

普通高等教育「九五」国家级重点教材

勘查学

刘石年 戴塔根
李石锦 葛为中
编著

中南工业大学出版社



467

7620
70

学 查 勘

刘石年 戴塔根 编著
李石绵 葛为中

姓名: 王 强 性别: 男 年龄: 35 职业: 教师
 身份证号: 110101196201010001 联系电话: 13801012345
 电子邮箱: wangqiang@163.com 联系地址: 北京市朝阳区

中南工业大学出版社

永興. 55. 附錄

1999·长沙

湖南出版集团“九五”重点图书出版规划项目

学 查 勘

勘 查 学

刘石年 戴塔根 李石绵 葛为中 编著
责任编辑：刘 文

*

中南工业大学出版社出版发行
中南工业大学出版社印刷厂印装
新华书店总店北京发行所经销

*

开本：787×1092 1/16 印张：16.25 字数：402千字
1999年8月第1版 1999年8月第1次印刷
印数：0001—1000

*

ISBN 7-81061-178-X/P·004
定价：22.00元

本书如有印装质量问题，请直接与印刷厂家联系调换
厂址：湖南长沙 邮编：410083

前

言

《勘查学》作为当前科学知识相互穿插和渗透的时代的一门综合性应用学科，以其新的面貌，出现在读者面前，并和广大读者一道，迎接中华人民共和国建国50周年和21世纪的到来。

《勘查学》是国家“九五”重点教材。这本教材是在《找矿勘探地质学》、《矿产勘查与评价》、《水文地质学》、《工程地质学》、《环境工程地质》、《环境地球物理》、《环境地球化学》等多科教材的基础上综合和发展形成的。从学科内容上可归入赵鹏大、李万亨（1989）所提出的地质勘查学，或广义勘查学范畴，包括资源（水、土、矿产等）、环境及工程地质勘查等几方面内容。这些专门性的勘查知识之所以能够综合起来，第一是因为他们都离不开地质这个最根本的控制和影响因素；第二是勘查对象——各类资源和环境之间存在着密切的内在联系；第三是这些专门性勘查工作虽然都自成学科，但它们具有共同的理论和方法的基础，包括：①勘查学的理论基础——地质和地理基础、数学和统计基础、经济和技术基础；②勘查学的基本理论——协同勘查理论、系统搜索理论、最优化理论；③勘查方法和技术手段——剖面法、采样法、比较评价法，以及地质、物探、化探、遥感和钻探等勘查方法和技术手段。尽管在不同的专门性勘查中，这些技术的主次和搭配可能有所差异，但其应用原理和作用却有共同之处。因此，挖掘共性，建立广义勘查学体系，是编写本书的第一个出发点。

勘查学面对的是与人类生存有关的最基本的问题——资源和环境的勘查问题。随着社会生产和科学技术的发展，人类对资源要求的数量和种类在日益扩大，而且由于资源开发和其他因素的影响，人类对自身环境的保护问题也更为突出。地质勘查工作者的任务在扩大。在当前深化教育改革的时代，有全面勘查知识的学生知识面广，深入研究的基础好，适应市场需求的能力强。从近几年地质工程专业毕业生的分配走向来看，地矿行业只是毕业生流向的主要渠道之一，另有很大比例的学生走向建筑勘察系统、水利工程系统、国土调查部门。目前，国土资源部正在制订新一轮国土资源大调查实施方案，包括国家地质与生态填图计划、矿产勘查跨世纪工程、地质灾害预警工程、数字国土工程、资源勘查与开发技术发展工程等。新的形势和科技的发展促使了广义勘查学的诞生，与此相适应的教学改革和广大学生的需求，是编写本书的第二个出发点。

本书编著者期望在书中突出以下三个特点：第一是其理论性。作者在前人的基础上，加强了勘查理论的研究，提出、补充和总结了勘查学的三个基本理论——协同勘查理论、系统搜索理论、最优化理论，使这样一门被前人称之为“应用地质学”的学科开始了自身的理论建设；第二是其综合性。根据“科学的学科分异与综合是自然科学发展的辩证法”，本书将勘查学科中分异出来独立发展的一些专门性勘查工作，在勘查学的理论基础和基本理论指导下进行了新的综合，并不断挖掘共性，建立综合勘查体系；第三是其广义性。本书对一些相关学科的综合旨在引导勘查工作由狭窄的矿产勘查拓展到广阔的资源 and 环境的勘查，以适应

21 世纪国民经济的发展和新一轮国土资源勘查的需要。

然而面对以前分异出来之后又独立发展的若干专门学科,要做到科学地重新组合和高度综合还是一个艰巨的课题,可能需要几个实践—认识的过程,并逐步充实与完善,希望经过广泛的共同的努力最终能发展成勘查系统工程。

本教材的绪论、第一篇及第二篇由刘石年教授编写,第三篇由戴塔根教授和葛为中副教授编写(其中戴塔根编写第7、8、10章,葛为中编写第9章),第四篇由李石绵教授编写。此外,黄满湘副教授曾参加本书第二篇的讲义(1994)的编写,博士生邹海洋协助导师戴塔根做过一些编写基础工作。

本教材在编写过程中得到有关领导和许多同行的大力支持,书中还引用了许多专家学者已发表的文献资料,在此一并致谢。由于编者水平所限,书中难免错漏之处,欢迎读者批评指正。

编者

1999年4月于长沙

绪 论

0.1 勘查学的性质及任务

本书所阐述的勘查学 (Explorology), 是指广义地质勘查学, 包括国土资源及区域地质调查, 矿产地质勘查, 环境地质勘查, 岩土工程勘查等几大类专门性勘查。虽然这几类勘查工作均可自成专科, 但深入研究, 可发现它们具有共同的基础、理论、勘查技术和方法。在深化改革与科技发展的时代, 有必要寻求它们的内在联系, 挖掘共性, 建立统一的勘查学体系, 以适应国民经济建设对综合素质人才的广泛需求。

勘查学面对的是与人类生存有关的最基本的问题——资源和环境的勘查问题。随着社会生产和科学技术的发展, 人类对资源需求的数量和种类在日益扩大, 而且由于资源开发和其他因素的影响, 人类自身环境的保护问题也更为突出。地质勘查工作者的任务在扩大。因此勘查学的基本任务是研究国土资源 (特别是土地资源、水资源和矿产资源) 的形成条件、分布规律及和人类生存环境的关联; 在此基础上, 研究和运用勘查学的基本理论和方法, 合理有效地对资源和环境进行勘查与评价; 从理论上建立和完善广义勘查学体系, 并提高资源勘查的地质效果与经济效果, 更好地为社会的经济发展以及人类的生活与生产活动服务。

勘查学是地质科学理论与资源和环境的勘查实践联系的纽带。各类地质科学理论集中地、综合地通过勘查学指导资源和环境的勘查; 勘查学又是地质科学与工程技术科学联系的桥梁, 现阶段各种勘查技术手段和方法 (地探、物探、化探、航空遥感、测试和电算等) 在资源和环境勘查中都能不同程度地得到应用。地质科学和工程技术科学的新进展又能极大地促进勘查理论的提高和勘查实践的发展; 勘查学是地质科学和经济科学的综合产物。资源和环境勘查工作是一项地质、技术、经济的综合活动, 它必须遵循经济规律, 追求勘查经济效益, 贯彻多、快、好、省的原则。因此, 勘查学又是一门经济地质学。综上所述, 勘查学是以地质科学为基础, 以国民经济需要为前提, 以技术方法为手段, 以提高资源和环境勘查的地质、经济效果为目的应用地质学。这一描述与侯德义教授 (1990) 在《找矿勘探地质学》^[1]一书中对找矿勘探地质学的定义的差别, 仅在于学科对象由矿产勘查拓展到资源和环境的勘查。

0.2 勘查学科的发展历史和趋势

“科学的学科分异与综合是自然科学发展的辩证法”^[2], 勘查学的产生亦是地质普查与勘探学科的发展、分异与综合的产物。

地质普查与勘探学科首先是从矿产资源和水资源的找矿与勘探实践中发展起来的。在早期阶段 (16~18 世纪), 由于采矿和冶金等工业逐渐发展, 人们对矿产的需求增加。找矿的知识和方法开始积累, 在 19 世纪末到 20 世纪中叶, 开始形成地质普查与勘探学科。大量有关论著的产生, 是该学科思想和方法的体现^[3]。其中较具代表性的是 B·M·克列特

(1940)编写的《矿床的普查与勘探教程》，B·И·斯米尔诺夫(1957)的《找矿勘探地质学原理》以及侯德义等(1961, 1984, 1990)编写的《找矿勘探地质学》^[1]的出版；随着学科的发展，学科分异也开始产生。在20世纪早—中期，由于学科分异使勘探作业分为两支：一支归属地质类学科，形成后来的找矿勘探地质学；另一支向矿山机械类或技术类靠拢，形成现今的勘探技术；至20世纪50年代以后，由于数理化学等一些基础学科的掺入和相关边缘学科(如地球物理、地球化学、数学地质学等)的兴起，找矿勘探地质学再次分异，如20世纪70年代末出现的《找矿方法》和《矿床勘探》(长春地质学院编，1979)^[4]，20世纪80~90年代出版的《矿床统计预测》(赵鹏大，1983)^[5]、《成矿规律和成矿预测学》(卢作祥、范永香等，1988)^[6]、《矿床勘查与评价》(赵鹏大、李万亨，1988, 1995)^[3]以及《成矿预测学》(刘石年，1993)^[8]等，都是找矿勘探地质学科分异的产物。近十多年来，随着国民经济的发展和矿产资源的开发，地表矿越来越少，找矿深度和难度增大，因而，“理论找矿”、“理论勘探”逐渐加强，勘查系统科学逐渐形成。

另一方面，在近50年，随着人类对资源的广泛需求和对环境问题的日益重视，几大类专门性勘查工作相继发展起来，并与国际接轨，如环境地质勘查，岩土工程勘查，国土资源调查等。矿产资源只是国土资源的一部分，而资源利用又与环境保护密切相关，因而地质普查与勘探学科面临着老学科的改造和由分异向综合的发展；社会主义市场经济也对勘查体制、教育改革和综合素质人才的培养提出了新的要求。本科生需加强综合知识和动手能力的培养，因此广义勘查学理论和方法的学习和研究已列入议事日程，这也就是《勘查学》一书产生的历史背景和发展基础。

0.3 勘查学的理论基础

赵鹏大、李万亨在《矿床勘查与评价》中阐述过矿床勘查的理论基础，包括地质基础、数学基础、经济基础、技术基础。与此相似，广义勘查学的对象是与地质和地理有关的资源及环境，它们亦具有共同的地质和地理基础、数学及统计基础、经济及技术基础。

0.3.1 地质及地理基础

1. 勘查对象与地质和地理背景的关联性

地质勘查的主要对象——土地、矿产及水资源等与一定的地质—地理环境关系密切。

(1) 土地资源与地质及地理环境的关联性 土地是指地球陆地表层(包括土壤和风化壳)的总称。它与地质—地理环境关系密切。

① 风化壳的类型与性质取决于两方面的因素——岩石的原始矿物成分和化学成分，以及生物气候条件。在风化程度较弱或过程进行得不彻底时，原岩成分的因素显著，由不同原岩形的风化壳具有不同的矿物和化学成分；但当风化作用强烈和过程进行彻底的情况下，生物气候条件则成为主导因素，在不同的地理环境和生物气候条件下，可形成不同类型和性质的风化壳，它们可按不同的地理域和气候带划分为几种不同的类型，并与一定的土地资源和矿产资源有关^[8]：

a. 硅铝—铁质—铝土型风化壳(或红土型风化壳)：在南方高温潮湿的热带或亚热带；降雨量大，化学风化强烈，有机质迅速分解，CO₂多向大气逸出，下渗水和土壤溶液一般为中性到碱性，因而母岩中的SiO₂、Ca、Mg、K、Na大量淋失，而Al、Fe则呈氧化物和氢氧化物聚集。这种风化壳中的特征元素一般为H、Al、Fe、Mn等，形成红土型风化壳。在

有利条件下（原岩富含 Fe、Al、Co、Ni 等）可形成红土风化壳型铝土矿床、富铁矿床、镍钴矿床以及红土型金矿等。

b. 硅铝-粘土型风化壳：在温暖潮湿的森林灰化带（温带），温度和湿度适中，植被繁茂，有机质分解出大量的 CO_2 和腐殖酸，使下渗水和土壤溶液具有酸性和弱酸性，这种风化壳中的 Na、K、Ca、Mg 大量流失，Fe 和 Al 也部分迁出，只有 SiO_2 因在酸性溶液中溶解度小而基本残留于风化壳中，形成硅铝-粘土型风化壳，在有利条件下可形成高岭土矿床。

c. 硅铝-碳酸盐型风化壳：在草原与森林草原地带（如西南、东北等地），气候介于中等温度和湿度与高温干燥之间，渗流于风化壳中的水常为中性和弱碱性，含重碳酸溶液，在这种环境下， SiO_2 将部分淋失，而 Ca、Mg、(Na) 等则呈碳酸盐聚集于风化壳中，形成硅铝-碳酸盐型风化壳。

除这三种主要的风化壳类型外，还有：

d. 硅铝-氯化物-硫酸盐型风化壳：分布于沙漠和半沙漠地区，受高温干旱气候影响而形成。

e. 碎屑岩型风化壳：分布于高寒冻土地带，受冰冻及融解后的碎裂作用而形成。

②土壤的类型与性质：土壤是在风化产物（母质）的基础上经过成土作用逐渐发育起来的。它在水、热和化学元素组成等方面完全不同于母质。土壤是气候、生物、母质、地形等诸因素的综合作用的结果。其中母质起基础作用，生物起主导作用，气候对成土过程的方向和速度起控制作用。例如在炎热多雨的热带发育着砖红壤和红壤，而在寒冷苔原地带发育冰沼土。

(2) 矿产资源与地质及地理环境的关联性 各类矿产均产于一定的地质环境和地理环境中，即矿产的形成和分布与一定的地质-地理域具有密切的联系。

①沉积矿产的形成与古地理及古气候关系尤为密切，大多数沉积矿床形成于海岸带-泻湖和陆棚地带中，其中 Fe、Mn、P、Al 主要形成于海岸-陆棚带，而膏盐和含铜砂岩主要形成于炎热干燥气候下的内陆湖泊，煤多形成于沼泽地带。在现代成矿理论中，K·诺贝尔 (K. Nobel, 1978) 还提出矿床纬度分带观点。他统计出世界上绝大多数磷块岩矿床和铝土矿床集中在低纬度带上；世界 95% 以上的泥炭资源集中在北半球寒带、寒温带上（如美国、芬兰、波兰、瑞典等国家）；世界上最主要的铜-镍硫化物矿床均集中在北纬 $40^\circ \sim 50^\circ$ 带上；世界上大多数砂岩型层控铅锌矿床，均产在南纬 $30^\circ \sim$ 北纬 30° 带（干旱-半干旱带）上。这种矿床纬度分带的理论成因，还值得进一步探讨。

②内生矿产的形成与构造-成矿域和地理域亦密切相关，不可分割。例如以有色和贵金属为主的环太平洋成矿带的分布，既受环太平洋构造-岩浆-变质带控制，又具有强烈的地理特征。因此，成矿区（带）常采用地理（省、地区等名称）或大地构造单元名称+成矿时代+矿种（或组合）+成矿区（带）命名。

③风化残余矿床和砂矿床的形成与原岩成分以及古地理和古气候关系密切。在基性和超基性岩上形成铁、硅酸镍及钛的风化残余矿床，在酸性和碱性岩上形成铝土矿和稀土矿床；前述与红土型风化壳有关的铝土矿床、富铁矿床、镍钴矿床等，主要形成于低纬度的高温潮湿的热带或亚热带，而与硅铝-粘土型风化壳有关的高岭土矿床等，则主要形成于温暖潮湿的温带森林灰化带。

(3) 水资源与地质及地理环境的关联性

①地表水资源：地表水资源主要取决于地表径流量，而地表径流量与地理环境的关系又

特别密切。由于地理位置、距海远近、气候分带等条件的制约,使我国地表水资源在空间分布上极不平衡,在时间分配上也很不均匀^[9]。在空间分布上可分为三大带:a.长江以南的华南各流域地区,年径流总量约占全国的45.61%,形成丰水带;b.长江流域以北,包括黄、淮、海河和山东、东北各河流域,以及内蒙、西藏的内陆流域在内的广大地区,径流量只占全国的16.54%,形成少水带;c.西半部的半荒漠和荒漠地区,降水量过于稀少,主要靠少量冰水融雪补给,形成缺水带。

②地下水资源:地下水资源与地质及地理环境的关系均很密切:a.地质环境,根据不同的地质体介质的主要空隙性质,可将地下水分为三种类型:孔隙水——主要分布于第四系各种不同成因类型的松散沉积物所构成的孔隙介质中;裂隙水——赋存于坚硬岩石的裂隙中;岩溶水——赋存于碳酸盐岩发育地区的岩溶空隙中。可见不同的地质环境和特点造成不同的地下水类型并影响着地下水资源量的大小;b.地理环境:亦与地下水的类型及资源量的大小密切关联,如平原区(东北、华北、华南等地)地下水主要为孔隙水(约3000亿立方米);山区多为裂隙水(约3000亿立方米);南方喀斯特发育区以岩溶水为主(约2000亿立方米);c.不同的地质和地理环境不仅决定地下水的类型、特点和资源量大小,而且对工程地质勘察也有极大影响,例如各类建筑物特别是水库和电站的建设都要特别注意地下水的分布特点及对岩土工程的影响。

2. 资源的共生性

地质勘察的主要对象——矿产资源、地下水资源及有关的地质体产出于一定的地质环境中,而且常有共生性特点。矿产资源的共生性是人们早已注意到的,它是指在多种有利的地质环境和成矿条件的配合下,不同的矿种和矿床类型在时-空上有机地联系在一起,形成各种矿产共生组合,它们与一定的岩石天然组合具有共生联系。前苏联地质学家将在时、空上有密切联系的各种岩石天然组合称为建造,包括岩浆建造、沉积建造、变质建造等,成矿建造即是这些地质建造的一部分;即使是地下水资源,与不同的岩石建造之间亦存在密切的时、空、成因联系,例如碎屑岩地区的孔隙-裂隙水、石灰岩地区的裂隙-岩溶水,就是不同的地下水资源与岩石建造之间的共生组合类型;就是矿产资源和水资源之间,也具有一种目前尚未被人们完全认识的联系特点,例如一些金属矿产与水、油的共生关系。

3. 资源的分带性

地质勘察的主要对象——矿产资源、水资源和土地资源等具有空间分带性。如前所述,地表水资源从我国北方和西北地区到东南沿海,可明显分为三带:缺水带、少水带、丰水带。土壤可划分为五种类型:棕色森林土——主要分布在东北东部山地、华北地区西部(如秦岭山地);褐色土——广泛分布在华北;黑土——主要分布在大小兴安岭、松辽平原的东部和北部;红壤(包括黄壤和砖红壤)——多分布在我国华南地区,其中砖红壤分布在我国最南部。

特别值得提及的是矿产资源的分带性。这种分带性是指矿产的物质成分、结构构造或矿物组合等在空间有规律的交替变化,呈现分带规律。这种变化范围大至全球、小至矿床矿体甚至微观领域,普遍存在,广为及见,例如全球性最著名的环太平洋成矿带和古地中海——喜马拉雅成矿带;北半球的六条巨型纬向构造成矿带^[10]等。

4. 资源分布的不平衡性

地球资源的分布都是不平衡的,具有集中性(丛集性)特点。

(1) 土地资源分布的不平衡性

我国从南到北跨越几个不同的气候带^[11]，其中以亚热带（占 26.1%），暖温带（占 18.5%）和温带（占 25.9%）所占国土面积最大，此外还有 1.6% 的土地位于光照条件好的热带，1.2% 的地区位于寒温带，26% 的地区（青藏高原）为海拔 4000m 以上的高寒地带，由于气候条件的影响，使我国土地资源类型多样，分布很不均衡。例如我国东部和东南部的土地面积仅为全国总面积的 50%，但却拥有 94% 的耕地，不仅是我国重要的农业区和林业区，而且畜牧业也占较大比重；而广阔的大西北，耕地和人口都只占全国的 5% 左右。

（2）水资源分布的不均衡性

我国水资源的分布也是不均衡的，地表径流的分布趋势同降水量的分布趋势基本一致^[11]：南方多于北方，近海多于内陆；东部及西南部外流流域，面积占全国国土面积的 63.7%，而年径流总量却占全国的 95.45%，西北内陆流域面积占全国国土面积的 36.24%，而年径流总量却只占全国的年径流量的 4.55%；在外流流域和内流流域内部，地表水资源的分布也并非均一，同样是不平衡的，例如外流流域中以长江流域水资源最丰富，年径流量约占全国年径流总量的 37.85%，形成多水地带。

（3）矿产储量分布的不均衡性

地质勘查工作的实践表明，矿产储量的分布是不均衡的，其表现在：

①在不同级别和规模的空间范围内（区域、地区、矿田、矿床等），某些矿种或矿床类型特别发育，同时不可避免地特别贫乏或短缺另一些矿产或矿床类型，形成不同的成矿区域及矿化集中区（参见第 5 章）。

②矿产储量多集中于少数大型、超大型矿床。理论研究和勘查实践表明，地球表层目前所知金属矿产的含量，约有 65% 集中在只占矿床总数约 7% 的大型超大型矿床中。例如我国白云鄂博铁—稀土矿床，集中了世界稀土含量的 80%；甘肃金川镍矿床，含量占全国镍总量的 70%，但有些矿产的储量却相当分散，例如稀有分散矿床。

③矿床类型虽多种多样，但其中只有少数类型储量较大，具有较重要的工业价值。例如，世界镍矿床储量的 70%、开采量的 80% 分布于基性和超基性岩中的层状及脉状的镍黄铁矿—黄铜矿—磁黄铁矿矿床中；世界钨矿床储量的 60%、开采量的 55% 分布于花岗类岩体和碳酸盐岩接触带的层状和脉状含白钨矿的矿卡岩矿床中；世界钼矿床储量的 95%、开采量的 98% 分布于小侵入体中的石英—辉钼矿及铜—钼矿床中；世界锡矿储量的 60%、开采量的 70% 分布于锡石砂矿中；世界铜矿储量的 40%、开采量的 42% 分布于斑岩侵入体中，另有铜储量的 43%、开采量的 25% 分布于砂岩、页岩及砾岩中的细脉浸染型铜—硫化物层状矿床中。

0.3.2 数学和统计基础

1. 勘查对象具有定量特征及天然密度等级特点

赵鹏大、李万亨（1988）指出，地质体和矿化具有定量特征及天然密度等级特点，广而论之，勘查对象均具有上述特点。

（1）勘查对象的定量特征

①地质勘查的对象主要是与各类地质体有关的自然资源，这些资源都具有定量特征，例如矿产资源的品位和数量，水资源的数量及其中微量元素的含量，土地资源的面积以及土壤地球化学特征等，这些定量特征往往包含大量数据，并需进一步处理和分析，因此需要较强的数学和统计基础。

②地质体及矿体的数学特征是定量区分、鉴别地质体和矿体的依据，是进行定量预测、

定量评价,建立数学模型,进行定量模拟的基础,例如地质运动和成矿作用在时间上的周期性,地质体和矿产在空间上的等距性等,都具有数量规律性, $\Phi \cdot M \cdot$ 莱普曼(1975)以及北京大学地质力学教研室计算,发动一次地壳运动需要持续加速的时间正好为 10^6 a左右或其数量级,发动加速系数为1.21~1.56。

(2) 资源分布具有天然密度等级特点

①矿化的天然密度等级特点:统计资料表明,矿化具有天然密度等级特点,例如豫北安林地区矿化的多级韵律间距(一级韵律间距为8~9km,二级为4~5km...)。

②其他资源量分布可能也具有天然密度等级特点,这种特点符合齐波夫分布律,齐波夫分布律是指一组随机数由大到小排列,如果最大的数比第二大的数大2倍,比第三大的数大3倍,依此类推,则这组随机数符合齐波夫分布律^[12]。齐波夫分布律可以看成是Pareta(1927)分布 $[S_m/S_n = (h/m)^k]$ 中 $k=1$ 的极限情况。式中, S_m 为秩等于 m 的项的数量, S_n 为秩等于 n 的项的数量, k 为固有因子。

2. 概率法则对地质现象及勘查工作的主要制约作用

(1)地质观测结果具有随机性 勘查工作(无论是国土资源调查、矿产资源和水资源勘查以及工程地质勘察)的基本方法是“抽样观察”,抽样观察的有限性和地质结构的非均一性综合作用的结果,产生了观测结果的随机性。观测结果以及由于随机观察而产生的误差服从于一定的概率分布,在我们对观测结果的精度作出评价时,必须了解误差的概率分布,才能采取正确的措施来提高勘查结果的精度。

(2)地质现象大多具有统计规律性 这种统计规律性表现在:从单个观测来看具有随机性,而从大量观测来看又具有规律性。各种地质现象及地质过程是在广阔的空间和漫长的时间及复杂的介质中发生和发展的。它们一方面具有结构性,受确定性法则支配;另一方面又具有随机性,在很大程度上受许多随机因素影响,受概率法则支配。例如断裂、裂隙、岩浆岩体、含水岩溶以及矿产的分布等都具有规律性和随机性双重性质。因此赵鹏大指出:“地质规律只能以一定的概率指示成矿。地质规律大多具有统计规律性。”

0.3.3 经济及技术基础

1. 地质勘查工作的经济基础

(1)勘查对象具有很强的经济概念 特别是作为主要勘查对象之一的矿体,是用工业指标圈定的块体,其规模、形状、质量等属性特征均受工业指标的影响,随工业指标的变化而变化。例如,随着工业指标中边界品位的提高,矿石的平均品位提高,矿体面积相应变小,矿体储量减少,形态也变得复杂,勘查难度增大。

(2)经济合理性是勘查及评价必须遵循的准则 地质效果和经济效果的统一是解决勘查理论和实际问题的出发点。地质勘查工作必须讲求经济效益,例如:勘查工作的部署要符合经济原则;勘查程度要合理适度等,以保证在最少的人力、物力、时间消耗条件下,获得最大的地质效果。

(3)经济评价是勘查工作必不可少的重要组成部分 勘查经济评价除决定于地质和地理因素外,还决定于一些经济因素,如价格参数、经营参数、政治及工业经济参数等。

2. 地质勘查工作的经济规律

在地质勘查工作中,除了具有社会主义市场经济的一般规律外,还具有以下几项特有规律^[13]:

(1)地质勘查工作高风险性 是指获取地质勘查成果的极不确定性,即所投入的地质勘

查劳动，有相当部分不能直接获得对勘查对象的肯定性结论，其风险性常高于其他经济活动，这是由工作对象的隐蔽性和人们认识的局限性所决定的。风险程度的大小取决于主观和客观因素的共同影响。随着主观上人们理论水平和认识程度的提高以及客观上科学技术的进步和管理水平的提高，可以尽量避免或减小地质勘查的风险，提高勘查成功的概率。

(2) 地质勘查工作阶段性 指地质勘查工作按全过程的不同阶段依次开展的必然性，勘查工作只能按阶段依次进行，不能跨越和颠倒。这种勘查工作的阶段性规律，是由地质勘查对象的复杂性和人们认识的渐进性所决定的。因为对一个事物的本质的认识，需经历实践—认识—再实践—再认识的反复过程，对复杂的地质情况，可能更需要多个这样的认识阶段。

地质勘查工作全过程可大致分为两个大的工作层次：第一个层次是国土资源和区域地质调查，它是各种专门性勘查工作的基础；第二个层次是各类专门性勘查工作，一般都分为几个阶段，例如矿产勘查可分为初查、详查、勘探三个阶段，水资源勘查可分为普查、初勘、详勘三个阶段等。

(3) 地质勘查工作长周期性 它有两重含义：一是指地质勘查工作周期，即从普查开始到勘探工作结束，需要经历较长的时间；二是指地质勘查工作与后续产业的时间跨度较长。缩短地质勘查工作周期，是经济规律对地质基本工作的客观要求。

(4) 地质勘查工作超前性 指地质勘查工作领先于相关的国民经济其他产业和部门的经济活动的客观必然性，它主要表现在以下二个方面：一是优先为国民经济客观布局提供有关资源及地质资料；二是先于国民经济基础设施建设做好地质勘查工作。

地质勘查工作的超前时间取决于国民经济建设的速度和地质勘查工作的周期，要有合理的量，超前过多，会造成地质勘查工作费用积压；超前太少或滞后，会影响国民经济建设的发展。合理的超前时间，是保证国民经济建设，提高勘查工作社会效益的需要。

(5) 地质勘查工作难度递增性 是指随时间推移资源勘查的工作难度日趋加大的客观必然性。随着地质勘查工作由资源埋藏较浅、地质条件简单、施工条件较好、经济较为发达的地区逐步转向埋藏较深、地质条件复杂、施工条件差、经济不发达的地区，地质勘查工作难度增大。这种难度递增性，一方面表现为获取一定勘查成果的投入增大，例如探明单位矿产储量的费用增加和投入工程量增大；另一方面表现为工作环境恶化和施工条件困难。它们都包含有劳动数量的绝对增加和劳动质量的相对提高。因此，客观上要求相应增加地质勘查工作费用投入，最根本的是依靠科技进步，这是提高勘查成效的根本途径。

(6) 地质勘查工作效益后续性 指地质勘查工作的效益要在后续产业的劳动成果中得到体现，这是由地质勘查工作的超前性和信息产品的特点所决定的。地质勘查工作经济效益有两种表现形式：一种是在地质勘查工作内部，表现为地质勘查投入与所获成果相比较的部门经济效益；另一种是地质勘查投入及其成果被利用后所产生的社会效益，由此而引起的劳动就业、工业生产、市场交流、财政税收及社会基础设施乃至国际贸易等，这是一种后续效益。以社会经济效益来评价和衡量地质勘查工作，是国民经济的基本要求。部门经济效益和社会经济效益协调一致。

3. 勘查工作的技术基础

在资源勘查、开发、利用过程中，新技术的发展总是积极因素；正是由于新技术的发展而导致了勘查理论、方法和实际工作的重大发展，表现在：

(1) 技术水平影响着勘查的深度和广度 人类对资源的勘查和开发利用最早是从地表开始的，随着技术的发展，进而勘查埋藏较浅的资源；近年来，随着勘查技术和开采技术的迅

猛发展, 又开始向地球深部及海洋矿产进军, 扩大了勘查的深度和广度。例如地球深部的矿产和热水资源, 海底的铁锰结核等, 这些铁锰结核中含有大量的铁、锰、铬、镍、钴、钨、铜、金等矿产资源。可见技术的进步, 不仅扩大了勘查的深度和广度, 使人类获得巨大的经济效益, 而且也必将使海洋和地球深部资源勘查的理论和方法的研究得到极大的发展。

(2) 技术水平对勘查战略、勘查程序产生重大影响 由于遥感技术及航空测量等勘查技术的发展, 勘查战略和勘查程序已由过去的以点到面, 联点成片“发展到”由面到点, 逐步缩小靶区”的战略和程序。国土资源调查的技术也采用航片调绘的办法, 这些方法对提高勘查效果具有很大作用。

(3) 新技术的发展已使综合勘查及综合评价的研究成为十分迫切的任务

①遥感遥测技术的发展已使地表水资源、土地资源及有关矿产资源的综合调查成为可能。卫星影象及航空照片能清楚地显示这些资源的分布并用于计算其资源量。

②选矿和冶炼技术的发展已使得矿产资源的综合勘查和评价变得更为迫切, 特别是过去不能开采利用的低品位矿石以及多组分矿石, 由于选冶技术水平的提高而变为可以利用; 目前一些发达国家的矿石综合利用系数可达 85%~90%, 并且提出“无尾矿工艺”或“无工业废料工业”的发展目标。

③加工技术及经济市场的发展为资源的综合勘查和开发利用提供了广阔的前景, 例如:

- a. 石材切割技术及磨光技术的发展, 开拓了建材资源的应用市场;
- b. 相关学科及分析测试技术的提高, 使矿泉水和地下热水的应用前景也越来越广阔;
- c. 技术的发展和市场需求还将提出许多新的有待于人们重新认识的资源领域。

0.4 勘查学的基本理论

勘查学的基本理论, 是建立在上述理论基础之上, 并在相关学科的发展中逐步产生的。正是勘查学的基本理论和方法, 将各类专门性勘查联系起来, 形成一个广义的勘查学体系。就目前认识而言, 有三个基本理论对广义勘查学是具有指导意义的, 即协同勘查理论, 系统搜索理论及最优化理论。

0.4.1 协同勘查理论

1. 概述

协同勘查理论虽属首次提出, 但“协同学”(H·哈肯)^[14,15]和耗散结构理论(I·普里高津)^[16]早已在自然界和社会领域广为流传和应用。H·哈肯(1984, 1988)指出, 越来越多的事实表明, 无论在有生命的自然界, 以及无生命的物质界, 由于物质和/或能量的输入或输出, 使具有充分组织性的空间结构、时序结构或功能结构从混沌中产生出来, 并由不断输入能量而维持这种结构, 结构的形成服从于普遍有效的规律性。在此过程中, 各个部分都在不断地按一定的意义协同工作。

地质演化和地质产物具有随机性和结构性双重性质, 地质时一空领域中的有序结构广泛存在, 例如地质发展和成矿作用中的时代周期, 从土壤风化壳到基岩及有关资源的分区分带, 都是在自然力以及各种能量的维持下产生的有序结构。

勘查学中的协同论首先基于勘查对象之间的联系性。下面的框图简示了勘查对象之间的有机联系(图0-1)。

从图 0-1 可见，土地调查的主要对象——土壤及风化壳中，包含有风化矿产和部分地表水体，分别是矿产勘查和水资源调查的对象之一，土壤、风化壳的性质及其稳固程度，又是岩土工程的主要内

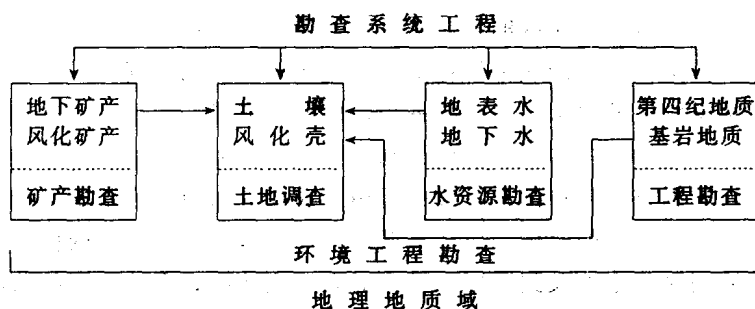


图 0-1 勘查系统工程示意图

容之一，更何况基岩地质体，地下水资源和矿产资源之间还存在千丝万缕的联系，因此地质勘查学实际上是一种建立在协同学理论指导下的系统工程学。我们可将协同勘查理论纳入具有普遍意义的协同学理论范畴。勘查学中越来越多的事实表明，无论在资源勘查还是环境勘查中，由于勘查部门及勘查者的共同努力（输入物质和/或能量），许多个别部分都按一定的意义协同工作，使具有充分组织性的时、空或功能结构得以产生及维持，保证勘查工作能够取得最大成效。

2. 协同勘查原则及应用

协同勘查理论的意义在于维持勘查系统中的有序状态，因而它包含了下列原则：

(1) 综合勘查和综合评价原则

①综合运用地质科学理论，根据上述系统工程的内在联系进行综合勘查，在确定找矿找水或其他勘察目标时，应综合分析一切有利的地质因素和控制条件。

②在地质勘查中坚持综合性勘查和专门性勘查相结合的原则。首先，在区域地质调查和区域物探、化探、遥感地质工作中，应全面系统地研究区域地层、岩石、构造、岩浆活动、区域自然经济地理状况，以及各类与地质作用有关的资源分布，包括土地资源状况、水资源和矿产资源的形成条件和分布规律，从而为各类专门性的勘查工作提供基础资料。这一原则能保证我们从战略上统观全局，发挥系统工程作用，取得较好的勘查效果。

③合理选择、综合运用有效的勘查方法和手段，发掘不同层次的信息。在常用的勘查手段中，遥感方法可以提供地表宏观影像特征，因此它对于土地资源和地表水资源调查，以及地表地质特征的查明具有重要作用；地球化学方法主要反映表浅层微观—宏观信息，可借助它们进行地球化学找矿、土地质量评价以及水资源的水质分析；地球物理方法主要反映表层以下至深部信息，可用它来反映地下地质结构和构造，进行岩土工程分析，进行矿产资源和水资源勘查；钻探方法是对地、物、化、遥各种手段所提供的信息的检验，同时也是直接了解深部地质条件和资源分布的主要手段。协同勘查理论要求根据这些勘查方法和手段的特点及所提供信息的层次水平，合理选择和综合运用，为勘查系统工程服务。

④综合评价原则：该原则建立在自然界地质勘查对象的联系性、资源的共生性等理论基础之上，包括在矿产勘查中对共生矿种和共伴生矿床的综合评价，在综合勘查中对水资源、矿产资源及其他国土资源的综合评价等。综合勘查和综合评价原则，能大大提高勘查工作的社会、经济效益。

(2) 协同勘查中的水平对等原则。因为协同勘查中涉及到多种地质目标，多种勘查手段，因此在勘查中需采用水平对等原则，该原则包含以下内容：

①勘查基础图件（地、物、化、遥感资料）比例尺一致，成果图件比例尺小一级。

②在已知区和工作区的地质变量对等选取, 变换原则一致。

③相似类比方法的成果解释要严格遵循相类似比准则。

④根据统一的要求, 提交统一规定的勘查成果。

(3) 协同勘查中的综合解释原则

①协同勘查中多种勘查手段的运用, 成果应以地质为基础进行综合解释; 当各种方法提供的信息产生矛盾的时候, 应注重调查研究, 以求判别标志的协调一致。

②协同勘查中涉及到不同的勘查对象, 应从勘查系统工程的角度对勘查成果进行综合解释。例如含矿断裂也可能是含水断裂, 又如地层岩性的分层结构有可能同时伴随着矿化的分层结构, 其调查认识不仅涉及到矿产资源勘查, 还有水资源勘查及工程地质勘查, 因而对勘查成果应进行协同的综合的解释。

(4) 勘查阶段及勘查部门之间的协同原则

①各勘查阶段应互相衔接, 避免疏漏或重复, 在过去的勘查工作中存在时间上的几上几下, 不同部门的勘查资料互相封锁, 同一阶段重复工作的现象。自从全国及各省成立统一的地质资料馆、建立资料汇交制度以来, 上述现象得到了较大的改进。

②各个勘查部门应协调配合, 避免在同一范围内的重叠工作。自从全国及各省、地成立矿管部门并建立矿产勘查登记制度以来, 上述现象也得到了较大的改进。

总之, 正如协同学原理所示: 无序是很多系统的个别行为, 最终导致混沌过程。但只要系统的各个组成部分在其存在中彼此互为条件, 自然界就能争取一种有序的状态, 能实现最大数量的可能性。在这一意义上, 协同勘查理论可以看作是安排有序的, 自组织的集体行为的科学。在这里单个的行为服从普遍的法则, 系统的功能作用将产生巨大的效益。

0.4.2 系统搜索理论

西方资源勘查学家, 如 B.O.Koopman (1956)^[67], J.B.Macqueen (1964)^[66], R.Abler (1971)^[72], J.Z.Coope (1986) 等人, 均对搜索理论 (Theory of Search) 作了大量研究, 其实搜索是一种特别普通的过程, 它发生在每一类信息获取的过程中。例如:

①日常生活: 常见的如寻物、购物搜索, 信息的存储及提取, 对文章中错误的检查等;

②地质勘查: 包括对矿床、地热资源、地下水资源和其他原材料的勘查等;

③军事搜索: 例如发现潜藏的敌人及军事设施等等, 都是典型的搜索问题。搜索理论即是从第二次世界大战时开始研究的, 后来扩展到资源勘查及其他领域。

1. 阿伯勒搜索模型

阿伯勒 (R.Abler, 1971) 建立了一个较完整的地理空间搜索模型^[17], 该模式把人在地理空间中的搜索行为抽象出来并归纳为下列基本属性的表达: 资源的地理空间中客观存在的丰度 (P); 决策者在地理空间中所具有的选择性 (d); 搜索者自身所具有的贮存能力 (H); 在搜索过程中所具有的前视能力 (v)。在这种探讨空间行为规律的“人-环境”系统中, 前两个属性为地理环境所决定, 后两个属性为人的因素所决定。

依照 Abler 的推导, 在一个地理空间中, 人因找不到搜索目标 (如食物) 而自身贮存能力又有限因而不能存活 (死亡) 的概率 (W) 服从于数学模型:

$$W = (1 - P)^{(H-v) \cdot dv} \quad (0-1)$$

结合地质勘查来看, 则前两个属性为地质-地理因素所决定, 第三个属性 H 可理解为勘查者 (或集团) 的财力物力, 第四个属性为搜索者的预测能力。在这四个因素中 P 与 H 与一定的资源背景及客观条件有关, 但 d 和 v 却可通过调整去较大地改变空间中的搜索

结果^[18]。

在地质勘查中,先只考虑搜索者的能力(包括财力物力) H 与搜索不到目标(如矿产和水体)的概率 W 的关系如图0-2所示,如果保持其他参数不变而只考虑环境丰度(P)与不能搜索到目标的概率,则其关系如图0-3所示。

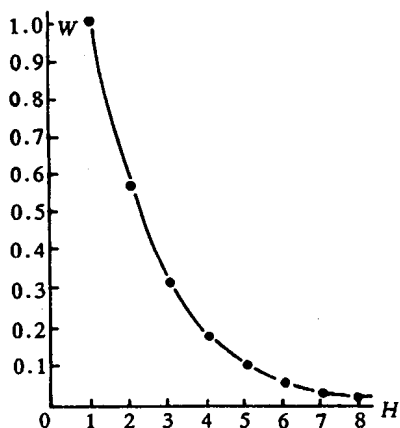


图0-2 搜索能力 H 的变化对 W 的影响
(据 Alber 模型修改)

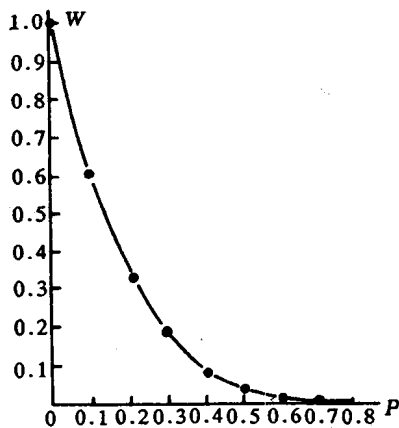


图0-3 环境丰度 P 的变化对 W 的影响
(据 Alber 模型修改)

一些学者(如牛文元, 1989)认为, 实际的空间搜索行为, 并不一定总是按阿伯勒模型中的线性方向或折线方向前进搜索, 可以是一种完全随机的移动方式, 在搜索者所处空间和其他规定条件不变时, 移动的随机方向具有 $(d-1)$ 种可能。但下面的分析将表明, 由于地质变量既具随机性又具结构性, 因而勘查搜索的行为是非随机的, 是有方向的, 它影响到发现目标的概率。

2. 勘查搜索中发现目标的概率

地质勘查中的搜索行为, 与阿伯勒模型及牛文元的修改模式^[17]有几个不同的特点。第一是阿伯勒模型中的搜索目标被认为是地理空间中的一个点或若干个点, 能使人存活的食物放在点上; 但在地质勘查中, 我们必须考虑勘查目标(如固体矿床、油气圈闭、含水岩溶等)的形状和大小, 因此阿伯勒模型只是勘查中的一种极限——一种点模型; 其次, 虽然地质勘查(包括地球物理和地球化学勘查)中的测点以及勘探钻孔或其他控制工程, 都是布置在按一定的间距排列的一组或二组平行线(勘探网上), 但搜索路径和方向不是随机的而是有选择的, 例如测线垂直于控矿的或控水的地层或构造, 方向由已知向未知、由浅入深、由近而远的搜索; 第三是搜索发现目标的概率与搜索线路(测线或勘探线、勘探网)的间距大小有关。因此在地质勘查过程中; 搜索问题的关键在于: 按照一定的间距布置的观测线或勘探线(或网)能捕获到目标的可能性有多大, 换句话说, 采用多大的间距布置控制线能有效地搜索到目标? 在这里我们把一些问题简化了, 我们把阿伯勒模型中的四个属性中的资源丰度 P 、搜索者维持搜索的能力 H 以及他的预测能力 V 视为固定, 例如我们已经根据矿床成矿条件和成矿模式预测矿床(体)的产出概率及可能的形态和规模, 那么进一步的勘查搜索发现目标的概率主要与目标本身的形状、目标相对于搜索线间距的大小以及搜索线的排列形式有关。例如, 假设搜索线是由一组平行线组成并且目标赋存于搜索区内的任何部位, 则某

条搜索线能捕获一个确定形状和规模的隐伏目标的概率有下列几种情况：

①假设搜索目标是一条随机定向的线段（类似于裂隙、矿脉及其他线状物），求这类问题的几何关系称为巴丰问题（Buffon's Problem），它涉及到把一条长度为 L 的针随机地落在一组间距为 D 的控制线上，针与其中某条线相交的概率 P 应该是一个变化的函数：

$$P = 2L \cdot \sin \alpha / \pi D \quad (0-2)$$

式中 α 为针与测线的夹角。

当针完全平行于测线时，它被测线捕获的概率可趋于 0，大量勘查实践已经证实上述原则：只有当勘探线的方向与矿脉的走向相垂直，才能保证勘探线捕获矿脉的概率最大，当然另一个重要原因是：保证勘探工程沿矿体变化最大的方向截穿矿体。

②假设搜索目标是一个具有长半轴为 a ，短半轴为 b 的椭圆，搜索方式仍为一组间距为 D 的平行线（图 0-4），则该目标被某条线捕获的概率是变量 a 、 b 、 D 、 α 的函数：

$$P = f(a, b, D, \alpha)。$$

Davis (1986) 按完全随机条件推导： $P = M / \pi D$ ，式中 $M = 2\pi \sqrt{(a^2 + b^2) / 2}$ ， M 为椭圆目标周长。他认为当周长一定时，该椭圆形目标被某条线捕获的概率是固定的。我们认为，在这种情况下，仍然要考虑椭圆目标长轴的方向与搜索线的方向的夹角。显然，当椭圆目标长轴与搜索线方向平行时，该目标可能会从间距 $b < D < a$ 的搜索线中漏网，这时搜索到该目标的概率主要与椭圆的短轴 b 和间距 D 的大小有关；当椭圆目标短轴与搜索线方向平行时，则搜索到该目标的概率主要与椭圆的长轴 a 和间距 D 的大小有关；当椭圆目标的长、短轴均与搜索线方向斜交时，则搜索到该目标的概率与 a 、 b 、 D 、 α 均有关（图 0-5），其通式为：

$$P = \frac{2\pi}{\pi D} \sqrt{\frac{(a \cdot \sin \alpha)^2 + (b \cdot \cos \alpha)^2}{2}} = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{(a \cdot \sin \alpha)^2 + (b \cdot \cos \alpha)^2}{2}} \quad (0-3)$$

令

$$Q = 2 \sqrt{[(a \cdot \sin \alpha)^2 + (b \cdot \cos \alpha)^2] / 2}$$

则椭圆目标被一组平行搜索线中其条线捕获的概率为：

$$P = Q / D \quad (0-4)$$

③若目标为圆形，则 $a = b = r$ ，此时方向夹角不起作用，目标被某条搜索线捕获的概率为：

$$P = 2r / D \quad (0-5)$$

④当长度为 L 的针（或线状目标物）随机掉入一个矩形搜索网中，求其被矩形测网搜索到的概率，被称为拉普拉斯问题（Laplace's Problem），其概率：

$$P = [2 \cdot (L \cdot \sin \alpha + L \cdot \sin \beta)] / \pi D \quad (0-6)$$

式中 α 为 L 与一组测线的夹角， β 为 L 与另一组测线的夹角， $\alpha + \beta = 90^\circ$ 。

⑤同理，当椭圆形目标落入这种矩形搜索网时，目标被捕获的概率的一般方程是

$$P = Q (D_1 + D_2 - Q) / D_1 D_2 \quad (0-7)$$

式中， D_1 是一组平行测线的间距； D_2 是另一组相垂直的平行测线的间距， Q 为：

$$Q = 2 \sqrt{\frac{(a \cdot \sin \alpha + a \cdot \sin \beta)^2 + (b \cdot \cos \alpha + b \cdot \cos \beta)^2}{2}} \quad (0-8)$$

⑥若为正方形测网（勘探网），则 0-6 式可简化为：

$$P = Q (2D - Q) / D^2 \quad (0-9)$$