

# T/CAGHP

中国地质灾害防治工程行业协会团体标准

T/CAGHP XXX-XXXX、

## 岩溶塌陷防治工程设计规范

Specification of design for karst collapse prevention and cure

(初稿)

XX-XX-XX发布

XX-XX-XX实施

中国地质灾害防治工程行业协会 发布

# 目次

前 言.....	I
引 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总则.....	2
5 基本规定.....	3
6 岩溶塌陷防治.....	7
7 防治工程监测.....	24
附录 A （资料性附录）泡沫轻质水泥土的配比.....	26
附录 B （资料性附录）监测墩设计图.....	28

# 前 言

本规范按国际《标准化工作导则》（GB/T1.1-2009）编写规则执行。

本规范由中国地质灾害防治工程行业协会提出。

本规范由中国地质灾害防治工程行业协会归口管理。

本规范主要起草单位：贵州省地质环境监测院（贵州地环工程有限公司）

本规范参与起草单位：中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

贵州大学

江苏南京地质工程勘察院

深圳市工勘岩土集团有限公司

深圳市地质局（深圳地质建设工程公司）

本规范主要起草人：

本规范参与起草人：

本规范主要审查人：

本规范由中国地质灾害防治工程行业协会负责解释。

## 引 言

根据国土资源部公告2013年第12号和中国地质灾害防治工程行业协会中地灾防协函[2013]23号及《地质灾害防治行业标准规范编制组织实施方案》(2013年11月)的要求,本规范编制组经广泛调查研究,认真总结岩溶塌陷防治工程设计经验,参考国家现行有关标准,并在全国广泛征求有关单位和专家意见的基础上,制定了本规范。

本规范规定了岩溶塌陷防治设计基本要求,并对治水法、跨越法、注浆法、填充法、复合地基法、桩基穿越法、强夯等技术方法的设计和监测等提出了要求。

在执行本规范过程中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,如有修改和补充意见,请将意见和建议寄往中国地质灾害防治工程行业协会(地址:北京市海淀区大柳树路17号富海大厦2号楼1109室,邮编:100081)和贵州省地质环境监测院(地址:贵州省贵阳市观山湖区石林西路171号(贵州省地质科技园6号楼),邮编:550081),以供今后修订时参考。

## 1 范围

1.1 本规范规定了岩溶塌陷防治工程设计基本规定、防治措施、工程监测等内容。

1.2 本规范适用于指导岩溶塌陷防治工程设计。建筑工程、市政工程、桥梁和道路工程的岩溶塌陷防治的施工、施工监测、施工质量检验与工程验收可参照使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB50007-2011	《建筑地基基础设计规范》
GB50010-2010	《混凝土结构设计规范》
GB50330-2013	《建筑边坡工程技术规范》
GB 50021	《岩土工程勘察规范》
GB50707-2011	《河道整治设计规范》
GB/T50783	《复合地基技术规范》
GB/T 50123	《土工试验方法标准》
JGJ79-2012	《建筑地基处理技术规范》
JGJ 94	《建筑桩基技术规范》
JGJ 106	《建筑桩基检测技术规范》
JGJT111-1998	《建筑与市政降水工程技术规范》
JGJ120-2012	《建筑基坑支护技术规程》
TB 10001	《铁路路基设计规范》
TB 10106-2010	《铁路工程地基处理技术规程》
CJJ 37	《城市道路工程设计规范》
CECS 249: 2008	《现浇泡沫轻质土技术规程》

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

### 3.1 岩溶 karst

具有溶蚀力的水对可溶性岩石进行溶蚀等作用所形成的地表和地下形态的总称。

### 3.2 红层岩溶 red bed karst

含有可溶岩砾石成分或由钙质等可溶性物质胶结的红色碎屑岩中发育的岩溶，我国多指古近系、白垩系、侏罗系红色碎屑岩中发育的岩溶。

### 3.3 岩溶塌陷 karst collapse

岩溶洞隙上的岩、土体在自然或人为因素作用下发生变形破坏，并形成塌陷坑（洞）的一种岩溶地质作用和现象。

### 3.4 溶洞 karst cave

岩溶作用所形成的空洞的通称。

### 3.5 土洞 soil cave

发育在可溶岩上覆土层中的空洞。

### 3.6 防治 prevention and cure

指预防和治理。

### 3.7 清除填堵法（填充法） clearance and filling

指用于先清除土洞、溶洞或塌陷坑中的松散充填物土，再填入块石或碎石作反滤层，然后上覆粘性土夯实的治理方法。

### 3.8 强夯法 dynamic consolidation

指用重锤自一定高度下落夯击土层使地基迅速固结的治理方法，又称动力固结法。

### 3.9 注浆法 grouting

指把注浆材料通过钻孔或岩溶洞口注入被加固体中的方法。

### 3.10 旋喷桩法 jetting reinforcement

指采用高压旋喷桩法治理岩溶塌陷的方法。

### 3.11 跨越法 array spanning

指采用梁、板等结构物跨越，两端支承在稳定、可靠的岩、土体上的防治方法。

### 3.12 深基础法（复合地基法） deep foundation

指采用桩基处理土洞、溶洞或塌陷的防治方法。

### 3.13 平衡地下水、气压力法 balance of groundwater and gas pressure

指在岩溶管道系统上设置通气井（孔），消除由于地下水位波动引起的水、气压力变化，实现水、气压力平衡的一种方法。

### 3.14 地表水的疏、排、围、改法 dredging、draining、containing、rechannelling against surface water

指对岩溶塌陷防治区的地表水采取疏导、排泄、围堵、改道的防治方法。

## 4 总则

### 4.1 基本要求

4.1.1 应以少的投资、短的工期，达到设计服务(使用)期内安全运行，并满足所有预定功能。即在设计服务(使用)期内在预定功能、安全性和耐久性、工期和投资的经济性三个方面达成要求。

4.1.2 应充分收集与工程设计相关的气象、水文、地形、地质等资料，作为防治工程设计的

依据。

4.1.3 岩溶塌陷防治工程其设计方法应在室内和野外试验的基础上进行统计分析,结合类似工程类比的经验方法,合理的选取设计方法。

4.1.4 应定性和定量分析相结合。两种分析都应在详细占有资料的基础上,运用成熟的理论和行之有效的新技术和新方法,进行充分论证,并宜提出多方案进行比较。

4.1.5 应注意与当地社会、经济和环境发展相适应,与市政规划、环境保护、土地管理和开发相结合,并在安全、经济、适用的前提下尽量做到美观。

4.2 岩溶塌陷防治工程设计属于岩土工程领域的地质灾害专门技术,除应符合本技术要求的技术规定外,尚应符合国家现行有关岩土工程与地质灾害设计的相关技术规定。

## 5 基本规定

### 5.1 勘查要求

#### 5.1.1 一般要求

5.1.1.1 查明岩溶塌陷的发育现状、历史过程及其危害性;

5.1.1.2 确定岩溶塌陷的成因、类型、形成条件和地质模式;

5.1.1.3 确定岩溶塌陷发育的动力因素、其动态特征与岩溶塌陷的关系;

5.1.1.4 确定岩溶塌陷的机制及其临界条件。

#### 5.1.2 岩溶地质环境条件调查

为保证勘查工作质量,岩溶地质环境条件调查是在现有工作资料的基础上,必要时进行补充调查工作,一般应包括一个完整水文地质单元,了解勘查区岩溶工程地质环境的特征及其组成要素的分布规律,主要调查内容如下:

5.1.2.1 地形地貌:调查山川形态与走势,地形切割起伏特征,夷平面和阶地的发育特征和分布高程,地貌成因类型与形态特征,地貌单元的分布、物质组成及形态,重点调查岩溶地貌形态的成因类型和形态组合类型;

5.1.2.2 气象与水文:收集或调查勘查区多年长周期丰、贫水年的降水变化特征,多年平均降水量、年降水量分布特征,单次最大降水量及持续时间,最大降水强度等;调查地表汇水面积,径流特征,地表水体流量和水位动态,最高洪水位和最低枯水位出现日期和持续时间,汛期洪水频率和变幅等;

5.1.2.3 地层:调查勘查区地质环境的地层层序及时代、成因类型、岩性岩相特征与接触关系及其工程地质特征,重点对碳酸盐岩及其它可溶岩和第四系松散沉积物的调查,其中第四系松散沉积物应注意调查红粘土、软土及其他特殊土类的岩性成分、结构、厚度及埋藏分布条件,划分其岩性、结构类型;

5.1.2.4 构造:调查勘查区构造骨架和构造线方向,主要构造的形态特征、产状、性质、规模与分布,及形成时间与组合关系。重点调查断裂构造规模、产状、力学性质、组合与交切关系,以及破碎带的性状与特征,对节理裂隙,要注意调查其在不同构造部位、不同岩性中的发育特征与发育方向,着重调查裂隙密集带的发育与分布;

5.1.2.5 新构造运动与地震：调查勘查区新构造运动性质与特征，根据地震活动性、地形变特征、地貌差异及热水活动等判断活动性断裂，注意调查其产状、规模和破碎带特征，切割的最新地层及最新充填情况，判断期活动时期、特点及强度，着重分析其现今活动特征；收集历史地震及附近地震台站测震资料，了解震中位置与等级及活动规模及其与区域构造的关系，着重调查历史上破坏性地震所引起的各种地震效应，调查研究与塌陷有关的各种现象，如冒水、地面弄死、塌陷、地下水位骤然升降等异常；

5.1.2.6 岩溶发育特征：调查勘查区岩溶形态、规模、组合特征及分布情况，统计不同上岩溶发育密度，了解岩溶发育分布规律；结合地表岩溶形态、岩溶率、钻孔遇洞率等指标评价岩溶发育程度，划分岩溶发育类型，着重调查覆盖型岩溶区的浅层岩溶发育特征，分析强岩溶发育带在平面上的分布和剖面上的分布情况，着重调查隐伏岩溶的岩溶形态及分布特征，分析其与浅层岩溶发育的关系；

5.1.2.7 岩溶水文地质条件：调查勘查区岩溶地下水的类型及特征，划分岩溶地下水类型；调查岩溶水文地质结构，包括岩溶含水层的层位、岩性、含水介质类型、富水性及水化学特征，埋藏和分布条件，不同含水岩组之间及其与第四系孔隙水、地表水体之间的水力联系，分析岩溶水文地质结构的类型及特征；调查岩溶地下水系统的组成与分布特征，补径排及动态变化特征；着重调查岩溶地下水的流场和水位埋深与基面面的关系及动态变化特征；

### 5.1.3 岩溶塌陷监测

监测岩溶塌陷动力条件、地表变形、裂缝扩展，地下岩溶的立体监测，以自动监测为主。

5.1.3.1 岩溶塌陷动力监测主要监测岩溶管道系统中水气压力的变化。

5.1.3.2 地下岩溶监测可采用光纤传感监测和地质雷达监测相结合。

5.1.3.3 地表水监测主要监测水位、流量，泉点的监测包括泉水的流量、水温、水质等动态变化、浑浊度（含沙量），水井、矿山（隧道）抽排水的监测主要监测抽排水量、排水点水位、浑浊度（含沙量）。

5.1.3.4 监测工作应根据勘查情况，及时调整监测网的布置，主要监测点可用作施工阶段监测。

5.1.3.5 监测自动采样间隔不大于 20 分钟，人工读数的正常监测周期为 3d，特殊时期必须加密。

### 5.2 岩溶塌陷类型

5.2.1 岩溶塌陷按塌陷体的岩性特征可分为基岩塌陷和土层塌陷两大类；

5.2.2 岩溶塌陷按其形成时期可分为新塌陷、老塌陷和古塌陷三大类，可参见表 1 分类：

表 1 岩溶塌陷按形成时期分类

形成时期	现代	第四纪	第四纪以前
岩溶塌陷时期类型	新塌陷	老塌陷	古塌陷

5.2.3 岩溶塌陷按可溶岩类型可分为碳酸盐岩岩溶塌陷、石膏岩溶塌陷、岩盐岩溶塌陷、红层岩溶塌陷四大类，可参见表 2 分类：



表 2 岩溶塌陷按可溶岩类型分类

岩溶塌陷类型	可溶岩类型
碳酸盐岩岩溶塌陷	由沉积形成的碳酸盐矿物组成的岩石的总称，主要为石灰岩和白云岩两类
石膏岩溶塌陷	硫酸盐类矿物石膏的矿石
岩盐岩溶塌陷	由氯化钠的矿物，化学成分为 NaCl、晶体属等轴晶系的卤化物矿物组成岩石
红层岩溶塌陷	由钙质或其他可溶性物质胶结的或含有碳酸盐岩砾石成分的红色碎屑岩

5.2.4 岩溶塌陷按成因（诱发因素）可分为人为塌陷和自然塌陷两大类，其中自然塌陷又可细分为暴雨塌陷、干旱塌陷、地震塌陷、重力塌陷四小类，人为塌陷可细分为矿山排水塌陷、抽水岩溶塌陷、蓄水岩溶塌陷、渗漏岩溶塌陷、震动岩溶塌陷、载荷岩溶塌陷六小类，可参见表 3 分类：

表 3 岩溶塌陷按成因（诱发因素）分类

岩溶塌陷成因类型	细类	诱发因素
自然塌陷	暴雨塌陷	强降雨
	干旱塌陷	极端干旱
	地震塌陷	地震
	重力塌陷	塌陷体自然重力作用
人为塌陷	矿山排水塌陷	矿山排水、矿山突水
	抽水岩溶塌陷	地下水开采、大型基矿开挖排水
	蓄水岩溶塌陷	水库蓄水、河道截流
	渗漏岩溶塌陷	城镇给排水管网渗漏、水库渗漏
	震动岩溶塌陷	工程施工，机械震动、工程爆破
	载荷岩溶塌陷	工程载荷

5.2.5 岩溶塌陷按根据单一塌陷坑的大小、塌陷群包含的塌陷坑的数量、岩溶塌陷的影响范围可分为大型岩溶塌陷、中型岩溶塌陷和小型岩溶塌陷三大类，可见表 4 分类：

表 4 岩溶塌陷按塌陷坑的大小、塌陷坑的数量、岩溶塌陷的影响分类

分类指标	类型		
	大型	中型	小型
塌陷坑直径（米）	>50	10-50	<10
塌陷坑数量（个）	>20	5-20	<5
影响范围（影响范围（hm <sup>2</sup> ））	>10	1-10	<10
注：按就高原则进行。			

### 5.3 防治工程分级

#### 5.3.1 防治工程分类

##### 5.3.1.1 岩溶现象类型

岩溶现象类型可按岩溶发育深度分为地表岩溶和地下岩溶两大类型，地表岩溶现象包括

石牙、溶沟、洼地、漏斗、落水洞、天窗、竖井等，地下岩溶现象包括溶隙、溶洞、溶沟、溶槽等。

### 5.3.1.2 防治工程分区类型

岩溶塌陷防治工程分区类型根据岩溶发育特征及覆盖层特征分为裸露型岩溶区、覆盖型岩溶区、残余盖层区三类，可见表 5 分类。

表 5 岩溶塌陷防治工程分区类型

分区类型	岩溶发育及覆盖层特征	水文地质特征
裸露型岩溶区	地表岩溶一般较发育，石牙溶沟、漏斗、落水洞等岩溶形态多见；地下岩溶多为溶隙、溶洞。绝大部分为可溶岩出露，覆盖层厚度不定，且分布不均匀。	地表水补给强烈，变化幅度大，水动力垂直分带较明显，漏斗和落水洞往往成为地表水灌入补给岩溶水的通道。
覆盖型岩溶区	第四系覆盖层连续分布，厚度大于 30 米，可溶岩零星分布，覆盖层下往往有溶沟、溶槽或溶洞，浅部多充填。	除岩溶水含水层外，往往存在第四系孔隙水含水层。岩溶水较孔隙水水位动态变化强烈。
残余盖层区	覆盖层主要为残余第四系土层，厚度一般 0-30 米，可溶岩零星出露，兼具覆盖型和裸露型岩溶区的岩溶发育特征。	地表水补给较强烈，变化幅度较大，水动力垂直分带比较明显，残余盖层中孔隙水含水层往往在汛期地下水位抬升后存在。

### 5.3.2 工程级别划分

岩溶塌陷防治工程等级应根据岩溶塌陷危害对象的重要性和成灾后可能造成的损失大小按表 6 进行划分。

表 6 岩溶塌陷防治工程等级划分

防治工程等级		危害对象的重要性		
		重要	较重要	一般
成灾后可能造成的损失大小	大	一级	一级	一级
	中	一级	二级	二级
	小	一级	二级	三级

5.3.2.1 岩溶塌陷危害对象重要性的划分应符合下列规定。

- a) 重要：城镇、人口密集区及重要建设项目。
- b) 较重要：村社集中居民点及较重要建设项目。
- c) 一般：村社分散居民点及一般建设项目。

5.3.2.2 建设项目重要性可按表 7 分类确定。

根据岩溶塌陷危害对象的特点，划分建设项目危害对象的重要性。

表 7 危害对象等级划分

危害对象重要性		重要	较重要	一般
危害对象	交通道路	一、二级铁路；高速公路	三级铁路；一、二级公路	铁路支线；三级以下公路
	大江大河	大型以上水库，重大水利水电工程	中型水库，省级重要水利水电工程	小型水库，县级水利水电工程
	矿山	能源矿山，如煤矿	非金属矿山，如建筑材料	金属矿山，稀有、稀土矿

5.3.2.3 岩溶塌陷成灾可能造成损失的划分应符合下列规定：

a) 损失大：威胁人数 $>1000$  人，或直接经济损失 $>1000$  万元，或潜在经济损失大于10000 万元；

b) 损失中等：威胁人数 1000 人—500 人，或直接经济损失 1000 万元—500 万元，或潜在经济损失 5000 万元—10000 万元；

c) 损失小：威胁人数 $<500$  人，或直接经济损失 $<500$  万元，或潜在经济损失 $<5000$  万元。

#### 5.4 设计安全系数及验算要求

##### 5.4.1 设计安全系数

5.4.1.1 塌陷体自重；

5.4.1.2 地表和地下水产生的荷载，包括裂隙水压力和渗透压力等；

5.4.1.3 地震荷载：抗震水平地震系数，按地震基本烈度取值，Ⅶ度取 0.05，Ⅷ度取 0.075，Ⅸ度取 0.10；

5.4.1.4 活动荷载；

5.4.1.5 塌陷体上建（构）筑物等产生的附加荷载；

5.4.1.6 其他荷载。

##### 5.4.2 验算要求

岩溶塌陷防治工程暴雨强度重现期和地震荷载强度取值标准见表 8。

表 8 崩塌防治工程暴雨强度重现期和地震荷载强度标准表

岩溶塌陷防治工程等级	暴雨强度重现期/（年）		地震荷载（年超越概率 10%）	
	设计	校核	设计	校核
一级	50	100	50	100
二级	20	50		50
三级	10	20		

## 6 岩溶塌陷防治

### 6.1 治水法

### 6.1.1 一般规定

6.1.1.1 治水法适用于由于大气降水、地表水体入渗、冲蚀，地下水位升降、过度抽取地下水、矿山排水、工业废渣堆场废水等引发的岩溶塌陷。

6.1.1.2 大气降水、地表水体入渗引发的岩溶塌陷宜采用“截、排、疏、围、堵、改”的治理措施。

#### a) “疏、排”措施

对于以分散式入渗为主的降雨、地表水体，宜采用“截、排、疏”措施，截排水沟、清理疏通河道（沟道），加速泄流，减少渗漏量。

#### b) “围、堵”措施

对于以集中式入渗为主的地表水体，宜采用“围、堵”措施，特别是地表水体直接通过落水洞、竖井、漏斗等方式直接注入地下的，可采用粘土、混凝土灌注填实。

#### c) “改”措施

对于渗漏量大，影响范围广，难于采用“疏、排、围、堵”等措施处理的，可采用“改”措施，但是应对河流（溪流）改道进行充分论证。

6.1.1.3 地下水位升降、过度抽取地下水引发的岩溶塌陷，宜采用以下防治措施：

a) 因地下水位升降，岩溶空腔中的水压力产生变化，形成气爆（冲爆），导致岩溶塌陷，可采取设置各种岩溶管道通气的装置，平衡其水、汽压力，以消除其作用。

b) 因地下水位下降导致的岩溶塌陷，可采取防止地下水渗漏或人工回灌等措施，并禁止在影响岩溶塌陷的水力半径范围内抽取地下水。

6.1.1.4 矿山排水引发岩溶塌陷，采取措施为：矿山地下水疏干范围不适合居住，应搬迁；农田和道路等岩溶塌陷地段，采用“回填压实”处理。

6.1.1.5 工业废渣堆场废水渗漏下渗引发的岩溶塌陷，应塌陷地段采取“回填压实”+铺膜防渗防污处理。

### 6.1.2 设计

#### 6.1.2.1 截排水沟设计一般要求

a) 排水工程设计应在岩溶塌陷防治总体方案基础上，结合岩溶塌陷区影响范围、地表水水体和降雨条件及本区域生态环境，制定截、排水方案。

b) 一般情况下，截、排水工程的设计应根据塌陷区降雨、汇水面积等因素进行设计，降雨标准为20年一遇。

c) 截、排水沟在平面上以地形而定，应有效拦截地表水并顺利排出为原则。一般应设置在塌陷区影响范围外50~100m。

d) 截、排水工程应合理布局，应与主体工程及自然环境相适应；注重各种排水设施的功能和相互之间的衔接，并与地界外排水系统和设施合理衔接，形成完整、通畅的排水系统。

e) 截、排水设施地基应密实稳定，必要时应采取有效措施防止地基变形引起的排水设

施破坏。

f) 截、排水工程的断面形状、结构尺寸应根据设计流量确定。

g) 地表排水设置一般采用梯形、矩形明沟排水，受地形地质条件限制时可采用复合结构。

h) 膨胀土(岩)、黄土、杂填土、淤泥土基底或换填底面应加强封闭、做隔水处理。

#### 6.1.2.2 截排水沟设计构造要求:

a) 截、排水沟设计纵坡，应根据岩溶塌陷分布及发育特征、地形、地质等因素确定；当自然纵坡大于 1:20 或局部高差较大时，应设置消能措施。

b) 截、排水设施纵坡不宜小于 5‰；条件困难时亦不应小于 3‰。

c) 排水沟的安全超高，不宜小于 0.2m，在弯曲段凹岸应考虑水位壅高的影响。

d) 排水沟宜用浆砌片石或块石，地质条件较差如坡体松软段可用毛石混凝土或素混凝土；排水沟砌筑砂浆强度等级不宜小于 M7.5，对坚硬块片石砌筑排水沟用比砌筑砂浆高一级强度等级砂浆进行勾缝；毛石混凝土或素混凝土强度等级宜用  $C_{20} \sim C_{25}$ 。

e) 截、排水沟沟底及边墙应设伸缩缝，缝间距 10~15m。

f) 对于截、排水沟基底土质湿陷性较大、填土不均等，易发生地基湿陷或差异沉降时，宜设置为钢筋混凝土沟。

6.1.2.3 河道疏挖和河流改道工程设计可参照《河道整治设计规范》GB50707-2011 之附录 E 执行。

#### 6.1.2.4 岩溶管道通气装置设计

在岩溶塌陷地区，查明地下岩溶通道，布置 3~5 个钻孔，深度应揭穿溶洞(管道)、溶隙，破坏真空腔的岩溶封闭条件，平衡其水、气压力，防止发生气爆(冲爆)塌陷。

#### 6.1.2.5 地下水控水措施设计

a) 地下水位下降控水措施设计:

(a) 由于长期抽取地下水或地水文地质条件改变致使塌陷区水位下降而引起的岩溶塌陷，宜采用停止抽水和人工回灌方式已补偿地下水达到防治目的。

(b) 人工回灌可采用设置回灌池渗入式回灌，亦可采用钻孔进行回灌。

(c) 人工回灌后地下水水位以恢复到抽水前稳定水位为宜。

b) 地下水位上升控水措施设计:

(a) 控制岩溶塌陷区地下水位上升除可采用上述的防治措施外，亦可采用钻孔抽排水法对岩溶塌陷区水位进行控制。

(b) 对于条带状分布的岩溶塌陷区，其地下水主径流途径主要按塌陷带分布，宜采用线性布孔进行抽排地下水；对于单个的岩溶塌陷或环形分布的塌陷区，宜采用环状布孔进行抽排地下水。

(c) 钻孔孔径一般不宜小于 110mm，孔深至塌陷区上覆土层之下 10~15m。

(d) 水位降深控制在土岩界面以下 0.5~1m 为宜。

(e) 对于环形布置的抽水钻孔，可根据相关规范选用大井法近似估算其总抽水量；对于线性布置的抽水钻孔，可根据实际情况选用相应规范中的计算公式对抽水量进行近似计算。

(f) 根据钻孔的特征，选择相应规范中单井允许抽水量计算公式对单井抽水量进行计算。

(g) 根据单井抽水量，选择合适的抽水设备。

(h) 在总抽水量、单井允许抽水量及抽水设备确定的基础上，计算抽水钻孔的数量并进行合理布置。

### 6.1.3 检测

6.1.3.1 针对于截排水沟、河渠疏挖、河流改道工程，可在岩溶塌陷区设立地下水检测孔，对地下水位进行监测。

6.1.3.2 对于地下水抽取及回灌地下水措施，可采用已有钻孔进行地下水位监测，确定其效果。

### 6.2 跨越法

#### 6.2.1 一般规定

6.2.1.1 跨越法适用于规模范围不大，浅埋的开口型溶（土）洞或塌陷坑的治理。

6.2.1.2 跨越法易采用梁板式、平板式跨越。根据现场工程地质情况、上部荷载大小、结构体系、使用要求以及施工条件等因素确定采用梁板式结构或平板式结构，或组合使用。

6.2.1.3 采用跨越法在处理洞径较大的溶（土）洞时，宜在洞内增设临时竖向桩柱进行支撑。

6.2.1.4 采用跨越法治理后的岩溶塌陷区域内进行高层建筑或较大荷载工程建设时，应对原跨越结构进行充分论证。

#### 6.2.2 设计

6.2.2.1 跨越结构应有可靠的支承面，梁板式结构在稳定岩土体上的支承长度应大于悬臂段长度的 0.5 倍，平板式结构在稳定岩土体上的支承长度应大于悬臂段长的 0.3 倍。且支承段岩土体的地基承载力应满足设计计算要求。

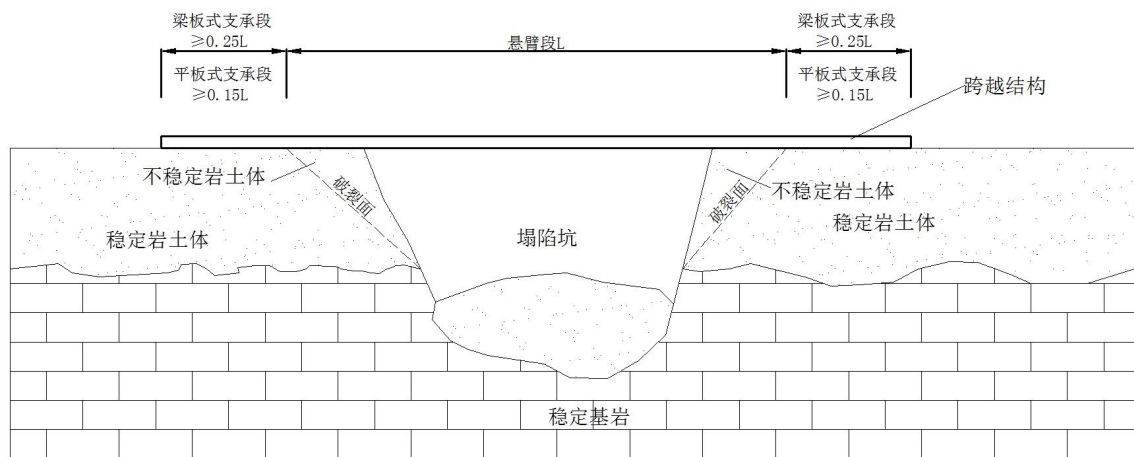


图1 跨越结构支承长度设计示意图

6.2.2.2 梁板式结构最小板厚度不宜小于 400mm，不应小于 300mm，且板厚与最大双向板格的短边净跨之比不小于 1/14，基础梁的高跨比不宜小于 1/6。平板式结构的最小板厚度不宜小于 500mm，不应小于 300mm。

6.2.2.3 梁板式结构的底板除计算正截面受弯承载力外，其厚度尚应满足受剪切承载力的要求。梁板式结构的基础梁除满足正截面受弯及斜截面受剪承载力外，尚应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB50010-2010）有关规定验算柱下基础梁顶面的局部受压承载力。

6.2.2.4 平板式结构的板厚应满足受冲切承载力的要求。计算时应按考虑、作用在冲切临界面重心上的不平衡弯矩产生的附加剪力，且应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）及现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB50010-2010）有关规定。

6.2.2.5 梁板式结构底板按基底净反力计算配筋，受力钢筋直径不宜小于 12mm，间距不应小于 150mm，宜在 150~200mm，双向配筋，受力钢筋的配筋率不应小于 0.15%，钢筋连接按受拉钢筋搭接连接，各网片末端在支座的锚固不应小于  $L_a$ ，顶部双向钢筋应全部连通，底部纵横方向的支座钢筋尚应用 1/3~1/2 贯通全跨，且其配筋率不应小于 0.15%。

6.2.2.6 平板式结构受力钢筋直径不宜小于 12mm，钢筋网不多于两层时直径不宜大于 25mm，间距不应小半 150mm，不宜大于 250mm，当筏板长度大于 30m 或厚筏收缩温度应力较大时，钢筋间距不宜大于 200mm，且钢筋连接按受拉钢筋要求搭接头或机械连接。不应采用现场焊接接，板中受拉钢筋的最小配筋率不应小于 0.15%，采用双向钢筋网片，配置在板的顶面和底面。

6.2.2.7 跨越结构的混凝土强度等级不应低于 C30。当溶（土）洞中有地下水活动，水头较高时，应采用防水混凝土时，防水混凝土的抗渗等级应根据地下水的最大水头的比值，按表 9 选用，且其抗渗等级不应小于 0.6MPa。

表9 跨越结构防水混凝土抗渗等级

最大水头 (H) 与防水混凝土厚度 (h) 的比值	设计抗渗等级 (MPa)
$H/h < 10$	0.6
$10 \leq H/h < 15$	0.8

$15 \leq H/h < 25$	1.2
$25 \leq H/h < 35$	1.6
$H/h > 35$	2.0

6.2.2.8 与地下河管道相连通的溶洞采用跨越法治理时，应在跨板区留设泄水、泄气孔，防止暴雨期间地下水位骤然上升引发的“气爆”、“顶托”问题。

### 6.2.3 检测

#### 6.2.3.1 地基检测

支承段为完整、较完整、较破碎天然岩质地基，地基承载力可采取（钻）芯法进行检测，单位工程抽检数量不应少于 6 组，当岩石芯样无法制作成芯样试件时，应进行岩石荷载试验，单位工程试验点数不应少于 3 点。破碎、及破碎天然岩质地基可采用平板荷载试验进行检测，单位工程试验点数不应少于 3 点。

支承段天然土质地基，地基承载力及变形模量应采用平板荷载试验进行检测，单位工程试验点数不应少于 3 点。

#### 6.2.3.2 钢筋混凝土结构检测

a) 采用非破损、局部破损等方法对混凝土构件进行实体检测，检测项目包括混凝土强度及等级、钢筋配置及保护层厚度。

b) 混凝土强度检测可采用钻芯法或回弹法。单位工程抽检数量不应少于构件总数的 10%，且不小于 3 个构件。

c) 钢筋配置及保护层厚度检测可采用电磁感应法，必要时可采用剔凿法进行复核。单位工程抽检数量不应少于构件总数的 10%，且不小于 6 个构件。

### 6.3 注浆法

#### 6.3.1 一般要求

6.3.1.1 岩溶塌陷防治注浆设计应在勘察的基础上进行，应了解岩溶水文地质条件、塌陷成因、工程地质条件、环境地质条件，明确注浆目的。

6.3.1.2 注浆设计文件应包括工程概况、岩溶水文地质条件、塌陷成因、工程地质条件、注浆目的、注浆范围、注浆孔布设参数及布置图、注浆材料及配比、注浆参数、注浆效果指标、注浆效果检查方法及要求、进度安排、安全质量环境保护措施等内容。

6.3.1.3 施工时应进行现场注浆试验，注浆效果不能满足设计要求时，及时调整注浆设计。

6.3.1.4 岩溶塌陷防治注浆一般采用固结注浆、充填注浆、防渗注浆等。岩溶空洞、土洞处理可采用充填注浆，溶洞顶板破碎岩体、砂卵砾石处理可采用固结注浆，降低水力比降、控制渗流量、控制地下水位变幅可采用防渗注浆。

6.3.1.5 注浆范围应根据塌陷区岩溶水文地质条件与工程地质条件确定，平面范围应大于塌陷区或预测塌陷区影响范围，深度范围应消除塌陷隐患。



6.3.1.6 注浆浆液宜采用水泥浆，水泥强度等级可为 32.5 或以上。根据需要可加入粘土、砂、水玻璃等掺合料和外加剂。

### 6.3.2 设计

#### 6.3.2.1 固结注浆

a) 注浆孔布设一般采用方格形、梅花形和六角形，分序实施。孔距、排距应根据现场注浆试验成果并参照工程经验确定。一般孔排距可采用 2.0~5m，排距等于或略小于孔距

b) 水泥浆的水灰质量比一般选用 1:1、0.8:1、0.6:1、0.5:1 四个比级。

c) 注浆压力应根据地质条件和现场试验成果确定。一般可采用 0.1~0.4MPa。

d) 在设计压力下，注入率不大于 2L/s，继续灌注 30min 可结束注浆。

e) 注浆效果指标应根据岩溶水文地质条件、工程特点及要求确定。处理后的岩土体的物理力学特性应好于不需处理岩土体的物理力学特性，并应满足工程要求。

#### 6.3.2.2 充填注浆

a) 注浆孔应根据溶洞或土洞的规模及分布、岩溶地下水情况等进行布设。一般宜至少分两序孔布设，一序孔孔径不宜小于 150mm。

b) 根据溶洞或土洞规模、岩溶地下水情况，利用一序孔向溶洞或土洞灌筑流态混凝土，或先填入级配骨料，再注入水泥砂浆或水泥浆，或先膜袋注浆，再注入水泥浆。

c) 二序或三序注浆孔的布设、注浆材料、注浆压力、注浆效果指标等可参照固结注浆执行。

#### 6.3.2.3 防渗注浆

a) 注浆孔布设一般采用单排、双排或三排，分序实施。孔距、排距应根据现场注浆试验成果并参照工程经验确定。砂砾石层注浆一般孔距可采用 2.0~4m，基岩注浆一般孔距可采用 1.5~3.0m，排距略小于孔距。

b) 注浆宜采用水泥浆，水泥强度等级可为 32.5 或以上，细度要求通过 80 $\mu$ m 方孔筛的筛余量不大于 5%。根据需要可加入粘土、粉煤灰、膨润土、砂、水玻璃等掺合料和外加剂。水泥浆的水灰质量比一般选用 2:1、1:1、0.8:1、0.5:1 四个比级。

c) 注浆压力应根据地质条件和现场试验成果确定。一般可采用 0.2~0.8MPa。

d) 在设计压力下，注入率不大于 1L/s，继续灌注 30min 可结束注浆。

e) 注浆效果指标应按注浆后岩土体的透水率控制，一般宜小于 10Lu，并应满足工程要求。

f) 岩溶管道宜先充填级配砂石、混凝土或膜袋注浆充填，再进行防渗注浆。

### 6.3.3 检测

6.3.3.1 固结注浆与充填注浆质量一般采用钻孔声波、钻孔变模、地震波、重力触探、静载试验等进行检测。钻孔声波或钻孔变模检测孔的数量不宜少于注浆孔数的 5%。检查孔的布置不仅要考虑均匀性，还应考虑地质条件差和注浆质量有疑问的部位。

6.3.3.2 防渗注浆质量采用压水试验检测，检查孔不宜少于注浆孔数的10%。

## 6.4 填充法

### 6.4.1 一般规定

6.4.1.1 填充法适用于各种条件下的岩溶塌陷防治。既可采用单一的填充法，也可和其他方法结合使用。

6.4.1.2 填充材料可采用粘性土、砂砾、碎石、水泥砂浆、混凝土、粉煤灰、石粉岩屑、尾矿、矿渣等，亦可采用泡沫水泥轻质土或用以上材料加上添加剂配制的填充材料。

6.4.1.3 填充法的材料及施工必须符合环境保护要求。

6.4.1.4 填充法的设计参数和施工方法应通过室内和现场试验确定和验证。

### 6.4.2 设计

6.4.2.1 填充灌注孔宜呈梅花形布设，孔间距应根据现场试验确定，且不宜大于20m。填充孔的直径不应小于91mm。当空洞较大时，可在填充材料中增加骨料，孔径应随之增大，且孔径不宜小于骨料最大粒径的8倍。

6.4.2.2 填充材料应符合10的要求

表10 填充材料要求

材料	要求
水泥	强度不低于32.5MPa
粉煤灰	符合国家二、三级质量标准
石粉、岩屑、尾矿、矿渣	最大粒径 $\leq 10\text{mm}$ ，有机物含量 $\leq 3\%$ ，浸出液无有害物质
黏性土	塑性指数 $\geq 10$ ，含砂量 $\leq 3\%$
砂	粒径 $\leq 2.5\text{mm}$ ，有机物含量 $\leq 3\%$
碎石	混凝土骨料要求
水	符合混凝土用水要求

6.4.2.3 泡沫轻质水泥土中的发泡剂严禁采用动物蛋白类发泡剂，其性能符合表11的要求；泡沫轻质水泥土的抗压强度应通过试验确定，且不应低于1.5MPa，泡沫轻质水泥土应符合本规范附录A的规定。

表11 发泡剂性能的要求

性剂指标	要求
稀释倍率	40~60
发泡倍率	800~1200
标准泡沫密度	30~50kg/m <sup>3</sup>
标准泡沫泌水率	$\leq 25\%$

6.4.2.4 填充材料的配比应通过试验确定。采用泡沫轻质水泥土填充时，各组分的配比可由附录X的方法确定。填充材料中黏性土、石粉、尾矿、粉煤灰的含量不宜大于50%，水泥含量不宜小于10%。

6.4.2.5 填充时，材料的水固比宜取 1: 1.0~1: 1.6，并宜添加减水剂。

6.4.2.6 填充量按下式计算：

$$V_c = \eta k \xi r V_t + V_s \quad (6.4.2.6)$$

$V_c$ —填充量 ( $m^3$ )；

$\eta$ —填充系数设计值；

$k$ —填充浆液结石率 (%)，通过试验确定；

$r$ —填充材料损耗系数，可取 1.1~1.2；

$\xi$ —空洞率，体积岩溶率或土洞率 (%)；

$V_t$ —防治区总体积 ( $m^3$ )；

$V_s$ —防治区边界流失率 ( $m^3$ )。其中：

$$V_s = q_b A_b$$

$q_b$  为边界上单位面积流失量 ( $m^3/m^2$ )，由试验或经验； $A_b$  边界面积 ( $m^2$ )。

填充系数的设计值  $\eta$  不应小于 0.8。

6.4.2.7 填充浆液的初、终凝时间及灌注压力由现场试验确定。填充灌注压力不应小于地下水压力，但不应超过上覆岩土体压力，不应在填充时出现地表明显隆起。对浅部溶洞、土洞或其它需加固的情况，可采取预注浆处理。

6.4.2.8 为保证填充质量，可采用多次填充灌注和分层填充灌注，二次灌注的间隔时间应小于填充浆液初凝时间。

6.4.2.9 防治区边缘存在填充浆液流失条件时，宜在边缘外侧设置防填充浆液流失的帷幕。帷幕孔距为灌注孔距的 1/2~1/3，且不宜大于 10m。防治区存在地下水时，帷幕孔部分或全部应采用透水的散体材料填充。

6.4.2.10 应先施工帷幕孔，帷幕成形后才能填充灌注。填充灌注的顺序应按设计的填充浆液扩散和地下水排出路径进行，一般沿地下水流动方向逐渐推进。当地下水流动缓慢、边界条件接近时，可由防治区中心向外围进行。

6.4.2.11 当地下水排泄条件差时，填充灌注有可能造成地下水压力明显升高，可以在防治区内设置减压孔。

### 6.4.3 检验与检测

6.4.3.1 填充材料的每个批次均应进行检测，材料应满足表 1 和相关标准的要求。

6.4.3.2 填充材料应制作试样，每组 3 块。每 100m<sup>3</sup> 填充材料的试样数量不应少于 1 组，单项工程不应少于 3 组。试块宜采用边长 70.7mm 的立方体，在与填充后填充浆液结石体所处相似的环境中养护 28d，测定其立方体抗压强度。

6.4.3.3 填充效果应进行现场检测，检测宜在填充结束 28d 后进行。检测应采用钻孔取芯、地球物理方法等综合手段。

6.4.3.4 检测钻孔孔位应布置在填充钻孔之间，孔数不应少于填充孔数的 2%，且不应少于 3 个。

6.4.3.5 地球物理方法的检测线数量和间距不宜小于勘查中的勘探线数量和间距。地球物理方法检测宜采取防治前和防治后对比的方法进行。采用地球物理方法检测时应有钻孔验证。

## 6.5 复合地基法

### 6.5.1 一般规定

6.5.1.1 对溶洞或者土洞中软土较深地段，宜采用砂桩、碎石桩、石灰桩、灰土桩、混凝土桩或者钢管桩打入洞内以形成复合地基。

6.5.1.2 当岩溶上部覆盖层较厚时，经判定岩溶洞隙顶板在设计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，宜选用素混凝土桩、水泥粉煤灰碎石桩（即 CFG 桩）、钢管混凝土桩或预应力管桩等刚性桩复合地基。

6.5.1.3 岩溶复合地基处理可与压力注浆、高压旋喷桩、强夯置换、土工网垫等方法联合使用。

6.5.1.4 岩溶地基处理时，应对溶洞水进行疏导或封堵，减少淘蚀、潜蚀，岩溶水的处理应符合下列规定：

a) 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、截水墙等截流（截渗）法；

b) 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管道、明沟等疏导法；

c) 应采取措施保持岩溶泉出水和落水洞排水；

d) 当地下水量小、且呈弥散径流时，可用砂浆、黏土及砌片石等进行堵塞。对水量大而集中及水压力大的岩溶水径流，堵塞措施应充分考虑地下水迳流方式空间变化的不确定性，必要时需采取室内模拟、现场水文试验等方法确认后采用。

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

6.5.1.5 复合地基的设计应符合现行国家标准《复合地基技术规范》GB/T50783 的规定。

### 6.5.2 设计

6.5.2.1 复合地基设计之前，应先具备勘查资料、上部结构及基础设计和场地环境的有关资料。

6.5.2.2 复合地基设计应根据上部结构对地基处理的要求、工程地质和水文地质条件、工期、地区经验和环境保护要求等，提出技术上可行的方案，经过技术经济比较，选用合理的复合地基形式。

6.5.2.3 复合地基设计应进行承载力和沉降计算，其中用于填土路堤和柔性面层堆场等工程的复合地基除应进行承载力和沉降计算外，尚应进行稳定性分析；对位于坡地、岸边的复合地基均应进行稳定性分析。

6.5.2.4 对大型和重要工程，应对已选用的复合地基方案，在有代表性的场地进行相应的现场试验或试验性施工，并应检验设计参数和处理效果，通过分析比较选择和优化设计方案。

6.5.2.5 复合地基上宜设置褥垫层。垫层设置范围、厚度和垫层材料，应根据复合地基的形式、桩土相对刚度和工程地质条件等因素确定。

6.5.2.6 复合地基承载力特征值应通过复合地基竖向抗压载荷试验，或者综合桩体、桩间土的载荷试验，结合工程实践经验综合确定。初步设计时，复合地基承载力特征值也可按下列公式估算：

$$f_{spk} = \beta_p m \frac{R_a}{A_p} + \beta_s (1 - m) f_{sk} \quad (6.5.2.6)$$

式中： $f_{spk}$ —复合地基承载力特征值（kPa）；

$A_p$ —单桩截面积（m<sup>2</sup>）；

$R_a$ —单桩竖向抗压承载力特征值（kN）；

$m$ —复合地基置换率；

$f_{sk}$ —桩间土地基承载力特征值（kPa）；

$\beta_p$ —桩体竖向抗压承载力修正系数，宜综合复合地基中桩体实际竖向承载力和复合地基破坏时桩体的竖向承载力发挥度，结合工程经验取值；

$\beta_s$ —桩间土地基承载力修正系数，宜综合复合地基中桩间土地基实际竖向承载力和复合地基破坏时桩间土的地基承载力发挥度，结合工程经验取值。

6.5.2.7 复合地基的沉降由垫层压缩变形量、加固区复合土层压缩变形量和加固区下卧土层压缩变形量组成。当垫层压缩变形量小，且在施工期已基本完成后，可忽略不计。复合地基沉降可按下列式计算：

$$s = s_1 + s_2 \quad (6.5.2.7)$$

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）。

6.5.2.8 复合地基稳定性分析可采用圆弧滑动总应力法进行分析。

6.5.2.9 复合地基施工时应符合下列规定：

- a) 当岩溶上覆土层较薄、底部土层软弱时，刚性桩桩端宜落在岩面上。
- b) 灌注混凝土或者碎石料、砂石料过程中遇到土洞、溶洞时，应将土洞溶洞填充灌实。如发生地面塌陷，则应先回填塌陷坑再继续施工。
- c) 当基坑（槽）底出露基岩时，应凿除高出坑（槽）底部分，然后铺设褥垫层。
- d) 当局部存在溶蚀深槽时，宜设梁跨越。
- e) 施工过程遇岩溶水涌冒时，应采取控制性降水。降水期间，应控制抽排水量、地下水位，同时观测周边地面沉降及建（构）筑物沉降，避免诱发地面塌陷。

### 6.5.3 检测

6.5.3.1 素混凝土桩、水泥粉煤灰碎石桩（即 CFG 桩）、钢管混凝土桩或预应力管桩等刚性桩复合地基检测应符合下列规定：

- a) 采用低应变法检测刚性桩桩身完整性，检测数量不低于总桩数的 10%；
- b) 复合地基承载力验收采用载荷试验，试验的数量不应少于总桩数的 1%，且每个单体工程的复合地基载荷试验的数量不应少于 3 点。
- c) 载荷试验应在桩体强度满足加载要求，且施工结束 28d 后进行。

6.5.3.2 砂桩复合地基、碎石桩复合地基检测应符合下列规定：

- a) 对桩体可采用动力触探试验检测，对桩间土可以采用标准贯入试验、静力触探试验、动力触探试验或者其他原位测试方法进行检测。检验数量应由设计单位根据工程情况提出具体要求。
- b) 复合地基承载力验收采用载荷试验方法进行检测。检验数量应由设计单位根据工程情况提出具体要求。
- c) 复合地基验收时间宜在施工结束 14d 后进行。

6.5.3.3 灰土桩复合地基、石灰桩复合地基检测应符合下列规定：

- a) 灰土桩施工过程中，应及时抽样检查孔内填料的夯实质量。检测数量应符合设计要求。
- b) 石灰桩施工后 7d-10d，对桩体和桩间土采用标贯试验检测。检测数量应符合设计要求。
- c) 复合地基承载力验收采用载荷试验检测，检验数量由设计要求确定。

6.5.3.4 验收检测的受检桩选择应符合下列规定：

- a) 施工质量有疑问的桩；
- b) 设计方认为重要的桩；
- c) 局部地质条件出现异常的桩；
- d) 施工工艺不同的桩；
- e) 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；

f) 除上述规定外, 同类型桩宜均匀随机分布。

## 6.6 桩基穿越法

### 6.6.1 一般规定

6.6.1.1 桩基穿越法适用于深度较大, 跨越结构也不适宜的隐伏土洞、直径大于 2.0m、平面分布为串珠状、剖面呈葫芦状的岩溶塌陷治理。

6.6.1.2 桩基础仅限于机械成孔和人工挖孔灌注桩。人工挖孔桩适用于穿越无地下水或水量不多以及孔壁不易坍塌的土层, 且处理深度不宜超过 20m, 桩径不应小于 1000mm。

6.6.1.3 桩基础施工前应进行超前钻探, 进一步调查核实岩溶塌陷的岩土层、溶(土)洞大小、洞内填充物等条件以及桩底下 5m 深度范围岩体完整性, 验证成孔方法的合理性。

6.6.1.4 当桩端以下 5m 深度范围内存在影响地基稳定性的洞隙时, 桩应穿越溶洞, 置于下部稳定岩体上。

### 6.6.2 设计

6.6.2.1 桩基础按其承载力性状分为摩擦桩、端承桩、嵌岩桩。持力层为硬质岩石(完整、较完整的岩石地基)时, 宜采用端承桩或嵌岩桩。岩石地基上可以同时采用端承桩和嵌岩桩。

6.6.2.2 桩和桩基的构造, 应符合下列要求:

a) 端承桩桩端全断面嵌入持力层岩石的深度, 若地基基础设计等级为甲、乙级的建筑物不应小于 500mm; 完整、较完整硬质岩石时不宜小于 200mm;

b) 端承桩下存在有软弱层、断裂带或洞穴时, 应验算岩石的冲切强度和下卧层承载力; 应力扩散范围内存在临空面、陡坡、鹰嘴等情况时, 应验算桩的稳定性;

c) 扩底桩的桩底, 对硬质岩石上的桩底面可为平底;

6.6.2.3 桩身配筋率:

a) 受水平荷载和弯矩较大的桩的桩身配筋应经计算确定;

b) 桩身最小配筋率不宜小于 0.2%~0.65% (小直径桩取大值)。

6.6.2.4 桩的配筋长度:

a) 受水平荷载和弯矩较大的桩, 配筋长度应通过计算确定;

b) 端承桩应通长配筋;

c) 桩径大于 600mm 的机械成孔灌注桩, 构造钢筋的长度不宜小于桩长的 2/3。

6.6.2.5 桩身主筋混凝土保护层厚度不应小于 50mm, 水下灌注时不应小于 60mm;

6.6.3 端承桩的竖向承载力特征值  $R_a$

6.6.3.1 当桩端嵌入完整及较完整的硬质岩中, 按下式估算单桩竖向承载力特征值:

$$R_a = q_{pa} A_p$$

式中:  $q_{pa}$  — 桩端岩石承载力特征值 (kPa);

$A_p$  — 桩底端横截面面积 ( $m^2$ )。

6.6.3.2 端承桩桩端以下 5m 深度范围内应无软弱夹层、断裂破碎带和洞穴分布，并应在桩底应力扩散范围内无岩体临空面。桩端岩石地基承载力特征值，当桩端无沉渣时，对完整、较完整的岩石地基，桩端岩石承载力特征值应根据岩石饱和单轴抗压强度标准值按公式 ( $f_a = \psi_r \cdot f_{rk}$ ) 确定，或按表 12 确定。

表 12 岩石地基承载力特征值  $f_a$  (kPa)

岩石类别	强风化 (破碎)	中等风化 (较破碎)	微风化 (完整)
硬质岩石	750~2000	2000~6000	>6000
较硬质岩石	220~750	750~2200	2200~5000

注：1 承载力特征值，如取用大于 4000kPa 时，应由试验确定；

2 对于强风化的岩石，当与残积土难于区分时按土考虑。

#### 6.6.4 检测

6.6.4.1 对混凝土灌注桩，应提供经确认的施工过程有关参数，包括原材料的力学性能检验报告、试件留置数量及制作养护方法、混凝土抗压强度试验报告、钢筋笼制作质量检查报告。施工完成后尚应进行桩顶标高、桩位偏差等检验。

6.6.4.2 人工挖孔桩终孔时，应进行桩端持力层检验。

#### 6.7 强夯法

##### 6.7.1 一般规定

6.7.1.1 强夯法适用于地下水位以上的大面积浅层岩溶塌陷和土洞治理。

6.7.1.2 确定采用强夯法处理岩溶塌陷及土洞治理时，应具备下列条件：

- a) 有详细的岩土工程勘察资料；
- b) 有临近建筑、地下工程和有关管线等资料；
- c) 掌握场地周边的环境情况。

6.7.1.3 采用强夯法处理的岩溶塌陷及土洞治理，应进行强夯试验，以确定其适用性及处理效果，确定合适的强夯设计参数和施工参数。

6.7.1.4 强夯试验应达到下列要求：

- a) 确定强夯法有效加固深度；
- b) 确定合适的夯击能、夯锤尺寸和落距等施工参数；
- c) 确定夯点间距、夯击次数、夯击遍数、最后两击夯沉量平均值和间隔时间等设计参数；
- d) 确定强夯施工停夯标准等施工质量控制指标；
- e) 了解强夯施工震动、侧向挤压等对周边环境和工程的影响，确定与周边工程的安全



施工最小距离。

6.7.1.5 试验区数量应根据场地复杂程度、工程规模、工程类型及施工工艺等确定，试验面积不应小于 20m×20m；应根据初步确定的强夯参数，提出强夯试验方案，进行现场夯试；应根据不同的土质条件，待强夯结算一至数周后，对夯试场地进行检测，并与夯前试验数据进行对比，检验强夯效果，确定工程采用的各项强夯参数。

6.7.1.6 强夯能级可按下列要求划分：

- a) 低能级：小于 4000kN·m；
- b) 中等能级：4000kN·m~6000kN·m；
- c) 高能级：6000kN·m~8000kN·m；
- d) 超高能级：大于 8000kN·m。

6.7.1.7 强夯处理过程应采用动态化设计和信息化施工，保证强夯处理效果。

## 6.7.2 设计

6.7.2.1 强夯法适用于碎石土、砂土、非饱和细粒土、素填土及杂填土，处理岩溶塌陷时可向塌陷区夯填碎石土及建筑垃圾等。对于表面凹凸不平或者湿陷的塌陷区，可在原土地基上铺设厚度不小于 1.5m 的碎块石垫层再进行强夯，垫层材料应该优先采用邻近厂区开采的中、微风化碳酸盐类岩石。

6.7.2.2 强夯法的有效处理深度应根据现场试夯或当地经验确定。在初步设计时可按公式（6.7.2.2）估算；在缺少试验资料、经验时也可根据现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定进行预估：

$$h = \alpha \sqrt{WH} \quad (6.7.2.2)$$

式中：

$h$ --强夯地基有效处理深度（m）

$W$ --锤的质量（t）

$H$ --夯锤落距（m）

$\alpha$ --强夯法有效处理深度修正系数。塌陷区土质为可液化砂土可取 0.4~0.5；碎石土、非饱和和粘性土可取 0.35~0.45。

6.7.2.3 夯点的夯击次数，应根据现场夯试的夯击次数和夯沉量关系曲线确定，并应同时满足下列条件：

- a) 最后两击的平均夯沉量应满足设计要求；
- b) 夯坑周围地面不应发生过大的隆起；
- c) 不因夯坑过深而发生提锤困难。

6.7.2.4 强夯夯击遍数应根据塌陷土体的性质确定，可采用点夯 2~4 遍，对于渗透性较差的细颗粒土，应适当增加夯击遍数；最后低能量满夯 2 遍，满夯可采用轻锤或低落距锤多次夯

击，锤印搭接。

6.7.2.5 强夯夯击遍数应根据塌陷土体的性质确定，可采用点夯 2~4 遍，对于渗透性较差的两遍夯击之间，应有一定的时间间隔。间隔时间取决于土中超孔隙水压力的消散时间。当缺少实测资料时，可根据塌陷体的渗透性确定，对于渗透性较差的黏性土及饱和度较大的软土体的间隔时间，应不少于 2 周~3 周；对于渗透性较好且饱和度较小的塌陷体，可连续夯击。

6.7.2.6 根据塌陷区的特点，强夯夯点的布置形式可采用正三角形或正方形布点。

6.7.2.7 夯点间距宜为锤径的 1.2 倍~1.5 倍。低能级时宜取小值，高能级及考虑能级组合时宜取大值。夯点间距可按表 13 取值。

表13 不同能级夯点间距经验值

能级 (kN·m)	锤底面积 (m <sup>2</sup> )	锤底直径 (m)	夯点间距 (m)	为锤底直径倍数
1000	4~5	2.25~2.52	3.0	1.2~1.3
2000	5	2.52	3.5~4.0	1.587
3000	5	2.52	4.0~4.5	1.786
4000	5	2.52	4.5~5.0	2.0
5000	5	2.52	5.0~5.5	2.18
6000	5	2.52	5.5~6.0	2.38
8000	5	2.52	6.0~6.5	2.38

注：正三角形布点时取大值，正方形布点时取小值。

6.7.2.8 根据塌陷区的特点，强夯法施工工艺可以按由四周向中间、先深后浅、高效施工的原则制定夯机出场顺序，夯机行走路线为两排夯点的中心线，夯机每就位一次以夯击两点为宜。锤击方法采取退夯施工顺序。

6.7.2.9 强夯施工时，应采用夯击数和最后两击平均夯沉量双指标控制。

6.7.2.10 最后两击平均夯沉量的设计值应通过试夯确定。

6.7.2.11 强夯法处理岩溶塌陷的施工及技术要求遵照《岩溶塌陷防治工程施工技术规范》有关规定执行。

### 6.7.3 检测

6.7.3.1 强夯法工程竣工验收质量检测项目，包括主控项目和一般项目。检验标准应符合表 14 的规定。

表14 强夯法竣工验收质量检验标准

项目	序号	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	1	压实度	按设计要求	原位测试
	2	有效加固深度	按设计要求	原位测试
一般	1	夯锤落距 (mm)	±300	钢索设标志

	2	锤重 (kg)	±100	称重
	3	夯击遍数及顺序	按设计要求	计数法
	4	夯点间距 (mm)	±500	钢尺量
	5	夯击范围	按设计要求	钢尺量
	6	前后两遍间隔时间	按设计要求	

6.7.3.2 强夯法处理后检测位置宜选在夯后整平面以下 0.5m~0.8m 进行。

6.7.3.3 夯实后的塌陷体的质量检验应符合下列规定：

a) 检查施工过程中的各项测试数据和施工记录,不符合设计要求时应补夯或采取其他有效措施。

b) 对于主控项目采用的原位测试方法的检验点数量,可根据场地复杂程度确定,对于简单场地,按每 400m<sup>2</sup> 不少于 1 个监测点,且不少于 3 点;对于复杂场地,每 300m<sup>2</sup> 不少于 1 个监测点,且不少于 3 点。

## 6.8 其他方法 (高压喷射注浆法)

### 6.8.1 一般规定

6.8.1.1 高压喷射注浆法可用于塌陷体为淤泥、淤泥质土、流塑~可塑状黏性土、砂土、碎石土和填土等加固。当含有较多的大粒径块石、大量植物根茎或地下水流速较快的充填物,应根据现场试验和室内试验结果确定其适应性。

6.8.1.2 高压喷射注浆按高压射流喷射方式分为旋喷注浆、定喷注浆和摆喷注浆三种类型;按输送喷射介质的不同,可分别采用单管法、双管法和三管法;按加固体的形状可分为柱状、壁状、条状和块状。

6.8.1.3 高压喷射注浆法应进行室内配合比试验、现场试验、试验性施工或根据类似工程经验确定注浆材料及其配比、施工工艺和施工参数。

### 6.8.2 设计

6.8.2.1 高压喷射注浆法的有效直径或有效喷射长度、固结体物理力学性能应通过现场试验或试验性施工确定。

6.8.2.2 高压喷射注浆的提升和回转速度:单管法 15~25cm/min, 18~20rpm;双管法 15~20cm/min, 15~20rpm;三管法 8~10cm/min, 8~10rpm。对较硬的黏性土、密实的砂土和碎石土宜取较小提升速度和旋转速度。当缺少类似土层条件下的施工经验时,应通过现场试验确定施工工艺参数。

6.8.2.3 高压喷射注浆每延米水泥用量:单管法宜大于 150kg/m,双管法宜大于 250kg/m,三管法宜大于 350kg/m,并应根据不同土层和不同地基处理目的进行调整。

6.8.2.4 高压喷射注浆可相互搭接形成帷幕,旋喷桩的孔距宜为 0.866d (d 为旋喷桩的设计直径);多排布桩时,排距宜用 0.75d。

### 6.8.3 检测

6.8.3.1 旋喷桩可根据工程要求和当地经验采用开挖检查、钻孔取芯、标准贯入试验、动力触探和静载荷试验等方法进行检验。

6.8.3.2 成桩质量检验点的数量不少于施工孔数的 2%，并不应少于 6 点，检查内容为桩位偏差、桩体尺寸。

6.8.3.3 竣工验收检验宜在旋喷桩施工结束 28d 后进行。检验点应重点布置在下列部位：

- a) 代表性的桩位。
- b) 施工过程中出现异常情况的部位。
- c) 地质情况复杂，可能对旋喷桩质量产生影响的部位。

## 7 防治工程监测

### 7.1 一般规定

7.1.1 分简易监测和专业监测两种。简易监测用于群测群防工作，而专业监测则适用于岩溶塌陷勘查、治理工程设计与施工全过程。

7.1.2 监测工作的主要任务是：监测岩溶塌陷变形、开裂和地下水位变化活动和相关要素；查明岩溶塌陷类型、规模、分布、形态、深度等特征；研究岩溶塌陷形成机制，分析岩溶塌陷诱发因素和影响因素，预测岩溶塌陷发展趋势，评价岩溶塌陷稳定性；进一步补充完善勘查成果，优化治理工程措施方案；监测治理工程效果；及时对岩溶塌陷开裂、变形、下陷及其变化、发展、发生进行预警预报。

7.1.3 监测工作开展前，应系统收集工作区地质环境、调查、勘查等成果资料，提出监测工作设计，为监测工作部署、实施及成果编制提供依据。

### 7.2 监测对象及内容

7.2.1 岩溶塌陷监测对象主要有塌陷区（坑）、地下水位和治理工程三种。

7.2.2 岩溶塌陷区（坑）的变形监测内容以绝对位移监测为主，监测岩溶塌陷的三维（X、Y、Z）位移量、位移方向及位移速率。

7.2.3 利用已经发生的、有水塌陷坑和自然暗河天窗、溶潭、落水洞及勘探钻孔等监测地下水位埋藏深度及其动态变化速度、幅度。分析地下水补给、径流、排泄与地表水、大气降水的关系，进一步进行地下水与岩溶塌陷稳定性分析与评价。

7.2.4 为了检查治理工程质量和验证治理效果，对治理工程是否发生下座、平移、倾斜、开裂等现象，也要开展监测工作。监测内容也是绝对位移监测为主，监测岩溶塌陷的三维（X、Y、Z）位移量、位移方向及位移速率。

### 7.3 监测系统建设

7.3.1 监测系统包括监测剖面、监测点（桩）、监测墩、数据采集、传输与储存、数据处理与监测成果制作、预警预报等。

7.3.2 监测剖面的布置应与勘查、治理工程剖面相应。

7.3.3 监测点（桩）的布置除能满足监测和勘查、设计、施工需要外还应考虑地形、地物、通视等条件；每一种监测对象应布置 3~7 个监测点；监测点应尽量布置于岩溶塌陷变形变化较大的部位；监测桩长一般 0.5~1.5m，以能被观测站（监测墩）可视为原则；监测桩采用 $\phi 110$  无缝钢管中间浇筑水泥砂浆垂直地面安装，顶部粘贴反光片或安装多棱镜。

7.3.4 监测墩（测量仪器观测站）须布置于岩溶塌陷区外，以免遭受岩溶塌陷变形变化的影响导致监测数据偏差，还应能够观测到所有监测点（桩）；监测墩设计制安见附录？；监测墩制安须稳固，不能发生位移、倾斜、开裂等现象，以保证监测数据的准确性；每一个治理工程（或项目）监测墩不少于3个，且能够相互通视与观测。

7.3.5 应编制监测工程平面布置图，图纸负荷小、图面简单时可与勘查工程平面布置图或治理工程平面布置图合并。

7.3.6 监测数据采集、传输与储存、数据处理与成果制作须及时、准确，为勘查、设计、施工提供服务，使其更加科学、安全、可靠。

7.3.7 根据监测数据及变形、变化、发生、发展情况结合岩溶塌陷区地质环境条件、以往勘查成果，制定临灾值并作出临灾预报。

7.3.8 监测工作结束后须编制并提交专门的监测成果报告。包括文字报告及相关附图、附表等。监测报告的主要内容有：基本情况、地质环境条件、岩溶塌陷基本特征成因及发展趋势、监测工作简述、监测成果、预警预报等。

#### 7.4 监测阶段与方法

7.4.1 岩溶塌陷及其治理工程监测阶段分群测群防、勘查设计、施工中、竣工后四个阶段。

7.4.1.1 群测群防阶段的监测由国土资源行政主管部门组织当地乡镇干部、群众利用皮尺、钢尺等工具进行简易监测。亦可根据岩溶塌陷稳定性、危险性及治理必要性提前进行专业监测。

7.4.1.2 勘查设计及之后各阶段已经确定立项、治理，故须进行专业监测，以取得定量数据为勘查、设计、施工更好服务。

7.4.1.3 一般勘查设计阶段监测由勘查设计单位承担，施工阶段由施工单位完成，竣工后监测由国土资源行政主管部门或治理工程管护单位负责。但为了监测工作的连续性、衔接性和监测成果的完成性，应由国土资源行政主管部门从项目立项开始将监测工作作为治理工程项目的个子项目，专门委托一家专业技术队伍承担。

7.4.2 常用的监测方法有大地测量法，其优点是测量仪器普遍、通用、大众化，安装简单容易，能监测所有地质灾害三维（X、Y、Z）绝对位移量，量程不受限制，能大范围全面控制地质灾害变形，技术成熟，精度高，成果可靠。适用于所有地质灾害不同变形阶段的监测，是一切监测工作的基础。

7.4.3 条件许可时应充分利用新技术、新方法开展岩溶塌陷及其治理工程监测工作，使其更加节省投资、提高效率、提高精度。

#### 7.5 监测频率与时长

7.5.1 监测频率根据变形变化速率、幅度及岩溶塌陷的稳定性、危险性确定。基本原则是：工程治理期间密，监测预警期间稀；丰水期密，枯水期稀；变形变化幅度大、速率快时密，趋于稳定时稀；勘查设计阶段常规，施工期密，竣工后由密至稀；应急抢险项目密，常规治理项目稀。

7.5.2 监测频率按以下要求掌握，并根据工作需要进行调整：

7.5.2.1 稀疏：指5~10天1次；

7.5.2.2 常规：指 2~4 天 1 次；

7.5.2.3 加密：指 1 天 1 次或 1 天 2~3 次。

7.5.3 监测时长是指从监测工作开始至结束的时间长度，按以下原则掌握和控制、调整：

7.5.3.1 群测群防阶段：从发现岩溶塌陷隐患开始至稳定销号或治理工程立项止；

7.5.3.2 勘查设计阶段：根据该阶段所需时间确定，一般为 1~3 个月；

7.5.3.3 施工阶段：根据施工图计划和实际工期确定，一般为 3~12 个月；

7.5.3.4 竣工后：自治理工程通过竣工验收之日起算 1 个水文年即 12 个月。

7.5.4 虽然达到预计时长值但是还继续变形变化、未稳定的须继续监测。达到预计时长值且无变形变化、已经稳定的由国土资源行政主管部门组织专业技术队伍调查核实后按有关程序予以销号。

## 附录 A （资料性附录）

### 泡沫轻质水泥土的配比

A.1 泡沫轻质水泥土的配比应符合下列要求

A.1.1 泡沫轻质水泥土的试配强度满足：

$$q_{u7d} \geq 0.5q_c \quad \text{或} \quad q_{u28d} \geq q_c$$

式中  $q_c$ —设计抗压强度；

$q_{u7d}$ 、 $q_{u28d}$ —7d 和 28d 龄期抗压强度。

A.1.2 不掺可塑剂时，泡沫水泥轻质土的流值为 160~190mm。当需要流值低于 160mm 时，可通过掺可塑剂，由试验确定流值。

A.1.3 粉煤灰掺量  $a$  不应大于 30%。

A.2 试验前泡沫轻质土的配比计算

A.2.1 单位体积中填充浆液中各材料质量：

$$n_c = \frac{1}{\left[ \frac{1}{b(1-a)} + \frac{1}{\rho_c} + \frac{a}{(1-a)} \cdot \frac{1}{\rho_f} \right]}$$

$$n_f = \frac{a}{1-a} \cdot n_c$$

$$n_w = \frac{1}{(1-a)b} \cdot n_c$$

$$n_t = n_c + n_f + n_w$$

式中：

$n_c$ 、 $n_f$ 、 $n_w$ 、 $n_t$  分别为单位体积的填充浆液中，水泥、粉煤灰、水及填充浆液的质量 ( $t/m^3$ )；

$\rho_c$ 、 $\rho_f$  分别为水泥、粉煤灰的质量密度 ( $t/m^3$ )；

a —— 为粉煤灰掺量；

b —— 为水固比，初始值取 1: 1.3~1.6。

#### A. 2. 2 单位体积泡沫水泥轻质土中的材料质量：

$$\lambda = \frac{n_t - m_t}{n_t - \rho_a}$$

$$m_w = (1 - \lambda) n_w$$

$$m_c = (1 - \lambda) n_c$$

$$m_f = (1 - \lambda) n_f$$

式中：

$\lambda$  —— 水泥轻质土气泡率；

$\rho_a$  —— 泡沫质量密度 ( $t/m^3$ )；

$m_t$  —— 泡沫水泥轻质土湿质量密度设计值 ( $t/m^3$ )；

$m_c$ 、 $m_f$ 、 $m_w$  分别为单位体积的泡沫水泥轻质土中，水泥、粉煤灰、水的质量 ( $t/m^3$ )。

#### A. 3 配比实验步骤

A. 3. 1 根据设计参数，计算出初始试样配比，并制作试样；

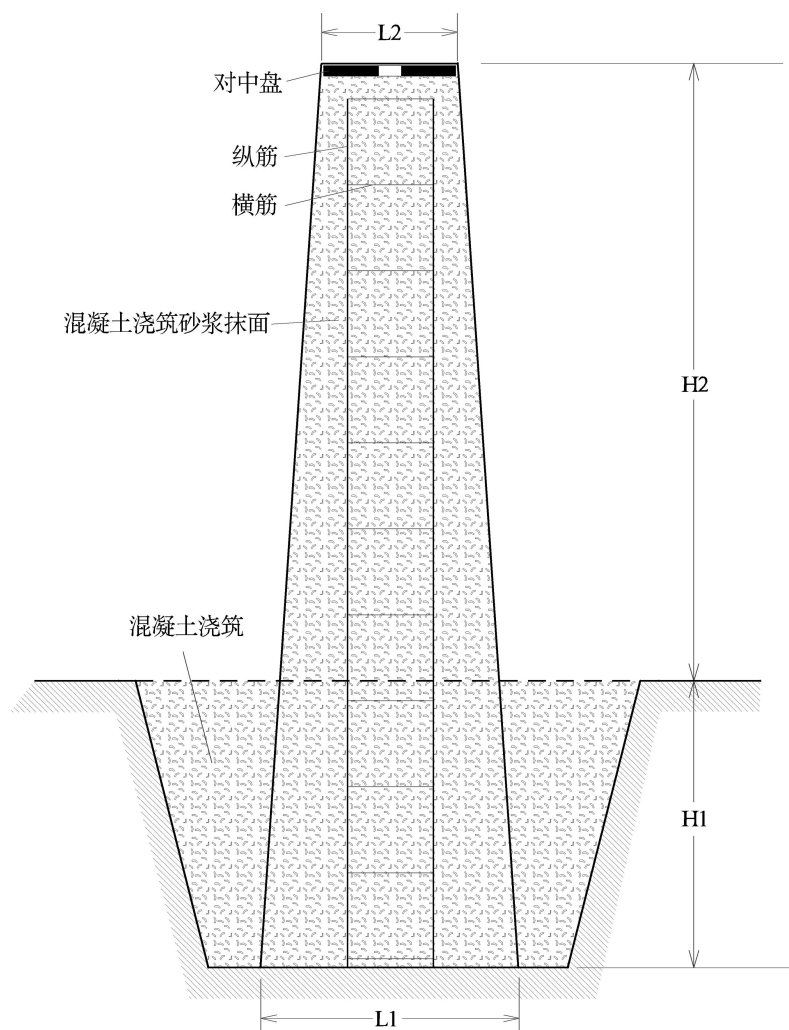
A. 3. 2 测定泡沫水泥轻质土的流值。如果流值不满足设计要求，按 0.05 的差值调整水固比参数 b，重新制样测试流值，直至满足设计要求。

A. 3. 3 对符合流值要求的泡沫水泥轻质土进行标准沉陷距试验。如果标准沉陷距大于 5mm，应选择新的水泥或粉煤灰品牌重新试配。

A. 3. 4 对已满足流值和沉陷距的泡沫水泥轻质土试样，进行 7d 龄期的抗压强度试验。如果抗压强度不能满足设计要求，通过调整水固比或增加质量密度的设计值，然后重新从开始进行试验。

附录 B (资料性附录)

监测墩设计图



- B.1 监测墩为方台结构，下底宽  $L_1$  为 0.5~1m，上底宽  $L_2$  为 0.3~0.5m。
- B.2 墩身支模浇筑 C20~C30 混凝土，M0.75~M10 抹面，内加纵筋和横筋，直径分别为 16~20mm 和 6~8mm，上底面安装对中盘。
- B.3 监测墩地面高度 1.3~1.5m，以适应观测人员身高和方便工作为原则。
- B.4 监测墩埋置深度根据冻土线确定，一般位于冻土线以下 0.5~0.8m（地表直接为基岩的也按此标准考虑埋置深度），浇筑 C20~C30 混凝土。



## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词用语说明如下：

a) 表示很严格，非这样作不可的：正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

b) 表示严格，在正常情况下均应这样作的：正面词采用“应”，反面词采用“不应或不得”。

c) 表示允许稍有选择严格，在条件许可时首先这样作的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

d) 表示有选择，在一定条件下可以这样作的：采用“可”。

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