

# 初论地质异常数字找矿模型

陈永清<sup>1,2</sup> 刘红光<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100083; 2. 国土资源部矿产资源定量预测及勘查评价开放研究实验室, 武汉 430074)

**摘要:** 数字找矿模型是实施数字找矿工程的强有力工具。根据地质异常致矿原理, 初步论述了数字找矿模型的理论基础; 地质、地球化学、地球物理和遥感信息的特征及其找矿功能; 致矿信息提取、关联、转换与综合以及地质异常数字找矿模型的建立方法。事实上, 致矿信息提取与综合的过程亦是数字找矿模型建立的过程。

**关键词:** 地质异常; 信息综合; 数字找矿。

中图分类号: P628 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)02-0129-06

**作者简介:** 陈永清, 男, 教授, 1960年生, 1994年毕业于长春科技大学数学地质专业, 获博士学位, 现主要从事矿产资源定量预测与勘查评价的研究工作。

不同尺度的矿产勘查(从普查到勘探)是一个逐渐获取不同等级的矿产资源体(mineral resource objects)如矿田、矿床和矿体等信息的动态过程。它通常包括如下研究内容: (1) 收集研究区地质矿产、地球化学、地球物理和遥感数据, 建立区域性(或地区性)数据库; (2) 在划分地质背景场和异常场的基础上, 研究不同类型矿床的成矿地质环境、控矿地质异常因素及其成矿作用, 建立成矿谱系及其地质异常致矿概念模型; (3) 以地质异常致矿概念模型为基础, 以现代信息处理技术为手段, 通过对多学科地学数据的致矿信息提取、关联、转换和综合, 建立数字找矿模型和资源定量评价模型; (4) 定量圈定找矿靶区并评价其成矿概率和资源潜力。勘查地质学家通常直到勘探的最后阶段才能获得矿床形成的直接证据, 因此在矿床勘查的早期, 人们只能依据成矿学原理, 使用间接信息推测和模拟矿床形成的地质过程及其特征。勘查信息的不完整性, 是导致矿床勘查的不确定性因素之一, 这种不确定性使人们感觉到矿床的形成与分布具有很大的随机性。

元素的富集是一种普遍的自然现象, 从而导致了众多的矿点、矿化点和化探异常的存在, 但工业矿床的形成则是一个异常复杂的问题。它取决于多种

成矿条件是否达到最佳及其组合(成矿环境的稳定性、成矿作用的多期多阶段性和成矿物质的充分性)是否达到最优。因此矿床(尤其是大型、超大型矿床)的形成和保存条件的最佳匹配组合构成了概率上的稀有事件和地质上的异常事件, 而形成这些稀有的地质异常体的地质过程是现在无法观测到的地质历史时期发生的复杂事件。因此, 矿产勘查是依据成矿学原理, 从数据→信息→知识对成矿过程和矿床特征(规模和品位等)所做的一种科学推断。

## 1 理论

地质异常矿产资源定量勘查与评价最终是通过地质异常单元的圈定评价确立找矿地段的<sup>[1~3]</sup>, 一个地质异常单元可能由一个或多个地质异常体组成(其中可能包括矿产资源体), 矿产资源体的最终定位, 除使用昂贵的钻探和槽探工程之外, 相对经济的手段就是应用综合致矿信息定量圈定和评价含有矿产资源体的靶区。矿床明显的地质异常特征以及产出的随机性和单一找矿信息的不确定性奠定了应用地质异常理论、数理统计方法和综合致矿信息定量圈定和评价找矿靶区的方法学基础。

### 1.1 地质异常体和矿产资源体

由于矿产资源体仅占据地壳物质的极少部分, 因此它们可被视为由一种或多种地质、地球化学或

地球物理异常表征的地质异常现象。Gorelov<sup>[4]</sup>研究表明:主要内生金矿矿床构成的矿田在物质组成和结构构造上相对周围环境表现出异常的特征。尤其是大型和巨型矿床的形成是特定地质历史时期成矿条件和成矿作用最佳耦合的结果,是一种典型的稀有地质异常事件,如中国白云鄂博 Fe—REE 矿床,南非兰德 Au—U 砾岩矿床,乌兹别克斯坦穆龙套金矿床和澳大利亚奥林匹克坝 Cu—U—Au—REE—Fe 矿床等。这些矿床时间上表现为整个地质历史时期成矿事件的非重现性,空间上表现为全球分布的唯一性。正是这些矿床构成其全球工业储量和产量的主体<sup>[5,6]</sup>。

许多微量元素在地壳中具有极低的丰度,在地质作用下导致超巨量堆积形成巨型矿床,这需要将地壳局部地段的金属量浓集数亿倍乃至数十亿倍,这在整个自然界属于罕见的事件和异常现象,而这种事件和现象具有某种随机性,从而构成统计学上的稀有概率事件。因此,我们说成矿事件是地质上的异常事件、概率上的稀有事件。

## 1.2 地质异常体和矿产资源体的等级性

成矿学研究表明元素聚集成矿具有等级性。在全球尺度上可划分出以一组(种)元素成矿为特征的貌似连续的巨型成矿带,而这种成矿带事实上是由不同的成矿省组成的<sup>[7]</sup>,成矿省由不同的矿田构成,矿田由不同的矿床组成,矿床由不同的矿体组成,整体上构成了一个有序的等级结构,我们将其称之为成矿谱系;它反映了不同等级矿产资源体的时空结构和成因演化序列。地质异常亦具有这种等级结构,并与相应的矿产资源域(体)相对应,且前者控制后者的形成和分布<sup>[1]</sup>。这表明在同一尺度上观测矿产资源域(体),它似乎在组分上是均一的、连续的块体,而在更小一级的尺度上观测,它却是由一系列离散的次一级的矿产资源域(体)组成。找矿靶区亦具有等级性结构,例如,我们在进行区域成矿预测时圈定的矿田级靶区,通常使用的是 1:20 万比例尺的地质数据(地质、矿产、地球化学、地球物理数据等)。在这一尺度上,通常认为在靶区内部元素的浓集和地质结构是相对均一的、连续的;当我们在这一靶区内进行 1:5 万(1:1 万)的追踪勘查时,圈定出一系列离散的矿床级(矿体级)靶区。这种现象可称之为尺度效应,它表现为用与之相适应的尺度去度量矿产资源域(体),它在元素浓集和地质结构上表现为连续的和均一的,用与之更小的尺度去量,它在元

素浓集上却表现为离散的,在地质结构上表现为非均质的;即连续和均一是相对的,离散和非均一是绝对的。地质异常矿产资源勘查评价就是根据这种矿产资源域的等级结构对不同的勘查目标(矿田、矿床、矿体)制定相应的勘查战略(包括勘查信息的精度要求、勘查成本、勘查利润以及勘查风险估计等)<sup>[3]</sup>。

## 2 信息

从地质的观点,矿床可视为在特殊地质环境下,由地质成矿作用形成于地壳中的一种或多种元素高度浓集的地质异常体。从矿产勘查的角度,就是要建立从勘查区众多的地质异常体中识别出那种具有潜在工业价值和具有现行工业价值的地质异常体的判别标准。具有潜在工业价值的地质异常体可称为矿产资源体,具有现行工业价值的地质异常体称之为矿体。将地学勘查数据转变成资源勘查信息是数据处理和解译的关键。

用于矿产勘查评价的基础数据包括:(1)定性数据;(2)定量数据。前者包括地质和矿产数据,后者包括地球化学、地球物理和遥感数据。每个数据都具有两种属性:空间位置和地质特征。例如,一个地面磁测值代表了地质体某一点(测点)的磁场强度,这种测量从一个侧面揭示了地质体的物理性质;地球化学测量揭示了地质体地球化学场的特征;而蚀变矿化的测量除揭示矿产资源体的地质特征外,还表明这是一个稀有异常地质事件。稀有异常地质事件亦可通过地球化学和地球物理信息表征。

### 2.1 地质信息

地质信息是其他信息(地球化学、地球物理、遥感信息)提取、解译和综合的基础。不同尺度的构造体系(包括断裂体系和褶皱体系)是典型的控矿地质异常因素。全球地质构造控制洲际成矿带的形成与分布,区域地质构造控制成矿省分布与演化,局部构造体系控制矿产资源体(矿田、矿床和矿体)的空间定位<sup>[1]</sup>。但并不是所有的构造体系都是控矿的,而在同一控矿构造体系中亦不是所有构造都是控矿的,我们将控制不同等级矿产资源体形成和分布的构造定义为控矿地质异常,相应的构造体系,称之为地质异常控矿体系。问题的关键是建立识别控矿地质异常的数字信息标准。内生矿床的形成通常与构造的活动密切相关,受不同性质和多期构造控制形成的叠生矿床往往是大型、超大型矿床的特征之一。

地层岩性的多样性和复杂性是影响元素聚集成矿的重要因素。地层岩性控矿有两重含义:一是某个时代的岩石地层相对地史时期的其他层位更富含某种成矿元素,形成所谓的矿源层,例如早期寒武纪绿岩带以富含 Au 和 Fe 为主要特征,其中赋存着一些众所周知的世界级金矿床和铁矿床;二是某些岩石的物理、化学性质如岩石的空隙度和渗透率、有机质含量和有利于化学反应的性质等有利于一些金属元素富集成矿,例如黑色页岩建造,含铜砂页岩建造,碳酸盐岩建造(赋存密西西比型 Pb—Zn 矿和卡林型 Au 矿)等。不同类型的热液矿床通常与不同的蚀变矿化类型相联系。蚀变岩种类的多样性增加了岩性控矿的复杂性。热液蚀变通常围绕矿床(斑岩铜矿床)具有明显的分带现象,利用这种分带规律能够预测矿床(矿体)的存在。

## 2.2 地球化学信息

元素在地壳中时空分布的不均一性形成了众多不同等级的地球化学块体,其中包括以相对富集一种或一组成矿元素为特征的地球化学省<sup>[8]</sup>。在地球化学省内,从特定的古老地层(矿源层),到后期的成矿岩体,再到矿床,成矿组分(成矿元素组合和矿化剂组合)具有明显的继承性。例如位于鲁西隆起区的 Au 地球化学省,从太古宙绿岩带→赋存于绿岩带中的元古宙韧性剪切带型金矿床→中生代成矿岩体→中生代与岩浆活动有关的热液金矿床都以富含 Au, B, F 为典型特征<sup>[9]</sup>。地球化学省为金属成矿省的形成奠定了物质基础。

地球化学信息,在矿产勘查中占有举足轻重的地位,在战略上它可应用地球化学模式鉴别地球化学省的存在,在战术上地球化学模式可用于识别矿田、矿床和矿体。地球化学信息亦是鉴别控矿地质异常和地质矿异常的重要标志;另一方面,地质异常的深入研究有助于深化地球化学异常的解释和评价。二者的有机结合对找寻隐伏矿床和非传统矿床具有重要意义。

## 2.3 重磁遥感信息

应用重磁信息解决地质问题的优势是重磁场具有深穿透性。这对推测隐伏地质异常如隐伏基底(可能的矿源)、隐伏构造、隐伏岩体和隐伏矿床等都具有重要作用。由于地球物理测量(无论是航空测量还是地面测量)的数值是不同深度不同性质地质体组合的叠加场,因此,必须应用一系列信息处理技术,通过叠加场的有效分解达到提取深部地质异常信息

的目的,并编制重磁构造地质异常图。

遥感信息已被广泛地应用于矿产勘查与评价。尤其是在工作程度较低的边远地区进行战略性矿产勘查,遥感信息对快速优选找矿有利地段具有独特的优势。遥感影像具有两种基本形式:线形影像和环形影像;前者通常对应于线形地质异常,如不同规模和不同性质的断裂体系,后者则对应于环形地质异常如岩体的隐伏边界、构造火山岩盆地以及蚀变矿化带等。环、线组合影像是有利于成矿的地质异常区。由于遥感影像主要反映地表或浅部的地质异常特征。因此,遥感信息与重磁信息的有机结合对减少成矿预测的不确定因素,提高找矿效率具有重要意义。

## 2.4 信息关联和转换

据其与矿化的相关性,上述找矿信息可划分为直接找矿信息和间接找矿信息。前者是指与矿床的形成和分布具有内在的必然联系,并具有直接找矿意义的信息,如矿化露头、矿化蚀变和矿致地球化学、地球物理异常等;后者是指与矿床的形成和分布具有某种关联性,对矿床的存在仅具有间接指示意义的信息,如含矿建造、控矿构造、成矿岩体和由其引起的地球物理、地球化学和遥感影像异常等。在区域性矿产勘查阶段,我们获取的主要是间接找矿信息。为了减少矿产勘查的不确定性,依据地质异常概念模型,研究直接找矿信息和间接找矿信息之间的关联和转换关系,应用间接找矿信息预测找矿靶区的位置和可能的矿化类型显得尤为重要。在鲁西铜石金矿田从事成矿预测时,我们详细研究了水系沉积物异常元素组合和重砂矿物异常组合以及矿石矿物组合之间的关联和转换关系,确立了归来庄式金矿床矿石矿物组合是自然金、银金矿和碲金矿,重砂矿物组合是自然金、辉锑矿、雄黄和雌黄等,水系沉积物异常组合是 Au—Ag—As—Sb<sup>[10]</sup>。这为利用间接信息直接推断矿化位置和矿化类型提供了科学依据。

## 2.5 信息量化与信息综合

定量圈定地质异常单元,优选找矿靶区并评价其资源潜力,需要综合各类地学信息,以减少评价的不确定性。不同类型数据的综合无论在理论上还是在实践上都是一个富有挑战性的前沿课题<sup>[11]</sup>。诸如构造、岩性和蚀变等定性信息通过图像易于可视化,但它们的量化却是一项困难而又艰巨的工作。GIS 技术的迅速发展为矢量数据和栅格数据的综合提供了强有力的工具。

断层和其他线形异常体具有典型的线性矢量属

性,它们必须被转换为栅格数据以便与其他栅格数据(如地球化学数据)综合.应用缓冲技术能够确立断裂构造的影响区域(缓冲区),通过数值分析将位于不同位置的构造赋予相应的数值,以反映其空间影响力的相对大小.这种方法有助于建立构造和矿化在空间上的成因关系.除构造外,成矿岩体、岩性以及热液蚀变亦是与矿产勘查有关的重要地质矢量属性标志,它们的转化和定量化是信息综合成功的关键.信息综合包括定性综合和定量综合.定性综合就是根据地质异常致矿原理,在充分分析成矿地质异常要素的基础上,编制地质异常资源潜力评价图.定量综合又包括单一类别信息的综合和不同类别信息的综合.前者如多元素地球化学信息的综合等,单一类别信息的综合可借助于因子计量模型、马氏距离模型等实现.不同类别信息的综合通常以地质异常资源潜力评价图为基础,通过提取地质异常变量,按某种规则对变量加以赋值,并依据数学原理建立异常找矿有利度模型,借助于模型计算样品单元的找矿有利度而实现的.用于信息综合的变量应遵循某种法则,如将各类异常在空间上的相关性作为多学科致矿信息综合的前提.信息综合之前,应将不同类别的信息进行标准化变换以便使不同种类信息的异常强度数值在区域上具有可比性,用于综合的数据必须属于同一数据类型.

### 3 方法

地质异常数字找矿模型的建立主要包括两部分内容:一是在上述工作的基础上建立地质异常概念模型;二是据其概念模型构造资源预测变量,通过对变量的赋值、优化等程序,最终建立数字找矿模型.

#### 3.1 概念模型

前已述及,矿床可视为能被地质、地球化学、地球物理异常信息表征的高度浓集一种元素或一组元素的地质异常体.那么,在理论上这种异常体能够被地质、地球化学、地球物理测量所探测.因此,构成上述异常的信息(包括直接找矿信息和间接找矿信息)都属于地质异常概念模型研究的内容.例如,我们在鲁西铜石金矿田开展金矿预测时,概括的地质异常概念模型的内容为:(1)太古宙绿岩带(可能的矿源);(2)古生代碳酸盐岩(有利的容矿围岩);(3)铜石杂岩体(可能的矿源和热源);(4)NW,NE,SN和EW向断裂系,其中包括重磁断裂(控岩、控矿构

造);(5)金的低、中、高温重砂组合异常(反映矿化的矿石矿物组合特征);(6)金的低、中、高温元素组合异常(反映矿化的元素组合异常特征).

#### 3.2 预测变量

变量是随样品的不同而变化的标志,其变化与统计母体特征具有内在联系.成矿预测所研究的统计母体的主要特征是资源特征,如资源量、资源位置等.因此,资源预测变量系指随统计单元的变化,反映资源特征的某一标志可取不同数值的参变量.概念模型是选择资源预测变量的依据.我们在鲁西铜石金矿田开展金矿预测时,依据其概念模型选择了如下的资源预测变量:闪长玢岩( $X_1$ );正长斑岩( $X_2$ );碳酸盐岩( $X_3$ );变质岩( $X_4$ );EW向断裂( $X_5$ );SN向断裂( $X_6$ );NE向断裂( $X_7$ );NW向断裂( $X_8$ );断裂交叉点( $X_9$ );高温重砂组合异常( $X_{10}$ );中温重砂组合异常( $X_{11}$ );低温重砂组合异常( $X_{12}$ );高温元素组合异常( $X_{13}$ );中温元素组合异常( $X_{14}$ );低温元素组合异常( $X_{15}$ );Au浓度分带I( $X_{16}$ );Au浓度分带II( $X_{17}$ );Au浓度分带III( $X_{18}$ ).由此可见,资源预测变量是对其概念模型的细化、对矿产资源体异常特征的具体化.

#### 3.3 数字找矿模型

数字找矿模型应具有两方面的功能:一是能够定量圈定靶区;二是对靶区的资源潜力作出定量评价,并给出成矿概率.其数学表达式通常为

$$F = a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \dots + a_m Z_m.$$

其中 $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ 是 $m$ 个资源预测变量; $a_1, a_2, \dots, a_m$ 是度量变量相对贡献的权系数; $F$ 是关于 $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ 随机变量的有利度函数.求取有利度函数 $F$ 的关键是计算每个变量的权系数 $a_1, a_2, \dots, a_m$ .关于权系数的求取有许多算法,如特征分析<sup>[12]</sup>、典型有利度分析<sup>[13]</sup>.除有利度模型外,证据权模拟模型<sup>[14,15]</sup>已被广泛地应用于资源定量评价.

### 4 结论

(1)该模型的理论基础是地质异常致矿原理,把“求异”作为找寻新矿床的出发点,模型的建立不依赖于具体的矿床成因模式,而取决于综合地质异常信息组合.这对开展区域成矿预测,尤其是对开展我国西部边缘地区的资源评价,发现新的矿产资源地具有特别的意义.这是因为一个地区通常存在众多成因类型的矿床,而矿床成因模式是根据研究区已

知典型矿床建立的,根据一种矿床成因模式建立的找矿模型只能预测同类型矿床,不能发现新类型矿床。(2)现代探测技术、测试技术和信息处理技术,尤其是 3S(GPS,RS,GIS)技术为数字找矿模型的建立提供了强有力工具,基于 GIS 平台的资源评价系统的开发和研制将使数字找矿走向自动化、可视化和智能化成为现实<sup>[16]</sup>。(3)基于现代探测技术、测试技术和信息处理技术的数字找矿模型的建立和应用标志着矿产勘查迈进了数字信息时代。

#### 参考文献:

- [1] 赵鹏大,陈永清.地质异常矿体定位的基本途径[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(2):111~114.
- [2] 赵鹏大,陈永清,刘吉平,等.地质异常成矿预测理论与实践[M].武汉:中国地质大学出版社,1999.138.
- [3] 赵鹏大,陈永清,金友渔.基于地质异常的“5P”找矿地段的定量圈定与评价[J].地质论评,2000,46(增刊):1~12.
- [4] Gorelov D A. Quantitative characteristics of geological anomalies in assessing ore capacity [J]. Internal Geology Review, 1982, (4): 457~465.
- [5] Laznicak P. Giant ore deposits: a quantitative approach [J]. Global Tectonics Metallogeny, 1983, 2(1&2): 41~63.
- [6] Laznicak P. Quantitative relationships among giant deposits of metals [J]. Economic Geology, 1999, 94(4): 455~473.
- [7] Schuiling R D. 环大西洋大陆上的锡矿带[A].见:赖特 J B,主编.矿床、大陆漂移和板块构造[C].陈昌明,陈志明,译.北京:地质出版社,1982.17~22.
- [8] 谢学锦,向运川.巨型矿床的预测方法[A].见:谢学锦,邵跃,王学求,主编.走向 21 世纪矿产勘查地球化学[C].北京:地质出版社,1999.61~91.
- [9] 陈永清,赵鹏大,刘红光.鲁西金矿成矿组分的聚集与演化[J].地球科学——中国地质大学学报,2001,25(1):51~58.
- [10] Chen Y Q, Liu H G. Delineation of potential mineral resources region based on geo-anomaly unit [J]. Journal of China University of Geosciences, 2000, 11(2): 158~163.
- [11] Pan G C, Harris D P. Information synthesis for mineral exploration [M]. New York: Oxford University Press, 2000. 461.
- [12] McCammon R B, Botbal J M, Larsen R S. Characteristic analysis — 1981: final program and a possible discovery [J]. Math Geology, 1983, 15(1): 59~84.
- [13] Pan G C. Canonical favorability model for data integration and mineral potential mapping [J]. Comput Geosci, 1993, 19: 1077~1100.
- [14] Agterberg F P, Bonham-Cater G F, Cheng Q, et al. Weights of evidence modeling and weighted logistic regression for mineral potential mapping [A]. In: Davis J C, Herzfield U C, eds. Computer in Geology — 25 Years of Progress [C]. New York: Oxford University Press, 1993. 13~32.
- [15] Pan G C. Extended weights of evidence modeling for the pseudo-estimation of metal grades [J]. Nonrenew Resour, 1996, 5(1): 53~76.
- [16] Hu G D, Chen J G, Chen S Y. Metallic mineral resources assessment and analysis system design [J]. Journal of China University of Geosciences, 2000, 11(3): 308~311.

## A PRELIMINARY VIEW ON DIGITAL PATTERN FOR MINERAL EXPLORATION BASED ON GEOANOMALY

Chen Yongqing<sup>1,2</sup> Liu Hongguang<sup>2</sup>

(1. The Center for Development & Research, China Geological Survey, Beijing 100083, China;  
2. The Open Laboratory of Quantitative Exploration Assessment of Mineral Resources, The Ministry of Land and Resources, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Digital pattern for mineral exploration is a powerful tool for digital mineral exploration projects. Preliminarily this paper expounds (a) the fundamental theory of the digital pattern for mineral exploration; (b) the features of geological, geochemical, geophysical and remote sensing information

and their functions for mineral exploration; (c) the procedure for extraction, connection, transformation and integration of ore-finding information, and (d) the methods of establishment of digital pattern for mineral exploration based on geomanaly. In fact, the process of extraction and synthesis of ore-finding information is also a process of establishing a digital pattern for mineral exploration.

**Key words:** geomanaly; information integration; digital mineral exploration.

\*\*\*\*\*

## 中国地质科学的学科名称和分类的建议

李毓芳

(新疆矿产资源委员会, 乌鲁木齐 830000)

地质科学,在六大自然科学(即天文、地质、生物、数学、物理、化学)中居第二位,与五大学科交叉,据路甬祥<sup>[1]</sup>,在世界科技前沿七大领域(即生命科学、物质材料科学、地球科学、环境科学、数学、大科学、交叉科学)中居第三位,亦是材料科学、环境科学的重要组成部分.地质科学在信息、材料、能源、农业、医药、空间、海洋、国家安全 8 个方面中,同样是无所不在.

中国地质科学名称,据柴育成等<sup>[2]</sup>,地质学二级学科共列 18 个:1. 古生物学(含古人类);2. 地层学;3. 矿物学;4. 岩石学;5. 矿床学;6. 沉积学;7. 石油地质学;8. 煤田地质学;9. 第四纪地质学;10. 前寒武纪与变质地质学;11. 构造地质学;12. 大地构造学;13. 水文地质学;14. 工程地质学;15. 数学地质学;16. 地热地质学;17. 遥感地质学;18. 环境地质学.在中国科学院兰州文献情报中心1998年所列的地质学学

附表 中国地质科学的学科名称和分类

大类	分类及学科名称
基础地质	I. 地质年代学:1. 地层—地史学;2. 古地理学;3. 古生物学;4. 同位素年代学;5. 古地磁学;6. 古人类学 II. 空间学:7. 行星学;8. 高层空间学;9. 大气物理学;10. 极地学;11. 海洋地质学 III. 岩石圈:12. 第四纪地质学;13. 前寒武纪学;14. 构造地质学;15. 大地构造学;16. 火山地质学;17. 岩石圈流变学;18. 大陆动力学 IV. 岩石学:19. 沉积岩;20. 岩浆岩;21. 变质岩;22. 矿物学;23. 层序学
应用地质	V. 实验地质学;24. 显微镜学;25. 分析化学;26. 测试学;27. 人工岩矿 VI. 应用地质学;28. 水文地质学;29. 工程地质学;30. 地热地质学;31. 地震地质学;32. 数学地质学;33. 环境地质学;34. 药物饲料农肥;35. 岩溶地质学;36. 旅游地质学;37. 军事地质学
材料和能源	VII. 矿床学;38. 矿相学;39. 金矿地质学;40. 金刚石地质学;41. 石油、天然气地质学;42. 煤、煤成气、油页岩;43. 铀矿地质学;44. 黑色金属地质学;45. 有色金属地质学;46. 稀有稀土元素地质学;47. 宝玉石地质学;48. 珍稀矿产地质学;49. 盐湖地质学;50. 建材地质学;51. 非金属地质学;52. 地下水、矿泉水地质学
系统地质	VIII. 地质勘查学;53. 区域地质学;54. 矿区地质学;55. 航片解释地质学;56. 地球物理测量;57. 地球化学测量;58. 矿产成因和赋存规律 IX. 矿产开发;59. 凿岩地质学;60. 矿山地质学 X. 系统地质学;61. 勘查工程理论;62. 金属矿找矿靶区识别;63. 矿产储量分类;64. 地质矿产科学预见;65. 勘查经济评价;66. 找矿—开发追踪调查

科专业词表中共有 25 个,与前者相比,相同的有 16 个(除变质地质学与环境地质学外),另列有动力地质学、岩土力学、古地理学、勘查地质学、区域地质

学、火山地质学、实验地质学 8 个.以上共 27 个学科.根据国家地学机构、工业部、省(自治区)工业厅局、勘查单位、工业设计院、生产矿山,地质科学涵盖

(下转 166 页)