

岩溶地区岩土工程勘察及地基处理探讨

聂文明

江西省地质局第三地质大队

摘要：岩土工程勘察是地基设计的基础，主要为建（构）筑物基础设计、地基处理和施工提供详细的技术参数和工程地质资料，而提供的岩土层参数的准确性关系到基础设计的安全性、经济性和可行性。在岩溶地区，由于地质条件比较复杂，而且岩溶现象比较普遍，往往给地基施工带来很大的困难。本文从岩溶概况出发，结合了工程勘察的实践经验，对岩溶地基岩土工程勘察进行了分析，对岩溶地基处理方法进行了阐述。

关键词：岩溶地区；岩土工程勘察；地基处理

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.17.017

一、引言

岩溶是可溶性岩石（碳酸盐岩、硫酸盐岩等）在水的作用下进行化学溶蚀，长时间导致岩溶地貌形成。由于岩溶地区的地质结构复杂，所以在该地区进行工程建设难度更大，甚至在施工期间很容易出现不良地质现象，如天然溶洞或土洞等。施工人员需要结合当地情况明确地基处理的难点，防止岩溶地区的工程建设受到阻碍^[1]。

二、岩溶地区的岩土工程勘察工作的重要性

岩溶地基工程问题包括地基塌陷、地下洞室、地基沉降、地基稳定性不良等，由于岩溶地区的地基具有特殊的岩土工程性质，其工程问题解决难度较大，影响工程安全和稳定性。同时，岩溶地区地下水循环复杂，地下水水位变化大，会给地基工程带来很大的影响。因此，对岩溶地基岩土工程问题的认识和解决具有重要意义。在建筑工程中，需要采用合适的勘察方法和地基处理技术，对岩溶地基进行合理的处理和加固，以确保工程安全和稳定性。

三、岩溶地区的地基处理主要存在的问题

（一）地基不稳定及塌陷问题

由于地表的岩溶作用，石灰岩的表层会有溶沟发育，在这些发育的溶沟之间常常会残留尖棱状或者锥状的石芽，导致石灰岩地基出现高低不平的现象，从而形成石芽地基。土洞地基和溶洞地基也容易在建筑物的荷重作用下产生塌陷，给建筑物造成严重的安全隐患^[2]。

（二）突水和渗漏问题

在岩溶地区，若有承压水，那么很容易在地基基坑开挖时，引起地下突水，从而导致地基基坑的排水困难，严重的还会把地基淹没。影响岩溶地基稳定性的自身因素：溶洞顶板的厚度和跨度，洞体完整程度和充填情况，岩体强度和产状分布，岩溶裂隙发育等；外部因素有：荷载大小和作用时间长度等^[3]。

四、岩溶地区的地基评价及处理

（一）岩溶地区地基处理措施

1. 岩溶地基加固法

岩溶地基加固技术是指采用不同的工程措施和材料，对岩溶地基进行强化和加固，提高其承载能力和稳定性，以确保工程建设和使用的安全性。在施工之前要合理选择施工材料，其中土工合成材料是一种由高分子合成材料和土工材料组成的复合材料，具有高强度、耐腐蚀、防渗透等特点，可用于加固岩溶地基中的土体、岩石和地下洞穴等部分。同时，钢筋混凝土是一种常用的岩溶地基加固材料，可以采用钢筋混凝土梁、钢筋混凝土柱等方式进行加固，具有高强度、耐久性好、抗震性能强等特点。合理选择施工材料后还要明确施工技术，喷锚是一种加固岩石和土体的方法，通过喷射高强度的钢筋混凝土和灰浆等材料，将钢筋嵌入岩体和土体内部，增加其承载能力和稳定性。土钉加固是常用的岩溶地基加固方法，它通过在岩石和土体中埋设带有钢筋或钢索的土钉，将钢筋或钢索与土体牢固地连接起来，形成一个整体，提高其承载能力和稳定性。桩基加固需要将深入到岩溶地基中的桩作为支撑结构，加固岩溶地基的方法，常用的桩有钢筋混凝土桩、木桩、注浆桩等，可以提高岩溶地基的承载能力和稳定性。岩锚加固通过将钢筋锚杆嵌入岩石中，再用钢筋混凝土等材料将其固定的方法，可以提高岩石的承载能力和稳定性，对此要根据实际的施工情况合理选择加固技术^[4]。

2. 溶洞填塞

众所周知，岩溶地区常常存在着大量的溶洞，这些溶洞不仅给地下水的流动和储存带来一定的影响，同时也会对地表造成威胁，需要对溶洞进行填塞或封闭处理是岩溶地基加固的重要措施之一。其中常用的溶洞填塞技术主要包括物理填塞和化学填塞两种，对于前者而

言，是指通过人工填充物料对溶洞进行填塞，以实现封闭和支撑的目的。填充物可以是砂、石头、混凝土等材料，填充后可通过露天堆放或压实方式加固。后者是指利用化学反应物质填充溶洞，使其变得坚硬和牢固。常用的化学填塞材料有水泥浆、砂浆、聚氨酯等。其中，水泥浆填塞适用于较大的洞穴，砂浆填塞适用于小型洞穴，聚氨酯填塞适用于较为特殊的洞穴填塞。需要注意的是，在填塞过程中需要结合具体情况进行设计，避免填塞不当导致溶洞扩大或者填塞物下沉等问题。

3. 跨越法施工

在处理岩溶地基时，通过桥梁、隧道、管廊等方式实现对地基的跨越，避免对地基的破坏和影响。在岩溶地区，地下水资源丰富，地下空洞和裂隙发育，因此在进行工程建设时常常需要跨越地下河道、洞穴和裂隙等地质障碍物。传统的地基处理方法可能会破坏地下水系统，导致水位下降、水质变差等问题，因此跨越法施工成了一种常用的处理岩溶地基的技术。跨越法施工通常采用钢筋混凝土或预应力混凝土等材料建造桥梁、隧道和管廊等结构，使得工程不会对地下水系统造成不可逆的影响。此外，跨越法施工也可以减少对地面的破坏和对环境的影响，对于保护生态环境具有重要意义^[5]。

(二) 工程实例

某住宅小区位于九江十里河附近，由2栋26F住宅楼，1栋2F物业、社区、养老等用房，附属用房，1F地下室及辅助设施组成，框剪、框架结构，单柱最大荷载8000KN，拟建建筑拟采用浅基础或桩基础。

根据详细勘察揭露，拟建场地覆盖层为卵石土和粉质黏土，下伏岩层为石灰岩，岩溶现象发育，在钻孔深度范围内，存在较多溶洞、土洞，且发育有溶洞群。根据勘察，覆盖层部分厚度不足，且承载力不能满足浅基础设计要求，不能采用浅基础，需以石灰岩作为基础持力层，采用桩基础。由于场地岩溶现象发育，为保证拟建建筑物安全，采用一桩一孔重新进行施工勘察。施工勘察钻孔以进入稳定基岩，且满足可溶岩持力层的厚度要求为准。现以施工勘察的2#楼为例，进行说明，该楼场地钻孔共57个，共揭露有78个溶洞（其中揭露出单溶洞钻孔43个，共43个溶洞；多溶洞钻孔14个，共35个溶洞）、6个土洞，岩溶见洞率为63.6%，土洞为全充填型，溶洞基本为全充填型，个别为半充填和空洞。各溶洞、土洞的分布、埋深及类型见下表1（钻孔多溶洞）、表2（土洞）以及图1（钻孔柱状图2-94）、图2

（钻孔柱状图2-73）：

表1 溶洞位置分布一览表

类型	钻孔编号	层顶埋深(m)	层顶高程(m)	层底埋深(m)	层底高程(m)	层厚(m)
溶洞	2-3	16.2	4.64	17.5	3.34	1.3
		18.4	2.44	19.4	1.44	1.0
溶洞	2-25	8.5	12.03	10.4	10.13	1.9
		12.3	8.23	15.5	5.03	3.2
溶洞	2-30	22.0	-1.17	23.7	-2.87	1.7
		24.3	-3.47	26.5	-5.67	2.2
		28.7	-7.87	32.0	-11.17	3.3
溶洞	2-31	19.2	1.77	19.8	1.17	0.6
		22.2	-1.23	22.7	-1.73	0.5
		23.3	-2.33	28.3	-7.33	5.0
溶洞	2-39	6.2	14.32	9.0	11.52	2.8
		10.1	10.42	12.7	7.82	2.6
溶洞	2-41	14.3	6.20	15.9	4.60	1.6
		17.3	3.20	28.8	-8.30	11.5
溶洞	2-51	9.6	11.08	10.2	10.48	0.6
		11.1	9.58	12.2	8.48	1.1
		13.4	7.28	14.7	5.98	1.3
溶洞	2-55	19.8	1.07	21.6	-0.73	1.8
		22.2	-1.33	23.6	-2.73	1.4
溶洞	2-62	19.7	1.09	20.4	0.39	0.7
		21.3	-0.51	23.4	-2.61	2.1
溶洞	2-63	17.9	2.97	19.7	1.17	1.8
		20.4	0.47	21.3	-0.43	0.9
溶洞	2-73	14.6	6.19	15.1	5.69	0.5
		18.4	2.39	19.5	1.29	1.1
		20.3	0.49	21.8	-1.01	1.5
		23.7	-2.91	24.4	-3.61	0.7
		25.3	-4.51	27.1	-6.31	1.8
		30.4	-9.61	31.4	-10.61	1.0
溶洞	2-83	12.8	7.91	13.6	7.11	0.8
		14.6	6.11	16.5	4.21	1.9
溶洞	2-85	12.6	8.19	13.6	7.19	1.0
		16.1	4.69	19.0	1.79	2.9
溶洞	2-95	12.9	7.87	15.9	4.87	3.0
		17.5	3.27	24.8	-4.03	7.3

表2 土洞位置分布一览表

类型	钻孔编号	层顶埋深(m)	层顶高程(m)	层底埋深(m)	层底高程(m)	层厚(m)
土洞	2-7	17.50	3.34	19.90	0.94	2.40
土洞	2-27	25.60	-5.18	27.70	-7.28	2.10
土洞	2-50	8.20	12.35	10.50	10.05	2.30
土洞	2-61	10.30	10.40	11.00	9.70	0.70
土洞	2-87	13.70	7.19	15.90	4.99	2.20
土洞	2-94	13.30	7.28	17.10	3.48	3.80

工程名称				某住宅小区2#楼施工勘察		工程编号	21-110	图号	73			
钻孔编号	2-73	X坐标(m)		Y坐标(m)		孔口高程(m)	20.79	终孔深度(m)	39.90			
开工日期	2021-8-12	终孔日期	2021-8-13	开孔直径(m)	0.13	终孔直径(m)	0.09	初始水位(m)				
稳定水位(m)		1.1 承压水位(m)										
地层编号	地层名称	年代成因	高程(m)	深度(m)	厚度(m)	柱状图图例	1:200	地层描述	取样编号	N (击)	N63.5 (击)	N120 (击)
⑤-2	卵石	Q ₃ ^l	11.69	9.10	3.10			卵石：褐黄色、饱和、中密。主要为卵石、圆砾、砂及少量黏土，局部夹褐红色薄层状硬壳状粉质黏土或含圆砾粉质黏土，层厚0.10~0.40m。呈透镜体状。卵石呈亚圆状，主要为石英砂岩、石英岩，磨圆一般，其中：卵石含量约占50%，卵石粒径为20mm~150mm，揭露最大粒径200mm；圆砾粒径20mm~20mm，约占20%；砂粒径0.25mm~2mm，约占20%，其余为黏土。				
⑤-3	粉质黏土	Q ₃ ^l	6.89	14.20	5.10			粉质黏土：暗灰色、硬塑状，无层理构造，稍有层理，以层状层理、中厚层状层理、中厚层状层理为主。				
⑥-3	中风化石灰岩	0	6.19	14.60	3.40			中风化石灰岩：灰色、隐晶质结构，中厚层状构造，裂隙发育，部分闭合无充填，充填物为方解石，岩芯主要呈短柱状，部分块状、柱状，节长一般0.05m~0.15m，最长0.20m，有溶蚀现象，岩石质量指标为差的，岩芯锤击声脆，属较软岩~较硬岩，岩体完整程度为破碎，岩体基本质量等级为Ⅴ级。				
⑥-4	溶洞	0	5.89	15.10	0.50			溶洞：全充填，充填物为含砾砂质粉土、碎石等，黏土可塑状，黄褐色、红褐色。				
⑥-3	中风化石灰岩	0	2.39	18.40	3.20			中风化石灰岩：灰色、隐晶质结构，中厚层状构造，裂隙发育，部分闭合无充填，充填物为方解石，岩芯主要呈短柱状，部分块状、柱状，节长一般0.05m~0.15m，最长0.20m，有溶蚀现象，岩石质量指标为差的，岩芯锤击声脆，属较软岩~较硬岩，岩体完整程度为破碎，岩体基本质量等级为Ⅴ级。				
⑥-4	溶洞	0	1.29	19.50	1.10			溶洞：全充填，充填物为含砾砂质粉土、碎石等，黏土可塑状，黄褐色、红褐色。				
⑥-3	中风化石灰岩	0	0.49	20.30	3.80			中风化石灰岩：灰色、隐晶质结构，中厚层状构造，裂隙发育，部分闭合无充填，充填物为方解石，岩芯主要呈短柱状，部分块状、柱状，节长一般0.05m~0.15m，最长0.20m，有溶蚀现象，岩石质量指标为差的，岩芯锤击声脆，属较软岩~较硬岩，岩体完整程度为破碎，岩体基本质量等级为Ⅴ级。				
⑥-4	溶洞	0	-1.01	21.80	1.50			溶洞：全充填，充填物为含砾砂质粉土、碎石等，黏土可塑状，黄褐色、红褐色。				
⑥-3	中风化石灰岩	0	-2.91	23.70	1.90			中风化石灰岩：灰色、隐晶质结构，中厚层状构造，裂隙发育，部分闭合无充填，充填物为方解石，岩芯主要呈短柱状，部分块状、柱状，节长一般0.05m~0.15m，最长0.20m，有溶蚀现象，岩石质量指标为差的，岩芯锤击声脆，属较软岩~较硬岩，岩体完整程度为破碎，岩体基本质量等级为Ⅴ级。				
⑥-4	溶洞	0	-3.41	24.40	0.70			溶洞：全充填，充填物为含砾砂质粉土、碎石等，黏土可塑状，黄褐色、红褐色。				
⑥-3	中风化石灰岩	0	-4.51	25.30	0.90			中风化石灰岩：灰色、隐晶质结构，中厚层状构造，裂隙发育，部分闭合无充填，充填物为方解石，岩芯主要呈短柱状，部分块状、柱状，节长一般0.05m~0.15m，最长0.20m，有溶蚀现象，岩石质量指标为差的，岩芯锤击声脆，属较软岩~较硬岩，岩体完整程度为破碎，岩体基本质量等级为Ⅴ级。				
⑥-4	溶洞	0	-6.31	27.10	1.80			溶洞：全充填，充填物为含砾砂质粉土、碎石等，黏土可塑状，黄褐色、红褐色。				
⑥-3	中风化石灰岩	0	9.61	30.40	3.20			中风化石灰岩：灰色、隐晶质结构，中厚层状构造，裂隙发育，部分闭合无充填，充填物为方解石，岩芯主要呈短柱状，部分块状、柱状，节长一般0.05m~0.15m，最长0.20m，有溶蚀现象，岩石质量指标为差的，岩芯锤击声脆，属较软岩~较硬岩，岩体完整程度为破碎，岩体基本质量等级为Ⅴ级。				
⑥-4	溶洞	0	-10.61	31.40	1.00			溶洞：全充填，充填物为含砾砂质粉土、碎石等，黏土可塑状，黄褐色、红褐色。				
⑥-3	中风化石灰岩	0	-19.11	39.90	8.50			中风化石灰岩：灰色、隐晶质结构，中厚层状构造，裂隙发育，部分闭合无充填，充填物为方解石，岩芯主要呈短柱状，部分块状、柱状，节长一般0.05m~0.15m，最长0.20m，有溶蚀现象，岩石质量指标为差的，岩芯锤击声脆，属较软岩~较硬岩，岩体完整程度为破碎，岩体基本质量等级为Ⅴ级。				
单位名称		工程负责人		审核		核对		图号		73		

图1 钻孔柱状图(溶洞)2-73

工程名称				某住宅小区2#楼施工勘察		工程编号	21-110	图号	94			
钻孔编号	2-94	X坐标(m)		Y坐标(m)		孔口高程(m)	20.58	终孔深度(m)	25.50			
开工日期	2021-8-5	终孔日期	2021-8-6	开孔直径(m)	0.13	终孔直径(m)	0.09	初始水位(m)				
稳定水位(m)		1.2 承压水位(m)										
地层编号	地层名称	年代成因	高程(m)	深度(m)	厚度(m)	柱状图图例	1:150	地层描述	取样编号	N (击)	N63.5 (击)	N120 (击)
⑤-2	卵石	Q ₃ ^l	7.28	13.30	13.30			卵石：褐黄色、饱和、中密。主要为卵石、圆砾、砂及少量黏土，局部夹褐红色薄层状硬壳状粉质黏土或含圆砾粉质黏土，层厚0.10~0.40m。呈透镜体状。卵石呈亚圆状，主要为石英砂岩、石英岩，磨圆一般，其中：卵石含量约占50%，卵石粒径为20mm~150mm，揭露最大粒径200mm；圆砾粒径20mm~20mm，约占20%；砂粒径0.25mm~2mm，约占20%，其余为黏土。				
⑥-1	土洞	0	3.48	17.10	3.80			土洞：全充填，充填物主要为含砾砂质粉土，夹角砾，红褐色夹黑褐色，可塑状。				
⑥-3	中风化石灰岩	0	-4.92	25.50	8.40			中风化石灰岩：灰色、隐晶质结构，中厚层状构造，裂隙发育，部分闭合无充填，充填物为方解石，岩芯主要呈短柱状，部分块状、柱状，节长一般0.05m~0.15m，最长0.20m，有溶蚀现象，岩石质量指标为差的，岩芯锤击声脆，属较软岩~较硬岩，岩体完整程度为破碎，岩体基本质量等级为Ⅴ级。				
单位名称		工程负责人		审核		核对		图号		94		

图2 钻孔柱状图(土洞)2-94

施工勘察期间，地下水较高，水位与岩面的高差不小于10m，且场地水位变化较小，约2-3m。根据地下水赋存、补给、排泄和变化情况分析，拟建场地内的地下水位较高，高于石灰岩岩面，因此，场地地下水对石灰岩的土洞、溶洞等的形成和发展的影响极为缓慢，在可预见的时间内，场地内石灰岩的土洞、溶洞等的发展趋势极为缓慢，可不考虑现有土洞、溶洞进一步加剧的趋势。在桩基础施工遇到土洞、溶洞时，全充填型、半充填型可采取灌浆措施进行处理，如旋喷灌浆、静压灌浆等，空洞可采取灌入混凝土、砂砾石等。

五、结语

岩溶地区的地基岩土特点是岩石稳定性差、地下水丰富、地质灾害多发等，因此，对于岩溶地区的工程建设和使用都存在较大的安全隐患。岩溶地基岩土工程勘察及其地基处理对策是岩溶地区工程建设的重要环节，对于提高工程安全性和工程质量具有重要意义，需要根据具体的地质条件和工程情况，选择合适的处理方法，以确保工程的安全性和稳定性。

参考文献

- [1] 聂建微. 某岩溶地区深厚碎块石填土岩土工程勘察与评价[J]. 云南水力发电, 2022, 38(01): 115-117.
- [2] 陈智科. 湿陷性黄土地区岩土工程勘察和地基处理要点[J]. 工程建设与设计, 2021(18): 36-38.
- [3] 郝彦猛, 杨海雨. 豫西湿陷性黄土地区岩土工程勘察和地基处理措施探讨[J]. 低碳世界, 2021, 11(05): 79-80.
- [4] 张志刚, 张恩重. 岩溶地基岩土工程勘察及地基处理分析[J]. 工程建设与设计, 2020(17): 46-47+50.
- [5] 邹弦, 文武, 程绍萍. 岩溶地基岩土工程勘察及地基处理研究[J]. 四川水泥, 2020(04): 260.