

气体地球化学方法在岩土工程中的应用

郭进京 杜东菊 韩文峰

(天津城市建设学院土木工程系,天津 300384)

【摘要】 断裂构造的勘察和评价是岩土工程的重要工作之一。断层气体地球化学方法可以用于断裂构造的勘察和评价,主要用于:确定断层的位置、规模和产状;定性分析断层的活动性;研究断层的切割深度或断层性质;场地地震危险性评价、地震烈度的标定和地震区划。

【关键词】 岩土工程勘察;气体地球化学;断裂构造

【中图分类号】 P 593;P 642.27

Application of the Gas Geochemistry Method in Geotechnical Engineering

【Abstract】 The survey and evaluation of fault and its activity is an important part of geotechnical engineering investigation. Gas geochemistry method can be used in the fault investigation. Study on fault gases could help us to locate the faults, especially for the buried fault, to determine the fault's scale, attitude, cut depth, and to analyze the activity of fault. Meanwhile, time-spatial variation fault gas field could provide a great amount of additional information for site seismic risk analysis, calibration of seismic intensity and seismic microzoning.

【Key words】 geotechnical engineering investigation; gas geochemistry; fault

0 引言

断裂构造的勘察和评价是在强震区进行工程建设的一项重要研究课题,在工程可行性研究、场址选择及前期工作中是一项重要的基础性工作^[1]。对断裂构造,尤其是活动断层或发震断层的研究、勘察、评价及监测对大型水利水电工程、核电站工程、桥梁和隧道工程,城市地震小区规划,生命线工程等工程的选址、设计、施工乃至运营都具有特别重要的意义。

断裂构造是岩石圈运动过程中产生的构造应力作用于地壳形成的地壳破裂面或破裂带,是地壳中的构造薄弱带,也是构造应力易于集中和再次活动场所。现代地壳中发生的地震绝大多数都与断裂构造的活动有关。断

裂构造研究方法很多,如野外宏观观测、现场仪器测试、室内微观超微观构造分析、工程揭露、钻探方法、遥感图象分析、GPS 大地测量地壳形变、地球物理方法和地球化学方法等。断裂构造是地壳内部与外部物质、能量、信息交换的主要通道之一,尤其是气体溢出的通道。20 世纪 80 年代以来兴起的气体地球化学理论和方法^[2,3]可以用于研究断裂构造的气体地球化学场,有效地确定断裂的空间位置,揭示断裂的产状、规模、切割深度、性质及活动性^[4,5],为岩土工程中断裂构造的勘察和评价提供重要的资料。

1 断裂构造的气体地球化学场的形成与特征
气体地球化学是一门十分年轻但又充满

基金项目:天津市高等学校科技发展基金项目资助(01-20211)

作者简介:郭进京,男,汉族,1962年生,1999年毕业于西北大学地质学系,理学博士,副研究员,主要从事岩土工程教学与研究。E-mail:guojinjing@eyou.com

生机的多领域交叉的前沿学科。虽然它作为学科名称出现只不过有 20 年的历史,但目前气体地球化学方法已被广泛应用于构造、找矿、地下水、环境、工程勘察及地震地质研究和地震监测预报。^[2~10]

地球是一个巨大的开放系统,地球放气,尤其是岩石圈的去气现象是岩石圈与大气层进行物质、能量、信息交换的一种重要形式。地壳放气部位空间上主要集中在大洋中脊、活动断层、温泉外露以及大地震震中区,主要放气时段多集中出现在火山活动、构造活动、地震活动的强烈时期。^[4]断裂构造,尤其是上部地壳中的脆性断层带,岩石破碎、结构相对松散、空隙贯通性好,是地壳内部气体向外释放的重要通道。地壳内部的各种气体通过断裂带向上运移释放,沿断裂带形成特定的气体地球化学异常场,我们把这种沿断裂带出现的气体地球化学异常场称之为断层气场。

大量的断层气场研究表明不同切割深度的断层会形成不同成分的气体地球化学场;不同规模、不同活动性的断层会形成不同强度的地球化学场;不同产状的断层会形成不同型式的气体地球化学场。^[4]因此通过对断层气体地球化学场的详细研究可以为查明断层的空间位置、断层切割深度、断层规模、断层活动性等提供重要信息,从而为断层的勘察和工程评价开辟新的途径。

目前,断层气体地球化学场的研究主要对象是 Rn、Hg、Ar、He、CO₂、H₂、CH₄ 等气体异常强度、同位素组成特征等,尤其是放射性气体 Rn、金属气体 Hg、CO₂、H₂、He 对断层的勘察和评价非常有效。

2 气体地球化学在岩土工程的应用

断裂构造的勘察和工程评价是岩土工程勘察的一项重要任务,勘察的主要内容是查明断裂的类型、空间位置、活动性和地震效应,评价断裂构造对工程的影响,提出工程处理措施。其中查明断裂的类型、空间位置、活动性和地震效应是关键。断层气体地球化学场研

究理论和方法的引入岩土工程勘察,可以有效、快速、经济地获得大量有关断裂构造特征的信息。

气体地球化学方法在岩土工程勘察中应用可以归纳为如下四个方面:

2.1 快速、有效的确定断层位置、规模和产状

断层位置的确定,尤其是第四纪松散堆积物较厚的平原地区,有时是比较困难的,虽然我们可以运用宏观地形地貌特征分析、地球物理勘探(电法、磁法、地震、重力)和钻探或工程揭露等手段来确定断层的位置,但利用断层气场理论和方法不仅快速有效而且经济。

大量的研究资料证明,对于覆盖层不厚的隐伏断层,通过断层气测量可以准确找出断层的位置,但是断层气高值的幅度、剖面的形状常受断层的规模、倾角、岩性、破碎带宽度、充填物的透气性及覆盖层的厚度、成分、地貌、植被等多种因素的影响,如当断层倾角较陡、破碎带开启性好、覆盖层不厚时,断层气常在断层面处形成明显的单峰高值;若断层倾角较小,破碎带较宽,则断层气高值异常可能形成展布较宽、或成组出现、或向上盘偏离的梯度带。因此,我们可以利用断层气异常的位置确定断层的位置,利用断层气异常规模大小确定断层规模的大小,根据断层气异常的不对称形态来确定断层的产状。一般地说,断层上盘异常较宽,梯度变化慢,而下盘异常窄且梯度陡。

利用断层气场特征确定隐伏断层的位置已有大量的实例。目前最有效的方法是利用 HDS-1 快速测氡仪或 FD3017RaA 测氡仪或 LXG-4 数字式测氡仪,沿垂直隐伏断层的测线快速确定氡或汞气的异常的位置、规模、形态,从而确定断层的位置、规模、产状。

2.2 定性评价断层的活动性

研究表明断层活动与地震活动过程中气体的释放与岩石所受的应力作用密切相关,断层气的主体应是从岩石中脱气而来。活动性不同的断层具有不同的气体地球化学异常特征,包括成分和强度。断层带的氦气、汞气含

量和变化梯度,尤其是随时间的变化和氢气的浓度都可作为断层活动性评价的指标。在区域背景相同的情况下,浓度高、梯度大的断层活动性就强,反之则弱。如汪成民等对鲜水河断层、红河断层和沂沭断裂带的断层气释放量分析和反复对比,圈定的活动断层与地震地质、地震活动分析、测年研究解结果相一致。

实验研究表明,氢气可以从硅酸盐液研磨中从结晶水或孔隙水产生,对断层活动的响应十分敏感,因此,断层气中的氢气异常是断层活动性评价的重要标志。

2.3 确定断层的切割深度或断层类型

大陆地壳中断裂构造根据其切割深度的不同可分为岩石圈断裂、地壳断裂、基底断裂、盖层断裂。大陆岩石圈无论成分还是结构垂向上都是分层的,各层气体成分尤其是同位素组成是不同的。不同切割深度的断裂穿过不同的岩石圈分层,深部气体沿断裂向上运移释放而形成不同的气体地球化学场的成分特征。因此,通过对断裂构造的断层气成分,尤其是同位素组成的研究,可以确定断裂构造的类型和深度。如西藏高原南部雅鲁藏布江构造缝合带北侧,念青唐古拉山前大断裂带的是强震活动带和地热带,有成串的第四纪断陷盆地分布。通过对该断裂带中的羊八井盆地热田中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 、 He 、 CO_2 、 He/CO_2 、 R 气样/ R 空气($R = ^3\text{He}/^4\text{He}$)等气体成分的分析研究表明,该断裂带活动深度未达到地幔,其强烈的构造活动和水热活动主要与花岗质融层有关;沿断裂带 CO_2 上涌丰度大,分布广,可能与壳内高应力有关;这一断裂带是中浅源地震的危险区。

2.4 地震危险性评价、地震烈度标定、地震小区划中的应用

对重大工程场地进行地震危险性分析是强震区岩土工程工作的重要内容之一。众所周知,地震活动是瞬时完成的,地震的大部分能量通过振动的方式在短时间内释放出来,这

与长期处于构造应力作用下物质的重新调整分配不同,只有那些迁移性强,对振动最为敏感的物质,如 Rn 、 Hg 、 CO_2 、 He 、 H_2 、 Ar 等气体组分才能灵敏地反映这种变化。在统一构造动力作用下,断层气场的集散方向和空间分布与地震影响场相协调。因此通过长期观测断层气场与区域气体地球化学场的变化和研 究地震前、地震过程、地震后的气体地球化学场的规律性特征,可以为场地地震危险性评价、地震烈度的标定、地震区划提供重要依据。如对1988-11-06云南省澜沧耿马相继发生的7.6级和7.2级强烈地震测氦结果,显示出地震影响场内不同破坏地区土壤中氦的溢出量不同,氦值的高低变化基本与依据地震地质宏观标准划出的烈度强弱相一致;对1985-04-18云南省禄劝6.3级地震震中区断层气的分析表明,地震烈度最高,破坏最为严重的地方, Hg 、 As 、 Sb 、 Bi 和 B 几种断层气组分均呈明显异常高值,衬度清晰,且形态相似;对1983-11-07山东省菏泽发生的5.9级地震震中区地下水中 CO_2 的含量分析结果, CO_2 含量大于45%的井的分布与地震宏观烈度Ⅶ区相吻合,若把 CO_2 相对高值区用虚线描出,其形状大体与Ⅶ度等震线一致。

此外断层气的研究还可用于构造地裂缝与非构造地裂缝的鉴别。

3 结论与讨论

断裂构造的勘察和评价是岩土工程的重要工作之一。断层气体地球化学方法可以用于断裂构造的勘察和评价,主要用于:(1)确定断层的位置、规模和产状;(2)定性分析断层的活动性;(3)研究断层的切割深度或断层性质;(4)用于场地地震危险性评价、地震烈度的标定和地震区划。

断层气体地球化学方法优点是实用、轻便、快捷、价廉。但是,应该指出气体地球化学还是一门年轻的新兴交叉学科,它涉及到构造

7 结 论

从载荷试验检测结果表明,CFG桩复合地基承载力标准值和夯扩桩桩基承载力满足设计。从沉降观测资料可以看出,采用CFG桩复合地基和夯扩桩桩基沉降量均较小,满足

北京规范的要求,说明地基处理非常成功。

参 考 文 献

- 1 化建新等.复合地基技术及应用.岩土工程技术,2001(2):73~79

收稿日期:2003-02-14

(上接第106页)

地质、地震地质、工程地质、水文地质、同位素地球化学、第四纪地质、化学分析技术等学科,其理论还不完善,许多问题仍需深入地研究,如地球各层圈、不同地壳层的气体成分及同位素组成特征;断裂错动或断层发震过程中对气体的产生、迁移的影响;覆盖层对断层气场的屏蔽、消散、集气的机理;断层气场的时空变化与断层活动性、地震危险性的关系等。断层气体地球化学目前还处于定性一半定量研究阶段。尽管如此,断层气体地球化学方法在确定断层位置、规模、产状、活动性、深度等方面还是快速有效的。相信随着气体地球化学研究的深入,理论会不断完善,测试技术会不断改进。大量数据的积累,有可能建立断层气体地球化学场与断层特征的定量关系。岩土工程师应密切关注这方面的进展。

参 考 文 献

- 1 《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,1994.781~796
- 2 王先彬.气体地球物理.见:欧阳志远主编.地球化学:历史、现状和发展趋势.北京:原子能出版社,1996.67~74

- 3 王先彬.中国气体地球化学研究与进展.见:中国科学院地球化学研究所等编.资源环境与可持续发展.北京:科学出版社,2000.83~96
- 4 汪成民,李宣瑚,魏柏林主编.断层气测量在地球科学中的应用.北京:地震出版社,1991.1~234
- 5 文爱花,徐兵,汤爱平.地球化学在工程地震中的应用.世界地震工程.1999,15(2):97~101
- 6 伍宗华,金仰芬,郭英杰等.地气测量在叶县-邓县-南漳地质剖面中的应用.岩石学报,1995,11(3):333~342
- 7 伍宗华,金仰芬,古平等.地气测量的原理及其在地质勘探中的应用.物探与化探,1996,20(4):259~264
- 8 国家地震局分析预报中心编.地下流体预报地震论文集.北京:地震出版社,1987.1~273
- 9 高文学,蒋凤亮,高庆华等.地球化学异常-地震预测整体观的探索.北京:地震出版社,2000.1~252
- 10 谷元珠,林元武,张培仁.气体地球化学方法在震后趋势判断中的应用.地震,2001,21(2):101~104

收稿日期:2002-12-22