量不应少于增强体总数的 20%，每个柱下承台检测数量不应少于 1 根；

2 复合地基承载力的检测数量不应少于总桩数的 0.5%，且不应少于 3 点；有单桩承载力或桩身强度检验要求时检测数量不应少于总桩数的 0.5%，且不应少于 3 根。

8.2.9 验收检测的受检桩选择应符合下列规定：

1 施工质量有疑问的桩；

2 设计方认为重要的桩；

3 局部地质条件出现异常的桩；

4 施工工艺不同的桩；

5 承载力验收检测时，适量选择完整性检测中判定为Ⅲ、

IV类桩；

6 除上述规定外，同类型桩宜均匀随机分布。

8.2.10 降水施工监测应符合下列规定：

1 应采取措施预防降水引起的地基变形、影响建（构）筑物的正常使用或结构的稳定性；

2 在施工过程中应做好质量检验和水位观测及坑壁与坑底稳定性监测。

8.2.11 采用注浆法处理的地基，以水泥为粘结材料的注浆加固质量检验应符合下列规定：

1 应在注浆结束 28d 后进行；可选用钻探取样、标准贯入试验、动力触探试验、物探、孔间 CT、钻孔孔内摄像、取样强度检测、注水试验及压水试验等方法对加固体的均匀性检测；

2 检测钻孔应选在具有代表性的地段或薄弱部位，注浆体采样点宜选在浆液有效扩散半径的中间或沿扩散半径均匀布置；

3 按加固体深度范围应每间隔 1m 取样进行室内试验，测定加固体的压缩性、强度或渗透性；

4 注浆加固体检验点宜为注浆孔数的 2%~5%。检验点合格率小于 80%时，应对不合格的注浆区实施重复注浆；

5 工程物探检测可在注浆完成 15d 后进行，布置在有代表性地段，且不应少于 3 条；

6 注浆加固处理后地基的承载力应进行静载试验或其他原位测试，每个单体建筑的检验数量不应少于 3 点。

8.2.12 基坑工程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；观测点的起始观测数据精度应满足二级测量精度的要求；

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

3 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；

- 4 监测点布置和测量仪器应满足设计和监测要求；
- 5 当监测值达到预警值时应及时发出预警。

8.3 验收

8.3.1 施工验槽应符合下列规定：

1 在挖至持力层设计深度时，应对照地质柱状图和工程地质剖面图进行验槽，发现异常，应进行施工补充探测查明存在问题，提出处理方案；

2 应测绘坑底出露裂隙的平面图与剖面图，并结合其特征按下列方法处理：

- 1) 对浅层岩溶洞隙，可清除充填物，清洗隙壁，回填混凝土或毛石混凝土；
- 2) 对基底下宽度不大的深溶槽，可清除槽内一定深度的填充物，洗净岩壁，横截刻槽，槽距宜为 200mm，嵌入钢筋，回填混凝土或水泥砂浆；
- 3) 位于基底边缘宽度不大的溶槽或溶洞，应按本条第 2 款方法处理后可扩大基础跨越，在基底一侧或一角有宽度和深度较大的溶洞、溶槽或地下水位高，涌水量大，可采用孔径大于 300mm 的钻孔嵌岩灌注桩支撑基底，桩基承载力应大于支承面积荷载的 1.25 倍。

3 基坑验槽合格应及时浇灌垫层封底。

8.3.2 工程竣工后，应进行验收。验收工作应由建设单位负责组成验收小组进行。验收时的文件应包括下列内容：

1 工程设计文件应包括有关设计的文件、图纸以及修改通知等；

2 竣工资料和报告应包括有关原始资料、成果资料、工程质量检查报告、工程竣工报告及技术总结等。

附录 A 溶洞的稳定性半定量计算

A.0.1 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，不应考虑其对地基的影响。此时所需塌落高度（H）可按式计算：

$$H = \frac{H_0}{K - 1} \quad (\text{A.0.1})$$

式中： H_0 一塌落前洞体最大高度（m）；

K 一岩石松散（胀余）系数，石灰岩 K 取 1.2，黏土 K 取 1.05。

A.0.2 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，应符合下列规定：

- 1) 当顶板跨中有裂缝，顶板两端支座处岩石坚固完整时，可采用下式按悬臂梁计算：

$$M = \frac{1}{2} pl^2 \quad (\text{A.0.2-1})$$

- 2) 当裂隙位于支座处，而顶板较完整时，可采用下式按简支梁计算：

$$M = \frac{1}{8} pl^2 \quad (\text{A.0.2-2})$$

- 3) 当支座和顶板岩层均较完整时，可采用下式按两端固定梁计算：

$$M = \frac{1}{12} pl^2 \quad (\text{A.0.2-3})$$

- 4) 计算弯矩和剪力应满足下列公式的要求：

$$\frac{6M}{bH^2} \leq \sigma \quad (\text{A. 0. 2-4})$$

$$H \geq \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} \quad (\text{A. 0. 2-5})$$

$$\frac{4f_s}{H^2} \leq S \quad (\text{A. 0. 2-6})$$

$$H \geq \sqrt{\frac{4f_s}{S}} \quad (\text{A. 0. 2-7})$$

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

P — 顶板所受总荷载 (kN/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)；

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

f_s — 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)；

b — 梁板的宽度 (m)；

H — 顶板岩层厚度 (m)。

A. 0. 3 按极限平衡条件计算顶板受剪切承载力时，应满足下列公式的要求：

$$T \geq P \quad (\text{A. 0. 3-1})$$

$$T = HSL \quad (\text{A. 0. 3-2})$$

$$H = \frac{T}{SL} \quad (\text{A. 0. 3-3})$$

式中： P — 溶洞顶板所受总荷载 (kN)；

T — 溶洞顶板的总抗剪力 (kN)；

L — 溶洞平面的周长 (m)

其余符号意义同前。

A. 0. 4 溶洞发生坍塌形成破裂拱时，破裂时顶板岩层厚度

可按下式计算：

$$H = \frac{0.5b + h_0 \tan(90 - \varphi)}{f} \quad (\text{A. 0. 4-1})$$

式中：b — 溶洞宽度（m）；

h_0 — 溶洞的高度（m）；

φ — 岩石内摩擦角（°）；

f — 为溶洞围岩坚实系数，一般可根据岩石的单轴抗压强度确定。

附录 B 渗透变形类型判别

B.0.1 渗透变形可分为流土（砂）型、管涌型和过渡型。

B.0.2 流土（砂）可按下列方法进行判别：

1 按土的细粒含量进行判别，应符合下列规定：

1) 当连续级配土的细粒含量符合下式规定时，可判定为流土（砂）：

$$P_c \geq \frac{1}{4(1-n)} \times 100\% \quad (\text{B.0.2-1})$$

2) 当不均匀系数大于 5 的不连续级配土符合下式规定时，可判定为流土（砂）：

$$P_c \geq 35\% \quad (\text{B.0.2-2})$$

3) 根据土的密度、粒级、形状进行综合分析，并符合下式规定时，可判定为流土（砂）和管涌的过渡型：

$$25\% \leq P_c < 35\% \quad (\text{B.0.2-3})$$

式中： n —土的孔隙率；

P_c —土的细颗粒含量，以质量百分率计。

2 土的细粒含量可按以下方法确定：

1) 可根据级配曲线中一个以上的粒径级颗粒含量小于或等于 3% 的平缓段，粗细粒的区分粒径 (d_f) 以平缓段粒径级的最大和最小粒径的平均粒径区分，或以最小粒径为区分粒径，相应于此粒径的含量为细粒含量。

2) 对细粒级配土， d_f 可按下列下式计算：

$$d_f = \sqrt{d_{70} d_{10}} \quad (\text{B.0.2-4})$$

式中： d_f —粗细粒的区分粒径；

d_{70} —小于该粒径的含量占总土重 70% 的颗粒粒径；

d_{10} —小于该粒径的含量占总土重 10% 的颗粒粒径。

3 当土体在渗流作用下的实际水力比降符合下式规定时，可判定为流土（砂）：

$$J \leq \frac{J_{cr}}{F_s} \quad (\text{B. 0. 2-5})$$

式中：\$J\$ —土体在渗流作用下的实际水力比降；

\$F_s\$ —安全系数，可取 1.2~2.0；

\$J_{cr}\$ —流土（砂）的临界水力比降，可按式计算：

$$J_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = (G_s - 1)(1 - n) \quad (\text{B. 0. 2-6})$$

式中：\$\gamma'\$ —土的有效重度；

\$\gamma_w\$ —水的重度；

\$G_s\$ —土的颗粒密度与水的密度之比；

\$n\$ —土的孔隙比。

B. 0.3 管涌可按下列方法进行判别：

1 当连续级配土的细粒含量符合下式规定时，可判定为管涌：

$$P_c = \frac{1}{4(1-n)} \times 100\% \quad (\text{B. 0. 3-1})$$

2 对不均匀系数大于 5 的不连续级配的无黏性土，当符合下式规定时，可判定为管涌：

$$P_c < 25\% \quad (\text{B. 0. 3-2})$$

3 对不均匀系数大于 5 的连续级配的无黏性土，渗透变形类型的判别应符合下列规定：

1) 当采用孔隙直径法时，应按表 B. 0. 3-1 判定：

表 B.0.3-1 孔隙直径法渗透变形类型判别

土孔隙的平均直径	渗透变形类型
$D_0 > d_s$	管涌型
$D_0 < d_s$	流土型
$D_0 = d_s \sim d_5$	过渡型

注：1. \$d_3\$、\$d_5\$、\$d_{70}\$ 一较细一层土的颗粒粒径，小于该粒径的含量占总土重 3%、5%、70% 的颗粒粒径；

2. \$D_0\$ —土孔隙的平均直径，按 \$D_0 = 0.63nd_{20}\$ 估算，\$d_{20}\$ 为等效粒，小于该粒径的土重占总土重的 20%；

2) 当采用细粒含量法时, 应按表 B.0.3-2 判定:

表 B.0.3-2 细粒含量法渗透变形类型判别

土的细颗粒含量	渗透变形类型
$P_c < 0.9P_{op}$	管涌型
$P_c \geq 1.1P_{op}$	流土型
$P_c = 0.9 \sim 1.1P_{op}$	过渡型

注: P_{op} 为最优细粒含量, 其计算公式如下:

$$P_{op} = \frac{0.3 - n + 3n^2}{1 - n} \quad (\text{B.0.3-3})$$

n — 土的孔隙率。

4 土为粗颗粒 (粒径 D) 和细颗粒 (粒径 d) 组成, $D/d > 10$;

5 土的不均匀系数应满足下式的要求:

$$d_{60}/d_{10} > 10 \quad (\text{B.0.3-4})$$

6 两种互相接触土层的渗透系数之比应大于 2~3;

7 渗透水流的水力比降 J 大于土的临界水力比降 J_{cr} 时, 临界水力比降 J_{cr} 可按下列方法确定:

- 1) 应根据管涌破坏的临界水力比降与土中细粒含量的关系 (图 B.0.3-1) 确定。当土中细粒含量大于 35% 时, 应评价产生流土及流土破坏的可能性;

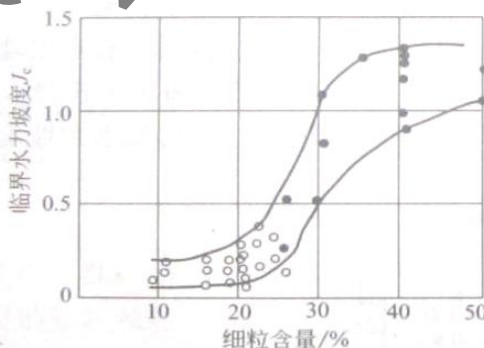


图 B.0.3-1 临界水力比降与土中细粒含量的关系

x —渗透系数； y —渗透破坏临界水力比降

1—上限；2—中值；3—下限

- 2) 应根据管涌破坏的临界水力比降与土的渗透关系 (图 B.0.3-2) 确定；

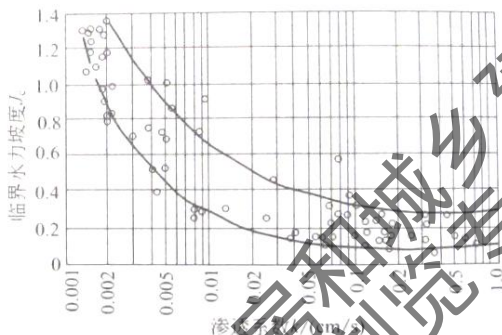


图 B.0.3-2 临界水力比降与土的渗透的关系

1—上限；2—中值；3—下限

- 3) 管涌型或过渡型宜采用下式计算：

$$J_{cr} = 2.2(G_s - 1)(1 - n)^2 \frac{d_5}{d_{20}} \quad (\text{B. 0. 3-5})$$

式中： d_5 、 d_{20} —分别为占总土重的 5%和 20%的土粒粒径。

- 4) 对已有工程资料和地下水渗透条件进行分析，提供类似条件下的临界水力比降值，在进行地基渗流管涌稳定性验算评价时，将确定的临界水力比降值除以安全系数 F_s ($F_s = 1.5 \sim 2.0$)，得到允许水力比降 J_a 。无试验资料时，可按表 B. 0. 3-3 和表 B. 0. 3-4 中的经验值确定 J_a 。

表 B. 0. 3-3 土的渗透系数与 J_a

土的渗透系数 (cm/s)	J_a
≥ 0.5	0.1

土的渗透系数 (cm/s)	J_a
0.5~0.025	0.1~0.2
0.025~0.005	0.2~0.5
≤ 0.005	≥ 0.5

表 B. 0. 3-4 无黏性土 J_a

允许 水力 比降	渗透变形类型					
	流土型			管涌型		
	$C_u \leq 3$	$3 < C_u \leq 5$	$C_u \geq 5$	过渡型	级配连续	级配不连续
J_a	0.25~0.35	0.35~0.50	0.50~0.80	0.25~0.40	0.15~0.25	0.10~0.20

附录 C 泡沫轻质土充填处理的配合比

C.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满足下式要求：

$$q_{u7d} \geq 0.5q_c \text{ 或 } q_{u28d} \geq q_c \quad (\text{C.0.1})$$

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

C.0.2 泡沫轻质土的配合比设计应按下列步骤进行：

1 应根据设计要求确定泡沫轻质土施工湿密度 R_{fw} ；

2 确定水泥浆配合比应符合下列规定：

1) 水泥浆单方材料组成、湿密度应按下式计算：

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

2) 泡沫轻质土配合比单方材料组成、气泡率应按列公式计算:

$$\begin{cases} \lambda = \frac{R_L - R_{fw}}{R_L - \rho_a} \\ m_w = M_w \bullet (1 - \lambda) \\ m_c = M_c \bullet (1 - \lambda) \\ m_f = M_f \bullet (1 - \lambda) \end{cases} \quad (\text{C. 0. 2-2})$$

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_c 、 m_f 、 m_w —轻质土单位体积内水泥、粉煤灰、水的质量;

R_L 、 R_{fw} —水泥浆、轻质土单位体积质量;

ρ_c 、 ρ_f 、 ρ_a —为水泥、粉煤灰、泡沫密度;

λ —轻质土气泡率。

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

C.0.3 配合比试配试验应符合下列规定:

1 应根据计算的配合比, 拌合水泥浆、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 , 重新拌合泡沫轻质土, 应直至流值满足要求为止;

3 进行标准沉陷距试验, 如标准沉陷距大于 5mm, 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, 并检测 7 天龄期抗压强度, 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。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

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”。

表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”。

2 条文中制定应按其他有关标准、规范执行时，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
《砌体结构工程施工质量验收规范》 GB 50203
《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB50204
《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330
《建筑基坑工程监测技术标准》 GB 50497
《岩溶地区建筑地基基础技术标准》 GB/T 51238
《工程勘察通用规范》 GB 55017
《通用硅酸盐水泥》 GB 175
《混凝土外加剂》 GB 8076
《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
《高层建筑岩土工程勘察标准》 JGJ 72
《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
《快硬高铁硫铝酸盐水泥》 JC/T 933
《广西壮族自治区岩土工程勘察规范》 DBJ/T 45-002
《广西建筑地基基础设计规范》 DBJ45 003

广西壮族自治区工程建设地方标准

岩溶地区建筑地基基础技术规程

Technical code for building foundation in karst area

DBJ45 × × × —20XX

条文说明