

高等学校规划教材

煤矿工程地质学

于双忠 彭向峰 李文平 于震平 编

煤炭工业出版社

高等学校规划教材

煤矿工程地质学

于双忠 彭向峰 李文平 于震平 编

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

内 容 简 介

本书内容包括工程地质勘察手段与测试技术,民用建筑与煤矿工业建筑地基工程地质研究,露天矿边坡及自然斜坡稳定性工程地质研究,区域稳定性工程地质研究,煤矿地下工程的工程地质研究,有限单元法基本原理及其在工程地质中的应用。书中重点论述了与现代化矿井和露天开采有关的工程地质问题,基本反映了我国煤矿工程地质近十余年的研究成果和最新进展。

本书是煤炭高等院校水文地质及工程地质专业的教材,亦可供有关专业的研究生、生产技术人员、科研设计人员参考。

高等学校规划教材 煤 矿 工 程 地 质 学

于双忠 彭向峰 李文平 于震平 编
责任编辑:宋德淑

煤炭工业出版社 出版
(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本787×1092mm^{1/16}, 印张24^{1/2},
字数589千字 印数1—1,865
1994年6月第1版 1994年6月第1次印刷

ISBN 7-5020-0925-6/TD·855

书号 3691 A0278 定价 11.20元

前 言

《煤矿工程地质学》是随着煤矿向深部、向大规模发展而新兴起的一门学科。在大型煤矿中，诸如巷道围岩失稳、岩爆、岩石突出、冲击地压、煤和瓦斯突出、井筒破坏、露天矿滑坡等工程地质问题严重而突出，直接影响煤矿安全，困扰煤矿生产。自1980年煤炭系统成立水文地质及工程地质专业以来，煤矿工程地质学教材一直没有正式版本问世。为了适应我国煤炭事业的发展及高等学校教育改革的需要，依据我们多年教学实践，撰写了这部《煤矿工程地质学》。

《煤矿工程地质学》是研究煤矿建设和生产过程中岩土体变形、失稳和破坏规律的科学，是工程地质学中的重要分支。它的内容既考虑到工程地质学科的发展，吸收了十余年来煤矿工程地质及其相关学科的新成果、新技术，又贯彻了国家技术政策和新规范。我们希望本书在发展学科理论、促进我国煤炭系统工程地质工作和培养技术人才方面起到应有的作用。

本书是根据煤炭系统高等院校《煤矿工程地质学》教学大纲要求编写的，以介绍基本理论和方法为主，同时也考虑到现场实际应用的需要。

本书由中国矿业大学于文忠（绪论，第四章第一、二节，第五章第二、三、四、五节）、彭向峰（第一章、第二章）、李文平（第三章、第四章第三节）、于震平（第六章）、米金科（第五章第一节）、许志峰（第二章第五节部分内容）编写的。全书由于双忠教授主编。

本书编写过程中，煤炭部、中国煤田地质局、第一煤田地质勘探局和淮南矿务局等单位的许多领导给予了极大的关心和支持，江苏煤矿设计院工程地质勘察室许志峰主任为本书提出了许多宝贵意见，中国矿业大学工程地质教研室许多老师给予热情支持，在此一并致谢。

由于编者经验不足，加之水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者提出批评指正。

编 者

1993年10月

序

人类的工程活动是在一定的地质环境中进行的。工程地质问题是所有的工程建筑业、采矿业等无法避免的问题。随着社会的发展,人类的工程规模越来越大,例如计划中的美国芝加哥市场大厦竟达210层760m高,原苏联罗贡大坝高达325m。采矿事业的发展突飞猛进,如我国近期相继建设投产的安徽省潘集一、二、三煤矿设计生产能力均为300万t/a,我国西部神府矿区、山东巨野矿区计划建成一批400~500万t/a大型煤矿。据统计,我国统配煤矿地下巷道洞室进尺已达6220km/a。露天煤矿的规模也逐渐扩大,我国准格尔、霍林河露天煤矿设计生产能力为2500万t/a,已有露天矿边坡高度已达400~500m。目前,我国煤炭生产能力已达10.8亿t/a,越居世界第一产煤大国。

人类工程活动规模不断地扩大,已成为改造地球面貌、改造环境的重要因素,甚至超过自然营力的作用。煤炭的开采处于极为复杂的地质环境中,特别是向深部发展,在煤矿建设和生产过程中引发了许多工程地质问题。例如洞室围岩失稳破坏、露天矿边坡滑移、岩爆、矿震、岩石突出、煤与瓦斯突出、冲击地压、井筒破坏等,这些工程地质问题不仅给国家造成巨额经济损失,而且危及矿工的生命安全。

中国矿业大学工程地质教研室这一学术集体在煤矿工程地质这一新领域内,经过十余年的努力研究并发表了一批研究成果,解决了许多煤矿实际问题。如他们创造性地提出煤矿巷道围岩稳定性工程地质分类、煤层顶底板工程地质分类、活动断裂的动力类型、常见煤矿工程地质问题产生的规律、机理及防治措施等。更令人瞩目的是他们提出“密度平衡椭球体理论”,并成功的用于区域稳定性研究,使有关现代地应力场的研究、活动断裂的研究,以及区域稳定性研究上升到新的理论高度,丰富和发展了工程地质学科。

《煤矿工程地质学》一书,集上述研究成果和工程地质近期重要成就撰写而成,它代表了我国煤矿工程地质发展研究现状,相信该书的问世对我国煤矿生产建设和促进工程地质学科发展都会起到应有的作用。

张倬元

1994年5月9日

目 录

绪 论	1
第一章 煤矿工程地质勘察手段与测试技术	4
第一节 工程地质测绘	4
第二节 物探与勘探	7
第三节 工程地质原位测试	20
第四节 煤矿工程地质长期观测	50
第五节 桩基检测方法	58
第二章 民用建筑与煤矿工业建筑地基工程地质研究	68
第一节 地基与基础的基本概念	68
第二节 地基中的应力与变形计算	74
第三节 地基土体承载力的确定	86
第四节 地基稳定性工程地质勘察	97
第五节 高层建筑与煤矿工业建筑地基勘察	106
第六节 地基处理与基础设计初步	115
第三章 露天矿边坡及自然斜坡稳定性工程地质研究	131
第一节 概述	131
第二节 露天矿边坡稳定性工程地质分析	132
第三节 露天矿边坡工程地质勘察	169
第四节 自然滑坡和崩塌	178
第四章 区域稳定性工程地质研究	187
第一节 区域地应力场的工程地质研究	187
第二节 活断层的工程地质研究	210
第三节 地震的工程地质研究	226
第五章 煤矿地下工程的工程地质研究	252
第一节 立井工程地质研究	252
第二节 煤矿巷道围岩稳定性工程地质研究	264
第三节 煤层顶、底板工程地质研究	278
第四节 煤矿中其它工程地质问题	292
第五节 煤矿工程地质工作方法	309
第六章 有限单元法基本原理及在工程地质中的应用	324
第一节 引论	324
第二节 弹性平面问题有限单元法	331
第三节 有限单元法的工程地质应用	362
参考文献	385

结 论

一、煤矿工程地质学的任务

煤矿矿井是大规模的地下工程,从井筒、巷道到采煤工作面,不同规模的地下工程要穿过各种复杂的岩体。由于煤矿逐渐向大规模、大深度和第三纪煤田发展,工程地质问题非常突出。据初步调查发现,辽宁沈北矿务局的煤矿巷道几乎全部位于第三系软岩中,造成前屯一矿全坑口报废,前屯二矿、三矿停产数年,蒲河煤矿井筒坍塌,大桥立井井底车场报废。安徽淮南矿务局潘集二号井,在煤田勘探阶段工程地质条件研究程度很低,给矿井设计带来很大盲目性,1977年破土动工建井,两翼运输大巷遇到大量未查明的软弱破碎岩体,地压大进尺缓慢,巷道支护方法先后变更十余次,给国家带来巨额经济损失。此外,许多煤矿还发生了岩爆、岩石突出、煤突出、瓦斯突出、冲击地压、矿震、井筒破坏现象等。露天煤矿中最突出的工程地质问题是滑坡,据统计,我国大多数露天煤矿都出现过这类事故,有的还相当严重。仅辽宁抚顺西露天自建矿以来就发生过60起,清除土石方近1亿 m^3 ,严重妨碍了矿山生产。大量的实事教育了人们,现代化的煤矿开采,若没有适用于煤炭工业自身特点的工程地质工作方法不行。“煤矿工程地质学”就是为适应这种需要而逐渐发展产生的一门学科。

煤矿工程地质学是工程地质学的分支。工程地质学是研究与工程建筑有关的地质问题的科学,或称:调查、研究、评价、解决与工程建筑有关的地质问题的科学。自1937年萨瓦连斯基写成第一本《工程地质学》以来,在近60年的时间内,工程地质学得到了很大的发展。随着各类工程建设规模日益扩大,工程地质学也逐渐出现了许多分支学科,如水利水电工程地质学、铁路工程地质学、区域工程地质学、海洋工程地质学、环境工程地质学、城市工程地质学、建筑材料工程地质学等等。

1985年煤炭工业部曾拨专款安排进行煤矿工程地质研究,随后又陆续地发表了一批煤矿工程地质研究成果,并逐渐形成了适合于煤矿建设和煤矿生产的工程地质勘察方法、评价方法、作图方法和研究方法,即形成了工程地质又一新的分支学科“煤矿工程地质学”。煤矿工程地质学可理解为是调查、研究、评价和解决煤矿建设和生产过程中与工程建筑有关的地质问题的一门学科。

煤矿工程地质学的基本任务有:评价煤田区(或矿区)工程地质条件;预测和分析煤矿工程建设过程中、生产使用期间及煤层开采以后矿区工程地质条件可能产生的变化,即可能出现的工程地质问题;为煤田(或矿区)选择最佳煤矿建筑工程场地,提出克服不良地质现象应采取的工程措施,包括矿区环境保护及地基处理等;提供矿山工程规划、设计、施工所需要的工程地质资料;融勘察、设计、施工为一体,直接参与煤矿工程建设。

二、煤矿工程地质学研究的主要内容

煤矿工程地质学是服务于煤矿建设和煤矿生产的。根据煤矿建筑的特点,可细分为矿井开采系统、露天开采系统、煤矿地面建筑系统。由于三大系统所发生的工程地质问题绝然不同,所以煤矿工程地质学包括三个主要内容,即:煤矿地下工程的工程地质研究、露

天矿边坡稳定性研究、煤矿地面建筑地基工程地质研究。这三项主要内容分三章论述，围绕上述主要内容另有勘察手段和测试技术、区域稳定性研究、有限元法基本原理及应用组成另外三章，构成了全书六章三大基本内容的骨架。

为了适应工程地质学向岩土工程发展的需要，书中用相当的篇幅介绍了建筑设计与施工方法等知识，只有深入了解设计与施工的人员，才能出色完成工程地质勘察任务。

煤矿工程地质具体的工作内容有三项，即查明矿区工程地质条件、正确地进行工程地质评价、提出正确合理的设计与施工方案。所谓煤矿工程地质条件，可以理解为影响煤矿建筑稳定与安全的地质因素之综合。主要包括现代地应力状态及区域稳定性、岩土类型及其工程地质性质、地质构造、水文地质条件，地形地貌等。

煤炭系统矿井工程地质工作开展较晚，以前在煤田勘探阶段也取些岩土样，并做物理力学性质试验，但不系统也缺少必要的评价，仅仅把试验结果放在地质报告中，提报告者对这些试验数据有何用途并不清楚。所以，煤矿工程地质第二项重要的工作内容就是利用大量试验数据正确地进行工程地质评价。

煤矿工程地质学不仅是研究工程地质条件、进行工程地质评价，而且还应提出合理的设计与施工方案。从长远发展来看，由于工程地质人员对客观的工程地质条件了解最清楚，所以应参与设计与施工工作。

三、煤矿工程地质学的发展历史及趋势

一门学科的形成一般是以召开一次国际会议，或是以一本专著问世而作为标志的。煤矿工程地质学也不例外，它作为一门学科，还相当年轻。70年代后期，随着煤炭开采向大规模及深部发展，出现了大量的工程地质问题；80年代初期煤炭系统院校相继成立了水文地质及工程地质专业。1985年煤炭工业部拨专款进行煤矿工程地质研究，此后发表了一批煤矿工程地质研究成果；1990年中国矿业大学成立工程地质教研室，专门从事煤矿工程地质的教学与研究；1991年出版了第一部煤矿工程地质专著《煤矿工程地质研究》。这样逐渐形成了适合于煤炭工业部门的工程地质勘察方法、试验方法、评价方法和编图方法。于是，工程地质学的又一新分支——煤矿工程地质学产生了。

煤矿工程地质学尽管很年轻，但所面临的任务是艰巨的。随着矿山开采向深部延深、开采规模加大，以及在许多特殊条件下开采（如“三下”采煤）的需要等，煤矿工程地质条件将更加复杂，所要遇到的工程地质问题将更多、面更广，而且难度也更大。今后煤矿工程地质学的发展趋势主要表现在以下四方面：

(1) 进一步利用其它工程地质学已有的基本理论和成果，借助数学、力学方法，引入现代新技术和新理论，在煤矿生产实际中不断充实、不断完善，不断提高。

(2) 研究内容不断扩大、深入。随着煤矿工程地质学的深入发展，将会出现几个重大的研究方向，如深井井巷稳定性研究、深露天矿高边坡稳定性研究、“三下”采煤工程地质研究、煤矿开采环境工程地质研究等。

(3) 向地质工程发展。当前国内外重大工程建筑中出现了许多灾害性事故，其中与地质有关的比例很大。为了避免勘察、设计、施工相脱节而造成的工程事故，目前正在形成一门新学科——地质工程学。孙广忠把地质工程定义为“以地质体为工程结构、以地质体为工程的建筑材料、以地质环境为工程的建筑环境而修建的一种工程”。

(4) 拓宽煤矿工程地质学的研究范围，例如英国最近又提出“环境协调”新概念。

任何采矿活动,不论是在地下或地表,都将引起周围环境的改变。周围环境包括直接受采矿活动影响的周围岩土体环境和生态环境(其中一部分也包括人类本身)。采矿活动可能诱发周围岩土体环境的变化,如巷道围岩失稳,采场顶板冒落、弯曲、覆岩下沉,露天矿滑坡等等,这与人类安全采矿的需要不协调,因此需要进行研究。采矿活动还使地表生态环境发生变化(如农田破坏等),所以工程地质研究也应在这方面发挥作用(如土地复垦等)。

应该指出,我国是发展中的社会主义国家,工程地质学的研究水平与先进国家相比还有一定差距,而煤矿工程地质研究刚刚起步不久,必须经过十几年、几十年的不懈努力,才能赶超先进水平。

第一章 煤矿工程地质勘察手段与测试技术

煤矿工程地质勘察主要是查明煤矿工程地质条件,分析可能产生的煤矿工程地质问题,提出防治措施,为煤矿建设和生产的正常进行提供可靠的保证。

为了查明煤矿工程地质条件,圆满完成煤矿工程地质勘察任务,必须采用一套先进有效的勘察方法,并合理配置、交叉使用。煤矿工程地质勘察质量的好坏,主要决定于勘察过程所采用的勘察方法,以及煤矿工程地质人员的素质和他们对各勘察方法的理解和熟练程度。

工程地质学的研究方法较多,主要有地质学方法、工程地质类比法、试验方法、模拟试验法、概率统计法和理论计算法等。这些研究方法是通过一系列的工程地质勘察方法和手段来实现的。这些方法和手段是:工程地质测绘;工程地质物探与勘探;工程地质室内试验和野外试验;工程地质长期观测;勘察资料的室内整理、分析与计算。

第一节 工程地质测绘

工程地质测绘是工程地质勘察中最基本、最重要的方法。它的本质是应用地质学、工程地质学的理论知识对地面的地质体和地质现象进行观察和描述,并将直接观测到的各种地质要素、物理地质现象等标记在地形图上,以便研究其成因、特征及内在的变化规律;从点到面,从局部到整体,从微观到宏观,分析地质体和地质现象在时间上和空间上的地质演变过程。这是一切工程地质工作的基础,是查明煤矿工程地质条件最有效最经济的方法。有了地表的全面认识,就可较准确地推断地下的地质情况,找出存在的问题,据此布置物探和勘探工作,选取采样和现场试验的位置,确定长期观察的内容和布置观测点。所以工程地质测绘是各项工作的基础,它一般在勘察工作的开始阶段进行。

一、工程地质测绘的内容

工程地质测绘的内容主要是查明研究区的工程地质条件。具体内容如下:

(1) 地形地貌的研究。调查地貌的形态特征和成因类型,划分地貌单元,分析各地貌单元的发生、发展和相互关系;调查微地貌的特征及其与岩性、构造和不良地质现象的关系;调查地形形态及变化情况;调查植被的性质及其与各种地形要素的关系。

(2) 地层岩性。在沉积岩地区,应了解岩相的变化情况、沉积环境、接触关系,观察层理类型、岩性结构和产状,特别应注意软弱岩层的调查,必要时应单独划分为一个特殊单元在图上夸大表示;查明岩溶发育规律和其形态、大小、位置、充填情况及与岩性、层理、构造断裂等的关系;绘制整个地区的地层岩性剖面图,以了解地层岩性的变化规律和相互关系。在岩浆岩地区,应了解岩浆岩的类型、形成年代、产状和分布范围,并详细研究岩石的结构、构造和矿物成分及原生、次生构造的特点,与围岩的接触关系和围岩的蚀变情况,岩脉、岩墙等的走向、厚度及其与断裂的关系,以及侵入体间的穿插关系。在变质岩地区,应调查变质岩的变质程度、变质类型,并划分变质带,确定变质岩的产状、原始成分和原有性质,了解变质岩的节理、劈理、片理、带状构造等微构造的性质。

(3) 地质构造。调查各构造形迹的分布、形态、规模和结构面的力学性质、序次、级别、组合方式,以及所属构造体系,判别区域应力场转换规律;研究褶皱的性质、类型和两翼的产状、对称性及舒展程度;研究断裂的各种特征;研究新构造运动的性质、强度、趋向、频率,分析升降变化规律及各地块的相对运动,新构造运动与地震的关系、判别区域原岩应力场类型;调查节理裂隙的产状、性质、宽度、成因和充填胶结程度,并计算裂隙发育程度,绘制玫瑰图、裂隙极点图及裂隙等密度图等。

(4) 不良地质现象。调查滑坡、崩塌、岩堆、泥石流、老窑、采空区等不良地质现象的形成、规模及稳定状况;调查岩石的风化程度、风化层厚度、风化物性质及风化作用与气候、地形、岩性和水文地质条件的关系。

(5) 第四纪地质。确定沉积物的年代,划分成因类型,并对其进行层组划分及物理力学性质研究。

(6) 地表水与地下水。调查河流及小溪的水位、流量、流速、洪水位标高及淹没情况;进行井泉调查,查明地下水埋藏条件、动态特征及补、迳、排条件;评价地下水的侵蚀性。

(7) 对已有建筑经验的收集与调查。详细调查建筑物的特点与变形稳定情况,分析建筑工程失败与成功的经验。

(8) 注意对天然建筑材料的普查工作,圈定其范围,并初步评价其质与量。

由此可知,工程地质测绘是一种多样性的地表综合测绘,其目的是掌握测区工程地质条件的分布规律。如果测绘地区已经有相同或者更大比例尺的地质、地貌等测绘成果,这时只需在此基础工作上,进行一些工程地质所需的专门性补测工作,称为专门性工程地质测绘。目前我国各地区的普测工作已基本完成,通常进行的工程地质测绘大部分是为特殊的工程建设而进行的专门性工程地质测绘。我国1992年2月4日发布的《矿区水文地质工程地质勘探规范》(GB 12719—91)中,结合矿床勘探与开采的特点,对工程地质测绘的内容提出了具体要求。在实际工作中,可以参照执行。

二、工程地质测绘的范围、比例尺、精度

1. 测绘的范围

测绘范围不宜过大,也不宜过小。过大会增加测绘工作量和强度,过小则可能遗漏一些重要的内容和影响工程建设,不能满足工程建设的需要。通常,测绘的范围应稍大于建筑面积。《矿区水文地质工程地质勘探规范》要求要达到采矿工程可能影响的边界外200~300m。一般情况下,可参照下列影响因素来综合考虑:

1) 建筑物的类型和规模 不同的建筑类型和规模与地质环境作用强度和影响的范围不同,则测绘的范围亦不相同。大型的水利工程,如水库水坝,会引起较大范围的自然条件变化,因此测绘的范围要求大些;一般的工业与民用建筑物与周围环境的作用一般为不大的范围,因此测绘范围不需扩展太大。

2) 勘察阶段 不同的勘察阶段对应不同的设计阶段,其完成的任务也不同。在选址勘察阶段,主要要查明区域范围内的不良工程地质现象、区域稳定性、大断裂的分布等,由于它是为选择几个场地服务的,因此测绘的范围较大;在详勘阶段,建筑场地已经确定,建筑物型式也已基本确定,测绘的范围稍大于建筑场地即可。

3) 工程地质条件的复杂程度及已有研究程度 在工程地质条件比较复杂,且已有的

研究程度又不足以说明问题时,则必须扩大研究范围。例如,在分析煤矿区的原岩应力状态时,必须结合区域地应力场特点进行;矿井构造较为复杂时,也需要通过区域分析加以研究阐明。诸如这些情况都需适当加大测绘范围。

2. 比例尺的选择

工程地质测绘所选用的比例尺,主要取决于工程地质勘察阶段,以及建筑物类型和规模、工程地质条件的复杂程度和研究程度。一般有以下三种:

- 1) 小比例尺测绘 比例尺1:5000~1:50000,一般在可行性研究勘察(选址勘察)、城市规划或区域性工业布局时使用。目的是为了了解区域性的工程地质条件。
- 2) 中比例尺测绘 比例尺1:2000~1:5000,一般在初步勘察阶段采用。
- 3) 大比例尺测绘 比例尺1:200~1:1000,适用于详细勘察阶段或地质条件复杂和重要建筑物地段,以及需解决某一特殊问题时采用。

3. 测绘的精度

测绘的精度主要是指图幅的精确度。精确度包括测绘填图所划分单元的最小尺寸,以及实际单元的界限在图上标定时误差的大小两个方面。

测绘填图时所划分单元的最小尺寸,一般为2mm,这是受多种因素的限制,划分过细在制图技术上达不到且实际使用时也无意义;反之,划分过粗则可能忽略一些地质现象。应当指出,一些虽不足2mm,但却有着重要意义的地质单元仍需绘在图上。根据这一要求,各单元体标示在图上的容许误差为2mm乘以图幅比例尺分母。

实际单元的界限在图上标定的准确程度,国内尚无统一规定,通常多采用2mm。《岩土工程勘察规范》规定:“建筑地段的地质界限,地质点测绘精度在图上的误差不应超过3mm,其它地段不应超过5mm”。为了达到这些要求,一般在野外测绘中,采用比提交成图比例尺大一级的地形图作为填图底图。如进行1:10000比例尺测绘时,常采用1:5000的地形图作为外业填图底图。外业填图完成后,再缩成1:10000的成图,提交正式资料。

三、测绘前的准备工作和注意问题

1. 准备工作

工程地质测绘准备工作的好坏,是能否顺利、高质量完成工程地质测绘任务的关键,必须引起高度重视。工程地质测绘的准备工作包括以下三个方面:

1) 资料的搜集与研究 它是工程地质测绘工作的基础。通过资料的搜集与研究,可对工作地区的工程地质条件有一个初步的认识,为如何完成此次测绘工作准备好条件。资料搜集的内容有:区域地质资料、遥感资料,水文资料,地震资料、物探及矿藏资料、水文地质资料、工程地质勘察资料,以及已有建筑经验等。资料搜集到后,应认真细致地研究,提出资料可利用程度,明确存在和需要进一步研究的问题。

2) 踏勘 在搜集与研究前人资料的基础上,应选择一些露头良好,地层出露齐全、构造简单的地段实测地质剖面图;选择一些地质现象明显的地段实地观测,以便全面了解测区的地质情况,合理布置观察点和观察路线,拟定野外工作方法。

3) 编制测绘纲要 根据对测区的了解情况,结合本次测绘的具体任务编制测绘纲要。它是进行测绘的依据,其内容应尽量符合实际情况。测绘纲要一般包括在勘察纲要之内,特殊情况下可单独编写。

2. 工程地质测绘中需注意的若干问题

在进行工程地质测绘过程中，下述几个方面的问题应加以注意：

(1) 在测绘方法方面，应尽可能采用像片成图法，即利用地面摄影或航空（卫星）摄影的像片，先在室内进行解释，划分地层岩性、地质构造、地貌、水系及不良地质现象等，然后在像片上选择若干点和路线，并实地校对修正，绘成底图，最后再转绘成图。在实地测绘时，应根据实际情况，将路线法、布点法、追索法三者配合使用。

(2) 为了满足测绘精度的要求，在一定面积内布置的观察点及观察路线的数量要满足一定的要求（表1-1）。在实际工作中，不可生搬硬套，需根据具体工程地质条件的复杂程度和需查明问题的内容灵活运用、布置。

表 1-1 综合工程地质测绘观察点密度、观察路线长度表

复杂程度	比 例 尺						
	1:50000	1:25000	1:10000	1:5000	1:2000	1:1000	1:500
简单	$\frac{2}{2.0}$	$\frac{4}{4.0}$	$\frac{13}{6.0}$	$\frac{33}{9.0}$	$\frac{132}{13.5}$	$\frac{420}{20.2}$	$\frac{843}{30.3}$
中等复杂	$\frac{4}{2.4}$	$\frac{7}{4.8}$	$\frac{26}{8.0}$	$\frac{67}{12.0}$	$\frac{270}{18.0}$	$\frac{567}{27.0}$	$\frac{1134}{40.5}$
复杂	$\frac{6}{2.8}$	$\frac{10}{5.6}$	$\frac{35}{10.0}$	$\frac{106}{15.0}$	$\frac{346}{22.5}$	$\frac{791}{37.7}$	$\frac{1582}{56.5}$

注：1.表中分子为观察点个数，分母为观察路线长度（单位：km）。

2.据冶金部《工程地质测绘规程》（1977年）。

(3) 测绘中地质点的记录须有专门的记录卡或记录本，地质点要统一编号。地质点的记录，既要全面又要重点突出，同时配合使用地质素描、照相等方法。测绘中，每天外业结束，要及时整理资料（如整理记录、清绘地质草图、分析地层岩性的变化和连接、断层延伸等），以便及早发现问题及时解决。

第二节 物探与勘探

一、地球物理勘探

1. 地球物理勘探方法简介

在煤田普查与勘探过程中，或是在矿井建设和生产过程中，以及地面建筑岩土工程勘察中，地球物理勘探（简称物探）都是应用极为广泛的一种方法。它不仅可以用来划分地层岩性、查明地质构造、绘制地质剖面等，还可用来测定岩土体的力学性质，推求岩体结构面的发育程度和状态，查明岩体的状态及岩溶发育规律等不良地质现象，所以在煤矿工程地质勘察中越来越受到重视。

物探的方法很多，从本质上说它们的基本原理都是利用地下岩土体物理性质的差异来判别和划分岩土体类型，以及各种地质现象的存在状况等。常用的物探方法有：电法勘探、地震勘探、声波探测、地球物理测井、重力勘探及磁法勘探等。

1) 电法勘探 自然界的岩土层，由于其种类、成分、结构、湿度和温度等不同而具有不同的电学性质。以岩层电学性质不同为基础，用仪器观测天然或人为电场变化或电性差异，来解决某些地质问题的勘探方法，称为电法勘探，简称电探。电探进一步划分为直流电法勘探、交流电法勘探两大类。直流电法勘探又包括：电阻率法、充电法和自然电场法。

其中,应用最广的是电阻率法,即利用地质体电阻率的不同来判别各种地质现象,它被广泛用于划分地层,确定断层和构造带的走向等。此外,利用环形测深法也可了解同一地点不同方向上岩性的变化等。

2) 地震勘探 它是通过人工激发的弹性波在地下传播的特点,来探测岩土层的类型和地质构造。这一方法的基本原理是应用岩土体的弹性性质不同,致使弹性波在其内的传播速度产生差异。弹性波的激发方法一般有敲击法、爆炸法两种。按弹性波的传播方式,地震勘探又分为直达波法、反射波法和折射波法。在工程地质勘察中,一般采用直达波法测定表土中某一特定波的波速,计算土层的动力参数;采用折射波法研究基岩埋深等。

3) 声波探测 它是工程地质勘察中最常用的方法。

2. 工程地质勘察中较为重要的物探方法

1) 充电法 它的基本原理是将一供电电极接于良导性的地质体上,另一极置于足够远处并接地,以使该电极产生的电场实际上对观测电场不产生影响。根据地面观测的电场分布性质(等位线的形状),即可得出良导体的形状、大小和位置。

利用充电法可测定地下水的流向和流速。如图1-1所示,将供电电极A放到井下含水层的位置,B极置于距井口足够远(一般为A极至地表距离的20~50倍)的任意方向上,N极大致在地下水上游方向固定,其距井口的距离等于A极至地表距离(有套管时为2~3倍)。供电使地下水充电后,以井口为中心,呈圆周移动M极并测量电位,连成等电位线,具体形状约为圆形。向井中加入盐水,并再次测量等电位线,这时等电位线在水流方向上发生改变,由原来的圆形变为椭圆形,等电位线的移动方向即为地下水流向,中心点移动的速度为地下水流速的1/2。地下水流速按下式计算,

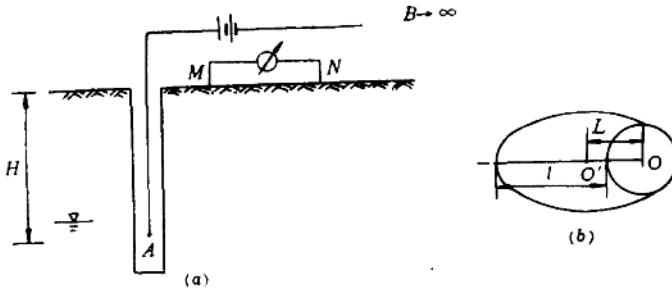


图 1-1 充电法测定地下水流向和流速示意图

a—测点布置; b—实测结果图

$$v = \frac{2L}{t} \quad (1-1)$$

式中 v ——地下水流速, m/h;

t ——加盐后到测量时的时间间距, h;

L ——等电位线中心点移动距离, m。

当含水层深度较小 (<50m), 流速大于1.0m/d, 地下水矿化度微弱 ($\rho > 15 \Omega \cdot \text{m}$), 围岩电阻率大于 $50 \Omega \cdot \text{m}$ 且钻孔没有套管时, 此法较为适用, 可得出良好的结果。

此外，利用充电法可测定滑坡的滑动方向和滑动速度。即在钻孔的不同深度处放置一定的金属球，并用导线分别接到地面，作为供电电极 A (A_1 、 A_2 、……)，然后将钻孔用土填满(图1-2)；隔一定时间后，将另一供电电极放在距钻孔足够远处(为最深处球至地表距离的20~50倍)，分别用 A_1B 、 A_2B 、……供电，在钻孔附近测等位线。如果各次测得的等位线均重合，说明没有滑动现象(图1-2a)；如果出现不重合现象(图1-2b)，则可根据等位线移动的方向和距离，以及各次观测的相隔时间，求出滑动的方向和速度。根据等位线开始移动球的位置，确定滑动的深度。

2) 地质雷达 它是沿用对空雷达的原理。发射机是以脉冲形式发射电磁波，一部分沿着空气和介质(如岩石)的分界面传播，经过时间 t_0 后到达接收天线，为接收机所接收，称为直达波；另一部分传入介质中，在介质中若遇电性不同的另一介质体(洞穴、岩溶陷落柱等)，就发生反射和折射，经时间 t_s 后反射波回到接收天线，为接收机所接收，称为回波(图1-3)。根据接收到的两种波及其传播时间，可判断异常介质体的存在，并估算其埋深。

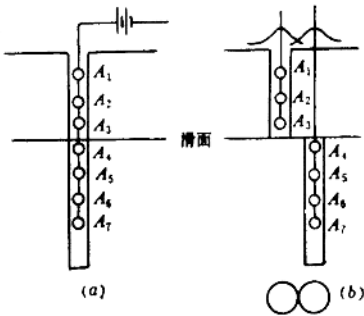


图 1-2 求滑动方向及速度

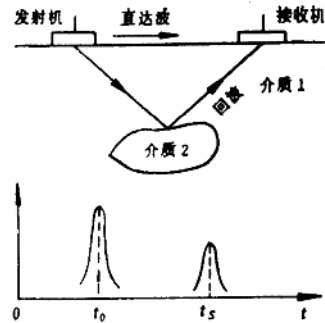


图 1-3 地质雷达工作原理示意图

地质雷达的工作程序：选择适宜地点安装仪器，记录波形，将直达波和回波记录下来，将记录的波形整理后，计算回波传播时间 t_s ，即

$$t_s = \Delta t + t_0 \quad (1-2)$$

式中 t_0 ——直达波传播时间，可按发射与天线间的距离计算；

Δt ——测得的直达波与回波的时差。

再利用下式求回波行程(单位：m)；

$$D = vt_s \quad (1-3)$$

式中 v ——电磁波在岩石中的速度，与介电常数 ϵ 有关， $v = c/\sqrt{\epsilon}$ ， c 为空气中电磁波的速度，m/s。

利用多个测点的 D 值，即可固定异常地质体的位置，根据已有地质条件，判定其属性。

3) 直达波法 由震源直接(不经过界面的反射和折射)传播到接收点的波称直达波。用利直达波的时距曲线可求直达波波速，从而解决某些勘探问题。在工程地质勘察中，一般用此法测定表土中某一特定波的波速，从而计算土层的动力参数。其过程大致如下：

(1) 布置测线。一般布置在几米至几十米的长度内。当测量纵波波速时, 检波器竖向设置; 测量横波波速时, 检波器安设于与冲击方向垂直的断面上, 并将其平行冲击方向设置。

(2) 波的激发与测量。一般将一块体(木块、铁块)埋入土中10~15cm, 用锤子等敲击块体, 使之产生震动波。测定纵波传播速度时, 竖向冲击块体; 测定横波传播速度时, 则横向冲击块体。同时, 还要测量波(直达波)传到检波器的时间。

(3) 根据从震源到接收点的直达波传播时间及距离(或两个检波器之间直达波传播时间和距离)计算纵波波速 v_P 或横波波速 v_S 。

(4) 利用 v_P 与 v_S 求土的动力参数, 即

$$E_d = \frac{\rho v_s^2 (3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2} \quad (1-4)$$

$$G_d = \rho v_s^2 \quad (1-5)$$

$$\mu_d = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad (1-6)$$

式中 E_d ——土层的动弹性模量;
 G_d ——土层的动剪切模量;
 μ_d ——动泊松比;
 ρ ——介质的质量密度。

4) 声波探测技术 声波探测技术无论在工程地质勘察中, 还是在生产实际中, 应用都较为广泛。现简单叙述其原理、方法及应用等如下:

(1) 基本原理。声波探测是弹性波探测技术中的一种, 它是利用频率为数千赫至20kHz的声频弹性波通过岩体, 研究其在不同性质和结构的岩体中的传播特性, 从而解决某些工程地质问题。

(2) 基本探测方法。声波探测是测定岩体中波速和振幅的变化, 目前主要是测波速, 其基本方法如下:

a. 在岩体中的某一点激发(发射)声波, 在另一点接收, 测出声波自发射点到达接收点的间隔时间, 由发射和接收点间的距离求波速。即

$$v_P = \frac{l}{t_P} \quad (1-7)$$

$$v_S = \frac{l}{t_S} \quad (1-8)$$

式中 v_P, v_S ——纵波、横波的速度, m/s;
 t_P, t_S ——纵波、横波的传播时间, s;
 l ——发射点到接收点的间距, m。

b. 根据探测项目的需要, 发射点和接收点可选在岩体表面, 也可选在一个或两个钻孔中。为了能使换能器与岩体很好地耦合, 当在岩体表面探测时, 可用黄油作耦合剂; 当在钻孔中探测时, 可向钻孔中注水, 以作耦合剂。

c. 当在两个钻孔中分别发射和接收时, 两孔的深度和孔径要大致相等, 两孔间距为1.5~2.0m, 两孔要平行。

(3) 声波探测的应用。利用声波探测所测得的岩体中的波速有以下主要用途:

a. 测定岩体的动弹性参数, 即利用测得岩体的 v_P 、 v_S , 再用式 (1-4)、式 (1-5) 和式 (1-6) 可计算岩体的动弹性模量、动剪切模量和动泊松比。

b. 评价岩体的完整性和强度。按下式计算岩体的完整性系数 C_m :

$$C_m = \left(\frac{v_m}{v_c} \right)^2 \quad (1-9)$$

式中 v_m ——在岩体中测得的波速;

v_c ——在同一岩体的岩石中测得的波速。

利用 C_m 值划分岩体的完整性 (表1-2) 及计算岩体的准强度。即

表 1-2 岩体完整性分类表

完整性类别	完整性好	完整性较好	完整性差
C_m	>0.75	$0.75 \sim 0.45$	<0.45

$$\begin{cases} R_{cm} = C_m R_c \\ R_{tm} = C_m R_t \end{cases} \quad (1-10)$$

式中 R_{cm} 、 R_{tm} ——岩体的准抗压强度和准抗拉强度, MPa;

R_c 、 R_t ——岩样的单轴抗压和抗拉强度, MPa。

c. 测定围岩松动圈和应力集中的范围。洞室开挖后, 由于应力重新分布, 改变了围岩的原始受力状态, 出现应力集中、围岩破坏松动现象。根据围岩中不同深度处所测波速, 作波速与孔深的关系曲线; 根据曲线类型和形态 (图1-4), 可推求松动范围和应力集中范围。

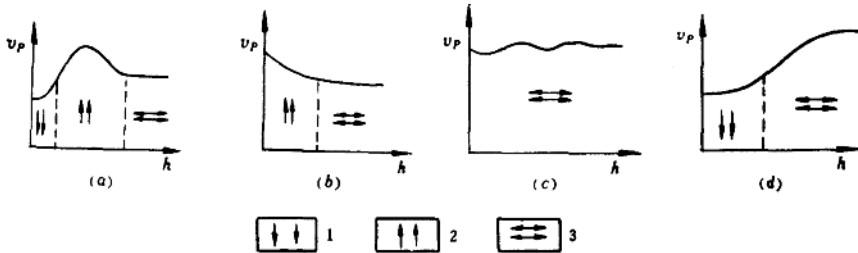


图 1-4 声波探测曲线类型示意图

1—松动区; 2—应力升高区; 3—原始应力状态; v_P —波速; h —钻孔深度

由图1-4a可知, 洞壁附近波速较低, 表示岩体松动; 随着深度增加, 出现一个高速区, 即应力集中区; 再深, 接近完整岩体波速, 即为原岩应力区。这是一般围岩的典型情况, 也是最通常的情况。在图1-4b中, 洞壁附近波速较高, 表示岩体完整坚硬, 仅出现应力集中区, 围岩无破坏松动, 这种情况一般发生在高强度的围岩中。图1-4c中, 波速接近