

×

云南省工程建设地方标准

DB

DBJ 53/T-XX-XXXX

# 岩溶地区建筑地基基础技术规程

Technical specification for building foundation in karst area

(征求意见稿)

202×-××-×× 发布

202×-××-×× 实施

云 南 省 住 房 和 城 乡 建 设 厅 发 布

云南省工程建设地方标准

# 岩溶地区建筑地基基础技术规程

Technical specification for building foundation in karst area

DBJ — 53/T-XX-XXXX

（征求意见稿）

主编单位：中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司

批准单位：云南省住房和城乡建设厅

施行日期：202X 年 X 月 X 日

中国 XX 出版社

202X 昆明

## 前 言

根据云南省住房和城乡建设厅《关于印发<云南省 2020 年工程建设地方标准编制计划（第一批）>的通知》的要求，标准编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国家标准和国内外先进经验，并在广泛征求意见的基础上制定本规程。

本标准的主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、勘察、设计、地基处理、施工、检测与监测。

本标准由云南省住房和城乡建设厅负责管理，由中国有色金属工业昆明勘察设计院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国有色金属工业昆明勘察设计院有限公司（地址：云南省昆明市东风东路东风巷 1 号，邮政编码：650051，Email：39069954@qq.com）。

本标准主编单位：中国有色金属工业昆明勘察设计院有限公司

本标准参编单位：

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

# 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	工程地质测绘和调查 .....	7
4.3	勘探 .....	8
4.4	物探 .....	13
4.5	地下水 .....	15
4.6	岩土工程评价 .....	16
5	设计 .....	20
5.1	一般规定 .....	20
5.2	地基稳定性计算 .....	20
5.3	地基基础设计 .....	21
5.4	基坑与边坡设计 .....	23
6	地基处理 .....	25
6.1	一般规定 .....	25
6.2	充填法 .....	25
6.3	跨越法 .....	26
6.4	刚性桩法 .....	27
6.5	注浆法 .....	28
6.6	褥垫层法 .....	29
6.7	强夯法 .....	29
6.8	复合地基 .....	30
7	施工 .....	36
7.1	一般规定 .....	36
7.2	桩基础施工 .....	36
7.3	基坑与边坡施工 .....	39
8	检测与监测 .....	42
8.1	一般规定 .....	42
8.2	检测 .....	42
8.3	监测 .....	44
附录 A	云南省区域岩溶发育分区图 .....	48
附录 B	碳酸盐岩溶蚀风化带划分 .....	49
附录 C	溶洞的稳定性半定量稳定性计算 .....	50
附录 D	溶洞稳定性分级表 .....	55
附录 E	泡沫轻质土充填处理的配合比 .....	56

# Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols .....	3
3	Basic Requirements .....	5
4	Survey .....	7
4.1	General Requirements .....	7
4.2	Engineering Geological Survey and Mapping .....	7
4.3	Exploration.....	8
4.4	Geophysical Exploration.....	13
4.5	Underground Water .....	15
4.6	Geotechnical Engineering Evaluating .....	16
5	Design Considerations.....	20
5.1	General Requirements .....	20
5.2	Calculation of Ground Stability .....	20
5.3	Foundation Design.....	21
5.4	Excavations and Slope Design.....	23
6	Ground Treatment .....	25
6.1	General Requirements .....	25
6.2	Filling Method.....	25
6.3	Crossing Method.....	26
6.4	Rigid Pile Method.....	27
6.5	GROUTING Consolidation.....	28
6.6	Mattress Layer Method.....	29
6.7	Dynamic Compaction.....	29
6.8	Composite Foundation.....	30
7	Construction .....	36
7.1	General Requirements .....	36
7.2	Pile Foundation Construction.....	36
7.3	Excavations and Slope Construction.....	39
8	Testing and Monitoring .....	42
8.1	General Requirements .....	42
8.2	Testing .....	42
8.3	Monitoring.....	44
Appendix A	Yunnan Province Karst Development Zoning Map.....	48
Appendix B	Rock Weathering Zone Identification of Carbonate Rock.....	49
Appendix C	Semiquantitative Stability Calculation for the Stability of Karst Cave .....	50
Appendix D	Classification Table of Karst Cave Stability .....	55
Appendix E	Mix Proportion of Foamed Lightweight Soil.....	56

## 1 总则

**1.0.1** 为了在云南省岩溶地区建筑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，确保质量，保护环境，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于云南省岩溶地区建筑地基基础勘察、设计、施工、检测与监测。

**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，综合考虑结构类型、材料性质和施工条件等因素，因地制宜，精心设计 with 施工。

**1.0.4** 云南省岩溶地区建筑地基基础勘察、设计、施工、检测与监测除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和云南省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

碳酸盐岩、硫酸盐岩、卤素岩等可溶性岩石在水的溶蚀、侵蚀作用下，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。

#### 2.1.3 岩溶排泄基准面 karst drainage base level

岩溶水的最低排泄位置。一般指当地排泄岩溶地下水的最低河面、湖面。

#### 2.1.4 岩溶类型 type of karst

根据形态特征、出露条件等对岩溶作出的分类。一般分为裸露型岩溶、覆盖型岩溶、埋藏型岩溶。

#### 2.1.5 岩溶率 rate of karstification

在一定范围内岩溶空间的规模和密度的定量指标。一般通过线岩溶率、钻孔见洞隙率、地表岩溶密度等表征。

线岩溶率：单位长度上岩溶空间形态长度的百分比。

钻孔见洞隙率：在一定深度或层位内，揭露到洞隙的钻孔占钻孔总数的百分比。

地表岩溶密度：每平方千米内岩溶空间形态（塌陷、落水洞等）的个数。

#### 2.1.6 岩溶地基 karst subgrade

岩体中存在溶洞、溶蚀裂隙，或岩体表面存在石芽、溶沟、溶槽、溶蚀漏斗，或覆盖层中存在可溶岩类残积土、伴生土洞等不良地质作用的地基。

#### 2.1.7 红黏土地基 red clay subgrade

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

#### 2.1.8 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；或石芽密布并有出露的地基；或大块孤石或个别石芽出露的地基。

#### 2.1.9 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。

#### 2.1.10 复合地基 composite subgrade

由地基土和增强体共同承担荷载的人工地基。

## 2.2 符号

### 2.2.1 作用及作用效应

$E_a$ ——主动土压力；

$G$ ——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；

$P_0$ ——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

$c$ ——岩土层的黏聚力；

$\varphi$ ——岩土层的内摩擦角；

$\gamma$ ——岩土体的重力密度，简称岩土体的重度；

$w$ ——土的含水量；

$w_L$ ——液限；

$w_p$ ——塑限；

$E_s$ ——土的压缩模量；

$f_{rk}$ ——岩石饱和单轴抗压强度标准值；

$f_{ak}$ ——地基承载力特征值；

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值；

$q_{pa}$ ——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。

### 2.2.3 几何参数

$A$ ——基础底面面积；

$b$ ——基础底面宽度，或力矩作用方向的基础底面边长；

$s$ ——沉降量；

$d$ ——基础埋置深度，或桩身直径；

$z_n$ ——地基沉降计算深度。

### 2.2.4 设计参数和计算系数



$m$ ——复合地基面积置换率；  
 $\bar{a}$ ——平均附加应力系数；  
 $\theta$ ——地基的压力扩散角；  
 $\mu$ ——挡土墙基底摩擦系数；  
 $\beta$ ——桩间土地基承载力修正系数；  
 $\eta_b$ ——基础宽度的承载力修正系数；  
 $\eta_d$ ——基础埋深的承载力修正系数；  
 $\psi_s$ ——沉降计算经验系数。

### 3 基本规定

**3.0.1** 云南省区域岩溶发育区根据地域分布、区域地质、地貌背景的区间差异划分为 5 个区，云南省区域岩溶发育区划分按本规程附录 A 执行。

**3.0.2** 岩溶场地根据岩溶发育程度划分为四个等级，应符合表 3.0.2 的规定。

**表 3.0.2 场地岩溶发育等级**

岩溶发育等级	地表岩溶密度(个 / km <sup>2</sup> )	线岩溶率 (%)	钻孔见洞隙率 (%)	岩溶发育特征
岩溶极强发育	>15	>30	>60	地表及地下岩溶形态均很发育，地表有大型溶洞，地下有大规模的暗河或暗河系，以管道水为主
岩溶强烈发育	7~15	11~30	31~60	地表有较多岩溶塌陷、漏斗、洼地、泉眼、石芽密布，溶沟、溶槽强发育，地下有暗河、伏流，溶洞可见
岩溶中等发育	1~6	5~10	10~30	地表发育有洼地、漏斗、落水洞，泉眼、暗河稀疏、溶洞少见
岩溶弱发育	0	<5	<10	地表无岩溶塌陷、漏斗；溶沟、溶槽弱发育；泉眼少见

注：同一档次的三个划分指标中，根据最不利组合原则，从高到低，有一个指标达标即可定为该级。

**3.0.3** 岩土工程勘察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。

**3.0.4** 地基基础设计应根据地基复杂程度、建筑物规模和功能特征以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度分为三个设计等级，按表 3.0.4 选用。

**表 3.0.4 地基基础设计等级**

设计等级	建筑和地基类型
甲级	重要的工业与民用建筑物 30 层以上或高度超过 100m 的建筑物 体型复杂，层数相差超过 10 层的高低层连成一体的建筑物 大面积的多层地下建筑物 对地基变形有特殊要求的建筑物 复杂地质条件下的坡上建筑物 对原有工程影响较大的新建建筑物 场地和地基条件复杂的一般建筑物 岩溶发育等级为强烈或极强的场地一般建筑物 开挖深度大于 15m 的基坑工程 周边环境条件复杂、环境保护要求高的基坑工程
乙级	除甲级、丙级以外的建筑 岩溶发育等级为中等场地的一般建筑物
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的七层及七层以下民用建筑及一般工业建筑物；次要的轻型建筑物 场地地质条件简单、基坑周边环境条件简单、环境保护要求不高且基坑开挖深度小于 5.0m 的基坑工程

**3.0.5** 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。

**3.0.6** 存在下列情况之一，未经处理的场地不应作为建筑物地基。

- 1 浅层溶洞成群分布，洞径大，且不稳定的地段；
- 2 漏斗、溶槽埋深浅，并有软弱土体覆盖的地段；
- 3 土洞或塌陷成群发育地段；
- 4 岩溶水排泄不畅，可能造成场地暂时淹没的地段。

**3.0.7** 存在下列情况之一的岩溶场地，应采用多种勘察手段，论证场地建筑适宜性，地基基础设计与施工宜进行专门研究与论证。

- 1 单一溶洞洞径（高）大于 8m；
- 2 钻孔见洞隙率大于 60%；
- 3 钻孔线岩溶率大于 30%；
- 4 溶槽或串珠状竖向溶洞发育深度超过 50m。

**3.0.8** 岩溶地基处理方法选择，应考虑地基、基础与上部结构的共同作用、施工工艺等条件。

**3.0.9** 岩溶地基处理的试验、施工以及地基基础分部验收阶段，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。岩溶地区的地基处理工程应进行全过程监测，在地基处理和建（构）筑物施工期间均应进行变形监测。

## 4 勘察

### 4.1 一般规定

- 4.1.1** 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。
- 4.1.2** 岩溶勘察阶段宜划分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察和施工勘察四个阶段。
- 4.1.3** 岩溶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、物探和钻探等多种手段结合的方法进行。
- 4.1.4** 岩溶勘察应对岩溶溶蚀风化带进行划分，划分依据宜按本规程附录 B 执行。
- 4.1.5** 可行性研究勘察应分析岩溶洞隙、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做出评价。
- 4.1.6** 初步勘察应初步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，并对拟建工程地段稳定性做出评价。对可能采取的地基基础类型、基坑支护方案、工程降水方案进行初步分析评价。
- 4.1.7** 详细勘察应查明拟建工程范围及有影响地段的各种岩溶洞隙和土洞的位置、规模、埋深，充填物性状和地下水特征，预测场地可能发生的岩溶工程问题，对地基基础设计和岩溶治理提出建议。边坡、基坑工程应根据岩土体类型、岩溶发育程度、岩溶水特征，分析边坡、基坑可能的失稳模式，提出支护措施建议。
- 4.1.8** 施工勘察应针对某一地段或尚待查明的专门问题进行勘察。
- 4.1.9** 当采用大直径嵌岩桩时，应进行专门的施工勘察。桩基勘察应查明桩周及桩端影响范围内的岩石风化程度及完整性、溶洞规模及充填物、岩溶洞隙、软弱夹层和临空面的分布情况，并评价桩基持力层完整性。
- 4.1.10** 采用物探方法时，应进行方法的有效性试验，试验地段应选择有对比资料并有代表性的地段；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译。
- 4.2.11** 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。

### 4.2 工程地质测绘和调查

- 4.2.1** 岩溶地区的工程地质测绘和调查宜在可行性研究或初步勘察阶段进行。详细勘察阶段和施工勘察阶段在工程地质条件复杂或工程关键地段进行详细测绘，或对某些专门地质问题作补充调查。
- 4.2.2** 工程地质测绘和调查以搜集既有资料、现场调查为主，可辅以适量的勘探工作，并进行综合分析研究。

**4.2.3** 工程地质测绘的比例尺应选用比最终成果图大一级的地形图作底图，在可行性研究勘察阶段可选用 1：5000～1：2000；在初步勘察、详细勘察和施工勘察阶段可选用 1：2000～1：1000；在工程地质条件复杂地段或用于治理设计时，比例尺可选用 1：1000～ 1：500。

**4.2.4** 工程地质测绘和调查工作范围应根据地质条件复杂程度和对工程的影响程度而定，其范围应满足岩溶地基、基坑和边坡稳定性评价的要求。

**4.2.5** 工程地质测绘和调查的资料搜集宜包括区域地质、遥感、气象、水文、地震、地球物理勘探、工程地质勘察、当地岩溶治理案例等资料。

**4.2.6** 工程地质测绘和调查，宜利用无人机摄影技术、卫星和航空影像等遥感资料进行地质解译，成果应进行实地验证和核实。

**4.2.7** 岩溶地区工程地质测绘和调查应重点调查以下内容：

- 1 红黏土的成因、性质、厚度和分布等；
- 2 岩溶洞隙、土洞和塌陷的分布、形态和发育特征、成因及其发展趋势；
- 3 岩面起伏、形态和覆盖层厚度；
- 4 岩溶排泄基准面，地下水赋存条件，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 岩溶发育与地貌、构造、岩性、地下水的关系；
- 6 既有建筑物开裂、变形情况；
- 7 当地治理岩溶洞隙、土洞和塌陷的经验。

**4.2.8** 工程地质测绘和调查的成果资料宜包括实际材料图、工程地质分区图、工程地质剖面图、综合地质柱状图、地质照片、文字说明等。与勘察同时进行的工程地质测绘和调查成果资料宜与勘察成果综合编制。

## 4.3 勘探

**4.3.1** 可行性研究勘察勘探点、线宜结合工程地质测绘、物探综合进行布置。勘探线间距可取 50m～150m，勘探点间距可取 30m～100m，控制性勘探孔的深度应穿过对工程有影响的强溶蚀风化带。

**4.3.2** 初步勘察勘探线、点的间距布置应符合下列规定：

- 1 红黏土地基初步勘察勘探线间距可取 50m～100m，勘探点间距可取 30m～50m，控制性勘探点宜为勘探点总数的 1/5～1/3，且每个地貌单元均应布置控制性勘探点。
- 2 岩溶地基初步勘察勘探线、勘探点的间距可按表 4.3.2 确定。

**表 4.3.2 岩溶地基初步勘察勘探线、勘探点间距 (m)**

岩溶发育程度等级	勘探线间距	勘探点间距
岩溶极强发育	30~50	15~30
岩溶强发育	40~80	25~40
岩溶中等发育	50~100	30~50
岩溶弱发育	75~150	40~100

注：①控制性勘探点应占勘探孔总数的 1/4~1/3，且每个地貌单元均应有控制性勘探点；

②表中间距不适用地球物理勘探；

③位于云南省岩溶发育分区强发育区范围内取小值。

### 3 对下列地段，应加密勘探点。

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

### 4.3.3 初步勘察勘探孔的深度应符合下列规定：

1 红黏土地基，对均匀地基勘探孔的深度可按表 4.3.3 确定；对不均匀地基，勘探孔应深入稳定分布地层。

**表 4.3.3 红黏土地基初步勘察勘探孔的深度 (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：①一级工程遇到软弱层应钻探到稳定分布的基岩；

②孔深应满足地基承载力和变形计算要求。

### 2 岩溶地基勘探孔的深度应符合下列规定。

- 1) 在预定深度内遇碳酸盐岩时，控制性勘探孔进入基础底下较完整或完整碳酸盐基岩的深度不应少于 5m，一般性勘探孔的深度达到基础底下不小于 3m；
- 2) 当预定深度内有溶洞、溶隙且可能影响地基稳定时，应进入溶洞、溶隙底基岩面下不少于 5m；
- 3) 对土岩组合地基，勘探孔深度应达到稳定基岩。

**4.3.4** 详细勘察的勘探孔间距应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定，位于云南省区域岩溶发育分区范围内岩溶场地的勘探孔间距还应符合下列规定。

- 1 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；
- 2 对一柱一桩基础，应按一柱一孔布置；对独立基础宜按一柱一孔布置；
- 3 岩溶地基勘探孔间距可按表 4.3.4 确定，对于岩溶强发育以上地段应加密勘探孔；

表 4.3.4 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 红黏土地基勘探孔的间距宜取 12m~24m，对不均匀地基宜取 6m~12m，独立基础宜按一柱一孔布置。

**4.3.5** 详细勘察的勘探孔深度应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定，位于云南省岩溶发育分区范围内的勘探孔深度还应符合下列规定。

- 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，勘探孔应进入较完整基岩的深度不宜小于 5m；
- 2 当预计深度内有溶洞、溶隙存在且可能影响地基稳定时，勘探孔应进入溶洞、溶隙底基岩面下的深度不应少于 8m，并宜增加勘探孔和孔间物探剖面圈定洞体、溶隙范围；
- 3 采用桩基础时，勘探孔深度不应小于桩底面下 3~5 倍桩径且不小于 5m，当相邻桩底的基岩面起伏较大时，可适当加密勘探孔、加深勘探孔深；
- 4 红黏土地基勘探孔深度应大于主要受力层的深度，当基础底面宽度不大于 5m 时，勘探孔的深度对于条形基础不应小于基础底面宽度的 3 倍，对于独立柱基不应小于基础底面宽度的 1.5 倍，且不应小于 5m。钻孔预计深度内遇基岩可适当减小孔深，但进入基岩不小于 3m。

**4.3.6** 勘察场地遇到影响基础稳定的土洞、溶洞（隙）、土洞或软弱夹层等特殊岩土工程问题时，应进行施工勘察。在土洞、塌陷地段，可在已开挖的基槽内布置触探或钎探；对重要或荷载较大的工程，可在槽底采用钻探进行检测。加强施工过程中的信息反馈，出现异常时应分析其原因和潜在的危害性，提出处理措施及建议。

**4.3.7** 边坡工程详细勘察应符合下列规定：

- 1 边坡工程勘察应先进行工程地质测绘和调查，应收集边坡区域五十年一遇最大降雨量、五十年一遇河、湖历史最高水位等资料；
- 2 应查明边坡体岩溶溶蚀风化带和溶洞（隙）、土洞规模及与地下水联系；
- 3 勘探点布置应包括坡面区域和坡面外一定范围，到坡顶水平距离一般不应小于 1~2 倍

边坡高度。由外倾结构面控制的岩质边坡的勘探范围应根据组成边坡的岩土性质及可能的破坏模式确定。对可能沿岩土界面滑动的土质边坡，后部应大于可能的后缘边界，前缘应大于可能的剪出口位置。勘察范围尚应包括可能对建（构）筑物有潜在安全影响的区域；

4 勘探线应以垂直边坡走向或平行主滑方向布置为主，在溶洞（隙）、土洞、岩面变化大、地层明显异常及拟设置支挡结构的位置应布置垂直和平行的勘探线；

5 每一单独边坡段勘探线不应少于 2 条，每条勘探线不应少于 2 个勘探点；勘探点间距应符合 4.3.4 条规定，在地层明显异常、溶洞（隙）、土洞区域应加密勘探点或增加物探手段；

6 勘探点深度应结合边坡岩土类型、岩溶发育程度、边坡可能的破坏模式、拟采用的支护结构形式综合分析确定。

#### **4.3.8 基坑工程详细勘察应符合下列规定：**

1 应查明周边环境、地下埋藏物、场地周围地表水汇流和排泄等条件，地表水的渗入对地层土性影响的状况；

2 应查明岩溶溶蚀风化带和坑壁、坑底溶洞（隙）、土洞规模及与地下水联系；

3 勘探点布置宜扩大到基坑开挖边线外 1~2 倍开挖深度范围；对地形复杂、有外倾结构面或岩溶中等发育以上的基坑，应根据需要进一步扩大勘察范围。勘探点间距应符合 4.3.4 条规定；

4 岩溶中等发育以上的基坑工程，当支护结构嵌入基岩时宜进行支护结构施工勘察。对于采用地下连续墙的支护结构，宜沿连续墙每 6~10m 布置 1 个勘探孔；对基坑立柱桩，应逐桩进行施工勘察；

5 勘探孔深度应满足基坑稳定性计算的需要。

#### **4.3.9 施工勘察应符合下列规定：**

1 对独立基础宜在四角及中心部位布置勘探点，当基础底面积  $A \leq 5\text{m}^2$  时，布置不少于 3 个勘探点， $A = 5\text{m}^2 \sim 12\text{m}^2$  时，布置不少于 5 个勘探点；对条形基础应沿基础中线 2m~4m 布置不少于 1 个勘探点；

2 对于嵌岩端承桩，桩径不大于 0.8m 时，宜在桩心布置 1 个钻孔。桩径为 0.8m~2.5m 时，宜在桩心、桩周布置 2~3 个钻孔；桩径大于 2.5m 时，宜在桩心、桩周布置不少于 3 个钻孔；当辅以物探手段时，每根桩应布置不少于 1 个钻孔进行验证；

3 对于独立基础，勘探点深度应不小于底面以下基底边长的 3 倍且不小于 5m；对于桩基础，勘探点深度应进入桩底较完整基岩桩径的 3 倍且不小于 5m，对于桩端持力层为破碎岩时，勘探点深度应进入桩底岩层桩径的 3~5 倍且不小于 8m；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）间增加钻孔，查明可能影响基础（桩端）滑移的临空面。

4 施工勘察钻孔布置原则应充分利用初步勘察、详细勘察钻孔资料成果，相同位置已有钻孔成果资料，施工勘察可适当减少布置钻孔点。

**4.3.10 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勘探孔的数量，应结合地貌单元、地层结构和土的工程性质布置，初步勘察其数量可占勘探孔总数的  $1/4 \sim 1/2$ ；详细勘察其勘探孔数量不应少于总数的  $1/2$ ，钻探取土试样孔的数量不应少于勘探孔总数的  $1/3$ ；

2 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，其数量不应少于 6 个；

3 详细勘察采用连续记录的静力触探或动力触探为主要勘察手段时，每个场地不应少于 3 个孔；

4 详细勘察阶段，在地基主要受力层内，对厚度大于 0.5m 的夹层及溶洞充填物，应采取土试样或进行原位测试。

**4.3.11 采取岩试样应满足岩土工程评价要求，并符合下列规定：**

1 采取岩试样的勘探点的数量，应根据地层结构、岩石的均匀性和工程特点确定，初步勘察其数量不少于 3 孔，详细勘察其数量不少于 6 孔；

2 每个岩层或岩体单元参加统计的数量不应少于 6 组；对建筑群，每栋每一主要岩层的试样不应少于 1 组。

**4.3.12 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要求：**

1 当确定天然地基或桩基持力层的地基参数指标时，对工程重要性等级为一级的工程宜进行岩基静载荷试验，同一岩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；

3 为评价岩体的完整性，应进行波速测试；

4 斜坡场地稳定性计算时，对岩体中的控制性软弱结构面应进行现场直接剪切试验。

**4.3.13 岩石室内试验应符合下列规定：**

1 评价岩石地基承载力，采用饱和状态单轴抗压试验；

2 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；

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

剪试验。

## 4.4 物探

**4.4.1** 岩溶地区物探主要在初步勘察、详细勘察阶段进行。施工阶段新发现复杂岩溶问题时宜补充物探勘察，物探内容、深度与设计、施工的需求相适应。

**4.4.2** 岩溶地区使用物探应符合下列条件：

- 1 被探测岩溶目标体与周围介质应存在一定的物性差异，并应具有一定的规模；
- 2 仪器设备能分辨出探测目标体的异常；
- 3 勘探场地应符合施测条件。

**4.4.3** 岩溶地区物探工作应遵循下列原则：

- 1 物探工作前，应对测区的工程地质条件和地球物理条件作全面了解和分析，充分利用以往成果资料；
- 2 物探工作时，宜从已知到未知，从简单到复杂；复杂工作条件、重点工程或单一方法存在多解时，宜采用多种方法进行综合探测；
- 3 外业工作前，应在代表性地段进行方法有效性试验和工作参数选择试验，选用合理有效的物探方法和工作参数；
- 4 物探应有一定数量的钻探验证孔，在相互验证基础上进行物探综合解释，未加钻探验证的物探成果只能作为施工图设计的参考。

**4.4.4** 岩溶地区开展物探工作时，应依据探测目的、适用条件、工作条件综合分析选用物探方法：

- 1 采用地面物探探测岩溶位置、分布及地质构造、基岩界面等时，可选用高密度电法、充电法、自然电场法、探地雷达法、音频大地电磁法、瞬变电磁法、反射波法、折射波法、面波法等；
- 2 探测钻孔径向一定范围内的岩溶、软弱带、裂隙带的发育和分布情况，对有耦合液且不塌孔的单孔，可采用钻孔弹性波 CT 成像法、电磁波 CT 成像法、管波探测等方法；对无井液时，可采用井中探地雷达技术等电磁法；对塌孔或无条件进行上述方法时，可在基桩施工时进行桩底声呐探测；
- 3 探测孔间岩溶的位置、形状、大小及连通性等，可采用孔间弹性波 CT 成像法、电磁波 CT 成像法；
- 4 岩溶地区常见的物探方法详见表 4.4.3。

表 4.4.3 岩溶地区常用物探方法

物探方法		探测内容
直流电法	高密度电法	探测浅部岩溶的位置、大致规模、充填情况及相关的地质构造、基岩面起伏等
	充电法、自然电场法	用于追索地下暗河河道位置、测定岩溶地下水流速和流向等
电磁法	探地雷达法	探测浅部岩溶位置、分布
	音频大地电磁法	探测深部岩溶位置及大致规模
	瞬变电磁法	探测浅部岩溶位置、分布、大致规模
浅层地震法	反射波法	探测覆盖层与基岩的分界面，浅部岩溶位置及规模
	折射波法	探测覆盖层与基岩的分界面，浅部岩溶位置及规模
	面波法	探测覆盖层中的土洞和塌落洞、浅部岩溶位置及规模
井中探测	弹性波 CT 成像法	探测孔间或洞间存在的岩溶位置、形状、大小及充填状况
	电磁波 CT 成像法	
	井内探地雷达法	探测孔内四周岩溶位置、分布、规模
	管波探测	探测孔内四周岩溶、软弱岩层及裂隙发育带
	桩底声呐法	探测桩底岩溶发育情况
	钻孔三维激光测量	测量孔内岩溶空腔的形态
	钻孔电视	观察孔壁岩溶及构造发育情况、溶洞空间形态，水流情况等

注：表中浅部岩溶是指岩溶形态分布深度小于 50m，深部岩溶是指岩溶形态分布深度大于等于 50m。

#### 4.4.5 物探工作的布置应符合下列规定：

- 1 根据探测目的、任务要求、方法特点确定物探测区范围和工作比例尺，保证异常的连续、完整，并具有足够的背景；
- 2 测线（网）宜避开地形、地物及其他干扰的影响，宜垂直于或大角度相交于岩溶发育带、地质构造走向等岩溶目标体，并宜与勘探线一致或平行，岩溶塌陷、漏斗、大型溶洞等走向多变体的探测宜布设两组相互正交的测线（网）；
- 3 测区范围内有已知点时，测线（网）应通过或靠近该已知点布设；
- 4 测网密度应根据探测对象的规模确定，确保最小探测对象有异常显示；
- 5 物探测线间距应符合表 4.4.5 要求。在穿过断裂破碎带、可溶岩与非可溶岩接触界面和岩溶洞穴、塌陷地带等处可加密布设。

表 4.4.5 物探测线间距

勘察阶段	地面物探测线间距（m）	航空物探测线间距（m）
可行性研究	50~100	20~50
初步勘察	20~40	10~20
详细勘察	5~10	≤5

- 6 物探测点间距应满足识别目标体的空间采样率要求，地面测点间距宜取 1m~5m，孔内测点间距宜小于 1m。

#### 4.4.6 物探报告宜包括如下主要内容：

- 1 工程概况；
- 2 任务要求及目的、依据技术标准、工作完成情况；
- 3 地质概况及地球物理特征。包括与物探工作有关的地形、地貌、地层岩性、地质构造、工程地质、水文地质等条件和对应的地球物理条件、物性特征等；
- 4 工作方法。包括方法原理简述、测线布置、外业工作方法和技术、仪器设备及工作参数等；
- 5 质量检查与评价。包括原始资料检查方法、检查精度和质量分析与评价；
- 6 资料处理与推断解释。包括数据处理的方法和推断解释依据、成果分析与地质解释；
- 7 结论和建议。包括根据物探成果所作出结论、依据结论提出针对性建议等；
- 8 附图。包括物探测线（测点）布置平面图、综合解释成果平面图（包括水文地质和工程地质平面图）、地质解释成果剖面图、各类物探剖面等附图。

## 4.5 地下水

**4.5.1** 岩溶地区地下水勘察宜采用水文地质测绘、钻探、物探、水文地质试验、地下水动态观测等方法进行。

**4.5.2** 岩溶地区水文地质勘察应符合下列规定：

- 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，结合场地岩土工程勘察，根据水文地质勘察目的进行布置；
- 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 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水文地质试验；水文地质试验孔宜按不同岩溶发育地段布置，岩溶强烈发育地段不少于 2 个，岩溶中等发育地段不少于 1 个；
- 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。

**4.5.3** 岩溶地区水文地质勘察应重点查明下列内容：

- 1 地下水的埋藏条件、类型、流向、水位及变化幅度、含水层和隔水层的性质与埋深等；
- 2 地下水的补给、径流、排泄条件；岩溶地下水与地表水及其他地下水的补排关系；

3 当存在多层地下水时，分析各层地下水之间的越流渗透关系及相互影响；

4 溶洞地下河的形态、流量、流速、流向及补给条件。

#### **4.5.4 岩溶地下水抗浮水位确定应符合下列规定：**

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。

**4.5.5 岩溶地区水文地质评价除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 的规定外，应重点分析评价以下内容：**

1 地下水位变化对基础、地下结构、基坑和挡土结构的静水或动水压力作用；

2 评价因水头压差、水位波动、渗流等作用产生的潜蚀破坏和基底产生管涌、流土（砂）等的可能性；

3 地下水补给、排泄产生的水位升降对地基沉降或边坡及基坑稳定性或土洞发育、地面塌陷的影响；

4 基坑坑底位于岩溶水承压水头以下时，坑底涌水、涌泥的可能性，岩溶水沿开口溶洞、钻孔通道涌水的可能性；

5 施工降水、供水井抽水等工程活动对场地稳定性影响；

6 提供工程设计需要的水文地质参数、抗浮水位等，并提出工程施工时地下水控制方案建议。

## **4.6 岩土工程评价**

**4.6.1 岩溶场地岩土工程评价，应在查明场地岩溶地质条件的基础上，考虑岩溶发育区与建（构）筑物的空间位置关系，分析评价土洞、岩溶洞隙、涌水、抽排水等对工程建设的影响。**

**4.6.2 岩溶场地岩土工程评价除应符合 4.5.5 条和现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 的规定外，应重点评价以下内容：**

1 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；

2 溶洞、土洞和塌陷的成因及其发展趋势，对岩溶中等发育及以上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，应评价地下水渗流对土洞和塌陷发育的影响；

3 分析评价溶洞（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对地基稳定性的影响，并提出其处理措施和基础方案的建议，降水、排水、截渗方案的建议，边坡、基坑开挖与支护方案的建议；

4 对场地周边水环境、岩土体稳定性及建（构）筑物地基条件等方面进行岩溶环境地质问题分析评价。

#### **4.6.3 红黏土地基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，提出土层物理力学特性，评价其对建（构）筑物基础的影响；

2 分析红黏土裂隙及土洞发育特征，预测场地有无土洞形成的可能性和发展的趋势，评价土洞对场地稳定性的影响；

3 分析地表水、孔隙水、土岩界面水、岩溶水分布及相互连通补给关系，评价其对边坡、基坑、基础工程及建筑地基正常使用的影响；石芽露出地段，应考虑地表水下渗、冲蚀对地基的影响，提出处理建议；

4 红黏土地基胀缩性评价时，轻型建（构）筑物基础埋置深度应大于大气影响急剧层的深度，炉窑等高温设备的基础应考虑地基土不均匀收缩变形，开挖明渠时应考虑土体干湿循环过程胀缩的影响；

5 选择适宜的持力层和基础形式，在满足本条第4款要求的前提下，基础宜浅埋，利用浅部硬壳层，并进行下卧层承载力的验算，不满足承载力和变形要求时，应建议进行地基处理或采用桩基础；

6 在大面积挖方区，应提出保湿和防浸泡的措施和建议。

#### **4.6.4 对钻探深度范围内的溶洞，查明其平面形态后，应按下列情况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，可不评价岩溶稳定性的不利影响；

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 1.7 倍溶洞直径时，可不评价岩溶稳定性的不利影响。

#### **4.6.5 场地岩溶塌陷的岩土工程分析评价宜包括以下内容：**

- 1 根据场地地形地貌，岩溶发育程度，上覆土层土性、结构与厚度，地下水动力条件等因素，综合判定岩溶塌陷可能性；
- 2 拟建场地有岩溶塌陷可能性时，应提出监测和预报建议；
- 3 分析评价岩溶塌陷对建（构）筑物场地规划布局和地基正常使用的影响，提出针对性避让或处理措施建议。

#### **4.6.6 边坡稳定性评价应符合下列规定：**

- 1 采用定性和定量相结合的方法，并遵循先定性、后定量原则，选用工程地质类比法、图解分析法、岩体质量分级法、刚体极限平衡法、数值分析法等进行综合评价；
- 2 根据溶洞的空间位置、规模、埋深、充填、围岩稳定性及水文地质条件，结合边坡岩土工程条件及其与边坡的关系，综合分析对边坡稳定性的影响；
- 3 边坡坡面出露溶洞，应验算洞穴顶部岩土体向坡外倾覆及沿岩体结构面向临空面滑移的稳定性；
- 4 溶蚀裂隙宜按结构面考虑其对边坡稳定性的影响，坡体后缘存在竖向贯通岩溶裂隙时应根据填充情况考虑裂隙水压力；
- 5 岩溶边坡稳定问题分析评价应充分考虑边坡与溶洞之间稳定性的相互影响，包括边坡稳定性评价及溶洞稳定性评价。

#### **4.6.7 基坑稳定性评价应符合下列规定：**

- 1 对于全风化、强溶蚀风化带基坑应按照土质基坑进行分析评价，中等、微溶蚀带基坑，应结合结构面类型及其组合关系对其稳定性进行评价；
- 2 对基坑支护方案和基坑工程可能产生的主要岩土工程问题的处置措施提出建议，应提供基坑工程设计和施工所需要的岩土参数；
- 3 对基坑地下水控制方案提出建议，场地拟采用降水措施时，应提供水文地质计算参数，并预测降水产生岩溶塌陷、地面沉降等对周边环境的影响；
- 4 对基坑周边环境可能产生的影响进行预测，对基坑工程的监测提出建议。

#### **4.6.8 基坑涌（突）水分析评价应符合下列规定：**

1 当基坑周边地表水或地下水丰富，且基坑范围内存在易透水的溶蚀性结构面时，应查明岩溶涌（突）水重点部位，分析评价基坑开挖过程中产生涌（突）水的可能性及危害；

2 基坑岩溶涌水量预测，应根据水文地质条件，有针对性地选用计算方法，采用水文地质比拟法、水均衡法、水文地质解析法等方法进行估算；

3 岩溶涌突水等级根据涌水量、岩溶水流类型、危害程度进行划分，符合表 4.6.8 规定。

表 4.6.8 岩溶涌水等级划分表

涌突水等级	涌水量（ $l/s$ ）	岩溶水流类型	危害程度
微量	$<1.0$	溶蚀裂隙涌水	对施工基本无影响
少量	$1.0\sim 10.0$	细脉状岩溶管道涌水	对施工有一定影响
中等	$10.0\sim 100.0$	脉状岩溶管道涌水	对施工有较大影响，排水较易
大量	$100.0\sim 1000.0$	岩溶管道涌水	较严重影响施工，危及设备及人身安全，排水较困难
特大	$>1000.0$	暗河或岩溶管道涌水	严重影响施工，严重危及设备及人身安全，排水困难

**4.6.9** 岩溶场地岩土工程详细勘察报告除满足《工程勘察通用规范》GB55017 相关规定外尚宜包括下列内容。

- 1 场地地形、地貌和岩溶发育的地质背景、形成条件；
- 2 地下水埋藏情况、类型、水位，降水方案的建议；
- 3 场地稳定性分析与适宜性评价；
- 4 基坑或边坡支护建议；
- 5 地基处理建议；
- 6 岩溶治理和监测的建议；
- 7 结论及建议；
- 8 基岩面等高线图；
- 9 岩溶发育程度分区图，洞隙、土洞、塌陷的平面位置图；
- 10 洞隙、土洞、塌陷纵横剖面图；
- 11 岩溶洞隙、土洞特征一览表；
- 12 建议基础埋置深度（高程）一览表。



## 5 设计

### 5.1 一般规定

#### 5.1.1 岩溶地区地基基础设计应符合下列规定：

- 1 地基稳定性和变形满足要求时，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 所有建（构）筑物的地基计算均应满足承载力计算的有关规定；地基基础设计等级为甲级、乙级的建（构）筑物，均应按地基变形设计。

**5.1.2** 岩溶地区地基基础设计应分析地基不均匀性及溶洞、溶蚀裂隙、土洞等不利因素，综合确定地基的稳定性。

**5.1.3** 地下水强烈活动于岩土界面的岩溶地区，地基基础设计应综合考虑地下水在施工和建筑物使用期间的变化及其对岩溶地基稳定性的影响。

**5.1.4** 地基基础设计等级为甲级的建（构）筑物主体宜避开岩溶强烈发育以上地段。无法避开时，基础设计方案应进行专项论证。

#### 5.1.5 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。埋置在地下水位以下时，应提出对地基土（岩）在施工时不受扰动的措施；基础埋置于易风化、易软化、裂隙发育的岩石上时，基坑开挖后应立即浇筑垫层进行封闭；

2 置于红黏土地基上的三层以下砌体建筑，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；

3 嵌岩桩的嵌岩深度应综合上部荷载、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  $0.4d$ ，且不应小于  $0.5m$ ；当桩端嵌入倾斜度大于  $30\%$  的中等溶蚀风化岩时，宜根据倾斜度及岩石完整性确定加大嵌入深度。

**5.1.6** 岩溶地基为斜坡时，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。

### 5.2 地基稳定性计算

**5.2.1** 对地基基础设计等级为丙级且荷载较小的建筑物，采用天然地基时，当地基基础符合下

列条件之一，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时；

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，但洞隙或岩溶漏斗被沉积物填满，其承载力特征值大于 150kPa，且无被水冲蚀的可能性时；

3 存在面积小于基础底面积 25%的垂直洞隙，且基底岩石面积满足上部荷载要求时。

**5.2.2** 当地基属下列条件之一时，对工程重要性等级为二级以下工程可不考虑岩溶稳定性的不利影响：

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 洞体围岩基本质量等级为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，并有足够的支承长度。

**5.2.3** 当不符合本规程 5.2.1 条和 5.2.2 条规定的条件时，应进行地基稳定性分析，并应符合下列规定：

1 当顶板不稳定、洞内堆积物充填物密实、无地下水影响时，可按堆积充填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按本规程附录 C 进行溶洞地基稳定性半定量评价；

3 有工程经验的地区，可采用类比法按本规程附录 D 进行溶洞地基稳定性定性评价；

4 重要性等级为一级，对基本质量等级为Ⅲ级或Ⅳ的岩体，可做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荷载要求的 2 倍。

5 基础临近洞隙和临空面时，应验算向临空面倾覆或滑移的可能，并应分析岩溶作用的不利影响。

**5.2.4** 对于承受较大水平荷载的建筑物，应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定进行抗滑移和抗倾覆验算。

### 5.3 地基基础设计

**5.3.1** 岩溶地区基础设计选型根据地质条件、上部结构、荷载、使用要求及施工条件等因素确定，可选用扩展基础、条形基础、筏板基础、桩基础等基础形式。基础设计计算及构造要求应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007 及《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。

**5.3.2** 岩溶地区浅基础设计应符合下列规定：

1 当岩溶上部覆盖土层较厚，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时，宜利用上覆土层作为基础持力层；

2 浅基础采用岩溶上覆土层作为地基持力层时，应对基底附加压力影响范围内的土洞进行处理；当上覆土层厚度或沿深度的状态变化较大时，应验算地基变形量及沉降差；

3 当上覆土层承载力不满足要求，应进行地基处理并满足要求后，才能作为基础持力层；

4 采用条形基础跨越溶洞时，溶洞平面宽度不得大于所在柱跨跨度的 1/3；采用筏板基础跨越溶洞时，溶洞平面面积不得大于柱所属面积的 1/3；且应验算溶洞平面范围内梁板的局部抗弯、抗剪及冲切承载力；

**5.3.3** 岩溶地基采用浅基础时除满足《建筑地基基础设计规范》GB 50007 相关规定外尚应满足下列构造措施。

1 土岩交界跨基础系梁箍筋应全长加密；

2 同一结构单元置于软硬不同的地基上时，宜在较硬一侧设置褥垫层或采取其它调平措施。

**5.3.4** 岩溶地区桩基础设计应符合下列规定：

1 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；当完整基岩厚度小于 3 倍桩径，溶洞顶板不能作为基桩持力层时，桩端应穿越溶洞进入强度和稳定性符合要求的岩层或对溶洞进行处理；

2 桩基承载力计算时，如果桩侧摩阻力占比大于等于 50%，小于 70%时，溶洞顶板厚度可适当减小，但不应小于 2.5 倍桩径及 4m；如果桩侧摩阻力所占比大于等于 70%时，溶洞顶板厚度可适当减小，但不应小于 2 倍桩径及 3m；

3 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；

4 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 的系数计入；

5 岩溶场地抗拔桩计算时，未经处理的溶洞段不应计入侧阻力；

6 串珠洞地区的摩擦桩及端承摩擦桩，如桩底附加应力影响范围内岩体完整或较完整可采用人工造岩的方式满足桩端岩层厚度要求。人工造岩砼应采用微膨胀砼，砼强度等级应高于基桩砼一级且不低于 C30。

**5.3.5** 嵌岩桩桩端持力层破碎，岩溶裂隙强烈发育时，桩端宜做后注浆处理。

**5.3.6** 岩溶地基不宜采用钢管桩。当采用钢管桩时，应选用钢管混凝土桩，壁厚需考虑设计使用年限内的锈蚀冗余度。

**5.3.7** 岩溶地基采用桩基础时除满足《建筑桩基技术规范》JGJ94 相关规定外尚应满足下列构造措施。

- 1 桩身混凝土强度等级不应低于 C30；
- 2 桩身纵向钢筋宜沿桩身通长配筋；
- 3 基桩保护层不得小于 50mm。

**5.3.8** 溶洞顶板有坍塌可能且位于独立基础底及桩基桩端附加应力影响范围内，按顶板塌陷堵塞法计算所需塌落高度大于基底至溶洞顶距离时，应考虑溶洞对基础的稳定性影响。

**5.3.9** 岩溶地基地下水流速较快或有连通泵吸作用时，应采取措施消除动水压力的不利影响。

**5.3.10** 地下水位变幅较大的岩溶场地，建筑物抗浮稳定安全系数不宜小于 1.1。

**5.3.11** 岩溶地区建筑物宜进行地基不均匀沉降影响分析评价，并宜进行长期的建筑物变形及地下水监测。

## 5.4 基坑与边坡设计

**5.4.1** 岩溶地区基坑、边坡设计安全等级、使用年限及支护结构设计等，应按《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定执行。

**5.4.2** 岩溶地区基坑、边坡应根据场地地质条件、岩溶发育程度、岩溶水条件，分析基坑、边坡的破坏模式，对基坑、边坡稳定性分析计算和支护设计。

**5.4.3** 对于溶沟（槽）、石芽、漏斗等外露或浅埋岩体，当岩体中存在滑向基坑内、边坡外的不利软弱结构面时，应进行基坑、边坡抗滑移验算。

**5.4.4** 岩溶地区基坑、边坡工程支护设计应包括下列内容：

- 1 支护结构方案比选；
- 2 坑底（深）位于土岩接触带时的整体稳定性验算；
- 3 坑壁为土岩组合且坑底位于岩溶发育带时，预测坑底涌水、涌土（砂）的可能性，并提出防治措施；
- 4 地下水的控制设计与地面沉降、坍塌的防控措施；
- 5 基坑、边坡工程施工对周边环境影响的控制措施；
- 6 基坑、边坡土层与岩溶层开挖方案及监测要求。

**5.4.5** 红黏土层土压力及稳定性计算宜按含水率、液性指数等指标进行分层计算。

**5.4.6** 当基坑深度与边坡开挖高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

水的作用，并应验算抗渗及抗管涌稳定性。

**5.4.7** 岩溶层基岩采取爆破开挖时，应防止爆破作业对坡体及已施工支护结构造成损害。当存在较大溶洞或开放性岩溶通道时，应先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或地下暗河大量涌水引发的安全事故。

**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 1 倍桩径且不宜小于 1m；遇有土洞时，桩端穿过土洞的嵌固深度应满足计算要求。

**5.4.9** 支护结构采用锚杆（索）时，锚杆（索）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，加大锚杆（索）的长度，并增加锚杆（索）的锚固段长度。

**5.4.10** 岩溶地区基坑可采用地下连续墙、搅拌桩、高压旋喷桩、咬合桩等形成截水帷幕进行截水；当周边环境容许且岩溶水不丰富时，可采取降水措施。

**5.4.11** 岩溶地区基坑与边坡在开挖及支护结构使用期内，应按《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的要求对基坑、边坡进行监测，并根据监测结果实行动态设计。

## 6 地基处理

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 岩溶地基可采用充填法、跨越法、刚性桩法、注浆法、褥垫层法、强夯法、复合地基等一种或多种方法进行处理。

**6.1.2** 选择岩溶地基处理方法，应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 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；
- 3 对深埋溶（土）洞宜采用注浆法、充填法、刚性桩法进行处理；
- 4 对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。

**6.1.3** 岩溶地基处理时应应对岩溶水进行控制，并应符合下列规定：

- 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，可设置与水流方向垂直的截水盲沟、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；应采取保证岩溶泉水流出和落水洞排水的措施；
- 3 当地下水量小且呈弥散径流时，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大的岩溶水径流，堵塞措施应经室内模拟、现场水文试验等方法确认后采用；
- 4 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；
- 5 岩溶水的控制宜在岩溶地下水稳定时进行。

### 6.2 充填法

**6.2.1** 充填法适用于溶（土）洞、溶沟（槽）、裂隙、漏斗、落水洞的充填和石芽地基的嵌补。对有地下水活动的溶（土）洞，采用充填法时应设置反滤层，并预留排泄水流的通道。

**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。当充填部位埋藏较深且在地下水位以下时，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。所选材料均应符合国家现行相关标准。

**6.2.3** 充填法施工时，除设置投料孔外，还应设置排气孔，或邻近设置两个投料孔，相互作为排气孔。投料孔的孔径应考虑材料填充时不受阻碍。

**6.2.4** 采用碎石及混凝土材料充填时，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。

**6.2.5** 采用粉质黏土、粉土充填时，其含水量宜为最优含水量，可采用击实试验确定，不得使用淤泥、耕土、冻土以及有机质含量大于 5% 的土。

**6.2.6** 泡沫轻质土的材料应符合下列规定：

- 1 水泥应符合《通用硅酸盐水泥》GB175、《快硬硫铝酸盐水泥》JC933 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/T1596 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》GB8076 的规定；
- 4 发泡剂严禁采用动物蛋白类发泡剂，其性能宜符合表 6.2.6 的规定；
- 5 泡沫轻质土的配合比宜符合本规程附录 E 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 6.2.6 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 <sup>3</sup> )	30~50
标准泡沫泌水率 (%)	≤25

**6.2.7** 泡沫轻质土的制作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。

**6.2.8** 泡沫轻质土充填前应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。

**6.2.9** 采用明挖法或爆破揭顶法处理的溶洞、溶沟（槽）、溶蚀（漏斗）、落水洞，其充填物及岩石表面溶蚀部分应清理干净并排除积水，必要时，将洞壁或沟内倾斜部分做成台阶。当积水排除困难，可采用抛填碎块石至地下水位上，并碾压密实或夯击密实，必要时压（注）浆密实处理。

### **6.3 跨越法**

**6.3.1** 采用跨越法时，应根据溶（土）洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙、漏斗）大小、形状、岩体强度、地下水等因素确定洞侧支撑条件，进行跨越结构设计。

**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、漏斗）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** 跨越结构应有可靠的支撑面或支撑体。梁板式结构在支撑体上的长度应大于梁高 1.5 倍；跨越的钢筋混凝土板截面尺寸应满足承载力和刚度要求。

**6.3.4** 跨越结构施工前应先检查、清理洞侧支撑岩（土）体，保证支承面清洁平整，并检查岩

体的完整性，对影响跨越结构的裂隙应进行加固处理。

**6.3.5** 跨越结构施工前应按设计要求铺设垫层，垫层表面应平整。结构受力区域垫层基底应清理并平整，采用碎石垫层找平时，碎石垫层应分层摊铺、分层压实，填筑质量应符合设计要求。

**6.3.6** 跨越结构垫块宜采用与跨越结构同标号混凝土预制块，分布应均匀，设置应牢固，厚度应满足设计要求。

**6.3.7** 每块跨越结构混凝土应连续浇筑完成，混凝土强度应满足设计要求。

**6.3.8** 跨越结构设计施工应符合《混凝土结构设计规范》GB50010 和《混凝土结构工程施工规范》GB50666 的有关规定。

## 6.4 刚性桩法

**6.4.1** 当场地存在下列情况之一时，可采用刚性桩穿过不稳定岩土层：

- 1 未经有效处理的隐伏土洞或地表塌陷影响范围内地基基础设计等级为甲、乙级的建筑物；
- 2 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；
- 3 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；
- 4 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，但具备形成土洞或其他地面变形条件的地段；
- 5 浅部地基存在溶蚀持续作用或地基存在滑移条件的地段；
- 6 采用注浆及复合地基加固等深层方法达不到处理要求的地段。

**6.4.2** 岩溶地区刚性桩法的设计和施工应符合下列规定：

- 1 岩溶地基处理刚性桩宜采用钻（冲）孔灌注桩和全套管管内取土（岩）成孔灌注桩等，场地条件不具备时，也可采用人工挖孔灌注桩；
- 2 人工挖孔灌注桩可用于地下水位以上或地下水易于降排的嵌岩桩基，孔深不宜超过 25m；施工前应编制专项施工方案，挖孔深度达到 16m 以上时，专项施工方案尚应通过专家论证；
- 3 全套管管内取土（岩）成孔灌注桩穿过溶洞时，应根据溶洞大小，向孔内抛填片石、石渣、黏土等填料或充填低强度混凝土后，并采用单层或双层全钢外套管跟进成孔，穿过溶洞后钢外套管停止跟进，用凿岩机继续成孔至设计深度；
- 4 串珠状溶洞或空洞洞高超过 8m 时，可提前在桩基中心周边 0.5m~1.0m 的范围内采用



压浆或旋喷帷幕进行处理，再采用泥浆护壁旋挖成孔或冲击成孔；

5 岩溶弱~中等发育地段的中小型溶洞，刚性桩施工宜采用钢护筒结合优质泥浆护壁的措施，应储备足够泥浆量应对钻（击）穿溶洞导致的泥浆流失；

6 岩溶强烈发育、溶洞高度较大的刚性桩施工可采用单层钢护筒全程跟进施工；多层溶洞、深大溶槽、大型溶洞可采用双层钢护筒或多层钢护筒护壁的成孔方式。

## 6.5 注浆法

**6.5.1** 注浆法适用于裂隙、溶隙、隐伏溶洞、土洞的地基处理和岩溶水治理，可与其它地基处理方法综合使用。

**6.5.2** 注浆设计时应根据工程地质、水文地质资料和周边环境条件，明确注浆处理对象和注浆目的。

**6.5.3** 注浆孔宜采用矩形或梅花形布置，注浆孔间距宜为 2m~10m，并根据现场试验验证和调整。

**6.5.4** 注浆钻孔深度应结合溶洞、土洞、溶蚀破碎带位置及分布特征综合确定，并符合下列规定：

1 裸露型岩溶区存在溶洞的地段，顶板不满足稳定要求时，钻孔深度应至溶洞底板以下 2m；

2 覆盖型岩溶地段，钻孔处理深度应不小于土岩界面以下 5m；在土岩界面以下存在溶洞且顶板不满足稳定要求时，钻孔深度应至溶洞底板以下 2m。

**6.5.5** 注浆材料宜采用水泥浆、水泥砂浆等。空洞、裂隙较大时，可掺入黏性土、细砂、粉煤灰等其他掺合料；遇连续注浆单孔注浆量过大且不见升压等特殊情况下，可加入适量水玻璃等混合浆液，加快凝结速率，控制进浆范围和注浆量。

**6.5.6** 注浆压力、浆液配比、注浆流量、单位注浆量、终注压力、有效注浆范围等施工工艺参数应现场试验确定。空洞初期可采用自流注浆。

**6.5.7** 钻孔注浆应实行“探灌结合、过程控制”的信息化施工原则，根据揭示的地下岩溶地质特征调整注浆范围、参数和工艺。

**6.5.8** 注浆顺序宜采用先外围后内部，按序次注浆的施工方法。

**6.5.9** 注浆施工应采取措施避免影响相邻建（构）筑物的稳定性，应分析注浆对周边环境的影响，避免造成地表环境与地下水的污染。

**6.5.10** 注浆过程应对地面水平位移、地面变形、冒浆点位置进行监测，并做好注浆孔深、注浆压力、注浆数量等记录。

**6.5.11** 注浆施工结束后，应采用物探、压水试验、钻孔取芯等方法，对注浆效果进行质量检测及评价。

**6.6 褥垫层法**

**6.6.1** 对于石芽密布并有出露的地基，当石芽间距小于2m、其间为硬塑或坚硬状态的红黏土地基时，对于基底压力小于200kPa的房屋为六层以下的砌体承重结构、三层以下的框架结构或具有150kN以下吊车的单层排架结构，可不作地基处理。如不能满足上述要求时，宜利用稳定的石芽作支墩式基础，在石芽出露部位作褥垫。

**6.6.2** 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%）	0.7±0.05

注：夯填度为褥垫层夯实后的厚度与虚铺厚度的比值。

**6.6.4** 褥垫层施工应分层摊铺、分层压实，填筑厚度及密实度应符合设计要求。褥垫层分段施工时，接头处应做成台阶，上下层接头应错开2m，并应碾压密实。

**6.7 强夯法**

**6.7.1** 强夯法适用于地表浅层溶（土）洞的地基处理，可与其它地基处理方法综合使用。

**6.7.2** 强夯地基处理应符合下列规定：

- 1 强夯施工前应查明浅层岩溶平面和垂向分布；
- 2 强夯和垫层强夯施工前，应在施工现场有代表性的场地选取一个或几个试验区，进行试夯或试验性施工。每个试验区面积不宜小于20m×20m，试验区数量应根据场地岩溶复杂程度、工程规模及类型确定；
- 3 场地地下水位高，影响施工或夯实效果时，应采取降水或其他技术措施进行处理。

**6.7.3** 强夯置换处理地基，必须通过现场试验确定设计参数和施工工艺的适宜性。

**6.7.4** 强夯法对浅层溶（土）洞击穿、回填，其有效加固深度应根据现场试夯确定。

**6.7.5** 强夯地基承载力特征值应通过现场静载荷试验确定。

**6.7.6** 强夯处理后的地基竣工验收，承载力检验应根据静载荷试验、其他原位测试和室内土工试验等方法综合确定。强夯置换后的地基竣工验收，除应采用单墩静载荷试验进行承载力检验外，尚应采用动力触探等查明置换墩着底情况及密度随深度的变化情况。

6.7.7 强夯法地基设计和施工应符合《建筑地基处理技术规范》JGJ79有关规定。

## 6.8 复合地基

6.8.1 当无地区经验时，重大工程复合地基设计前，应在有代表性场地上进行现场试验或试验性施工以确定设计参数和施工工艺的适宜性。

6.8.2 岩溶地区不宜采用散体材料增强体的复合地基。

6.8.3 岩溶地区复合地基竖向增强体应穿过软弱土层或可液化土层进入承载力相对较高、压缩性较低的土层；应深入设计要求安全度对应的危险滑动面下至少2.5m或到达基岩面。

6.8.4 岩溶地区复合地基中的刚性桩宜采用摩擦型桩：当桩端持力层为岩面时，宜适当增加褥垫层厚度和降低单桩承载力。

6.8.5 长-短桩复合地基中，长桩宜支承在较好的土层上，短桩宜穿过浅层软弱土层。当长桩持力层为岩面时，应综合考虑上覆土层厚度、土洞处理、溶洞发育情况等影响。

6.8.6 岩溶发育区基岩面上存在饱和砂类土层时，不应将其作为复合地基的持力层。

6.8.7 岩溶地区复合地基应设褥垫层。褥垫层设置的范围、厚度及材料，应根据复合地基型式、桩土相对刚度和工程地质条件等因素综合确定，褥垫层的夯填度不应大于0.9。

6.8.8 复合地基承载力特征值应通过复合地基静载荷试验或采用增强体静载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定。初步设计时，对有粘结强度增强体复合地基应按式计算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \quad (6.8.8)$$

式中：

$f_{spk}$ —复合地基承载力特征值（kPa）；

$f_{sk}$ —处理后桩间各土层承载力特征值的厚度加权平均值（kPa），如无试验数据，可取各土层天然地基承载力特征值的厚度加权平均值（kPa）；

$m$ —面积置换率， $m=d^2/d_e^2$ ； $d$ 为桩身平均直径（m）， $d_e$ 为一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径（m）；等边三角形布桩 $d_e=1.05s$ ，正方形布桩 $d_e=1.13s$ ，矩形布桩 $d_e=1.13(s_1s_2)^{1/2}$ ， $s$ 、 $s_1$ 、 $s_2$ 分别为桩间距、纵向桩间距和横向桩间距；

$\lambda$ —单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值。如无经验资料时，可取0.9~1.0，当场地岩溶强烈发育以上时取低值，场地岩溶弱发育时取高值；

$R_a$ —单桩竖向承载力特征值（kN）；

$A_p$ —桩的截面积（m<sup>2</sup>）；

$\beta$ —处理后桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值。如无经验资料时，对柔性桩（水泥土搅拌桩、高压旋喷桩）复合地基，当桩侧土全为淤泥、淤泥质土时，可取0.2~0.4，对其他土层可取0.6~0.95；对刚性桩复合地基，可取0.8~0.9；对刚-柔性桩复合地基，可取0.65~0.90；上述系数，岩溶强烈以上发育时取低值，弱发育时取高值。

**6.8.9** 增强体单桩竖向承载力特征值 $R$ 可按式估算：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^m q_{si} l_{pi} + \alpha_p q_p A_p \quad (6.8.9)$$

式中：

$u_p$ —桩的周长（m）；

$q_{si}$ —桩周第 $i$ 层土的侧阻力特征值（kPa），按地区经验确定。当无经验资料时，增强体范围内土洞处理后的侧摩阻力可取原土侧摩阻力的0.8倍；

$l_{pi}$ —桩长范围内第 $i$ 层土的厚度（m）；

$\alpha_p$ —桩端阻力发挥系数，应按地区经验确定。当无经验资料时，对于水泥土搅拌桩、高压旋喷桩，桩端端阻力发挥系数可取0.7~1.0，岩溶强烈发育时取低值，弱发育时取高值；其他粘结材料桩的桩端端阻力发挥系数可取1.0；

$q_p$ —桩端端阻力特征值（kPa），可按地区经验确定，对于水泥土搅拌桩、旋喷桩应取未经修正的桩端地基土承载力特征值。

**6.8.10** 有粘结强度复合地基增强体桩身强度应符合以下规定：

1 对于混凝土灌注桩和预制桩，当不考虑桩身构造配筋的作用时，按式（6.8.10-1）验算桩身截面强度：

$$Q \leq \psi_c f_c A_p \quad (6.8.10-1)$$

式中：

$Q$ —荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值（kN）；

$\psi_c$ —工作条件系数，泥浆护壁灌注桩取0.7~0.8，干作业桩0.9，预制桩取0.8~0.9；

$f_c$ —混凝土轴心抗压强度设计值。

2 对于水泥土搅拌桩或旋喷桩，按式（6.8.10-2）验算桩身截面强度：

$$Q \leq \eta f_{cu} A_p \quad (6.8.10-2)$$

式中：

$\eta$ —桩身水泥土强度折减系数，见表6.8.10-1；

$f_{cu}$ —与搅拌桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块（砂土和粉土采用边长150mm的立方体）在标准养护条件下90d龄期的立方体抗压强度平均值（kPa）。

**表6.8.10-1 桩身水泥土强度折减系数**

土名	湿法 $\eta$ 值	备注
淤泥、淤泥质土、黏土	0.20~0.30	$l_p$ 等于17时可取最大值，等于22时可取最小值，中间用插值法确定
粉质黏土及粉质黏土的填土	0.25~0.30	$l_p$ 等于10时可取最大值，等于17时可取最小值，中间用插值法确定
粉土	0.30~0.35	
砂土	0.30~0.40	

**6.8.11** 当采用长-短桩复合地基时，对具有粘结强度的两种桩组合形成的复合地基承载力特征值 $f_{spk}$ 可按下式估算：

$$f_{spk} = \frac{\lambda_1 m_1 R_{a1}}{A_{p1}} + \frac{\lambda_2 m_2 R_{a2}}{A_{p2}} + \beta(1 - m_1 - m_2) f_{sk} \quad (6.8.11)$$

式中：

$A_{p1}$ 、 $A_{p2}$ —分别为长桩和短桩的单桩截面积（m）；

$R_{a1}$ 、 $R_{a2}$ —分别为长桩和短桩单桩承载力特征值（kN）；

$m_1$ 、 $m_2$ —分别为长桩和短桩的面积置换率；

$f_{sk}$ —处理后桩间各土层承载力特征值的厚度加权平均值（kPa）：如无试验数据，可取各土层天然地基承载力特征值的厚度加权平均值（kPa）；

$\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ —分别为长桩和短桩单桩承载力修正系数：应由单桩复合地基试验按等变形准则或多桩复合地基静载试验确定，也可按地区经验确定；

$\beta$ —桩间土地基承载力修正系数：如无经验资料时，可取0.9~1.0，岩溶强烈发育时取低值，弱发育时取高值。

**6.8.12** 复合地基的变形（ $s$ ）由垫层压缩变形量、加固区复合土层压缩变形量（ $S_1$ ）和加固区下卧土层压缩变形量（ $S_2$ ）组成。当垫层压缩变形量小，且在施工期已基本完成时，其变形可忽略不计。复合地基变形量（ $s$ ）可按下式计算：

$$s = S_1 + S_2 \quad (6.8.12)$$

式中：

$S_1$ —复合地基加固区复合土层压缩变形量（mm）；

$S_2$ —加固区下卧土层压缩变形量（mm）。

**6.8.13** 刚性桩复合地基中各复合土层压缩模量等于该天然地基压缩模量的 $\xi$ 倍， $\xi$ 值可按下式

确定：

$$\xi = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (6.8.13)$$

式中：

$f_{spk}$ —复合地基承载力特征值（kPa）；

$f_{ak}$ —基础底面下各天然地基土承载力特征值的加权平均值（kPa）。

**6.8.14** 柔性桩复合地基加固区复合土层压缩变形量（ $S_1$ ）可按式计算：

$$s_1 = \psi_{s1} \sum_{i=1}^m \frac{\Delta p_i l_i}{E_{spi}} \quad (6.8.14-1)$$

$$E_{spi} = mE_{pi} + (1-m)E_{st} \quad (6.8.14-2)$$

式中：

$\psi_{s1}$ —复合地基加固区复合土层压缩变形量计算经验系数，根据复合地基类型、地区实测资料及经验确定；

$\Delta p_i$ —第*i*层土的平均附加应力增量（kPa）；

$E_{spi}$ —第*i*层复合土体的压缩模量（kPa）；

$E_{pi}$ —第*i*层桩体压缩模量（kPa）；

$E_{st}$ —处理后的第*i*层桩间土压缩模量（kPa），宜按当地经验取值，如无经验，可取天然地基压缩模量；

$l_i$ —第*i*层土的厚度（m）。

**6.8.15** 刚性桩复合地基加固区复合土层压缩变形量（ $S_1$ ）可按式计算：

$$s_1 = \psi_s s' = \psi_s \sum_{i=1}^m \frac{p_a}{E_{si}} (z_i \bar{a}_i - z_{i-1} \bar{a}_{i-1}) \quad (6.8.15)$$

式中：

$\psi_s$ —复合地基加固区复合土层压缩变形量计算经验系数，根据复合地基类型、地区实测资料及经验确定；

$s'$ —按分层总和法计算出的地基压缩变形量（mm）；

$p_a$ —相应于作用的准永久组合时基础底面处的附加压力（kPa）；

$E_{st}$ —第*i*层土复合地基压缩模量（MPa）；

$z_i$ 、 $z_{i-1}$ —基础底面至第*i*层、第*i-1*层土底面的距离（m）；

$\bar{a}_i$ 、 $\bar{a}_{i-1}$ —基础底面计算点至第*i*层、第*i-1*层土底面范围内的平均附加应力系数。

**6.8.16** 复合地基加固区下卧土层压缩变形量（ $s_2$ ）可按下式计算：

$$s_2 = \psi_{s2} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_{i2} l_i}{E_{spi}} \quad (6.8.16)$$

式中：

$\psi_{s2}$ —复合地基加固区下卧土层压缩变形量计算经验系数，根据复合地基类型、地区实测资料及经验确定；

$\Delta p_{i2}$ —第*i*层土的平均附加应力增量（kPa），刚性复合地基宜采用等效实体法计算，柔性桩复合地基宜采用压力扩散法计算；

$E_{spi}$ —基础底面下第*i*层土的压缩模量（kPa）。

**6.8.17** 复合地基的沉降计算经验系数 $\psi_s$ ，可根据地区沉降观测资料统计值确定，无经验取值时，可采用表6.8.17-1的数值。

**表6.8.17-1 沉降计算经验系数 $\psi_s$**

$\bar{E}_s$ （MPa）	4.0	7.0	15.0	20.0	35.0
$\psi_s$	1.0	0.7	0.4	0.25	0.2

注：1  $\psi_{s1}$ 和 $\psi_{s2}$ 可参考本条执行；

2  $\bar{E}_s$ 为变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按下式计算：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m A_j}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{E_{spi}} + \sum_{j=1}^m \frac{A_j}{E_{sj}}} \quad (6.8.17-1)$$

$$A_i = z_i \bar{a}_i - z_{i-1} \bar{a}_{i-1} \quad (6.8.17-2)$$

$$A_j = z_j \bar{a}_j - z_{j-1} \bar{a}_{j-1} \quad (6.8.17-3)$$

式中：

$A_i$ —加固土层第*i*层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

$A_j$ —加固土层下第*j*层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

$z_i$ 、 $z_j$ —基础底面至第*i*层、第*j*层土底面的距离（m）；

$\bar{a}_i$ 、 $\bar{a}_j$ —基础底面计算点至第*i*层、第*j*层土底面范围内的平均附加应力系数。

**6.8.18** 经处理后的地基，当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层地基承载力验算。

**6.8.19** 按地基变形设计或应作变形验算且需进行地基处理的建筑物或构筑物，应对处理后的地基进行变形验算。

**6.8.20** 处理后地基应验算整体稳定性，其稳定安全系数不应小于1.3。

**6.8.21** 复合地基桩体施工先后次序的安排应根据所用的施工工艺、加固机理、挤土效应等确定。应先施工挤土桩，后施工非挤土桩；当桩型均为挤土桩时，长桩宜先于短桩施工。

**6.8.22** 复合地基水泥土类桩体施工应符合以下规定：

- 1 搅拌桩穿越土洞软弱充填物时，宜采用四喷四搅，同时提高水泥掺入比；
- 2 旋喷桩穿越溶（土）洞、接近岩面1m范围内时，宜采用复喷、驻喷措施，以扩大加固范围和提高固结体强度；
- 3 处理范围内有岩溶水时，应考虑岩溶水对桩体的影响，水泥土类桩体宜使用外加速凝剂。

**6.8.23** 复合地基素混凝土桩施工应符合以下规定：

- 1 在软弱土层施工时，宜采用退打且隔桩跳打施工，以防止相邻桩内混凝土串孔；
- 2 施工遇到未处理的小溶（土）洞时，应停止拔管，连续灌注，直到灌满方可提升钻头；
- 3 场地基岩面起伏较大时，钻机钻至基岩处，应降低钻进速度，避免出现钻孔偏斜或卡钻事故。

**6.8.24** 复合地基承载力的验收检验应采用复合地基静载荷试验，对有粘结强度的复合地基增强体应进行单桩静载荷试验，施工工艺对桩间土承载力有影响时还应进行桩间土承载力检验。

**6.8.25** 复合地基的设计、施工及检验除应符合本规程的规定外，尚应符合《建筑桩基技术规范》JGJ94、《复合地基技术规范》GB/T50783及《建筑地基处理技术规范》JGJ79的规定。



## 7 施工

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 施工前应收集场地岩土勘察报告、施工图纸、场地周边建（构）筑物及地下管线布设资料和地方政府有关施工管理规定等资料，参加建设单位组织的现场核对、设计技术交底、检查及验收等工作。

**7.1.2** 施工前应在仔细研究场地岩土勘察报告和施工图纸的基础上，开展场地施工调查工作，全面、充分了解并核对场地岩溶发育情况和工程设计情况，编制施工方案。

**7.1.3** 测量控制点和水准点应设置在不受施工或岩溶塌陷影响的位置，施工过程中应妥善保管，并经常复核。

**7.1.4** 应查明重型设备行走路径及施工位置影响范围内的土（溶）洞分布，为确保施工安全，施工前宜对已探明的土（溶）洞进行预处理。

**7.1.5** 工程施工前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、疏排、防坍塌、防垮孔或缩径等措施。

**7.1.6** 工程施工应采用信息化施工，加强场地地层、地下水和岩溶发育情况的核对，发现实际情况与岩土勘察报告不符时，应及时联系勘察、设计单位和其他相关单位处理。必要时，应及时补充勘察。

### 7.2 桩基础施工

**7.2.1** 岩溶区桩基础施工可采用冲击成孔、旋挖成孔、强力螺旋成孔、全套管全回转成孔、人工挖孔等一种或多种工艺进行施工。

**7.2.2** 岩溶区冲孔桩施工应符合下列规定：

1 施工前应进行试成孔，成孔数量不应少于 2 个，检验所选设备、施工工艺的适用性；试成孔质量检测应包括孔径、孔深、垂直度、沉渣厚度、泥浆相对密度、泥浆黏度、泥浆含砂率，判定泥浆护壁的可行性；

2 遇软～流塑状土层、砂层等易缩径或塌孔地层时，可充填黏土混片石反复冲击造壁，冲程 1～2m；

3 进入岩层后，应低锤冲击或间断冲击；因岩面倾斜偏孔时应充填高于基岩强度的片石至偏孔位置上方 300mm～500mm，然后小行程冲击校正桩孔垂直度；

4 冲击成孔穿越易塌孔地层时可采用长护筒结合泥浆护壁的措施；桩身范围均分布易塌孔地层时可采用全护筒护壁措施；岩溶强烈发育场地可采用双护筒或多层护筒护壁的措施；

5 冲击成孔相邻桩孔间距不得小于 3d，且后续桩孔需待已施工桩基混凝土浇灌 36h 后才能成孔施工。

#### **7.2.3 岩溶区旋挖成孔桩施工应符合下列规定：**

- 1 遇软～流塑状土层、砂层等易缩径或塌孔地层，可加大泥浆比重或下钢护筒进行护壁，防止垮孔、缩径、地面沉降；
- 2 对大直径嵌岩桩可先桩中心小直径成孔后大直径成孔；
- 3 遇有倾斜的软硬交界地层或岩层时宜低压低钻速缓慢施钻直至钻筒底进入完整岩面后方可正常钻进，钻孔产生偏斜时可使用桶钻修正。

#### **7.2.4 岩溶区强力螺旋桩施工应符合下列规定：**

- 1 强力螺旋桩的桩径不宜大于 1.2m，桩长不宜大于 30m；
- 2 钻头进入岩层 0～10cm 宜低压施钻，岩石强度大于 30MPa 宜重压施钻；
- 3 钻至设计标高后，应先泵入混凝土并停顿 10～20s，再缓慢提升钻杆。提钻速度应根据地层情况确定，且应与混凝土泵送量相匹配，保证管内有一定高度的混凝土；
- 4 混凝土压灌结束后，应立即将钢筋笼插至设计深度。钢筋笼插设宜采用专用插筋器。

#### **7.2.5 岩溶区全套管全回转成孔施工应符合下列规定：**

- 1 全套管全回转成孔灌注桩施工通常由全套管全回转钻机和旋挖钻机共同完成，可用于流塑土层、含水丰富的砂层、砂砾石、砾岩、砂卵石、溶洞等岩溶强发育的复杂地层桩基础施工；
- 2 套管安放下压前应进行垂直度检查及校正，把要使用的套管在平地上连接起来，合格后进行编号，严格按照编号顺序依次下压套管；
- 3 首节套管的刀头管直径应根据设计桩径和工程地质条件选定，且不小于设计桩径。每根桩施工前应检查刀头管直径；
- 4 套管连接应采用套管两端高强螺栓及卡槽保证套管荷载传递，每节套管下压入土、入岩后，顶面要预留 0.5m～1.0m；
- 5 在有承压水的地层钻进时应保持套管刀头超前于取土（岩）面不小于 2.5m；
- 6 岩层钻进时可采用先旋挖钻机入岩，再下压套管；击穿溶洞顶壁时，宜采用钻机瞬间增强系统，可瞬间加大扭矩，可有效避免卡钻、埋钻等事故发生；
- 7 钻孔时确保动力站散热正常，时刻记录钻进过程中不同地层中液压表扭矩数据，有变化时须时刻上下拉提摇松套管降低摩擦力，以防套管及钻头损耗；
- 8 施工中应做好套管垂直度控制。套管钻进及下压过程中，宜利用钻机液压垂直装置，

随时纠正套管的角度，同时利用方向相互垂直的线锤人工复测。套管垂直度检测应贯穿整个施工过程，随时检查，纠偏；

9 套管钻进成孔过程中若垂直度出现较大偏差，应及时进行偏差纠正、调整。较小偏差可利用钻机自身纠偏能力进行纠偏；如若偏差过大，钻机不足以纠正，应填埋后重新检测套管垂直度，符合要求后重新钻进。

#### **7.2.6 溶洞桩基施工应符合下列规定：**

1 桩基施工顺序与桩底溶洞大小、类型及分布情况密切相关，桩基施工顺序宜符合以下要求：先大后小、先难后易、先周边后中间；

2 同一承台下两根桩基施工或相邻区域有多根桩基施工时，宜先施工岩溶强烈发育地段桩基，再施工地质情况较好的桩基；在基桩混凝土浇灌 36h 后才能进行相邻桩基的成孔施工；

3 对 5m 以内的浅埋岩溶（土）洞，不影响周边的建（构）筑物、地下管线时，可将其挖开或爆破揭顶，当洞内有塌陷松软土体，应将其挖除，再以块石、片石、砂和黏性土的混合物填入，然后覆盖黏性土并夯实，再进行施工；

4 当桩侧溶洞存在地下水，应采用疏导、堵塞等措施，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；

5 干作业成孔时，旋挖成孔穿越的溶洞、土洞可采取充填低标号混凝土、毛石混凝土，24h 后再成孔的处理方式；人工挖孔穿越的小溶洞、土洞应充填低强度混凝土、毛石混凝土；大溶洞应联系设计单位进行处理；

6 采用冲击成孔击穿溶洞时，应预先在施工桩孔周边准备黏土、片石混合料及回填机械，当击穿溶（土）洞出现较大护壁泥浆流失时，及时回填黏土、片石混合料，并补充泥浆直至泥浆液面恢复，填充材料应高于溶（土）洞顶面不小于 1.0m；

7 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进行处理，再采用泥浆护壁旋挖成孔或冲击成孔；

8 岩溶强烈发育、溶洞高度较大的桩基施工可采用单层钢护筒全程跟进施工；多层溶洞、深大溶槽、大型溶洞可采用双层钢护筒或多层钢护筒护壁的成孔方式；

9 桩身穿越地下水位以下的大型溶洞或与地下暗河相连接的溶洞时，旋挖成孔宜采取先填充黏土、砂、碎石、片石混合料再注浆的预处理措施，24h 后再继续成孔；冲击成孔可采取填充黏土、片石混合料和袋装水泥后，短冲程反复冲击造壁的处理方式；

#### **7.2.7 岩溶区桩基础混凝土浇注应符合下列规定：**

1 干作业成孔的灌注桩混凝土，宜按水下混凝土标准进行配制，可采用导管法或串筒法

干孔浇筑，设计桩顶 3m 范围内的混凝土宜进行振捣；

2 采用泥浆护壁成孔工艺或孔内有地下水位的灌注桩，必须严格按照水下灌注混凝土的工法施工；

3 岩溶中等发育以上场地混凝土灌注过程和灌注后 1~2h 内应不定时检查混凝土面高度，发现混凝土面下沉时，应及时补灌混凝土并振捣。

#### **7.2.8 岩溶区人工挖孔桩施工应符合下列规定：**

1 人工挖孔灌注桩适用于地下水位埋深大、成桩范围内无承压水或渗水量小、无较大厚度的流~软塑状土的地层；

2 人工挖孔桩的孔径不应小于 0.8m，且不宜大于 2.5m；孔深不宜大于 25m。当桩净距小于 2.5m 时，应采用间隔开挖。相邻排桩跳挖的最小施工净距不应小于 4.5m；

3 在土层和强风化岩层应设护壁；

4 在中风化以上岩层掘进时宜采用水钻或水磨钻工艺；当采用爆破工艺掘进时，应编制安全专项施工方案。

**7.2.9** 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时，应对有可能引发环境灾害的地段分析原因，必要时应停止抽排水并设置隔水灌浆帷幕。

### **7.3 基坑与边坡施工**

**7.3.1** 岩溶地区的基坑支护工程施工前应掌握溶（土）洞和地下水的情况。

**7.3.2** 在基坑工程施工前，对以下影响排桩或地下连续墙围护结构施工安全的溶（土）洞应进行处理：

1 不嵌岩围护结构，其轴向中心线两侧 3m 范围和围护结构深度及其以下 5m 内范围的土洞；

2 嵌岩围护结构，除执行第 1 款有关土洞处理的规定外，其轴向中心线两侧 3m 范围、围护结构深度范围的无充填或半充填溶洞，或围护结构底部 3d（d 为支护桩桩径）或 3.5m 以内存在顶板厚度小于 2m 的无充填或半充填溶洞。

**7.3.3** 连续墙、排桩成孔过程中出现漏浆、塌陷等情况时，在保证安全的前提下应及时回填黏土掺片石的混合物，进行充填处理。

**7.3.4** 当围护结构采用地下连续墙，且不需要嵌入岩层，基底与岩面间有可能导致墙底地下水绕流时，应采取可靠的界面截水措施。

**7.3.5** 基坑开挖应符合下列规定：

1 基坑开挖前应做好基坑突涌水应急准备，施工现场备好注浆设备、临时封堵材料等应急设备和材料；

2 基坑工程施工应制定出详细的降排水方案并按要求实施到位，同时进行抽水试验，检查基坑内、外水力联系和基底岩溶水的涌水量；

3 基坑周边严禁超载，施工材料、设施或车辆荷载不应超过设计要求；

4 支护结构构件强度达到开挖阶段的设计强度且锚杆（索）施加预应力后，方可开挖基坑；

5 开挖断面深度范围存在砂层等透水层时，开挖前宜采用局部开槽方法先挖深槽，检查渗漏水情况；

6 基坑开挖应分区段分层进行；

7 红黏土边坡应及时防护；

8 当位于地下水位附近，基坑平面形状为长条形时，宜沿长边方向设置若干横向分隔墙，分仓开挖，以减少岩溶水反涌风险发生时的破坏范围；

9 做好基坑内抽排水工作，开挖过程中防止开挖面长时间浸水，开挖到基底后应在基底及时采取有效的截排水措施；

10 开挖过程中应监控基坑内渗漏水情况，发现异常及时处理。同时，应监控基坑外地下水位的情况，以防止地下水位反复升降或下降过大、过快造成地面和周边建（构）筑物的开裂、沉降、位移等破坏。

### **7.3.6 影响基坑开挖安全的基底岩溶水的处理应符合下列规定：**

1 基底与岩面之间存在连续的隔水层，其最小厚度不小于 1m 且基底土层厚度的压应力大于溶洞水承压力时，对基底可不作处理；

2 除第 1 款规定外，均应进行设计验算。在土方开挖前，可选用搅拌桩、旋喷桩等对基底土补强处理，布置形式可采用满布式、格栅式、土墩柱式。采用格栅、土墩柱时，宜在格栅或土墩柱之间的透水层底部进行注浆截水，截水厚度宜不小于 1m；

3 地基处理不满足基底抵抗溶洞水反涌的要求时，应对其下的溶洞进行填充处理。

### **7.3.7 基坑、边坡开挖过程中，如出现下列情况时，应暂停开挖，待处理后再继续开挖，必要时，应对危险部位采取回填、地面卸土、临时支撑等应急措施：**

1 开挖过程中渗漏水突然增大；

2 渗漏水点出现流砂、流土，渗漏水变浑浊，甚至出现涌水涌砂；

3 基坑、边坡周边出现地面塌陷、建（构）筑物变形增大等；

4 基坑、边坡支护结构开裂、支撑变形过大、锚索松动等。

**7.3.8 锚杆（索）钻孔施工过程中，应符合下列规定：**

1 钻进过程中，应对每个孔的地层变化、钻进状态、地下水及岩溶发育情况作好现场施工记录。当遇到塌孔缩孔等不良钻进现象时，应立即停钻，并及时进行固壁灌浆处理，待水泥砂浆初凝后，重新扫孔钻进；

2 当遇到溶隙发育、岩体破碎地层时，可采用跟管钻进技术，根据锚固要求，加大孔径，加长锚索，使锚固段置于较稳定地层；

3 当遇到小型无填充或充填流塑性黏土的溶洞，应采用先注水泥浆压密固结再采用跟管钻进技术钻孔穿过；

4 当遇到连通溶洞时，宜采用跟管钻机工艺或注浆填充溶洞方案，并对方案的可行性进行论证；

5 锚杆注浆宜采用二次压力注浆工艺，第二次注浆时的注浆压力不宜小于 1.5MPa。

## 8 检测与监测

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 检测和监测前应进行现场调查,收集和分析现场及周边环境条件,分析工程的岩土工程勘察资料、地基基础设计及地基处理设计资料,了解施工工艺和施工情况后,根据地基处理的目的,选择检测和监测方法,编制技术方案。

**8.1.2** 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、孔内数字成像和水文试验等。岩溶塌陷、岩溶地基监测包括岩溶塌陷地下水气压力监测、降雨量监测、地质雷达监测、光电传感土体变形监测方法等。

**8.1.3** 检测和监测用的仪器设备必须在计量检定或校准周期的有效期内。

**8.1.4** 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。

**8.1.5** 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分;
- 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。

**8.1.6** 现场检测和监测的记录、数据和图件,应保持完整,并按要求整理分析。现场检测和监测完成后,应提交完整的成果报告。报告中应附有关曲线和图纸,并进行分析评价,给出结论和建议。

### 8.2 检测

**8.2.1** 地基的检测应符合下列规定:

- 1 红黏土地基开挖至设计基底后,应进行检验或检测,当发现地质条件与勘察报告和设计文件不一致或遇到异常情况时,应进行检测,并提出处置意见;
- 2 对岩溶地基,可采用高密度电法、地质雷达、面波、弹性波映像法或其他物探方法探测基底下岩溶发育情况;
- 3 开挖出现异常部位,宜进行载荷试验确定地基承载力。

**8.2.2** 充填法处理地基的检测应符合下列规定:

1 当采用分层压实处理时，施工过程中应分层取样检测填料的干密度或含水量；每  $50\text{m}^2 \sim 100\text{m}^2$  面积内应不少于 1 个检测点，每个独立基础下检测点不少于 1 个点；压实系数可采用环刀法、灌水法、灌砂法或其它方法检验，也可用核子密度仪或无核土壤密度仪检测；

2 当采用强夯处理时，强夯地基密实性和均匀性检测，可采用动力触探、静力触探、标准贯入试验、地质雷达和瑞雷面波法等原位测试方法，或采取试样进行室内土工试验确定。检测点数量可根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定；

3 地基的承载力检测，可通过静载荷试验并结合动力触探、静力触探、标准贯入试验和瑞雷面波等试验结果综合判定。每个单体静载荷试验不应少于 3 点；

4 分层压实的施工质量检测应分层进行。每完成一道工序，应按设计要求进行检测和验收，未经验收或验收不合格时，不得进行下一道工序施工。

**8.2.3** 跨越法处理地基检测时，应在梁板所在溶沟（槽）或溶洞平面投影范围外支承面积上的基底上做地基承载力试验，其承载力特征值应大于设计荷载标准值组合的 1.25 倍。

**8.2.4** 桩基础的检测应符合下列规定：

1 机械成孔桩终孔时，应进行桩孔的孔径、孔深、垂直度和孔底沉渣厚度等检测，判断成孔质量是否满足相关技术标准和设计要求。试验桩孔和静载试验桩孔应全部进行成孔质量检测；

2 桩孔终孔时，应进行桩端持力层检测；

3 施工完成后的工程桩应进行桩身完整性检测和竖向承载力检测。承受水平力较大的桩应进行静载水平承载力检测，抗拔桩应进行静载抗拔承载力检测；

4 桩身完整性检测宜采用两种以上适合的检测方法进行。直径大于 800mm、桩身长度大于 40m 的混凝土灌注桩应采用声波透射法检测，对有质量隐患的，采用钻芯法校核；其它直径小于 800mm 的混凝土灌注桩可采用低应变动测法检测；

5 承载力检测的方法和数量可根据地基基础设计等级和现场条件，结合当地可靠的经验和技術确定。当采用静载荷试验时，检测数量不得少于同条件下总桩数的 1%，且不得少于 3 根。当采用高应变法时，检测数量不得少于同条件下总桩数的 5%，且不得少于 5 根。

**8.2.5** 注浆法处理地基的检测应符合下列规定：

1 注浆检测应在注浆结束 28d 后进行；

2 对岩溶充填区进行注浆质量检测时，可选用钻芯法、动力触探、瑞雷面波法和高密度电法等进行加固均匀性、注浆扩散范围检测；

3 对岩溶裂隙、破碎带等进行注浆质量检测时，可选用钻芯法、瑞雷面波法、孔内电视、



单孔 CT 成像或跨孔 CT 成像方法等进行加固均匀性、注浆扩散范围检测，注浆前、后采用的检测方法应一致；

4 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。  
检验测线不应少于 3 条；

5 钻芯法检测时，按注浆加固深度范围内每间隔 1m 取样进行室内土工试验，测定注浆体的强度、压缩性或渗透性等；

6 检测数量不少于注浆孔的 2%~5%；

7 当有承载力要求时，注浆加固处理后的地基应进行静载荷试验检测；

8 取样检测孔宜进行孔内数据成像试验，确定岩溶及裂隙带内的浆液填充率。

**8.2.6 复合地基的检测应符合下列规定：**

1 对有粘结强度复合地基增强体应进行强度及桩身完整性检验；

2 对水泥土搅拌桩复合地基或旋喷桩复合地基，应在成桩 28d 后，采用钻芯法进行水泥土抗压强度检验，抽检数量为总桩数的 0.5%且不少于 10 根；承载力检测包括单桩承载力与复合地基承载力试验，抽检数量分别为 0.5%且不少于 3 根（点）；

3 对素混凝土桩复合地基，采用低应变法检测素混凝土桩身完整性，抽检数量不低于总桩数的 10%；承载力检测宜在施工结束 28d 后进行，承载力检测包括单桩承载力与复合地基承载力试验，抽检数量分别为 0.5%且不少于 3 根（点）。

**8.3 监测**

**8.3.1 岩溶地区监测应符合下列规定：**

1 岩溶地区监测应在查明岩溶特征的基础上组织实施；

2 对岩土体、地下水和建筑物等条件综合考虑的基础上对岩溶地区进行监测；

3 监测方法可根据监测项目、监测要求及场地环境条件等按表 8.3.1-1 的规定选取，也可采用经验证可靠、符合要求的其他监测方法。

表 8.3.1-1 岩溶地区监测方法表

监测项目		监测方法
岩土体	上部覆盖层土体扰动性和土洞监测	地质雷达法、光纤技术法、时域反射法、综合物探法等
	岩土层变形监测	INSAR 法、GPS 法、大地测量法等
地下水	地下水位	测钟、水位计
	水气压力	压力传感器
	流速	断面截流法

	流向	地下水等水位线法
	降雨量	雨量计
	土壤含水率	土壤含水率监测仪
建筑物	沉降监测	水准测量法、InSAR 法等
	水平位移监测	边角法、测角前方交会法等
	裂缝监测	裂缝观测仪、伸缩仪、裂缝测深仪、钢尺等

### 8.3.2 岩溶地区监测点的布设应符合下列要求：

- 1 工作基点应设置在稳定地段处，基点数应不少于 3 点，观测时宜同时联测基准点；
- 2 岩土体监测点布设范围应外延至岩溶影响区以外不少于 50m，应布置在变形速率大、塌陷坑边缘、重要建筑物等地段；
- 3 建筑物监测点应布设在能控制建筑物沉降与变形以及较长建筑物形体变化位置，裂缝监测点应布设在结构承受拉力较大部位及既有裂缝较长、较宽部位；
- 4 监测点布设应易于观测且不易被破坏；
- 5 当地质条件复杂时，应加密布点。

### 8.3.3 岩土体监测应符合下列规定：

- 1 地表变形监测线宜平行和垂直于溶洞和岩溶发育带，剖面长度宜大于溶洞的最大孔径或岩溶发育带宽度，监测点宜等间距布置，其间距根据岩溶埋深可按表 8.3.3-1 确定；

表 8.3.3-1 监测点间距表

岩溶埋深 (m)	监测点间距 (m)
<50	10~15
50~100	15~30
>100	30~50

- 2 其他监测项目的监测网点布设应以变形监测网点为基础，并对重点部位进行有针对性的布设；
- 3 上部覆盖层土体扰动性和土洞监测应根据场地周边是否存在电磁波干扰、探测深度、岩溶特征等选择适当的监测方法。

### 8.3.4 建筑物监测应符合下列规定：

- 1 岩溶地区建筑物在施工期间应进行全程监测，监测内容包括沉降监测、水平位移监测、倾斜监测、裂缝监测以及其他监测内容等；

2 沉降监测应测定沉降量、沉降差及沉降速率。并应根据需要计算基础倾斜、局部倾斜；

3 水平位移监测应对建筑物上观测点的位置变化进行监测；

4 裂缝监测应测定裂缝的位置分布和走向、长度、宽度、深度及其变化情况。深度监测宜选在裂缝最宽的位置。裂缝的宽度量测精度不应低于 0.1mm，长度量测精度不应低于 10.0mm，深度量测精度不应低于 1.0mm。

#### **8.3.5 地下水监测应符合下列规定：**

1 在岩溶影响区范围内孔隙水压力变化较大、水位变化较大或变形较大的位置应布设孔隙水水位动态监测点和岩溶水水位监测点；

2 水位监测。水位埋深浅的观测孔可采用测钟进行。水位埋深大的观测孔可采用电地下水位计、红外地下水位计、声学地下水位计等进行，监测精度不应低于 1cm；

3 水气压力监测。地下水气压力的监测可采用压力传感器进行；

4 流速、流向监测。流速可通过断面截流法计算，流向可通过地下水等水位线确定。对监测井的地下水流速和流向可通过地下水流速仪进行监测；

5 降雨量监测。可采用自动雨量计实时进行监测，监测精度不应低于 0.1mm；

6 土壤含水率。可采用土壤含水率测试仪监测。

#### **8.3.6 监测频率应符合下列要求：**

1 上部覆盖层土体扰动性监测、土洞监测和地面变形监测频率宜每月 1 次；

2 建筑物沉降监测、水平位移监测、裂缝监测频率宜每月 1 次；

3 地下水水位监测、水气压力监测、流速、流向监测宜每月 1 次；

4 降雨量监测宜每小时 1 次；

5 土壤含水率监测应每周 1 次。

#### **8.3.7 当岩溶存在塌陷可能时，监测频率应符合下列要求：**

1 宜优先采用自动化监测设备进行不间断监测；

2 上部覆盖层土体扰动性监测、土洞监测和地面变形监测频率不少于每日 1 次；

3 建筑物沉降监测、水平位移监测、裂缝监测监测频率不少于每日 1 次；

4 地下水水位监测、水气压力监测、流速、流向监测频率不少于每日 1 次；

5 降雨量监测应每 30 分钟采集不少于 1 次；

6 土壤含水率监测在降雨过程中及降雨后 3 日内应每日采集 1 次。

#### **8.3.8 数据处理与分析应符合下列要求：**

1 对岩土体上部覆盖层土体扰动性和土洞监测，应采用多种监测方法相互验证，应根据监测方法所采集数据解析得出监测结果；对岩土体变形监测，应计算各监测点的变形量、累计变形量、变形速率及所有监测点的平均变形量，并绘制相应监测曲线图；

2 对建筑物监测应计算各监测点的变形量、累计变形量、变形速率及所有监测点的平均变形量，并绘制相应监测曲线图；绘制裂缝展示图，详细描述裂缝位置分布和走向、长度、宽度、深度及其变化情况；

3 对地下水监测应编制地下水水位、水气压力、流速、流向、土壤含水率-时间曲线图；对降雨量数据应编制年、月降雨量直方图及降雨历时曲线图以及不同雨强直方图等；

4 应根据各项监测成果和地面调查资料，综合分析评价岩溶地区的稳定性，并提交阶段监测报告和总结报告。

附录 A 云南省区域岩溶发育分区图

A.0.1 云南省区域岩溶发育区划分按图 A.0.1 执行。

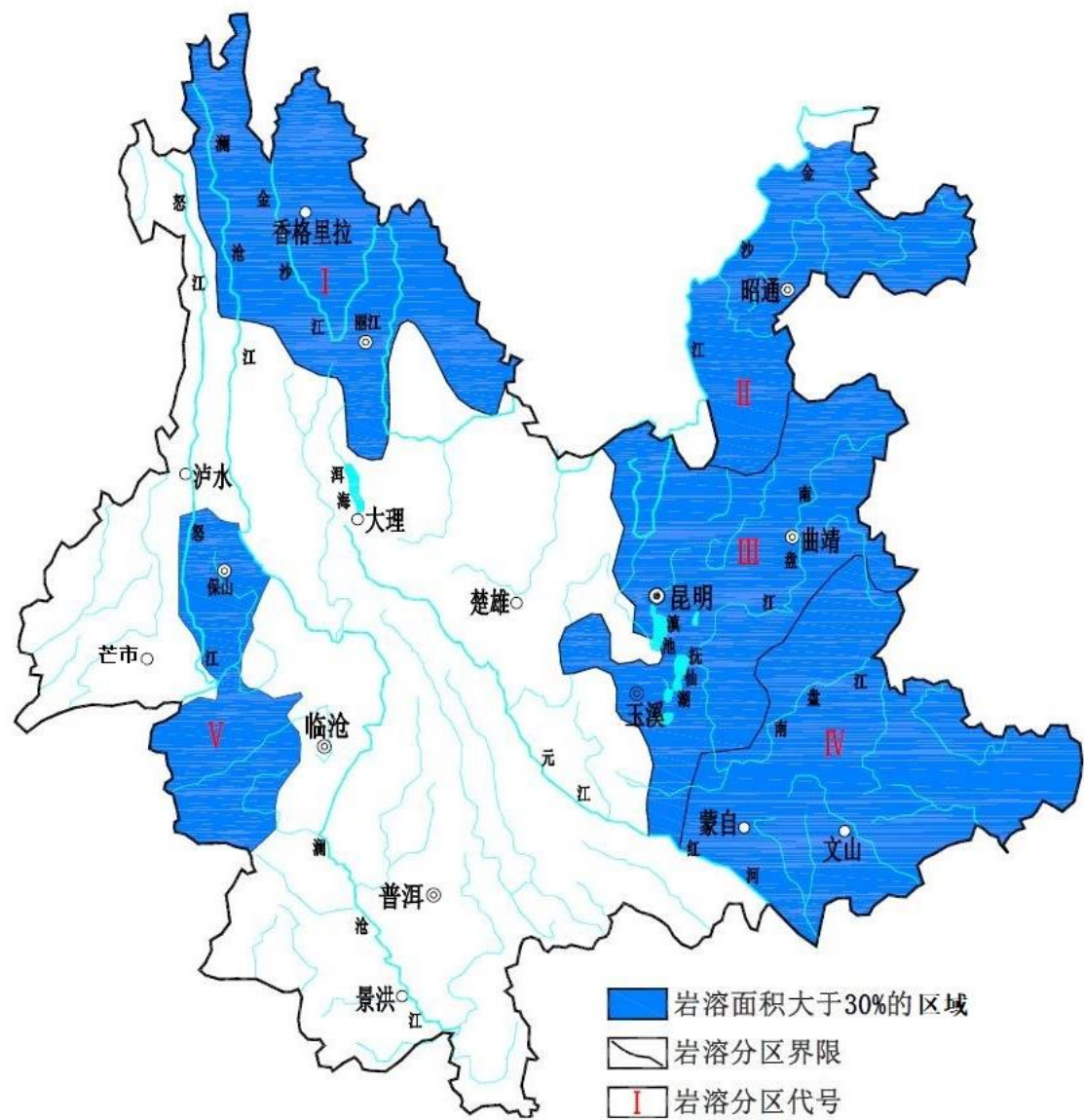


图 A.0.1 云南省区域岩溶发育区划分图

表 A.0.1 云南省区域岩溶发育分区表

分区代号及名称		面积/km <sup>2</sup>	区域岩溶发育程度
I	滇西北褶皱带高山中山峡谷区	41023.67	中等
II	滇东北拗褶皱带中山峡谷区	27156.84	中等—强
III	滇东中部台背斜台褶皱带山原盆地区	47334.59	强
IV	滇东南褶皱带中山峰丛盆（洼）谷地区	47639.47	强
V	滇西褶皱带中山宽谷盆地区	18079.81	弱—中等

## 附录 B 碳酸盐岩溶蚀风化带划分

**B.0.1** 碳酸盐岩溶蚀风化带划分一般应符合下列规定：

1 灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩等碳酸岩，其风化往往具溶蚀风化特点，风化带宜按表 B.0.1 划分。

2 部分白云岩（因微裂隙极其发育）、灰岩（因特殊结构构造，如豆状、瘤状等），有时具有均匀风化特征，当其均匀风化特征明显时，风化带宜按《岩土工程勘察规范》GB50021 相关规定划分。

3 灰岩与泥岩过渡类岩石，随着泥质含量的增加，其风化形式逐渐由溶蚀风化为主向均匀风化过渡，当以溶蚀风化为主时，风化带宜按表 B.0.1 划分，当以均匀风化为主时，风化带宜按《岩土工程勘察规范》GB50021 相关规定划分。

**表 B.0.1 碳酸盐岩溶蚀风化带划分**

风化带	主要地质特征
强溶蚀风化带	岩体全部或大部分呈黄褐色；沿断层、裂隙及层面等溶蚀强烈；溶隙、溶沟、溶槽、溶缝及风化裂隙发育，充填黏土、碎块石；溶蚀风化宽度多达数厘米至数十厘米不等 岩石断口色泽较新鲜，组织结构清楚、完整 岩体完整性较差至完整性差，岩体强度低
中等溶蚀风化带	岩体颜色基本新鲜，少部分呈黄褐色；沿断层、裂隙及层面等溶蚀较强烈；以发育溶蚀裂隙或层间软弱夹层为主，充填夹泥现象较普遍或胶结物蚀变较明显，溶蚀风化宽度一般 0.005m 至 0.01m，局部宽达数厘米 岩石组织结构清楚、无变化，断口色泽新鲜，岩石表面或裂隙面溶蚀、风化蚀变或褪色明显 岩体完整性受结构面溶蚀风化明显，岩体强度明显降低
微溶蚀风化带	岩体色泽新鲜，沿断层、长大裂隙、个别层面等溶蚀扩展或发育溶孔、晶洞等现象，充填和夹泥现象较少，溶蚀风化宽度一般小于 0.005m 岩石组织结构清楚、无变化，岩石表面或裂隙面有轻微褪色 岩体完整性受溶蚀影响轻微，整体力学强度降低不明显，结构面或层面受溶蚀影响部位力学强度有所降低

## 附录 C 溶洞的稳定性半定量稳定性计算

### C.0.1 顶板塌陷堵塞法

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（ $H$ ）可按下式计算：

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

式中： $H_0$ ——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，黏性土  $K$  取 1.05。

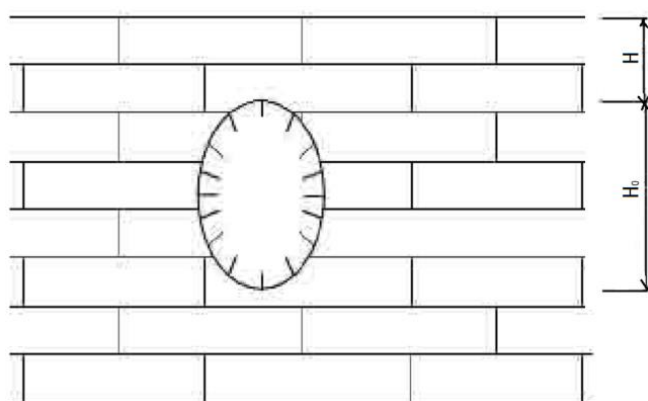


图 C.0.1 塌陷填塞模型

### C.0.2 结构力学近似分析法

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：

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

2) 当裂隙位于支座处，而顶板较完整时，可按简支梁计算：

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

3) 当支座和顶板岩层均较完整时，可按两端固定梁计算：

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

4) 计算弯矩和剪力应符合下列公式的要求：

$$\frac{6M}{bH^2} \leq \sigma \quad (\text{C.0.2-4})$$

$$H \geq \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} \quad (\text{C.0.2-5})$$

$$\frac{4f_s}{H^2} \leq S \quad (\text{C.0.2-6})$$

$$H \geq \sqrt{\frac{4f_s}{S}} \quad (\text{C.0.2-7})$$

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

$P$  ——顶板所受总荷载（ $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ），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（ $\text{m}$ ）；

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

$f_s$  ——支座处的剪力（ $\text{kN}$ ）；

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

$b$  ——梁板的宽度（ $\text{m}$ ）；

$H$  ——顶板岩层厚度（ $\text{m}$ ）。

### C.0.3 顶板塌陷堵塞法极限平衡法

按极限平衡条件计算顶板受剪切承载力时，应符合下列公式的要求：

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

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

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

式中：  $P$  ——溶洞顶板所受总荷载（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）；

$T$  ——溶洞顶板的总抗剪力（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）；

$L$  ——溶洞平面的周长（ $\text{m}$ ）

其余符号意义同前。

### C.0.4 成拱分析法

溶洞未坍塌时，相对于与天然拱处于平衡状态，如发生坍塌则形成破裂拱。破裂时顶板岩层厚度  $H$  为：

$$H = \frac{0.5b + h_0 \tan(90 - \varphi)}{f} \quad (\text{C.0.4-1})$$



式中：b——溶洞宽度（m）；

$h_0$ ——溶洞的高度（m）；

$\varphi$ ——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。

破裂拱以上的岩体重量由拱承担，因承担上部荷载尚需一定的厚度，故溶洞顶板的安全厚度为破裂拱高加上部荷载作用所需要的厚度，再加适当的安全系数。

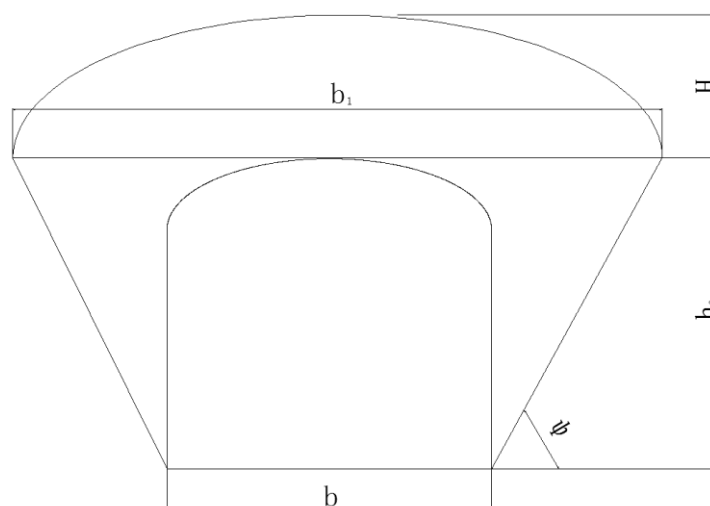


图 C.0.4 破裂拱模型

### C.0.5 板模型验算

确定岩溶地区桩基持力岩层安全厚度时，其计算模型通常是将持力岩层视为一刚性底板，其上作用一垂直桩端荷载，此时底板可能出现冲切、剪切和弯拉破坏等（图C.0.5）。

一般认为当溶洞跨度较大时，顶板的极限破坏形式多表现为冲切破坏。顶板的冲切角可近似取为： $\theta = 45^\circ - \varphi/2$ （ $\varphi$ 为基岩的内摩擦角）。持力岩层抗冲切效应达到极限平衡状态时，冲剪锥台上方岩体对锥台侧表面的剪应力和拉应力都是存在的。但在工程实际中为安全起见，这两种应力状态应独立验算。

按台侧岩层抗剪破坏模式计算，

$$\frac{p_0 \pi d^2}{4} \leq \frac{\pi \tau}{k_1} (dh + h^2 \tan \theta) \quad (\text{C.0.5-1})$$

式中：  $p_0$ ——桩端应力；

$d$ ——桩径；

$\tau$ ——冲切面岩体极限抗剪强度（参考岩体质量和经验常数之间关系表，表 C.0.5-1）；

$$\tau = A\sigma_c \left( \frac{\sigma}{\sigma_c} - T \right)^B \quad (\text{C.0.5-2})$$

式中:  $k_1$ ——抗剪安全系数;

$h$ ——顶板厚度;

$\theta$ ——持力层的冲切角;

$\sigma$ ——岩体的法向应力;

$\sigma_c$ ——岩块的单轴抗压强度。

按台侧岩层抗拉破坏模式计算,

$$\rho_0 \pi d^2 / 4 \leq \frac{\pi \sigma_t \tan \theta}{k_2} (dh + h^2 \tan \theta) \quad (\text{C.0.5-3})$$

式中:  $p_0$ ——桩端应力;

$d$ ——桩径;

$\sigma_t$ ——冲切面岩体极限抗拉强度;

(参考岩体质量和经验常数之间关系表);

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \sigma_c (m - \sqrt{m^2 + 4s}) \quad (\text{C.0.5-4})$$

式中:  $k_2$ ——抗拉安全系数;

$h$ ——顶板厚度;

$\theta$ ——持力层的冲切角。

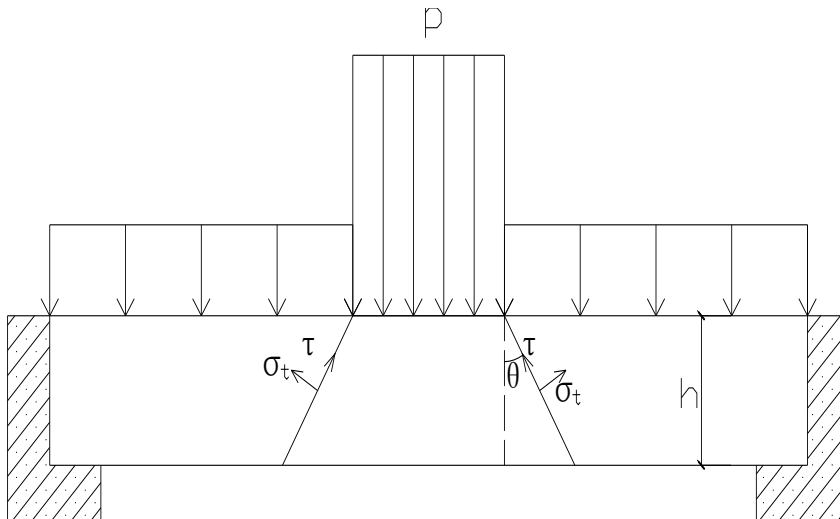


图 C.0.5 桩基硬持力层冲切模型

表 C.0.5-1 岩体质量和经验常数之间关系表（据 Hoek and Brown, 1980）

经验强度方程：	具有很好结晶 解理的碳酸盐 类岩石。如白云 岩、灰岩、大理 岩	成岩的黏土质 岩石、如泥岩粉 砂岩、页岩 板岩（垂直于 板理）	强烈结晶， 结晶解理不 发育的砂质 岩石。如砂 岩、石英岩	细粒、多矿物 结晶岩浆岩， 如安山岩、辉 绿岩、玄武岩 流纹岩	粗粒、多矿物结晶 岩浆岩和变质岩。 如角闪岩辉长岩、 片麻岩、花岗岩、 石英、闪长岩等
完整岩块试件、实 验室试件尺寸，无 节理。RMR 100 Q 500	m=7.0 S =1.0 A=0.816 B=0.658 T=-0.140	m=10.0 S =1.0 A=0.918 B=0.677 T=-0.099	m=15.0 S =1.0 A=1.044 B=0.692 T=-0.067	m=17.0 S =1.0 A=1.086 B=0.696 T=-0.059	m=25.0 S =1.0 A=1.220 B=0.705 T=-0.040
非常好质量岩体、 紧密互锁，未揉动 未风化岩体，节理 间距 3m 左右 RMR 85 Q 100	m=3.5 S =0.1 A=0.659 B=0.658 T=-0.028	m=5.0 S =0.1 A=0.739 B=0.692 T=-0.020	m=7.5 S =0.1 A=0.848 B=0.702 T=-0.013	m=8.5 S =0.1 A=0.883 B=0.705 T=-0.012	m=12.5 S =0.1 A=0.998 B=0.712 T=-0.008
好的质量岩体，新 鲜至轻风化，轻微 构造变化岩体，节 理间距 1~3m 左右 RMR 65 Q 100	m=0.7 S =0.004 A=0.369 B=0.669 T=-0.006	m=1.0 S =0.004 A=0.427 B=0.683 T=-0.004	m=1.5 S =0.004 A=0.510 B=0.695 T=-0.003	m=1.7 S =0.04 A=0.525 B=0.698 T=-0.002	m=2.5 S =0.004 A=0.603 B=0.707 T=-0.002
中等质量岩体，中 等风化、岩体中发 育有几组节理，间 距为 0.3~1m 左右 RMR 44 Q 1.0	m=0.14 S =0.0001 A=0.198 B=0.662 T=-0.0007	m=0.2 S =0.0001 A=0.234 B=0.675 T=-0.0005	m=0.30 S =0.0001 A=0.280 B=0.691 T=-0.0003	m=0.34 S =0.0001 A=0.295 B=0.691 T=-0.0003	m=0.50 S =0.0001 A=0.346 B=0.700 T=-0.0002
坏质量岩体，大量 风化节理，间距 30~500mm，并含 有一些夹泥。RMR 23Q 0.1	m=0.04 S =0.00001 A=0.115 B=0.645 T=-0.0002	m=0.05 S =0.00001 A=0.129 B=0.655 T=-0.0002	m=0.08 S =0.00001 A=0.162 B=0.672 T=-0.0001	m=0.09 S =0.00001 A=0.172 B=0.676 T=-0.0001	m=0.13 S =0.00001 A=0.203 B=0.686 T=-0.0001
非常坏质量岩体， 具大量严重风化节 理，间距小于 50mm 充填夹泥。RMR 3Q 0.01	m=0.007 S =0 A=0.042 B=0.534 T=0	m=0.010 S =0 A=0.050 B=0.539 T=0	m=0.015 S =0 A=0.061 B=0.546 T=0	m=0.071 S =0 A=0.065 B=0.548 T=0	m=0.025 S =0 A=0.078 B=0.556 T=0

## 附录 D 溶洞稳定性分级表

**D.0.1** 溶洞稳定性分级表 D.0.1 执行。

**表 D.0.1 溶洞稳定性分级表**

等级	岩层特征	地质构造	地下水及支洞、暗河	洞体表面特征	洞底堆积物
稳 定	厚层至巨厚层，无软弱夹层，层面胶结好	无褶皱、断层、裂隙不发育，仅有 1-2 组较为明显，裂隙呈闭合状或胶结好，为形成临空不稳定割体	洞内少量滴水，四周支洞少，河内无暗河通过	洞顶、侧壁均有钙壳、溶蚀窝状面，洞内表面较完整，无危岩和近期崩塌	洞内平坦，表层堆积物为黏性土或钙质胶结层，不含块石
较 稳 定	厚层至中厚层，层面有一定程度的胶结	有小型断层、褶皱。有 2-3 组连续性差的裂隙。形成的临空切割的体量小	断层中有季节性地下水活动。四周支洞较少，暗河易于查明、处理	洞顶有钙壳，溶洞窝面状，有少量钟乳石，灰华物，有少量危岩，无近期崩塌痕迹	洞底平坦，表层堆积物含少量块石，或有古崩塌体
稳 定 性 差	中厚层夹薄层，层面胶结差	断层发育，有 3 组以上的裂隙，且胶结差，形成较多的临空割体	顶板及断层中常有地下水活动，四周支洞较多，暗河分布较为复杂，不易查明，处理	洞顶钙壳和窝状溶蚀面少，钟乳石多，侧壁有含泥质的灰华物，局部地段有危岩和近期坍塌痕迹	有近期崩塌堆积物和较多块石
不 稳 定	薄层至中厚层，有软弱夹层，层面胶结差	断层很发育，裂隙在 4 组以上，呈张开状，充水夹泥，形成大量的临空切割体	洞内、断层中漏水严重，四周大小支洞多，暗河分布复杂，难于查明、处理	危岩和近期崩塌痕迹多，钟乳石，石笋、石柱等林立丛生，灰华物大面积分布	河底为暗河或大量近期崩塌物

注：评价时对因素需综合考虑，如条件不完全符合某一等级或情况交叉时，可接地层岩性、地质构造和洞体表面特征等三项主要因素来评价。

## 附录 E 泡沫轻质土充填处理的配合比

### E.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：

$$q_{u7d} \geq 0.5q_c \text{ 或 } q_{u28d} \geq q_c \quad (\text{E.0.1-1})$$

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。

### E.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：

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

按下式计算泡沫轻质土配合比单方材料组成、气泡率：

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

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

$m_c$ 、 $m_f$ 、 $m_w$ —分别为轻质土单位体积内水泥、粉煤灰、水的质量；

$R_L$ 、 $R_{fw}$ —分别为水泥浆、轻质土单位体积质量；

$\rho_c$ 、 $\rho_f$ 、 $\rho_a$ —分别为水泥、粉煤灰、泡沫密度；

$\lambda$ —为轻质土气泡率。

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%。

**E.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，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，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

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** 规范中指明应按其他有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

云南省工程建设地方标准

# 云南省岩溶地区建筑地基基础技术规程

DBJ —53/T-XX-XXXX

条文说明



# 目 次

1	总则 .....	61
2	术语和符号 .....	62
2.1	术语 .....	62
3	基本规定 .....	63
4	勘察 .....	64
4.1	一般规定 .....	64
4.2	工程地质测绘和调查 .....	65
4.3	勘探 .....	65
4.4	物探 .....	66
4.5	地下水 .....	67
4.6	岩土工程评价 .....	68
5	设计 .....	69
5.1	一般规定 .....	错误!未定义书签。
5.2	地基稳定性计算 .....	69
5.3	地基基础设计 .....	69
5.4	基坑与边坡设计 .....	71
6	地基处理 .....	72
6.1	一般规定 .....	72
6.2	充填法 .....	72
6.3	跨越法 .....	72
6.4	刚性桩法 .....	73
6.5	注浆法 .....	74
6.6	褥垫层法 .....	74
6.7	强夯法 .....	74
6.8	复合地基 .....	75
7	施工 .....	78
7.1	一般规定 .....	78
7.2	桩基础施工 .....	78
7.3	基坑与边坡施工 .....	79
8	检测与监测 .....	80
8.1	一般规定 .....	80
8.2	检测 .....	80
8.3	监测 .....	81

## 1 总则

**1.0.1** 云南地处我国西南，碳酸盐类岩溶分布广泛，城市建设、矿山建设等领域建设都受到岩溶塌陷不同程度的危害。云南山高坡陡，地形地貌复杂，地质构造发育，地下水条件复杂，这些基本的地质条件，导致云南碳酸盐岩地区岩溶发育且复杂，构成了云南岩溶地区场地和地基具有独特的岩土工程条件。现行的国家规范所包含的内容还不能完全涵盖云南岩溶地区复杂的场地条件和繁多的地基岩土类型，也不能完全适应市场对岩土工程专业的需求，因此制订本规范的主要目的，是适应云南地区岩溶特点，在现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009年版）、《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）、《岩溶地区建筑地基基础技术标准》（GB/T 51238-2018）的基础上进行适当的补充和延伸，力求做到安全适用、技术先进、经济合理、绿色环保，提高投资效益，满足云南岩溶地区工程建设需要。

**1.0.2** 本规范主要针对岩溶地区建（构）筑物的地基勘察提出基本要求，地基基础设计提出设计原则。根据工程经验提出岩溶地基处理的几种主要方法。岩溶地区施工、检测与监测提出基本要求。

**1.0.3** 由于岩溶地基（包含红黏土地基）的复杂性，对拟建场地应进行岩土工程勘察和地基稳定性综合评价。岩溶地区建（构）筑物地基基础设计与施工必须强调因地制宜原则，设计人员应根据地质条件、工程结构类型和施工条件进行精心设计。施工部门应在全面掌握和收集相关文件资料的基础上，结合当地治理岩溶地基经验，制定切实可行的施工方案，科学管理，认真实施。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

**2.1.1** 岩溶是碳酸盐岩、硫酸盐岩、卤素岩等可溶性岩石在水的溶蚀、侵蚀作用下，产生的各种地质作用、形态和现象的总称。本规程涉及的岩溶工程问题主要指碳酸盐岩。

**2.1.4** 岩溶类型根据形态特征、出露条件等进行分类。一般分为裸露型岩溶、覆盖型岩溶、埋藏型岩溶。

裸露型岩溶：可溶岩基本裸露地表，缺少土层覆盖的岩溶。

覆盖型岩溶：被松散物堆积物覆盖的岩溶。

埋藏型岩溶：被非碳酸盐层覆盖的岩溶。

在大多数情况下，与岩溶地基工程关系密切的主要是裸露型岩溶、覆盖型岩溶。岩溶对工程的不良影响主要体现在以下几个方面：岩溶岩面起伏导致上覆土层地基压缩不均匀变形；岩体洞穴顶板变形造成地基失稳；岩溶水的动态变化对施工和建筑物使用造成不良影响；溶（土）洞塌落造成地表塌陷。

**2.1.5** 线岩溶率=（钻孔所遇溶洞、溶隙的长度）/（钻孔穿过可溶岩层的长度）×100%；

钻孔见洞隙率=（见洞隙钻孔数量/钻孔总数）×100%。

**2.1.6** 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。

### 3 基本规定

**3.0.1** 云南省的岩溶分布广，岩溶发育呈现地域分布、区域地质、地貌背景的区间差异，云南岩溶发育区划分为 5 个大区，发育程度分为强、较强、中等、弱四级。

**3.0.2** 划分岩溶发育程度的岩溶率指标必须因地制宜，很难得出统一标准，不同地区的规范规定是有差异的，这体现了岩溶的地域性特征。《建筑地基基础设计规范》GB50007 和《岩溶地区建筑地基基础技术规范》DBJ45/024 划分为强烈、中等、弱三级，《建筑地基基础设计规范》GB50007 规定钻孔见洞隙率大于 30%或线岩溶率大于 20%为岩溶强烈发育，广西标准《岩溶地区建筑地基基础技术规范》DBJ45/024 规定钻孔见洞隙率大于 60%或线岩溶率大于 10%为岩溶强烈发育。岩溶发育程度是个综合性的评价指标，它受岩溶发育的多项因素影响，是地表地下岩溶的综合反映，本条将场地岩溶发育程度定性地划分为“极强、强烈、中等、弱”四级，是以岩性和沉积组合特征为基础，结合岩溶地貌和个体岩溶形态的分析，综合考虑地表岩溶发育密度、线岩溶率、见洞隙率。这种划分只是一种相对的概念，因为在岩溶强烈发育地段可包含有弱发育的层位，弱发育区域也可包含局部强烈发育地段。三个划分指标不必确定以哪个为主，因为这与勘察手段相关，如采用的是地面地质调查，则揭露的是地表岩溶发育密度；如采用的是钻探方法，则反映的是线岩溶率和见洞隙率。

地表岩溶发育密度、线岩溶率、见洞隙率详见 2.1.5 条条文说明。

**3.0.4** 云南岩溶发育，岩溶地区经常出现岩溶、土洞塌陷等，地质环境恶劣，这增加了地基基础的复杂程度和技术难度。因此，在地基设计等级中，考虑了岩溶发育等级的影响，对岩溶场地和地基的复杂程度有了更加明确的界定。在“场地和地基条件复杂的一般建筑物设计等级为甲级”的基础上，明确了“岩溶发育等级为强烈或极强的场地一般建筑物设计等级为甲级”；在设计等级为乙级中明确了“岩溶发育等级为中等的场地一般建筑物设计等级为乙级”。

**3.0.7** 对于钻孔见洞隙率超过 60%或线岩溶率大于 30%的场地，属于岩溶极发育场地，岩溶塌陷常见，属于极不稳定地段，严重威胁建（构）筑物的安全。随着施工技术水平的提高，对于洞高小于 8 米，串珠状溶洞发育深度在 50 米以内的基础施工技术已有保证。但对于超出这个范围的场地，处理难度大，费用高，工期较难控制，施工质量难以保证。因此，对于这类岩溶场地的地基基础施工和设计应进行专门论证。

## 4 勘察

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 云南省碳酸盐类岩溶分布广泛，城市建设、矿山建设等领域建设都受到岩溶塌陷不同程度的危害。近年来，工程建设规模、复杂程度越来越大，对岩溶场地稳定性影响也越来越大，在工程建设中，经常出现施工设备下沉、建筑物毁坏、交通中断、管线爆裂等对社会影响大的事故，因此，必须重视工程建设对岩溶场地稳定性的影响，通过不同勘察阶段查清岩溶发育程度，预测工程建设对场地及周边环境的影响。云南山高坡陡，地形地貌复杂，地质构造发育，地下水条件复杂，这些基本的地质条件，导致云南岩溶地区岩溶发育且复杂，所以岩溶场地勘察有别于一般场地的勘察，勘察阶段划分、勘察手段、勘察精度、勘察成果评价都要比一般场地的勘察有更高的要求。基于此，岩溶场地应进行专项勘察。

**4.1.2** 岩溶地区分阶段勘察是必要的，但是由于各行业设计阶段划分不完全一致，工程的规模和要求也不同，场地和地基的复杂程度差别很大，要求每个工程都分阶段勘察是不实际、不必要的，勘察单位应根据任务要求进行相应阶段的勘察工作。对于工程地质条件简单和有一定工程资料的中小型工程，勘察阶段可以根据实际情况适当合并。

**4.1.3** 岩溶勘察应以岩溶工程地质调查研究为先导的工作程序。遵循从面到点、分区对待、先已知后未知、先地面后地下、先控制点后一般点、先疏后密；评价中先定性后定量的工作准则。根据不同的探测对象和工程影响程度，合理选用勘探手段。使用物探时，要求有多种方法和手段相互印证，排除假象。

**4.1.4** 灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩等碳酸盐岩，其风化往往具溶蚀风化特点，溶蚀风化带的划分应按附录 B 表 B.0.1 执行。部分微裂隙极其发育的白云岩和豆状、瘤状、鲕状等特殊结构构造的灰岩，有时具均匀风化特征，当其均匀风化特征明显时，风化带划分宜按现行国家标准 GB 50021《岩土工程勘察规范》附录 A 表 A.0.3 进行。灰岩、白云岩与泥岩之间的过渡岩类，随着泥质含量的增加，其风化形式逐渐由溶蚀风化向均匀风化过渡，当以溶蚀风化为主时，风化带划分宜按本规程附录 B 表 B.0.1 执行，当以均匀风化为主时，风化带划分宜按现行国家标准 GB 50021《岩土工程勘察规范》附录 A 表 A.0.3 进行。

**4.1.5~4.1.8** 本条规定岩溶勘察阶段划分的重要性及相应工程内容和要求。岩溶地基岩土工程勘察除按规范要求外，尚应结合其自身的特点及已有的勘察经验，通过调查分析，明确岩溶对场地地基稳定的影响程度，提出影响建筑的主要岩溶问题，使勘察工作有目的性和针对性。

在岩溶区工程建设，应重视可行性研究勘察。在项目决策阶段，科学的预测、实事求是地分析可能存在的危害，对场地选址及今后的建设将起到关键的作用，对于大型或重要工程

建设，在可行性研究勘察阶段，对场地的稳定性和适宜性做出初步评价，对于不适宜建设或处理费用非常高昂的场地，应另行选择场地进行工程建设。在岩溶区进行施工勘察是非常必要的，岩溶在宏观虽有发育规律，但在具体场地上，其分布和形态却是无常的，在详勘阶段，限于工作量或岩溶的复杂性，不可能完全查明各建（构）筑物下的各种岩溶形态，这些都有待施工阶段进行专门勘察。

## 4.2 工程地质测绘和调查

**4.2.1** 通过工程地质测绘和调查，对岩溶场地稳定性和适宜性做出初步评价，具有很重要的意义，所以其宜在可行性研究或初步勘察阶段进行。详细勘察阶段和施工勘察时，可在初步勘察测绘和调查的基础上，对某些专门地质问题（如滑坡、断裂等）作补充调查。

**4.2.3** 为了达到精度要求，通常要求在工程地质测绘和调查中，采用比提交成果图比例尺大一级的地形图作为工程地质测绘的底图，以提高测绘精度。

**4.2.5** 各种既有资料的搜集是工程地质测绘和调查的重要工作，宜在工程地质测绘和调查前期统筹规划、全面考虑和落实。

**4.2.6** 利用遥感手段可以宏观掌控区域地质条件，减少外业测绘和调查的强度，提高工作效率和工作质量。

**4.2.7** 工程地质测绘和调查的内容宜与建设工程紧密结合，着重针对岩溶区的岩溶工程地质实际问题。

**4.2.8** 工程地质测绘和调查成果资料整理，本条只作了一般内容的规定，其成果资料一般可纳入相应的勘察成果中，不必单独编制调查报告。在成果资料整理中应重视素描图和照片的分析整理工作，不仅有助于勘察成果资料的整理，而且是重要的背景资料。

## 4.3 勘探

**4.3.1~4.3.3** 岩溶地区可行性研究勘察和初步勘察的目的，是查明拟建场地岩溶发育规律和岩溶形态的分布规律，宜采用工程地质测绘和多种物探方法进行综合判释。可行性研究勘察勘探孔深度揭穿对工程有影响的表层发育带即可；位于云南省岩溶发育分区范围内或地下水强烈活动地段、上覆土层分布不均匀、物探成果异常等特殊地段，勘探点间距宜适当加密。

**4.3.4** 详勘阶段，勘探点应沿建筑物轴线布置。对地质条件复杂或荷载较大的独立基础应布置一定深度的钻孔。对一柱一桩的基础，应一柱一孔予以控制；对荷载大或一柱多桩时，即使一柱一孔，有时还难以完全控制，有些问题可留到施工勘察去解决。

表中工程重要性等级按照《岩土工程勘察规范》GB50021 确定。

**4.3.9** 岩溶地区施工勘察非常必要，因为岩溶土洞是一种形态奇特、分布复杂的自然现象，一

般建设场地范围内其分布和形态无规律性。施工勘察工作量应根据建筑工程地基基础设计要求和地基复杂程度确定，岩溶微发育地段可取小值，岩溶强发育地段应取大值。

**4.3.10 ~4.3.11** 方法较全面、数量较充分的现场测试及室内试验是合理确定岩溶地区地基物理力学性质指标的重要基础。由于岩性指标的变异性，单个指标不能代表岩石的工程特性，必须通过统计分析确定其代表值，规定采取岩样的最少数量，以满足统计分析的需要。

## 4.4 物探

**4.4.1** 地球物理勘探简称物探，是以不同介质之间的物性差异为基础，通过仪器在介质表面或介质内部观测物理场的分布和变化，确定探测对象的空间展布及物性参数，达到解决地质问题的目的。岩溶问题很难在初部勘察、详细勘察阶段查清楚，施工阶段岩溶补充物探勘察是有必要的。

**4.4.2** 本条规定岩溶地区开展物探工作的 3 个条件，有一条不具备时，均不适宜采用物探。

**4.4.3** 每一种物探方法在应用时都不是万能的，都有其局限性和各自的应用条件，其应用条件见表 4.4.3。

**表 4.4.3 岩溶地区常用物探方法应用条件**

物探方法		应用条件
直流 电法	高密度电阻率法	探测目标相对于埋深和装置长度应有一定规模，且与周围介质有明显的电性差异；地形起伏不大，接地良好；探测目标上方没有极高电阻屏蔽层；测区内没有较强的电流或电磁干扰。
	充电法、自然电场法	有钻孔配合，探测目标埋深不宜过大。
电磁 法	探地雷达法	探测目标与周边介质的介电常数存在明显差异；探测目标不宜埋藏过深，与埋深相比应具有一定规模；测线经过表面应相对平缓，易于天线移动；不宜探测极高电导屏蔽层、潮湿土层、密集钢筋网等下方的岩溶异常体；测区内不应有大范围的金属构件或无线电源等干扰物。
	大地电磁测深法	探测目标与周围介质间电阻率存在明显差异；测区内无强电磁干扰，人文干扰较小。
	瞬变电磁法	探测目标与周围介质间电阻率存在明显差异，探测目标呈相对低阻为佳；测区内无强电磁干扰，人文干扰较小。
浅层 地震 法	反射波法	探测目标与周围介质间有明显的波阻抗差异；探测目标应具有一定规模，其垂向厚度或宽度应大于有效波长的 1/4；入射波能在界面上产生规则的反射波。
	折射波法	下伏岩层波速须大于上覆地层波速，且差异明显；下伏岩层视倾角与折射波临界角之和须小于 90°；探测目标与周围介质间应存在明显的波速差异，且具有一定规模。
	面波法	探测目标与周围介质间应存在明显的波速差异；探测目标应具有一定的规模，其周围介质在横向上应相对均匀；地面应相对平坦，避开沟、坎等复杂地形的影响。
井中 探测	弹性波 CT 成像法	岩溶异常体与周边介质存在波速或电性差异；成像区域周边至少两侧应具备钻孔、探洞或临空面等探测条件；岩溶异常体宜相对位于扫描断面的中部，其规模大小与扫描范围应具有可比性。
	电磁波 CT 成像法	
	井内探地雷达法	钻孔无金属套管，孔内无金属物。
	管波探测	钻孔无金属套管，应有井液耦合。

物探方法		应用条件
	桩底声呐法	桩底应有泥浆或水耦合；无振动干扰；探测深度不宜大于 10 米。
	钻孔三维激光测量	钻孔无套管，孔内、溶洞内无水或其他填充物。
	钻孔电视	钻孔无套管，孔内无水或井液清澈；光源满足测试溶洞的规模要求。

## 4.5 地下水

**4.5.1** 地下水勘察评价是岩溶地区工程勘察的重要内容。岩溶地区地下水是岩溶场地稳定性一个重要的影响因素，对地基基础、地下结构抗浮、工程降水、基坑支护等有直接影响，因而需要在勘察阶段布置地下水勘察。

**4.5.2** 由于岩溶区地下水复杂，地下水勘察宜采用多种方法进行，旨在查明岩溶地区地下水的基本规律与特点。勘探点的布置应能满足地下水勘察评价的需要，勘探点深度要满足查明影响场地稳定性的含水层的埋深。地下水勘察应重视通过现场试验测定相关的水文地质参数，并建立相应的观测孔，对地下水位与水量的变化应进行一段时间的动态观察，掌握地下水变化特点与规律。对采用泥浆护壁的钻孔，应先洗孔再进行量测。对存在多层地下水的钻孔，应采取分层止水措施，分层进行量测。当上覆土层成因不同时，需要测试不同土层渗透方向的差异性。

水文地质试验通常以抽水试验为主，但当抽水试验无法开展或预测降水可能造成环境问题，宜将抽水试验改为压水试验或注水试验。

**4.5.3** 岩溶地区地下水勘察的重点是查明地下水的特征与补给排泄条件，地表水与地下水以及其它含水层与岩溶层地下水的水力联系。存在地下暗河时，应重点查明暗河的流向、流量、河体走向等基本情况。

**4.5.4** 由于各地岩溶地区地下水条件复杂，合理确定抗浮设防水位是一个较为复杂的问题。实际上各地根据工程经验都有确定抗浮设防水位的经验做法，在处理地下结构上浮，或因不当降排水引起的附近建筑物开裂，地面沉陷等事故方面也取得了许多成功经验。所以对抗浮设防水位确定的原则，就是要结合当地的地质条件、气象资料、地表水文与地下水资料、场地地形地貌与周边环境、地下结构抗浮需要等条件来综合确定浮设防水位。特别要重视当地的抗浮工程经验教训，研究抗浮设防水位的限值，按不同情况合理确定。

一般来说，当地有地下水位长期观测资料时，抗浮设防水位依据长期观测数据资料结合建筑物使用期限预测最高水位，来确定抗浮设防水位较为清晰合理。缺少地下水位长期观测数据资料，合理确定抗浮设防水位相对困难。根据一些地方的经验，采用勘察期间的地下水位，结合预测建筑物使用期限内地下水位变幅，并参考本地抗浮设防水位，作为确定抗浮设防水位的依据是可行的，但有时偏于保守。在山区，地貌变化及地表水体的分布特征与确定



抗浮设防水位密切相关。建筑场地经过开发平整后，原有地面高程与设计地面标高存在差异，且有时差异往往较大，以致原观测的地下水位埋深与现状地下水位埋深不一致。因此在确定抗浮设防水位时，应充分考虑到这种变化。

**4.5.5** 对地下水作用评价是地下水勘察的重要环节，除满足现行国家有关标准的规定外，还应着重分析评价地下水位变化对岩溶场地稳定性的影响，如地下水补给排泄产生的水位升降对地基沉降或土洞发育、地面塌陷的影响；需作施工降水时，应分析降水对周围环境的影响，地下水补给排泄产生的水位升降对地基沉降或土洞发育、地面塌陷的影响等。

## **4.6 岩土工程评价**

**4.6.3** 红黏土边坡上的基础应进行地基稳定性计算评价，边坡上的基础应按圆弧法和沿基岩覆界面的折线法进行计算评价。

**4.6.5** 场地岩溶塌陷的岩土工程分析评价应分析评价岩溶塌陷对建（构）筑物场地规划布局和地基正常使用的影响，提出针对性避让或处理措施建议。对于多层建筑基础底面 10m 或高层建筑基础底面 15m 以下分布的中小型溶洞，可不考虑岩溶塌陷的影响。

**4.6.6** 岩溶边坡稳定性分析评价应考虑坡体自重、坡体上施工临时荷载及建（构）筑物附加荷载、岩溶水动力作用、地震作用力等的影响。边坡区的溶洞稳定性分析评价应全面考虑溶洞与边坡关系、顶板厚度及完整程度、洞体跨度及形态、岩体结构及强度、洞内充填、地下水及外部荷载等因素。

**4.6.8** 岩溶涌（突）水类型可根据涌（突）水形式、状态、动态变化、承压状态进行划分。按涌（突）水形式可分为岩溶涌水、岩溶突水；按涌水状态可分为渗水、滴水、线流、股状流水、管道流；按涌水动态变化特点可分为水文型、稳定型、突发型；按承压状态可分为承压涌水型、有压涌水型、无压涌水型。本条岩溶水类型根据涌水状态分类。

## 5 设计

### 5.2 地基稳定性计算

**5.2.1~5.2.3** 由于影响岩溶稳定性的因素很多，现行勘探手段一般难以查明岩溶特征，目前对岩溶稳定性的评价，仍然以定性和经验为主。在岩溶地区地基稳定性判定主要从区域地质构造、岩体、溶洞大小、洞内填充物、地下水、外加荷载、地震、人工活动等因素进行先定性后定量的分析。

定性评价：主要是根据已查明的地质条件，确定岩溶发育和分布规律，综合考虑影响溶洞稳定性的各种因素和基底荷载情况，并结合已有的经验进行分析比较，做出稳定性评价。定性评价法主要适用于初勘阶段的场地选择及一般工程的地基稳定分析评价。

半定量评价：在岩溶区内按岩溶分布与发育特征，初步定性判别其对工程的适宜的影响与危害程度，筛选提出对工程影响较大，需进一步查明与评价的重点区域进行半定量评价，为进一步的稳定性评价、处治提供依据。对岩溶顶板稳定性的定量评价，仍处于探索阶段，大多数工程采用结构力学中的梁、板、拱理论进行评价，但由于力学模型存在人为简化、边界条件不明确等因素，计算结果难免具有不确定性。定量评价方法：主要是采用有限单元法、有限差分法等数值分析方法对岩溶地基的稳定性进行分析，以获得岩溶地基精细的应力、应变分布规律和失稳过程，综合评价溶洞或土洞对地基稳定性的影响。目前虽然已有一些对岩溶稳定性分析评价的定量方法，但其稳定性评价精度不高，主要原因是：一是岩溶洞穴和土洞具有隐蔽性，洞体的位置、空间形态以及边界条件很难查清楚；二是洞穴形成的历时过程不明确，导致地基围岩的初始应力场分布较为复杂，地基的破坏形式变化多端，给定量计算带来一定困难；三是要获得准确的岩溶地基岩土的物理力学参数存在一定困难。

岩溶地基的岩体中存在不利的缓倾结构面，并且结构面在溶洞、漏斗、溶沟、溶槽或陡倾岩面出露时，应验算地基沿结构面的整体稳定性，可沿结构面按直线滑面或组合滑面进行稳定性演算。

**5.2.4** 岩溶地基上部建筑物受较大水平荷载作用时，应验算地基的抗倾覆稳定性。

### 5.3 地基基础设计

**5.3.2** 岩溶地基当下伏岩溶洞隙顶板在附加荷载作用下处于稳定状态时，宜优先考虑上覆土层作为持力层的天然地基或经处理后的复合地基浅基础，否则宜考虑桩基础。

对于较完整的基岩，洞体较小时，可考虑溶洞顶板的跨越作用，但应满足：1.基础底面积扣除溶洞平面面积后满足承载力要求；2.柱位于岩洞平面投影范围内时，应复核柱对基础底板的局部冲切。

**5.3.3** 一般而言，土洞往往顶板强度低、稳定性差，土洞的发育速度较快，因而其对地基稳定性的危害较大。因此，对基底附加压力影响范围内的土洞应进行处理。

**5.3.4** 溶洞顶（隔）板是指溶洞正上方的，或竖向呈串珠状的两个溶洞之间的岩体。在岩溶竖向发育区，为了满足“嵌岩灌注桩桩端以下 3 倍桩径且不小于 5m 范围内应无软弱夹层、断裂破碎带和洞穴分布，且在桩底应力扩散范围内应无岩体临空面。”这一条文规定，经常导致桩基过长，不符合实际，本条根据以往工程经验在溶洞顶板稳定时，可根据工程桩侧阻力占比做适当调整。

采用桩基穿越溶洞时，在溶洞中空或填充物较软，洞体较高时，桩身可能压屈失稳，需进行压屈验算。考虑到岩溶现象的复杂性，一般桩身穿过溶洞顶（隔）板的岩体不计算该段岩体的侧阻力，作为安全储备，但当该段岩体条件较好时，可适当折减计算。串珠洞地区桩端持力层厚度要满足要求，常常导致桩长过长，在桩底基础完整或较完整时，可以采用人工造岩的方式解决这一问题，如图 5.3.3-1 所示：

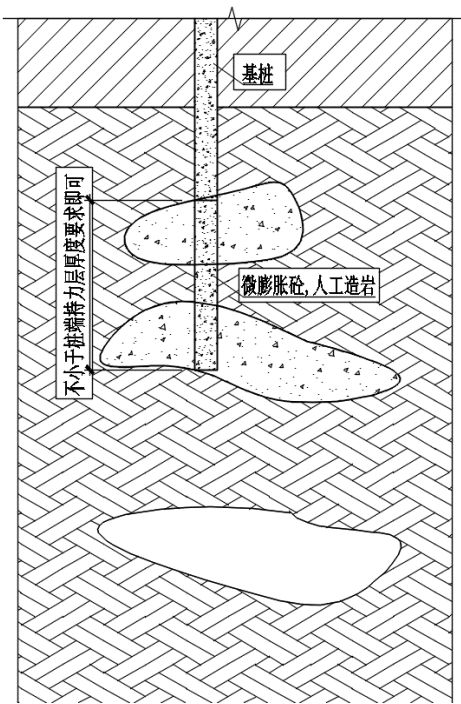


图 5.3.3-1 串珠洞桩基人工造岩示意图

**5.3.8** 此类情况相当于基础受力范围内存在溶洞形成的临空面，应考虑临空面对地基稳定性的利影响。顶板塌陷堵塞法详见附录 C。

**5.3.9** 当岩溶地基地下水流速较快或有连通泵吸作用时，可能加快岩溶的发展，增加岩溶塌陷的可能，对建筑工程造成危害。因此，应采用措施消除动水的不利影响。

**5.3.11** 岩溶发展及研究是一个长期的过程，在有条件时可适当布置一定的观测点，为后续岩溶研究提供数据支撑。标志性建筑物基础下典型溶洞内，宜进行长期影像观测。

## 5.4 基坑与边坡设计

**5.4.2** 岩溶地区由于地质条件复杂，形成的基坑边坡存在多种组合形式及破坏模式，设计中应综合考虑土、岩、岩溶洞隙、水等因素对基坑、边坡的影响，分析可能的破坏模式，选择合理的计算模型，进行分析评价。

**5.4.4** 岩溶地区基坑边坡支护设计除常规内容外，重点是针对岩溶地区特点的设计。一般来说，包括上覆土层、土岩接触带、岩溶洞隙等，岩溶地区基坑、边坡土岩组合形式较多，由于岩溶岩面起伏变化较大，基坑、边坡的计算分析差异也大。因此，在基坑、边坡设计时，应充分研究勘察报告中地层分布及特点，以选择合理的计算模型及支护方式。

岩溶地区受地下水连通影响，降水过程可能会在远离降水点的地方出现地面沉陷、建筑开裂等危害，因此，岩溶地区基坑、边坡的降排水应重视降水对周边环境的影响。

**5.4.5** 红黏土的物理力学性质与含水率、液性指数等密切相关，且变化较大，可以通过液性指数或含水比来划分红黏土状态。因此，红黏土地层的物理力学指标取值应根据勘察报告细化分析取用。

**5.4.6** 当基坑深度与边坡开挖高度大于土层与岩溶面的接触带，且接触带含水时，应考虑地下水的作用，接触带含水时可能会形成软弱带，其物理力学指标需要重点分析反演；基坑边坡侧壁存在地下水渗流时，应将渗透压力作为作用力计入侧壁水压力，并验算抗渗及抗管涌稳定性。

**5.4.7** 爆破开挖产生的振动会导致锚杆锚固作用松弛、锚固力下降，对未进入坑底基岩的支护桩可能造成踢脚失稳；爆破还可能引起溶洞物质突涌造成安全事故，因此，本条对爆破开挖作出限制规定。

**5.4.8~5.4.9** 岩溶洞隙对支护结构（支护桩、锚杆等）的作用形成局部削弱，降低了支护设计的安全度，易引发基坑边坡变形或失稳造成事故。因此，本条规定支护设计时应重视对基坑边坡侧壁或坑底附近遇岩溶洞隙的处理。

**5.4.10** 岩溶地区基坑可采用混凝土地下连续墙，水泥土连续墙、水泥土搅拌桩、高压旋喷桩等形成截水帷幕进行封闭截水，存在深厚强透水层时，宜采用连续封闭的地下连续墙或混凝土地下连续墙截水；存在动水层时，应采用连续封闭的混凝土地下连续墙截水。

## 6 地基处理

### 6.1 一般规定

**6.1.1~6.1.2** 岩溶地基的地基与基础方案的选择应针对具体条件区别对待。大多数岩溶场地的岩溶都需要加以适当处理方能进行地基基础设计。而地基基础方案经济合理与否，除考虑地基自然状况外，还应考虑地基处理方案的选择。

对于需要进行地基处理的工程，在选择地基处理方案时，应同时考虑上部结构、基础和地基的共同作用，尽量选用加强上部结构和处理地基相结合的方案，这样既可降低地基的处理费用，又可收到满意的效果。对于地貌、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。对塌陷或浅埋溶（土）洞和深埋溶（土）洞提出了相应的地基处理方法以供选择。在选择地基处理方案时，宜根据各种因素进行综合分析，初步选出几种可供考虑的地基处理方案，强调包括选择两种或多种地基处理措施组成的综合处理方案。

**6.1.3** 岩溶地基处理需考虑岩溶水的处理。岩溶水的处理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。对岩溶水的处理应遵从疏导为先、封堵为辅的原则，对地表水做好排水措施，对地下水以疏为主，并设置反滤层、截渗层等减少掏蚀、潜蚀。对水量大而集中及水压力大的岩溶水径流，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。

### 6.2 充填法

**6.2.1** 本条明确了充填法在岩溶地区地基处理的适用范围，其施工方法应符合国家现行有关标准的规定。采用充填法时，应根据岩溶发育程度、地下水特征、建筑体型、结构特点、荷载性质、施工机械设备及充填料性质等综合分析后进行设计，选择充填材料、施工方法，必要时应进行现场试验，确定充填的效果和施工质量控制标准。

**6.2.6~6.2.8** 泡沫轻质土的设计和施工可参照《现浇泡沫轻质土技术规程》CECS 249。

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 为贯彻国家“节能、节地、节水、节材和环境保护”的技术经济政策，在地基稳定性、变形满足要求的前提下，提出基础浅埋原则。

**5.1.2** 岩溶地区溶洞、溶蚀裂隙、土洞等对地基稳定性的影响较大，基础设计应考虑岩溶在地下水影响下的溶洞、溶隙的扩展、发育情况，特别是土洞发育速度很快，顶板强度低，稳定性差，设计时应高度重视。

**5.1.3** 岩土交界面地下水强烈活动时往往会在界面部位形成软土层，当地基主要受力深度范围存在软土层时，对地基的承载力、变形和稳定均会造成明显影响，地基基础设计时需充分考

考虑该因素。

**5.1.4** 由于影响岩溶稳定性的因素很多，现阶段的勘察手段很难准确查明岩溶特征，目前对岩溶的评价仍然是以定性和经验为主。

**5.1.5** 为避免受大气和地下水的影响，施工时需及时对地基土采取必要的防护措施。红黏土具有遇水软化、失水干缩开裂的特性，确定基础埋深时需考虑该因素，施工时应避免地基土被水浸泡，同时也需采取保湿措施。嵌岩桩的嵌岩深度原则上应由计算确定，嵌岩深度应满足承载力、变形及地基稳定的要求，对于倾斜度较大的中等溶蚀风化岩，应根据倾斜度和岩石完整性适当加大嵌岩深度，确保桩的稳定性。

6.3 跨越法

**6.3.1~6.3.2** 梁、板、拱等跨越结构，支撑的洞底岩体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。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。采用梁、板、拱等结构跨越时，适用条件及处理方法见表 6.3-1。

表 6.3-1 梁、板、拱等结构跨越处理方法及适用条件

类型	处理方法	适用条件
溶 洞 较 深，挖填困难和不经济，或浅埋洞体顶板厚度和完整程度难以确定	梁板式跨越法	适用于跨径较小（ $L \leq 6m$ ）的溶（土）洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙、漏斗）等岩溶地基。当基础下遇到深度较大、洞径较小不便于入内施工或洞径虽大、但因有水的溶沟、溶槽或溶洞时，可根据建（构）筑物性质和基底受力情况，采用梁板式结构传递上部荷载至两侧岩体上，或用刚性大的平板基础覆盖，但支承点必须放在较完整的岩石上，也可用调整柱距的方法处理。
	拱跨法	适用于跨径较大（ $6m < L \leq 16m$ ），周边地质较好的（土）洞、溶沟（槽）、溶蚀（裂隙、漏斗）等岩溶地基。当基础下遇洞身较宽、深度又大、洞形复杂或有水流的溶洞时，宜采用浆砌片石拱、混凝土拱、钢筋混凝土拱等拱跨形式，为增强拱身强度，拱下可砌筑垂直支撑柱，对建（构）筑物本身而言，也可加设拉杆（或锚杆支撑）或其它预应力钢筋混凝土构造。

6.4 刚性桩法

**6.4.2** 岩溶地基处理桩基础的选型应重视施工的可行性和当地的施工条件。当采用人工挖孔灌注桩且当桩侧溶洞存在地下水时，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，应比选采用机械成孔方式施工。

在溶岩地区全套管管内取土（岩）成孔灌注桩凿岩成孔过程中穿过较小溶洞（高度不超过 3m），溶洞为空洞或洞内为流塑状黏土等松散充填物时，采用抛填料的方法通过钢外套管挤实后成孔。穿过中型溶洞（高度 3m~5m），钻头钻透溶洞顶板后，向孔内抛填片石、石渣、黏土，钢外套管钻进进行成孔，穿过溶洞后钢外套管停止跟进，用凿岩机继续成孔至设计深度。钻孔穿过高度大于 5m 的溶洞，应根据实际情况采用双层全钢护筒跟进施工或充填低标号混凝土后借助凿岩机具复钻的方法成孔；成孔遇到串珠溶洞，采取上述方法综合操作至设计要求桩底标高。

## 6.5 注浆法

**6.5.2** 注浆加固具有防渗、充填、固化等多方面的作用，注浆效果取决于被注介质的可注性特征，同时也受水文地质条件的影响和制约。工程实践中，制订注浆方案时，应根据工程地质、水文地质条件及工程要求明确注浆处理范围和要求，方案应有针对性，同时应进行综合效应分析，避免造成不利影响。

**6.5.4** 岩溶注浆的深度，一般要根据所在区域岩溶地面塌陷致塌机理和注浆加固目的来确定。钻孔注浆整治措施主要通过注浆充填土岩界面附近的土洞、溶洞和溶蚀裂隙，有效充填、堵塞塌陷，阻隔地表水与地下水之间的水力联系，防止岩溶地面塌陷的发生。根据大量工程注浆治理的经验，本条对注浆钻孔的最低深度做出了规定。

**6.5.5** 注浆中材料由主剂（原材料）、溶剂（水或其他溶剂）及外加剂混合而成。因水泥浆强度高、造价低、浆液配制方便、操作简单，故岩溶地基加固处理时注浆材料一般为纯水泥浆。工程实践中，根据注浆处理要求和遇到的特殊情况，可在水泥浆液中掺入砂、黏性土、粉煤灰、水玻璃或其他掺和料。在浆液漏失严重且无其他有效堵截措施的情况下，宜选用水泥-水玻璃类双液注浆材料进行堵截处理。

## 6.6 褥垫层法

**6.6.3** 褥垫层材料宜用中砂、粗砂、级配砂石和碎石，最大粒径不宜大于 30mm。不宜采用卵石，因为卵石咬合力差，施工时扰动较大，褥垫层厚度的均匀性不易保证。

**6.6.4** 褥垫层施工前应对原地面进行处理，清除表层植被、腐殖土及松散土层，原地面坡度陡于 1:5 时，应顺原地面挖台阶，台阶的宽度和高度应符合设计要求。

## 6.7 强夯法

**6.7.1~6.7.4** 强夯法仅适用于地表浅层大面积溶（土）洞，加固效果与地质条件、夯击能量、施工工艺、置换材料等有关，采用强夯法复合地基加固具有加固效果显著、施工工期短、施

工费用低等优点。采用强夯法复合地基加固可较大幅度提高地基承载力，减少沉降。目前，强夯法在岩溶场地地基处理应用效果还没有成熟的计算方法，因此，特别强调采用强夯法前，应在施工现场有代表性的场地进行试夯或试验性施工，确定其适用性、施工参数和处理效果。

## 6.8 复合地基

**6.8.1** 复合地基强调由地基土和增强体共同承担荷载，对地基土欠固结、可液化或存在溶（土）洞或塌陷等，应选用适当的增强体和施工工艺，消除欠固结性、液化性、塌陷性等，形成复合地基。岩溶地区的复合地基处理的设计、施工参数有很强的地区性，因此强调在没有地区经验时应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以确定设计参数和处理效果。

**6.8.2** 砂桩、砂石桩和碎石桩等散体材料桩形成的复合地基，桩身质量可靠性不强、单桩承载力低，耐冲刷能力差，岩溶地区地下水流动性很强，在地下水长期冲刷下，会严重损坏散体材料桩身质量，并导致单桩承载力下降，故在岩溶区不提倡使用散体材料增强体的复合地基。

**6.8.3** 从减少地基的变形量方面考虑，桩长应穿透软土层到达强度较高之土层，在深厚淤泥及淤泥质土层中应避免采用“悬浮”桩型。《复合地基技术规范》GB/T50783-2012 第 5.4.3 条规定，复合地基竖向增强体应深入设计要求安全度对应的危险滑动面下至少 2.0m。考虑到岩溶区增强体的成桩质量较一般地质情况更难控制，故通过加大滑动圆弧来保证其稳定的安全性，所以将增强体深入设计要求安全度对应的危险滑动面下至少 2.0m 改为 2.5m；如 2.5m 范围到达岩面，则到岩面为止。

**6.8.4** 在复合地基使用过程中，通过桩与土变形协调使桩与土共同承担荷载是复合地基的形成机理和本质。端承桩几乎没有沉降变形，只能通过垫层协调桩土相对变形，由于各种原因，如地下水位下降引起地面沉降，当基础与桩间土脱开后，桩间土将不再承担荷载，故宜对端承型桩应用有所限制，建议采用摩擦型桩。但在实际工程中，岩溶场地的上覆土层多数不是太厚，复合地基中的桩往往支承于岩面，形成事实上的摩擦端承桩。所以，对于桩端支承于岩面的情况，宜通过降低单桩承载力（增加桩数），同时增加褥垫层的厚度，以使桩向上有较大的刺入变形来实现桩和土共同承担荷载。

**6.8.5** 长-短桩复合地基中，长桩的单桩承载较高，长桩的持力层选择是复合地基沉降控制的关键因素。大量工程实践表明，选择较好土层作为持力层可明显减少沉降。但桩端位于岩溶岩面时，由于岩溶区的岩石较硬，桩端几乎无下沉，复合地基的变形以对褥垫层以刺入为主，不利于发挥桩间土及短桩的作用，甚至造成破坏。因此，不但应当加大褥垫层厚度，还应复核长桩下溶洞顶板的承载能力及稳定性，必要时应进行岩溶处理。



**6.8.6** 岩溶发育地区，基岩面上存在饱和砂类土层时，其砂土易通过溶洞、溶槽等流失，因此不应作为复合地基的持力层。

**6.8.7** 云南岩溶地区的岩面上覆盖土层厚度变化较大，且岩面起伏较大；对于变形控制较严的高层建筑，复合地基设计时，都会将桩端支承于岩面，多数桩为摩擦端承桩。在实际工程中，由于岩溶地质特征（上硬下软）原因，桩基施工时多数桩端入岩。所以，必须设置褥垫层，使桩体能够在荷载的作用下发生向上的刺入变形，以保证增强体和桩间土共同承担荷载。考虑到技术可靠、经济合理，褥垫层宜取 300mm~500mm；当桩径大、桩距宽、土层压缩性高时，褥垫层厚度取大值，反之取小值。

褥垫层材料宜采用中粗砂（含泥量不得大于 5%）、级配砂石或碎石，最大粒径不宜大于 30mm。褥垫层施工应分层压实，分层厚度不大于 200mm，厚度偏差不应大于±20mm；褥垫层的铺设宜采用静力压实法，夯填度不得大于 0.9。褥垫层与基础间宜铺设 C15 素混凝土垫层，垫层厚度宜取 100mm。应采取必要措施避免地表水与褥垫层有水力联系。

**6.8.8** 本条对《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012 公式（7.1.5-2）的计算参数作了如下调整：

1 关于处理后桩间各土层承载力特征值  $f_{sk}$

岩溶区岩面起伏较大，上覆土体层数较多，且各层土软硬不一，土层的地基承载力相差较大，多数情况下，接近灰岩面的土层软弱，地基承载力极低。若  $f_{sk}$  取较高的较硬土层地基承载力，则计算的复合地基承载力偏高，不安全；若  $f_{sk}$  取较软的土层地基承载力，则计算的复合地基承载力往往达不到设计要求。故建议  $f_{sk}$  取桩体长度范围内桩间土各土层承载力特征值的加权平均值，不宜计入软弱土对复合地基承载力的贡献。

2 关于单桩承载力发挥系数  $\lambda$

岩溶区复合地基的单桩承载力特征值，设计时往往降低使用，其单桩承载力存在较大富余值。所以，当复合地基设置褥垫层和采用钢筋混凝土基础时，增强体单桩竖向承载力发挥系数可取 1.0。但考虑溶洞、土洞及潜在土洞在复合地基破坏时影响单桩承载力的发挥，故建议取 0.9~1.0，当场地岩溶强烈发育时取低值，弱发育时取高值。

3 关于处理后桩间土承载力发挥系数  $\beta$

由于岩溶区岩面起伏较大，上覆土层厚薄不一，复合地基中的桩体长度相差较大，实为长-短桩复合地基，而长-短桩复合地基有利于调动桩间土承载力的发挥，其发挥长度大于等长桩复合地基。岩溶区的复合地基设计通常都有一定厚度的褥垫层，其基础都是钢筋混凝土基础，这都有利于桩间土承载力的发挥。通常复合地基承载力计算时，处理后桩间土地基承载力不易确定，设计时往往按天然地基土地基承载力计算，低估了处理后桩间土地基承载力。

综上所述，岩溶区复合地基桩间土承载力发挥系数宜按以下原则取值：对柔性桩（水泥土搅拌桩、高压旋喷桩）复合地基，当桩侧土全为淤泥、淤泥质土时，可取 0.2~0.4，对其他土层可取 0.60~0.95；对刚性桩复合地基，可取 0.8~0.9；对刚-柔性桩复合地基，可取 0.65~0.90；岩溶强烈以上发育时取低值，弱发育时取高值。

**6.8.9  $\alpha_p$**  桩端阻力发挥系数与增强体的荷载传递性质、增强体长度以及桩土相对刚度密切相关，应按地区经验确定。当无经验资料时，对于水泥土搅拌桩、高压旋喷桩，桩端端阻力发挥系数可取 0.7~1.0，岩溶强烈发育时取低值，弱发育时取高值；其他粘结材料桩的桩端端阻力发挥系数可取 1.0。

**6.8.24** 本条是对复合地基承载力设计和工程验收的检验要求。复合地基承载力的确定方法，应采用复合地基静载荷试验的方法。桩体强度较高的增强体，可以将荷载传递到桩端土层。当桩较长时，由于静载荷试验的载荷板宽度较小，不能全面反映复合地基的承载特性。因此单纯采用单桩复合地基静载荷试验的结果确定复合地基承载力特征值，可能会由于载荷板面积或由于褥垫层厚度对复合地基静载荷试验结果产生影响。所以，对复合地基的增强体进行单桩静载荷试验，保证增强体桩身质量和承载力，是保证复合地基满足建筑物地基承载力要求的必要条件。复合地基的桩间土和桩共同承担荷载，施工工艺对桩间土承载力有影响时还应进行桩间土承载力检验。

## 7 施工

### 7.1 一般规定

**7.1.1~7.1.2** 施工前应编制施工方案,开展场地施工调查工作,全面、充分了解并核对场地岩溶发育情况和工程设计情况,发现施工场地或处理范围内的溶(土)洞的分布、大小及洞内充填物等情况尚未查明时,或者设计与实际不符时,应以书面形式及时联系勘察设计单位和其他相关单位处理。

应重视场地内及场地周边的地下管线资料的收集和确认,积极与建设方和设计方协商,采取有效的工程措施,充分做好保护工作。

**7.1.6** 工程施工应实施信息化施工,发现实际情况与岩土勘察报告不符时,应以书面形式及时联系勘察设计单位和其他相关单位处理。必要时,应采用钻探或其它勘察方法进行补充勘察,清查范围不小于拟处理范围外 3m。

### 7.2 桩基础施工

**7.2.6** 岩溶区桩基施工前,应根据施工勘察资料制定溶洞处理专项方案。对岩溶强烈发育、水文地质条件或周边环境特别复杂的超长灌注桩,宜在施工前进行工艺试桩,获得相应的工艺参数后再正式施工。本条是溶洞桩基施工处理方法的经验总结,对于具体工程应根据施工场地的岩溶发育和分布情况结合本规范具体分析总结,采取有效的处理方法。

当钻头距离溶洞顶面 1m 左右距离时,应采用小冲程快打的方式缓慢冲破溶洞顶板。当钻头距离溶洞顶板较近时,一方面容易突然冲破顶板,另一方面基岩面的溶槽和溶蚀发育丰富。为了防止由于冲程过大,导致钻头在冲破顶板时掉钻和卡钻的发生,同时也可大大减小大范围地面塌陷的发生,故应采用小冲程快打的方式施工。现场施工人员应做好“一听,二看,三监测”的现场监控途径,一要听钻头冲击的声音判断其下面是否有溶洞;二要看孔内泥浆面的变化,当泥浆面迅速下降时,应做好补石,抛石应急措施;三要实时监测泥浆的性能指标并做好记录,并根据不同的情况对泥浆性能进行及时调整。

当使用冲击钻机钻孔时,钢护筒内径应比钻头直径大 40cm;护筒厚度宜为  $1/130d \sim 1/150d$ ,且不少于 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。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牢固、密实、不漏水。

当表层溶洞周围 10m 或者 5 倍桩径范围内有相邻的构筑物时，应根据构筑物的重要性对溶洞进行相应预处理。防止桩基施工过程中，溶洞坍塌引起地面的开裂并对构筑物造成不良影响。

**7.2.8** 人工挖孔桩作为限制性工艺，对人工挖孔桩施工有限制条件，人工挖孔桩均应编制安全专项施工方案。岩溶区人工挖孔桩施工适用于地下水位埋深大、成桩范围内无承压水或渗水量小、无较大厚度的流～软塑状土的地层。人工挖孔桩不含护壁的孔径不应小于 0.8m。深度大于 10 米的桩孔应有送风装置，风量不宜少于 25L/s，每次开工前 5 分钟送风。挖孔 6～10m 深，每天至少向孔内通风 1 次；超过 10m 每天至少通风 2 次；孔下作业人员如果感到呼吸不畅也要及时通风。

### 7.3 基坑与边坡施工

**7.3.2** 本条主要是为了防范围护结构成孔过程中或混凝土浇筑过程中扰动围护结构周边土洞，造成孔壁坍塌、地面塌陷而危及施工设备和作业人员的安全，需要保证在孔壁以外和孔底以下一定厚度范围内没有土洞。为此，根据施工经验提出孔壁外 3m，孔底下 5m 的地质条件要求。

**7.3.4** 当围护结构采用地下连续墙未嵌入岩层，而基底与岩面间由于缺失不透水层而有可能导致墙底地下水绕流时，应采取可靠的界面截水措施。

**7.3.8** 钻进过程中对每个孔的地层变化，钻进状态（如钻压、钻速）、地下水及岩溶发育情况等作好现场施工记录。如遇塌孔缩孔等不良钻进现象时，须立即停钻，及时进行固壁灌浆处理，灌浆压力一般为 0.1MPa～0.2MPa，待水泥砂浆初凝后，重新扫孔钻进。当钻孔遇到小型溶洞，尤其对于充填流塑性黏土及无充填的情况，则采用先注水泥浆压密固结再采用跟管钻进技术钻孔穿过。

在岩溶较发育的地区，锚索的钻孔及注浆施工就显得较为困难。当遇到大小溶洞存在连通的情况，从施工方案来说，若采用跟管钻进工艺，套管长度难以达到要求；若采用注浆填充溶洞的方案，在对溶洞的连通情况及走向不清楚的情况下，注浆量的多少将无法估计，且在地质情况较差的边坡，若采用注浆填充的方法，浆体自重还增加了边坡的负载，特别是浆体还未凝固时，易造成边坡的失稳而出现边坡坍塌和滑移。从费用上来说，无论是采用哪种方案均会造成施工成本的增加，特别是采用注浆填充时，由于溶洞大小及连通情况的不确定性，使用施工费用的增加成为“无底洞”。对此，采用跟管钻机工艺或注浆填充溶洞方案或提出其它处理方案，并对方案的可行性进行论证，显得尤为重要。

## 8 检测与监测

### 8.1 一般规定

**8.1.4** 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。由于施工时场地环境条件的变化，设计图纸中检测、监测的相关要求可能与现场实际条件不完全相符，因此本条强调根据现场及周边环境条件来编制检测、监测方案。

### 8.2 检测

**8.2.1** 由红黏土构成的天然地基，当建（构）筑物位于土洞发育或有可能发育土洞的地段。宜对地基持力层进行检验，检验手段可采用钎探或小螺纹钻探。检测点数量对于独立基础可根据基础的大小布置，尺寸较小的基础可布置 1~2 个检测点，位置为基础中心或基础对角；尺寸较大的基础可布置 3~5 个检测点，位置为基础中心及对角。对于条形基础，检测点宜沿基础中心线布置，间距宜根据基础宽度、土洞的平面尺寸等现场确定。检测深度应能控制地基主要受力层，当基础底面宽度不大于 5m 时，检测点的深度对条形基础不应小于基础底面宽度的 3 倍，对独立基础不应小于 1.5 倍，且不应小于 6m。

由灰岩构成的天然地基，当建（构）筑物位于岩溶洞穴发育或有可能发育岩溶洞穴的地段。宜对灰岩进行检验，检验手段可采用小口径钻探。检测点数量对于独立基础可根据基础的大小布置，尺寸较小的基础可布置 1~2 个检测点，位置为基础中心或基础对角；尺寸较大的基础可布置 3~5 个检测点，位置为基础中心及对角。对于条形基础，检测点宜沿基础中心线布置，间距宜根据基础宽度、岩溶洞穴的平面尺寸等现场确定。检测深度应能控制地基主要受力层，以进入较完整基岩 5m~6m 为宜。

**8.2.4** 岩溶地区嵌岩灌注桩桩基工程事故一部分是因桩身存在严重的质量问题造成的，一部分是因桩端基岩强度或桩端下岩溶洞穴完整基岩顶板厚度不够所造成。桩基施工完成后，合理地选取工程桩进行桩身完整性、桩端基岩完整性及厚度进行检测，评定工程桩质量是十分重要的。对于桩径小于等于 800mm 的嵌岩灌注桩，当不需要对桩端基岩的完整性及厚度进行检测时，可采用高应变动力检测法、低应变动力检测法对桩身质量进行检测；当需要对桩端基岩的完整性及厚度进行检测时，可采用高应变动力检测、低应变动力检测及钻孔抽芯相结合的方法对桩身质量和桩端基岩的完整性、厚度进行检测。对于桩径大于 800mm 的大直径嵌岩灌注桩，当不需要对桩端基岩的完整性及厚度进行检测时，可采用声波透视法对桩身质量进行检测；当需要对桩端基岩的完整性及厚度进行检测时，可采用钻孔抽芯与声波透视相结合的方法对桩身质量和基岩的完整性、厚度进行检测。对于检测桩端基岩完整性及厚度的抽芯钻孔，检测深度宜为桩端以下进入完整基岩 5m~6m。桩的抽检数量、钻孔抽芯点的布置及

数量、声波透视管的埋设方式及数量等，需满足《建筑桩基检测技术规范》JGJ106-2014 的有关规定。

### 8.3 监测

**8.3.2** 从基准点引入的工作基点应设置在稳定地段处且注意通视，主要是为了利于测绘、设置及易找寻辨识。