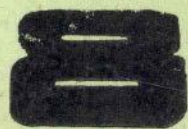


地质科技资料选编 (一〇二)

化探资料选编



地质矿产部情报研究所编

地质科技资料选编（一〇二）

化 探 资 料 选 编
(八)

前 言

本专辑共收入译文三十二篇，主要包含两方面的内容：一是国外化探工作者对近些年化探发展的总结和对今后发展的展望，以及某些化探方法和技术的介绍；二是介绍国外区域化探的战略、方法和经验。

《地球化学勘查的展望——预期进展和新途径》一文为美国著名化探专家 R. W. 鲍伊尔所著，着重介绍了地球化学勘查的概念，并分别对岩石化学法、土壤化学法、水化学法、气体化学法、生物地球化学法的预期进展和新途径作了系统的评述。此外，作者对区域测量和模式认识、模型建立、勘查战略、同位素测量、分析技术改进等较为总体性的预期进展和新途径也作了简要的讨论。《西方国家地球化学普查方法发展近况（综述）》是苏联著名化探专家 C. B. 格里戈良等在综合总结西方国家有关化探的大量文献的基础上写出来的。文章指出了化探方法在西方国家的地质部门和私人矿业公司运用的情况及其在从小比例尺踏勘工作到大比例尺详细工作的运用特点。文章通过对西方在改进化探方法本身以及化样样品分析、结果整理和成图方面的主要倾向作了分析。《苏联地球化学普查方法的回顾与展望》一文是苏联知名化探专家 A. П. 索洛夫夫和 C. B. 格里戈良为迎接第二十七届国际地质年会而作。文章着重回顾了苏联化探方法发展的概况，指出苏联化探近年来的主要成果以及进一步发展的方向。

F. W. 韦尔迈在《用于指导找矿的成因和地球化学新概念》一文中，介绍了用来增强异常的多元素方法和矿物地球化学方法，并对真假铁帽的识别的方法作了介绍。一篇有关生物地球化学找矿的文章根据“障”的概念，将生物体分为无障生物体、半有障生物体、有障生物体和背景障生物体，并告诫我们在进行勘查时，应当选择无障生物体和半有障生物体作取样对象，必须避免使用背景障生物体。文章对现阶段正在使用的生物地球化学找矿方法也做了简介。

本专辑还收入了第十届国际化探会议论文集的四篇专题讨论。四篇文章分别对该次会议上有关生物地球化学方法和水地球化学方法在矿产勘查中的应用、大体积标准样的应用以及异常下限与异常解释等问题的讨论情况作了介绍、归纳总结和评述。对于关心这些问题的化探工作者来说，这些文章是值得一读的。

V. K. 卢卡舍夫在《次生环境中元素的存在形式》一文中，根据对元素活动状态的研究，概述了几种检测深埋矿床分散晕的方法，并指出对与次生环境中元素存在形式有关的问题均需作更详细的研究。格里戈良和奥甫钦尼科夫的原生晕通用分带序列已是化探界公认的规律性。但是，这一分带序列也常常因矿体形成过程中某些占主导地位的物理化学条件的改变而发生复杂的变化。《原生晕分带性特征及其变化》一文介绍了这种情况。原生晕中的成矿元素比值对于形成深度不同的矿床显著不同，即是一例。为了对矿床中某一垂直位置作出更确切的解释，作者建议利用交代组分和伴生元素（K、Na、Rb、Sr等）的特征。

在有关区域化探的文章中，《区域岩石地球化学在矿产勘查中的作用》一文，对在蒙古

中生代岩浆岩省进行的有特殊参考价值的区域岩石地球化学勘查作了介绍, 並指出: 区域岩石学测量可用于确定特殊构造的地球化学特征, 还可用于与地质和矿床有关的大比例尺地球化学填图。在确定与地球化学和地质有关的火成岩共生组合的特征中, 区域岩石地球化学具有特殊的意义, 它是矿床勘探的主要基础。有关法国、意大利、澳大利亚等国的区域地球化学勘查及方法研究, 本专辑也均有反映。《区域性勘查地球化学的最佳化》一文, 介绍了法国的化探人员在法国十个远景区中所作氧化带的地球化学调查的结果。文章对“贱金属”在取样物质中的积聚作用及其可能的组合和迁移条件作了研究。在查明可能引起异常的“载体相”的基础上, 对其进行选择性分析, 以提高含量的衬度, 扩大分散范围, 从而可以放宽取样密度, 降低勘探成本。《意大利南部卡拉布里亚区的区域地球化学勘查》一文介绍了鲜为人知的意大利的区域化探的一些情况。勘查区由大至小, 逐步缩小靶区, 並提高研究的详细程度, 从而确定出远景区。单元素和多变量数据分析在结果解释中起着重要作用。有关澳大利亚区域化探的实例, 反映在C.S. 鲁格勒斯等的《勘查岩石地球化学在澳大利亚新南威尔士州布罗肯尔寻找平纳克尔斯型矿化》一文中。作者根据含矿与非含矿的同层位变质岩部分元素的特征组合及变化规律, 并以基岩的检测数据作训练集对地表岩类进行监督分类, 在此基础上以特征参数(组合元素的比值)圈定含矿地段。有关法国区域化探和成矿规律研究的另一篇文章, 同样值得一读。

对于苏联区域化探工作, 这次我们集中介绍贝阿线地区开展化探工作的情况。随着贝阿铁路干线的修建, 沿线地区不仅成了苏联工业开发的重点地区, 而且成了地质勘探工作的重点地区。化探工作在该区地质勘探工作中占有十分重要的地位。因此, 第三届全苏化探会议于1977年在这里的乌兰乌德市举行, 专门讨论贝阿线地区的化探问题, 拟定了该区五个地质局的综合化探规划。会议文集《提高贝阿线地带地球化学普查方法的效果》以最新研究为基础, 探讨了该区地球化学普查的主要发展方向、任务、方法和实际结果, 並指出了进一步提高地球化学普查效果的有效途径。在我国, 也存在边远地区和高寒山区等特殊地区开展化探工作以及提高区域化探方法效果的问题。在这方面, 苏联贝阿线地带的区域工作的方法和经验, 对我们都有借鉴意义。为此, 我们从该会议文集中选译了有关区域化探的文章十二篇, 以供我国化探人员参考。

为了充分利用版面, 本专辑还选登了15篇新近发表的外文化探论文摘要, 为读者提供点新信息。

由于编者的水平所限, 在选题、翻译、校对和编辑加工中难免有种种不足和错误, 恳请读者批评指正。

本专辑的出版得到了青海省地矿局化探队和地矿部第二综合物探大队的资助, 在此表示衷心感谢。对参加绘图的赵秀兰、魏志如、张尔平及封面设计赵贵鹏表示感谢。

地质矿产部情报研究所方法室化探组

1986年12月

目 录

前言	(I)
目录	(III)
地球化学勘查的展望——预期的进展和新的途径	(1)
西方国家地球化学普查方法的发展近况 (综述)	(14)
苏联地球化学普查方法的回顾与展望	(35)
用于指导找矿的成因和地球化学新概念	(39)
矿产勘查的生物地球化学	(51)
水地球化学在矿产勘查中的作用	(55)
大体积标准样在勘查地球化学中的应用	(57)
异常下限和异常解释	(60)
苏联生物地球化学探矿	(64)
次生环境中元素的存在形式	(69)
原生晕分带性特征及其变化	(77)
侵入岩体热梯度场内元素浓度的地球化学场的形成	(82)
澳大利亚深风化区的地电化学技术	(88)
“壤土”重砂在深风化干旱区地球化学勘查中的应用	(102)
水系沉积物细粒级组分在干旱和半干旱区区域化探中的应用	(117)
区域岩石地球化学在矿产勘查中的作用	(127)
区域性勘查地球化学方法的最佳化	(133)
意大利南部卡拉布里亚区的区域地球化学勘查	(143)
勘查岩石地球化学在澳大利亚新南威尔士州布罗肯希尔寻找平纳克斯型矿化	(159)
区域地球化学勘查和成矿规律：法国阿尔摩里克高原东部海西期花岗岩周围晕的特征	(177)
苏联贝阿线沿线地区化探工作的基本方向	(195)
苏联科学院地球化学研究所在贝阿线地带的地球化学研究战略	(201)
贝阿线地带分散流和次生分散晕普查	(204)
西伯利亚地台贝阿线地带分散流地球化学普查的结果	(211)
贝阿线地区的地球化学普查	(220)
水地球化学测量是贝阿线地带地球化学普查的第一步	(227)
雅库特地质局在贝阿线地区的地球化学普查	(230)
伊尔库茨克州贝阿线地球化学工作的现状及方法和效果	(236)
布里亚特贝阿线地带地球化学普查现状及实际成果和方向	(239)
雅库特贝阿线地球化学普查的主要结果和方向	(244)

赤塔州贝阿线地区的地球化学研究程度, 地球化学普查的实际成果和进一步的方向, 以及进一步提高其效果的途径.....	(247)
贝阿线地带东段地球化学研究程度以及地球化学普查结果和任务.....	(254)

附录: 化探论文摘要选登

深部岩石化学测量与气测在掩伏区普查中的综合运用(以滨海区的沃兹涅先矿区为例)	(34)
有关地球化学场、地球化学背景和地球化学噪音的定义问题	(54)
根据杂质元素预测岩石的含金性	(87)
玄武岩被下的金伯利岩的地球化学普查	(119)
以岩石内含的气态烃为基础的矿产勘查新方法和在特里夫斯(法国的加尔) Zn—Pb矿床上取得的初步结果	(132)
比基纳法索的迪尤加地区一组铁质红土剖面的地球化学和岩石学	(158)
水地球化学样品在野外条件下的快速分析	(176)
卡拉套西北部查尔吉扎加奇和布腊拜铅-锌矿床的地球化学分带性	(194)
变质作用的地球化学及古成矿作用特征的再造的可能性	(200)
一些金属矿床之上的汞气分散晕	(210)
氟的水地球化学异常及其在普查顿巴斯与波阿速海地区接合带内的萤石矿化的意义	(226)
水地球化学环境是普查矿床的准则(以苏联喀尔巴阡为例)	(229)
金矿床水地球化学普查的效果	(235)
根据金矿化的构造位置的水地球化学控制预测金矿化	(243)
关于金属矿床的汞气分散晕的问题	(258)

地球化学勘查的展望—预期的 进展和新的途径

R. W. Boyle

摘 要

由于快速准确地测定周期表中大部分元素的分析方法的发展,已经推动了与大部分矿床伴生的原生和次生分散晕的性质的解释工作,因而在过去的50年中地球化学勘查已有重大改进。这种知识的应用已在世界上的许多国家导致了众多大矿床的加速发现。

从前景看,地球化学勘查一定会继续为大部分类型矿床的普查提供一条有效而经济的途径。今后的研究应当把注意力集中在发现深部埋藏矿的技术上,以及诸如重矿物测量、矿化的特殊指示元素和指示矿物、同位素的利用、数学解释方法、内生和外生环境中控制元素迁移的基本因素等方面。

简言之,“地球化学普查或勘查”,就是应用地球化学和生物地球化学的原理和资料去寻找有经济价值的矿床、油田和气田。笔者在以前的一篇文章(1979)中曾对某些一般性的概念作过评述,随后又对1980年前取得的进展作了概括,本文则率先谈谈地球化学勘查的概念和方法的某些预期进展和新途径。

地球化学普查中使用的技术,有些已在找矿中沿用了几个世纪。人们会记得,在古希腊和古罗马的论文中,有在一个地区用淘洗溪流沉积物的办法寻找金矿床的记述:在Georgius Agricola's *De re metallica*中,详细地讲述了通过分析泉水和观察由于矿床的存在对植被产生的毒害或中毒效应来发现矿脉的最好方法。人们还会记得第一个成功的地球化学找矿者乔万尼·戴·卡斯卓(Giovanni de Castro),一位十五世纪中期的热亚那绅士。据记载,他受聘在叙利亚的埃德萨附近的矿山上从明矾石中提炼明矾,他在那里观察到有一种冬青属的植物特定地生长在明矾石脉附近。他回到意大利后,发现在罗马附近的托尔法的山丘上也生长着类似的植物。他在这个地区进行了普查,不久便发现了明矾石的转石,继而发现了这些转石的原生矿脉。由于这一发现,在托尔法兴起了重要的明矾工业;因为他的这一成就,皮乌斯二世教皇赏赐给卡斯卓一份终生年金,并建立塑像以示表彰。

到了近代,地球化学普查技术主要起源于苏联和斯堪的那维亚国家,在那里于三十年代晚期进行了大量方法研究。第二次世界大战以后,各种方法被引入了美国、加拿大、英国和许多其他国家,从此便被这些国家的矿业公司和政府机构在矿产和石油勘查计划中广泛使用。可以毫不夸张地说,在最近15年中,世界上起码有大约20个大型矿床和许多较小的矿床基本上是用地球化学方法发现的,从斑岩型和块状硫化物型矿床到脉状Au-Ag矿和伟晶岩矿都有,对于一种尚处于幼年期,而且只是在大约20年前才被工业界普遍使用的勘查方法来说,这是一个满不错的记录。

要对地球化学勘查的预期进展和新途径作系统评述，似乎最好是按照对地球五个圈的物质取样为基础发展起来的不同方法来探讨这个问题，这就是：岩石圈——岩石化学（基岩）法；土壤圈——土壤化学法，包括依据土壤、冰碛物和其他表层物质的方法；水圈——水化学法，包括依据层间水、潜水、地表水、泉水沉淀物和水系沉积物的方法；气圈——气体化学法或天然气法；生物圈——依据活有机体及其与之相当的残体的生物地球化学法。对于较为总体性的课题，诸如区域测量、模式识别、模型建立、勘查战略、同位素测量、分析技术的改进等，其预期进展和新途径在本文最后一节中作简要讨论。

本文所涉及的完全是固体矿床，没打算讨论为寻找油气矿产而研制的地球化学方法。这个课题很大又很复杂，它所需要的篇幅超过了本文容量。然而应该指出的是，寻找油气田的方法与寻找固体矿床的方法基本上是类似的，只不过它的靶区（即石油和天然气储）较大，如果石油地质学家仅仅使用现已拥有的技术，也应该能容易得多地把它们圈定出来。在前面提到的那篇论文中，我曾就油气普查问题作过如下陈述，我觉得它仍然适用：“关于烃类富集体问题，可以不加夸张地说，我们对于和油气储伴生的岩石晕和潜水（层间水）晕的性质、形态和地球化学了解得还很不确切，鉴于过去75年中已为石油和天然气打了数目庞大的钻井，这种状况是很不应该的。只有我们了解了与油气田伴生的元素晕、盐晕和烃类晕的确切特征之后，才能够使用化探去发现油气田。笔者预料，当我们认真地开始使用化探去勘查石油和天然气时，我们在全世界发现的油气藏的数量将会象目前已知的一样多。笔者在1960年的一次谈话中曾对固体矿床的前景作过类似的预言，这个预言正在迅速地被证明是正确的。”

岩石化学法

这类地球化学勘查方法的依据是岩石的分析结果、岩石和原生晕中的特定单矿物，以及渗滤晕。这些方法既可用于区域性（踏勘）工作，也可用于局部的详细工作。这种类型区域性工作的目的是圈出地球化学省，即岩石中一些特定元素的含量高于正常值的地区。设计这种类型工作的总想法是，在这些地球化学省中，在习惯上被称为成矿省的带内可能会有特定元素的富集。局部性详细工作的目的是圈定大多数类型的矿床都会伴生的原生地球化学晕。

在广阔地域内进行的岩石分析测量能否有效地圈出地球化学省，看来要取决于多种因素，特别是基岩露头的多寡和测区的矿床类型。要想奏效，岩石类型必须能清晰地区分出来，并且必须准备出每种岩石类型的地球化学图。

一些涉及广阔地域的大比例尺岩石化学测量已在很少几个国家进行过。这些测量说明，是可以把有重要普查意义的地球化学省圈定出来的。例如，一组花岗岩侵入体中的Sn含量超出了正常值，并伴生有Sn和W矿床。另一组花岗岩具有高于正常值的Mo和Cu含量，且伴生有Mo和Cu矿床。还有一套花岗岩和片麻岩岩群U含量偏高，并含有U很富的分凝体、伟晶岩体和其他地质体。同样地，Ni、Pt族金属和Cr含量高于平均值的一定基性侵入体，便可能伴生有Ni-Pt矿床和Cr矿床。这类关系还可扩展到一定的富Cu沉积物中去，例

如含铜页岩，赞比亚的铜页岩，美国密执安州的白松铜页岩。当然，Pb和Zn含量不正常的碳酸盐岩、页岩-砾石盆地和砂岩岩系，也可能含有这两种金属的矿床。地球化学省与伴生矿床的这种关系可能也可以推广到各种其他类型的岩石中去，例如含Cu的杏仁状玄武岩，含Au和含U的石英-卵石砾岩，含铀页岩和砂岩，等等。

对许多其他的金属和非金属来说，特别是对于Ag、Pb、Zn、Au、Cu和Ba等产在脉状和块状硫化物矿床中的元素来说，矿床中的金属类型和含量与包围矿床的母岩中的金属类型和含量的关系，起码说是不清楚的。据我的经验判断，在许多矿带的母岩中没有可说明在此带内存在有相应金属矿床的固定的元素模式。换句话说，围岩中的金属含量并不反映所存在的矿床类型，就是说，既会出现这样的情况：如果金属是从外部金属源导入位于观测面上的岩石中去的，本来在岩石中会产生高于正常值的金属含量，然而却没有出现；也会出现另一种情况：假如矿床中的金属是从母岩中分泌出来的，本来可以测得围岩中金属含量低于正常值的耗空现象，但是也没有出现。这是一种只能由今后的地球化学研究来揭示的奥秘。含有一定类型后生矿床的岩石中的金属含量，可能与地层中的金属含量只在数量多少上有微细差别，只有在对分析结果作精细的统计处理之后，这种差别才能显示出来。这种扑朔迷离的结果或许可能是由于只作一维（在地表上）取样而造成的。如果我们研究了三维模式，这种结果的意义很可能会更明确一些。顺便提一下，应当注意的是，许多产有后生矿床的岩区都含有黑色片岩或页岩带，而后者之中大部分亲铜元素是相当富的，用大范围的岩石化学测量能够很容易地把它们圈定出来。在这种环境下，另一些岩石，如酸性和基性火山岩、火成岩脉、石英岩和灰岩等，在许多实例中是含有裂隙，或在化学上对交代作用敏感的容矿岩石（母岩）。对这两种类型岩石（一种是矿石和脉石元素的来源，另一种是矿物沉淀的容矿岩石）分布情况的了解，在普查中，特别是在计划其他类型地球化学测量时，可能是有用的。

在圈定矿化带（和矿床）时，以渗滤晕取样为基础的区域性测量，与以泛泛的围岩取样为基础的区域性测量相比，看来前者要更有效一些。

渗滤晕可通过微量或少量的矿石和/或脉石元素（及指示元素）的存在显示出来，它们反应着矿化介质（气体、溶液、扩散流）沿多孔基岩或断裂、片理、角砾岩带、裂隙和糜棱岩带等构造迁移的通道。这样一些原生（内生）矿化介质在一些地方可以沉淀成矿体，在另外一些地方可以只沉淀成非工业矿化。第二种过程也可以生成渗滤晕，可作为例子的是，蜕变产物Rn和He由于其母体——下伏原生（或次生）矿床中的U和Th——的蜕变，会沿着晚期断裂和裂隙向上和向侧向逸漏出来。例如，Rn的逸漏便沿着断裂和裂隙留下放射性成因铅的痕迹，可以很容易地用同位素分析把它们追索出来。此外，另一些元素和矿物可以从流经矿床并沿渗透性构造垂向或侧向运移的晚期热液、变质水或地下水（它们可以是氧化的或还原的）中再沉淀出来。因此，渗滤晕可以广义地分成原生的和次生的两类。笔者在新近的论文（Boyle, 1982）中，曾描述和图解了多种常见的类型。渗滤晕可以有侧向的和垂向的分带，其分带型式与其伴生矿床的围矿晕类似，尤其是它们有着共同的元素分带，在从矿化主要聚集处向外的空间内，活动性越强的元素向前迁移得就越远。

在确定和圈定隐伏矿化时，渗滤晕是特别重要的。在区域性测量中，渗滤晕的组成部分，即断裂、裂隙、层理面、多孔基岩等，都应当在地表和钻孔中取样，其办法与在围矿晕上使用的类似。此外，渗滤晕的矿化现象，包括石英、玉髓、硫化物、碳酸盐、硫酸盐、氧

化物（褐铁矿）、碳氢化合物（碳铀钍矿）等等，也应该取样和分析。从渗滤晕中得到的不同类型样品的所有资料，都应该绘制成平面图和剖面图，以便进行二维和三维的研究和解释。在解释过程中，渗滤晕可以作为标量或向量来使用，以分析深部埋藏隐伏矿床的存在或接近它们的程度。在第一种情况下，渗滤晕的产出（例如一个小的含沥青铀矿裂隙面）可以简单地指示出可能有沥青铀矿矿化或矿体存在。在第二种情况下，渗滤晕的面状分布或三维分布，可以根据其金属或脉石元素含量的递增和/或减小，提供出一个指向矿化和矿体聚集部位的模式。

详细的局部岩石化学测量可以以渗滤晕或原生（和次生）围矿晕为依据进行。局部的渗滤晕测量可按上述办法进行，不过要细致得多。基于围矿晕的测量可以使用两种一般类型的采样介质：1）晕及其围岩的全岩碎块样品或岩心劈分样品；2）从一种样品中分离出的矿物样品（例如黄铁矿、毒砂、磁铁矿、方铅矿、褐铁矿，以及诸如碳铀钍矿、碳沥青、沥青和腐殖质等有机物质）。这两类样品的化学分析可以包括大量组分和/或少量及微量组分的总量测定，或者在一些情况下作部分含量测定。类似的分析方法包括以放射性为依据作Th、U及其蜕变产物的分析（测井），以及用紫外线灯照射岩石样品和岩心，作白钨矿等矿物的分析。

这类测量结果的解释，特别是要指出存在和接近矿化和矿体，应在很好确立的元素含量、简单的元素比值、累乘元素比值、线金属量数值等增大、减小或稳定的数学准则的基础上进行。画出这些数学量的二维和三维等值线，可得到最好的结果，特别是在预测可能会有矿体相对于矿上或矿下晕的位置时要这样做。

今后我们可能有希望看到，在大面积覆盖区动用钻探来得到更令人满意的样品覆盖面，因而也就得到更完整的元素分布模式的区域性岩石化学测量将受到更大的重视。我们也可以预见，涉及三维空间的区域性岩石化学测量的数量会增大，这种测量既可采用深钻孔进行，亦可利用山区高程的差别进行。这种类型的岩石化学测量将是很费钱的，需要密切而谨慎地与地质和地球物理测量一同进行。未来的隐伏矿床的详细普查无疑要利用原生（和次生）围矿晕和渗滤晕的结构和元素特征。我们可以盼望，以围矿晕和渗滤晕中元素浓度和元素比值（例如 K/Na ， F^{2+}/Fe^{3+} ）为依据的详细三维测量，会有一个大的增长。随着与所有类型矿床伴生的蚀变特点和元素分散得到详细研究，隐伏矿体向上续延（矿上晕）和向下延扩（矿下晕）的实质，将来无疑会搞得更加清楚。

土壤（覆盖层）化学法

土壤化学法的基础是对土壤、冰碛物、风化残积物，以及所有类型的其他覆盖物（例如风成沉积物和冲积物）的分析。这类方法可以在区域踏勘或详细的局部工作中使用。区域性测量的目的是圈出含有矿床的地带或矿带。一旦发现了成矿带或矿带，便要使用详细的方法，常常是与地质和地球物理工作配合起来精细地确定单个矿床的位置。

区域性测量和局部的详细测量，实际上在世界的所有地质区内，在各种各样的气候条件

下，都得到了广泛的应用。无论在全新的成矿带内，还是在许多年来已为人所知的矿带内，都划分出了大量含矿带，圈定了新的矿床。

覆盖层地球化学法的技术已为人们所熟知，在此只需稍作评介。取样可对任何一个土壤层进行，在进行覆盖层打钻的情况下，还可对任何深度上的覆盖物进行。化学分析可就整个土壤或覆盖物样品进行，也可同时或单独对分析出的特殊相进行，它们包括土壤和覆盖物的重（或轻）矿物组分，有机组分，或者易淋滤（结合力弱的）部分。

在许多国家，含有潜在矿体的成矿区内有大片面积被厚层地表沉积覆盖。在加拿大、挪威、瑞典、芬兰、苏联等国，这种沉积形成了各种各样的冰碛物；在澳大利亚和美国、墨西哥、中美洲、南美洲、亚洲和非洲的一些部分，地表沉积是红土；在不同的国家，地表沉积物是最新沉积物、火山碎屑沉积和其他类型的覆盖物（例如风积物和冲积物）。在许多国家，经过相当多的研究之后，现在已很清楚，在这种厚覆盖地区，可行的地球化学找矿手段是覆盖层的钻探和有利层位（通常是底部层位）取样物质的化学分析。在确定深埋于表层沉积之中或之下的分散扇、分散流和分散晕的特征（水成的和/或机械成因的）、形态和联系方面，已经作过一些研究。但是，在冰碛物、红土和火山碎屑沉积物覆盖区的元素机械和化学分散特征方面，还必须进行更多的研究，以便为解释在这类地区发现的分散模式提供充分的依据。

将来我们无疑会看到，在世界的所有成矿带内会更加重视覆盖层的钻探工作。我们也可以期望看到，有更多的测量立足于土壤和覆盖层剖面中特殊相的化学分析和矿物学分析，特别是重（在一些情况下是轻）矿物组分、与矿体相伴的蚀变物质和矿化物质碎屑、覆盖物中结合得不牢固的化学组分，以及有机（腐殖）组分的分析。土壤A（腐殖）层的利用将会在土壤测量中受到大得多的重视。在这方面应该强调的是，如果腐殖层发育得很好的话，它就代表着许多生物化学和地球化学事件的总和，这些事件导致了許多元素（例如Ag、Au、Cu、U、As、Sb）大量富集，特别是在脉型矿床和其他类型矿床附近富集。因而，腐殖层的样品与土壤或覆盖层其他层位的样品相比，对其总体环境有着大得多的代表性。

水 化 学 法

这些方法依据的是天然水及其沉淀物的分析，以及水系沉积物。这些方法特别用于踏勘测量，在世界的许多地区和各种各样的气候条件下，已被证实是圈定成矿带的无价之宝。特别是水系沉积物的分析在许多成矿带中导致了多种类型矿床的发现。水系沉积物法成本低廉，现已成为矿产勘查中的常规方法。

水化学方法的取样介质种类很多，可以包括：地下水、泉水和地表水，这些水生成的沉淀物（褐铁矿、锰土、石灰华、硅质泉华、腐殖质等等），溪流、河流、池塘、湖泊、海和洋的沉积物，这些沉积物的重矿物和轻矿物富集物，固相的水、雪和冰。

水的分析不如水系沉积物分析使用得那样广，主要是因为天然水往往表现出随季节、降雨和其他因素发生明显的涨落。另一个问题涉及，地下水和层间水测量所能获得取充分样品

的条件。然而,在许多国家扫过大片面积并涉及几个岩区的踏勘测量表明,水化学测量在圈定矿化带方面的效果,几乎和水系沉积物测量一样好。随着水样中多种元素分析的原子吸收和其他方法(例如感应耦合等离子法)的改进,以及采集和运送地表水样方式的改善,我们应该预期这种介质在地球化学测量中会得到比过去广泛得多的应用。当这些改进完成之后,看来许多较活动的阳离子(元素)(Zn 、 Cu 、 Au 、 U 、 H^+ 等)和阴离子(F^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等)在测量中的应用范围将会扩展。

覆盖层和基岩中地下水系统的测量尚未有任何程度的应用,主要是因为一般要按网格系统打总数相当大的钻孔。然而,正如许多研究者指出的那样,这类方法在寻找深埋矿床方面有很大前途,因为覆盖层和基岩中的水晕通常是这些矿床的反映。我们需要就这些方法进行更多的研究,特别是采样技术和查明地下深处水流方向方法的研究。地球化学家们目前正在着手这些课题的研究,我们可以指望在不久的将来能在可靠的基础上进行地下水和地表水的测量。

泉口和水系沉积物中的石块和其他物质上的天然沉淀物,提供了极好的分析介质,因为它们总会反映出那些在一个地质区内富集的元素。笔者所熟知或亲自进行过的测量表明,毫无疑问,天然的泉水沉淀物和其他沉淀物可反映出一个地质区内一些特殊矿床的存在。现在已经有一些清晰地划分出 Au 、 Ag 、 Co 、 Ni 、 Cu 、 Mn 、 Fe 、 Pb 、 Zn 、 Ba 和 U 矿床的实例。指示作用最佳的沉淀物是含有锰的沉淀物,因为它对阳离子有很高的吸附能力,而褐铁矿、碳酸盐、氧化硅和有机质(腐殖质)沉淀物,同样也有颇大的价值。今后,化探工作者应当对所有类型的天然沉淀物都给予特别的注意,无论是现今的沉淀物还是古沉淀物,不论在何处发现了它们,都应作分析。把这些分析结果填绘到一个地区的水系图上或地下水系图上,它们往往会清晰地展示出矿带或矿化地带,可供在其范围内用其他地球化学测量进一步确定矿体位置。

许多年来,已经在研究的基础上进行过天然水中 Eh - pH 的测量,但是这些资料尚未广泛用于地球化学普查。 pH 的测量看来最适用于地球化学工作,在适当的条件下,即在有诸如灰岩等中性岩石存在的地方, pH 值应该能反映出硫化物矿床的酸性氧化带;同样,碱性水可以指示出碳酸盐矿床和含铀矿床的存在,因为它们含有相对较高的重碳酸盐成分。试图使用 Eh 和 pH 测定方法的问题在于,影响它们的因素太多,若不进行大量的研究工作一般是搞不清楚的。然而我们仍可以期望,在以后的年代里,地球化学家们将有魄力致力于这一问题的解决,搞清许多未知的因素。

成晕的阴离子,尤其是 F^- 、 Cl^- 、 I^- 和碳酸根,与许多类型的矿床,特别是富含 Sn 、 W 、 U 、 Th 、 Au 、 Ag 和贱金属的矿床,有着明显的伴生关系。这些阴离子在近些年来的水化学测量中相当受重视,已证明无论作为探途元素,还是在测量工作的解释阶段,它们都是最有价值的。因为这些成晕元素和碳酸盐在矿化过程中几乎是普遍存在的,我们有望看到今后人们会更加重视它们。

天然水中的硫酸根、砷和其他类似的阴离子组分,近些年来也受到人们注意,不过总的说来,无论是以单组分浓度为基础的结果,还是两个或多个组分比值的结果,其相关性对于化探来说都是令人失望的。然而,看来作进一步的研究还是值得的,特别是对水的硫酸根含量作研究,因为氧化带中的硫化物矿床会给地下水和地表水提供巨大数量的硫酸根。

水系沉积物在所有类型矿床的普查中已经被广泛而成功地采用。与化探有关的水系沉积物的大部分特点已得到了较好的了解，但我们可以期望，在获取特殊类型水系沉积物的代表性样品方面还会有改进；我们也可以期望，不同粒级的水系沉积物，特别是从中分离出来的相，尤其是易提取的组分、有机组分和重（和轻）矿物相，将会在测量中有更多的使用。海洋沉积物和河口沉积物测量也应该找到更大的用场，后者可用来圈定含有特殊类型矿床的汇水盆地，前者可用来圈定含锰结核的产地、海洋砂矿（Sn、Pt、Au）、贱金属和贵金属硫化物沉积（“黑烟区”、海下热液泉口）等等。

固相的水，即冰和雪，在地球化学普查测量中尚未找到广泛的应用。在一些已知矿床上沿剖面进行过一些研究，用雪作为采样介质，其结果好像是有希望的；冰几乎未被人注意。然而我们可以期望，在纬度偏北和偏南的地区，冻结的泉、溪和湖上的冰中的金属含量，将来会得到进一步的研究，可能会提供出有意义的结果。

生物地球化学法

为有效地使用这些方法，采用了多种依据。一种方法用植物和动物中的微量元素含量来圈定土壤、覆盖层和水体中的次生分散晕。另一种方法利用土壤或天然水中微量元素的超丰度含量造成的毒害或中毒效应，它在植被和动物身上引起看见的生态反映，或抑制或阻止不同种类植物和动物的生长。还有另一种方法利用的是这样一个事实，一定的植物（和动物）作为指示植物（动物），生长在诸如Zn、Cu、Se等微量元素存在超丰度含量的地方。还有一些生物地球化学方法依据的是下述事实，即细菌和其他有机体，在岩石、铁帽、土壤或覆盖层中有正在氧化的硫化物、烃类和其他物质富集的地方，会极其旺盛地生长。最后，一些特殊的地球化学技术，使用的是对植物和动物的石化残体或派生物的分析，主要是对泥炭、褐煤、煤及聚合烃类的分析。

以植被中微量元素含量为依据的生物地球化学方法，在地球化学普查中已受到注意，但还没有发挥出它们的潜力。其原因可能在于，土壤和水系沉积物方法已经非常有效，以至于使人们几乎无心去尝试其他方法了。植物分析将被证明是未来化探中更为重要的方法，这一点已被新近发表的许多论著充分说明，在这些论著中，这类方法在含有Au、Ag、Cu、Zn和U矿床的矿带中已得到应用。与土壤和放射性测量相比，以植物分析为依据的生物地球化学方法的有效性、优缺点有着颇大的争议，问题主要在于成本和结果的解释。关于结果解释，样品中的元素从其源地（矿床或矿化）被两次搬运这一事实，的确给解释造成一定困难；就成本来说，生物地球化学测量也比土壤和水系沉积物测量高，因为在分析之前样品通常需要灰化。这些缺点可以由其主要优点来平衡掉，就是植物有非凡的深穿透能力，一些种类植物的根伸到了潜水面和/或矿化，达20米或更深，在炎热干旱地区和半沙漠地区尤其如此。例如，在科罗拉多高原的一个铀矿山上，曾有桧属植物的根深达地表下60米的记载；在加拿大和其他地方，在覆盖着不同类型矿床的冰碛物、砾石层和粘土中，常常观察到桧木、槭树、桧树和柳树的根深达地表下10米和更深。最后，也许除了炎热和寒冷沙漠中最荒凉的地方之

外,就气候和地区而言,植物分析方法的应用是不受什么约制的。

地植物和地动物测量包括:对那些生长在一些特定元素发生矿化的地带和地区的特征(背景)动植物的识别和填图;对特定元素矿化带或矿化区内特有的指示植物的识别和填图;对因为存在着特定元素特别丰富的地带和地区,植被和动物群发生的形态和生态变化进行识别和填图。这些测量可以通过肉眼观察,在航空照片上标记颜色或色调的变化,研究在飞机或卫星上用3800—9000Å波段拍摄的多波段照片来进行。在美国(科罗拉多高原和其他地方)、苏联(哈萨克共和国和其他地方)、德国、赞比亚、纳米比亚和波茨瓦纳,已经完成了许多项应用这些不同的技术圈定U、Au和贱金属矿产地的地植物测量,它们几乎全部是以陆上植物为依据的。这些测量取得了显著的成绩,这说明,这类方法尚有潜力可挖,我们可以预计,用以找矿的地植物测量将来会有更多的应用。迄今为此,在地球化学普查中几乎没有地动物测量的报导,它的有效性和潜力尚不明了。

利用水生动植物分析结果的踏勘测量和详细测量,只作为研究论文报导过。就笔者所见,似乎还没人在任何一种规模上使用水生生物的地植物和地动物测量技术来找矿。水生植物群和动物群提供了一种极好的采样介质,因为有限的研究表明,这类植物和动物(例如软体动物)有吸收水系中各种超量金属的趋势,由于水系临近矿化,其中的金属含量是异常的。我们可以期望,在最近的将来,在这个领域内会有更多的工作。

一些苔藓和地衣是我们已经知道的许多矿石和脉石元素的聚集者。很少几项依据这些有机物的测量只是在文献中谈到,它们基本上是研究性的。在今后的年代里,利用苔藓和地衣的工作在生物地球化学测量中可能会更多一些。

最近有人指出,在生物地球化学测量中,有两种极好的可供分析的样品介质——树液和花粉。根据苏联地球化学工作者的意见,树液看来是有前途的;H.V.沃伦博士目前正在对花粉作研究,他用蜜蜂来采集花粉。他报导了一些有意义的结果。经常提到的其他分析介质有种子、树脂、蜂蜜和酒。在今后的勘查中,地球化学家们将会有兴趣地注视那些利用这些特殊采样介质的生物地球化学测量结果。

抱有用微体植物和动物找矿的明确目的,对岩石、土壤和天然水所作的微生物研究只有有限地进行过。然而我们知道,根据细菌学家进行的各种研究,在硫化物、砷化物、锑化物等正在氧化并生成丰富的硫酸盐、砷酸盐等的地方,一些特殊种类的细菌生长得很旺盛,看来这一事实可被用来寻找贱金属、贵金属、U和其他类型的矿床。对矿床附近的水、土壤和岩石中喜硫菌和其他类型细菌总量的研究,配合以水化学、土壤化学、岩石化学及同位素研究,可能会给未来的普查提供有益的帮助。

在原生的贱金属、贵金属、U和其他类型矿床附近,一些有机沉积物,诸如沼泽(主要是低酸沼型的沼泽)、厚苔沼、湿地、充填了腐殖土的低渗温凹地,以及其它临近水盆地的湿地区,一般都富含许多矿石和脉石元素。此外,这些富含矿物质的有机物和粘土沉积体,通常也富集许多与这些类型矿床有关的指示元素。文献中曾介绍过许多这种富有机物沉积体的实例,它们都含有异常数量的成矿元素和指示元素。据此,笔者愿意提请人们在矿化区内更多地使用沼泽(厚苔沼)和湿地作为采样对象,特别是在冰冻地区。冰冻区的许多沼泽代表着古湖泊,在最后一次冰川作用之后,在很长一段时间内它们已被有机软泥和泥炭填满。在一个区域性的盆地内,沼泽取样,特别是它的低层位取样,可以是一种圈定被冰碛物严重

覆盖的成矿带和矿带的有效方法，而其他化探方法在此一般是无能为力的。

砂岩-砾岩-页岩区的贱金属、贵金属(Ag)、U和其他类型的矿化，通常可依据含有分散的煤炭碎片的样品、钙化植物残体样品、薄层木质素和煤炭夹层样品，通过高于正常量的成矿元素及其探途元素(指示元素)指示出来。沥青和各种因态碳氢化合物，特别是碳沥青、碳铀钍矿和腐植酸盐的分析，也可以指示出所有地质区内的不同类型矿化。应该经常考虑到下述情况，在最大的已知含金矿床(维特瓦特斯兰德石英卵石砾岩)中，Au(和U)不是含在碳铀钍矿(碳沥青)中、就是与它们密切伴生，砂岩中的许多U-V-Cu-Ag-Se矿带和Pb-Zn-Ag矿带，都有(沥青质或腐殖质)有机物伴生。在火成岩和变质岩区，碳沥青、碳质铀矿、腐植酸盐等富含Cu、Zn、Pb、Ag、Ba、Th、U、稀土及其他指示元素的物质，聚集在断裂、裂隙、活化带和其他构造不连续面内，常常标志着贱金属、贵金属、U和其他类型矿床的存在。

在结束这一节时，我想我们可以得出结论，生物地球化学方法在将来的测量中会给我们提供很多东西。在今后的年代里，我们可以期望大比例尺生物地球化学测量的使用情况，将会与现在使用的水系沉积物、土壤和岩石测量类似。

气体化学测量

气体化学测量的基础是对与矿床伴生的气体和强活动元素(例如汞)作分析。各种相态的水一般不包括在内。这些气体形成活动型(渗逸型)和稳定型气晕。前者的例子包括：由硫化物和砷化物氧化而产生的 SO_2 、 H_2S 和 AsH_3 等气体，从矿床中渗逸出来的Hg等强活动性元素，从U和Th矿床中逸散出来的Rn、He和其他气体蜕变产物。稳定型气晕与过去在岩石中发生的矿化作用、成岩作用和变质作用有关。这些气体被禁锢在脉体和围岩矿物的包裹体中、矿物颗粒的边界处，以及脉体和围岩中的小裂缝、裂隙和其他不连续结构中。在稳定晕中见到的气体和挥发性化合物很多也很多样，包括 H_2S 、 CO_2 、 N_2 、 CH_4 、He和其他惰性气体。

依据Rn、He和其他蜕变产物的气体化学测量，在Th和U矿产的普查中取得了很大成功。依据Hg的测量若使用恰当，并结合地质及这种活动性元素的迁移特性来解释测量结果，也可在勘查中取得成功。利用 SO_2 、 H_2S 、 AsH_3 等的测量也作过少数尝试，目前对其有效性尚未作出评价。依据稳定晕，主要是利用液态包裹体的测量，在加拿大和苏联已经作过一些，证明在含有丰富的石英、碳酸盐、闪锌矿、重晶石等的含金矿床、含锡矿床、伟晶岩矿床和其他类型矿床的详细勘查中，该方法是有前途的。

气体化学测量在今后的矿产勘查中有很远前景。我们可以期望，依据Rn以及Th、U和其他放射性元素蜕变产物的测量，会在Au和Ag矿床、各种多金属矿床、伟晶岩矿床、碳酸岩矿床等的普查中大大推广，因为所有这些矿床都含有高于正常含量的U、Th、 ^{40}K 等。我们还可以期望，对与矿体氧化有关的和分许多类型矿床形成时禁锢起来的气体(在液态包裹体中)伴生的逸散气体，会进行更多的工作。

与气体化学测量中使用的方法有些相似的技术是以微尘为依据的方法，巴林杰公司 对这种技术从原理上已进行过大量研究。采样介质包括大气微尘和由植被散发出来的微尘。这种技术对不同的地球化学和地球物理方法是一个补充，可以指望它会进一步完善并在将来使用。

碎屑和轻重（耐磨）矿物测量

碎屑和耐磨（重和轻）矿物测量在普查中已长期采用，过去已导致了 Au、Sn、W、Pt、Pb-Zn-Ag 及其他类型矿床的发现。碎屑（碎矿块和漂砾）追索法和覆盖层及水系沉积物的耐磨矿物测量，已为人们所熟知，无需在此详加论述。

在碎屑法中通常是用肉眼鉴定，不过应该指出，对碎屑（碎矿块）进行详细矿物学、化学、光谱或放射性分析的普查技术，往往具有更大的价值，特别在 Au、贱金属和 Th、U 矿床的普查中是如此。重矿物富集物通常通过淘洗、跳汰和摇震得到；轻矿物一般用重液或漂浮法来富集。经过富集以后，重和/或轻矿物就可进行多种鉴定和分析，包括矿物学鉴定、X 光鉴定、磁选、光谱分析、放射性测定或化学分析。将各种碎屑和矿物的出现频数和/或碎屑（石英、硫化物、铁帽等）或富集物中特殊元素和指示元素的含量填绘出来进行解释，就可说明地质环境，包括矿物的可能来源（基岩或矿床）、风化型式等等。

将来，耐磨（轻和重）矿物测量无疑会受到更大注意。根据这种方法过去的显著成就，根据我们现已知道的一个事实——水系中元素分散流的碎屑搬运成因和水成作用成因一样重要，是可以作出这种预测的。重矿物测量传统地被用于圈定富含表生循环中弱活动性金属的地区。然而，许多研究工作说明，分析重矿物富集物中化学活动性较高的元素，可以圈定出成矿带。因此，对从水系中采得的重和轻矿物富集物作地球化学和矿物学分析，可以补充常规的水系沉积物测量，提供有助于解释沉积物资料的补充信息。此外，深成和表生矿物的碎屑分散流可能会比水成分散流更广泛，特别在碳酸盐岩地区更是如此，因为在这些地方，许多元素的化学活动性由于 pH 较高或其他因素可能会受到限制。

我们也可以预见，矿产勘查中的碎屑测量，特别是使用漂砾、石块和其他碎屑的元素分析的测量的应用会增加。为了找到这些漂砾和石块，人类最好的朋友——狗，可能会提供很好的帮助。

同 位 素 法

对矿床中多种元素同位素分布的研究，约在三十年前才真正开始，所得到的结果几乎还没有在地球化学普查中应用。有一些论文提出在地球化学普查中使用同位素，但使用这种技术取得实效的例案为数很少。最适用于普查目的的同位素看来是 S、Pb、U、Li、C、B 和 H，不过许多其他同位素最终也可供使用。同位素是一个大课题，但是只能给出很少几个可

能在普查中应用的简单例子。覆盖层和水系沉积物中黄铁矿和方铅矿等重矿物里高含量的放射性铅同位素，可以指示出U和/或Th矿床的存在；天然水中表现为 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 丰度比值偏高的 ^{234}U 超高含量，在与因铀矿物在地层中浸染而造成的背景丰度作对比之后，可以反映出铀矿物富集体的存在。与Au和硫化物矿床伴生的变质带和蚀变晕中S同位素比值的系统变化，可以指示出对矿体的接近。与此类似，岩石和层间水中B、Li和H同位素比值的系统变化，可以指示伟晶岩及与多种矿床伴生的变质带的存在。

将来无疑会看到同位素方法在地球化学勘查中会得到更广泛的应用，特别是因为目前已经对同位素分析技术进行了很好的研究，同位素分析现在已比过去便宜多了。

总体性课题

勘查地球化学中的许多总体性课题似乎将来肯定要注意。它们包括：大面积的区域地球化学测量，地热研究，指示（探途）元素，模式分析，未来的分析研究，组合性的勘查计划，以及地球化学勘查的研究和教育。

我们可以期望在最近的将来，世界大多数国家将会倡导按国家统一的网格，依据岩石圈（岩石）、土壤圈（土壤）、水圈（水、水系沉积物）、生物圈（植被、沼泽等）物质对周期表中主要元素所作的分析结果，出版标准的区域地球化学图。5平方公里1个样的密度看来是可取的；在成矿带中，宜用较高的密度（每平方公里1个样）。对大部分国家来说，这样的一项计划可能需要作一个世纪或更长时间的集中努力。这类图件将为矿产勘查和许多涉及林业、渔业、农业、休养等的环境研究提供极有价值的资料。在这种类型的地球化学填图中，我们可以预料从飞机和卫星上取得的放射性资料和波谱资料会有颇大的用途。海洋及其底部将来无疑也要作地球化学填图，既可由各国分别进行，也可由国际机构来进行。有一些因素刺激人们对海洋进行工作，特别是对Mn（Ni、Co）结核沉积、海洋砂矿（Au、Sn等）、与洋下构造有关的火山（热水）喷口附近贱金属和贵金属沉积的划界问题。

随着对能源需要的增长，我们可以预料，将地球化学用于圈定地球上现存的地热带，以便利用地热能源的研究会增加。在新西兰的北岛和意大利的arderello河谷，已经进行过许多这种研究工作，那里的许多电站是用热水（蒸气）发电的。这些国家和其他国家的工作业已表明，地热区可被泉水、地下水、以及伴生的泉华和其他沉淀物中Hg、As、Sb、Tl、Te、Se、Au、B和Si等元素的偏高含量指示出来。此外，还有一个重要的依据，地热带可通过包括Na、K和Rb在内的碱性元素含量的增大，以及水中Na/K比值和其他比值的增大而指示出来。

矿化剂和指示元素在矿床形成中是一些重要的因素。许多年来，经济地质学家们一直在讨论各种各样的矿化剂，包括B、CO₂、S、Se、F、Cl、Br和I等元素和化合物，它们提供了配合基，使元素在后生和同生作用过程中都能通畅地搬运。有几种这样的元素和化合物实际上在所有类型的矿床中都存在，但我们还没有利用它们使之在地球化学普查方法中充分发挥其优越性。有两种元素，B和F，实际上是所有类型后生矿床的通用指示元素；在有些矿床中，它们之中的一个存在另一个不存在，而在许多矿床中两者是同时存在的。我想我们