

4.6	岩溶勘察评价	726
4.6.1	概述	726
4.6.2	影响岩溶发育的因素	726
4.6.3	岩溶类型	728
4.6.4	岩溶地貌景观的特点及 生成条件	731
4.6.5	岩溶发育的基本条件	736
4.6.6	岩溶发育的基本规律	740
4.6.7	土洞的成因及规律	741
4.6.8	岩溶勘察的基本要求	745
4.6.9	岩土工程勘察要点	747
4.6.10	岩溶地区工程地质调查测绘 与勘探方法	749
4.6.11	岩溶地区建筑岩土工程勘察 ..	751
4.6.12	岩溶地区地基评价和处理	754
4.6.13	岩溶地区水工建设勘察要求 ..	757
4.6.14	线路岩溶岩土工程勘察要点 ..	759
4.6.15	岩溶塌陷	769
4.6.16	岩溶渗漏问题的评价	773
4.6.17	岩土工程评价	776
4.6.18	覆盖型岩溶地区的塌陷及其 稳定性评价	783
4.6.19	岩溶地区有害废物排放和堆存 的岩土工程	786

14 岩溶的地基处理和地表塌陷	
防治设计	357
14.1 岩溶地基处理的原则	357
14.2 岩溶地区的工程处理措施	358
14.2.1 岩溶洞穴处理	358
14.2.2 土洞地表塌陷的处理	362
14.2.3 洞穴堆积物的处理	363
14.2.4 覆盖型岩溶地区地面塌陷的 治理	363

2 中华人民共和国国家标准. 岩土工程勘察规范 GB 50021 -2001

4.6 岩溶勘察评价^①

4.6.1 概 述

岩溶又称喀斯特,是地壳岩石圈内可溶岩层(碳酸盐类岩层石灰岩、白云岩等,硫酸盐类岩石石膏等和卤素类岩岩盐等)在具有侵蚀性和腐蚀能力的水体作用下,近代化学溶蚀作用为特征,包括水体对可溶岩层的机械侵蚀和崩解作用,而被腐蚀下来的物质携出、转移和再沉积的综合地质作用以及由此所产生的现象的统称。可溶岩层被溶蚀后产生溶沟、溶槽石芽、漏斗、洞穴、洼地、峰林等不同类型的岩溶形态。覆盖在岩溶形态之上的土层经过岩溶水体的潜蚀等作用而形成洞隙、土洞直至地面塌陷等岩溶景观。各种岩溶形态和塌陷出现危及地面建(构)筑物的稳定和人类的生命财产的安全。由岩溶引起的自然灾害也往往给工农业生产带来损失。因此,岩土工程评价中不但要评价其现状,更要着眼于工程有效使用期限内溶蚀作用继续对工程的影响。由于碳酸盐类岩石在我国各类可溶岩中,分布范围占有绝对优势,本章所述也仅限于碳酸盐类岩石中的岩溶问题。

土洞是在有覆盖土的岩溶发育区,其特定的水文地质条件,使岩面以上的土体遭到流失迁移而形成土中的洞穴和洞内塌落堆积物以及引发地面变形破坏的总称。土洞是岩溶的一种特殊形态,是岩溶范畴内的一种不良地质现象,由于发育速度快,分布密,对工程的影响远大于岩洞,故而本节中将其与岩溶并列。

地面塌陷是环境工程地质条件变化的自然现象,在岩溶发育地区岩土工程勘察的任务是运用各种勘探手段,结合运用岩土工程和环境工程地质知识判定岩溶的类型、发育形态、发育强度、评价和论证勘察场地的稳定性、渗漏性和建设的适宜性提出稳定性分区,对于拟用地段要提出经济上合理、技术上可靠的处理措施的建议。以作为工程建设设计的依据。

4.6.2 影响岩溶发育的因素(表 4.6-1~表 4.6-4)

影响岩溶发育的因素

表 4.6-1

分类	因素		影响岩溶发育的条件		
			碳酸盐类岩石	石膏和硬石膏	卤素岩(氯化钠等)
影响岩溶发育的基本因素	岩石的性质	可溶岩	碳酸盐类岩石	包括石灰岩、白云岩等,具有最小的溶解度	只有可溶性岩石存在;才能在水的作用下形成岩溶
			石膏和硬石膏	溶解度较碳酸盐类岩石大得多	
			卤素岩(氯化钠等)	溶解度最大	
	透水性		孔隙度的大小	孔隙度大的,容易形成岩溶	只有岩石具有性,水才有在其中运动的条件,否则不可能形成岩溶
			裂隙的分布特征	裂隙是水运动的主要通道	

^① 本章编写人:金幸初(贵州省建筑设计研究院副院长研究员)、郭明(贵州省交通科学研究所 高级工程师)、朱彦(贵州省建筑工程勘察院 高级工程师)

续表

分类	因素	影响岩溶发育的条件			
影响岩溶发育的基本因素	水的性质	溶解力	水对可溶岩的溶解力随 CO ₂ 、SO ₄ 等的含量增加而增强	岩溶现象主要是通过水的溶蚀作用形成的 停滞的水很快就合成为饱和溶液,溶解作用也将停止,因此水的动。是影响岩溶发育的重要因素	
		水的动态	充气带		为临时性地下水运动带,以垂直运动为主。地表水通过裂隙垂直向下运动。此带厚度决定于地形及水文地质等条件。平原及切割微弱地区,厚度数米至百米左右;山区一般为数百米
			季节变动带		地下水运动有垂直的,也有水平的,干季时地下水位降低,为垂直运动;雨季时,地下水升高,为水平运动。厚度变化无常,达数十米或仅数米。在岩溶强烈发育地区,此带厚度小;在岩溶发育微弱地区,此带厚度大数十米或仅数米,在岩溶强烈发育地区,此带厚小;在岩溶发育微弱地区,此带厚大
			完全饱和带		本带为地下水面以下的水流区,分布较深,包括河床下水流区及谷底减压区。地下水向切入可溶性岩石的河谷方向流动,有的具承压性
	深循环带				
影响岩溶发育的其他因素	气候	不同的气候带有不同类型的岩溶分布规律		湿热条件最适宜岩溶的发育,如我国的南部	
	地貌	地表坡度小的地方,利于水流下渗,容易形成岩溶;分水岭地区,由于坡度大,地势高,地下水仅能从大气降水得到少量补给,并向河谷排泄;所以愈靠近分水岭,岩溶作用一般相应减轻,河谷斜坡地区。往往是地表水、地下水向河谷汇集的必经之途,径流活跃,岩溶也最发育		地貌对地表水的汇集,下渗、流散有影响	
	植被	可以减缓地表流水速度,减少降水流失,增加地下水下渗,同时,植物的根对岩层起机械破坏作用		可以增强岩溶作用	

影响岩溶发育因素

表 4.6-2

岩溶发育因素		环境因素
可溶岩石的抗蚀力	可溶岩:岩石成分、颗粒成分、矿物成分、结构构造、化学成分、重结晶性质孔隙度、岩石组合、裂隙度、沉积组合、单层厚度、地质组合	气候环境: 降水量、质、强度空间和时间的分配气温湿度
	裂隙系统:构造部位、裂隙力学性质、地层产状、裂隙密度、节理产状、裂隙充填情况、组合系统	人为环境: 对可溶岩抗蚀能力的加强和减弱 对溶蚀水溶蚀能力的加强和减弱 对气候环境因素的加强和减弱 对大地环境因素的加强和减弱
溶蚀水的溶蚀力	溶蚀水 水质:化学成分,物理性质,水温 水量:补给量、排泄量、径流量、渗流强度 水力:水位、流态、变幅、基准面变迁	大地环境: 生态环境(碳和酸) 地形地貌环境 新构造活动

桂林地区各类碳酸岩可溶性见表 4.6-3

桂林地区各类碳酸盐岩可溶性特征

表 4.6-3

岩石名称	矿物成分 (%)				化学成分 (%)				比溶解度
	方解石	白云石	硅质	泥质	氧化钙	氧化镁	酸不溶物	烧失量	
生物碎屑灰岩	92	2			54.15	0.94	0.64	43.00	1.02
微粒灰岩	92	2			54.60	0.80	0.59	42.91	0.91
鲕状灰岩	100				52.93	2.37	0.36	43.43	0.88
灰岩	99	1			53.67	0.66	1.28	42.24	0.85
含白云质灰岩	88	12			51.37	3.61	2.07	43.19	0.82
白云质灰岩	67	33			47.70	6.73	0.29	44.38	0.80
含泥质灰岩	94			6	48.61	10	2.58	42.57	0.77
钙质白云岩	33	67			37.36	19.35	0.36	45.60	0.58
白云岩	5	92			33.53	18.41	0.86	45.88	0.54
硅质白云岩		72	28		20.07	5.91		36.50	0.35

不同时代的地层岩溶发育程度见表 4.6-4

不同时代地层岩溶发育统计指标

表 4.6-4

岩溶化层位	T	P	C	D	ε
地下河密度 m/km ²	56.2~232.2	51.2~147.5	38~304.5	47~91.2	10.12
面岩溶率%	5.2~20	10~30	10~30	2~15	0.5~6.5
线岩溶率%	5~15	17	13.9	10~18	1.5~10

4.6.3 岩溶类型(表 4.6-5~表 4.6-7)

岩溶基本类型

表 4.6-5

类型划分依据	基本类型	主要特征
埋藏条件	裸露型	岩层大部分出露地表,低洼地带分布有厚度不超过 10m 的第四系覆盖层,地表岩溶景观显露,地表水同地下水连通密切
	浅覆盖型	岩层大部分被第四系土层覆盖,厚度一般不超过 30m,少部分岩溶景观显露地表,地表水与地下水连通较密切
	深覆盖型	岩层基本被第四系土层覆盖,土层厚度一般超过 30m,几乎没有岩溶景观显露地表,地表水同地下水连通不密切
	埋藏型	可溶岩层被不可溶岩层(如砂岩、页岩等)覆盖,没有岩溶景观显露地表,地表水同地下水连通不密切
形成时代	古岩溶型	岩溶形成于新生代以前,溶蚀凹槽和洞溶中常见填有新生代以前的沉积岩石
	近代岩溶型	岩溶形成于新生代之后,溶槽和洞隙呈空洞状或填充第三系、第四系的沉积物

续表

类型划分依据	基本类型	主要特征
区域气候	寒带型	地表和地下岩溶发育强度均弱,岩溶规模较小
	温带型	地表岩溶发育强度较弱,规模较小;地下岩溶较发育
	亚热带型	地表岩溶发育,规模较大、分布较广,地下溶洞、暗河较常见
	热带型	地表岩溶发育强烈,规模大、分布广、地下溶洞、暗河常见

中国岩溶类型

表 4.6-6

性质种类	类	岩溶类型分类		岩性及层组类型	主要地质构造条件	发行时的气候条件	
		成因类型	亚型				
纯真岩溶	碳酸盐岩岩溶	开阔性溶蚀岩溶类型(溶蚀为主的岩溶类型)(K)	石林溶坪型(K ₁)	厚层纯层组	岩层近水平	亚热带	
			溶丘洼地型(K _{II})、溶丘谷地型(K _{III})、峰丛洼地型(K _{IV})、峰丛谷地型(K _V)	纯层组及夹层组	平缓褶皱,有上升运动影响		
			峰林谷地型(K _{VI})、峰林平原型(K _{VII})、残峰、坡地型(K _{VIII})、孤峰坡地型(K _{IX})、孤峰平原型(K _X)	纯层组为主,也有夹层组	褶皱简单,上升幅度		中热带至暖亚热带
		限制性溶蚀岩溶类型(溶蚀-构造岩溶类型)(KS)	溶脊槽谷型(KS ₁)	夹层组,有一层或多层厚的非碳酸岩层	长轴背斜 长轴向斜 穹隆及厚背斜 短轴向斜	受强烈断裂的影响	亚热带至暖温带
			杂岗谷地型(KS _{II})				
			溶脊坡地型(KS _{III})				
			溶蚀盆地型(KS _{IV})				
			断块山地型(KS _V)、断裂山地型(KS _{VI})	纯层组及夹层组			
		断陷盆地型(KS _{VII})					
		溶蚀-熔蚀岩溶类型(复杂溶蚀-构造岩溶类型)(MK)	降起构造山原型(MK ₁)、隆起构造山地型(MK _{II})、破碎构造山丘型(MK _{III})、破碎构造山盆型(MK _{IV})	各种层组与岩性	复杂褶皱断裂及火成岩活动	各种气候条件	
		溶蚀-冰蚀岩溶类型(KI)	高山冰川深谷型(KI ₁)、山原蚀余峰丘型(KI _{II})、山原峰丘湖泊型(KI _{III})	各种层组类型	强烈隆起上升	温热气候变为寒冷	
		溶蚀-剥蚀岩溶类型(KD)	内陆山原型(KD ₁)、内陆山地型(KD _{II})、内陆岗丘型(KD _{III})	多为互层组及向层组	褶皱及降起程度不一	干旱温带或较寒冷	
溶蚀-水蚀(侵蚀)岩溶类型(KE)	岩溶高山深谷型(KE ₁)、岩溶中山峡谷型(KE _{II})、岩溶低山河谷型(KE _{III})、岩溶中高山湖泊型(KE)、岩溶岗丘湖泊型(KE _V)	纯层组、夹层组为主	较强烈上升与河流深切	亚热带至温带			
溶蚀-海蚀岩溶类型(KA)	岩溶海岸型(KA ₁)、岩溶礁岛型(KA _{II})	各种层组及珊瑚礁	有相对升降构造运动	海洋性气候			

续表

性质种类	岩溶类型分类		岩性及层组类型	主要地质构造条件	发行时的气候条件		
	成因类型	亚型					
纯真岩溶	碳酸盐岩岩溶	埋伏岩溶类	堆积覆盖岩溶类型(CK)	浅堆积覆盖岩溶型(CK _I)、深堆积覆盖岩溶型(CK _{II})(第四纪地层厚度分别为小于100m及大于100m)	纯层组及夹层组	沉降有第四纪地层覆盖	各种古代及近气候在裸露古岩溶时期多有过较温暖或湿热时期
			埋藏沉降岩溶类型(PK)	浅埋藏沉降岩溶型(PK _I)、中深埋藏沉降岩溶型(PK _{II})、深埋藏沉降岩溶(PK _{III})(第三纪及第四纪地层厚度分别为小于500m、500~3000m及大于3000m)	各种层组	沉降有第三纪地层覆盖	
			构造凹陷岩溶类型(DK)	浅构造凹陷岩溶型(DK _I)、深构造凹陷岩溶型(DK _{II})、极深构造凹陷岩溶型(DK _{III})、超极深构造凹陷岩溶型(DK _{IV})(埋深分别为小于1000m、1000~3000m、3000~5000m及大于5000m)	各种层组	构造凹陷,有第三纪前地层覆盖	
			海底埋岩溶类型(OK)	近海台地岩溶型(OK _I)、广海陆棚岩溶型(OK _{II})、深海盆地岩溶型(OK _{III})	各种层组	沉降凹陷为主,有的上升	
复合岩溶	碳酸盐岩+硫酸盐岩+卤化物岩复合岩溶	裸露碳酸盐岩+硫酸盐岩+卤化物岩复合岩溶类	内陆盆地复合岩溶类型(IC)	内陆湖洼型(IC _I)、内陆湖盆型(IC _{II})、内陆于湖型(IC _{III})	有碳酸盐岩、硫酸盐岩及卤化物岩	相对凹陷沉降	干旱气候条件,早期有过湿热时期
			内陆高地复合岩溶类型(HC)	内陆高地湖洼型(HC _I)、内陆山原湖洼型(HC _{II})、内陆山原湖谷型(HC _{III})、内陆高地干湖型(HC _{IV})	同上	凹陷沉降后又上升隆起	
			原岩复合岩溶类型(RK)	山原基岩复合型(RK _I)、山地基岩复合型(RK _{II})	硫酸盐岩多为夹层组、间层组、石膏盐层	隆起上升为主	各种气候条件

说明: 1. 纯真岩溶中还有硫酸盐岩岩溶及卤化物岩岩溶; 复合岩溶还有硫酸盐岩-卤化物岩复合岩溶类等, 未单独列出;

2. 在碳酸盐岩-硫酸盐岩-卤化物岩复合岩溶中, 覆盖类未予以划分;

3. 性质为类(似)岩溶类, 如红层、碎屑岩、土层、火成岩等类岩溶类型也未列入表中。

岩溶类型

表 4.6-7

分类依据	岩溶类型
气候	主要类型: 1. 热带型; 2. 亚热带型; 3. 温带型 次要类型: 1. 高寒地区型; 2. 干旱地区型
发育时代	1. 古岩溶, 中生代及中生代以前发育的岩溶 2. 近代岩溶, 新生代以来发育的岩溶

续表

分类依据	岩溶类型
岩溶出露条件	1. 裸露型,岩溶岩层裸露,仅低洼地区有零星小片覆盖 2. 半裸露型,岩溶岩层以裸露为主,在谷地、大型洼地及河谷附近有较大面积被第四纪沉积物覆盖 3. 覆盖型,岩溶岩层大面积被厚的(一般为几十米以上)第四纪沉积物所覆盖;地面一般没有岩溶岩层的分布 4. 埋藏型,岩溶岩层大面积埋藏于非岩溶岩层之下
岩溶作用及岩溶形态组合	1. 溶蚀为主类型,包括:石林溶沟、溶丘洼地、峰丛洼地、峰丛谷地、峰林谷地、孤峰坡地或残丘坡地等 2. 溶蚀—侵蚀类型,包括:岩溶高山深谷、岩溶中山峡谷、岩溶低山山谷、海岸岩溶、礁岛岩溶等 3. 溶蚀构造类型,包括:垄脊箱谷、垄脊谷地、岩溶断陷盆地、岩溶断块山地等
按河谷发育部位	阶地 斜坡 分水岭
按水动力特征	近河谷排泄基准面岩溶、远排泄基准面岩溶、构造带岩溶
地台区类型	河谷侵蚀岩溶、沿裂隙发育的岩溶、构造破碎带岩溶、埋藏的古岩溶

4.6.4 岩溶地貌景观的特点及生成条件

4.6.4.1 岩溶的主要形态特征(表 4.6-8)

岩溶的主要形态特征

表 4.6-8

成因类型	名称	涵义或其形成条件	特点	
岩溶地区的侵蚀地貌形态特征	溶沟 (溶槽)	地表水沿可溶性岩石的裂隙溶蚀和机械侵蚀所形成的小型沟槽	深度由数厘米至数米,甚至更大(图 4.6-1a)	
	石芽	溶沟之间残留的脊和“笋状”的石柱	(图 4.6-1a)	
	落水洞	落水洞按其形状可分为三种	由岩体中裂隙受水流溶蚀扩大,或暗河和洞穴顶部坍陷而成。是地表通往地下暗河或溶洞的通道	呈垂直、陡倾斜或曲折状,宽度一般很少超过 10 米,深度可达百米至数百米(图 4.6-1b),目前有水流入
			缝隙状落水洞	形态狭长,分布最广
			井状落水洞	呈井状
			竖井状落水洞	宽度和深度较井状落水洞大,深度可达数百米
	竖井	目前没有水入的竖向通道	多分布斜坡上(图 4.6-1c)	
溶洞	由地下水对岩石进行溶蚀作用所形成的基本水平状通道	大小与形状多种多样,大部分洞身曲折。支洞多在地下水位以上,无经常水流。常见有不同高程重叠分布的大型复杂的溶洞		
暗河	是地下水位以下的溶洞	洞中的水流汇集成河,有时与干谷相伴存在		

续表

成因类型	名称	涵义或其形成条件		特点		
岩溶地区的侵蚀地貌形态特征	岩溶湖	地表岩	位于正常地下水面以下的湖泊,主要是被淹没的坡立谷		有的是终年积水,有的则是雨季周期性积水,湖水的排泄是地下通道	
		溶湖	与含水层不相连,位于饱气带的“悬着”湖泊		是被充填了的坡立谷,漏斗等,终年积水。但一旦下部穿孔,则水在很短时间内流走,落水洞再度被闭塞时,又重新积水成湖	
		地下岩	地下水位以下的湖泊		常是暗河在枯水季节地下水位下降,在个别深潭保存了水而形成的	
		溶洞	饱气带的地下湖泊		是由悬挂的含水层形成的,或是位于饱气带的水平溶洞底部被不透水的粘土充填而集水形成	
	漏斗	溶蚀漏斗	岩石裂隙经水溶蚀及机械侵蚀而成		上大下小,底部常有落水洞或竖井,形态如漏斗状(图 4.6-1d)	周围坡度较缓,洞底堆积物较少
			由于洞穴顶板塌陷而成			周围一般较陡,底部较缓,有时可见崩塌堆积物
		干谷	河水经河谷底部的漏斗及落水洞等流入地下,原有河段失去排水作用所致		只有在暴雨季节或地下水排水不畅时,才有暂时性水流	
		溶蚀洼地	一般认为溶蚀洼地是由相邻漏斗逐渐加宽合并而成		大多是狭长形,一般长度大于宽度 1~5 倍,深度不超过 30 米,长度可达千米;四壁陡峭,底部有时有小湖泊	
	坡立谷	构造陷落式坡立谷	是一种大致成椭圆形的大型封闭洼地,其底部面积较溶蚀洼地大而平坦。坡立谷形成复杂,常常代表岩溶发育的晚期阶段		主要是由于地质构造作用形成的。由于岩溶继续发育,使原来的断层崖变得更陡峭。由于暗河和溶洞的崩塌,使洼地底部最后削平	
			溶蚀形成的坡立谷		主要由溶蚀作用形成。如溶蚀洼地的扩大和合并,溶洞、暗河的崩塌,地表干谷的扩大加深	
		面积数平方公里至数百平方公里,表面常覆盖一层较厚的冲积层,常有落水洞、漏斗、峰林和暗河。周围斜坡高陡				
峰林		是岩溶作用深入发展的产物,由于漏斗落水洞的发展扩大,溶洞和暗河崩塌,使整个地面被分割成林立的圆筒形和圆锥形的山峰		山坡陡峭,高可达百余米,表面常有石芽发育,本体多数还发育有洞穴和落水洞等,多分布于平原上,在坡立谷边缘部分更为常见		
孤峰		兀立在岩溶平原上的孤立石峰。是在地壳相对稳定的条件下,岩溶地貌发育到后期形成		石峰较低矮,相对高度数十米至百余米		
	溶孔	是发育在深循环带的一种岩溶形态,其形成受岩性及构造裂隙影响大		在岩石中呈蜂窝状分布,直径一般为几毫米至十余厘米,小的溶孔常被次生方解石所充填		

续表

成因类型	名称	涵义或其形成条件	特点
岩溶堆积地貌形态特征	石灰华	岩溶泉水至出口处,因环境变化,溶于水的钙质分离沉淀而成	经常呈多孔状
	钟乳石	当含钙的水从洞顶板下滴时,钙质沉淀形成自上而下的长条形沉积物	挂于洞顶
	石笋、石柱	含钙的水滴到洞底,钙质沉积而形成	呈笋状小突起的,称为石笋,石笋和钟乳石连成柱状的,称为石柱
	残余堆积物	由不被水溶解的残余堆积物堆积而成	如 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 等混合物

此外,还有其他沉积物,常见的有石膏、硝土、崩塌的石灰岩碎块,水流搬运物,人类及其他植物化石

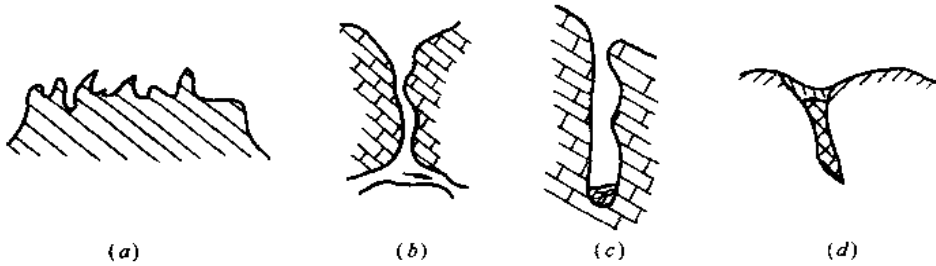


图 4.6-1

(a)溶沟及溶槽断面示意图;(b)落水洞断面示意图;(c)竖井断面示意图;(d)漏斗断面示意图

4.6.4.2 岩溶作用与岩溶现象

岩溶形态是水的溶蚀能力与可溶岩的抗蚀能力在空间上相互作用的结果,能定性地表征发育的强度。岩溶形态(现象)类型见图 4.6-2、表 4.6-9、4.6-10。岩溶洞穴水流特性及溶蚀和溶积现象二成因分类见图 4.6-3。

主要岩溶形态

表 4.6-9

类别	地表岩溶形态	地下岩溶形态
岩溶形态	石芽、石林、溶隙、溶洞、溶蚀准平原、溶沟、溶槽、溶蚀洼地、溶蚀平原、溶碟、漏斗、溶蚀谷地、峰丛、峰林、落水洞、竖井、干谷、盲谷、孤峰	溶孔、落井、溶潭、优流、溶穴、溶泉、天窗、暗河

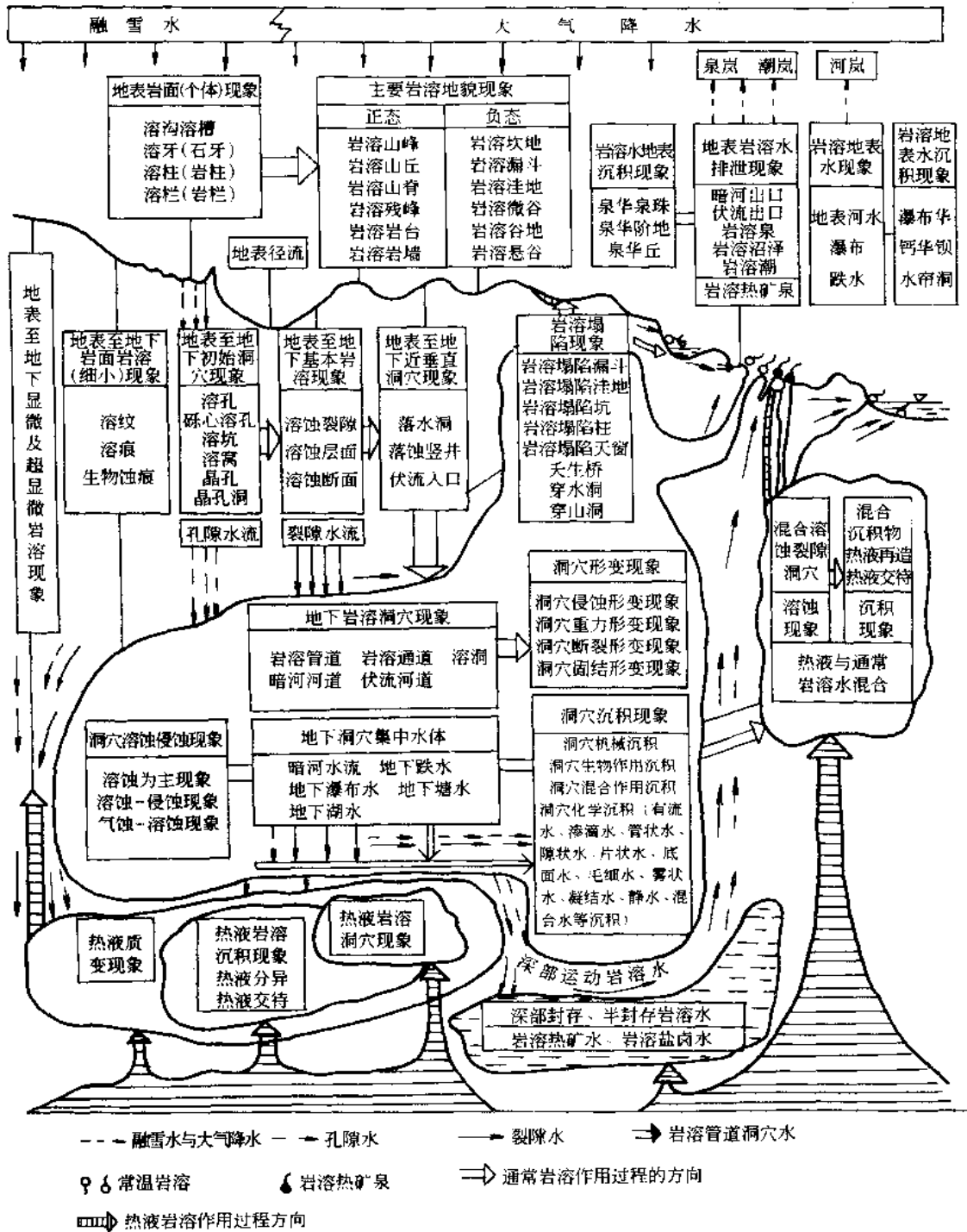


图 4.6-2 岩溶作用过程与岩溶现象示意关系图

说明: 1. 图解中未包括各种超显微、显微现象, 2. 在中国古代岩溶研究文献中, 已有石钟乳、石花、石柱等钙华沉积物的不少通用至今, 故钙华沉积物的中文名称仍以“石”字为头, 以资统一, 3. 图解中洞穴化学沉积, 以钙华为主, 硫酸盐(石膏)及卤化物(岩盐)等洞穴沉积也多有这些现象, 其名称可冠以“石膏”或“盐”等字样, 如石膏石钟乳, 盐石钟乳、石膏石花、盐石花等

不同气候环境下的岩溶形态组合标志

表 4.6-10

形态标志 气候环境	地表形态				地下形态			
	宏观	大形态	小形态	堆积物	大形态	小形态	堆积物	
干旱,半干旱	常态山	干谷	单个溶痕	石灰岩角砾,钙壳或钙质结核	风蚀岩屋,穿沿。除雪山底部外很少大洞穴	雪山底部洞穴中,可见涡穴、贝窝	雪山底部洞穴中,可见各种小型次生化学沉积物	
潮湿	寒带、高寒山区	常态山	干谷、浅洼地	尖溶痕	石灰岩角砾、流水钙华	雪山或现代冰川下可发育大型洞穴	少量涡穴、贝窝、边槽	次生化学。沉积物较少冰川纹泥、崩塌堆积,少量寒冷区生物堆积
	温带	丘陵地 丘陵洼地	碟型洼地、溶盆	尖溶痕、土下溶痕、溶盘	流水钙华,少量洞外钟乳石,有的地区有石灰岩角砾	常有大型洞穴系统,形态取决于水动力条件	常有涡穴、贝窝、边槽悬吊岩等	较多次生化学沉积物,常有崩塌堆积,冲积层。温带生物堆积
	热带 亚热带	峰林地形	多边形洼地、溶盆、石林	尖溶痕土下溶痕、溶盘	红壤土,大量洞外钟乳石	常有大型洞穴系统形态取决于水动力条件	较多的小型溶蚀形态	大量次生化学沉积物,崩塌堆积,冲积层,热带、亚热带生物堆积

4.6.5 岩溶发育的基本条件

岩石和水是岩溶发育的基本条件。岩石的可溶性、透水性、水中的 CO_2 含量和流动性都是影响岩溶发育的重要因素。此外,气候、地形、地貌、生物和土壤等自然条件也影响着岩溶的发育。

4.6.5.1 可溶性岩石的成分

可溶性岩石是岩溶发育的物质条件。可溶性岩石的化学成分、矿物成分、岩石结构等对岩溶的发展速度、发育程度、发育特征等都有着明显的影响。

可溶性岩石按化学成分和矿物成分可分为 3 种类型:碳酸岩类岩石(石灰石、白云岩及其间的过渡岩石),硫酸岩类岩石(石膏、芒硝)、卤盐类岩石(食盐、钾盐)。硫酸岩类岩石和卤盐类岩石分布面积不广,岩体较小,一般不普遍,岩溶发育亦不典型。碳酸盐类岩石分布面积广,发育典型,与工程建设关系密切。据统计,整个地球陆地上碳酸盐类岩石分布面积约 $4000 \times 10^4 \text{ km}^2$,我国的分布面积在 $200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,其中出露的碳酸盐类岩石系约为 $125 \times 10^4 \text{ km}^2$,占我国领土的 13%,尤以湘西、鄂西、贵州、广西、滇东分布集中。

碳酸盐类岩石以其组成的矿物成分划分为石灰岩、白云岩两大类及一系列过渡类型。岩石中含有 50% 以上方解石或文石的属石灰岩类;含 50% 以上白云石的属白云岩类,两者间的过渡类型则按 CaO 和 MgO 的比值来划分。详见碳酸岩成分分类,见表 4.6-11。

碳酸盐岩成分分类

表 4.6-11

岩石名称	含量 (%)		CaO:MgO
	方解石 CaCO ₃	白云石 CaCO ₃ ·MgCO ₃	
石灰岩	95~100	5~0	>50.1
含白云质石灰岩	75~95	25~5	9.1~50.1
白云质石灰岩	50~75	50~25	4~9.1
石灰质白云岩	25~50	75~50	2.2~4
含灰质白云岩	5~25	95~75	1.5~2.2
白云岩	0~5	100~95	1.4~1.5

研究岩溶时,还应对碳酸盐类岩石的化学成分进行分析。分析项目一般为 CaO、MgO、CO₂ 和酸不溶物(即杂质)的含量。若杂质超过 5% 时,可再分析杂质的组分。

根据其 CaO、MgO、CO₂ 含量,可换算出碳酸盐岩中碳酸盐矿物的重量百分比。首先根据 CaO 换算 CaCO₃ 的含量,其余的 CO₂ 与 MgO 化合生成 MgCO₃,再根据 CaCO₃ 及 MgCO₃ 量计算方解石和白云石的含量 CaO 换算 CaCO₃ 的含量,其余的 CO₂ 与 MgO 化合生成 MgCO₃,再根据 CaCO₃ 及 MgCO₃ 量计算方解石和白云石的含量。

$$\text{方解石重量百分比} = 3.570\text{CaO} - 2.275\text{CO}_2$$

$$\text{白云石重量百分比} = 4.190\text{CO}_2 - 3.288\text{CaO}$$

式中 CaO、CO₂ 均为碳酸盐岩化学分析的含量百分数。

碳酸盐岩的化学成分分类,如图 4.6-4。

图 4.6-4 中以白云岩、方解石、不溶物为三角形的三个顶点。白云石、方解石的相对含量用白云石与方解石的比率和白云石占碳酸盐的百分比共同表示,不溶物通过分析测定后用确切的术语,如泥质、硅质等参与命名。

甲—纯碳酸盐(杂质含量小于 10%);1—灰岩;2—白云质灰岩;3—灰质白云岩;4—白云岩。

乙—(不纯)质碳酸盐(杂质含量 10%~30%);5—(不纯)质灰岩;6—(不纯)质云灰岩;7—(不纯)质灰云岩;8—(不纯)质白云岩。(不纯)应根据化学分析结果,用不溶物组成的确切术语进行命名,如硅质、泥质、…下同。

丙—(不纯)碳酸盐(杂质含量 30%~50%);9—(不纯)灰岩;10—(不纯)白云岩。

4.6.5.2 可溶性岩石的透水性

可溶性岩石的透水性取决于岩石中的孔隙和裂隙。

(1) 碳酸盐类岩石的孔隙

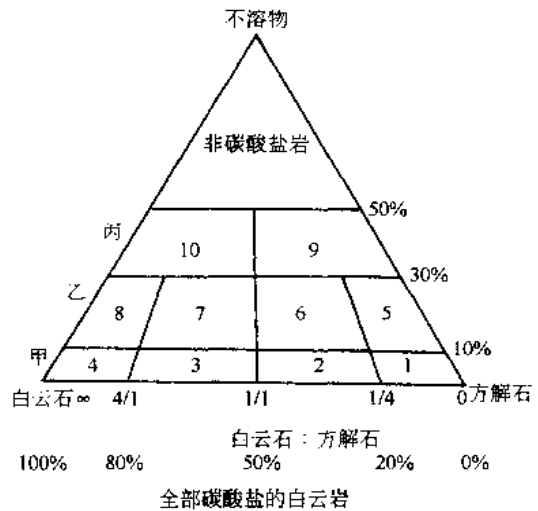


图 4.6-4 碳酸盐岩的化学成分分类

碳酸盐类岩石的孔隙受原始沉积物和沉积环境的控制还受粒屑组分、基质、胶结物及胶结类型的控制和成岩作用后期改造的影响。

孔隙一般是指碳酸盐岩中,三度空间直径小于2mm的空隙。碳酸盐类岩石的孔隙类型见表4.6-12。

碳酸盐类岩石的孔隙类型

表 4.6-12

分 类	定 义	特 征 及 凡 例
粒间孔隙	碳酸盐沉积物各种颗粒间的孔隙。是在沉积过程中由颗粒间相互支架形成的原生孔隙	其孔隙大小与颗粒大小、分选程度、基质、淀晶胶结物含量有关。 此种孔隙常具有较高的孔隙度和较好的渗透率
粒内孔隙	沉积前颗粒在生长过程中形成的原生孔隙	生物体腔内的孔隙。生物死后腐烂留下的空隙。这种孔隙的绝对孔隙度可以很高,但有效孔隙度不一定很大,对渗透性影响不大
生物骨架孔隙	原地生长的造礁生物骨架之间所留下的孔隙	具较高的孔隙度和渗透性
印膜孔隙	碳酸盐颗粒被熔蚀后所遗留的空间	常使岩石具负残余结构,如负瓣、负颗粒等
混晶孔隙	针孔状隐孔隙,孔径一般小于0.01 mm	是一种分布于泥晶、微亮晶之间的原生孔隙
晶间孔隙	矿物晶体间的空隙	可在沉积期形成,主要的是在成岩后期阶段,如重结晶、白云石化而形成
溶蚀孔隙	碳酸盐矿物或伴生的其他易溶矿物,在地下水、地表水的溶蚀作用下面形成的孔隙	发育于颗粒内、碎屑内、介屑内,晶粒内的溶孔

碳酸盐岩空隙规模的等级划分见表4.6-13

碳酸盐岩空隙规模的等级

表 4.6-13

空 隙 名 称	空隙直径(mm)	空 隙 名 称	空隙直径(mm)
隐 孔 隙	<(0.01~0.02)	粗 孔 隙	0.50~1.00
微 孔 隙	(0.01~0.02)~0.10	巨 孔 隙	1.00~2.00
细 孔 隙	0.10~0.25	孔 洞	2.00~(400~500)
中 孔 隙	0.25~0.50	洞 穴	>500

(2) 碳酸盐岩的孔隙度

孔隙度的定义为孔隙空间体积与岩石总体积的比率。

孔隙度(%) = 孔隙体积/岩石总体积 × 100%

有效孔隙度为相互连通的孔隙体积与岩石总体积的比率。有效孔隙度是计算碳酸盐类岩石渗透率的重要指标之一。

4.6.5.3 岩溶水的溶蚀力

水对石灰岩的溶解过程一般分如下四个阶段,见图4.6-5

第一阶段:碳酸钙溶解于水,生成 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 离子。

第二阶段:溶解于水的 CO_2 与水起反应。溶解于水的 CO_2 有两种形式,一种为物理态,

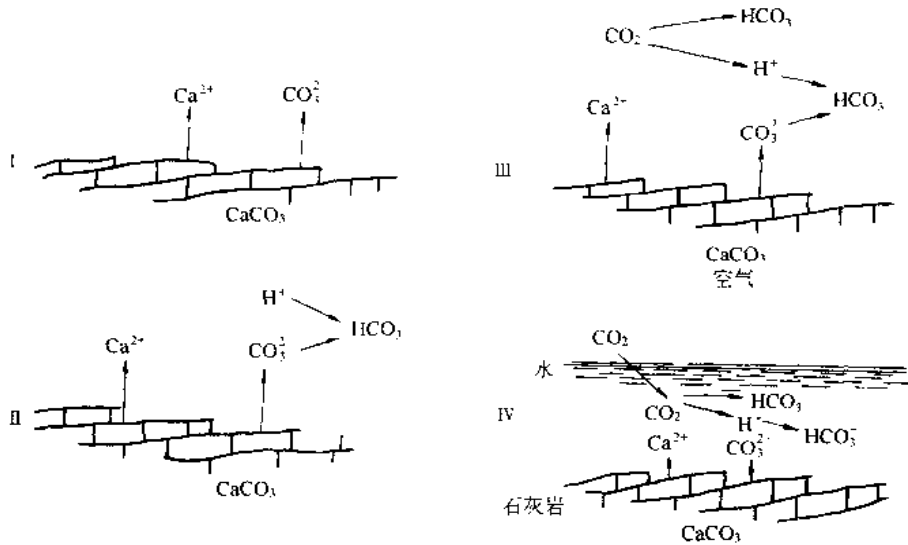


图 4.6-5 石灰岩溶解过程图解

一种为与水化合生成碳酸的化学态。化学态的 CO_2 在水中电离成 H^+ 和 HCO_3^- 离子。这里生成的 H^+ 离子与第一阶段产生的 CO_3^{2-} 离子结合生成 HCO_3^- 离子使第一阶段碳酸钙的溶解平衡被破坏,引起碳酸钙的不断溶解。

第三阶段:水中物理态和化学态的 CO_2 之间有一个平衡关系。由于第二阶段的作用,化学态的 CO_2 不断与水化合,生成碳酸,因此其平衡也被破坏,使物理态的 CO_2 与水化合,转化为化学态的 CO_2 ,成为新的碳酸。

第四阶段:由于水中含量与外界 CO_2 之间有一个平衡关系,水中 CO_2 含量的减少,使平衡受到破坏,必然要吸收外界的 CO_2 使水中的 CO_2 达到新的平衡。

从这四个阶段可以看出,石灰岩继续不断的溶解,首先决定于 CO_2 扩散进入水中的速度。

碳酸盐类岩石的溶蚀作用是化学作用中的平衡链锁反应关系,其中一个环节失去平衡,就影响到其他平衡系统的平衡。当外界 CO_2 不足时,往往发生沉淀作用,若 CO_2 能不断地得到补充,则溶解作用将持续不断地发展。

4.6.5.4 自然因素对岩溶发育的影响

气候是影响岩溶发育的重要因素之一。气候因素能够决定气温高低、风化作用的性质及强度,岩溶作用过程化学反应的速度,降水量及降水性质,降水的季节分配,蒸发量,地面径流量与渗透量之间的比例关系等,从多方面影响着岩溶作用过程。

实践证明,溶解速度是随温度的增高而增加的,降水量的多寡常影响着岩溶水的运动交替,而且雨水在通过空气和土壤层时,水中的游离 CO_2 大大增加,侵蚀作用明显加强。

植被和土壤是岩溶水中 CO_2 的主要来源。植被的覆盖使空气中湿度增加,截留地表径流,使水的下渗作用增强。雨水在通过植被腐植层和富含有机质的土壤时,使水中的有机酸和碳酸的含量明显增加,有利于对碳酸盐类岩石的溶蚀和潜蚀作用。

地貌形态也影响着岩溶的发育程度,因为岩溶发育很大程度受地表水和渗透条件的影响,而这两者又常受地貌条件的制约。如地面坡度、切割密度及深度、水系分布等,所以,地

貌发育,过程常与岩溶发育过程密切相关。

4.6.6 岩溶发育的基本规律

4.6.6.1 岩溶发育随深度的变化

岩溶的发育随深度增加而减弱,岩石的透水性取决于裂隙的发育程度,一般裂隙随深度增加而逐渐减少,地下水运动也相应减弱,地下水的侵蚀性也降低,因此岩溶作用强度随深度而减弱。

4.6.6.2 岩溶发育的不均匀性

在同一地区,地下水交替强度不同,在强烈的地下水交替地带,岩溶特别发育,岩溶的发育又加剧了地下水的交替,因此又导致岩溶更加发育,造成了岩溶发育的不均性。因此,出现了岩溶发育程度由河谷向分水岭核部减弱的现象。这种现象也可在一些特殊条件的影响下遭到改变,如断层破碎带及非可溶岩的夹层等。

4.6.6.3 岩溶发育的垂直分带性

岩溶发育的垂直分带性,取决于岩溶化地段的水文地质的垂直分带。这种分带只有在深成岩溶中方完备。岩溶垂直分带明显地表现在发育强度及形态分布上。

(1) 可溶岩因受地表径流的影响,形成溶沟、溶槽、石芽等。

(2) 在饱气带中,主要发育垂直形态的岩溶,如漏斗、落水洞、竖井等。如有上层滞水时,则形成局部的水平溶洞。

(3) 在季节变化带中,岩溶发育最强烈,形成复杂且巨大的溶洞河,暗河、地下湖等。

(4) 在完全饱水带中,岩溶发育强烈,形成大量水平或倾斜的溶洞,构成继续相联的地下管道。

(5) 深层循环带中,岩溶发育微弱,往往只有小溶洞及溶孔。

4.6.6.4 岩溶与侵蚀旋回的关系

侵蚀旋回的改变,必然引起水文地质条件及垂直分带的改变,而水文地质条件的改变直接影响着岩溶作用,岩溶形态和分布。在间歇性地壳上升及长期宁静相间,而其他因素变化较小的情况下,岩溶作用可形成与阶地相对应的水平溶洞层。但岩溶作用非常缓慢,如果相对宁静期短,则不易形成与阶地相对应的溶洞层。所以决不可以机械地对比,必须分析当地的地质历史,来解决不同时代发育的岩溶。

4.6.6.5 岩溶与岩石厚度和非可溶岩的关系

岩溶作用在厚层的可溶性岩层中,发育较完整,在薄层的可溶岩层中,只能形成浅成的岩溶形态。非可溶岩层的顶面可为岩溶的基准面。可溶性岩层的基底与不透水层的接触地带,溶洞、溶洞河,暗河发育最强烈(图 4.6-6)。可溶岩的基底为透水的非可溶岩时,在可溶岩底部没有强烈的岩溶(图 4.6-7)。

4.6.6.6 岩溶、岩层产状与构造的关系

岩层倾斜较陡时,层理外露地表的范围大,地表水沿层理下渗,故岩溶发展方向主要受层面控制,岩层水平时,地下水主要为水平运动,岩溶主要为水平溶洞,岩层垂直时则造成沿层面伸展的岩溶形态。

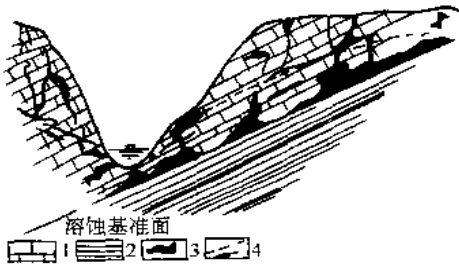
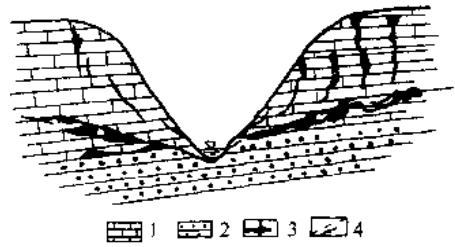


图 4.6-6 底部为不透水层的浅成岩溶发育示意图

1—可溶岩层;2—不透水的非溶解岩层;3—溶洞;4—地下水位及水流方向

图 4.6-7 底部为透水层的
浅成岩溶发育示意图

构造裂隙对岩溶的发育影响较大,主要裂隙的方向往往控制岩溶发育的方向,构造裂隙中岩溶作用的规模较大,同时裂隙容易使岩层发生坍塌,对岩溶洞穴的扩大起重大作用。背斜顶部有张力裂隙,宽度较大,分布也深,其轴部裂隙垂直分布,岩溶以漏斗及竖井等垂直形态为主,向斜轴部低洼,易积水,多暗河,由于洞穴坍塌,又产生漏斗和落水洞等,所以向斜轴部垂直和水平通道都有发育(图 4.6-8)。

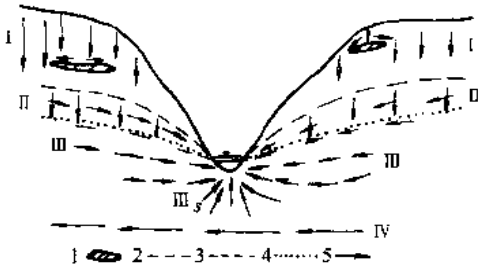


图 4.6-8 各垂直带内地下水流动条件图

I—充气带;II—季节变动带;III—完全饱和带;IV—深循环带。

1—饱气带中的局部隔水层;2—最高地下水位;3—最低地下水位;4—悬挂含水层地下水位;5—地下水流动方向

4.6.7 土洞的成因及规律

4.6.7.1 按成因的分类及形成过程

土洞按其成因可分为地下水冲蚀(潜蚀)和地面水冲蚀形成两大类。在地下水深埋于基岩面之下,岩溶以垂直形态为主的山区,土洞以地面水冲蚀形成为主,如云南个旧等地;当地下水浅埋,略具承压性,岩溶以水平形态为主的准平原地区,土洞以地下水潜蚀形成为主,如广西桂林等地。

(1) 地面水形成的土洞

地下水深埋于基岩面以下的岩溶发育区,地面水通过土中裂隙,生物孔洞、石芽边缘等通道渗入地下,当水流入渗处的下部就有岩溶通道时,借冲蚀作用,土洞将自上而下的逐渐形成,洞体断面呈漏斗形居多。当入渗处下部岩体中无适宜消纳的通道,开始时入渗的水流逐渐布满土中裂隙空间,继而可沿邻近基岩面上某一有利通道流入岩体,最后到达地下水水面。这一运动过程,使最初的土中网状细流汇集为集中的脉状流,流量增大,在基岩入口处流速加快,加剧对土体的冲蚀淘空。在邻近岩面通道口的上方形成土洞,其断面形态多为坛罐状。如向上发展可形成地面塌陷。

(2) 地下水形成的土洞

上覆有适宜冲蚀的土体,其下有排泄储存冲蚀物的空间,地下水位频繁升降于岩土界面附近。由于地下水潜蚀和吸蚀作用的加剧,为土洞的形成和发展创造了必要的条件。当地下水位上升至高于基岩面时,长期处于干燥状态的土体与水接触,逐渐湿化崩解,在岩土交界处形成软弱土带;当地下水位下降至低于基岩面时,使岩面上的软弱土失去了浮托力。与此同时,岩体裂隙中的地下水,随着水位的下降而流向深处,使裂隙空间产生真空负压。此外,水位波动时,水力坡度(I)亦随之变化,水位下降,水力坡度增大。据某土洞发育区观察,高水位时 I 值为 $0.0008\sim 0.0029$;当水位降至基岩面以下时, I 值为 $0.004\sim 0.010$ 。比高水位时提高了数倍,这些因素都加剧了水流对土体的冲刷搬运,最后在岩土交界面处形成土洞。随着水位的升降,上述过程循环往复,土体空间逐渐扩大,洞顶位置逐次上移,拱土层相应变薄,当拱顶受拉区范围波及地表,或在外荷作用于使土体空间失稳下陷而形成地表塌陷。塌陷形成之初期,其断面形态为开口的竖井状,在侧壁剪应力作用下,逐渐发展为漏斗状、碟状洼地。

土洞的发展过程中,若洞内塌落土体不是立即被地下水流带走,而是暂存于洞内,洞顶塌落物由于松胀现象,松胀后体积有可能填满原洞体空间,对洞壁起到天然的支护作用。阻止洞壁向两侧扩展,可使洞径保持相对稳定,这时土洞发展处于暂时稳定状态。因此,土洞形成过程中,始终存在着地下水的搬运与塌落物对洞体和岩溶通道堵塞的矛盾,当搬运大于堵塞,土洞就继续发展,反之,土洞发展就暂时停止。由此可知,不是所见到的土洞都能发展到地表,尤其是当土层厚度较大或地下水较深时,它有可能在尚未波及地表以前,就因通道被堵或因地下水位的区域下降而暂停发育。在丘陵区及高夷平面的土体剖面中,可以见到一些早期形成的土洞就是佐证,在地下水形成的土洞中,又有自然与人为两种,尤以后者危害更大,最应重视。

4.6.7.2 发育条件与规律

土洞或地表塌陷的形成和发展,受到地区地质构造、水文地质、岩溶发育、地表排水以及人为改变地下水动力条件等诸因素的影响。其中,土、岩溶与水的活动是必备缺一不可的条件。由于各地区内外因条件的差异,决定了土洞发展的不均性。

(1) 与土质和土厚的关系

土洞多位于黏性土中,在砂土及碎石土中比较罕见。黏性土的黏粒成分,黏聚力、水稳性不同,是同一地区其他条件相似情况下,大洞分布不均的原因之一。非亲水性、黏性大,胶结好,水理性稳定的土类不易形成土洞;反之,亲水、具湿化性的土层容易形成土洞。例如广西某地有三种土层,即红色黏土、黑褐色黏土、黄色黏土,前二者水理性质稳定,土洞少见,后者裂隙纵横交错,湿化性强,试样遇水数分钟至几小时即全部崩解呈粉状,场地中90%的土洞均出现在该土层分布的地段内。此外,岩溶的溶沟(槽)底部经常分布有软黏土,其抗冲蚀能力弱,且又处于地下水首先作用场所,因此,沟(槽)底部是土洞发育的有利部位。在砂土、碎石土分布地区,由于水理性稳定,透水性好,不易被淘蚀,粒径相对较大,有可能堵塞岩溶通道,故很少土洞,工程中还可采用灌砂砾石处理土洞。当形成土洞的其他条件相似,而土的性质不同时,仅反映在土洞的发展速度不同而已,并不能得出某种土不可能形成土洞的结论。

土层厚薄对土洞的形成、由土洞发展到地表塌陷所需的时间以及塌陷形成后其断面形状都有一定影响。一般土层越厚,土洞发展至地面塌陷所需的时间越长,且易形成自然拱而

不易扩展至地表。对于由地面水作用形成的土洞,只要具备土洞发育条件,水的补给又是源源不断,不论土层厚薄均可形成塌陷,土层厚薄仅表现在出现塌陷的时间先后而已。

如云南个旧尾矿池建设中,当土层较薄时,池中灌水后很快出现塌陷,当土厚在8~10m时,则1~2年后才出现塌陷。土层厚薄不同,土洞塌陷后平面的最终稳定尺寸及断面形态也不相同。一般说,土薄者洞体小呈筒状;厚击洞体大,塌陷初期呈竖井状,之后发展呈漏斗状和碟状。

(2) 与基岩中岩溶发育的关系

土洞是岩溶作用的产物,因此它的分布同样受到决定岩溶发育的岩性、岩溶水、地质构造等因素的控制。土洞发育区必然是岩溶发育区,例如粤北某矿地表塌陷的分布与岩溶发育区极为吻合。

土洞或塌陷下的基岩中必有岩溶水通道,但这一通道不一定是巨大的裂隙或岩溶空间,尤其是地表水形成的土洞更是如此。据云南个旧地区对塌陷开挖揭露,连接洞底的往往是一些上大下小的裂隙;桂林地区某工程由地下水形成的土洞多分布于溶沟的两侧、落水洞、石芽壁的上口等部位,见图4.6-9。

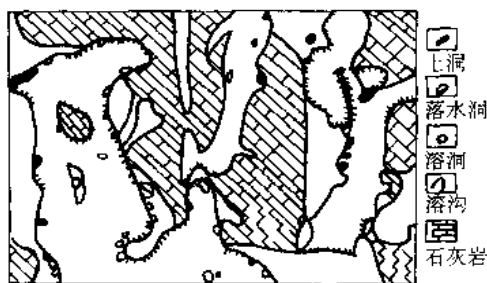


图4.6-9 土洞分布与岩溶的关系

(3) 与水的关系

水是形成土洞的外因和动力。因此,土洞的分布规律必然服从于土与水相互作用的规律。许多土洞开挖揭露,发现空洞洞顶标高与地下水位间存在着一定关系,如桂林某工程揭露的12个土洞,其洞顶标高均座落于地下水位变动幅度以内,而大多位于高水位与平水位之间,在高水位以上以及低水位以下均未发现。另一工程在35m×55m范围内,共挖出76个土洞,分布于高、平水位间的70个,平、低水位间的6个,在竖向分布一上洞径上大小下的规律。

由地下水作用形成的土洞,其规模和发育速度,与水动力条件,水位升降幅度及频率有关。人工降低地下水时,流速、水位升降幅度及频数都较自然条件下大得多,因此土洞与塌陷的发育强度也;要大得多。如某矿放水试验,当地下水流速 $V < 0.15\text{m/s}$ 时为安全值,当流速 $V > 0.41\text{m/s}$,地面就出现塌陷。地下水欲达这样大的流速,只在人为作用下才能办到。由地表水形成的土洞或塌陷,共规模及发育速度取决于水的补给条件,其作用和发展过程大多是随着水流山上而下的发生。当地面水渗入土中,流经一段水平距离后再注入基岩时,也可出现由下而上发育的土洞。

4.6.7.3 岩溶环境与岩土工程的关系

岩溶地区资源,如能源资源、水利资源、矿产资源、农林资源和旅游资源等均较丰富。但又存在着诸多特有的岩溶灾害,如岩溶渗漏、岩溶塌陷、红黏土胀缩、岩溶干旱洪涝、矿井突泥突水,森林退化、土地贫瘠、人畜缺水和地下水污染等不利因素。由于岩溶环境容量有限和岩溶环境易损坏而较难恢复等特性,致使岩溶环境存在着脆弱性的一面。

由于岩溶环境容量的限制和脆弱性给工程建设带来某些特殊的岩土工程问题。岩土工程勘察就是要全面地查明建设场地岩溶环境场地的稳定性,评价场地岩溶发育程度对工程建设的影响,并提出经济合理,技术上可靠的治理方案和措施。具体内容如图4.6-10所示。

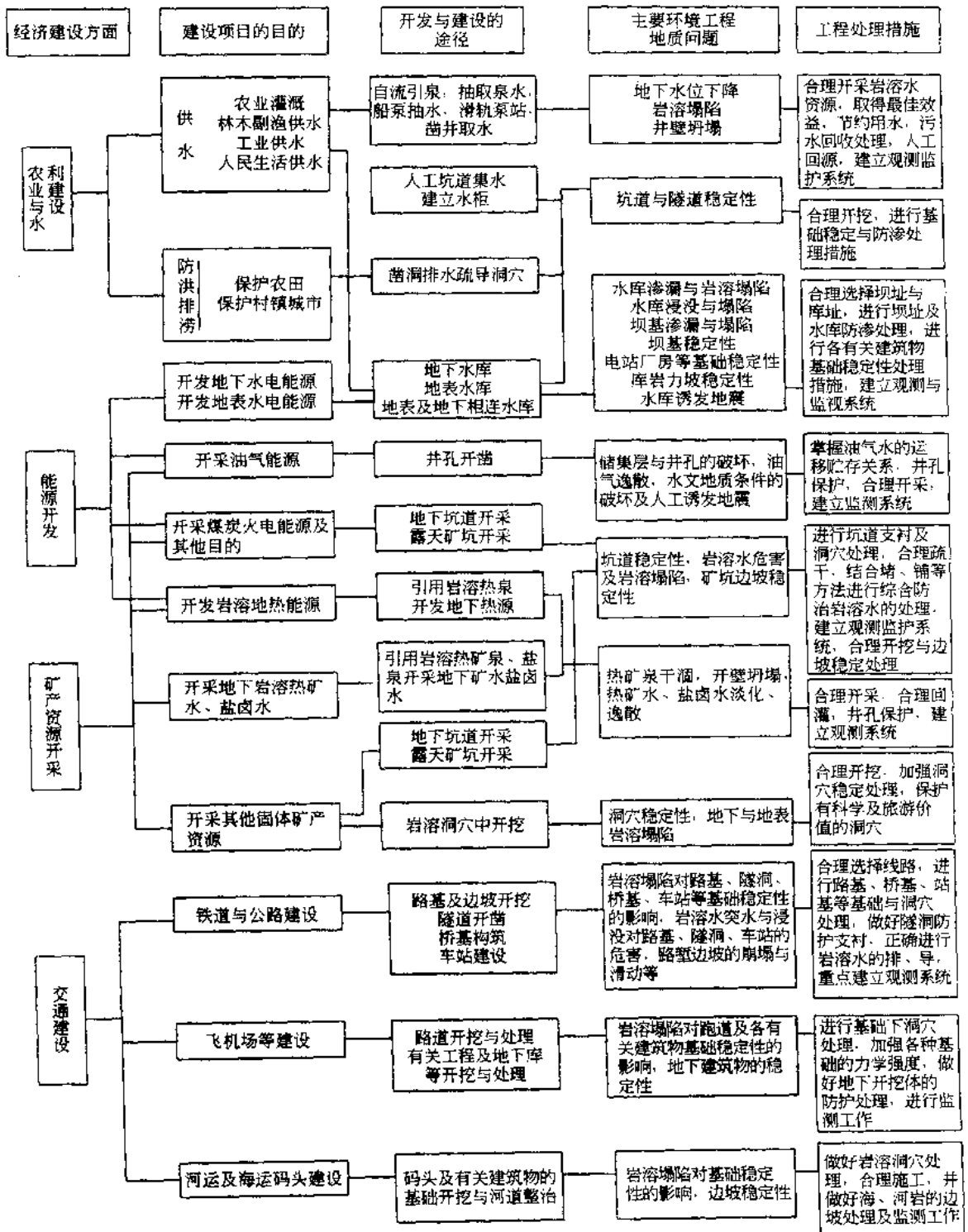


图 4.6-10 岩溶环境工程地质主要问题与处理措施

说明:其他民用及工业建设有关的岩土工程问题,可参照上列的项目

4.6.8 岩溶勘察的基本要求

岩溶勘察应符合下列要求:

(1) 可行性研究勘察应查明岩溶洞隙、土洞的发育条件,并对其危害程度和发展趋势作出判断,对场地的稳定性和建筑适宜性作出初步评价。

(2) 初步勘察应查明岩溶洞隙及其伴生土洞、地表塌陷的分布、发育程度和发育规律,按场地的稳定性和建筑适宜性进行分区。

(3) 详细勘察应查明建筑物范围或对建筑有影响地段的各种岩溶洞隙及土洞的形态、位置、规模、埋深、围岩和岩溶堆填物性状,地下水埋藏特征;评价地基的稳定性。

(4) 施工勘察应针对某一地段尚待查明的专门事项进行补充勘察和评价。当基础采用大直径嵌岩桩或墩基时,尚应进行专门的桩基勘察。

工程地质测绘与调查,应在岩溶形态及岩溶水环境调查的基础上,查明其分布、发育程度与地层岩性,地质构造,地貌的关系,水的动态变化对地表塌陷的影响。对于划分不同的岩溶岩组、水平与竖向成层分带和不同发育程度的土洞塌陷区段,应调查已有建筑使用情况、地基基础处理措施及其效果。

勘探方法的选择可根据勘察阶段、岩溶发育特征、工程安全等级、荷载大小综合确定。各阶段的勘探方法应符合下列要求:

(1) 可行性研究和初步勘察宜采用工程地质测绘及综合物探。在测绘与物探中发现的异常地段应选择有代表性的部位布置验证性钻孔,并在初划的岩溶分区及规模较大的地下洞隙地段适当增加勘探孔。控制孔的深度应穿过表层岩溶发育带,但不宜超过 30m。

(2) 详细勘察宜沿建筑物基础轴线布置物探线,并宜采用多种方法判定异常地段及其性质。对建筑物基础以下和近旁的物探异常点或基础顶面荷载大于 2000kN 的独立基础,均应布置验证性勘探孔。当发现有危及工程安全的洞体时,应采取加密钻孔或无线电波透视,井下电视、波速测试等措施。必要时可采取顶板及洞内堆填物的岩土试样。

(3) 施工勘察应根据岩溶地基处理设计和施工要求布置。在土洞、地表塌陷地段,可在已开挖的基槽内布置触探和钎探。对大直径嵌岩桩或墩基,勘探点应按桩或墩布置,勘探深度应为其底面以下桩径的 3 倍并不应小于 5m,当相邻桩底的基岩面起伏较大时应适当加深。对重要或荷载较大的工程,应在墩底加设小口径钻孔,并应进行检测工作。

土洞与塌陷作为岩溶发育区中有上覆土分布地段上的一种地表形态,它对建筑的危害远大于岩体中的洞隙,勘察中查明其分布尤为重要。然而,在建筑区内,对单个土洞的一一查明难度及工作量都较大。分布规律指出,土洞和塌陷的形成与发展,依附于地区岩溶及水运动的特征与规律。规范根据实践经验的总结,提出在岩溶发育区中,若干可能密集分布的地段,在这些地段上应重点组织勘探查明,使勘察工作有的放矢。

在岩溶发育地区的下列部位应查明土洞和土洞群的位置。

- (1) 土层较薄、土中裂隙及其下岩体溶隙发育部位。
- (2) 岩面张开裂隙发育,石芽或外露的岩体与土体交接部位。
- (3) 两组构造裂隙交汇或宽大裂隙带。
- (4) 隐伏溶沟、溶槽、漏斗等,其上有软弱土分布负岩面地段。

(5) 降水漏斗中心部位。当岩溶导水性相当均匀时,宜选择漏斗中地下水流向的上游部位;当岩溶水呈集中渗流时,宜选择地下水流向的下游部位。

(6) 地势低洼,地面水体近旁。

对不同类型的工程,还要注意执行有关规程规范中岩溶勘察的具体规定。

岩溶地区的选线原则参见 2.5.12.6。

铁路有关规范关于工程地质调查测绘有下列规定:

(1) 查明地层、岩性、构造、层理、节理、裂隙等特征,分析岩溶发育与构造裂隙的关系及岩溶的分布范围和条件,划分可溶岩区与非溶岩区的分界线,圈定强岩溶化区与弱岩溶化区的界限。

(2) 查明侵蚀基准面的变化特征,溶洞的分布层数及地下水分水岭的位置。

(3) 调查地表水流的分布特征和排泄情况;地下水补给来源、流向、流速、流量及水位变化的特点;判明地表水和地下水的补给关系。

(4) 调查岩溶地貌和岩溶形态,如溶洞、暗河、漏斗等的具体位置。断面形态,延伸方向及长度、深度等。

(5) 查明线路附近溶洞、暗河、漏斗等的顶板和底板高程,顶板厚度,洞内填充物的厚度和性质,以及洞壁稳定程度,评价其对铁路建筑物的影响。

(6) 对于覆盖型岩溶,除应查明上述有关内容外,尚应查明古地貌形态及地下水开采情况;调查访问地表塌陷历史情况;预测地表塌陷的可能,及其对铁路建筑物的影响。提出相应的工程措施意见。

勘探、测试有下列规定:

(1) 勘探点的布置,应根据工程类型,建筑物位置和设计 requirements 综合考虑。

(2) 勘探方法可综合使用物探、钻探、挖探等手段,做到相互验证。

(3) 钻探深度,应穿过建筑物基底以下 10m 左右,在此深度内如遇溶洞,钻探深度应专门研究确定。

(4) 物探异常处,应结合建筑物的需要进行钻探。

(5) 做岩石的化学、矿物分析,作水的侵蚀性试验;必要时,应结合建筑物需要,覆盖土或洞穴填充土,进行物理力学试验。

(6) 必要时作联通试验,以了解岩溶的联通情况。

(7) 对在重点工程区,为满足岩溶地下水水文地质计算,必要时应选择一定数量的钻孔。

(8) 与岩溶泉(井),进行不少于一个水文年的水文地质动态观测。

(火力发电厂岩土工程勘测技术规程)(DL/T 5074—1997)在初步可行性研究阶段勘测中规定:“岩溶、土洞、滑坡、崩塌及泥石流等不良地质现象的发育地段…属于不良建厂条件,宜避开或针对主要地质问题进行专门研究,以便进行技术经济比较”。在可行性研究阶段勘测中,应测绘与调查“岩溶、土洞等不良地质现象的分布、形态、规模及发育程度。分析其产生的原因、发展趋势及时厂址的危害程度等”。在初步设计阶段勘测中,取水建筑地段输水隧洞位置“应避开溶洞特别发育和地下水丰富及地层松软的地带”。在岩溶区建筑,尤其是大型项目的建设,不可避免要遇见许多特殊的不良建筑条件和工程稳定性问题。如预计不足,以致后期需要追加基建投入,延长建设周期。实践一再表明,在项目与拟定场地比

选决策中。强调岩溶问题,加深其研究,预测可能危害,正确作出抉择、对工程建设的顺利进行将起到重要作用。

岩溶土洞是一种形态奇特、分布复杂的自然现象,宏观虽有特定的发育规律,但在不大范围的建筑场地上,其分布、生成则是变化无常的。因此。在详勘阶段不可能无一漏失地查清各基础位置下岩溶土洞的形态;在岩溶区,为减少施工处理,详勘之后适当挪动建筑平面之事也属常见;施工图设计中确定采用桩、墩基方案,而详勘工作精度满足不了相应的设计要求,这些都是必须进行施工勘察的前提。实践证明,不按自然规律办事、跨越阶段,将是事倍功半。因此,我们不但强调可行性研究或选址阶段评价的重要性,而且要强调施工阶段专门和补充岩溶土洞勘察的必要性。

岩溶勘察的工作方法与程序,强调下列各点:

(1) 突出工程地质研究的地位。不重视场地基本地质研究及岩溶规律的工程地质分析,把对岩溶形态的查明只寄希望于勘探手段是徒劳的。工作程序上应坚持以岩溶工程地质测绘与调查为先导。测绘与调查的目的,是在平面与剖面上将场地初步划分出若干岩溶对建筑不同影响程度的区段?为深入研究与勘探提供依据。

(2) 岩溶规律研究与勘探应遵循从面到点、先地表后地下,先定性后定量,先控制后一般以及先疏后密的工作准则。

(3) 按探测对象和情况的不同,有针对性选择勘探手段,如为查明岩性且基础浅埋时可采用探槽;为查明浅层土洞可用钎探;而对深埋者则可用静力触探等,对溶洞、裂隙发育情况的查明可用钻探等。

(4) 采用综合物探,要求多种方法相互印证。按当前技术水平,不宜以未经验证的物探成果作为施工图设计与地基处理的依据。

4.6.9 岩土工程勘察要点

对岩溶与土洞的岩土工程勘察,除按常规要求外,结合它的特点及已有勘察经验,提出如下工作要点:

4.6.9.1 岩土工程勘察过程中,应查明与岩溶地基评价有关的一些基本问题

(1) 各类岩溶的位置,高程,尺寸、形状、延伸方向,顶板与底部状况,围岩(土)及洞内堆填物性状、塌落的形成时间与因素等。

(2) 岩溶发育与地层的岩性,结构、厚度及不同岩性组合的关系,结合各层位上岩溶形态与分布数量的调查统计,划分出不同的岩溶岩组。

(3) 岩溶形态分布,发育强度与所处的地质构造部位、褶皱形式,地层产状,断裂等结构面及其属性的关系。

(4) 岩溶发育与当地地貌发展史、所处的地貌部位,水文网及相对高程的关系。划分出岩溶微地貌类型及水平与垂向分带。阐明不同地貌单位上岩溶发育特征及强度差异性。

(5) 岩溶水出水点的类型、位置、标高、所在的岩溶岩组,季节动态,连通条件及其与地面水体的关系。阐明岩溶水环境飞动力条件、消水与涌水状况,水质与污染。

(6) 土洞及各类地面变形的成因,形态规模、分布密度与土层厚度、下伏基岩岩溶特征,地表(下)水动态及人为因素的关系,结合已有资料,划分出土洞与地面变形的类型及发育程

度区段。

(7) 在场地及其附近有已(拟)建人工降水工程,应着重了解降水的各项水文地质参数及空间与时间的动态。据此预测地表塌陷的位置与水位降深、地下水流向以及塌陷区在降落漏斗中的位置及其间的关系。

(8) 岩溶土洞史的调查访问,已有建筑使用情况,设计施工经验、地基处理的技术经济指标与效果等。

4.6.9.2 对每一岩溶场地,通过调查分析,应当明确岩溶对场地地其稳定的影响程度,提出影响建筑的主要岩溶问题,使勘察工作有明确的目的性和针对性。

4.6.9.3 要求按阶段开展岩土工程勘察,尤应注意以下各点:

(1) 在岩溶区建筑,强调可行性研究或选址阶段对岩溶评价的重要性,尤其大型项目的建设。如前期预计不足,后期必然追加基建投入,延长建设周期。实践表明,在项目决策中,科学的预测,实事求是地分析其可能危害,以正确作出决择,对日后的建设将起到关键的作用。

(2) 强调施工阶段专题性岩溶勘察的必要性。岩溶是一种分布多样、形态奇特的自然现象,宏观上虽有特定的发育规律,但在小范围内,其分布与埋藏往往是变化无常。在详勘阶段限于工作量或岩溶分布的复杂性,往往不可能无一漏失地查明各建筑物下的岩溶形态。为了减少地基处理工作面,根据详勘圈定的岩溶发育范围,在总图布置允许情况下,可适当挪动建筑平面。在施工图设计中基础采用桩(墩)基时,详勘工作精度一般满足不了相应的设计要求。如单个土洞形态的查明等,这些都有待施工阶段进行专门勘察予以查明。

4.6.9.4 岩溶勘察中,在工作方法与程序上强调:

(1) 突出岩溶工程地质研究的地位,加强场地基础地质研究及岩溶规律的工程分析,工作程序上坚持以岩溶工程地质调查研究为先导。

(2) 岩溶规律研究与勘探顺序遵循从面到点、分区对待,先已知后未知,先地面后地下,先控制(点)后一般(点),先疏后密以及评价中先定性后定量的工作准则。

(3) 依不同的探测对象和对工程的影响程度,有区别地选用勘探手段。如当岩性是控制因素且基岩浅埋时,可用槽、井探;查明浅层土洞,可用钎探;对深埋者可用静力触探等。

(4) 开展综合物探,要求多种方法和手段相互印证,排除假象。以当前探测水准,切忌单打一,更不宜以未加验证的物探成果直接作为施工图设计与地基处理的依据。

4.6.9.5 岩芯钻探点的功能

(1) 对岩溶状况判断的验证;

(2) 查明建筑物重要位置下岩溶的情况。

对于前者,钻探点应依岩溶地质调查及物探成果布置。对于后者,在详勘阶段,对于荷载较大(如大于2000kN以上)的单独柱基或重要设备基础位置上均需布置钻孔。钻孔深度取决于岩溶发育规律的分析以及保证建筑物安全和稳定计算所需的岩层厚度,一般不超过30m。为了查明个体土洞,可在施工中沿已开挖的基槽布置密集的钎探,静力触探。钎探主要靠手感发现土洞,如广西桂林,施工部门普遍在基坑底部用长6m、8m、10m、 $\phi 14\sim 18$ 钢筋沿轴线依次钎探,对查明的土洞及时处理。静力触探可据 P_s 曲线在深度变化上突然变小点,判断土洞的存在。

4.6.9.6 岩溶测试与调查

(1) 岩溶勘察中的测试工作,除满足岩溶调查中所需的一些项目如岩样强度、抗风化试验,相邻隐伏洞隙的连通试验、土洞区土的湿化、胀缩、剪切试验以及地下水位、流向、流速、水质动态观测等之外,为了确定岩溶洞体的受力变形以至破坏机制,充分发挥岩溶天然地基的潜力,在有条件时,应积极开展洞体顶板岩体的原位强度试验。从已有建筑物下埋藏有未加处理的洞体实例说明,即使厚度不大,强度不高的岩洞顶板,仍具有较大的承受外荷的能力,现行规范中对洞体顶板稳定评价的规定是可靠的。

(2) 在岩溶区勘察时,对具备形成土洞条件的场地,切不可掉以轻心,如存在人为改变水动力条件,它加速了土体的变形,对建筑危害更甚。土洞的发生与水动力条件改变的间歇时间很短(如数小时),一旦出现,很快发展为成群密布。

(3) 岩溶形态的查明、评价与处理是三位一体,相辅相成,互为补充。查明固然是评价处理的前提,但限于当前的勘察水准与手段,往往是查而不明,经常是结合评价与工程处理。考虑可能与需要来确定查明的重点,工作的深度和广度。三位一体也正是岩土工程的努力方向。

4.6.10 岩溶地区工程地质调查测绘与勘探方法

4.6.10.1 工程地质调查测绘

在岩溶地区进行工程地质调查,应着重查明该地区的地质、地质构造、地壳运动的规律(特别是新构造运动的规律)、水文地质条件、洞穴的形态、位置、充填情况等。在此基础上着重分析、研究岩溶发育规律与工程的关系,合理选择工程方案并提出恰当的工程处理措施意见。

(1) 地质调查

查明岩溶地区的地层层序、岩层产状、可溶岩的岩性、化学成分、结晶程度、结构等,可溶岩与非可溶岩的相互关系、分布规律、埋藏条件。对碳酸盐岩中所含杂质也应进行分析和描述。

查明岩溶区褶曲、断层等地质构造的性质、产状、断层带的宽度,充填物性质、裂隙发育特征、岩体破碎程度,并与地下水的活动规律相联系,分析与岩溶作用的关系。

(2) 岩溶地貌的调查

调查各种岩溶地貌形态类型、分布范围、撑列方向、高程,岩溶泉和暗河的出露位置,覆盖层的成分、厚度等,分析岩溶发育与近代岩溶基准面的关系,岩溶发育与岩性、地质构造、裂隙发育程度、地貌单元、水系沟谷等的关系。

(3) 岩溶洞穴的调查

与铁路工程有关的洞穴、竖井、暗河等,应查明洞穴的平面走向及代表性断面形态;地下水水位及其流速、流向、流量;洞内沉积物的特征,成分及其物理力学性质;洞穴发育所在层位、与岩性、构造的关系;洞体的完整性及稳定程度等。当需详细评价建筑物基础下洞穴的稳定性时应着重调查洞顶、洞壁、洞底的完整程度、裂隙的分布特征、充填与胶结情况、顶板岩层的产状等。还应取样作岩石密度,抗拉,抗压强度,泊松比,弹性模量等试验。

(4) 覆盖型岩溶地区的调查

覆盖型岩溶地区应查明覆盖层的厚度、岩性、物理力学性质;必要时查明基岩顶板形态、地下水埋藏深度、地下水与地表水的关系、地下水的开采量;地面塌陷的位置、形态、洞壁倾斜方向、塌陷发生的时间;覆盖层土洞和疏松带的发育情况;地面塌陷与地下水开采、采矿、地表水、大气降水的关系;分析塌陷的成因机理、分布规律;已有工程处理措施及其效果。

(5) 岩溶地区的水文地质调查

对于岩溶地区的岩溶泉、落水洞、暗河、潭、湖等,应查清其出露的地层层位、岩性及地质构造特征;这些水点的高程、水位、水深、流量、水位变幅,流速等。为查明暗河的来龙去脉,必要时作连通试验;查明水的物理性质,取代表性水样进行水质分析。

对于岩溶地区地下水的特征,应着重查明岩溶水的补给来源,含水层及覆盖层的特征,植被发育程度,地表水或大气降水与地下水的转换条件,岩溶水的排泄方式,地表水和地下水分水岭位置。调查中还应注意因暗河、落水洞排泄不畅或受地表水顶托倒灌而造成内涝的地区。

调查时应注意河沟及泉水的流量、水质、水温等的变化情况,特别要注意雨后间隙泉的流量变化。

4.6.10.2 勘探方法

岩溶地区的地质条件相当复杂,选用勘探方法时应注意其适用条件,且应采用多种勘探手段互相补充、相互验证,以提高勘探效果。主要的勘探方法有物探,钻探;为探查浅层土洞,密集的钎探或触探也是行之有效的方法。

(1) 物探

物探方法多种多样,用于岩溶地区勘探效果较好的主要有电阻率法,充电法、地震法、综合测井法、孔内无线电波、声波透视法等物探方法。

1) 电阻率法

电阻率法是利用岩层电阻串作为参数,对介质进行研究的一种方法。依布极和工作方法的不同,又分为电测深法和电剖面法。

电测深法主要以层状介质为研究对象,一般岩层倾角小于 20° 时效果较好。它可测定覆盖层下岩溶地层的起伏情况、强烈岩溶化地层发育的深度、岩溶发育的主导方向等。

电剖面法主要研究倾斜或直立岩层,它可以测定构造破碎带、陡倾的岩溶发育带的分布位置和范围等。

采用电阻率法时要考虑地电条件、地形因素的影响,还应特别注意分辨能力问题。一般来说,电性差别愈大,地质体的厚度(如溶洞大小)与埋深之比愈大,则引起的电阻率异常幅度也愈大,愈易于识别。实践证明,当覆盖层厚 $2\sim 5\text{m}$ 时,高 0.5m 的溶洞可能反映出来;当 1m 厚度的岩溶带,埋深 20m 时,要发现它是较困难的。

2) 充电法

在岩溶地区,充电法主要用于追索地下暗河通道的位置,测定岩溶水的流向、流速。在地下水流速较大、含水层埋藏浅、地形平坦的情况下,探测的效果较好。当追索暗河位置时,主要采用电位梯度法,且常与联合剖面法同时使用。

3) 综合测井法

综合测井包括电阻率、自然电位、井径、井沮、放射性、超声波、弹性波测井等方法。综合测井可测定岩溶及裂隙发育情况、钻孔中溶蚀段的分布区段、溶洞的充填情况、含水层位置

等,是充分发挥钻探作用的有力手段。

4) 地震勘探法

地震勘探主要用于了解岩溶化地层上、下界面的埋深和形态、覆盖层厚度、沿断层带发育的岩溶的延伸方向等。

5) 孔内无线电波或声波透视

孔内无线电波(或声波)透视法是利用电磁波(或声波)透过不同介质时,介质对电磁波(或声波)能量吸收的差异来分辨地质体的方法。主要用于岩溶地区的溶洞、暗河、岩溶发育带的勘探。此法是利用个以上钻孔或坑道发射、接收无线电波(或声波),了解钻孔或坑道间岩溶存在的位置、大小,充水状况,溶洞间的连通情况等。无线电波透视法探测的最大有效距离一般为 500~600m。应该指出,距离愈大,观测到的异常清晰度也愈差。若被测岩溶体较大,孔间的距离可大一些;被测岩溶体小,可采用 50~100m 的孔距。

(2) 钻探

在岩溶地区钻探(应特别注意钻进过程中所遇到的各种异常现象。如遇空洞时发出的隆声,钻具突然下落、钻进速度突然加快、孔内掉块、冲洗液突然减少、停止回水、冲洗液颜色变等,均应做详细记录,为岩心鉴定提供分析依据。在岩溶地区钻探还应重视钻孔的综合利用进行简易水文地质观测,为物探综合测井提供方便,应考虑设置长期观测孔的需要。必要时对钻孔中的岩层、溶洞充填物、地下水等取样进行试验和分析。

岩溶地区的钻探应在地质调查和物探的指导下有目的地进行。分析钻探成果时,应注意免片面性、局限性,注意积累经验,使多种勘探成果互相验证,以提高地质成果资料的精度。

岩溶地区布置钻探,一般采用多次实施,逐步深入的方法,还应布置适当数量的控制性深钻探开始时,一般先按工程设施的要求进行控制性钻探,了解地层和岩溶发育带的大致情况,然后再结合具体工程或基础类型的要求加密钻孔,满足设计需要。在定测阶段至少应达一墩一孔的要求。提供施工图设计,则应满足一个沉井 3~5 孔或一桩一孔的要求。当基(桩)位置改变时,应重新进行钻探。钻孔深度应结合工程需要确定,一般应穿透大型溶洞或溶强烈发育带,深入完整基岩 4m 以上。

4.6.11 岩溶地区建筑岩土工程勘察

4.6.11.1 各勘察阶段的要求和方法(见表 4.6-14)

各阶段岩溶地区建筑岩土工程勘察要求和方法

表 4.6-14

勘察阶段	勘察要求	勘察方法和工作量
可行性研究	应查明岩溶洞隙、土洞的发育条件,并对其危害程度和发展趋势作出判断,对场地的稳定性和建筑适宜性作出初步评价	宜采用工程地质测绘及综合物探方法。发现有异常地段,应选择代表性部位布置钻孔进行验证核实,并在初划的岩溶分区及规模较大的地下洞隙地段适当增加勘探孔。控制孔应穿过表层岩溶发育带,但深度不宜超过 30m
初步勘察	应查明岩溶洞隙及其伴生土洞、地表塌陷的分布、发育程度和发育规律,并按场地的稳定性和建筑适宜性进行分区	

续表

勘察阶段	勘察要求	勘察方法和工作量
详细勘察	<p>应查明建筑物范围或对建筑有影响地段的各种岩溶洞隙及土洞的形态、位置、规模、埋深、围岩和岩溶堆填物性状,地下水埋藏特征;评价地基的稳定性</p> <p>在岩溶发育区的下列部位应查明土洞和上洞群的位置:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 土层较薄、土中裂隙及其下岩体岩溶发育部位 2. 岩面张开裂隙发育,石芽或外露的岩体交接部位 3. 两组构造裂隙交汇或宽大裂隙带 4. 隐伏溶沟、溶槽、漏斗等,其上有软弱土分布负岩面地段 5. 降水漏斗中心部位。当岩溶导水性相当均匀时,宜选择漏斗中地下水流向的上游部位,当岩溶水呈集中渗流时,宜选择地下水流向的下游部位 6. 地势低洼和地面水体近旁 	<p>宜按建筑物轴线布置物探线,并宜采用多种方法判定异常地段及其性质。对基础和邻近地段的物探异常点或基础顶面荷载大于2000kN的独立基础,均应布置验证性钻孔。当发现有危及工程安全的洞体时,应采取加密钻孔或物探等措施。必要时可采取顶板及洞内堆填物的岩土试样,其勘探应符合下列规定:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 当基底下土层厚度不足时,应将勘探孔全部或部分钻入基岩。当在预定深度内遇见洞体时,应将部分勘探孔钻入洞底以下;当遇中等风化基岩时,其深度不应小于洞底以下2m 2. 当需查明浅埋岩溶的岩组分界、断裂及岩溶土洞的形态或验证其他勘探手段的成果时,应采取岩土试样或进行原位测试,并应布置适量的探槽或探井 3. 在土洞发育地段,应沿基础轴线或在每个单独基础位置上以较大密度布置静力触探或小口径钎探,查明土洞、地表塌陷的分布
施工勘察	<p>应针对某一地段或尚待查明的专门事项进行补充勘察和评价。当基础采用大直径嵌岩桩或墩基时,尚应进行专门的桩基勘察</p>	<p>应根据岩溶地基处理设计和施工要求布置。在土洞、地表塌陷地段,可在已开挖的基槽内布置触探和钎探。对大直径嵌岩桩或墩基,勘探点应按桩或墩布置。勘探深度应为其底面以下桩径的3倍并不小于5m,当相邻桩底的基岩面起伏较大时应适当加深。对重要或荷载较大的工程,应在墩底加设小口径钻孔,并应进行检测工作</p>

4.6.11.2 测试和观测要求

- a. 当追索隐伏洞隙的联系时,可进行连通试验;
- b. 评价洞隙稳定时,可采用洞体顶板岩样及充填物土样作物理、力学试验。必要时可进行现场顶板岩体的载荷试验;
- c. 顶板为易风化或软弱岩石时,可进行抗风化试验;
- d. 当需查明土的性状与土洞形成的关系时,可进行湿化、胀缩、可溶性及剪切试验;
- e. 查明地下水动力条件和潜蚀作用,地表水与地下水的联系,对预测土洞、地表塌陷的发生和发展时,可进行水位、流速、流向及水质的长期观测。

4.6.11.3 岩溶场地稳定性评价

(1) 场地稳定性判定

- 1) 当场存在下列情况之一时,可判定为对工程不利地段:
 - a. 浅层洞体或溶洞群,其洞径大、顶板破碎且可见变形迹象,洞底有新近塌落物;
 - b. 隐伏的漏斗、洼地、槽谷等规模较大的浅埋岩溶形态,其间或上覆为软弱土体,且地面已出现明显变形;
 - c. 地表水沿土中裂隙下渗或地下水自然升降变化使上覆土层被冲蚀,并出现成片(带)土洞塌陷;
 - d. 抽水降落漏斗中最低动水位高于岩土交界面的覆盖土地段;

e. 岩溶通道排泄不畅,导致暂时淹没的地段。

2) 当地基属于下列条件之一时,对安全等级为二级及以下的建筑物可不考虑岩溶稳定性的不利影响:

a. 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;

b. 基础底面与洞体顶板间岩土厚度虽小于上述a.所列基础宽度的倍数,但符合下列条件之一时:

- ① 洞隙或岩溶漏斗被密实的沉积物填满且无被水冲蚀的可能;
- ② 洞体为微风化岩石,顶板岩石厚度大于或等于洞跨;
- ③ 洞体较小,基础底面积大于洞的平面尺寸,并有足够的支承长度;
- ④ 宽度(长径)小于1.0m的竖向溶蚀裂隙、落水洞、漏斗近旁地段。

3) 不符合前述1)条时,可根据洞体情况进行稳定分析:

a. 当判定顶板为不稳定,但洞内为密实堆积物充填且无流水活动时,可认为堆积物受力,可按不均匀地基评价;

b. 当能够取得计算参数时,可将洞体视为一个结构,进行分析计算;

c. 有经验地区,可按工程类比法进行稳定分析;

d. 在基础近旁有裂隙及临空面时,应验算基底岩体向临空面倾覆或沿裂面滑移的可能。

(2) 天然溶洞稳定性分级

天然溶洞稳定性分级

表 4.6-15

等级	因素				
	地层岩性	地质构造	地下水及支洞、暗河	洞体表面特征	洞底堆积物
	条件				
稳定	厚层至巨厚层灰岩,无软弱夹层,层面胶结好	无褶皱,断层不发育,仅有1~2组较明显的裂隙,裂隙呈闭合状或胶结好。未形成临空不稳定切割体	洞内很少漏水。四周支洞少,洞内无河通过	洞顶、侧壁均有钙壳,溶蚀窝状面,洞体表面较平整,无危岩和近期崩塌痕迹	洞底平坦,表面堆积物为黏性土或钙质胶结层,不含块石
基本稳定	厚层至中厚层灰岩,层面有一定程度的胶结	有小型断层、褶皱,一般有2~3组连续性差的裂隙形成的临空面切割体少	断层中有季节地下水活。四周支洞较少,暗河易于查明、处理	洞顶有钙壳、溶蚀窝状面,有少量钟乳石灰华物,无近期崩塌痕迹,有少量危石	洞底平坦,表层堆积物中有少量块石,或有古崩塌体
稳定性差	中厚层夹薄层灰岩,层面胶结差	断层发育,有3组以上的裂隙,且胶结差。形成较多的临空切割体	顶板、断层中常有地下水活动,四周支洞较多,暗河分布较复杂,不易查明处理	洞顶钙壳和窝状溶蚀面少,钟乳石多,侧面有泥质较多的灰华物分布,局部有危岩和近期崩塌痕迹	有近期崩塌堆积物,有多量块石
不稳定	薄层至中厚层灰岩,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	洞底为暗河或大量近期崩塌物

4.6.12 岩溶地区地基评价和处理

4.6.12.1 岩溶地基处理的一般原则

- a. 重要建筑物宜避开岩溶强烈发育区；
- b. 当地基含石膏、岩盐等易溶岩时，应考虑溶蚀继续作用的不利影响；
- c. 不稳定的岩溶洞隙应以地基处理为主，并可根据其形态、大小及埋深，采用清爆换填、浅层楔状）：填塞、洞底支撑、梁板跨越、调整柱距等方法处理；

天然溶洞稳定性分级表

表 4.6-16

等级	因素				
	地层岩性	地质构造	地下水及支洞、暗河	洞体表面特征	洞底堆积物
条件					
稳定	厚层至巨厚层灰岩，无软弱夹层，层面胶结好	无褶皱，断层不发育，仅有1~2组较明显的裂隙，裂隙呈闭合状或胶结好，未形成临空不稳定切割体	洞内很少漏水。四周支洞少，洞内无暗河通过	洞顶、侧壁均有钙壳，溶蚀窝状面，洞体表面较平整，无危岩和近期崩塌痕迹	洞底平坦，表面堆积物为黏性土或钙质胶结层，不含块石
基本稳定	厚层至中厚层灰岩，层面有一定程度的胶结	有小型断层、褶皱，一般有2~3组连续性差的裂隙形成的临空面切割体少	断层中有季节地下水活。四周支洞较少，暗河易于查明、处理	洞顶有钙壳、溶蚀窝状面，有少量钟乳石灰华物，无近期崩塌痕迹，有少量危石	洞底平坦，表层堆积物中有少量块石，或有古崩塌体
稳定性差	中厚层夹薄层灰岩，层面胶结差	断层发育，有3组以上的裂隙，且胶结差，形成较多的临空切割体	顶板，断层中常有地下水活动，四周支洞较多，暗河分布较复杂，不易查明处理	洞顶钙壳和窝状溶蚀面少，钟乳石多，侧面有泥质较多的灰华物分布，局部有危岩和近期崩塌痕迹	有近期崩塌堆积物，有多层块石
不稳定	薄层至中厚层灰岩，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，形成大量临空切割体	洞内，断层中据水严重，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	洞底为暗河或大量近期崩塌物

d. 岩溶水的处理宜采取疏导的原则；

e. 在未经有效处理的隐伏土洞或地表塌陷影响范围内不应作天然地基。对土洞和塌陷宜采用地表截流、防渗堵漏、挖填灌填岩溶通道、通气降压等方法进行处理，同时采用梁板跨越。对重要建筑物应采用桩基或墩基；

f. 应采取防止地下水排泄通道堵截造成动水压力对基坑底板、地坪及道路等不良影响以及泄水、涌水对环境的污染的措施；

g. 当采用桩（墩）基时，宜优先采用大直径墩基或嵌岩桩，并应符合下列要求：

- ① 桩（墩）以下相当桩（墩）径的3倍范围内，无倾斜或水平状岩溶洞隙的浅层洞隙可按

冲剪条件验算顶板稳定；


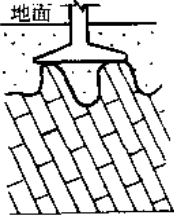
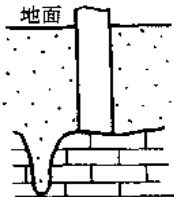
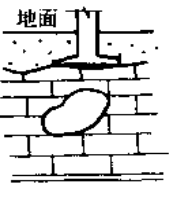
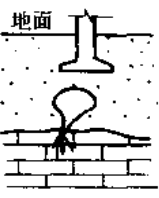
② 桩(墩)底应力扩散范围内,无临空面或倾向临空面的不利角度的裂隙面可按滑移条件验算其稳定；

③ 应清除桩(墩)底面不稳定石芽及其间的充填物。嵌岩深度应确保桩(墩)的稳定及其底部与岩体的良好接触。

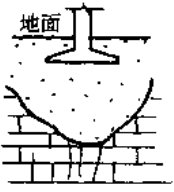
4.6.12.2 岩溶地基稳定性评价及处理(见表 4.6-17)

岩溶地基稳定性评价及处理

表 4.6-17

岩溶地基形态	示意图	岩溶地基稳定性判别		处理措施
		稳定的地基	不稳定的地基	
基底底面下有大块溶蚀孤石或单个石芽		覆盖土层的承载力标准值大于 150kPa, 建筑物为单层排架结构或 1~2 层砌、体承重结构	建筑物的安全等级为二级以上	清除孤石, 凿平石芽, 铺设毛石混凝土垫层
基础底面下有多个石芽		石芽间距小于 2m, 石芽间充填坚硬~硬塑状态红黏土, 建筑物为不高于 6 层的砌体; 承重结构, 不高于 3 层的框架结构或具有不大于 15t 吊车的单层排架结构, 基底压力 200kPa	石芽间距大于 2m, 石芽间充填土层软弱或没有充填, 建筑物重要、高大, 基底压力大, 建筑物安全等级为二级以上	石芽出露部位作碎石或黏性土褥垫; 用碎石置换石芽间的软弱土层; 用混凝土填塞石芽间溶沟
基础底面旁侧有溶沟或落水洞		溶沟或落水洞的水平宽度小于 1m, 基底面下为微~未风化硬质岩层, 岩体中没有倾向溶沟或落水洞的软弱结构面	溶沟或落水洞的水平宽度大于 1m, 其中充填土层软弱或没有充填, 基础底面下为中~强风化基岩, 岩体中有倾向溶沟或落水洞的软弱结构面, 岩体稳定性验算结果安全系数小于 1.3	充填或置换溶沟和落水洞中充填的软弱土; 高压喷射灌浆加固溶沟和落水洞中充填的软弱土; 基岩压力灌浆加固
基础底面下有溶洞		基岩为微风化或未风化硬质岩石, 溶洞顶板厚度大于洞跨, 洞体较小, 洞的平面尺寸小于基础平面尺寸, 溶洞充填密实, 充填土层的承载力标准值大于 150kPa	溶洞较大, 顶板厚度较小, 洞中充填土层较弱或没有充填, 基岩风化较强烈, 岩体较破碎, 洞体稳定性验算结果安全系数较小	梁、板、拱结构跨越溶洞混凝土充填或置换溶洞中软弱土层, 必用深基础穿过溶洞
基础底面下有土洞		土洞较小, 洞体在地基土层以下, 且无继续扩大可能, 建筑物安全等级为三级以下	土洞分布于地基压缩层内洞体较大	梁、板、拱结构跨越土洞, 砂、砾充填土洞, 改用深基

续表

岩溶地基形态	示意图	岩溶地基稳定性判别		处理措施
		稳定的地基	稳定的地基	
基础位于塌陷坑		塌陷坑被硬塑~坚硬状态的黏性土或密实的砂类土充填, 充填物无发生潜蚀的可能, 建筑物安全等级为三级以下	充填于塌陷坑中的软土的强度和变形指标不能满足建筑物的要求, 塌陷坑中的充填物有被潜蚀的可能	消除充填塌陷的软土, 抛填块石, 碎石和砂、砾作反滤层, 反滤层上夯填黏性土层, 并用梁、板、拱结构跨越塌坑; 改用深基础穿过塌坑底部

(1) 溶洞顶板安全厚度的估算

1) 按顶板坍塌后, 塌落体较原岩体有一定膨胀的原理, 估算塌落体填满原洞空间所需顶板塌落的高度:

a. 适用条件: 顶板有坍塌可能的, 如顶板为裂隙发育, 特别是薄层、中厚层、易风化的软弱岩层, 已掌握溶洞的原最大高度。

b. 计算公式:

$$H = \frac{H_0}{K-1} \quad (\text{也适用于椭圆形的洞}) \quad (4.6-1)$$

式中 H ——顶板坍塌填满溶洞原空间所需的塌落高度(m);

H_0 ——溶洞坍塌前的最大高度(m);

K ——岩石的胀余(松散)系数。碳酸盐岩 $K=1.2$, 黏土 $K=1.05\sim 1.10$ 。

2) 按梁板受力弯矩情况估算

a. 适用条件: 顶板岩体层理厚、完整、坚硬、强度高, 同时已掌握溶洞顶板厚度和裂隙发育情况;

b. 计算公式:

① 对顶板两端支座处岩体完整、坚硬、仅顶板跨中有裂隙的, 按悬臂梁计算:

$$M = 1/2 pl^2 \quad (4.6-2)$$

② 对顶板较完整、仅支座处岩体有裂隙的, 按简支梁计算:

$$M = 1/8 pl^2 \quad (4.6-3)$$

③ 对顶板和支座外的岩层均较完整的, 按两端固定梁计算:

$$M = 1/12 pl^2 \quad (4.6-4)$$

抗弯验算:

$$\sigma \geq 6M/bH^2 \quad (4.6-5)$$

$$H \geq \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} \quad (4.6-6)$$

抗剪验算:

$$f_{sv} \geq 4f_s/H^2 \quad (4.6-7)$$

式中 M ——弯矩($\text{kN}\cdot\text{m}$);

p ——顶板承受的荷载(包括厚度为 H 的顶板岩体自重、顶板上覆土层重量和顶板上的附加荷载)(kN/m);

l ——溶洞跨度(m);

σ ——顶板岩体的计算抗弯强度, 一般取该岩石允许抗压强度的八分之一(kPa)。

4.6.13 岩溶地区水工建设勘察要求

岩溶地区水工建设包括水库、输水隧洞、渠道、尾矿库(池)、堤坝、渣场、供水池、矿山开采的有关设施等岩土工程。勘察要求为解决下列问题提供勘察资料。

4.6.13.1 岩溶渗漏和场地稳定

岩溶地区水工建设要查清与水工建设项目有关的岩溶渗漏和场地的稳定问题。影响场地区渗漏和不稳定的基本因素：

(1) 地形地貌因素

- ① 场地下游有较大的河湾；
- ② 场地两侧或一侧有低于建设项目的河谷或洼地；
- ③ 场地下游河谷纵剖面上存在纵向裂点。

(2) 地质结构因素：

- ① 有无隔水层或相对隔水层(表 4.6-18)；

岩溶地区隔水层分类

表 4.6-18

类	岩性	亚类	主要特征			
			构造	岩溶	单位吸水量 (升/分·米·米)	上下含水层 水力联系指数
隔水层	泥质、碳质页岩、砂页岩	完整的隔水层	裂隙不发育,且多充填,无断层破坏	上下界面无溶洞发育	0.01/0.05	$h > 0.8H$ —好的隔水层 $h = 0.5 - 0.8H$ —较好的隔水层 $h = 0.5 - 0.8H$ —较差的隔水层 $h < 0.1H$ —非隔水层 式中 h —同一地区,同一隔水层上下含水层之水位差; H —隔水层完整的上下两含水层水位差
		轻微破坏的隔水层	有小断层破坏,隔水层未错开,断层断距 < 0.5 倍隔水层厚度	上下界面有 < 0.2 米者溶,但不影响隔水层的稳定性	0.03~0.05	
		构造及岩溶破坏的隔水层	裂隙微弱,多被充填,断层断距 > 0.5 倍隔水层厚度,破碎带钙质胶结	上下界面岩溶发育,但不影响隔水层的稳定性	> 0.05	
相对隔水层	泥灰岩、泥质砂质白云岩、碳质灰岩	完整的相对隔水层		上下界面无溶洞,相对隔水层本身无溶孔	0.01~0.05	
		轻微破坏的相对隔水层		相对隔水层本身有少量溶孔,上下界面 < 0.2 米岩溶,但不影响隔水层稳定	0.03~0.05	
		构造及岩溶破坏的相对隔水层		相对隔水层有较多溶孔,上下界面岩溶发育	> 0.05	

续表

类	岩性	亚类	主要特征			
			构造	岩溶	单位吸水量 (升/分·米·米)	上下含水层水 力联系指数
相对不透水层	灰岩、白云岩、灰质白云岩	完整的相对不透水层	裂隙微弱,无断层破坏	仅有小溶孔	0.03~0.05	
		构造及岩溶发育微弱的相对不透水层	有小断层破坏,但断层胶结较好	仅有小溶孔,局部有溶蚀裂隙	>0.05	

(引自《水利水电工程地质手册》)

- ② 岩层产状及其与河谷走向的关系;
- ③ 层面裂隙和节理裂隙与低邻谷的沟通;
- ④ 相对隔水层错断情况;
- ⑤ 断层性质和断裂带分布情况。

(3) 岩溶发育程度、类型和深度,特别是河间地块中的岩溶洞穴系统。

(4) 水文地质条件:

- ① 河谷水动力条件;
- ② 分水岭区地下水位与设计蓄水位关系。

(5) 坝区岩溶渗漏的基本因素:

- ① 河谷的地质结构;
- ② 岩溶发育的程度和深度;
- ③ 坝基地段地表下岩溶系统的充填与蓄水后库水位对充填物的影响;
- ④ 坝肩区山体中岩溶系统和充填与蓄水后库水位对其影响。

4.6.13.2 岩溶地区水工建设勘察内容

岩溶地区水工勘察,除遵循一般水工勘察原则之外,勘察内容按表 4.6-19 要求进行。

岩溶地区水库勘察内容

表 4.6-19

勘察阶段	勘察目的、内容	勘察及试验工作
规划阶段	初步查明岩溶发育程度和规律;查明河谷及库区岩溶地质条件;有无相对隔水层及其分布、厚度,地下水补排关系,地下水分水岭位置和高程;库区及坝区岩溶渗漏初步评价	航片解译;土层土工试验;库区水样水质分析
可行性研究阶段	查明岩溶形态、分布规律和古岩溶情况,查明库区特别是坝址区断层性质和坝区岩溶裂隙系统,查明相对隔水层厚度、分布延续性和封闭情况,查明库区土洞发育条件和岩溶塌陷情况,预测蓄水后地下水分岭可能的变化,分析渗漏地段范围、渗漏形式,估算渗漏量,初步评价坝基稳定性、防渗处理的必要性和可能性	岩溶微地貌调查,坝址区的物探、钻探;分水岭区水文地质调查,溶蚀试验、连通试验;压水试验、抽水试验,水点动态长观;岩土原位测试
招标设计阶段	查明库区地表下岩溶系统的分布,充填规律;查明坝区地表下岩溶发育的深度、分布充填规律,查明坝区山体中岩溶发育规律和溶蚀裂隙系统,查明渗漏地段的范围、深度,计算渗漏量和基坑涌水量,提出防渗处理的范围、深度和处理方案;提出蓄水后水文地质条件改变对稳定性和渗漏的影响	钻探、物探测井、大流量、大降深抽水试验,压水试验,注水试验,水点动态长期观测岩土原位测试和试验
施工阶段	防渗处理中需进一步查明的岩溶问题检查防渗处理的效果	动态长期观测,稳定性观测

4.6.14 线路岩溶岩土工程勘察要点

线路主要指铁路和公路,对其他线路(如供热、供水、供电线路;输送油气管路;工矿企业的专用铁路、公路、水管线路、高压线路、旅游区的架空索道等)可比照执行。

4.6.14.1 岩溶地区选线勘察要点

(1) 岩溶地区选线应避免在下列地带延伸,若不能绕避时,应以最大的交通角通过下列地带:

- 1) 可溶岩与非可溶岩的接触带;
- 2) 有利于岩溶发育的褶皱轴部和断裂带及其交汇处;
- 3) 岩溶水富集区及岩溶水排泄带;

(2) 在孤峰平原区,线路应选择在覆盖土层较厚、地下水位埋藏较深的地段通过,并宜避开下列地段:

- 1) 抽取地下水可能形成的最大下降漏斗范围;
- 2) 地表水位与地下水位变化幅度较大的地段;
- 3) 多元土层结构地段;

(3) 峰林谷地、峰丛洼地及溶丘洼地地区,线路宜选择在下列位置:

- 1) 靠山地段,并且高程高于岩溶的最高洪水位;
- 2) 线路避开垭口中心,选在地质条件较好的一侧通过;

(4) 位于洼地谷地和岩溶平原中的线路,宜采用石质路堤的形式,若受到岩溶水体危害时,应采用桥涵跨越的方式处理;

(5) 越岭线,宜在地下水分水岭通过,平面位置。宜在岩溶负地形之间,高程宜在垂直渗流带中,无条件时,也可在深部汇流带,不宜在水平径流节中;

(6) 河谷线宜选择在下列位置:

- 1) 岩溶发育较弱的一岸;
- 2) 位于高阶地上;
- 3) 位于负地形之间及垂直渗流带中;
- 4) 以河谷为排泄区的岩溶地段,则线路宜选择在位于岩溶安全带;
- 5) 由早期河流侧蚀作用造成,现存留在谷坡上的无水溶洞群地带,线路宜向山里靠;

(7) 当隧道位于水平流动带及深部缓流带中,宜采用“人”字坡平行导坑的设置并位于隧道迎地下水方向的一侧。

4.6.14.2 新建线路踏勘(卓测)阶段岩溶勘察要点

(1) 踏勘(或称草测)阶段岩溶岩土工程勘察应着重了解影响线路方案的岩溶岩土工程问题,为编制可行性研究报告提供岩溶地质资料;

(2) 踏勘(草测)阶段的岩溶勘察内容:

- 1) 搜集线路通过地区的区域地质、地貌、气象、卫星图象及航空象片等资料;
- 2) 通过航片判释和踏勘了解岩溶地区地层、岩性、构造、地貌、岩溶发育特征及其与线路方案的关系;

(3) 踏勘(草测)阶段的资料编制的要求:

1) 在岩土工程勘察总说明书中阐述控制线路方案的岩溶发育地段的特征,评价其对方案的影响,并对初勘工作的重点提出建议;

2) 在比例尺为 1:50000~1:200000 的全线工程地质图中,对控制线路方案的岩溶发育地段,用文字或图表简要说明可溶岩与非可溶岩的组合形成及岩溶发育的特征。

4.6.14.3 新建线路初勘(初测)岩溶勘察要点

(1) 初勘(测)阶段的线路岩溶勘察任务是查明线路各方案岩溶分布情况、发育规律和特征,为选线方案及初步设计提供岩土工程勘察资料。

(2) 线路初勘(测)阶段岩溶勘察应查明的问题:

- 1) 岩溶水文地质特征;
- 2) 地貌、地层、岩性、地质构造特征;
- 3) 岩溶地区产生地面塌陷的可能性。

(3) 遥感影像判释的要求是:

- 1) 判明岩溶地区的地貌、地层、时代、岩性成分、地质构造、可溶岩与非可溶岩的分布特征、接触关系、可溶岩结晶程度、产状层厚、风化程度、夹层情况等;
- 2) 判明岩溶发育区的漏斗、落水洞,溶蚀洼地、泉、暗河进出口等的分布位置。
- 3) 判明岩溶发育与阶地、剥蚀夷平面的关系,划分岩溶地貌单元。

(4) 初期阶段工程地质测绘的要求:

- 1) 岩溶地质复杂的工点及影响线路方案的地段,应进行区域地质测绘,其精度应符合比例尺为 1:10000~1:50000 的工程地质图的要求;
- 2) 在进行比例尺为 1:2000 的工程地质测绘中,在裸露型的岩溶区,与线路有关的岩溶点,应使用仪器测绘,对远离线路的岩溶点宜用半仪器法测绘,在半覆盖型或覆盖型的岩溶区,图幅范围内的岩溶点均应使用仪器测绘。

对岩溶地质复杂的隧道和长达 3km 或 3km 以上的隧道,则地质测绘应满足下列要求:

- 1) 区域地质测绘长达 3km 或 3km 以上的隧道地区,应利用遥感影像判释了解区域地质、地貌、岩溶富水构造等。
- 2) 区域地质测绘的范围应以查明地层、地质构造及岩溶的发育规律,满足隧道方案的比选为依据,宜包括岩溶水的补给边界或隔水边界要查明。
- 3) 控制性钻孔的目的主要是查明岩溶水的贮水构造、断层破碎带、岩体的溶蚀程度,孔深应根据路面设计高程、岩溶发育深度、岩溶排水基准面高程确定。

(5) 初勘对地貌与洞穴的调查内容

1) 应着重调查河谷至分水岭岩溶发育的平面分布特征、溶洞层的分布与河流阶地与剥蚀夷平面的关系;

2) 对正地形应调查其绝对高度与岩层厚度、产状、溶蚀程度、哑口形态与特征、丘、峰排列等特征;

3) 对负地形应调查的内容:

① 封闭洼地、串珠状洼地、干谷等应调查其排列方向、高程、分布范围、覆盖层性质与厚度,以及洼地、干谷的高程从分水岭的至排泄区递减分布规律;

② 竖井、漏斗、落水洞等应调查其分布位置、高程,形态尺寸,所在层位与岩性特征,节理裂隙发育程度、地貌单元周围水系和沟谷的变迁与沉积物的成分;

③ 岩溶盆地应调查其分布范围、水系发育特征、岩溶盆地边缘暗河、岩溶泉的出露位置、落水洞的消水特征、覆盖层性质、厚度等。

4) 应调查分析下列情况,判断与线路建设工程有关的近代岩溶基准面的存在形式与高程

① 可溶岩层底板与高程;

② 裸露型的岩溶区河流的最枯水位或高悬于河面以上的暗河或岩溶泉的高程;

③ 单侧或两侧为非可溶岩的分水岭地区,流经可溶岩中的河流或暗河、岩溶泉及其高程;

④ 覆盖型岩溶区、河水面以上的岩溶泉的高程;

⑤ 海平面;

5) 溶洞、竖井、漏斗、洼地、落水洞、塌陷、岩溶泉、暗河等,应作观测点或填调查卡片,在现场应使用油漆编号;

6) 与线路有关的洞穴、竖井、暗河等,凡是人能进入洞内的都应进行洞内实地测绘,其内容要求:

① 洞口位置洞底高程,所在层位岩性和地质构造特征,洞壁完整性及稳定程度;

② 洞穴规模、层数及延伸变化;

③ 洞内地下水枯、洪水位的调查并实测流量;

④ 洞内充填情况,化学沉积物、机械、堆积物的物理力学性质及化学成分等;

⑤ 实测及绘制线路附近的洞穴平面图和代表性的纵横断面图,并附简要说明。

⑥ 远离线路的洞穴,调查后可列表及附简要说明。

7) 应查明与线路有关的暗河、岩溶泉流量的动态变化及补给、径流、排泄特征,并作连通试验。

(6) 对岩溶区的断裂构造应着重调查下列内容:

1) 断裂的力学性质、产状;

2) 断裂带的破碎程度、宽度、胶结程度,阻水与导水条件;

3) 断层交接部位断裂延伸方向与岩溶发育的关系;

4) 对岩溶区的褶皱构造应着重调查下列内容:

① 褶曲轴部的倾伏端,仰起端等转折部位的特征与岩溶发育的关系;

② 褶曲各部位的节理、裂隙性质及岩体破碎程度;

③ 沿褶曲轴延伸方向的岩溶发育规律。

(7) 水文地质调查

1) 应调查岩溶地层的富水程度、圈定贮水构造的范围;

2) 岩溶水点的调查,包括岩溶泉、落水洞、暗河、潭湖等,调查内容要求:

① 所在地层层位、岩性、地貌及地质构造特征;

② 岩溶水出露的形式;

③ 水点的高程、水位、埋深、水深、流量以及变幅,观察流水痕迹;

④ 水的物理性质,如颜色臭味、味道、透明度等,并记录水温、洞温、气温;

⑤ 采取代表性水样进行水质分析;

⑥ 绘水点示意图,必要时进行素描或摄影。

3) 岩溶地层中的钻孔及水井应查明以下列情况:

- ① 所在位置、高程、深度;
- ② 出水层位、岩性特征、含水层厚度;
- ③ 潜水位或承压水位高程;
- ④ 钻孔、井结构;
- ⑤ 日取水量、水位降深值;
- ⑥ 井水泥砂含量及变化情况;
- ⑦ 井(孔)周围塌陷史。

4) 对突水的人工坑道和洞室应搜集下列资料:

- ① 突水位置、高程、突水口形态;
- ② 突水地层、岩性、突水量、持续时间,疏干范围;
- ③ 人工坑道和洞室施工方法;
- ④ 突水与大气降水、地表水之间的关系;
- ⑤ 突水后是否引起地面塌陷。

5) 岩溶区补给、径流、排泄条件的调查内容:

① 岩溶水的补给来源、补给范围、覆盖层、植被、地形对降雨入渗的影响,地表、地下水分水岭位置;

② 岩溶含水层性质,水位降深、较集中的岩溶水流的分布范围,含水层与上覆盖层及下伏非碳酸盐类岩层水的联系、地下水的流速、流向、水力坡度等;

③ 岩溶区的汇水面积与集水面积;

④ 岩溶含水层的排泄方式、排泄位置及少量随季节变化的特征;

⑤ 岩溶水与地表水之间的相互转化关系。

6) 为确定地下水分水岭的位置,应对地表分水岭两侧的暗河、竖井、钻孔水位进行调查。为查明地下洞穴连通情况和地下水之间的联系,应作连通试验;为查明岩溶富水性和含水带的水文地质参数,必要时应作抽水试验。

(8) 初勘阶段线路岩溶勘察时勘探点的布设,应重点放在控制线路方案的岩溶发育地段及重大工点上;应根据工点的研究程度、探测对象,工程类型、建筑物具体位置和设计 requirements 等综合考虑后合理地确定。

1) 特大桥、高桥,岩溶地质复杂的大中桥应进行控制性勘探。地形条件适宜时,应用物探的探测方法,在每一工点的控制性钻孔应不少于2个孔。孔深宜深入完整基岩下5~10m,在该深度遇有溶洞时,应在洞底板下钻进完整基岩3~5m,必要时,应钻至当地侵蚀基准面高程。

2) 隧道场地勘探:

① 应以物探为主,结合地质测绘和遥感影像判释资料布置勘探工作量。

② 沿隧道中线和断裂破碎带、褶皱带轴部、可溶岩与非可溶岩接触带布置勘探线。查明洞身不同地段的岩溶发育程度和发育规律、岩溶洞穴的含水特性等。

③ 在已判定的岩溶发育带和物性指标异常带布置钻孔,查明岩溶发育程度、基本形态和规模、洞穴充填物性状、岩溶的富水性,岩溶水的补给、径流和排泄条件。

④ 钻孔深度,在钻入隧道底板设计标高以下完整基岩的要求同上。

3) 钻探资料的编录,除应符合表 4.6-20 和表 4.6-21 的要求外,在钻进过程中,尚应记录的内容:

岩石的现场描述内容

表 4.6-20

描述内容 岩类	岩石的现场描述内容													
	岩石名称	岩石代号	颜色	主要组成矿物(成分)	体积百分比含量	结构	构造	坚固性	风化程度	破碎程度	产状	胶结物成分	胶结程度	
岩浆岩、变质岩	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√			
沉积岩、火山碎屑岩	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	

注:√表示必须描述

土的现场描述内容

表 4.6-21

描述内容 土类	土的现场描述内容																			
	土名称	土代号	俗称	成因类型	颜色	主要成分	结构与构造	巨粒含量	粗粒含量	粗粒硬度	细粒含量	细粒成分	级配	颗粒形状	颗粒风化程度	胶结情况	密实度	湿度	稠度	有机质含量
巨粒土和含巨粒的土	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
粗粒土	√	√	√	√	√	√	√	√			√	√	√	√	√	√	√	√		
细粒土	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√						√	√	√	√	√

注:√表示必须描述。

- ① 钻进过程钻具自然下落和自然减压的起止深度和状况;
- ② 溶洞内填充情况,发出隆隆声音的情况;
- ③ 遇溶洞破碎岩层时,孔内发生掉块的情况;
- ④ 钻具发生跳动的起止深度;
- ⑤ 钻进过程中,孔内冲洗液变化情况、孔内漏水、涌水情况。

(9) 初勘阶段岩溶勘察试验的内容:

- 1) 地表水、地下水的水质分析和水的腐蚀性试验;
- 2) 采取具有代表性的不同层位的碳酸盐岩石试样,作镜下鉴定及化学成分分析;
- 3) 在覆盖型岩溶区的地面塌陷地段,应采取原状土样作物理力学性质试验和化学成分分析。

(10) 初勘阶段资料编制要求:

1) 在全线综合资料中,要编入岩溶的内容,论述岩溶在水平和垂直方向上的发育强与分布规律;结合地形地貌特征,第四系地层的岩性、厚度、物理力学特征、路基挖填进行工程地质分区,评价各区的稳定性;论述桥、隧道场地的岩土工程条件和岩溶发育特点,洞穴;规模、充填物性状,富水程度,评价场地的适宜件和桥基与隧道围岩的稳定性;提出治理方案;

2) 对图件内容要求:

① 控制线路方案的岩溶复杂地段,应编制比例尺为 1:5000~1:50000 的区域岩溶工程地质图;

② 编制纵横断面图,可按路基、桥、隧道中心绘制,其比例尺纵断面水平为 1:5000~1:10000,垂直为 1:100~1:1000,也可根据需要情况而定;

3) 测区内岩溶洞穴、暗河实测平面图及纵、横断面图,比例尺视具体情况而定;

4) 列为初步设计的岩溶工点的图件内容:岩溶工点的勘察说明,内容包括岩溶发育的地形、地貌、地质、气象条件、岩溶发育的一般规律、岩溶水文地质特征、工点的岩土工程评价、线路通过位置的建议;

5) 比例尺为 1:2000 岩溶工程地质图(只在岩溶复杂时作),其内容包括溶岩层组类型的划分,主要岩溶点的位置,结合地貌、岩性、地质构造、岩溶形态、岩溶点数,进行发育程度及其危害性的分区,并附有分区原则及分区特征的说明;

6) 提供岩溶工程地质纵、横断面图,其内容应包括地层、岩性、构造形态、洞穴位置、地下水位高程并划分岩溶发育带;

7) 岩溶场地稳定性分析分区图,应根据岩溶发育程度,基本形态、洞穴规模、路堑路基设计标高以下或路堤原始地面下的第四系土层厚度和洞穴顶板岩体厚度等条件进行分区(场地可分为无岩溶区、岩溶不发育区,岩溶发育场地稳定区和岩溶发育场地不稳定区)。

4.6.14.4 新建线路定测(详勘)阶段岩溶勘察要点

(1) 定测阶段的任务是详细查明采用方案沿线岩溶溶洞和土洞的分布、发育的规律性和特征,确定线路具体位置,为工程设计提供岩溶勘察资料。

(2) 定测阶段线路岩溶勘察的测绘、勘探测试和试验的重点应放在工点上。

(3) 对线路附近的溶洞、暗河、岩溶竖井等岩溶形态位置、规模、埋深、洞穴的顶板岩体厚度、洞穴充填情况等;岩溶水的埋藏条件,水动力特征、水位标高及变化幅度,补给、径流、排泄条件;初勘测绘时未进行实测的部分补测,已经实测过的地方进行核对。

(4) 勘探工作,需在工程地质测绘的基础上布置,应以物探与钻探相结合。查明建筑物附近及其应力影响范围内的岩溶裂隙、空洞大小,高程及充填物性质。

(5) 为查明各类建筑物地基的稳定性,勘探方法应以钻探为主,勘探点的数量和深度应按下列原则考虑确定:

1) 路基、站场、房屋建筑:在裸露型及半覆盖型岩溶区,宜使用钎探、挖探或钻探,钻探主要用于查明覆盖较厚的勘探点上,钻探并辅以物探的方法。查明基底岩溶洞穴的分布;

2) 隧道对不同含水层段及断裂破碎带应布置代表性的钻孔,以查明岩溶洞穴及岩溶水;

3) 对孔内进行物探,水文地质试验,地下水进行动态观测;

4) 勘探点的数量要结合桥式布置和基础类型确定:

① 岩溶复杂地段的桥基勘探次数应不少于两次;

② 特大、大、中、小桥的明挖基础应在基础中心布一孔。高桥的明挖基础应在基础的任一对角线上布置 2 个勘探孔,若发现有溶洞,应适当增加钻孔或专门研究确定;

③ 沉井基础每墩宜布置 4 孔,若溶蚀严重,基岩面参差不齐,则应增加钻孔;

④ 桩柱基础宜每桩 1 孔,对摩擦桩基础,每墩、台宜不少于 2 孔。

5) 钻孔深度宜钻至线路设计标高或建筑物基础以下 10m,桩基础宜至桩尖下 10m,在此深度内遇溶洞时,钻孔深度要结合工程措施专门研究确定。

(6) 在岩溶发育地段,为查明岩溶洞穴及岩溶含水层的位置,宜在孔内作综合测井、电磁波透视、跨孔声波测试。

(7) 当建筑物基础下和建筑物影响范围内,有洞穴并且人能进入者,应搜集下列资料:

1) 洞穴顶板节理、裂隙的分布与充填、胶结程度,洞顶板岩层产状、单层厚度,洞顶、洞

底、洞壁完整程度；

- 2) 洞穴形态尺寸,建筑物跨越洞穴的宽度、洞顶板至建筑物基底之间的岩层厚度；
- 3) 洞内有无沉积物及其性状,有无积水痕迹,有无搬运能力；
- 4) 若洞顶板较薄,需作验算时,应取样作岩石密度、弹性模量、泊松比和抗拉、抗压强度

试验。

(8) 线路岩溶详勘对试验与测试的要求：

1) 对地基中的洞穴顶板岩石进行下列内容的试验：

- ① 饱和单轴抗压强度；
- ② 岩石的黏聚力；
- ③ 内摩擦角；
- ④ 弹性模量；
- ⑤ 泊松比；
- ⑥ 剪切模量；
- ⑦ 计算摩擦角等。

2) 对隧道洞体上部 2.5 倍洞径高度范围内的围岩进行下列试验：

- ① 天然状态和饱和状态岩石单轴抗压强度；
- ② 岩石弹性抗力系数；
- ③ 岩石的黏聚力；
- ④ 内摩擦角；
- ⑤ 弹性模量；
- ⑥ 泊松比；
- ⑦ 剪切模量。有条件时,测定围岩的弹性波的波速。

3) 对深挖路堑和隧道洞身附近的岩溶含水带,进行抽水试验,查明含水带的水文地质特征。

4) 对地下水和地表水进行水质分析,判断其对建筑材料的腐蚀性。

(9) 资料整理的要求：

1) 勘察说明书(或岩土工程(地质)勘察报告)：

① 论述场地的岩土工程条件,评述岩溶发育带的岩溶发育特征和稳定性,岩溶水的埋藏条件和水动力特征,评价岩溶发育带路基的安全和稳定性,岩溶水对路基的危害；

② 对危害路基安全和稳定的岩溶洞穴和岩溶水提出整治措施；

③ 论述桥址区岩土工程条件和岩溶的发育强度,基本形态和规模,评价桥基的稳定性。可能时提出洞穴顶板体的安全厚度。对影响桥基稳定的岩溶洞穴提出治理措施；

④ 详述隧道场地的岩土工程条件和岩溶发育程度、分布规律、岩溶水带的水文地质特征、分析评价岩溶洞穴的岩溶水对隧道安全和稳定的影响及给施工和运营造成的危害；

⑤ 对岩溶洞穴和岩溶水提出治理措施。

2) 场地工程地质图,按路、桥、隧道不同:工程场地分别绘制,除反应出一般工程地质条件外,重点标出与岩溶及岩溶水有关的工程地质现象。其比例尺要求为 1:5000~1:2000；

3) 工程地质纵断面图,按路、桥、隧道等工程绘制,比例尺水平为 1:5000~1:2000,垂直 1:500~1:1000；

- 4) 岩溶发育带有关断面图;
 - 5) 岩土水的试验成果;
 - 6) 钻孔柱状图、物探资料成果。
- (10) 对岩溶进行治理的原则及措施(见表 4.6-22)。

对岩溶进行治理的原则及措施

表 4.6-22

项 目	治 理 原 则	治 理 措 施
岩溶水的处理	<p>岩溶水情况复杂难以查清,且危害较大时,对岩溶水的处理应遵循下列原则:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 对水量的评价宁大勿小; 2 排水建筑物宁宽勿窄; 3 采用桥梁跨越比涵洞好; 4 疏导比堵截好; 5 为防止引起地面塌陷时,则堵塞又比疏导优越 	<ol style="list-style-type: none"> 1 疏干排泄,设置与水流方向垂直的截流盲沟、截水洞、截水墙等; 2 流量流速较大,可能淹没农田或线路时,可设桥涵、泄水洞; 3 为保持岩溶泉正常出水,或保持消水洞消水,或防止消水,以及需要提高水位时可采用围堰、围栏; 4 地下水量少而分散时,可用砂浆、黏土,化学浆液注浆及浆砌片石堵塞
岩溶洞穴处理	<ol style="list-style-type: none"> 1 防止洞穴坍塌,采取处理措施加强顶板的稳定性; 2 能自立者,不要处理,需作经济技术比较,能跨则跨,能堵则堵,需作多方案比较; 3 与当地已有材料结合考虑 	<ol style="list-style-type: none"> 1 可采用跨越空洞的梁跨、拱跨,及盖板等; 2 采用各种类型的桩基、浆砌支柱、混凝土块;锚杆锚固、回填堵塞加固; 3 遇石芽时,凿平、清除充填物后,用圬工嵌补平整
岩溶洞穴堆积物的处理	<p>研究调查测绘资料,根据工程用途、目的考虑处理措施,采用经济的办法加以处理</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 堆积物不易清除时,可换填或风干,采取桩基或筏板基础; 2 对基础下的块石堆积及石笋、石钟乳、石柱等宜爆破清除; 3 对较厚层松散块石、堆积物宜注浆处理; 4 对黏土、砂土及砾石、碎石堆积物作基础时,可用旋喷桩加固
对岩溶地面塌陷的处理	<p>应针对塌陷产生的成因类型岩层结构、地形地貌、地质构造、第四纪覆盖层厚度、岩性、地下水的流量、流速综合因素分析后提出处理方案,并论证其经济性,可靠性,可行性再付诸实施</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 因雨水渗入土层引起塌陷时,可采用地面捧水、封闭路基、路面、压浆等; 2 因河水位涨落引起地面塌陷可采用封闭洞穴、加固基础等; 3 因地下水位下降引起塌陷时,可采用恢复水位、钻孔充气、帷幕灌浆、隔水等; 4 可根据具体情况,有针对性地采用碎石路堤、带洞路基墙、桩基、栈桥、桥跨、扣轨梁、框架等结构,以及压浆,网格板垫层,强夯、旋喷桩,换填土等处理措施

(11) 对岩溶洞穴顶板安全厚度要进行评价,当建(构)筑物位于岩溶洞穴之上,而溶洞顶板厚度又符下列条件时,可认为该场地是安全稳定的:

- 1) 对于非完整的溶洞顶板,其厚度大于溶洞高度的 5 倍;
- 2) 对完整溶洞顶板,其厚度与溶洞最大跨度之比大于 0.5。

(12) 定测资料编制,除在全线地质综合资料中编入岩溶内容外,对工点资料的要求:

1) 编岩溶工点勘察说明时,除满足一般要求外,还要补充下列内容:

- ① 岩溶发育的地质、地貌、气象条件;
- ② 岩溶发育特征及一般规律;
- ③ 工点岩溶岩土工程条件评价;

④ 工程处理措施意见。

2) 岩溶复杂时,单独编制 1:500~1:2000 比例尺的工点岩溶工程地质图及纵、横断面图。

3) 提供各类建筑物设计所需要的洞穴、岩溶水点位置及简要说明。

4) 提供洞穴板顶稳定性评价所需要的调查、测试资料。

5) 提供隧道排水设计所需要的漏水量资料。

(13) 公路岩溶勘察对岩溶地貌的分类(见表 4.6-23)。

公路岩溶勘察对岩溶地貌的分类

表 4.6-23

地貌类型	主要特征	简要说明
残丘洼地	多发育在分水岭地带,小型洼地、槽谷与高差不大的山丘相间,地表崎岖坎坷,岩溶水多沿溶蚀裂隙活动,隐蔽型岩溶形态一般不太发育	岩溶发育一般,水害不甚突出
峰丛洼地	山峰间有哑口,峰丛间有洼地,槽谷和坡立谷,洼地谷底有溶蚀漏斗、溶蚀竖井和落水洞等分布,地表水通过小型裸露型岩溶形态进入地下排泄于深切峡谷或侵蚀沟谷	地表高差增大,岩溶相间,路基水害突出,并存在路基基底塌陷问题
峰林洼地	峰林与洼地和谷地相间,山峰挺拔,高差增大,洼地、槽谷发育,地表流水展宽,成为地下岩溶水的局部排泄基准。坡立谷平原上有黏土覆盖物,裸露型岩溶形态和地表塌陷,孤峰挺立,地下常有多层水平溶洞	谷底开阔,岩溶发育成熟,隐蔽型岩溶形态广泛发育,路基水害及路基基底塌陷问题甚为突出
溶蚀平原	地表河流迂回曲折,地下隐蔽岩溶形态纵横交错成网状,具强烈水力联系和统一潜水面,平原上黏性土覆盖层深厚,裸露型岩溶形态和地表塌陷发育,仅有零星孤峰、局部地带带有石芽地分布	应注意隐蔽型岩溶形态及水淹路基问题

初勘阶段公路岩溶勘察对岩溶发育形态的分类列入表 4.6-24 中。

公路岩溶勘察对岩溶发育形态的分类

表 4.6-24

岩溶类型	主要岩溶发育形态及其特性	简要说明
裸露型岩溶	岩溶孔洞出露地面,并向地下大致竖向延伸,如溶蚀漏斗、溶洞、溶孔、溶蚀裂隙,溶蚀竖井、落水洞等	<ol style="list-style-type: none"> 1. 无水力联系时,一般无严重危害,埋藏浅时采用填塞措施,埋藏较深时,常用盖板封闭。当被后期松散堆积物充填时,应注意建筑物基底的不均匀沉降问题。 2. 有水力联系时,岩溶水常随季节变化发生间歇或周期性的消水与涌水现象,或因排泄通道不畅或排泄能力不足,而产生路基冒水或水淹路基、造成水害。除考虑跨越方式外,应根据水力联系情况和地形条件,注意提高路基设计标高,或采取明沟、泄水洞等有效的疏导措施,当被后期松散沉积物充填时,要考虑岩溶水的动态变化以及沉积物发生潜蚀或自重或外荷载作用,可能引起地表塌陷,而影响路基或其他建筑物的稳定性
隐蔽型岩溶	岩溶洞,穴隐蔽于地面以下,大致水平方向横向延伸,如地下溶洞、土洞,地下河、地下湖等	<ol style="list-style-type: none"> 1. 无水力联系时,顶板岩层完整且厚度较大,无不良影响;当顶板持力层厚度不足或岩层比较破碎时,要考虑在外荷载或振动作用下,有可能产生坍塌,使路基或建筑于路基上的其他构造物遭到破坏; 2. 有水力联系时,除存在上述裸露型岩溶有水力联系时的情况外,当利用溶洞扩建隧洞时,应根据水文和水力联系情况:要慎重考虑,是否存在洪水的威胁问题

4.6.14.5 改建既有线路,增建第二线路岩溶勘察要求

a. 应充分利用既有线路在勘察、设计、施工及运营期间积累的岩溶勘察资料和已有的防治措施;

b. 应调查岩溶区既有线路建筑的稳定状态,变形情况、工程处理措施;

c. 增建第二线并肩、平行地段应根据岩溶的岩土工程条件选择线路左、右侧的位置。

4.6.14.6 线路施工阶段岩溶勘察要点

(1) 施工阶段岩溶岩土工程勘察的任务

a. 对岩溶复杂地段进行调查;

b. 解决施工中揭露的岩溶问题;

c. 提供变更设计所需的岩溶勘察资料。

(2) 线路施工阶段岩溶勘察内容

a. 对施工中遇到岩溶突水、突泥、突砂的地段,应采取超前钻探、地震波、声波探测等方法加强预报。

b. 对施工阶段揭露的溶洞、暗河等应搜集详细的资料,在未查明情况前,不应随意爆破或用弃渣填塞。

c. 施工中揭露的岩溶水,应观测其流量大小及变幅、追溯来源,必要时作连通试验。岩溶水与圬工有关时,应取水样作侵蚀性分析。

d. 施工时产生突水,突泥引起地面塌陷及变形的地段,应进行观测监视,提出处理措施。

e. 对路基附近的落水洞、暗河出口、岩溶泉的排水通道不宜随意封堵。

f. 施工过程中,应对岩溶发育地段的隧道基底、路堑、堑底进行复查,了解有无洞穴及溶隙存在。

(3) 线路岩溶勘察竣工资料编制要求的补充

a. 竣工的岩土工程勘察说明应补充下列内容:

① 岩溶洞穴的分布,规模;

② 突水、突泥的里程,日期、突水量;

③ 对施工造成的危害、工程处理措施及效果;

④ 运营期间应注意的问题。

b. 修正后的溶洞平面图及纵横断面图。

c. 编制施工中揭露的溶洞的平面图及纵横断面图。

(4) 线路运营期间岩溶勘察内容补充要求

a. 运营期间应对建筑物附近的洞穴、暗河及人工排水建(构)筑物进行检查,观察其有无危及建(构)筑物的变化并提出防范措施;

b. 对线路沿线的岩溶洞穴和塌陷处理后除进行登记外,应设固定标志以备查;

c. 在覆盖型岩溶区,抽取地下水时,应符合下列规定:

① 禁止在线路用地范围内打井取用岩溶水;

② 线路沿线已有的抽水井,应限制抽水量,降深,并进行监测;

③ 拟在线路沿线新增抽水井者,应与线路主管部门取得联系。有争执时,应向当地政府反映仲裁。

4.6.15 岩溶塌陷

岩溶塌陷一般系为岩溶地区土层中的塌陷、岩溶基岩中的塌陷和上覆土层同下伏基岩一起坍塌的塌陷的统称。本节则主要以岩土工程中大量遇到的岩溶地区土层中的塌陷作为勘察对象,即:在覆盖型岩溶地区,由于土层中土洞的发展,导致地面陷落而产生地表变形和破坏所形成的负地形,称为岩溶塌陷。

岩溶塌陷是岩溶环境灾害之一,它破坏了土地资源,影响土地开发利用,甚至破坏原地面上的工程建筑设施,或影响地面下的矿产(包括地下水,石油等)资源的开发。

岩溶塌陷虽有突发性,但其前身的土洞,是在某些因素作用下曾多数是长期发育而形成的,因而,对土洞的调查;勘探、治理和预报是岩溶塌陷区重要的岩土工程之一。

4.6.15.1 岩溶塌陷的形成因素

覆盖型岩溶地区的岩溶塌陷是由覆盖层中的土洞发展而发生的,见图 4.6-11 土洞形成的基本条件是:

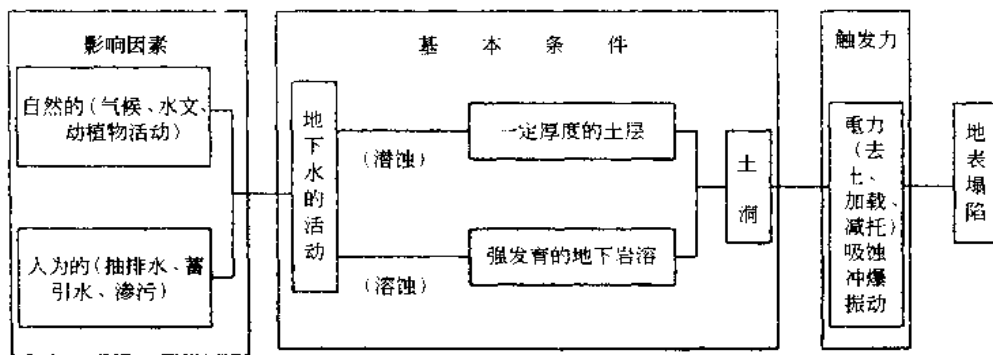


图 4.6-11 岩溶塌陷框图

- ① 基岩的岩溶发育程度;② 土层的性质;③ 地下水的活动特征;

自然的因素是长期地和经常地通过影响地下水的水质、水量、水力采溶蚀可溶岩、潜蚀土层而孕育、发展土洞的;人为的因素则通过这些作用加速土洞的发展,加强塌陷的规模,加剧塌陷的危害。

a. 岩溶塌陷处下伏基岩的岩溶发育程度是强烈的,而岩溶发育程度弱的地段则塌陷少见(见表 4.6-25)。岩溶塌陷主要是与浅部岩溶发育程度密切相关。

凡口矿区岩溶率与塌陷关系

表 4.6-25

岩溶发育程度	岩溶率	水位降低(m)	撑水量(ms/h)	塌坑数(个)
岩溶发育强烈的	19.08	13.48	5900	24
岩溶发育中等的	4.01	36.35	4800	5
岩溶发育弱的	1.96	28.39	3700	仅开裂下沉

浅部岩溶是指基岩表面的溶芽和溶沟槽部分,和低基岩面以下约 10m 范围内的洞穴或溶隙发育段。可用钻探,物探等方法测量,如表 4.6-26 所示。基岩面的起伏程度,可用单位

面积的溶沟槽数量、基岩面埋深的均方差来表征。

电测曲线特征与岩溶关系

表 4.6-26

地质特点	电测深等 ρ_s 断面图	电测深曲线		ρ_s 平面等值线图	电测剖面		备注
		布极方向平行地质体走向	布极方向垂直地质体走向		四级对称剖面法	联合剖面法	
充泥充水溶洞	在相应深度上等值线有低阻	曲线畸变或出现不正常脱节, 溶洞大者尾支小于 45°		有面积极小的低阻封闭区	ρ_s 曲线呈低阻	有低阻正交点或 ρ_s^A 与 ρ_s^B 同时下降	
不同电性岩层接触带	接触带处等值线密集呈阶梯状	ρ_s 曲线受界面影响升高或尾支小于 45°	ρ_s 曲线有拐曲脱节点, 张口大	接触带附近等值线密集, 梯度大	ρ_s 曲线呈阶梯状	ρ_s^A 、 ρ_s^B 同步起伏, 或阶梯状或有正交点(接触面易于风化破碎)	测深曲线、畸变的先后, 大小与测点相对接触带的距离有关
充泥充水的断裂溶蚀带	断层带处等值线密集, 且呈阶梯状或漏斗状	ρ_s 曲线受界面影响升高或尾支小于 45°	ρ_s 曲线有拐曲脱节点, 张口大	ρ_s 等值线呈低阻条带状	ρ_s 曲线呈低阻	有正交点或 ρ_s^A 、 ρ_s^B 同步降低	测深曲线畸变的先后, 大小与测点相对接触带的距离有关
溶沟与溶槽	浅部有同上特点或小封闭低阻区	ρ_s 曲线出现不正常脱节, 曲线类型不一		ρ_s 等值线有窄条状低阻带	ρ_s 曲线呈狭窄低阻	有正交点或 ρ_s^A 、 ρ_s^B 同步降低	溶沟溶槽一般发育于基岩表面, 埋藏较浅
基岩凹陷	相应深度上凹陷边缘等 ρ_s 线呈阶梯状, 其间平缓, 呈低阻反映	平行凹陷移动时, 极小点横坐标 (AB/2) 值变化不大	垂直凹陷移动时, 极小点横坐标 (AB/2) 值有由小至大再到小的变化	ρ_s 等值线有较广的低区, 其边缘, 梯度大	ρ_s 曲线有较宽的低阻段	有低阻正交点, 在其附近 ρ_s 曲线呈凹槽	基岩凹陷一般规模较大, 对测深布极方向影响不大
地下热水带	在相应深度上有低阻分布区	受热矿水影响的 ρ_s 曲线显著降低		有低阻分布区	ρ_s 曲线呈低阻带	有正交点	热矿水电阻率只有几欧姆·米

b. 土层是土洞形成和塌陷发生的物质基础。土层的成因类型, 矿物成分, 岩性、颗粒成份、结构构造, 物理力学性质、水理性质、状态、厚度等, 影响着土洞的形成和发展的快慢, 土层的厚度, 还控制或影响塌陷的形态与规模(见表 4.6-27 和表 4.6-28)。

主要塌陷点第四系厚度统计表

表 4.6-27

第四系厚度(m)	塌陷点数(个)	所占(%)	说明
<10	36	69.2	以黏土、粉质黏土为主
10~20	15	28.8	以黏土、砂砾石为主
20~30	1	2.0	粉土、砂砾石
合计	52	100	—

漏、地表水体的解释),填大比例尺的地质图。

b. 调查已有建筑物、场地的地势及历史变迁,查明附近的水井供水、水管铺设、地表水体、墓地等基本情况。

c. 必要时通过物探,探明地下土洞的位置与分布,密度,范围;电测曲线特征与岩溶发育的关系列入表 4.6-26。

d. 布置一定数量的钻探,查明覆盖层下伏的岩性、构造,并取土试样、水试样,进行室内土试验,对物探结果进行重点验证。必要时布置抽水试验以查清地表水与地下水的水力联系。

e. 进行岩溶地面塌陷的调查

1) 应查明覆盖层成因、分布范围、性质、厚度等;

2) 应查明地下水补给来源、埋深,各含水层间的水力联系,地下水开采量,开采方式,岩溶地面塌陷与地表水,地下水水位升降之间的关系;

3) 列为重点整治的岩溶地面塌陷工点,应查明地下水水位变幅与降雨量的关系;

4) 应查明碳酸岩的分布范围,溶蚀程度及与构造线的关系;

5) 应调查塌陷形成的原因、过程、规模、密度,分布规律、工程处理措施及效果;

6) 对个体塌陷(陷坑)的调查的内容:

① 陷坑的位置、形态、大小、陷坑壁倾斜方向等;

② 陷坑发生的时间、原因;

③ 陷坑与抽水钻孔,排水坑道,河床位置及高程之间的关系;

④ 陷坑的发生与大气降水的关系;

⑤ 覆盖层的性质、厚度;

7) 岩溶地面塌陷较多的地段或工点,宜绘制比例尺为 1:500~1:2000 岩溶地面塌陷分布图,或与工程地质平面图合并;

8) 外业调查的项目可按表表 4.6-30 和表表 4.6-31 格式填列。

岩溶塌陷调查表

表 4.6-30

陷穴 编号	里程	塌陷情况				土层情况				井泉 分布	危害 情况	处理经过 效果及塌 陷原因	地貌	构造及 岩性	草图
		塌陷经过	陷穴形状 尺寸 m ²	陷穴距抽 水点距离 m	陷穴中基 岩土层及 溶蚀情况	名称	厚度	取土							
								编号	编号						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

调查者 年 月 日

复核者 年 月 日

线路沿线岩溶可能塌陷地质调查表

表 4.6-31

序号	里程	地名	工程名称	土层分布最 大密度(m)	土层名称 及分层	土层厚度 (m)	水位埋深 (m)	地下水变动后 的埋深(m)	地貌类型(平原、岩 溶洼地斜坡山地等)

调查者 年 月 日

复核者 年 月 日

f. 利用已塌区的资料预测未塌区的塌陷可能发展趋势,以助对未塌陷地段的预测。

g. 做好岩溶塌陷监测

包括地面、建筑物、抽、排水点、渗漏点、岩溶泉等,对已出现的塌陷的发展趋势进行长期观测。结束时各个监测点要做移交。使之监测工作不致中断。避免那些需要长期观测点监测工作遭受中断。

监测内容包括水位变化、水质变化(含泥量、化学成分)地表水、岩溶泉的水位、水量的变化、建(构)筑物的开裂、下沉、位移倾斜的观测。

h. 岩溶相对稳定性分区(见表 4.6-32)。

岩溶发育分区与相对稳定性的关系

表 4.6-32

相对稳定性划分	岩溶发育分区	钻孔线岩溶率(%)
极不稳定	极强烈发育岩溶区	>15
不稳定	强烈发育岩溶区	10~15
中等稳定	中等发育岩溶区	3~10
稳定	弱岩溶区	<3

岩溶塌陷的防治原则和措施(见表 4.6-33)

岩溶塌陷的防治原则与措施

表 4.6-33

防治原则	防治措施
<ol style="list-style-type: none"> 1. 勘察设计过程中,要认真地研究环境工程地质条件,避开塌陷不稳定区或严重渗漏区,选择稳定性较好的场地用于工程建设; 2. 由于某些特定因素决定必须把建设场地选择在稳定性较差场地时,要提出经济合理的治理方案,经过充分论证后,提出最优化的方案; 3. 要事先做好场地塌陷的预测,避免塌陷危害、威胁地面建(构)筑物的稳定和人类生命财产的安全; 4. 对于开采地下资源(含矿床开采)而进行抽捧水或掘进等引起了矿坑涌突水时,要及时采取适宜的防治措施,加以撑除,以保证顺利进行资源开发。尽可能采取疏导,不得已时方可考虑堵截的方案; 5. 宜开采深部岩溶水水的抽取或捧放时,要合理控制地下水的下降速度,尽可能利用排水疏干下降漏斗中心地段布置建(构)筑物,水源地的布置开采要合理,防止乱采乱抽,要加强水资源管理措施; 6. 防止场地地面积水,避免地表水大量下渗,减少和杜绝地下水位在基岩面附近波动; 7. 要持续进行地下水观测点站,避免中断,勘察工作结束时,要做好移交工作; 8. 必要时,在设计中采用抗塌结构; 9. 注意积累地方塌陷的观测资料的整理建档,防止零散和遗失 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 通过工程地质测绘和调查、钻探、物探和有关的试验,查清勘察场地引起塌陷的可能性和场地的稳定性。作出评价; 2. 遇塌陷场地应绕避塌陷区,建(构)筑物宜布置在环境工程地质条件好的地区; 3. 对于某些不可绕避的塌陷区;要采取适当的措施进行治理。当水文地质条件有利时,可采取压力灌浆的方法进行帷幕灌浆,解决场地不稳定或渗漏等问题; 4. 对于相对封闭的岩溶网络地段,可设置通气孔,以防止产生负压(真空吸蚀或高压冲爆)作用,把钻孔打入岩溶通道并下入钢管或铸铁管使之与大气连通。也可利用塌陷坑埋设通气管通气; 5. 条件适宜时可把基础直接放置在稳定的基岩上,否则可利用桩基; 6. 合理选择和布置水源地,井管结构采用必要的过滤措施,防止抽水过程中淘刷土体颗粒; 7. 对已产生塌陷的地区和土洞,要进行填堵,当填堵无效或不经济时,再考虑其他较为经济的治理方法; 8. 条件时可采用直梁、拱梁和八字梁、筏板的方法跨越经过处理的地面塌陷坑; 9. 对于土层较厚,已有塌坑较多的场地,宜采用强夯的办法将塌坑分层填塞夯实

4.6.16 岩溶渗漏问题的评价

4.6.16.1 岩溶渗漏问题评价的基本原则

岩溶渗漏是指库(池)水通过河间地块、坝基或坝肩的岩溶通道向邻谷和坝下游漏失的

现象。岩溶渗漏包括邻谷渗漏、下游渗漏、坝基渗漏、绕坝渗漏等；

a. 评价岩溶渗漏问题,主要应从区域和工程区岩溶详细调查和渗流条件的宏观分析入手,结合渗漏估算,作出综合评价；

b. 评价时必须掌握的资料；

① 岩溶发育规律,其中包括各种岩溶形态、发育程度、空间、分布规律及其与岩性、构造、地貌、水文地质条件的相互关系,对各种岩溶现象进行定量化的描述,按岩溶发育程度和渗漏形式予以分区、分带,并分别阐明其特征；

② 岩溶水的水文地质条件。其中包括水文地质构造、岩溶水的补、排径流条件,动态规律及水温、水质等；

③ 隔水层和相对隔水层的空间分布情况、封闭条件和隔水性能等；

④ 地形地貌条件。

4.6.16.2 不渗漏情况的判别

a. 邻谷的河水位(不是悬托河流)高于库(池)的正常蓄水位的；

b. 水库(水池)周边有连续、稳定、可靠的隔水层或相对隔水层阻隔,构造封闭条件良好,分布高程高于正常水位；

c. 河间地块存在高于正常蓄水位的岩溶水地下分水岭的(双层或多层水文地质结构的河间地块、各层的地下水分水岭均应高于正常蓄水位)。

4.6.16.3 渗漏问题待查的条件

a. 库(池)水位高于邻谷河水位,河间地块无地下水分水岭,又无隔水层,或隔水层已被断裂破坏不起隔水作用；

b. 库(池)水位高于邻谷河水位,河间地块虽有岩溶地下水分水岭存在,但低于库(池)水位,且正常蓄水位以下岩溶发育,有通向库(池)外的岩溶通道；

c. 库(池)区蓄水前就有明显地漏失现象:河流的上、下游的流量出现反常现象,河水补给地下水,两岸或一岸有地下水凹槽,存在贯通上下游的纵向岩溶通道。

4.6.16.4 判别存在渗漏问题的依据

岩溶区的坝址,在没有封闭条件良好的隔水层时,一般都存在坝基或绕坝渗漏问题,有下列情况之一者,将存在较严重的坝基或绕坝渗漏问题:

a. 河水补给地下水,河床或两岸存在纵向地下径流或有纵向地下水凹槽的；

b. 坝区顺河向的断裂、层面裂隙或埋藏古河道发育,并有与之相应的岩溶系统的。

4.6.16.5 岩溶渗漏问题评价的方法和准则

a. 渗漏量的估算,应采用多种方法计算,相互验证。一般以地下水动力学方法为主,辅以水量均衡法,或水文学方法；

b. 蓄水的库(池)或坝址岩溶渗漏问题的评价,是从安全、技术和经济效益全面分析得出。在不影响水工建筑物安全和经济效益的情况下,允许渗漏量(水库和绕坝渗漏之和)一般不大于河流多年平均流量的5%。否则,应进行专门论证。

4.6.16.6 防渗处理范围和深度的确定

防渗处理的范围和深度,必须在保证水工建筑物安全的前提下,按照下列原则,通过技术经济比较确定:

a. 应保证坝基、坝肩附近的溶洞、裂隙中充填物在大坝运行期间不发生冲刷,不允许增大扬压力;

b. 充分利用隔水层或相对隔水层(微弱岩溶化的岩体);

c. 依据岩溶化的强度和渗漏形式,进行分区或分带,分别考虑处理方式。对强烈岩溶化带(区),应予全部封堵;并要伸入到弱岩溶化带(区)一定深度,一般可考虑采用透水率不大于或等于 $5Lu$ 作为处理的界限(Lu 是吕荣单位);

d. 悬挂帷幕的深度——一般不少于 1 倍水头;对于 100m 以上的高坝,为有充分论证,帷幕深度可考虑少于 1 倍水头,但不应少于 $2/3$ 倍水头;

e. 当河谷两岸地下水补给河水、水位向山内急剧抬高时,防渗帷幕可与高于正常蓄水位的地下水位线衔接。但要注意两岸是否有纵向地下水位凹槽带存在;

f. 利用岩溶泉的水工工程,还应调查泉水或暗河的流量与汇水面积。

当前岩溶评价的现状仍然处于经验多于理论、宏观多于微观、定性多于定量、抽象多于具体的阶段。

有关规范的规定如下:

当场地存在下列情况之一时,可判定为对工程不利的地段:

(1) 浅层洞体或溶洞群,其洞径大、顶板破碎且可见变形迹象,洞底有新近塌落物。

(2) 隐伏的漏斗、洼地、槽谷等规模较大的浅埋岩溶形态,其间和上覆为软弱土体,且地面已出现明显变形。

(3) 地表水沿土中裂隙下渗或地下水自然升降变化使上覆土层被冲蚀,并出现成片(带)土洞塌陷。

(4) 抽水降落漏斗中最低动水位高于岩土交界面的覆盖土地段。

(5) 岩溶通道排泄不畅,导致暂时淹没的地段。

当地基属下列条件之一时,对安全等级为二级及以下的建筑物可不考虑岩溶稳定性的不利影响:

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

(2) 基础底面与洞体顶板间岩土厚度虽小于本条第一款所列基础宽度的倍数,但符合下列条件之一时:

1) 洞隙或岩溶漏斗被密实的沉积物填满且无被水冲蚀的可能。

2) 洞体为微风化岩石,顶板岩石厚度大于或等于洞跨。

3) 洞体较小,基础底面积大于洞的平面尺寸,并有足够的支承长度。

4) 宽度(长径)小于 1.0m 的竖向溶蚀裂隙、落水洞、漏斗近旁地段。

当不满足上述条件时,可根据洞体大小,顶板形状,岩体结构及强度,洞内堆填及岩溶水活动等因素进行洞体稳定性分析,并应符合下列规定:

(1) 当判定顶板为不稳定,但洞内为密实堆积物充填且无流水活动时,可认为堆积物受力,可按不均匀地基评价。

(2) 当能够取得计算参数时,可将洞体顶板视为结构自承重体系进行力学分析,并根据顶板形态、成拱条件及裂隙切割情况,分别将其作为梁板或拱壳受力情况计算或进行有限单元数值分析。

(3) 有建筑经验的地区,可按类比法进行稳定性评价。

(4) 对基础近旁有裂隙及临空面时,应验算基底岩体向临空面倾覆或沿裂面滑移的可能。

在岩溶地区,当基础底面以下的土层厚度大于三倍独立基础底宽,或大于六倍条形基础底宽,且在使用期间不具备形成土洞的条件时,不考虑岩溶对地基稳定性的影响,可按本规范第五章有关规定进行地基计算。

基础位于微风化硬质岩石表面时,对于宽度小于1m的竖向溶蚀裂隙和落水洞近旁地段,可不考虑其对地基稳定性的影响。如在岩体中存在倾斜软弱结构面时,应按本规范公式(5.3.1)进行地基稳定性验算。

“当溶洞顶板与基础底面之间的土层厚度小于上述规定的要求时,应根据洞体大小、顶板形状、总体结构及强度、洞内充填情况以及岩溶水活动等因素进行洞体稳定性分析。如地质条件符合下列情况之一时,可不考虑溶洞对地基稳定性的影响,但必须按规范中土岩组合地基设计。

- (1) 溶洞被密实的沉积物填满,其承载力超过150kPa,且无被水冲蚀的可能性;
- (2) 洞体较小,基础尺寸大于洞的平面尺寸,并有足够的支承长度;
- (3) 微风化的硬质岩石中,洞体顶板厚度接近或大于洞跨。

对岩溶水通道堵塞或涌水,有可能造成场地暂时性淹没的地段,或经工程地质评价属于不稳定的岩溶地基,未经处理不宜作建筑地基。

以上《建筑地基基础设计规范》关于岩溶地基稳定性评价的条款与《岩土工程勘察规范》有关规定相互吻合,互不矛盾。可根据工程需要等效采用。上述关于“在岩溶地区,当基础底面以下的土层厚度大于三倍独立基础底宽……,不考虑岩溶对地基稳定性的影响”的规定,指的是一般建筑物,对于重要建筑物,即使基础下土层厚度大于基础底面宽度一定倍数,也应分析评价岩溶对地基稳定性的影响。对岩溶、土洞稳定性的评价不可忽略天然及人为因素的变化以及动力作用的影响。

4.6.17 岩土工程评价

岩溶评价可分为建筑区评价与地基范围内个体岩溶形态评价两部分。建筑区评价即在较大范围内,按岩溶发育强度在乎面上区划出对建筑稳定性不同影响的分区,作为场地选择,建筑总平面布置的依据。而对地基稳定分析所及深度内,单个岩溶形态(主要指洞隙空间)的稳定评价可分为定性和半定量两种方法,当前使用较广的仍然是以定性的方法为主。

4.6.17.1 场地宏观评价

在岩溶场地宏观分区评价时,可参照的基本特征与规律,考虑下列各点:

- (1) 场地上主要建筑物的位置尽量避开岩溶发育强烈地段,宜选择在非(弱)可溶岩分布的地段上。
- (2) 从岩溶对建筑稳定性和适宜性出发,在总平面布局上,使各类安全等级建筑物的布置与岩溶发育程度分区相适应。
- (3) 当地形条件受限或生产工艺流程必须在稳定性条件较差的地段布置建筑物时,宜

使建筑长轴方向与岩溶发育带方向垂直或斜交,以减少工程处理工作面。

(4) 场地地坪设计标高的确定,有条件时宜使建筑物基底与某一水平岩溶洞隙带之间保持一定距离,或使其能在土石方整平时被开挖揭露。

(5) 避开岩溶水位高又是集中流动的地带,避免基础及地下构筑物拦堵地下水的正常流泄,尤其是场地为狭长的沟谷和近似封闭的洼地时,更要充分估计水的季节性动态变化的不良影响。

以上原则对土洞发育区同样适用。

4.6.17.2 岩溶地基的定性评价

定性评价是一种经验的比拟方法。简便易行,但在使用中又具有明显的随意性,评价结果往往具因人(经验水平)而异的不足,但若据影响稳定评价的各项因素进行充分地综合分析,并能在勘察与工程实践中不断验证修订,仍可得出中肯的正确结论。定性评价可参照下列方法进行:

a. 据洞隙的各项边界条件,对比 4.6-34 所列影响洞体稳定诸因素综合分析,作出评价。

b. 按被评价洞隙的条件,与当地相同条件的已有成功与失败工程实例进行比拟评价。在已有的工程中,曾见到一些基底下埋藏有各类形态和尺寸洞隙的建筑物,它们大多经处理至今完好无恙。见表 4.6-35 和表 4.6-36 所列,这些实例都说明,岩体中虽有洞隙存在,但仍可将其作为天然地基或稍加处理。

洞隙稳定性评价

表 4.6-34

因素	对稳定有利	对稳定不利
岩性及层厚	厚层块状,强度高的灰岩	泥灰岩、白云质灰岩,薄层状有互层,岩体软化强度低
裂隙状况	无断裂,裂隙不发育或胶结好	有断层通过,裂隙发育,岩体被二组以上裂隙切割。裂缝张开,岩体呈干砌状
岩层产状	岩层走向与洞轴正交或斜交,倾角平缓	走向与洞轴平行,陡倾角
洞隙形态与埋藏条件	洞体小(与基础尺寸相比)呈竖向延伸的井状,单体分布,埋藏深,覆土厚	洞径大,呈扁平状,复体相连,埋藏浅在基底附近
顶板情况	顶板岩层厚度与洞径比值大,顶板呈板状或拱状,可见钙质沉积	顶板岩层厚度与洞径比值小,有悬挂岩体,被裂隙切割且未胶结
充填情况	为密实沉积物填满且无被水冲蚀的可能	未充填或半充填,水流冲蚀着充填物,洞底见有近期塌落物
地下水	无	有水流或间歇性水流,流速大,有承压性

c. 据已有调查实例的归纳及工程实践的经验总结,岩溶洞隙稳定性评价还可作如下考虑:

对于非重大或安全等级属一、二、三类的建筑物,当属下列条件之一者,可不考虑岩溶对地基稳定性的影响:

岩溶地基部分工程情况简表

表 4.6-35

序号	工程名称	洞体示意图	地质及上部结构简况	稳定评价
1	遵义某办公楼		<p>基岩裸露,为薄层、中厚层白云质灰岩,岩石坚硬,裂隙发育,沿洞轴有一条主裂隙,洞内无水,顶板无悬挂体,洞体横穿纵墙,断面呈三角形,在②轴线基础下洞宽 5.2m,顶板厚约 2.5m。办公楼系三层混合结构,高 12m,瓦屋面,楼面为木结构,砖墙承重,浆砌块石基础</p>	<p>洞体无水,岩体较完整且坚硬。顶板成拱,其厚度与洞跨比值为 0.48,房屋建成 12 年未加处理。目前完好无损</p>
2	贵阳某公司仓库		<p>覆盖土 0~1m,洞体发育在白云质灰岩中,顶板完整,呈平拱形,无悬挂体。拱脚坚固,洞内无水。抗日战争时曾扩大,附近受日机轰炸过。洞体未受影响。目前又再次扩大未见异常。现洞高为 3.7m,宽为 3.2m,顶板厚为 0.4~2m,洞口处宽 2m 厚 0.4m。洞顶解放前为一古庙,现作食堂及仓库。单层木结构,灰板条墙,块石基础</p>	<p>洞体沿倾斜岩层走向延伸,岩石坚硬,裂隙为钙质胶结,顶板有一定厚度,洞内无塌落物,无水。$Z/L=0.2-0.6$</p>
3	广西某水泥厂		<p>场地为厚层灰岩,夹白云质灰岩,岩层产状倾斜。洞高约 5m,顶板厚度 3~4m,土层厚 6~7m。1号及 2号迴转窑的 6号墩置于洞体上。工艺荷载 $N_1=4000\text{kN}$,基础自重 $N_2=70\text{kN}$,水泥窑 $N_3=100\text{kN}$,总计 $N=4800\text{kN}$</p>	<p>发现洞时墩基已建成。经勘察、设计、施工等单位研究认为,基底下有一定厚土层,顶板为厚层岩石,洞内无水,故决定不加处理。经四年生产运转情况良好</p>
4	贵阳某厂胶管车间		<p>岩性为薄层中厚层灰岩,泥质灰岩,夹泥灰岩,洞体情况见图。洞上为双跨单层厂房,跨度 $l=12\text{m}$,柱距 4m,5t 桥式电动吊车一台,钢屋架,瓦屋面,钢筋混凝土柱,240mm 厚砖墙,现浇混凝土基础</p>	<p>顶板呈拱形。为安全起见曾在洞口灌砂,但未能填满,不起支撑作用(如图),仅在洞口加一盖板,1969 年使用以来情况良好</p>

续表

序号	工程名称	洞体示意图	地质及上部结构简况	稳定评价
5	云南某变电所		2号变压器室一角,施工中遇竖井状溶洞。顶板有一贯通裂隙。变压器室为单层钢筋混凝土框架结构,砖墙围护,内设75t安装吊车一台	为安全起见,角柱下设一断面为 $80 \times 100\text{cm}^2$ 钢筋混凝土托梁,跨越处理

部分铁路路基下溶洞具完整顶板实例

表 4.6-36

工程名称	顶板厚(m)	跨长(m)	厚跨比	顶板形态
盘西线沙坡隧道	2.5	3.0	0.83	倾斜 $2^\circ \sim 8^\circ$
枝柳线融安车站石碓线路基	4.0	8.0	0.50	近水平
贵昆线 k145+900 路基	2.7	3	0.9	略呈拱形
川黔线响水河桥头路基	25~30	30	0.91	拱形
滇黔线下营盘附近路基	<6.0	十余米	<0.6	
6927 线百步坳隧道进口处	5.6	8.0	0.7	
某线 1451 涵洞	2.7	8.0	0.34	

a) 基础置于微风化硬质岩石上,延伸虽长但宽度小(如 $1 \sim 2\text{m}$ 内)的竖向溶蚀裂隙和落水洞的近旁地段;

b) 基底以下的土层厚度较大,如单独基础大于3倍基宽,条基大于6倍基宽且场地不具形成上洞的条件;

c) 虽基底与洞体顶板间土层厚度小于b)所列,但岩溶条件符合下列条件之一时:

- ① 洞体被密实沉积物填实,且无被水冲蚀的可能;
- ② 洞径或裂隙宽度较小,基础底面积大于其平面投影尺寸,并有足够支承长度;
- ③ 微风化硬质岩石中,洞顶板厚度接近或大于洞跨。

当遇下列情况之一时,未经进一步论证分析或妥善处理,不宜作为建筑物天然地基:

- a) 岩溶水通道堵塞或涌水,有可能造成场地暂时性淹没;
- b) 高浓度酸性生产废水;流经岩溶通道的地段;
- c) 凡以上定性评价或经岩土工程勘察鉴定属不稳定或处于临界状态的岩溶裂隙。

当自然或洞体条件处于上述两种情况之间时,其稳定性借助半定量的一些方法进行评价(表4.6-37)。

岩溶地基稳定性评价表

表 4.6-37

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

岩溶发育程度分级目前尚无统一的定量标准,现举几个地区岩溶发育程度分级情况的实例,以资参考。

(1) 云南六郎洞地区资料见表 4.6-38。

云南六郎洞地区岩溶发育程度分级

表 4.6-38

发育程度	极发育区	发育区	较发育区
密度(个/km ²)	>10	4-10	<4

(2) 长江流域资料见表 4.6-39。

长江流域岩溶类型区岩溶发育程度对比表

表 4.6-39

岩溶发育程度	岩溶类型区	特征及主要指标
相对最强	峰林岩溶区	出露大面积较纯连续层型碳酸盐岩,地表、地下岩溶十分发育,一般地表个体形态密度 >10 个/km ² ,面岩溶率 8%~15%,钻孔遇洞率 >60%,多岩溶潭及地下河,枯水期地下径流模数 >8L/(s·km ²)
强	山原岩溶区 高原岩溶区	以较纯连续层型及连续与间夹层塑复合型的碳酸盐岩类型为主,岩溶发育,一般地表个体形态密度 5~10 个/km ² ,或 >10 个/km ² ,面岩溶率 5%~10%,钻孔遇洞率 >40%,多岩溶大泉及地下河,枯水期地下径流模数 5~10L/(s·km ²)
中等	山地岩溶区 丘陵平原岩溶区	碳酸盐岩类型较复杂,各种类型都有,岩溶尚发育,惟各地差异较大,一般地表个体形态密度 <5 个/km ² ,面岩溶率 <5%,钻孔遇洞率 <40%,地下河甚少,枯水期地下径流模数一般 <5L/(s·km ²)
弱	高山岩溶区	岩溶发育受冰缘、冰川、气候影响,规模小,且分布零星,地表个体形态密度 <1 个/km ² ,枯水期地下径流模数一般 <3L/(s·km ²)

4.6.17.3 岩溶地基的半定量评价

当前虽有一些对洞体稳定评价的定量方法,但是,洞体受力状况、围岩应力场的演变十分复杂,要确定洞体破坏的形式和取得符合实际的岩体力学参数又很困难,兼之受到探测手段的局限,很难查清洞体与围岩的边界条件与性能指标。因此,定量方法难以在工程实践中应用,半定量的评价方法较为实用,但目前尚属摸索提高的阶段。兹介绍几种简单、大多数工程可以办到的半定量的评价方法,供试算时参考。

(1) 荷载传递线交会法:在剖面上从基础边缘按 $30^\circ \sim 45^\circ$ 扩散角向下作应力传递线,当洞体位于该线所确定的应力扩散范围之外时,可认为洞体不会危及基础的稳定。由定性评价中的洞体顶板厚跨比(Z/L)可知,当集中荷载作用于洞体中轴线, Z/L 为 0.5 时,应力扩散线为顶板与洞壁交点的连线,它与水平面夹角相当于混凝土的应力扩散角 45° ;当 Z/L 为 0.87 时,相当于松散介质的应力扩散角 30° 。

(2) 洞体顶板为裂隙切割呈块状。碎块状,顶板塌落后体积膨胀,当塌落向上发展到一定高度,洞体可被膨胀物自行堵塞。在没有地下水搬运的情况下,可以认为洞体空间已被支撑而不再向上扩展了。设洞体空间体积为 V_0 ,塌落体体积 V 膨胀后不仅充填了塌落空间,还充填了 V_0 ,此时塌落高度 Z 可由式(4.6-8)确定。

$$VK = V_0 + V \quad (a)$$

$$\text{即} \quad V_0 = V / (K - 1) \quad (b)$$

式中 K ——顶板岩石的膨胀系数,对岩石取 1.1~1.3,视塌落后块度定;对土取 1.05~1.1。

设洞体顶板为中厚层灰岩,洞体截面积为 F 、洞高 H_0 ,假定塌落前后洞体均为柱形则:

$$V_0 = F \cdot H_0 \quad (c)$$

$$V = F \cdot Z \quad (d)$$

$$Z = \frac{H_0}{K - 1} \quad (4.6-8)$$

如高度 Z 以上还有外荷载,则还应加上荷载作用所需的厚度,才是洞体顶板的安全度。

(3) 结构力学近似分析法:

1) 按顶板抗弯厚度验算:

根据洞顶板岩体的实际状况和完整性,按假定的梁或板的受力条件,验算所需的安全厚度。当洞体顶板为厚层块状,完整性较好时,可视为四周嵌固的板验算其稳定性,板的最大弯矩在长边支点的中心处,反算所需的顶板安全厚度 Z'

$$Z' = \sqrt{\frac{q \cdot L^2}{2\sigma \cdot b}} \quad (4.6-9)$$

式中 q ——长边每延米均布荷载;

$L \cdot b$ ——洞的长、短径;

σ ——岩体弯曲应力,对灰岩一般取抗压强度的 0.10~0.125。

当洞体边界条件接近以下受力状况时,如平行洞的长轴方向裂隙发育,可视为两端固定梁验算。若还有平行短径方向裂隙,甚至已延伸至跨中,可视为简支梁或悬臂梁考虑。按 $\sigma = M/W$ 反求所需的顶板厚度。 W 为顶板底面抵抗矩; M 为不同受力状况时的弯矩值。

2) 按顶板抗剪的安全厚度验算,由下列极限平衡条件求得顶板厚度 Z''

$$F + G = U Z' f_{rv} \quad (4.6-10)$$

式中 F ——上部荷载传至顶板的竖向力(kN);
 G ——顶板岩土自重(kN);
 U ——洞体平面的周长(m);
 f_{rv} ——顶板岩体的抗剪强度,对灰岩一般取抗压强度的0.06~0.13(kPa)。

(4) 成拱分析法

当顶板岩体被密集裂隙切割呈块状或碎块状时,可认为顶板将成拱状塌落,而其上荷载及岩体则由拱自身承担,此时破裂拱高 H 为:

$$H = \frac{0.5b + H_0 \operatorname{tg}(90 - \varphi)}{f} \quad (4.6-11)$$

式中 b ——洞体跨度(m);
 H_0 ——洞体高度(m);
 φ ——洞壁岩体的内摩擦角(度);
 f ——洞体围岩的坚实系数。

破裂拱高加上部荷载作用所需的岩体厚度才是洞顶板的安全厚度。若洞的顶板呈拱形,拱角以下岩体完整稳定且无横向扩展的可能,也可近似地用石砌拱圈厚度加足够安全储备,类比确定拱顶的安全厚度。

(5) 电阻应变片测试法

对已查明的浅层洞体,为验证在外荷载下洞顶板岩体的应力状态或已知裂隙面的变形情况,可在洞顶加载荷,沿纵横洞轴方向贴设电阻应变片及布置挠度量测,在加荷过程中跟踪测量。根据测得的最大应力与岩体抗剪强度对比,若后者大于前者5~10倍,则认为岩溶洞体的顶板是可靠的。为了解顶板岩体中某些裂隙处是否存在应力集中及明显的变形,可在裂面上,及其一侧分别贴电阻应变片量测,若二者无明显差别,则说明裂隙的存在并不影响顶板整体受力。

(6) 载荷试验法

在有代表性的浅层洞体上,将顶板岩体修凿呈一梁状,有条件时底面或侧面亦可贴设电阻应变片,于其上分级加荷,观察其应力与变形。通过试验可以了解在特定条件下洞体的变形特征、破坏形式与顺序。例如在贵阳某工程试验中,随荷载的增加,梁的受拉区逐次出现拱形脱落,最后在支座处剪切破损。此外,通过试验可以反求顶板岩体参数,建立它与岩样强度指标,岩体纵波速度等的相关性,借此评价其他洞体的稳定性。

除上述半定量评价方法之外,铁道部第二勘测设计院曾在融县东沾石渣线路路基及沙坡隧道路基工程,使用弹性力学有限元分析法,按地下工程平面问题通用程序(TEYC)(Ⅲ)分析了洞体的整体和局部稳定,计算出洞体围岩的应力场及位移场,进而评价了洞体的稳定性。计算结果有一定的实用价值。有限元分析方法的应用,目前尚属摸索阶段。有待发展和完善。

4.6.17.4 土洞的评价

在岩溶区进行岩土工程勘察时,首先可在岩溶发育区内,划出条件适宜土洞形成的区段,作为建筑区总图布置的依据。例如可将岩溶发育区中,地下水最高水位高于基岩面的土层分布区以及其他有利于土洞发育的地段划为土洞发育区。以便工程总体布局上避开成片

密集分布的土洞发育带。

具备下列条件的部位都可能是有利于土洞发育的地段,对于工程来说应视为不利于建筑的地段。

- (1) 土层较薄,土中裂隙发育,地表无植被或为新挖方区,地表水入渗条件好,其下基岩有通道、暗流或呈负岩面的地段;
- (2) 石芽或出露的岩体与上覆土层交接处,岩体裂隙通道发育且是地面水经常集中入渗的部位;
- (3) 上层下岩体中二组结构面交会,或处于宽大裂隙带上;
- (4) 隐伏的深大溶沟、溶槽、漏斗等地段,邻近基岩面以上有软弱土层分布;
- (5) 人工降水的降落漏斗中心;当岩溶导水性相对均匀,在漏斗中地下水流向的上游部位;当岩溶水呈集中管道流时,在漏斗中地下水流向的下游部位;
- (6) 地势低洼、地面水体近旁。

4.6.18 覆盖型岩溶地区的塌陷及其稳定性评价

(1) 塌陷形成的机制

覆盖型岩溶地区的主要工程地质问题是地面塌陷。塌陷是溶洞、覆盖土体、水(气)所组成的综合体系,在自然和人为因素作用下的结果。塌陷形成的机制主要有以下几个方面。

1) 渗透潜蚀

岩溶地下水下降后,使地下水的坡降和流速增大,对溶洞充填物和裂隙通道中的松散物质发生潜蚀作用。当覆盖层中的潜水与下部岩溶水之间发生水力联系时,潜蚀作用更为强烈。潜蚀作用使洞、隙中的充填物被带走,首先在覆盖层底部岩溶洞隙开口处形成土洞,随着地下水位的下降,覆盖层中的地下水,地表水下渗的水流不断对土体进行潜蚀作用,土洞不断向上扩展,当岩溶水的水位在基岩面附近波动时,这种作用最强烈。土洞扩展的结果,造成土体失稳、地表开裂、下沉或塌陷(参见图 4.6-13)。

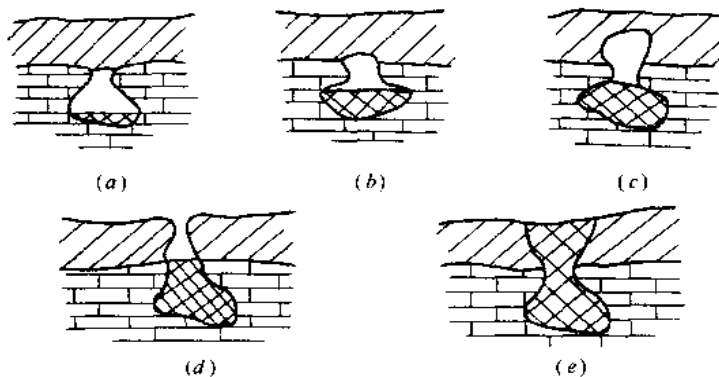


图 4.6-13 土洞发育过程图

(a)土洞未形成前;(b)土洞初步形成;(c)土洞向上发展;(d)塌陷;(e)碟形阶段

2) 失托加荷

地下水位下降后,覆盖层土体或土洞顶板所受地下水的浮托力随即减小,这相当给覆盖

层土体增加了一个附加荷载,土层的稳定性降低,从而产生塌陷。

3) 地表水浸泡增荷

降雨和灌溉使土体浸润、软化,造成土洞顶板的失稳、塌陷。

4) 气爆作用

在连续暴雨或停止抽排岩溶水的情况下,岩溶水的水位迅速回升,使原有封闭较好的岩溶空腔中的气体被压缩,当顶盖强度不足时,则产生气爆破裂而塌陷,并常伴有冒气、爆炸声等。

5) 负压吸蚀作用

当地下水下降至覆盖层底板以下时,岩溶空腔中的水、气形成负压,对覆盖层土体产生吸力,使土体向下迁移。同时,负压还加剧了原来就存在的潜蚀作用,加速了土体的破坏、土洞的形成与扩展。负压吸蚀作用的大小取决于岩溶空间的封闭程度和地下水的下降速度,在条件适当时,如矿井、导坑大量突水、突泥,负压吸蚀的能量会相当大,同样能因此产生大规模的地面塌陷。

6) 水击

水击作用主要发生于连通较好的岩溶管道中。当管道中的水突然被堵塞或堵塞突然被冲决时,水流的速度发生突然变化,从而产生水击作用。岩溶管道因垮落、塌陷被堵塞时,水流速度突减,产生正水击;管道因堵体冲决或井下突水时,水流速度突增,产生负水击。流速每变化 1m/s 时,水击压力可达 $121 \sim 142\text{m}$ 水头。

7) 震动液化

覆盖土层中有埋藏较浅的饱和粉细砂、黏砂土层时,在地震、人工大爆破、井下突水震动等的作用下会产生液化,向下伏岩溶洞穴、孔隙中流失,而导致塌陷。

8) 震动冲击加荷作用

覆盖土层受机械震动冲击(如火车、汽车及其他机械的震动),使处于极限平衡状态的土洞顶部坍塌。

9) 地下水位波动

人工抽排地下水时,因为时抽时停地下水位频繁波动,土层反复浸水饱和、干燥,造成土体崩解,并向下迁移,形成土洞并向上扩展。

应该指出,土洞的形成,扩展,直至塌陷,往往不是某一单独因素造成的,而是多种因素共同作用的结果。因此,在分析塌陷成因时,应结合当地的地质条件(岩溶发育规律,覆盖土层的性质,地下水动态等),气象条件,水、气运动规律等综合考虑。

(2) 覆盖型岩溶地区的稳定性评价

覆盖型岩溶地区稳定性评价目前还没有统一的标准。但工程处理,不仅需要对塌陷区的现状进行评价,还需预测塌陷的发展趋势。进行稳定性评价一般考虑以下几个因素:岩溶发育情况;覆盖土层的性质、厚度;地下水位变化情况,已有塌陷情况等。下述两个实例可供参考。

实例一:长江流域覆盖型岩溶地区稳定性评价

据《长江流域岩溶塌陷分布图说明书》资料(地矿部岩溶地质研究所主编,1986年10月)

1) 按塌陷的形成条件将地表覆盖层的稳定条件划分为:Ⅰ—不稳定;Ⅱ—较不稳定,

Ⅲ—局部不稳定;Ⅳ—基本稳定。见表 4.6-40

地表覆盖层条件划分

表 4.6-40

岩溶发育程度 覆盖层厚度(m)	强 烈	中 等	微 弱
<10	① I II ②	① ②	① ②
10~30	① ②	① III IV ②	① ②
>30	① □	① ②	① ②

① 地下水位埋深小于可溶岩顶板埋深;② 地下水位埋深大于可溶岩顶板埋深。

2) 按塌陷的规模和强度划分塌陷现象的发育程度。见表 4.6-41

岩溶塌陷现象发育程度分级

表 4.6-41

塌陷强度 塌陷规模	强	中	弱
中型为主、大型常见	极活跃	较活跃	活跃
中型常见、无大型			
小型为主、中型少见		中等	不活跃

3) 综合以上两方面因素,定性评价和预测岩溶塌陷的发展趋势和对环境的影响程度(表 4.6-42)划分为:A—塌陷严重地段,B—塌陷显著地段;C—塌陷微弱地段。

岩溶塌陷的发展趋势及对环境影响程度划分

表 4.6-42

稳定条件 发育程度	极不稳定	较不稳定	局部不稳定	基本稳定
极 活 跃	A、严重	B、显著	C、微弱	
较 活 跃				
中 等 活 跃				
不 活 跃				

实例二:山东泰安覆盖型岩溶地区的稳定性评价

根据山东泰安覆盖型岩溶地区(铁路沿线)工程地质勘测的经验,在进行稳定性分区时,除考虑岩性、构造等地质因素外,还主要考虑了3个条件:

洞——岩溶发育情况,如钻孔线岩溶率、溶洞充填情况等;

土——覆盖土层的水理性质、有无潜蚀通道等;

水——地下水位及其变化情况。

依以上条件的变化,将该地区划分为稳定区,较稳定区,可能塌陷区,详见表 4.6-43。

山东泰安覆盖型岩溶地区稳定性分区标准

表 4.6-43

稳定性分区 项目	稳 定 区	较 稳 定 区	可 能 塌 陷 区
岩性及构造	页岩或页岩夹薄层灰岩,构造不发育	以灰岩为主夹薄层页岩,受构造作用影响,但岩体尚完整	为厚层鲕状灰岩,结晶灰岩,致密状灰岩,受构造作用影响,岩体较破碎
岩溶发育情况	岩溶不发育,溶洞充填紧密,钻孔线岩溶率小于5%	岩溶较发育,以裂隙型岩溶为主,溶洞、溶槽、溶沟发育,大部分被充填,钻孔线岩溶率5%~10%	岩溶很发育,以溶洞、溶沟、溶槽为主,无充填或充填不密实。钻孔线岩溶率大于15%
第四系覆盖层情况	以黏土为主,土层中裂隙不发育,透水性弱	黏土层厚度小于3m,土层中有潜蚀的通道发育	土质疏松,易崩解,土层中潜蚀通道很发育,并有土洞发育
地下水情况	岩溶水最低水位高出基岩顶面,无第四系潜水或极其微量者	岩溶水最高水位在基岩顶面以下,且第四系潜水较发育	岩溶水水位在基岩面附近波动,或在基岩面以下,第四系潜水丰富,上、下两层中连通较好

4.6.19 岩溶地区有害废物排放和堆存的岩土工程

同其他地区相比,岩溶地区地表水文网络同地下水文体系之间的连通关系较密切,排放和堆存有害废物,较易导致地下水污染;另一方面岩溶地区地表水较易流失,而地下水却较丰富,地下水常成为当地工农业生产和生活用水的重要来源,地下水一旦遭受污染,将给工农业生产和居民生活带来很不利的影响。防止和治理地下水污染,也是岩溶环境岩土工程的重要工作内容。

4.6.19.1 岩溶地区地下水污染

a. 地下水的污染源有:

① 原生污染源,主要是对水质具有污染性的有害液体和固体物质,如工业废水、生活污水、废油、尾矿堆、废石堆、废渣堆,工业废料堆、放射性废料堆、垃圾堆等。

② 次生污染源,是被有害物质污染了的液体和固体物质,又成为污染地下水的媒介,如被污染了的土层、岩层、水体等。

b. 地下水的污染类型按污染性质不同可分类如表 4.6-44。

地下水污染类型

表 4.6-44

污染类型	污 染 物 质	污 染 结 果
化学污染	耗氧污染物:如碳水化合物、脂肪、蛋白质等; 酚类污染物:如有机含氯农药、多氯联苯等; 无机酸、碱、盐:如硫酸,苛性钠等; 有毒重金属:如汞、镉、铅、铬和氧化物、氟化物等	使地下水含有害或有毒成份
物理污染	悬浮于水中的物质; 使水混浊的物质; 具有放射性的物质; 使水具气味和颜色的物质	使地下水具气味、颜色、放射性或混浊
生物污染	有害病菌、病毒; 有害寄生虫	使地下水成为病疾传染媒介

4.6.19.2 影响岩溶地区地下水污染的因素


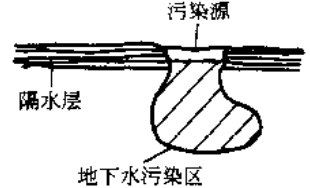

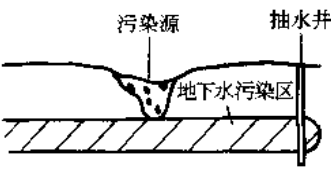
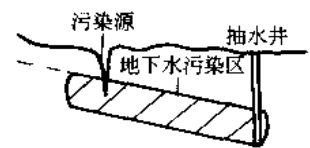
a. 岩溶类型的影响: 裸露型岩溶区, 地表水渗入地下的管道通畅, 地下水易受污染, 浅覆盖型岩溶区, 覆盖层的厚度和渗透性对于地下水污染有较大影响, 覆盖层透水性强、厚度小, 地下水易污染, 反之, 则不易污染, 深覆盖型和埋藏型岩溶区, 一般来说地下水较难污染。

b. 地下水类型和埋藏条件的影响: 地下河受地表水和潜水补给, 有时又补给潜水, 其水流速度较快, 流域较广, 易于接受污染, 污染范围扩展较快, 浅层潜水同地表水有较密切的补给和排泄关系, 水流速度一般较快, 易受污染, 污染范围扩展较快, 深层潜水同地表水的关系较疏远, 水流速度较慢, 同浅层潜水相比, 较难受污染, 污染范围扩展较慢; 承压水一般埋藏较深, 封闭条件较好, 很难遭受污染, 但被污染后也很难净化。

c. 岩溶形态的影响, 岩溶形态决定地下水的污染途径, 其分类如表 4.6-45 所示。

岩溶地下污染途径类型

表 4.6-45

有害废物排放堆放场地的岩溶形态特征	地下水污染途径类型	示意图
峰丛峰林地区的岩溶洼地	补给区型污染	
覆盖于碳酸盐岩层上的隔水层缺蚀或破裂形成岩溶通道天窗	天窗型污染	
虹吸管式岩溶通道的一端	虹吸型污染	
地表塌陷分布地段	塌陷型污染	
落水洞分布地段	落水洞型污染	

续表

有害废物排放堆存场地的岩溶形态特征	地下水污染途径类型	示意图
已污染的发生岩溶渗漏的河、湖、水库	渗漏型污染	

d. 工程活动的影响 2 在撑放或堆存有害废物的岩溶地区挖掘矿坑、隧道、深基坑,开凿抽水井等工程,会降低地下水位,引起地面开裂塌陷,加快地表水下渗和地下水循环交替的速度,从而加快了地下水的污染。开凿注水井向地下注入已受污染的水,将直接污染地下水。

4.6.19.3 岩溶地区有害废物排放、堆存场地的勘察

a. 岩溶地区有害废物排放、堆存场地的勘察应查明:

①场地及其周围区域的地貌、地层、构造情况,特别是断层带,构造破碎带的分布、规模和性质;②场地岩溶类型、形态、发育强度,分布范围等特征;③场地及其周围的水文地质条件,包括地下水类型、赋存条件,补给,径流和排泄情况,含水层、隔水层的分布和性质,地下水径流的流向、流速和流量,地表水和地下水的连通关系等。

b. 岩溶地区有害废物排放、堆存场地常用的勘察方法有:

①综合地质测绘:测绘范围包括排放或堆存场地以及地下水可能接受污染的周围区域,比例尺可选用 1:5000 至 1:25000;②综合物探:探查分布于排放或堆存场地的溶洞、溶隙密集带和暗河等导水性强的地下水通道;③井探和钻探:揭露含水层和隔水层,验证物探指示的岩溶地下水通道;④钻孔和探井抽水、注水试验:测定排放或堆存场地土层和岩层的渗透参数;⑤地下水流向、流速和水位观测;⑥地下水示踪试验;地表水和地下污染监测。

4.6.19.4 岩溶地区地下水污染评价:

a. 地下水污染评价的一般程序是:①测定未污染的地下水各种成份的本底值;②根据污染源的性质和地下水的用途选择水质评价参数;③按选定的水质评价参数监测地下水的水质变化;④对比地下水评价参数的监测值和本底值,评价地下水的污染性质、程度和范围。

b. 选用的地下水水质评价参数应是污染源中所包含且在水质评价标准中对其界限值有明确规定的,常用的水质评价参数有:①毒性指标,包括砷、汞、镉、铬、氰、酚、铅等元素含量;②细菌指标,包括细菌总数和大肠杆菌总数;③氧平衡指标,包括生物需氧量(BOD),化学耗氧量(COD),溶解氧量(DO);④硬度指标,即水的总硬度;⑤酸、碱度指标,即 pH 值;⑥感官指标,包括气味、色度、混浊度、悬浮物。

4.6.19.5 岩溶地区地下水污染的防治

防治岩溶地区有害废物排放堆存对地下水的污染,通常采用的方法有:

a. 选择碳酸盐岩层上覆盖有较厚较连续的隔水层,岩溶地下水封密较严密的地段作为有害废物的排放堆存场地。

- b. 用黏土、混凝土、防渗土工布等铺盖,填塞或灌注黏土、水泥浆液堵截从有害废物堆放堆存场地通向深部和周围的岩溶地下水通道。
- c. 净化处理有害废物,减少其有害成份含量。
- d. 减少或停止加速地下水污染的工程活动。

参 考 文 献

- 1 林宗元主编. 岩土工程勘察设计手册. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1996
- 2 《岩土工程手册》编写委员会. 岩土工程手册. 北京:中国建筑工业出版社,1995.4
- 3 交通部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册. 北京:中国铁道出版社,1999

4.7 采空区勘察评价^①

4.7.1 采空区的危害及分类

地下矿层采空后形成采空区,其上部岩层失去支撑,平衡条件被破坏,随之产生弯曲、塌落,以致发展到地表移动变形,导致地表各类建筑物变形破坏,甚至倒塌。

采空区分为老采空区、现采空区、未来采空区三类。老采空区是指历史上已经开采的采空区,现已停止开采;现采空区是指正在开采的采空区;未来采空区是指计划开采而尚未开采的采空区。

4.7.2 地下开采引起的岩层移动

局部矿体被采出后,在岩体内部形成一个空洞,其周围原有的应力平衡状态受到破坏,引起应力的重新分布,直至达到新的平衡,即岩层产生移动和破坏,这一过程和现象为岩层移动。

4.7.2.1 岩层移动的形式

- a. 弯曲;
- b. 岩层的垮落(或称冒落);
- c. 煤的挤出(又称片帮);
- d. 岩石沿层面的滑移;
- e. 垮落岩石的下滑(或滚动);
- f. 底板岩层的隆起。

应该指出,以上六种移动形成不一定同时出现在某一个具体的移动过程中。

4.7.2.2 移动稳定后采动岩层内的三带

矿层采空后,顶板岩层的移动变形因岩层性质和开采条件不同,变形的表现形式、分布

^① 本章编写人:唐秋元(中煤国际工程集团重庆设计研究院岩土所总工程师,高级工程师)、唐耿琛(中煤国际工程集团重庆设计研究院岩土所所长,教授级高级工程师)

下沉,而不会突然形成空洞,造成重大事故。对既有的塌陷坑,一般也应回填碎、块石,因为细颗粒的填料有被潜蚀的可能。

(二) 网格板垫层

当路基下部的地面塌陷的位置和大小已基本探明时,可采用整体的网格板垫层通过。

(三) 桩基栈桥

在地面塌陷集中发育的地段,可采用桩基栈桥的方法通过,如图 14.2-20 所示。

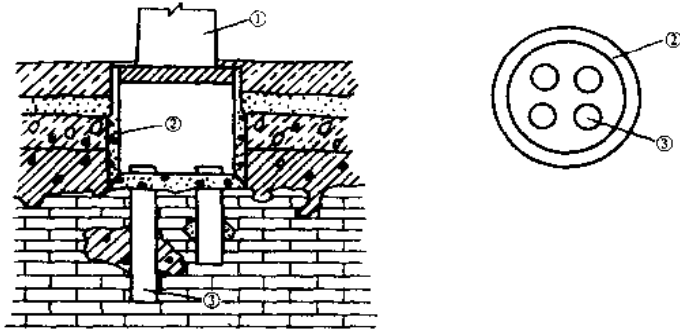


图 14.2-20 ××栈桥基础处理示意图

①—桥墩;②—沉井;③—桩基

(四) 其他整治措施

根据地面塌陷产生的原因,可分别采用一些针对性的整治措施,如采用钻孔通气法,避免负压吸蚀作用的发生;采用岩溶注浆法,堵塞岩溶水的通道;加固溶洞充填物,防止潜蚀作用的发生;采用恢复地下水位的方法(停抽、回灌),防止潜蚀作用的发生;采用强夯法加固地表土层,防止地下水下渗,发生潜蚀等。

参 考 文 献

交通部第一铁路设计院.《铁路工程地质手册》.北京:人民交通出版社,1975

4) 对规模较大的洞隙,可采用洞底支撑或调整柱距等方法处理。

(4) 在地下水位高于基岩表面的岩溶地区,应注意人工降低地下水引起土洞或地表塌陷的可能性。塌陷区的范围及方向可根据地下水条件和抽水试验的观测结果综合分析确定,在塌陷范围内不允许采用天然地基。在已有建筑物附近抽水时,应考虑其影响。

(5) 在地下水强烈活动于岩土交界面的岩溶地区,应注意由地下水作用所形成的土洞对建筑物地基的影响,预估地下水位在使用期间变化的可能性。总图布置前,勘察单位应提出场地土洞发育程度的分区资料。施工时,必须沿基槽认真查明基础下土洞的分布位置。

(6) 由地表水形成的土洞或塌陷地段,必须采取地表截流,防渗或堵漏等措施。应根据土洞洞深,分别选用挖填、灌砂等方法进行处理。

由地下水形成的塌陷及浅埋土洞,应清除软土,抛填块石作反滤层,面层用粘土夯填;深埋土洞宜用砂、砾石或细石混凝土灌填。在上述处理的同时,尚应采用梁、板或拱跨越。对重要的建筑物,可用桩基处理。

14.2 岩溶地区的工程处理措施

14.2.1 岩溶洞穴处理

在岩溶地区拟定相应措施对岩溶进行必要的处理,以保证建筑物的安全的工程建筑。一般对岩溶水的处理以疏导为主,对岩溶的洞穴及裂隙的处理以填塞、加固、跨越为主。其常见措施有:

(1) 堵塞

1) 当地表水流直接补给隧道时,用不透水材料铺砌渗漏地段,堵塞地表洞穴,如图 14.2-4。

2) 当建筑物基内有小股水流,堵塞后不致引起抬高水位时,用片石或碎石填充洞穴后加强衬砌灌浆即可。

3) 当建筑物基面以上有暗河时,在两侧进出口用浆砌片石堵塞,并将水引开,以免水侵入路基,如图 14.2-1。

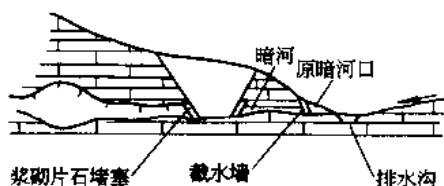


图 14.2-1 使用堵塞法处理路基面以上的岩溶水流

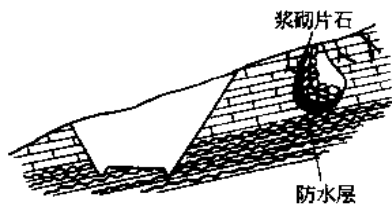


图 14.2-2 路堑顶上方的岩溶处理

4) 当路堑顶上方出露有岩溶,且岩溶底部位于页岩或其他不透水层之上时,为了防止

地表水流入洞穴,并渗到岩溶层和不透水层的接触面,须将洞口和裂隙堵塞。以免因水流降低接触面的摩擦力而产生顺层滑坡,如图 14.2-2。

2. 疏导

在岩溶地区建筑物遇到岩溶水或使水文地质条件改变,如处理不当,势必引起水害。在处理措施中,一般以疏导为主,将水引离建筑区,并应注意有无发生突然涌水的可能。

1) 当建筑物位于封闭的溶蚀洼地,其中的集水影响建筑物,用截水沟截排地表水流,如图 14.2-3,图 14.2-4。

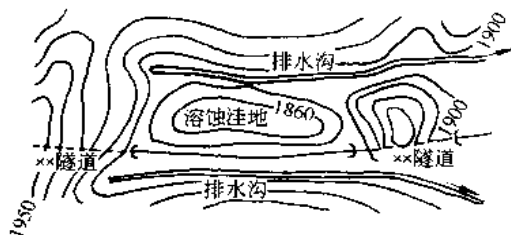


图 14.2-3 某铁路通过溶蚀洼地的表水导流示意图

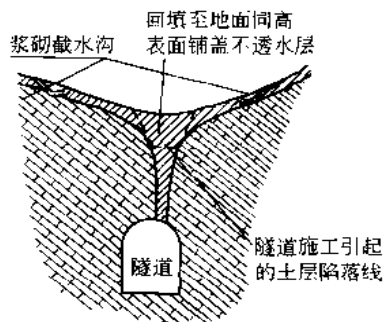


图 14.2-4 隧道顶部遇直通地面的充填竖井时,表水的导流处理

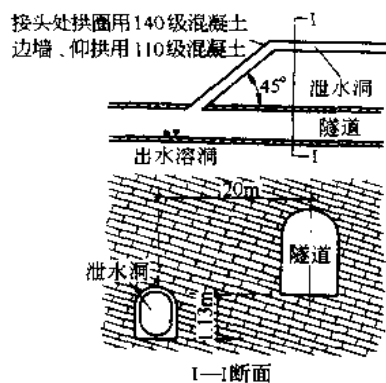


图 14.2-5 某隧道洞外排水处理示意图
I—I 断面示泄水洞与隧道位置关系

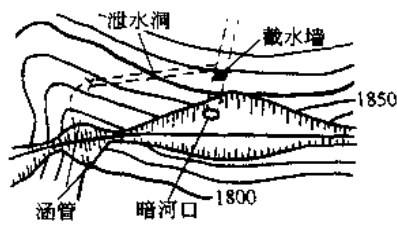
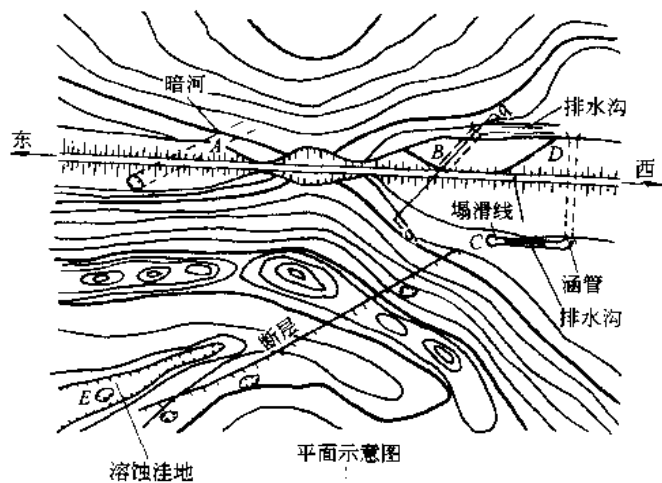


图 14.2-6 当路堑边坡上出露水量较大的暗河水流时,采用泄水洞的措施

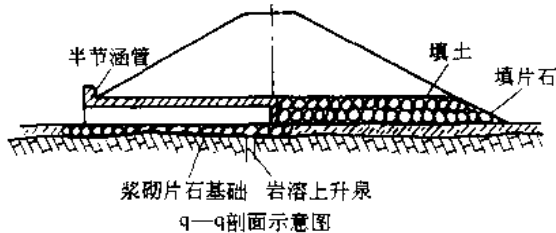


图 14.2-7 某病害工点处理示意图

2) 当隧道内遇有溶洞水,且流量不大时,可设侧沟或中心水沟将水排出洞外,若流量大雨季又有大量泥沙,隧道无法设置排水所需的过水断面时,则需设泄水洞(14.2-5)或利用平行导坑拦截岩溶水流,将水引出隧道。泄水洞和平行导坑的位置一般应选在岩溶水流入隧道的一侧。

3) 当路堑边坡上有岩溶水时,若流量小可用吊沟引入侧沟排除;若流量很大,则用泄水洞将水引出路堑范围外排除。如图 14.2-6。

4) 当路堤基底有岩溶泉或间歇泉出露时,必须在该处设涵洞等建筑物将水流引出。如图 14.2-7 采用半节涵排除。

(3) 加固

为了加强岩溶洞穴顶板或填充物的强度,防止坍塌或沉陷,保证建筑物安全,可采用加固措施。(见图 14.2-9、14.2-10)

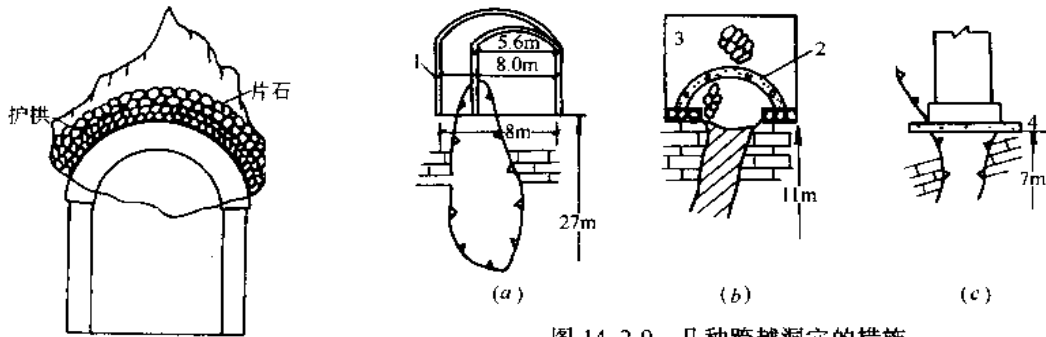


图 14.2-9 几种跨越洞穴的措施

图 14.2-8 隧道拱顶外岩溶空洞的堵塞

1—加宽隧道断面;2—拱跨;3—浆砌片石墙;4—钢筋混凝土板

1) 当隧道遇到溶洞时,可在衬砌外用浆砌片石堵塞或回填干砌片石后再压浆,以保护隧道衬砌(图 14.2-8)。或在隧道拱圈外,用护拱加固溶洞顶部。

2) 在路堑顶及边坡上有干洞穴时,用浆砌片石堵塞,以免边坡坍塌。

3) 在建筑物基底下遇到溶洞而溶洞顶有可能坍塌时,多用于砌片石堵塞(图 14.2-11)也可以利用浆砌片石或灌注各种灰浆堵塞,在挡土墙或建筑物基底的岩溶空洞,必要时可以使用钢筋混凝土盖板加强基底承载力。

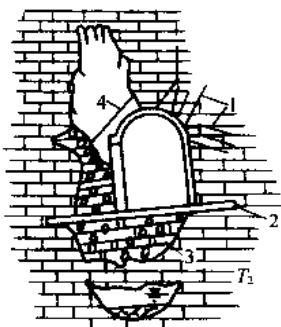


图 14.2-10 ××隧道锚杆加固处理示意图

1—锚杆;2—横梁;3—充填碎块石土;
4—回填的浆砌片石

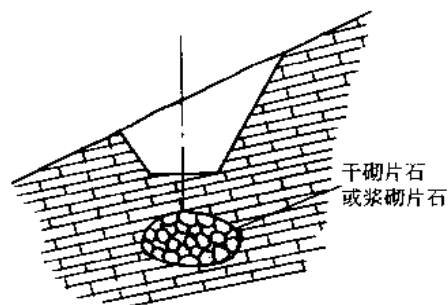


图 14.2-11 堵塞路基底下的空洞示意图

4) 若溶洞需排水不能堵塞时,可以衬砌溶洞洞壁,加强溶洞稳定性,保证水流畅通,如图 14.2-12。

5) 用更换土质加固路基下的松软充填物,以提高地基承载力(图 14.2-13),但必须保证松软土层不会从旁挤出。在特殊情况下,也可以用桩基加固。

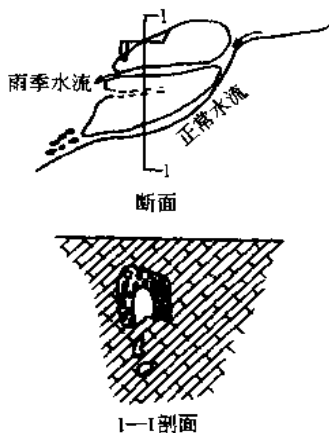


图 14.2-12

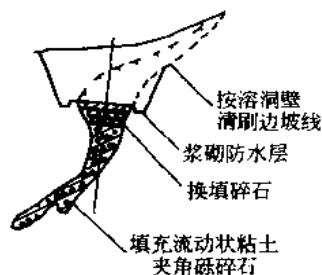


图 14.2-13 更换土层加固路基基底

6) 用灌浆加固建筑物基底下的小孔穴和裂隙。

(4) 清爆

溶洞顶板薄,洞径小,既不能直接在顶板上做建筑物,又不便在洞内做加固工程时,多用爆破将顶板爆开,再做处理,如图 14.2-14。

(5) 跨越

1) 当建筑物下有深大的洞穴,用堵塞法处理困难,应用梁板跨越(图 14.2-15)。在干谷地段,水文情况不易查清时,宜用梁板跨越。

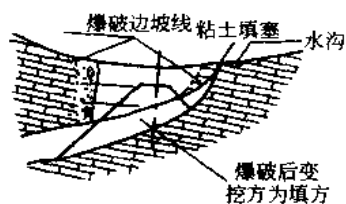


图 14.2-14 采用爆破措施,变路堑为路堤通过的示意图

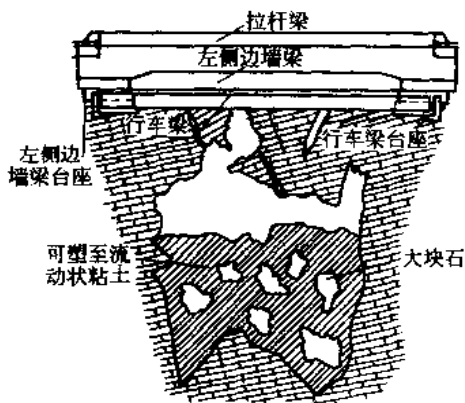


图 14.2-15 某工点跨过溶洞处理示意图

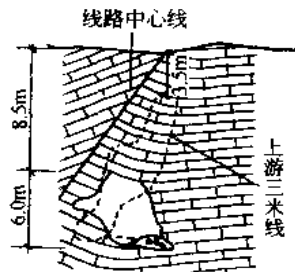


图 14.2-16 某铁路跨过暗河段示意图

2) 当铁路通过暗河或洞河,如顶板不能承载荷重时宜用梁板,或爆开顶板用石拱桥通过(14.2-16)。

(6) 绕避

在施工过程中遇到巨大的难以处理的溶洞时,可采取绕避处理措施。

1) 先避开一时难以处理的岩溶坍塌堆积物或涌水地段,保证施工顺利。

2) 在施工中遇有难以处理的巨大溶洞,必要时应局部改变原来的平面位置,重新选择较好的位置通过,如图 14.2-17。

上述措施,仅是处理常见的岩溶。但岩溶往往非常复杂,处理效果需较长时间的考验,因此对岩溶发育严重的地区,在运营期间应长期观测,经常检查建筑物的使用情况及岩溶的发展动向,以防可能危及行车安全的情况发生。

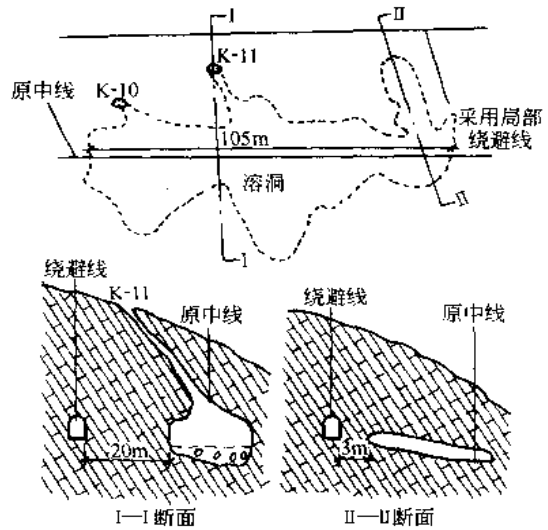


图 14.2-17 某隧道绕避岩溶的示意图

14.2.2 土洞地表塌陷的处理

(1) 地表水形成的土洞

它的形成和发展往往与人类活动有关,如排水不畅,水流集中下渗所致。应认真做好地面水截留,防渗,补漏,杜绝水流入建筑区。对已形成之土洞,可采用挖填配合梁板跨越处理。

(2) 地下水形成的土洞

1) 浅埋土洞 洞体浅,其底部往往有松软土,当地下水位高时,其厚度可能较大。全部清除困难时,可在余土上抛石夯实,其上做反滤层。由于残留土的变形及地下水的活动,处理后常可再发,故而上还须做梁板,据广西地区经验,每边支承长度不小于 1.0~1.5m。

2) 深埋土洞 清除填土困难较大,广西地区的经验可采用钻孔灌砂(或压力灌注细石混凝土)与梁板跨越联合处理。贵州有些工程,在岩面上用爆破桩头以堵塞土洞与岩溶的通道,其上回填砂或粘土。

(3) 人工降水形成的土洞

由人工降水形成的土洞与塌陷,可在极短时间内成群出现,工程措施原则应是预测和预防。一旦发生即使处理了,由于并未停上水动力条件的改变,仍可再生。如何确定塌陷区的位置以确定建筑安全距离,目前尚研究得不够,在此仅对场地选择,取(排)水点位置及取水方案提出一些防治意见。

1) 选择在地势较高的地段及地下水静动水位均低于基岩面的地段进行建筑。

2) 场地应与取(排)水点中心有一定距离。塌陷范围小于抽水井的降落漏斗,据已有资料。大面积降水时,塌陷范围约在降落漏斗中心的 0.3~0.7 直径范围之内。

3) 合理控制取(排)水工程的水位降深值,据某工程资料,塌陷区边缘地下水降深值大于2.0m,塌陷范围 l 与水位降深 S 和渗透系数 k 之乘积有较好的相关关系。例如, $Sk = 40\text{m}^2/\text{d}$ 时, $l = 300\text{m}$; $Sk = 16\text{pm}^2/\text{d}$ 时, $l = 600\text{m}$ 。

4) 塌陷区内不宜把土层做为基础持力层,一般多采用柱(增)基。广东某工程采用钢桁架代替排架,金属挂板代替围护堵,尽量减轻结构自重,并能承受20m范围的塌陷变形。

14.2.3 洞穴堆积物的处理

洞穴堆积物的特点是松软、下沉量大、强度低、不易清除,如在其上修建建筑物时,一般应进行工程处理。主要有如下几种方法:

(1) 在溶洞堆积物厚度大,不易清除时,可采用摩擦桩或端承桩深入或穿过溶洞堆积物,达到加强建筑物稳定性的目的,见图14.2-18和图14.2-19。

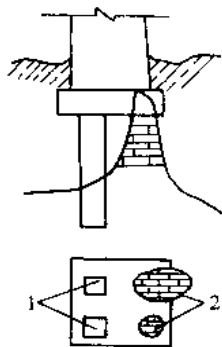


图 14.2-18 ××大桥 11 号墩溶洞处理图

1—挖孔桩 1.5m; 2—石芽;

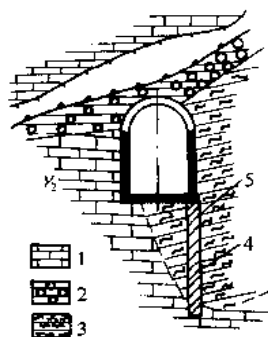


图 14.2-19 ××隧道支承桩

1—石灰岩; 2—石灰华; 3—淤泥质粘土;
4—钢筋混凝土支承桩; 5—边墙梁

(2) 为防止洞穴堆积物上的建筑物发生不均匀沉降,可采用浮筏式基础,使建筑物浮放于松软土层上。

(3) 当溶洞顶覆盖较薄,可采用清爆的方法,揭露溶洞充填物,以便清除、换填,或使充填物风干、提高地基土的强度。

(4) 对于溶洞中较厚的碎块石堆积物,可采用压浆的方法使其固结。对于粘性土、砂类土等以细颗粒为主的堆积物地基或已成建筑基础还可采用旋喷桩方法加固。

14.2.4 覆盖型岩溶地区地面塌陷的治理

针对前述覆盖型岩溶地区地面塌陷的原因,首先应研究铁路沿线的水文地质条件变化情况,提出加强岩溶环境地质保护的措施。其次是做好对已成铁路附近地面塌陷的处理,其方法主要有如下几种:

(一) 在地面塌陷地区

采用路堤形式比路堑为好,因为路堤不致破坏已成的自然拱,不减薄覆盖层厚度。路堤的填料则以碎石、砂等为好,当路基下部有土洞发生时,路堤填料可起缓冲作用,只产生路面

下沉,而不会突然形成空洞,造成重大事故。对既有的塌陷坑,一般也应回填碎、块石,因为细颗粒的填料有被潜蚀的可能。

(二) 网格板垫层

当路基下部的地面塌陷的位置和大小已基本探明时,可采用整体的网格板垫层通过。

(三) 桩基栈桥

在地面塌陷集中发育的地段,可采用桩基栈桥的方法通过,如图 14.2-20 所示。

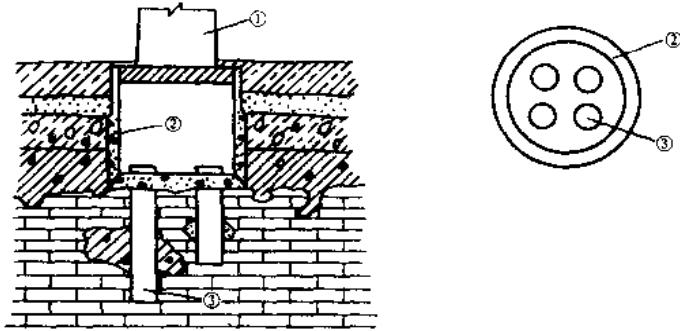


图 14.2-20 ××栈桥基础处理示意图

①—桥墩;②—沉井;③—桩基

(四) 其他整治措施

根据地面塌陷产生的原因,可分别采用一些针对性的整治措施,如采用钻孔通气法,避免负压吸蚀作用的发生;采用岩溶注浆法,堵塞岩溶水的通道;加固溶洞充填物,防止潜蚀作用的发生;采用恢复地下水位的方法(停抽、回灌),防止潜蚀作用的发生;采用强夯法加固地表土层,防止地下水下渗,发生潜蚀等。

参 考 文 献

交通部第一铁路设计院.《铁路工程地质手册》.北京:人民交通出版社,1975