岩土工程

氡及其子体测量方法在滑坡勘查中的应用研究

邓居智[1,2],叶树林[1],刘庆成[1]
(1.教育部核资源与环境重点实验室(东华理工大学),南昌 330013;
2.中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院,北京 100083)

[摘 要]从滑坡体上氡及其子体异常形成机理出发,推导了滑坡体边界上氡及其子体测量异常特征,从理论上论证了利用氡及其子体测量勘查滑坡体的可行性。结合在重庆某已知滑坡体上土壤天然热释光测量和^{210}Po测量的试验测量结果,进一步探讨了氡及其子体测量技术在滑坡勘查中的可行性和应用前景。

[关键词]滑坡,土壤天然热释光测量,^{210}Po测量,边界
[中图分类号]P631.6 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2008)01-0113-04

滑坡是一种常见的地质灾害现象,是地质灾害中的主要类型,全国290个县市地质灾害调查结果显示,滑坡在地质灾害中所占比例最大可达51%[1]。滑坡灾害对人类社会的影响,已成为一个不容忽视的环境难题,其危害已成为仅次于地震的第二大自然灾害。滑坡灾害的广泛发育和频繁发生使城镇建设、工矿企业、交通运输、河运航道及水利水电等受到严重危害,因此在城市、交通、水利、矿山等建设中,都必须对这种地质灾害进行勘查研究,以防患于未然。

目前国内外主要采用地质填图及钻探工程勘查的方法进行滑坡勘查。配合钻探方法国内

外常用的滑坡勘查的地球物理方法有:浅层高分辨率地震方法、探地雷达法、音频大地电场法、激发极化法、地面甚低频电磁法、电阻率测深法、自然电场法、高密度电阻率法、充电法、微重力法等。这些方法主要用于圈定滑坡体的空间分布界线;探测滑坡区的含水状况;探测结构面和滑动面的数目、深度及形态变化;探测滑坡体的地层结构、隐伏边界及隐伏地质体[2-6]。本文从旨在根据放射性勘查的基本原理,从滑坡体上氡及其子体异常形成机理出发,通过在已知滑坡体上的试验研究探讨氡及其子体测量技术在滑坡勘查中的可行性及应用前景。

1 方法原理

氡及其子体测量方法种类较多,但成功用于滑坡勘查的实例并不多,据有关资料报导①,前苏联于1973年第一次使用放射性氡法在克里米亚南部沿岸寻找滑坡试验;在国内,金培杰等采用静电α卡法勘测滑坡中的地下水的分布特征[7];周瑞等人用^{210}Po和^{218}Po法做了几条剖面的试验②。总之,在这些试验性的工作中,由于没有从理论上研讨放射性异常形成的机理及其分布模式,对其应用的地质效果和前景至今仍存在疑问。本文选择氡及其子体测量中两种只需在野外采取土壤样品的简单、快速方法——^{210}Po测量和土壤天然热释光测量进行研究。

1.1 ^{210}Po测量方法技术

1.1.1 基本原理

氡可以沿岩石的孔隙、裂隙、破碎带运移到地表土壤中,但在近地表处受气候条件影响较大,因而对氡的瞬时测量有一定的干扰。据放射性测量基础理论,核素^{210}Po(RaE半衰期为138.4天)是天然放射性核素铀(^{238}U)衰变系列中,氡(^{222}Rn)的第6代衰变子体^{210}Pb(RaD)的直接衰变产物(它的半衰期为

[收稿日期]2006-01-19;[修订日期]2007-10-25。
①广东省地质科学研究所编.物化探在城市建设中的应用.广州:广东省地质矿产局地质资料室,1990.
②河北地质学院编.主要地质灾害勘查土壤测氡法研究及相应的Po法仪器研制("八五"国家科技攻关项目专题研究成果报告,编号:85,907-05-02-03).石家庄:河北地质学院,1995.
[第一作者简介]邓居智(1973年—),男,2001年毕业于东华理工学院,获硕士学位,在读博士研究生,副教授,现主要从事环境与工程地球物理的教学与研究。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

22.3年)。^{210}Pb化性稳定,由地下迁移上来的氡衰变生成的^{210}Pb具有累积过程,在土壤中易累积保存,并形成一个与氡处于放射性平衡的^{210}Pb晕。核素^{210}Pb是弱β辐射体,很难进行测定。但它的直接衰变产^{210}Po,具有特征的α放射性。^{210}Po在盐酸溶液中的自镀特性,使它能很好地与其他放射性核素分离,并能用核仪器方便地测量它自镀到铜(Cu)片上的α放射性活度(或计数率)。因而,检测地表土壤中核素^{210}Po的存在量,便也直接反映了土壤中氡的分布状况。

1.1.2 工作方法

(1) 野外取样:按照土壤地球化学规范(DZ/T 0145-94)的要求,采集野外样品,按规范要求土壤样品应取自B层土壤样。取样点距5米,每个测点取土壤样200克。

(2) 室内测量:室内测量按照^{210}Po法测量操作流程进行。

1.2 土壤天然热释光测量方法技术

1.2.1 基本原理

土壤天然热释光方法是指采集地表一定深度的土壤或砂样品,用高灵敏度的热释光测量装置测量样品中天然矿物在漫长地质年代内接受放射性核素(尤其是氡及其子体)的辐射而产生的热释光强度进行找矿的一种方法[8]。它属于累积测氡方法的范畴,其累积测氡的时间少则几十年,多则几百年,几千年。所以该方法的灵敏度和异常的重现性远比一般累积测氡及其子体方法好。

土壤和砂中含有大量的SiO_2和$CaCO_3$等具有半导体性质的结晶矿物,它们都是天然的热释光探测器。由于矿物晶体中存在大量的电子-空穴,在射线作用下产生电离和激发,使晶体价带中的电子获得能量升到导带,在价带中留下空穴,电子和空穴被晶体中的缺陷所俘获(见图1),在没有外来能量激发的情况下,这些电子和空穴可长期留在晶体的缺陷中,

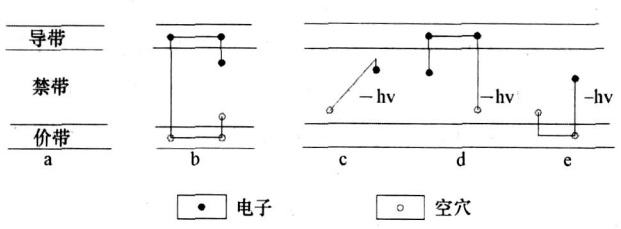

图1 天然热释光测量机理示意图

a未受辐射的能级;b受照射后发光中心的形成;c、d、e加热测量时的热释放过程。

随时间的积累,矿物晶体缺陷中的电子、空穴也不断地积累;由于矿物晶体累积记录天然辐射的时间很长,热释光测量的异常重复性很好,能够反映较弱的异常信息。对样品加热到一定温度后,将矿物晶体缺陷中的电子、空穴释放出来,测量加热状态下样品的热释光强度就可以研究空间辐射场的分布,从而进行地质找矿或工程勘查[9]。

1.2.2 土壤天然热释光工作方法

(1) 野外取样:土壤热释光测量野外取样过程与^{210}Po相同,本次研究两种方法用的是同一批样品。

(2) 室内测量:对样品过80目筛后,用高灵敏度的热释光测量仪器测量样品的热释光强度(单位:为辐射剂量单位μGy,mGy)。

2 氡及其子体测量勘查滑坡的理论依据

众所周知,地质体中均存在一定的天然放射性核素铀、镭、钍等,这些核素按照各自的规律进行放射性衰变,并释放出具有特征的α、β、γ射线,这为利用核探测仪器检测其特征放射性提供了依据[10]。

在放射性测量中,用于找矿勘查的方法技术主要是测量氡及其子体。氡(^{222}Rn)是天然放射性核素铀(^{238}U)经几代核衰变后生成的放射性核素镭(^{226}Ra)的第一代衰变子体。它是一种具有α放射性、半衰期为3.825天的惰性气体。在自然界中,它通常具有4种存在状态,即自由氡(气体)、溶解氡、吸附氡和束缚氡,但后三者在一定条件下,均可转化为自由氡(气体)。

在滑坡作用发生地段,滑坡体在重力拉张作用下,使岩石或土体中已有或潜在的裂隙加大或发生破碎,连通性变好;另外,当滑坡体沿滑动面(带)与滑床运动发生挤压作用时,聚集在滑坡体、滑床及滑动面(带)中的自由氡,能沿滑坡体中拉张裂隙、滑动面(带)或断裂进行迁移运动;同时,当滑坡体沿滑动面(带)与滑床作挤压运动时,会产生一定的热能,这些热能也能使溶解在滑坡体导水构造中的水中溶解氡脱解为自由氡。这样就造成滑坡体拉张裂隙发育部位的氡浓度相对增高和滑坡体边界部位断裂处形成氡的聚集。因而,在这些部位很容易观测到明显的氡及其子体相对增高的异常反映,这就是利用氡及其子体测量进行滑坡勘查的机理[11]。图2是根据滑坡地质理论和氡及其子体异常形成机理而得出的滑坡体上氡及其子体异常分布模式。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

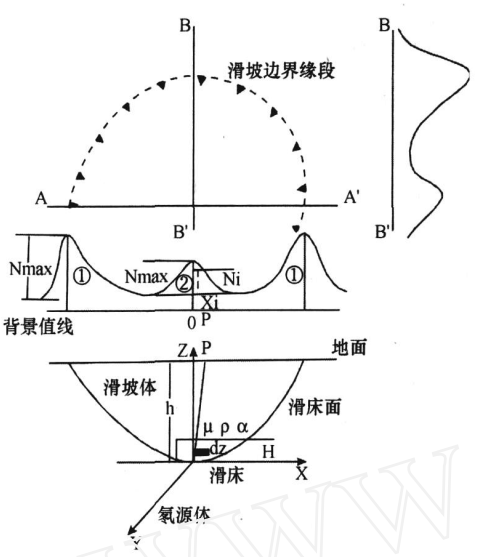

图 2　滑坡体上氡及其子体测量异常分布模式 (理想示意图)

①滑坡边界 (缘)异常分布; ②滑坡体中地下水流处拉张裂隙发育地段异常分布

3　在重庆万州 233滑坡上的应用效果

233滑坡位于重庆市万州区,长江左岸一级支流苎溪河右岸,为凹型斜坡。苎溪河自滑坡体前沿(北侧)由西向东流过。斜坡上台地或缓坡与陡坡地形相间分布。斜坡平均坡度约 20°。它由 223 - 1、223 - 2、223 - 3三个滑坡堆积体组成。

滑坡区出露地层为侏罗系中统上沙溪庙组第三段第五至七层 (J_{2s}^{3-5} J_{2s}^{3-7}),它是一套以紫红色为主的碎屑岩相沉积。岩性为紫红色泥岩和灰绿色长石砂岩,不等厚互层。

第四系以滑坡松散堆积体 (Q^{del})为主,局部平台及坡脚地带分布残坡积 (Q^{del+el})及河流冲积 (Q^{al})。

滑坡松散堆积体 (Q^{del})岩性为褐灰色、灰褐色及黄褐色粉质粘土,间夹少量强风化砂岩碎块石,厚 11.8～24.32 m。残坡积 (Q^{del+el})为紫红色粉质粘土、粘土夹碎块石,厚 1～10 m,分布于斜坡及坡脚地带。

河流冲积 (Q^{al})为褐灰色粉质粘土、粉细砂胶砂砾石,厚度 >10 m。

滑坡体所处构造部位为万县宽缓复式向斜与万县向斜的南东翼近轴部。岩层倾向 SE155°～175°,倾角 3°～5°,属逆向坡。

在该滑坡进行试验研究,目的是通过已知滑坡地段的试验研究,验证作者对滑坡体上氡及其子体异常形成的机理 (原因)和分布特征 (规律)的认识,从而确定利用氡及其子体测量方法技术圈定滑坡体边界的可行性和有效性。

3.1　测量点距试验

图 3是 233滑坡体边界 (缘)部位土壤天然热释光测量和 ^{210}Po测量曲线。该剖面位于河龙路拐弯处,通过 233 - 2、233 - 3滑坡体西部边界 (缘)衔接部位。从图中看到,在滑坡体边界 (缘)部位 (测点号为 11),土壤天然热释光强度 ^{210}Po测量都有较明显的高值异常反映,但 ^{210}Po的异常峰值位置与滑坡位置有 5米左右的偏移,其它均与图 2的理论推断一致,表明采用土壤天然热释光测量和 ^{210}Po测量均可以有效判断滑坡边界 (缘)的位置。

此外,从图 3中还可以看到,不同测点距测量结果对控制滑坡边界 (缘)有一定的影响,当测量点距为 20米时滑坡体边界对应的异常变得不是明显,从试验结果来看,进行滑坡勘查时氡及其子体测量的点距应选 5～10m为宜。

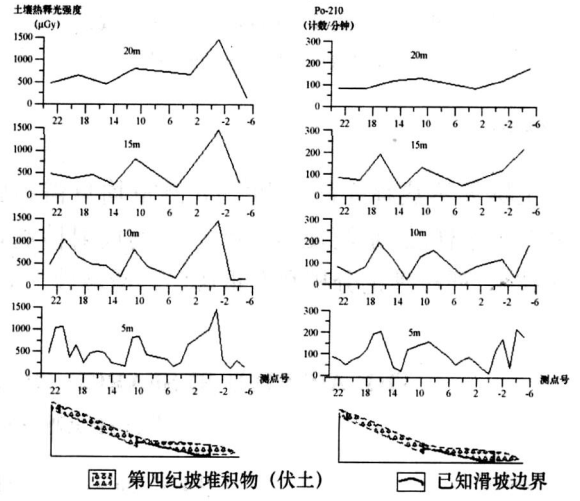

图 3　不同测点距勘查滑坡边界效果

3.2　已知滑坡体上的探测效果

图 4是在 233滑坡体上进行的多条剖面的控制测量结果,从图中可以看到,A、D剖面土壤热释光测量异常和 ^{210}Po测量异常对应非常好,在滑坡体正上方均为高值异常,C剖面热释光测量异常仍满足上述规律,但 ^{210}Po测量的异常峰值偏移了 5m,不过滑坡体上方仍为高值异常区,B剖面由于位于测区的边缘,^{210}Po测量波动较大,但滑坡体上方仍然对应两种氡及其子体测量的异常高值反映。这就进一步说明,利用氡及其子体测量方法勘查推断滑坡体边界 (缘)是实际可行和有效的。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

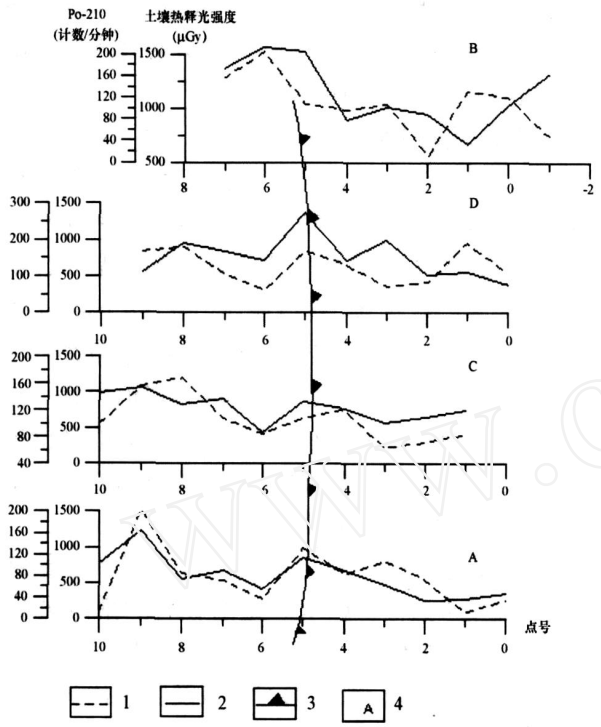

图 4 233滑坡体上氡及其子体测量平面剖面图

1—^{210}Po测量曲线;2—土壤热释光测量曲线;
3—已知滑坡体边界;4—剖面编号

4 结论

土壤天然热释光测量和^{210}Po测量均只需在野外采取土壤样品,是简便、快速、经济的放射性测量方法技术,通过理论分析和在重庆已知滑坡体上的试验研究结果表明,在滑坡体边界上可以观测到明显的氡及其子体测量高值异常,说明利用氡及其子体测量方法勘查滑坡体是一种有效的物探方法技术。由于本次开展的试验工作有限,仅在已知滑坡体上做了试验工作,为总结推广本方法,还应与地质、钻探勘查配合,进行氡及其子体测量勘查滑坡的生产试验,通过钻探验证,进一步总结、完善利用氡及其子体测量方法勘查滑坡的方法技术。

[参考文献]

[1] 魏 丽,单九生,章毅之. 暴雨型滑坡灾害形成机理及预测方法研究思路[J]. 江西气象科技,2005,28(3):17-22.
[2] 杨 进,刘庆成,程业勋等. 水环境地球物理方法的应用综述[J]. 地质科技情报,2000(2):107-110.
[3] 郭建强. 地质灾害勘查地球物理技术手册[M]. 北京:地质出版社,2003.
[4] 刘传正. 地质灾害勘查指南[M]. 北京:地质出版社,2000.
[5] 柴铭涛. 地震新技术在调查堤坝渗漏、滑坡中的应用[J]. 地质与勘探,2002(增刊):91-96.
[6] 李 忠,曲力群. 山体滑坡的综合防治措施在渝怀线古城南平山的应用研究[J]. 地质与勘探,2004,40(5):94-96.
[7] 金培杰. 静电α卡法在探测滑坡地下水中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报,1992(3):P52-56
[8] K贝克尔. 固体剂量学[M]. 北京:原子能出版社,1985.
[9] 邓居智,刘庆成. 内蒙古东胜地区土壤天然热释光测量的影响因素研究[J]. 物探与化探,2004,28(5):402-404.
[10] 吴慧山. 氡气测量方法与应用[M]. 北京:原子能出版社,1995.
[11] 叶树林,黄国夫. 放射性勘查方法圈定滑坡边界的机理及应用[J],中国地质灾害与防治学报,2000,16(3):86-87.

THE APPLIED RESEARCH OF RADON AND IT'S DAUGHTER SURVEY METHODS IN DETECTING COAST

DENG Ju-zhi[1,2], YE Shu-lin[1], LIU Qing-cheng[1]

(1. *Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment (East China Institute of Technology), Ministry of Education, Nanchang* 330013; 2. *Scholl of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing* 100083)

Abstract: Based on the forming mechanism of radon and it's daughter's anomaly on the coast, this paper deduces the anomaly character of radon and it's daughter upper the boundary of coast. The feasibility of detecting coast with radon and it's daughter survey methods were demonstrated theoretically. Combined with the survey results of soil natural thermoluminescence and ^{210}Po upper an known coast in Chongqing, the feasibility and application foreground of radon and it's daughter survey technique in detecting coast were farther discussed.

Key words: coast, soil natural thermoluminescence survey, ^{210}Po survey, boundary

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net