

金属矿床
地球化学探矿
论文集

第三辑

中国工业出版社

前 言

自从本論文集第二輯（1959）出版之后，已过了四年，在近四一五年內国外地球化学探矿工作总的情况是：生产工作已达到很大的規模，研究工作也在大力加强，地球化学探矿的理論与工作方法体系正在逐渐建立与完善，它已开始从一种找矿的技术逐渐发展成一个独立的科学分支。

地球化学探矿工作在国内有了进一步的进展。国内的地球化学探矿生产工作也已达到了一定規模，研究工作正在逐步加强。在此情况下介紹一些国外近几年来在这方面的新成就与新动向，将会对促进国内研究工作的发展，提高生产工作的地质效果和經濟效果起一定的作用。

在論文集中主要选譯了以下几方面的文章：

1. 对地球化学探矿工作的进展具有启发性或指导意义的綜合性論著。
2. 地球化学探矿方法領域內近年来在理論、方法与技术上的新成就。
3. 地球化学探矿方法的某些新的应用。

論文集共分为五个部分。

1. **一般性問題** 这里选譯了霍克斯、薩烏柯夫、沙特罗夫的綜合性著作，这些文章对今后化探的生产工作与理論研究的发展提出了不少启发性的看法。別列尔曼的一文討論到景观分区問題，这是合理地运用地球化学探矿工作的重要前提。巴拉諾夫等的文章对內生硼酸盐矿床形成条件的基本地球化学特点及物化探方法的应用作了詳細的綜合介紹。

2. **地球化学岩石測量** 薩弗罗諾夫的“原生暈的理論問題”一文指出了原生暈理論研究中的重大問題，以及解决这些問題的途径。穆

卡諾夫与罗斯曼的一文是他們在近六年內所获得的大量有关多金属矿床原生晕实际資料的总结。謝尔宾等的文章为稀有元素矿床原生晕方面有代表性的著作。华崙等的两篇文章探討了岩石与矿物中的区域性原生异常，这是地球化学岩石測量方法在普查找矿的应用中值得注意的新方向。

3. 地球化学土壤測量 这里选譯的查列格拉茨基的文章系統总结了哈薩克斯坦金属量測量几年来的工作成果以及今后工作方向，而哈薩克斯坦是国外地球化学探矿工作規模最大，且最卓有成效的地方。第勃南等的文章則介紹了在贊比亚共和国等地利用地球化学土壤測量及水系測量找鉍的經驗。多勃罗沃利斯基的文章詳細研究不同气候、地理条件下，元素在表生作用中的富集形式与富集条件，从而对采样对象与工作方法得出一些很有意义的結論。斯潘杰拉什維利等介紹了掩盖地区用化探等方法找磷的經驗。霍克斯与薩尔蒙的文章研究了在沼泽地区中富含有机质的土壤、泥炭以及苔藓对元素的富集作用，并对在該类地区进行化探工作的采样問題和工作方法作出了很有参考价值的結論。

4. 地球化学水系測量 这里选譯的三篇有关分散流的文章代表着目前研究水系沉积物的一些新动向。索洛夫夫等的文章对于根据分散流中金属含量定量評價含矿远景作了有意义的探索性工作。瓦特等及戈維特的两篇文章分別对鉍及銅在水系沉积物中的存在形式，及其在解释推断上的意义作了研究。

5. 分析与数据处理問題 坦能与怀特的文章涉及了用統計学方法研究背景与异常的問題。霍夫，洛佛林等的文章則是用統計学方法研究比較化探野外分析方法的首次嘗試。

光譜分析技术方面：选譯了三篇具有参考意义的文章。魯沙諾夫等的文章介紹了撒样法光譜分析研究的新成果。謝尔盖耶夫等所提出的化学热处理濃縮微量元素方法是提高光譜分析灵敏度的一个重要途径。庫茲涅佐夫的文章提出了光譜分析摄譜自动化的設計方案。所选譯的三篇野外快速比色方法的論文的内容是目前比較适用与有代表性的分析方法。

1960及1962年苏联召开了两次全苏金属矿床地球化学探矿方法会议，在会议上宣读了许多研究报告，并讨论了地球化学探矿方法的现状与发展方向。这二次会议对地球化学探矿方法的发展有一定意义。在本书附录中刊登了这两次会议报导的译文，供我国工作者参考。

本论文集的选译工作还存在着不少缺点。例如对于伴生元素的指示作用，地球化学找矿实例，解释推断方面的新成就选译得不够，水化学方法与生物地球化学方法则没有涉及。这些缺陷我们将在今后设法以其它方式加以弥补。

目 录

前 言

一 般 問 題

- 地球化学探矿..... H. E. 霍克斯 (1)
- 化学元素的迁移——地球化学探矿方法
- 的理論基础..... A. A. 薩烏柯夫 (17)
- 地球化学普查方法..... Б. Б. 沙特罗夫 (27)
- 景观地球化学在矿产普查中的作用..... A. И. 彼列尔曼 (56)
- 普查与勘探矿时地球化学与地球物理方法
- 的应用(方法原理)..... В. И. 巴拉諾夫 В. Л. 巴尔苏科夫 (63)

地球化学岩石測量

- 原生分散量的理論問題..... Н. И. 薩弗罗諾夫 (73)
- 中哈薩克斯坦及金属阿尔泰某些多金属矿床及
- 铜矿床的原生分散量..... К. М. 穆卡諾夫 Г. И. 罗斯曼 (95)
- 作为隐伏矿体找矿标志的伟晶岩的稀有元素
- 原生分散量..... С. С. 謝尔宾 О. А. 奧謝特罗夫 (106)
- 以火成岩中易被提取的铜作为普查找矿
- 的标志..... H. V. 华倫 R. E. 德拉伐特 (120)
- 与矿床有关的鉀长石中的微跡鉛
- W. F. 斯勞森 M. P. 奈考斯基 (129)

地球化学土壤測量

- 哈薩克斯坦金属量測量的經驗..... B. A. 查列格拉茨基 (144)
- 罗得西亚和烏干达两地含綠柱石伟晶岩脉在土壤和

- 河底沉积物中的地球化学异常……A. H. 第勃南 J. S. 韦布 (162)
 表生作用的标型分带现象及其地球化学意义
 …………… B. B. 多勃罗沃利斯基 (181)
 紹里亞山区普查磷灰岩时应用岩石化学测量及
 放射性测量的經驗……Г. И. 斯潘杰拉什維利 Ф. И. 魯巴哈 (190)
 以有机土壤中的微跡元素作为銅矿的指示
 …………… H. E. 霍克斯 M. L. 薩尔蒙 (197)

地球化学水系測量

- 山区分散流金属量測量……A. И. 索洛夫夫 H. Я. 庫宁 (204)
 北罗得西亞含燒綠石碳酸岩中鉍的地球化学分散
 …………… J. T. 瓦茨 J. S. 吐姆斯 J. S. 韦布 (222)
 在北罗得西亞用地球化学方法普查銅……G. J. S. 戈維特 (243)

分析与数据处理問題

- 地球化学数据分布的研究……C. B. 坦能 M. L. 怀特 (258)
 应用于地球化学探矿的銅的分析方法的比較
 ……L. C. 霍夫 T. G. 洛佛林 H. W. 拉金 A. T. 梅耶斯 (269)
 粉末成分对撒样法光譜分析結果的影响
 …………… A. K. 魯沙諾夫 H. T. 巴托娃 (288)
 用化学热处理濃縮元素的方法提高岩石光譜分析
 的灵敏度……E. A. 謝尔盖耶夫等 (299)
 矿石光譜分析用的自动化裝置……Ю. И. 庫茲涅佐夫 (303)
 土壤及沉积物样品中鉍的野外測定
 …………… R. E. 史丹頓 A. J. 麥克唐納德 (308)
 应用于地球化学探矿的土壤中鉍的野外測定方法
 …………… E. C. 亨脫 R. E. 史丹頓 R. A. 韦尔斯 (315)
 土壤及沉积物样品中鉍的野外測定
 …………… R. E. 史丹頓 A. J. 麥克唐納德 (325)

附 录

論普查矿床的地球化学方法	(333)
全苏第二届金属矿床地球化学普查及勘探 方法會議	A. A. 薩烏科夫 (340)

一般問題

地球化学探矿*

H. E. 霍克斯

地球化学探矿可以定义为：对天然产物的一种或多种化学特征作系统的测量，根据测量结果来找矿。地球化学探矿的早期工作着重于分析土壤中的微迹成矿元素。近年来的进展则强调研究所有天然产物——包括岩石、土壤、地下水、地表水、植物、水系及湖底沉积物，甚至空气中的地球化学模式的重要性。所测量的元素绝大多数是具有工业意义的金属元素。

地球化学异常

地球化学探矿方法的发展导致一些在整个地球化学界感到生疏的术语与观念的提出。许多这些术语与观念都是环绕着地球化学异常这一概念而形成的，图1示地球化学异常的一例。地球化学异常是在某种天然产物中（例如土壤）具有高含量金属或其它特殊的化学征象的地段，它指示在其邻近有矿存在。

并非所有具有高含量金属的地段都有矿存在。在某些特殊条件下亦可借正常含量的物质为源造成某一元素的局部富集，从而形成一些异常。在这类没有经济价值的地球化学异常中，北极矮桦树中的异常是一突出的例证，在其树叶的灰份中通常含Zn达0.5%。这比绝大多数

* Hawkes, H.E., Geochemical prospecting, Researches in geochemistry, John Wiley & Sons, 1959, pp62—78.

种属植物直接生根于贱金属矿床上方富锌土壤中者含锌更高。矮桦树中锌的富集并非有经济意义的异常，因为它无助于找矿。在对地球化学探矿数据作解释推断时，重要的问题之一是区分没有经济意义的异常与能指示矿体存在的异常。

辨認异常的工作引出了一系列其它的概念。在辨認出一个具有特殊征象的地段之前，我們必須了解正常的情况应该如何。在地球化学探矿工作中，在某种物质中某一元素的正常浓度称为背景。这是地球化学家熟悉的一个概念，因为戈德施密特（Goldschmidt）給地球化学规定的第—项任务就是测定地壳中的平均組份。但对于探矿工作者来说，背景的概念并不单指某一个数值，它还表示一个含量范围，探矿者可以不必担心在此含量范围内有矿存在。地球化学背景在这方面有些类似在无綫电信号或者在电子放大器中的噪音。

背景上限 在研究地球化学野外测量的数据时，往往可能选定某一数值，低于此值的变动仅表示正常背景的起伏，高于此数值才談得上对探矿具有意义。此值可称为背景上限^①。在地球化学图上圈出一

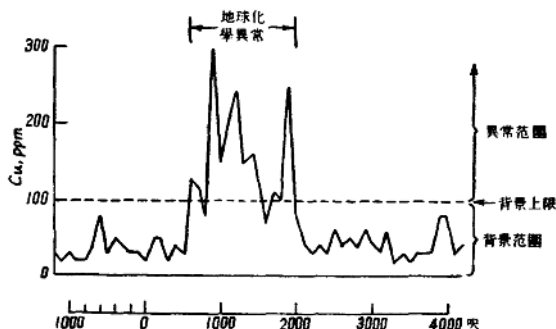


图 1 在爱达荷州布莱克伯德(Blackbird)地区的地球化学土壤异常，资料引自Canney, Hawkes及Vhay(1953)之图版20

① 原文为Threshold，亦可譯为异常下限——譯者注。

条背景上限等量綫对解释推断极有帮助，因为它可以指出值得作进一步勘探工作的地段。

对衬值 研究地球化学异常的对衬值或异常与背景数值的比值对于解释地球化学探矿数据极为有用。如果异常能清晰显现于正常背景的起伏之上，异常的对衬值必须超过 2 比 1。經驗証明，10 比 1 的对衬值很普遍，100 比 1 的对衬值亦偶可发现。多数地球化学异常具有很高的对衬值，因而在地球化学探矿工作中有可能使用精密度較差、从而也較經濟的采样方法与化学分析方法。

原生地球化学異常

地球化学异常可分为两类，按它們系在深部由造岩过程、变质过程或热液活动过程形成抑在地表由风化、搬运及沉积作用所形成而定。深成来源的异常称为**原生异常**，表生来源的异常称为**次生异常**。

原生异常又可进而按它們的規模与成因来分类。极大面积的具特殊化学征象的地区，例如在印度尼西亚及馬來亞富含錫的地区，称为**地球化学省** (geochemical provinces)。如果此面积限于矿区或矿床群存在的地区則称为**区域原生异常** (areal geochemical anomaly)，沿含矿溶液流經的通道沉积下来的物质所形成的地球化学模式称为**渗透晕** (leakage halos)。最后，最局部的原生地球化学异常乃是矿体围岩中金属的分散模式。这大約是在矿石沉积时，金属离子在岩石孔隙内的水溶液中扩散而形成的。

次生地球化学異常

次生异常可按含有异常的风化物质是否曾自源地搬出而分类，經过搬运者再按主要的搬运营力是冰还是水加以划分。硅及鋁这类元素，主要賦存于风化产物的不溶物质之中，它們从基岩的源地中移出极为緩慢，可以認為是相对的不活动元素，反之另一些元素，象鈉及氯，它們易溶于地下水及地表水中，則是活动元素。組成各种次生异常的物质的相对活动性可見表 1。一般說来，不活动元素系借机械营力分散，而活动元素則在地下水及地表水中呈浮悬物及水溶液移运。

次生地球化学异常中元素的相对活动性

表 1

次 生 地 球 化 学 异 常	异 常 中 元 素 的 相 对 活 动 性		
	低	中 等	高
无显著搬运			
淋滤露头	x		
铁帽	x		
残积土中的异常	x		
冰川搬运			
冰砾分散流	x		
细粒冰碛中的异常	y	x	
地下水搬运			
潜水异常			x
植物异常		x	
重迭晕		x	
地表水搬运			
水异常			x
水系沉积物异常		x	
重矿物模式	x		

按表 1 的分类, 在下文中将从形成异常的搬运营力的观点来探讨表中所列举的各种次生地球化学异常。

无显著搬运 残积的地球化学模式反映了矿床风化后残存的物质的分布。它们主要由一些能耐风化的原生矿物如石英, 以及难溶的次生产物如粘土矿物及氧化铁所组成。风化了的贱金属硫化物矿床的成矿金属含量一般要比由无矿的黄铁矿形成的淋滤露头及铁帽高得多。

在地球化学探矿工作中最常应用的是对残积土中金属含量的测定。对残积土的系統采样与分析最适合于在野外及实验室內的日常的大規模操作, 訓練較差的工作者亦能作出滿意結果。另外, 此法也比較可靠。迄今为止从未見到由富含金属的岩石生成的残积土中未发现异常的情况。所遇到失败的实例往往是由于土壤并非残积土, 或母岩中有局部地段并未矿化造成的。系統的分析土壤中金属的方法目前已与地质填图和地球物理方法并列成为普查勘探中的基本手段。例如在

罗得西亚“銅帶”地区，自1957年起，探矿公司每年大致要采集并分析一百万个样品。現在很难提出地球化学土壤测量究竟发现了多少矿，因为在配合得很好的普查勘探程序中此法往往与其它找矿方法綜合使用。至少在四个贱金属矿床的发现过程中，此法作了极大贡献，此四矿床目前都已投入生产。

冰川搬运 在瑞典与芬兰曾利用追踪含矿冰砾直至其源地的方法获得了大量重要的发现。近几年来用化学方法分析冰碛的細粒部分的方法已显示出有很大的前途，并已至少在一处找到了矿。在北美尚未广泛采用系統的在冰碛物中探矿的方法。

地下水搬运 分析地下水中可溶性矿石风化产物的方法与其它地球化学方法同样具有广闊的前途。在采矿坑道壁上的細縫中流下的水中的金属含量曾被利用作为上部岩石中可能有矿的指示。在水位較低、地形中等起伏的西部地区，側向移动的地下水很易在农場的井中采集，分析其中金属含量有可能发现自采样地点沿水位上坡处有金属矿床存在的指示。高水位地区泉水中的金属含量可作为有效的找矿标志。

植物可以富集許多溶于地下水及土壤水中的有毒的及无毒的元素。这些元素沉积于植物的活的組織之中，一般是在水份蒸发較快的部位如叶、苞、花、嫩枝及其它外部部位。分析植物外部部位，在有利的条件下可以找到埋藏相当深的矿体[17]。

可供植物利用的矿物养份亦可以控制植物种属的分布。某些植物仅生长于含高量硒的土壤中[6]。由于在科罗拉多高原的砂石內硒总是与鉍相伴生，因而这些所謂硒的“指示植物”就成为找矿的标志。另外还有一些植物是鈣、硫酸盐及其它元素或离子的指示植物。在北罗得西亚发现有一种植物仅生长于由銅矿石风化而成的富含銅的土壤中。此种植物現在已作为在“銅帶”地区的主要找矿标志，所有的勘探队人員都受过辨認此种植物的訓練。

富含金属的地下水在其滤过碎屑物质时，将沉积出一部分溶于其中的金属，或呈吸附的离子，或呈极易被弱的化学溶剂溶解的矿物存在。这类模式可称之为“重迭暈”(“superimposed halos”)，因为它们

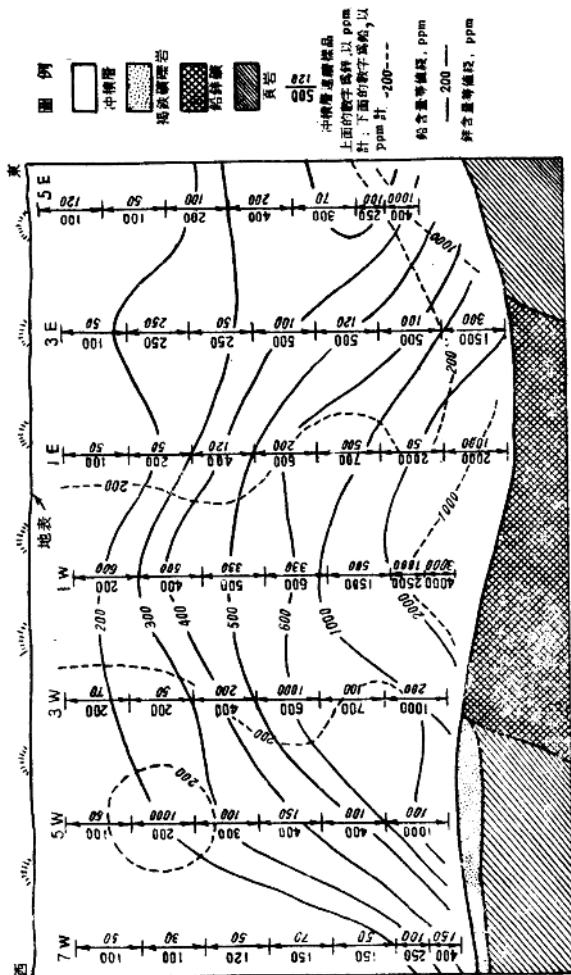


图 2 尼日利亚巴区阿梅里矿脉上面的
冲积层内铅和铜的分布，垂直剖面。
资料引自 Hawkes (1954)

是重迭于基质原有的分散模式之上的。重迭的地球化学模式的一个熟知的例子是沙漠地区钙积层的形成。此层中的碳酸钙与硫酸钙系由土壤水带来，并由水份蒸发而沉积形成。

已用化学分析方法发现上复于硫化物矿床的运积层中的金属模式。图2示尼日利亚一沼泽地区在缺氧环境下基岩中硫化物矿石上方冲积层中的锌与铅的分布模式。在此处可以大致准确地计算出此模式发育所需的时间，因为作为基质的冲积层肯定是在400年前第一次森林毁灭后灾变性侵蚀期间形成的。在基岩上方达60呎的冰碛中，以及在矿化基岩上方的泥炭沼泽中亦观察到类似的分散模式^[13]。很可能在运积层中的这类模式系由物质借在土壤水中的扩散或对流而向上移运所形成。

地表水搬运 所有的风化物质，包括固态及可溶性的，在达到沉积盆地内最终停留地点之前都是在地表水系中流过。分析地表水中各种组份，为普查找矿提供了一个极有效的方法。在理想的情况下，仅在水流中采集一个样品，往往就可以判断水系流经的地区内有无矿体存在的可能。

在广泛应用的地球化学方法当中，分析地表水流中微迹元素的方法是历史最悠久的方法之一。为使此法充分有效，分析天然水的探矿方法，或称之为“水地球化学方法”，应该主要研究那些比较活动的元素如锌^[11]及铀^[7]。遗憾的是，水流中许多金属的含量比较不稳定，往往随着下雨、日晒、一天和一年内的不同时间而发生难以预料的变化。因而发现天然水中微迹金属的测定结果重现性很差，测量所得的数据经常不易进行解释推断。

在水系沉积物中易溶性或吸附性的金属含量却能作为对于流水中一个相当长时期内金属含量平均值的较为可靠的量度^[10]。用一种冷的柠檬酸盐溶液自水系沉积物中萃取出的铜及锌，可以指示水中金属的平均含量，并可作为流域内矿床是否存在的指示。这一关系在实用上极有意义，因为采集并分析水系沉积物较为方便。以分析水系沉积物中易被萃取的金属为根据的这种探矿方法已经获得了很多重要的发现。

布萊克伯德“鈷區”——一個找礦實例

美國地質調查所在愛達荷州中部的布萊克伯德“鈷區”(Cobalt-district)所進行的工作，對於地球化學探礦測量的操作程序與可能獲得的成果提供了一個很好的實例。此地區開發的結果已經確定這是世界上著名的鈷礦區之一，而且也是目前美國最大的鈷礦區。早期地球化學工作結果總結於一個未正式刊印的美國地質調查所的“公開報告”中〔5〕。

布萊克伯德地區的地質學者魏(J. S. Whay)曾研究了多年。根據他的資料，此區岩石主要為石英-黑雲母片岩與細粒石英岩的互層，它們是前寒武紀耶羅杰特建造(Yellowjacket formation)的沉積岩經變質生成的。在地區的北部有一部分白堊紀愛達荷岩基及相關的副片麻岩產出。主要的鈷礦床位於向北延伸、東西兩側皆有斷層為界的構造斷塊中，斷塊主要為高度變形及片理化的岩石。

構造斷塊為一系列剪碎帶段切割，其中不少都已有黃銅礦、輝鈷礦、黃鐵礦及磁黃鐵礦的礦化。顯然，輝鈷礦系在黃銅礦之前沉積，因而在有些地點兩者並不同時存在。硫化礦物遭受風化程度很深。在輝鈷礦與黃銅礦或黃鐵礦相伴生之處，這些礦物在深部都已遭到風化破壞，但在它們單獨存在之處，在相當接近地表之處還得以保存。

地區的地形包括一個古老的、起伏平緩的侵蝕面，海拔7000至8000呎。地區遭到布萊克伯德河及其支流的切割，兩岸陡壁的坡度在 15° 到 35° 以上。雖然在此區未發現冰川作用遺跡，但在所有高地上都發現由於霜凍引起的地表物質的混合，此作用至少在兩個相隔甚遠的時期發生過。這一霜凍活動可能與北美其它地區更新世的冰川活動時期有關。遭混合的物質顯然來自當地的風化岩石，只有極少量的下坡潛動。因而從地球化學探礦的觀點看來，一個經霜凍混合的樣品，基本上等於一個風化基岩的樣品。

沿測綫每隔100呎采集土壤樣品(參見圖3)。使用了几種不同的測綫布置系統：(1)長方格子系統，方向 $N.60^{\circ}E$ ，亦即大致與礦化構造的走向成直角；(2)沿山脊布置的測綫，所采集的樣品基本上代

表原地的物质；(3)沿山脚布置的測綫，所采集的样品代表来自山坡上的物质。大多数样品系由两人組成的小組采得。在測量工作进行时，領头的人用罗盘保持方向，挖出采样小坑，并在树上用防风雨的蜡笔标出采样点号。后面的人在小坑內采集样品，并作記錄。两个人在一个工作日內在崎嶇不平、树木茂盛的地区可以完成5000呎的測量工作，而沿大道或开闊的山脊則可以完成 15 000呎。

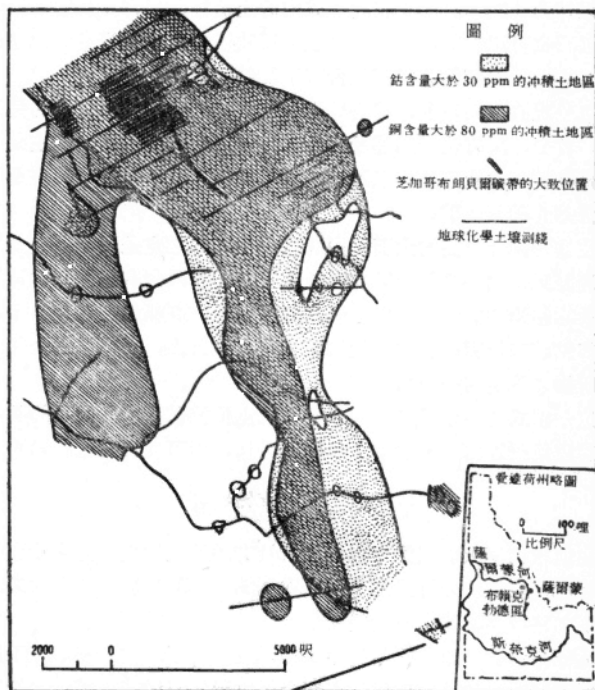


图 3 爱达荷州布莱克伯德“鉛区”地球化学土壤測量。
采自图版 1, Canney, Hawkes, Richmond 及 Vhay (1953)

實驗証明，样品采自 6 至 9 吋深处可以获得滿意的結果。将样品干燥后过 80 孔篩。化学分析使用斯提文斯和拉金^[15]、阿耳蒙德和布路姆^[2]以及阿耳蒙德^[1]的方法。

图 3 上总结了在布萊克伯德地区区域地球化学探矿工作的結果。土壤样品中的銅与鈷的分析数值利用相邻三个样品的移动平均值加以圓滑。将圓滑后的数值标于图上，发现圓滑后的异常下限为鈷 30ppm，銅 80ppm。在此异常下限等量綫以內土壤中鈷的平均含量为 100ppm，在綫以外为 20ppm。由于在此模式以內的土壤样品都并非从远地搬运来的，因而也可以設想，此一等量綫亦反映了未风化基岩中的地球化学特征，有很大体积的基岩可能含有銅及鈷的分散的矿化。

这一观点如果正确，将会导出一些具普遍意义的极有趣的关系与結論。首先，所有位于鈷等量綫为 30ppm 以內的鈷矿点，其主要矿物皆为輝鈷矿。在此等量綫以外的所有矿点除了两个而外，其主要矿物皆为含鈷的磷黃鉄矿。

在这一鈷含量高的大面积以內的另一个有趣之点是关于这个金属的絕對量問題。如果我們假設在此 3 平方哩面积以內含有超过正常背景的过剩量的鈷为 50ppm，則每呎厚度以內将引入 250 吨鈷。这相当于該地区全部鈷矿床每呎厚度以內儲量的数百倍。换言之，矿体仅占全部含矿溶液所携来物质的一个极小部分。

这一模式的实用意义是：如果布萊克伯德矿区未曾发现的話，在普查时应用土壤測量方法按 1 哩間距采样，即可发现此区的鈷矿。

地球化学探矿中的問題

在地球化学探矿工作中累积了大量有关地表物质中元素分布的資料。对这些資料的分析提出了一些在地球化学中具有广泛意义的問題。下文将扼要論述一下这些問題。

地球化学省 地球化学省中的化学成分与平均成分有显著不同。在普查矿产时，如果地球化学省同金属成因省或者某种矿床比較密集的地区相一致，則它就具有重要意义。已有文記述，在印度尼西亚及馬來亞的錫矿分布地区，一般的花崗岩中的含錫量比在該地区以外的