

城市岩溶地质调查及评价方法探讨 ——以浙江杭州市为例

罗以达 梁 河 高海发 秦祥熙

(浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203)

提要:中国城市地质调查中的岩溶地质调查及评价方法处于探索阶段,目前尚缺技术规范与工作指南。笔者基于杭州城市的岩溶地质特征和杭州经济社会对岩溶地质调查的需求,以基本查明城区岩溶地质特征、岩溶塌陷重点区的稳定性评价为目标,采用充分利用前人资料、补充调查、重点解剖的工作思路,地质、物探及钻探、模糊层次分析评价相结合的工作方法,较大地提高了本区岩溶地质特征、岩溶塌陷预测的研究程度。并在开展调查及评价实践的同时,对工作方法进行了积极探索与初步研究。

关键词:杭州城市;岩溶地质;岩溶塌陷;稳定性评价

中图分类号:P642.25

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2009)05-1187-07

杭州地处中国大陆亚热带岩溶区东北隅^[1],是中国东部沿海发育岩溶的部分城市之一,区内岩溶主要发育于古生界碳酸盐岩中,并以西湖复向斜内的上古生界灰岩中最为发育(图1)。按岩溶地层的出露条件本区岩溶分为裸露、覆盖、埋藏3种工程地质类型,可溶岩的面积大于190 km²(不包括埋藏型),约占杭州市域面积的6%。裸露型岩溶以发育溶沟、石芽的溶丘平原为特色,地下发育了多层溶洞及地下河等洞穴景观;覆盖型岩溶上覆松散层厚为6~45 m,岩溶区带内不同程度地发育溶(土)洞,以杭州主城区西湖周边为代表,主要存在地面塌陷与地基稳定性等环境地质问题;埋藏型岩溶与地热资源关系密切,但缺少深部相关资料,本次调查未涵盖。

根据杭州城市经济社会发展对岩溶地质调查的需求,也基于以往地质调查积累的各类相关资料和岩溶特征及成因分析^[2-3],确定了本次调查以区域岩溶地质特征调查为基础,岩溶塌陷强烈区的调查与稳定性评价为重点。参考岩溶地区工程地质调查规程(1:10万~1:20万,DZT-0060-1993)和工程地质

调查规范(1:2.5万~1:5万,DZT0097-1994)的要求,充分利用主要岩溶区实际调查可施展的有效空间,采用地质背景与岩溶特征调查,收集资料与实地调查、区域调查与重点解剖、地质调查与工程物探及钻探验证相结合的工作方法。通过项目实施过程中的不断探索、及时调整工作部署与技术方法,有效地提高了杭州城市岩溶地质特征与岩溶塌陷问题的研究程度。

1 充分利用前人资料

充分收集岩溶区的区域地质、水文地质、工程地质、环境地质、物探、钻探等相关资料,是开展岩溶地质调查的工作基础。裸露岩溶区主要是利用区域地质调查背景与岩溶地质特征资料,覆盖岩溶区着重收集钻探、物探、地下水、地面(变形)塌陷资料,收集、整合与分析资料的可利用程度,成为确定本次调查精度与工作部署的重要依据之一。

1.1 收集利用岩溶地质资料

系统收集灰岩区及周边地层与岩性界线、断裂

收稿日期:2008-09-22;改回日期:2009-04-28

基金项目:杭州城市地质调查项目(200413000021)资助。

作者简介:罗以达,男,1955年生,高级工程师,从事区域地质调查工作;E-mail:luoyida1@126.com。

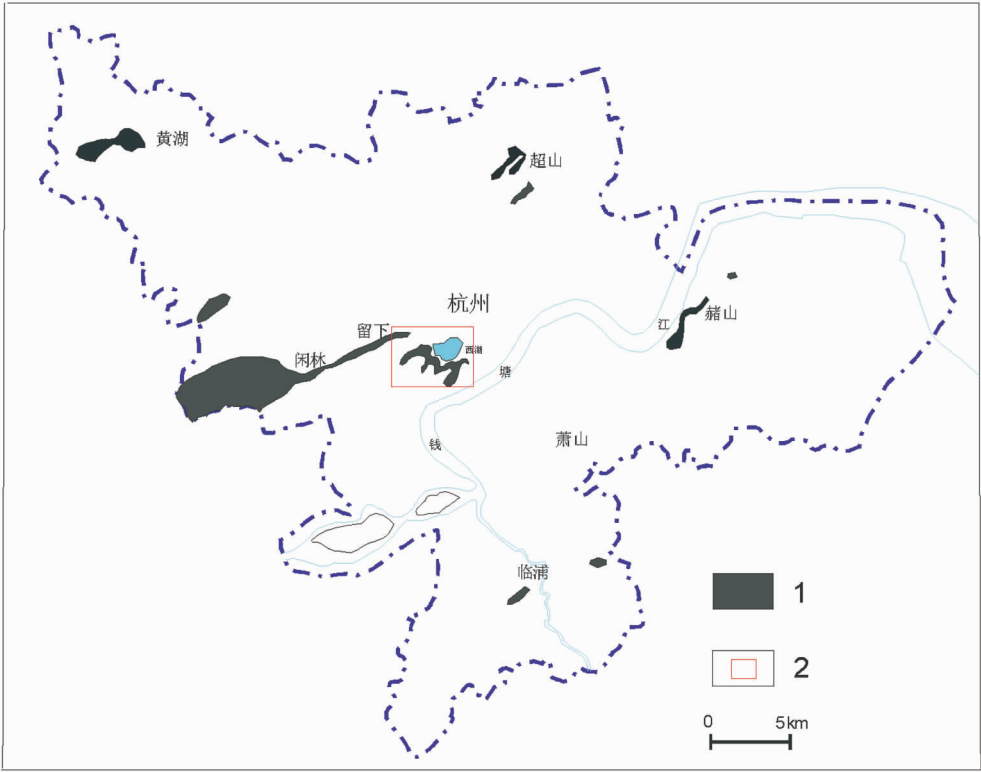


图 1 杭州市裸露、覆盖型岩溶分布图
1—灰岩分布区;2—重点调查区

Fig.1 Distribution of exposed and covered karst in Hangzhou City
1— Distribution of limestone; 2—Key surveying area

构造、岩溶泉水分布、溶洞分布、岩溶塌陷、抽水井孔等的详细资料,并将其详细转绘、标注、编制岩溶地质草图,反映灰岩的分布范围、岩溶发育程度及地质研究程度,分析存在的主要问题,为本次调查工作部署的确定提供依据。

对于地质条件较复杂、岩溶较发育的重点区域,采用较大比例尺 (1:5000~1:10000) 的地理底图,转绘、标注相关岩溶地质内容,以充分反映岩溶区地质构造特征、灰岩地层与岩性的分布状况,以及与岩溶发育程度关系密切的溶洞、岩溶泉水、地面塌陷分布等内容;而对于岩溶相对不发育的岩溶区域,以中等比例尺 (1:10000~1:25000) 地理底图,编绘岩溶地质草图。

1.2 筛选整理钻孔资料

基于杭州西湖周边等主要岩溶区为建城历史悠久的主城区,以往工程建设积累了大量的钻孔资料,进行重点收集与整理、筛选,成为覆盖岩溶区地质调查基础工作的必然选择。根据钻孔中提取数据和精度控制的要求,整理、筛选按以下步骤进行。

(1)分析以往钻孔分布状况和可靠程度,评估钻孔资料的完整性与准确性,并进行钻孔的初步筛选,对钻孔属性的几大要素,如钻孔号、地理坐标、孔口标高、孔深、基岩埋深、分层描述、土工测试数据、工程名称等进行校验。筛选有地理坐标、分层描述等基本数据齐全的有效钻孔。

(2)根据钻孔类型把有效钻孔进行分类分组。一般分为灰岩钻孔、非灰岩钻孔、第四系钻孔 3 类,其中前两者均为揭穿第四系的基岩钻孔。基岩钻孔要求有较详细的岩性描述,并优先选择深度较大,地层时代、岩性不尽相同的钻孔。

(3)把以上各类分组钻孔的坐标进行统一换算,自动投影到地理底图上,得到各类初筛孔平面分布图。然后综合考虑空间网度、基岩岩性特征、钻孔资料可利用程度等因素,对初筛孔进行合理取舍,最后编成精选钻孔平面分布图。

2 裸露型岩溶地质调查

裸露区以地质调查为主,采用实测与修测相结

合的方法。对已经过 1:5 万区域地质调查程度较高的区域,充分利用地层、岩石、构造等地质背景资料与局部修测相结合,并以划分岩溶层组类型为重点。针对灰岩地层、构造等主要地质界线控制程度不够和地层产状变化地段,以穿越法和追索法有效补充控制地质(点)路线,修编 1:10000~1:25000 岩溶地质草图。在构造复杂的重要区段,进行构造剖面与观测点上的详细研究,着重查明各类构造要素的几何形态、破裂构造面的结构、变形构造的力学性质、岩溶地貌形态特征,以及岩溶地貌与各类构造(褶皱、断裂、节理、劈理、裂隙、层理)的关系。

系统收集岩溶地貌类型、形态特征、规模、空间分布、相互关系、形成时代、成因等岩溶地质资料。根据以往调查资料选择地表、地下岩溶发育的区段,按不同碳酸盐岩类与岩溶发育特征,对典型的岩溶地貌,如地表的石牙溶沟、漏斗、落水洞、干(盲)谷,地下的溶隙、溶洞进行形态特征、组合及成因研究。

从而基本查明本区岩溶地质背景条件、主要岩溶带空间分布、岩溶地貌类型及特征,在此基础上编制裸露岩溶区实际材料图和岩溶地质图。并以此为依托,初步分析、判断相邻覆盖岩溶区的构造格架与碳酸盐岩地层的空间展布格局。

3 覆盖型岩溶地质调查

对覆盖型岩溶的调查,根据岩溶发育强度、前人工作程度、城市功能区划指数,分为一般调查区与重点调查区。对岩溶发育程度较弱的一般调查区,通过可利用资料的相关分析,进行岩溶塌陷稳定性的分析与定性评价。对西湖周边(约 18 km²)等重点调查区,在收集利用各类地质资料及物探资料的基础上,采用工程物探勘查及钻探验证的调查与评价方法。

3.1 岩溶地质结构要素提取与分析

结合相邻裸露区的地层分布、构造格架特征,充分利用收集的 300 余个工程钻孔(17 个/km²)及物探资料,重点厘定覆盖层岩性、结构与厚度、岩溶发育程度(见洞率)地下水水位埋深及地面塌陷的历史与现状,系统整理、分析与岩溶塌陷及进行稳定性评价的相关因子。

(1)分析微地貌特征并进行划分。根据钻孔岩性资料与裸露区构造展布及特征厘定构造格架,分析

推断褶皱、断裂空间位置、形态与属性。

(2)利用深达基岩及以下的有效钻孔资料,结合相邻裸露区的地质构造特征综合分析,厘定覆盖区石灰岩的空间分布边界、基岩面形态,隐伏岩溶如石牙、漏斗、洼地、槽谷的形态规模、深度、空间分布、浅部岩溶的发育程度,岩溶充填程度与充填物特征,编制基岩地质图与基岩面等深线图。

(3)利用有效钻孔资料分析覆盖层(第四系)的岩性、结构、工程地质性状、厚度变化与岩溶塌陷等变形现象的关系,着重厘定极易产生潜蚀土洞和渗透变形的粉土、软土类、易液化砂土等特殊土层,以及与塌陷点、土洞的对应关系。土体结构分层一般按稳定性依次降低:分为中新统坡洪积含砾粘性土、上新统洪冲积夹砾粘性土、全新统冲洪积砂性土夹粘土 3 个组合。土体结构分层从单孔(柱状剖面)入手,以多孔的对比连接组成剖面,在控制主干剖面的基础上,由若干条剖面组成覆盖层空间结构。

(4)根据以往岩溶塌(沉)陷引起的地面变形的历史记录资料,如时间、地点、塌陷坑几何形态、规模、空间展布,已有岩溶塌陷(点)空间分布,并对主要点进行现状调查。结合岩溶发育强度和工程钻孔的岩溶(洞)能见率,以及裸露区岩溶带的延伸,确定地下隐伏岩溶带的空间分布与发育程度,并在以往岩溶塌陷点、钻孔控制溶洞点实际材料图的基础上,编制岩溶地质图。

(5)对地下水开采历史数据、岩溶区历年的水井监测资料,分析地下水的开采与水位的变化与岩溶塌陷的相关性,编制地下水位变化与岩溶塌陷相关分析图。

3.2 物探勘查及钻探验证

3.2.1 物探勘查

物探方法是覆盖型岩溶地质调查的重要手段^①,通过物探方法可以获得灰岩分布区岩溶等不良地质体的空间展布与主要特征资料。本区物探解剖性勘查的目标是:查明岩溶区灰岩分布范围、灰岩埋深、控岩断裂、灰岩溶洞与第四系内部土洞发育情况。

(1)岩土体物性特征分析。岩石地球物理参数研究与物探方法试验表明^①:杭州岩溶区灰岩、白云岩电阻率为 2000~8000 Ω·m,最高可达 20000 Ω·m,泥灰岩电阻率一般大于 600 Ω·m。随着岩石节理、

①浙江省地球物理勘查院等.浙江省区域地层岩石物理化学参数研究报告,1991.

裂隙发育和破碎程度增加,岩溶发育程度相应增强,填充物含量的增加,电阻率呈急剧下降趋势,最低可降至 $100\ \Omega\cdot\text{m}$ 以下。对于无充填的溶洞,一般电阻率比基岩电阻率高。这种电阻率的差异,适合采用高密度电阻率法进行岩溶区剖面勘测,获得断面视电阻率值,探明低阻异常。

碳酸盐岩与第四系松散层的电阻率差异明显。当第四系内部土洞发育时,形成相对高阻异常。灰岩内部发育岩溶(洞),并充填低电阻率的充填物而形成相对低阻异常。断裂带位置易形成溶蚀,而使得断裂带与上、下盘围岩存在电性差异。因此,本区具备应用高密度电法推断灰岩埋深、分布范围、查明土洞、岩溶、断裂发育情况的地球物理前提。

(2)物探方法选择及应用实例

在地质调查、综合分析的基础上,对西湖周边主要岩溶带,根据物探勘查施工条件的适宜性,通过浅层地震法、地震映像法、高密度电阻率法等多种物探勘查方法的有效性试验,最终选择了近年发展起来

的高密度电阻率法为工程物探勘查的基本方法。

图 2 是杭州超山 2 号测线高密度电阻率法断面图,断面电阻率值总体层次较为清楚,由上至下逐层渐变。在剖面 0~70 m 区域存明显的低电阻异常,36 m 以上的区域电阻率低于 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,推测为池塘水浸湿土体引起;36 m 至 45m 厚度不到 10 m 左右的区域电阻率突然递增至 $230\ \Omega\cdot\text{m}$,横向差异也较大,推断为顶板塌陷的溶洞或溶槽。经(ZK3)钻探验证,该区域存在长 70 m、高 6 m 左右的溶蚀空间中充填的是残积蚀余红粘土。

图 3 为杭州丝绸博物馆高密度电阻率断面图,测线位于凤凰前山岩溶带的莲花峰路北侧,以往地表曾发生过塌陷。电阻率断面图显示两个电阻率低值区,结合测线上以往钻孔资料,可以确定为上古生界石灰岩组成的基岩面起伏,平均埋深约 17 m。有两个地下溶洞发育区。其中一个位于测线小号端点 33~60 m、深度在 13~20 m 的区域。另一个位于测线小号端点 93~144 m、深度在 18 m 以下的区域。

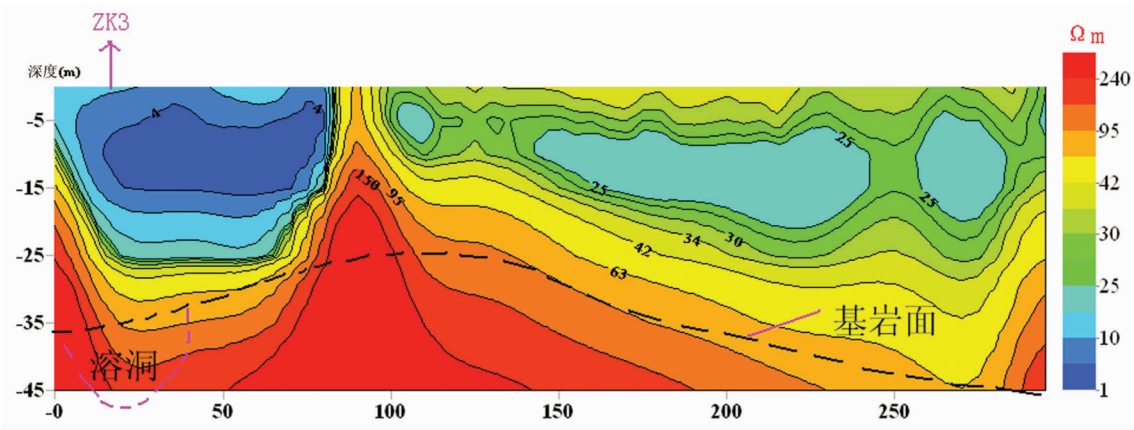


图 2 杭州超山 2 号测线高密度电法电阻率断面图
Fig.2 High density resistivity profile of No. 2 counting line in Chaoshan, Hangzhou

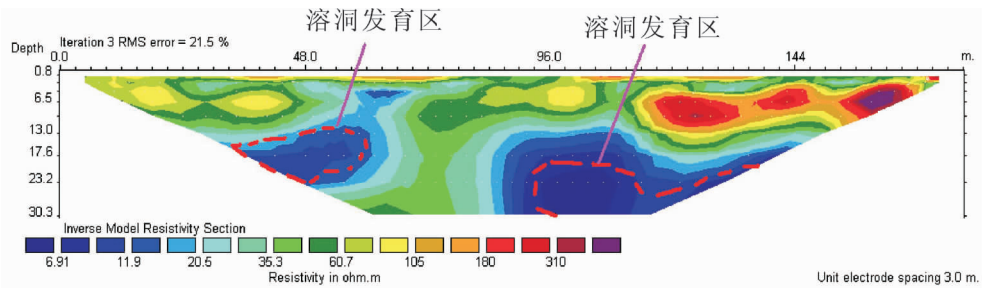


图 3 杭州丝绸博物馆电阻率断面图
Fig.3 Resistivity profile of Hangzhou Silk Museum

3.2.2 钻探验证

覆盖岩溶区调查中的钻探不同于岩溶区的工程勘查,目的是对物探解释推断成果进行验证,确认隐伏灰岩边界、断裂、溶洞的空间分布与大致规模。并通过这种印证与核实,总结岩溶区物性数据特征及变化规律,更有效地利用物探断面进行区域岩溶带地质成果的推断。

4 岩溶地面塌陷稳定性评价

在前人资料整理分析、物探勘查及钻探验证,基本查明岩溶塌陷控制因素的基础上,结合数理统计与分析理论,采用模糊层次分析法对西湖及周边地区进行岩溶塌陷区域稳定性评价。

4.1 评价目标

针对岩溶地面塌陷的危险性,基于GIS三维可视化平台与MapGIS平台,通过对众多属性数据整理、分类与分析研究,实现岩溶地面塌陷区划模型。首先通过层次分析法获得各因子层的重要度,通过决策评价系统中的专家评判法,得到各评价因子的最优权值,并基于模糊集思想,获取各定性指标和定量指标的隶属级别,通过空间叠置分析,获得岩溶地面塌陷危险性分区图。

4.2 评价指标

4.2.1 评价因子的确定

层次分析法,结合西湖调查评价区的地质构造条件,确定影响岩溶地面塌陷的目标层A,即岩溶塌陷危险性等级;条件层 $B=\{\text{岩溶条件,覆盖层条件,构造条件,水条件,地形地貌条件}\}$;因子集为 $C=\{\text{岩溶地层,岩溶发育程度,土层厚度,土层岩性,土层结构,距褶皱距离,距断层距离,断层性质,地下水与基岩面距离,地下水位变幅,地下水径流强度,距地表水体距离,地貌单元}\}$ 。

4.2.2 评价因子的等级划分和取值

根据岩溶地面塌陷形成条件和影响因素分析,确定了参与评价的13个因子的指标体系,每个因子等级划分为稳定级、基本稳定级、次不稳定级、不稳定级、极不稳定级,按对塌陷危险性贡献的大小分别赋予1、2、3、4、5分的计分原则,给单元中各单因子赋予分值。

4.3 评价方法

4.3.1 评价模型建立与求解

(1)隶属度权重的确定——层次分析法

该方法通过刻画各影响因素对岩溶塌陷产生的影响程度及各影响因素之间的组合效应,利用专家对各个评价因子之间的相关性打分,通过层次分析计算方法,在一致性检验通过的前提下,确定各因子层对应的权重,再通过系统进行评价计算,求得各个单元的危险度,得到研究区岩溶塌陷危险评价区划图。

该方法的主要步骤为建立层次结构模型、构造判断矩阵、相对重要程度计算、一致性检验。建立层次结构模型是将研究区评价因子分为目标层、条件层、因子层,如“评价因子的确定”中所描述的;构造判断矩阵是层次分析中权重值确定的重要一步,判断矩阵的元素反映了研究者对影响因子之间相对重要性的认识,主要依据为A.L.Satty提出的“1-9标度”法;相对重要程度是计算各判断矩阵的特征向量,经归一化后得出岩溶塌陷各基本条件及相关因子的相对权重值,再通过条件层与因子层相对权重的连乘,可得到各预测因子的计算权重值;

一致性检验研究表明,若一致性检验值小于0.1时,可接受判断矩阵的一致性。

4.3.2 隶属度的确定

(1)隶属函数的选择

单因子隶属函数的选择是确定模糊关系矩阵的关键步骤。根据对各评价指标值的统计分析,借鉴曾玉莹等^[5]提到的岩溶地面塌陷危险性模糊评价方法,定性指标采取离散取值,定量指标采取正态函数为隶属函数。

(2)模糊关系矩阵的计算

对于单层次模糊综合评判模型,给定两个有限论域:

$$U=\{u_1, u_2, \dots, u_m\}$$

$$V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

U 为所有评价因子所组成的集合; V 为所有评价等级所组成的集合。

如果着眼于第 $i(i=1, 2, \dots, m)$ 个评价因子 u_i ,其单因子评价结果为 $C_i=\{C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in}\}$,则各评价因子的评判决策矩阵

$$C=\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_m \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mn} \end{bmatrix};$$

就定义了 U 到 V 上的一个模糊关系。

如果各评价因子的权属分配为： $WC=\{Wc1, Wc2, \dots, Wc13\}$ 且

$$\sum_{i=1}^{13} W_{ai}=1$$

显然, Wc 为论域 U 上的一个模糊子集, 则通过模糊变换, 可以得到论域 V 上的一个模糊子集, 即综合评判结果:

$$A=WcC=\{a1, a2, a3, a4, a5\}$$

式中: $a1$ 代表稳定级, $a2$ 代表基本稳定级, $a3$ 代表次不稳定级, $a4$ 代表不稳定级, $a5$ 代表极不稳定级。

将每个单元中各因子的值都按照上述方法计算, 即可求得 13 个评价因子的模糊关系矩阵。最后根据最大隶属原则, 判断出单元所属危险度的级别。

4.4 分区评价结果

通过研究区 301 个钻孔及其中 60 个见溶洞的钻孔, 将研究区划分为 $307\times230(70610)$ 个规则网格单元, 在得到 13 个因子的网格化结果后, 对每个单元都进行级别隶属度的确定。根据各单元评判的结果, 并按照最大隶属度原则, 从而计算出最后综合评价的每个单元的级别, 将相同级别的单元进行归并, 生成岩溶塌陷危险性分区图。评价结果显示分 4 个区, 即稳定区、基本稳定区、次不稳定区、不稳定区, 极不稳定区没有出现。就整体而言, 西湖周边地区虽然地质构造情况较为复杂, 第四系厚度较小, 但是可溶性灰岩的分布面积不大, 加之诱发岩溶塌陷的地下水开采活动已基本禁止, 不存在极不稳定区域, 不稳定及次不稳定区域分布面积也较小, 因此地质环境总体较为稳定。

5 结 论

(1) 由于多数城市以往地质调查工作的程度相对较高, 历次地质调查与勘探积累了与岩溶地质相关的资料, 加上如以往发生的岩溶塌陷坑(点)和建成区的钻孔资料等只能依赖于收集获取, 其充分收集前人资料成为开展岩溶地质专项调查的重要前提。

(2) 岩溶的形成与演变受控于地质背景条件、空间分布、发育程度、形态特征及成因分析等, 只有以岩溶地质背景、裸露区岩溶形态特征的调查为基础。

(3) 对城市主要功能区覆盖型岩溶开展调查, 主要岩溶带特征的解剖要采用工程物探剖面勘查及钻探验证的手段, 其中高密度电阻法具有的场地适宜性与测深功能, 更能适应城市在建成区与建成区的多数空间环境, 能较有效地查明灰岩的边界、断裂、溶洞。

(4) 通过岩溶区各类资料的相关因子分析及建模分区试验, 模糊层次分析法是进行杭州西湖周边地区岩溶塌陷稳定性评价的有效方法。

参考文献(References):

[1] 袁道先, 刘再华, 林玉石, 等. 中国岩溶动力学系统 [M]. 北京: 地质出版社, 2002: 39-47.
Yuan Daoxian, Liu Zaihua, Lin Yushi, et al. Chinese Karst Kinetic System [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 39-47 (in Chinese).

[2] 刘思秀. 杭州市西部岩溶山区地面塌陷与地下水资源开发初步研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11(1): 11-16.
Liu Sixiu. A preliminary study on the Karst collapse and underground water utilization in the western hills, Hangzhou [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2000: 11(1): 11-16 (in Chinese with English abstract).

[3] 浙江省环境地质总站. 杭州岩溶地面塌陷初步探讨[J]. 浙江地质, 1988, 4(2): 66-72.
Zhejiang Province Geologic Environment Monitoring General Station. A preliminary discussion on Karst surface collapse in Hangzhou [J]. Zhejiang Geology, 1988, 4(2): 66-72 (in Chinese with English abstract).

[4] 刘晓东, 张虎生, 邢应太. 高密度电法在岩溶地质调查中的应用[J]. 地质与勘探, 2003, 39(Z1): 65-68.
Liu Xiaodong, Zhang Husheng, Xing Yingtai. The application of resistivity imaging to geological survey of Karst [J]. Geology and Prospecting, 2003, 39(Z1): 65-68 (in Chinese with English abstract).

[5] 曾玉莹, 郑小战. 岩溶地面塌陷危险性模糊评价方法 [J]. 工程地质学报, 2007, 15(1): 62-65.
Zeng Yuying, Zheng Xiaozhan. Fuzzy evaluation method for Karst Collapse risks [J]. Journal of Engineering Geology, 2007: 15(1): 62-65 (in Chinese with English abstract).

A tentative discussion on methods for urban karst geological survey and evaluation: a case study of Hangzhou City in Zhejiang Province

LUO Yi-da, LIANG He, GAO Hai-fa, QIN Xiang-xi

(Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, Zhejiang, China)

Abstract: Karst geological survey and evaluation methods for urban geological survey remain in the exploring stage in China, and there exist no available technical codes and guidelines. On the basis of Hangzhou urban karst geological characteristics and the demands of Hangzhou economic society for karst geological survey, the authors tried to find urban karst geological characteristics and evaluate the stability of the key karst subsidence blocks. Data from previous work were fully used, supplementary investigation and dissection of key points were made, and the combination of geology, geophysical exploration, drilling and fuzzy layers analysis were implemented. These measures have greatly promoted the research level of karst geological characteristics and the forecast of karst subsidence in this area. The working methods are also actively studied in this paper.

Key words: Hangzhou City; karst geology; karst subsidence; evaluation of stability

About the first author: LUO Yi-da, male, born in 1955, senior engineer, engages in regional geological survey; E-mail: luoyida1@126.com.

《矿产勘查》杂志

欢迎投稿、欢迎订阅、欢迎刊登广告

双月刊, 全年定价 120 元, 国内统一刊号: CN11-5875/TD

邮发代号 2-656, 国内外公开发行

《矿产勘查》杂志是经国家新闻出版总署批准、由《有色金属矿产与勘查》、《岩土工程界》相继更名而来, 是中国有色金属工业协会主管、有色金属矿产地质调查中心主办的国内外公开发行的刊物, 2010 年 1 月正式出刊。

办刊宗旨: 本刊为服务于商业性矿产勘查的综合技术信息性刊物, 力求全面展示矿产勘查领域的新理论、新方法、新成果和新进展, 及时报道政策资讯、行业动态和矿业权信息, 搭建交流平台, 促进地质找矿突破和矿产勘查业的发展。

读者定位: 以矿产勘查界的技术和管理人员为主要读者群, 同时辐射国土资源管理、矿业和投资界、院校及科研院所等相关技术和管理人员。

栏目设置: 政策纵览、信息速递、单位风采、专家论坛、案例分析、风险勘查、境外矿产、矿床地质、勘查技术、工程地质等。

主编: 王京彬; 联系人: 曲丽莉

编辑部联系电话: 010-84925664; 传真: 010-84921864

投稿 E-mail: kuangchankancha@sina.com; kckc@cnnm.com

地址: 北京市安外北苑 5 号院 4 区有色地质大厦 1104 室

邮编: 100012