



1:5 万遥感物探化探应用研究丛书

第四系岩性分层及活动断裂 调查的遥感物探化探方法

励宝恒 张 连 著

63

地 质 出 版 社

1:5万遥感物探化探应用研究丛书

第四系岩性分层及活动断裂 调查的遥感物探化探方法

励宝恒 张 连 著

地质出版社

(京)新登字085号

内 容 简 介

作者在地矿部“七五”攻关课题“重要经济建设区和中心城市及周围地区1:5万区调中遥感、地球物理、地球化学调查的方法技术研究”成果的基础上,总结了第四系岩性分层及活动断裂调查的有效工作方法、合理工作流程,列举了第四系岩性分层的应用效果,归纳了活动断裂的判别标志,通过实例和插图介绍了活动断裂调查的新方法。

本书可供从事经济建设区和城市基础地质调查、工程地质调查,特别是区域稳定性评价中活动断裂调查工作的技术人员参考,也可作为高等院校有关专业的教学参考书。

1:5万遥感物探化探应用研究丛书
**第四系岩性分层及活动断裂调查的
遥感物探化探方法**

励宝恒 张 连 著

*

责任编辑:陈军中

地质出版社发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本:850×1168¹/₃₂ 印张:2.8125 字数:71400
1994年3月北京第一版·1994年3月北京第一次印刷

印数:1—1000册 定价:3.75元

ISBN 7-116-01533-7/P·1244

目 录

前言	1
第一章 第四系岩性分层及活动断裂调查中遥感、 物探、化探工作任务及前提条件	3
一、第四系岩性分层及活动断裂调查的遥感、物 探、化探工作任务	3
二、第四系岩性分层及活动断裂调查中应用遥 感、物探、化探方法的前提条件	5
第二章 第四系岩性分层及活动断裂调查中的遥 感、物探、化探方法及工作程序	10
一、第四系岩性分层和活动断裂调查中的遥感、 物探、化探方法	10
二、第四系岩性分层中遥感、物探、化探工作程 序	10
三、活动断裂调查中遥感、物探、化探工作程序	14
四、城市地区1:5万区调中第四系岩性分层及活 动断裂调查中遥感、物探、化探方法及合理工 作程序	15
五、几种新发展的物化探方法	16
第三章 第四系岩性分层中遥感、物探的应用	24
一、遥感在地貌、第四纪地质调查中的应用	24
二、水文测井资料在第四系岩性分层中的应用	32
三、电测深方法在第四系岩性分层中的应用	42
四、浅层地震法在第四系岩性分层中的应用	47
第四章 判别活动断裂的遥感、物探、化探综合标 志	52

一、活动断裂的含义与研究内容·····	52
二、深部构造的物探异常标志·····	53
三、基岩断裂的物探异常标志·····	54
四、第四系断裂调查的遥感标志·····	62
五、第四系断裂调查的电阻率标志·····	65
六、第四系断裂调查的地震反射波组标志·····	66
七、活动断裂上的氡、汞、氦气体异常标志·····	74
八、活动断裂上历史地震与微震异常标志·····	77
九、活动断裂的遥感、物化探综合标志·····	80
参考文献 ·····	85

前 言

第四系岩性分层和活动断裂的调查是第四纪地质工作的重要组成部分,对人类现在和将来的生存环境评价、发展布局工作具有重要意义。与人类的生活密切相关的地下水主要赋存在第四纪的松散沉积物中,储水层位与隔水层位的分布情况、岩性特征和新构造运动状况是水文地质调查的重要工作内容;许多人口稠密的大中城市与重大工程的基础设施建造在第四系沉积物上,持力层分布和地层工程力学参数的评价,以及活动断裂对场地稳定性影响的调查是场地工程地质评价的重要课题;在第四系沉积物中还储藏着建设用的砂石料、泥炭、砂金等矿产资源,有待圈定与评价;与农业、林业、畜牧业有关的土壤赋存状况,与滑坡、泥石流、地面沉降、塌陷有关的环境灾害调查等等,这些都与第四系的岩性分层和活动断裂的调查有着不可分割的联系。

众所周知,地震灾害是地质灾害中最大的一种灾害。据统计,仅50年代以来,全球大地震造成的经济损失即达2000亿美元。我国绝大部分地区属板内浅源构造型地震区,地震的发生是由于断层活动的结果,活动断层产生的变位积累和应力集中是发生地震的重要原因,特别是活动断裂的拐点、端点、交叉点等部位更具有发震条件。因此,调查活动断裂,研究活动断裂在第四系内产生的变位痕迹、变位方式、变位频率、变位速度等,对于正确认识地震的活动性,合理评价区域场地的稳定性,减轻地震灾害的影响具有重要意义。

随着国民经济建设和城市基础地质调查工作发展,第四系岩性分层和活动断裂调查工作也有较大的进展。北京、上海、西安等一些大中城市相继开展了城市活动断裂调查和第四系岩性分层的研究工作。各类调查方法不断成熟完善。物探、化探、遥感的

某些方法具有精度高、速度快、成本低的特点，并且在活动断裂的赋存形态与活动性的定量评价、第四系岩性分层的精度等方面具有其它方法不可替代的优越性。为了总结这方面的工作经验和方法的新进展，提供开展这类工作时必不可少的技术思路、方法、工作流程、解释方法和判别标志，在课题研究的基础上我们编写了此书。

第四系岩性分层和活动断裂调查涉及的方法较多，许多方法正处于发展和完善的阶段。不同地区、不同地质条件下工作的结果也不尽相同。我们目前掌握的资料有限，书中的一些内容还需通过今后的实践做进一步的补充与完善。由于编者的水平所限，书中难免有不妥或错误之处，敬希读者批评指正。

本书由励宝恒、张连合写。水文地质工程地质研究所唐大荣高级工程师、地矿部勘查技术司王振东高级工程师审阅了全稿。他们提出了十分宝贵的修改意见和建议，在此深表感谢。

作 者

1993.2

第一章 第四系岩性分层及活动断裂 调查中遥感、物探、化探工作任务 及前提条件

一、第四系岩性分层及活动断裂调查的 遥感、物探、化探工作任务

1. 遥感、物探、化探方法在调查工作中的作用

第四系地层是最新地质作用的产物，岩性的空间分布变化较大。依靠单纯的地质调查方法，包括地貌和地表地质现象的观察，以及有限的钻探、槽探揭露来认识和评价第四系地层和地质现象是有很局限性的。

遥感、物探、化探的各种方法可以从一维、二维以至三维的空间来描述地球物理场和地球化学场特征，其观测的数据往往是连续的或可以在空间上达到高密度。因此，这些方法能够高精度、连续追踪第四系岩性的分层情况和其物理、化学性质的变化等，有时能够反应出第四系岩性层在空间上的细微变化。例如，浅层地震横波勘探能够清晰地反映层位横向上分支、尖灭、厚度变化情况和垂向上各层的过渡关系。在活动断裂调查中它能够描述断裂几何空间的详细产状、断裂带上各段具有的不同性质、状态，以及断裂的活动状况、活动量等，具有许多其他方法（如钻探）无法替代的优点。遥感、物探、化探方法相对钻探、地形变长期观测等方法而言，还具有轻便、高速、成本低廉等优点。

遥感、物探、化探方法是观测第四系岩性和活动断裂本身具有的各种地球物理场和地球化学场特征，包括磁性、电性（包括

不同波段的电磁波场)、引力场、弹性波场、地球化学元素迁移等等。各自从不同的角度,多参数综合描述地质体的性质和状态,从多方面反映了岩性层和活动断裂本身所具有的各种性质状况。这种物理、化学的性质和状况往往是城市工程地质、地震灾害地质等研究中所需要了解的地质参数和情况。

当然,遥感、物探、化探方法本身也受到一定条件的限制。目前的仪器装备、分析解释方法和手段还比较落后,精度不够高;由于存在各种干扰,加上地质条件本身的复杂性,解释的误差有时还比较大;一些方法本身的应用条件在一些地区受到一定的限制,如地形、地表条件、干扰因素等等。但是,各种方法合理地综合应用,并配合地质调查方法(钻探验证等)进行综合解释,可以把这些不足降低到最低水平。

2. 遥感、物探、化探工作在调查工作中可以解决的地质任务

在第四系岩性分层和活动断裂调查工作中有效的遥感、物探、化探方法主要包括:电法(含电测深、电剖面、高密度电阻率法);磁法;重力;纵、横波地震勘探;测井(包括电测井、放射性测井、声波测井等);遥感图像;地质雷达; α 径迹、汞气测量等等。

上述方法可以解决第四系岩性分层和活动断裂调查中的地质任务如下:

- ①根据第四系物性规律,划分岩性、时代,进行分层、定厚。
- ②确定地层的水文地质参数和工程力学参数。如含水层的孔隙度和赋水性(饱和度)、地基液化、沉降等地质灾害的可能性、持力层的承载能力等。
- ③进行区域或局部地区第四系地质层位追踪、对比,了解和掌握横向地层的分支、尖灭变化、纵向沉积韵律的规律。研究沉积环境、圈定古河道、冲积扇的范围等。
- ④查明断裂的位置、走向、形态(包括产状、宽度等)。
- ⑤研究断裂形成与活动的时代,特别是与深部构造的相互关系。
- ⑥讨论断裂在第四系内活动情况(如某一时间或时间段地层位移或平均位移情况,

了解活动速率)。

二、第四系岩性分层及活动断裂调查中应用遥感、物探、化探方法的前提条件

1. 第四纪沉积物的地球物理特征

第四系是一套以冲洪积、残坡积、湖泊、沼泽、滨海、冰川、风力等沉积、堆积作用为主的松散堆积物，其岩性分为沙土类和粘土类。按颗粒级配合塑性指数分类，主要有漂石或块石、卵砾石、砂砾石、粗砂、中砂、细砂、粉砂、粘砂、砂粘、粘土等。其母岩的矿物成分、颗粒度、结构、含水性等决定了第四系不同的物理性质（如容重、比重、含水量、孔隙度、可塑性、抗压性、抗剪性等），呈现出不同土层的各异的地球物理特征（包括密度、电性、弹性、电磁波的透、反射特性等等）。

第四系电阻率（电性）差异较大。岩性的颗粒大小、结构、孔隙度、含液性质等都影响到电阻率值。一般地区（如北京地区）第四系水矿化度很低，影响电阻率大小因素主要是岩性。因此，不同的岩性呈现不同的电阻率值（见表1—1）。

表 1—1 北京地区第四系岩性电阻率表

岩 性	电阻率值($\Omega \cdot m$)
卵砾石（干的）	>250
卵砾石（含水）	80—100
砂 砾 石	50—80
粗 砂	40—60
中 砂	30—40
细 砂	25—30
粉 砂	20
粘砂（轻亚粘土）	15—20
砂粘（亚粘土）	10—15
粘 土	10—15

第四系弹性波速度有一定差异（包括纵波和横波）。一般讲，颗

粒粗大、结构密实的岩性层，弹性波速度较高；反之颗粒细小、结构疏松的岩性层，弹性波速度低。例如，北京地区主要岩性波速变化范围情况见表1—2。需要注意的是第四系地层中砂类土的含水性对弹性波的纵波波速是影响较大的。

表 1—2 北京地区第四系主要岩性弹性波速度表

岩 性	纵波速度(m/s)	横波速度(m/s)
卵 砾 石	1600—2200	400—500
沙 土	1300—1800	200—400
粘 土	1200—1400	160—240

第四系的遥感影像也有很大差异。任何地质体本身都具有发射电磁波的特性，都具有吸收、反射-散射外来电磁波性质，某些地质体还具有透射外来电磁波的特性。不同性质的地质体发射、吸收、反射-散射和透射电磁波的波长和频率是不一样的，它们的差异特性反映在遥感图像上，表征地表及地表以下一定深度地质体和地质现象的电磁波辐射特性。图像中色调、形状、大小、位置、结构阴影等反映了第四系地层的区域分布、岩性以及构造运动遗留的线性变异带等等自然痕迹。

第四系的不同岩性还具有一定的密度差异（这种差异相对其它时代岩石的密度差异要小）。地表回填土、松散层的密度一般为 1.8g/cm^3 — 1.9g/cm^3 ，深部老第四纪土的密度可达 2.1g/cm^3 — 2.2g/cm^3 。

一般情况下，第四系均无磁性，可与具磁性的岩浆岩形成良好差异。第四系内由于粘性土的吸附、聚集作用，自然放射性元素含量较高，其与第四系砂类土之间存在自然伽马值良好差异。

这些地球物理特征反映了第四系本身的物理性质，通过提取和相关计算这些地球物理特征值，可求得第四系的工程、水文参数。如由纵、横波速度计算波松比(μ)、标贯次数(N)、抗压强度(q)，根据电测井、放射性测井求出空隙度(n)、含水量(w)、

渗透系数 (k)、相对密度 (ρ) 等等。

需要指出的是, 这些地球物理参数受多方面因素制约, 地区间有差别, 不同地区、不同条件下第四系地层的各种地球物理特征值的差异情况和差异量是不同的。

2. 调查的地球物理前提

第四系岩性分层和断裂调查中的地球物理前提有如下几个方面:

(1) 第四系内在不同地质年代、不同古气候及沉积环境条件下形成的各种岩性之间, 以及第四系与各类基岩间一般都存在有明显的电阻率差异, 构成了应用各类电阻率方法 (包括电测井各种方法) 的地球物理前提。

(2) 第四系内不同岩性, 以及第四系与各类基岩间一般都存在有明显的弹性波速度差异或波阻抗差异。因此, 它们构成了适宜采用地震勘探进行第四系分层和断裂调查的良好地球物理前提。特别是第四系内不同岩性的横波波速不受含水情况的影响, 且速度值低, 分辨能力更高, 与工程力学参数有更好的相关性。

(3) 第四系中不同岩性层间密度没有明显的差异, 断裂形成的基岩落差或第四系厚度明显差异时, 可形成重力梯度带异常。

(4) 由于岩浆的侵入与喷出往往具有沿着断裂构造分布的特征, 或后期构造活动改变了磁性体原来规则形状, 可形成明显的线性磁力异常。因此, 磁法对查明基岩构造具有明显的效果。

(5) 第四纪以来新构造运动、断裂等在地貌上造成的诸种现象往往在不同波段的遥感图像中有不同程度的反映, 成为遥感方法应用的重要前提条件。

(6) 第四纪砂性土和粘性土放射性含量的差异是应用放射性测井分析、划分第四系的前提条件。

(7) 第四系的不同岩性和断裂、断裂带造成的两侧岩性差异, 以及断裂、断裂带本身的充填物, 也往往造成电磁特性的差异, 形成各种电磁法、交流电法、激电法工作的良好前提条件。

此外,天然地震震源机制的解释研究认为,断裂面上应力的变迁、释放和局部的破裂等会产生微震异常。因而可利用微震规律研究对活动断裂进行调查。

3. 汞、氦、二氧化碳、氡等气体地球化学特征

国内外,在断裂调查和地震预报中,普遍重视气体地球化学测量,下面就四种气体地球化学指标作介绍。

(1) Hg元素在常温下呈液态。其是具有显著蒸汽压的唯一金属元素。气态汞、固态汞及液态汞有活跃的相互转换关系。一切含汞量高的地质体,都可能成为汞气异常的来源,其中有硫化物矿床、氧化物矿床、富汞岩石、地热田、油气田、人工污染源等,地壳中断裂构造有利于汞蒸汽的扩散和在土壤中形成异常。如果断裂构造中地下水循环条件良好,则更有利于汞以可溶性络合物自深部向上迁移,更能促进土壤中汞气晕的形成。如土壤厚度比较大,且有适度的湿度和通气性,含有适量质松的亚粘土和壤质土更适于汞气量的形成与保存。

第四纪覆盖层中汞气晕背景值与异常值一般如下表1—3。

表 1—3 第四系覆盖中汞气晕背景值与异常值表

	背景(10^{-9}g/g)	异常(10^{-9}g/g)
疏松残坡积物及有机质,厚度多为3m	0.04	0.50—0.40
残坡积物厚1m—10m	0.20	0.50—2.00
残坡积—冲积层厚10m—30m	0.17	0.40—1.50
冲—洪积厚20m—40m	0.01—0.20	3.00—7.00

(2) He的原子量小,极易逸散,因此地表原始He所剩无几,而地球原始物质中所含惰性气体和由于放射性元素蜕变放出的 α 粒子获得电子所形成的He。在深部可以长期积累,遇有断裂构造就能达到地表,因此,这种深层气体在圈定深部构造方面有独特的作用。在井中固定对Rn、He气体进行长期观察,可以作为预报地震参数之一。实际工作中,为了简便易行,我们是采用

土样浸泡氦方法。一般异常较低，第四纪覆盖层中氦的背景值为 0.2×10^{-9} ，在断裂构造带上氦的异常值为 10.0×10^{-9} 。

(3) 深层二氧化碳气体地球化学环境比较复杂，但总的认为二氧化碳主要来源于碳酸盐岩化学变化的产物：



根据地震部门监测结果，京、津、唐地区地下深处二氧化碳的释放与地震活动密切相关。活动断裂附近是地下应力集中处又是地下热水的良好通道。当深部岩层受应力作用后造成压力、温度升高，从而加剧地球化学作用，加速地下热水的化学反应，使二氧化碳气体增加。

(4) 在门捷列夫元素周期表中氦是惰性气体的最后一个，它是镭放射性衰变的产物， ^{222}Rn 是铀系衰变的中间产物。

氦的分布与地壳中的射气作用有关。由于岩石中放射性元素连续产生放射性射气，其中一部分射气进入岩石空隙及裂隙和土壤空隙中，形成放射性气晕。因此，往往可以在构造破碎带上形成氦的富集。氦气测量除用于寻找放射性矿产外，也是构造地质学、地震学及地下水研究的重要手段。华北地区1968年以来几次大震，都出现了明显的水氦异常。静电 α 卡法是近几年发展起来的成本低、灵敏度高的积累测氦方法，适用于城市地质调查工作。

第二章 第四系岩性分层及活动断裂 调查中的遥感、物探、化探方法 及工作程序

一、第四系岩性分层和活动断裂调查中的 遥感、物探、化探方法

第四系岩性分层和活动断裂调查涉及方法较多，这些方法所能解决的主要地质问题和优缺点详见表2—1。

二、第四系岩性分层中遥感、物探、化探 工作程序

第四系岩性分层是第四系地质工作的主要组成部分，常采用的遥感物化探方法主要包括：遥感、电阻率测深、水文综合测井、浅层地震反射波法、高密度电阻率法等。地质工作常分为两个不同阶段，即区域性第四纪地质调查研究阶段，专门水文工程地质工作中第四纪地质调查。两个阶段任务不同、要求不同，这里主要讨论区域性第四纪地质调查中遥感物探化探的工作程序。

区域性第四纪地质调查中遥感、物探、化探工作首先从小比例尺第四纪地质资料和航、卫片遥感资料入手，收集分析这两种资料便于掌握全区地质概况。遥感资料的解译分析可研究全区地貌及水文地质构造特征，从而了解第四纪的构造运动。在此基础上布置区域电阻率测深工作。若区域性物探工作已经完成，则主要是收集、分析、研究电测深资料与水文综合测井资料。应用电

表 2—1 岩性分层及活动断裂调查综合方法应用表

方 法	可以解决的主要地质问题	优 点	缺 点
遥 感	对第四系地貌作详细调查,了解沉积物岩性分布范围及成因,了解基岩第四系断裂构造的分布和活动性。	视域广、信息量丰富、透视性强、费用省,效率高。	垂向岩性分层能力差,有误判和漏判问题。
重 力	研究深部地质构造,指示新构造运动的断裂分布、性质,是间接指示活动断裂的重要方法。	费用低、有区域性资料,可研究深部地质问题。	第四系内部岩性分层和局部构造特征分辨能力差。
磁 法	研究不同时期岩浆岩活动特征,从而确定断裂构造的分布。	费用低、效率高,有区域性资料。	第四系内部无分层能力,构造断裂在缺少磁法的地球物理条件下无反应。
电测深	对第四系沉积物进行横向和垂向上岩性分层,揭示新构造运动的断裂分布性质。	具有一定的垂向分辨能力,适应性强,应用较为普遍。	费用较高,分层能力较差。
测 井	对第四系岩性垂向分层,划分岩性,了解沉积物沉积环境、旋回、时代。	垂向分层能力强,参数多,解释精度可靠。	受钻孔分布的限制,区域性深部的研究一般较差。
高密度电法	对第四系岩性分层,调查第四系内部局部不均匀地质体。	分层能力强,划分地质体边界的精度高。	勘察深度浅,区域性测量效率低。
浅层地震 (折射、反射射波法)	对第四系岩性分层,确定基岩及第四系的断裂分布、形态、活动性,是指示活动断裂存在的重要方法。	分层能力强,精度高,分辨地质体能力高,纵波反射法勘探深度大。	成本费用高,效率低,其中横波勘探深度较浅。

续表

方 法	可以解决的主要地质问题	优 点	缺 点
磁大地电流、地震测深、转换波法	研究深部地质构造, 解释区域地壳稳定性, 是指示活动断裂可能存在的重要方法。	勘查深度大, 是其它方法无法比拟的。	费用高, 误差相对较大, 浅部分层能力不如其它方法。
α 卡法、测汞、测氦	指示断裂分布。井中动态观察可以指示断裂活动性。	费用低, 效率高	对活动断裂调查有多解性, 对第四系岩性分层无效。
历史地震	指示活动断裂分布、区带, 了解断裂在大时段区内的活动性。	应用历史资料, 费用低, 直接指示断裂的活动性。	受历史纪录时间长短、资料多少限制, 确定断裂位置精度低。对岩性分层无效。
微震监测	直接指示活动断裂, 确定微震震源中心位置, 了解微震活动的频度。	可直接了解断裂近期发展的活动性, 确定震源位置。	费用高, 记录时间短, 与大地震活动规律不十分密切。对第四系岩性分层无效, 有局限性。
应力测量、地形变测量	指示断裂构造的活动性, 活动机制及未来活动的方式和可能。	精度高, 可以研究活动机理。	费用高, 可测深度浅, 对岩性分层无效, 有局限性。
甚低频电磁法	探测断裂的分布。	费用低, 效率高。	探测深度浅, 对岩性分层无效。

测深曲线解释与电测井资料分析可以进行第四系岩性分层; 应用视电阻率断面图分析第四系厚度、下覆基岩产状; 应用视电阻率