

地球物理和 地球化学找金属矿 地球化学部分

[加] 彼得·胡德 编辑



地 质 出 版 社

74.227

8604114

地球物理和地球化学 找金属矿

地球化学部分

[加]彼得·胡德 编辑

谢学锦 等译

谢学锦 李承耀 校

地质出版社

Geological Survey of Canada
Economic Geology Report 31
Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores
edited by Peter J. Hood
Proceedings of Exploration 77—an international Symposium
held in Ottawa, Canada in October 1977
Minister of Supply and Services Canada 1979

地球物理和地球化学找金属矿

地球化学部分

[加]彼得·胡德 编辑

谢学锦 等译

谢学锦 李承耀 校

*

责任编辑：唐静轩 沈文彬

地质出版社出版

(北京西四)

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：17¹/₂ 字数：413,000

1986年4月北京第一版·1986年4月北京第一次印刷

印数：1—1,847册 定价：4.15元

统一书号：13038·新210

内 容 提 要

本书为1977年10月在渥太华召开的金属矿地球物理和地球化学国际科学讨论会的论文汇编。原书由彼得·胡德博士编辑，共编入四十篇文章。由于篇幅较大，中译本将分三集出版，即地球物理部分、地球化学部分、史例部分。本集为地球化学部分，共14篇文章，内容包括：地球化学综观，论土壤在冰川地区地球化学勘查工作中的应用，在世界非冰川地区地球化学勘查土壤取样的应用，矿产勘查的岩石地球化学方法，大气尘埃地球化学在矿产勘查中的应用，寻找金属矿用的分析方法，植物学探矿方法的进展Ⅰ——地植物学方法的进展，植物学探矿方法的进展Ⅱ——生物地球化学探矿方法的进展、水系沉积物地球化学，湖积物地球化学在矿产勘查中的应用，应用水化学寻找贱金属，水地球化学在找轴方面的应用，利用计算技术对地球化学勘查数据进行编译程序、成图和推断解释，X射线衍射与地球化学技术在亚利桑那圣曼努埃尔地区的应用等，书中介绍的本学科的发展动态，许多思路和技术，对于我国化探人员会有启发和帮助。

目 录

1. 地球化学综观(3).....R.W.Boyle (1)
2. 论土壤在冰川地区地球化学勘查工作中的应用(13)
.....B.Bϕlviken C.F.Gleeson (10)
3. 在世界非冰川地区地球化学勘查土壤取样的应用(14)
.....P.M.D.Bradshaw I.Thomson (47)
4. 矿产勘查的岩石地球化学方法(15).....G.J.S.Govett Ian Nichol (61)
5. 大气尘埃地球化学在矿产勘查中的应用(16)..... A.R.Barringer (88)
6. 寻找金属矿用的分析方法(17)..... F.N.Ward W.F.Bondar (89)
7. 植物学探矿方法的进展 第I部分——地植物学方法的进展(18A)
..... H.L.Cannon(112)
8. 植物学探矿方法的进展 第II部分——生物地球化学探矿方法的进展(18B)
.....R.R.Brooks(125)
9. 水系沉积物地球化学(19)..... W.T.Meyer P.K.Theobald, Jr.H.Bloom(137)
10. 湖积物地球化学在矿产勘查中的应用(20)
.....W.B.Coker E.H.W.Hornbrook E.M.Cameron(163)
11. 应用水化学寻找贱金属(21A).....W.R.Miller(207)
12. 水地球化学在找铀方面的应用(21B).....W.Dyck(214)
13. 利用计算机技术对地球化学勘查数据进行编译程序、成图和推断解释(24)
..... R.J.Howarth L.Martin(232)
14. X-射线衍射与地球化学技术在亚利桑那圣曼努埃尔地区的应用(36)
..... D.M.Hausen(263)

• 括号中的数字为原书论文编号

地球化学综观

R. W. Boyle

摘 要

回顾过去，由于周期表中大多数元素的快速准确的测定分析方法的发展，导致了地球化学探矿近四十年来有了重大进展。这使得对大多数矿床和碳氢化物聚集都伴有的原生分散晕与次生分散晕的性质的解释更容易了。这方面知识的应用促成了许多大型矿床的发现。

展望未来，地球化学探矿肯定会为寻找矿床与碳氢化物聚集提供一个有效而经济的方法。今后的研究将集中于发现深部盲矿床的技术以及与诸如重矿物测量、矿化的专属元素标志与专属矿物标志、同位素的应用、数学解释方法，和控制元素在内生、外生环境中迁移的基本因素等方面。

引 言

简单地说：“地球化学探矿”就是将地球化学与生物地球化学的原理和数据应用于寻找包括石油和天然气在内的工业矿床。本文通过对近年来所取得进展的总结，将对某些一般概念作一评述，并最后提出一些对今后的想法作为全文的结束。

地球化学探矿中所使用的技术有些在寻找矿床方面已经使用了几个世纪。这使我们回想起古希腊与古罗马文章中关于在一个区域内的水系中用淘洗方法寻找金矿的论述，关于Georgius Agricola在De re metallica一文中对寻找金属矿脉的最好方法的详细报导，即用分析泉水和观察由于金属矿床存在而使植物遭受的毒害来寻找金属矿脉。我们也记起第一位成功的地球化学找矿家，Giovanni de Castro，十五世纪中叶的一位热那亚绅士。根据记载，他曾受雇于叙利亚Edessa附近的明矾矿制取明矾。他在那里看到了一种专门生长在矿脉附近的特殊类型的冬青属植物。他回到意大利以后，在罗马附近的Tolfa山上发现也生长有同样的植物。他在该地进行探查，很快发现了明矾石转石，随后找到了矿脉。于是在Tolfa形成了一个重要的明矾工业，为了表彰他的功绩，教皇Pope Pius二世授与Castro终生年金并建立了他的塑像以资纪念。

在本世纪，地球化学找矿方法主要起源于苏联和斯堪的纳维亚各国，他们在三十年代后期在方法上进行了许多探索。第二次世界大战以后，许多方法被介绍到美国、加拿大、英国，及其它国家，这些国家的矿业公司与政府机构将这些方法后来广泛地用于矿产与石油的勘查工作中。

回 顾 与 展 望

地球被分成五个不同的圈——岩石圈、土壤圈、水圈，大气圈及生物圈。各圈中的各

种物质为寻找矿床、煤炭，石油，与天然气的地球化学测量提供了取样介质。因此地球化学测量通常分成岩石地球化学，土壤地球化学，水地球化学，气体地球化学及生物地球化学方法。

在一个特定的地质区内周期表中的不同的各个元素在这五个圈中其一般的背景或丰度不同。在接近矿床或碳氢化物聚集处，其组分元素的丰度通常在各圈的物质中增高而成为异常。这些异常在岩石、土壤、冰川沉积、水体、水系与湖泊沉积物，大气，植物与动物中以元素的原生与/或次生分散晕，分散流，或分散扇形式出现，在某些条件下也存在于指示植物（及动物）中，或者以对植物（或动物）的刺激效应或中毒（萎黄）效应表现出来。晕、流与扇的性质是复杂的：在大多数场合下出现一个或几个特定元素的含量朝着矿床或碳氢化物聚集的方向持续增高的趋势（正晕或增强晕），在另一种场合可能与此相反（负晕或减弱晕）。这些不同的晕、流、扇提供了追踪或圈定分散出成矿元素、脉石元素，或碳氢化物的集中点或源地的方法。这些组成了所有地球化学测量的基础。

在地球化学探矿测量时通常按照网格，按定向步行，或按随机步行的原则进行取样。第一种是在两度或三度空间的标准间距取样；第二种是沿着某种地形或地貌特征，例如沿着水系网或沿着特定的地层按标准间距来取样；第三种是没有特定布局的任意选取采样。最后一种方法通常并不采用，除非该处的地球化学测量系作为其它测量方法的一种辅助手段，或者当地质学家观察到对他们有兴趣的情况的时候。测量时可以采用步行测量、骡载测量、驼载测量、船载测量、车载测量或航空测量，根据所使用的设备，测量时所考虑的元素、地区、经济条件及其它因素而定。当各种测量方法所取的样品经分析，并将结果作图之后，借等值线或所测定的金属或碳氢化物的含量向着某些点递增或递减来揭示异常，这些点为有希望的经济矿床或碳氢化物的集中处。

地球化学勘查的现代方法在二十世纪中获得了迅速发展，这是由于许多条件造成的，可以大致陈述如下：

1. 阐明了与所有矿床与碳氢化物聚集有关的原生的与次生的分散晕和分散流性质。地质学家对晕与流已认识了几个世纪。然而它在地球化学上的重要意义是苏联的A. E. Fersman及其同僚们于三十年代初首先予以重视的。

2. 利用光谱仪与各种专属的灵敏比色试剂，特别是二硫脲，研制了许多准确而快速的分析方法。G. R. Kirchhoff与R. W. Von Bunsen于1959年发现了光学发射光谱，Assar Hadding于1922年首先将X-射线光谱用于化学分析。这两个方法对地球化学找矿给予了不可估量的裨益。二硫脲是Emil Fischer在1898年首先合成的，他注意到了它与重金属反应时产生艳丽的有色产物。但是自合成之后一直到1925年Hellmuf Fischer证明了它在测定物质中痕量金属的变化的特殊用途之前一直没有用于分析上。从此之后，二硫脲及其它类似的有机化合物就大量用于地球化学探矿。实际上二硫脲方法达到了光谱所达到的检出限，在有些场合则超过了光谱方法。

3. 各种聚乙烯实验室设备的研制成功，使取样，野外分析，与减少沾污机会方面获得了更大的自由。在痕量分析中用树脂来生产无金属水的事件更无需详述。

4. 一种测定地球物质中含量范围在百万分之几的许多元素的特别快速而正确的方法，原子吸收光谱的发展，对于这方面的进展我们要感谢A. Walsh在澳大利亚CSIRO对仪器与方法方面所作的不断研究给我们带来了好处。可以毫不夸张地说原子吸收是最近几年来

分析化学中最卓越的进展。

5. 五十年代初铀的荧光分析方法的发展。这些方法是根据E. Nichols与M. K. Slattery于1926年的发现, 当痕量铀熔融到氟化钠熔珠中后有明亮的黄绿色的荧光, 荧光的强度与所存在的铀的量成正比。最近安大略Concord的Scintrex公司研制了一种测定溶液中铀的激光荧光方法, 据说达到了测出天然水中0.05ppb铀的灵敏度。

6. 利用专属性离子电极的灵敏方法的发展, 特别是用于分析氟与氯等元素。

7. 气相色谱, 分配色层, 纸色层, 吸附色层, 与离子交换色层方法, 与其它方法(精密地分析痕量碳氢化物与各种气态无机物质的方法)的发展。在利用岩石、土壤、水、与湖底或海底沉积物进行石油探查测量时, 对快速分析痕量碳氢化物及有关的无机物气体来说, 这些方法可能是最有价值的进展。

8. 检测放射性元素, 特别是铀与钍及其子系元素的放射性方法的进展。自从A. H. Becquerel于1896年发现放射性现象之后, 第一个放射化学家玛丽·居里在天然放射性方面开始了开拓性的研究, 终于在捷克斯洛伐克Jachymov的沥青铀矿中发现了钋和镭。随后许多化学家, 地质学家与物理学家对岩石、矿物、天然水与大气的天然放射性作了广泛的研究。早期工作中所用的仪器是照相干板, 验电器, 静电计, 电离室, 与闪烁镜, 最后一个是W. Crookes为核子研究研制的一种最有用的仪器。1908年研制成了盖氏管, 到1928年修改成盖格-弥勒管; 后者于1920年被不列颠哥伦比亚大学的G. M. Shrum与R. Smith (1934) 用于野外。在此之前加拿大地质调所的H. V. Ellsworth (约于1930年) 用一个改良的验电镜在野外测量含铀与含钍的伟晶岩与其它放射性地体。除了采用灵敏的光电倍增管以外, 原理上与闪烁镜相同的电子闪烁计数器是1944年S. C. Curran与W. R. Baker研制的。在以后的年代里对用于计数的 β 粒子与 γ 粒子的大体积晶体进行了研究, 最后因R. Hofstader于1948年成功地研制了检测 γ 放射性的铊活化的碘化钠晶体而达到了顶点。这些晶体作为 γ 射线散射能谱的最重要的检测介质保持了数年之久。Manitoba大学的G. M. Brownell于1949年首先把闪烁计数器用于野外。现在有许多航空能谱仪达到了非常完善的程度, 采用了多达1024道的能谱仪进行总 γ 计数并对诸如钾(^{40}K), 铀(以 ^{214}Bi 表示)与钍(以 ^{208}Tl 表示)等元素作专门定量分析。早期的放射性测量主要是步行测量的, 现在则有许多是用车载测量, 机械测量或船载测量。

9. 放射性活化分析的发展: 从现代意义上说这些利用样品中拟测元素的同位素的某些核性质的方法是第二次世界大战以后发展起来的。大多数方法是用热中子作为轰击粒子(中子活化分析)。这种方法对诸如金、铂族元素, 铀, 以及其它等等元素有非常高的灵敏度, 达十亿分之几的范围。这些方法在基础地球化学研究中已经广泛使用了多年, 现在, 在地球化学探矿中的应用开始有所增加。

10. 用裂变径迹或 α 径迹分析方法测量铀钍, 与氦之类放射性元素的方法的发展。这些方法在核研究中已有很长的历史。最近五年来这个方法的各种变种为地球化学咨询公司, 用于野外和实验室中分析氦。一种测定氦的野外方法是采用加利福尼亚州Walnut Creek的Terradex公司研制的对 α 粒子敏感的介电膜, 它的商品名称为径迹蚀刻(Track Etch)。这种方法是在地面的浅穴中放进一些杯子, 放置三周或更长的时间后收回, 将介电膜送回中心实验室分析。另一个新的氦气测量仪是安大略Caledon East的Alpha Nuclear公司研制的, 它是用固态检测器(硅扩散结)与一个电子积分读数表头相连接。这个可重复使用

的仪器放在地穴中一至二日，氦的浓度与积分的小时数可以从数字显示器中读出。

11. 研制了测定岩石、壤中气水与大气中各种挥发性元素，如汞、硫的化合物、氦、与氮的快速而精密的方法。对于这类工作可以采用气体色层，原子吸收分光计，质谱仪，与各种 α 计数器等仪器。

12. 采用F.W.Aston于1919年研制的质谱仪方法测定铅、硫、氢等等元素的同位素丰度。有一些丰度数据可以指示某些矿床（如来自铀矿与钍矿的放射性成因的铅）的存在。其它系统性的丰度数据可能是指向矿床或碳氢化物聚集的依据。

13. 研制了分析大气中各种类型的有机颗粒与无机颗粒的快速而精密的方法。南非的O.Weiss (1971) 与加拿大的A.R.Barringer (1977) 首先试验这种技术，并使用飞机作为取样运载工具。此方法提供了一种可以对某一地区作大面积扫描的技术，在有利环境下可以指示出矿床与油田的位置。

14. 对于所有类型特别是根据水系沉积物，湖底沉积物，重矿物，河水及湖水，地下水，泉水及其沉淀物，与生物物质的地球化学普查测量与地球化学详细地面测量的野外技术进行改进。近年来实际上在所有地区的普查测量中均已采用了直升飞机，这是对取样方法的一个革命。

15. 研制和改善在地球化学详查中，用于永久冻土带，冰川地区，以及高度风化区和红壤地区的覆盖层钻探技术。

16. 研制根据原生晕与渗漏晕以发现富矿体及其延伸情况的方法。

17. 发展与改进用矿石漂砾，脉石漂砾，与重矿物分散流与分散扇在冰川地区，与高度风化和红壤化地区进行勘查的方法。

18. 研制和发展用统计与计算技术处理与评价地球化学数据的有效方法。

19. 增进了矿床与碳氢化物矿床的地球化学了解。特别是对其成因的科学的了解。

现在地球化学探矿方法已经在世界上从冻土地带到热带的所有区域都日益受到重视而予以应用。关于它的成就之中可以得到承认的有大批大的生产金、铜、铀、镍、铅、与锌的低品位矿床的发现。下文我们将对这些成就作简要评述：内华达州的Carlin型金矿(Cortez矿床)与美国地质调查所在进行氧化的基岩与残积土壤测量(U.S.G.S., 1968)时以金、砷、与其它指标所发现的异常有关；苏联勘探联合企业用土壤与风化残积物中的砷作指示元素发现的乌兹别克共和国的巨大的金矿床(Muruntau矿床)(Khamrabae, 1969)；在所罗门群岛用水系沉积物与土壤取样所发现的大型Panguna(布干维尔)斑岩铜矿(Baumer和Fraser, 1975)；在南澳大利亚由水系沉积物取样发现的巨大的Beltana和Aroona硅锌矿床(Muller和Donovan, 1971)；澳大利亚北部地区用土壤取样发现的McArthur河铅锌矿床(Murray, 1975)；在昆士兰州用测网土壤取样发现的大型Lady Loretta铅锌矿(Cox和Curtis, 1977)；在新南威尔斯州用路旁普查水系沉积物与土壤取样发现的Woodlawn斑岩铜矿床(Malone等, 1975)；在育空用水系沉积物、水、基岩和土壤取样发现的Casino斑岩铜-钼矿床(Archer和Main, 1971)；在育空Keno Hill地区用覆盖层钻探和地球化学取样方法发现的许多远景区和矿床，特别是Husky铅-锌-银矿床(VanTassell, 1969)；在育空用水系沉积物和土壤测量发现的Howards Pass锌-铅矿带；在不列颠哥伦比亚范库弗岛用土壤取样发现的Island斑岩铜矿(Young和Rugg, 1971)；在不列颠哥伦比亚中部用水系沉积物与土壤取样发现的Sam Goosly铜-银-钼矿床(Ney

等, 1972); 在西不列颠哥伦比亚用水系沉积物与土壤取样发现的Brandywine金-银-铜-铅-锌矿床 (Anon, 1974); 在不列颠哥伦比亚中部用水系沉积物与土壤取样发现的Sam Goosly铜-银-钼矿床 (Ney等, 1972); 在西不列颠哥伦比亚用水系沉积物与土壤取样发现的Brandywine金-银-铜-铅-锌矿床 (Awon, 1974); 在北威尔斯用土壤测量发现的Coed-y-Brenin斑岩铜矿床 (Mehrtens等, 1973; Rice和Sharp, 1976); 在Eire主要用土壤取样发现的Tynagh与许多其它的铅-锌-铜-银矿床 (Schulty, 1971)。这些无疑不是地球化学方法的最近成就。Glukhov (1974)在最近的一篇文章中估计苏联在最近二十年中用地球化学探矿法圈定了80000以上的地表金属晕和异常。研究了这些异常之后发现了22多个各种元素的矿床 (现在已经开采或正在开发阶段) 和900多个远景区。因此矿床与异常之百分比仅为0.3%, 此数字并不十分引人注目。在其它国家也并不比这个数字更高。本文笔者在过去二十多年中于非洲、欧洲、北美洲、南美洲、与澳大利亚估计用地球化学方法圈定了100000多个异常, 根据这些异常发现了150多个矿床 (包括已经开采或正在开发阶段的), 其比率约在同一数量级内。在苏联与其它国家在这些异常中好些都还没有作充分的验证, 估计在各自情况下还会有500个异常可以发现新的矿体。

去研究那些取得成功的方法是很有意义的。Gluklov (1974)认为在苏取得成功, 几乎都与地表岩石地球化学方法 (土壤, 水系沉积物, 重砂矿物及岩石取样) 有关。只有很少量是水化学方法发现的, 而生物地球化学 (植物、动物) 与大气地球化学 (气体) 方法没有发现什么。Glukhov (同上) 指出在苏联靠近地表矿床的发现率与发现潜力正在很快下降。因此他提倡对地球化学探矿的深部方法要给予更大的注意。其它国家的经历也大致相当。几乎所有的发现均归于水系沉积物, 土壤地球化学与岩石地球化学方法, 归功于水地球化学 (水), 生物地球化学 (植物) 及大气地球化学工作的很少。至于铀和钍的航空放射性测量从维也纳国际原子能机构 (1973) 对铀的勘探方法的最近报告如果作一个谨慎的考虑则很有意义的, 因为对矿床, 远景区等等各有其不同的定义。在21个国家 (包括澳大利亚, 加拿大、法国, 南非, 美国及苏联) 中用各种手段圈出约11284个异常, 约发现了256个矿床, 用航空测量所圈出的全部3402个异常中得到了37个矿床。在美国的17个互相接壤的西部诸州中从圈出的约100000多个放射性异常得到了近700个矿床。这些异常中有4000个是由航空测量发现的, 从这些异常中发现了120个矿床。显然, 这再次表明地面方法是最有效的。不需要作详细研究, 从数据也可以清楚地看出航空方法在干旱的, 植物稀少的与沙漠地区是最有效的。

对于用地球化学方法所发现的油气田则没有可资利用的公开情报, 人们也很难得出任何合乎逻辑的推论。近年来有些油田是由详细研究了地下水、复盖土壤与冰碛物中的碳氢化合物而圈定的 (Heroy, 1969)。无论是海底沉积物或其上部的海水中的碳氢化合物的含量均曾用以寻找海底油藏 (Hitchon, 1977), 但是没有这方面工作的成功的或失败的经验发表。

笔者拟将读者的注意力转向地球化学探矿研究的未来, 与讨论某些将立即受到注意的课题。有些课题是一般性的, 而另外一些, 则如果按照今后世界上可能的发展的情况仍有足够的能源与矿产可以维持我们的工业的话, 是需要详细研究其性质并作出行动的课题。

第一个一般性的问题是勾划出地球化学省与金属成矿省之间的关系。有许多金属成矿省是已知的, 远在地球化学流行之前已将全世界清楚地划分成许多部分。其它则仍有待于

发现与肯定，这些不仅有边远地区与难以到达的地区，而且还有已经作过大量勘探的地区。有许多宽广的金属成矿省的范围则在广泛的堆积物与年轻的岩石复盖之下，其轮廓仍不清楚。现在已经明瞭地表物质与生物物质，如土壤、水系沉积物，湖泊沉积物，地下水，与植物都反映了某些类型的出露的金属成矿省的存在，特别是铜、铅、锌、镍与铀的矿化。那么周期表上其它的50多个重要元素的情况又如何呢？对此我们只有很少一点确切的知识。而且，我们还不能很肯定地知道新鲜(未矿化的)岩石样品(或岩石地球化学)是否反映了此地区内存在的金属成矿省与其类型。似乎对铀(如加拿大西北地区的贝尔省；萨斯喀彻温的Athabasca湖地区；安大略的Bancroft地区)与铜(如Kupferschiefer, 密执安铜矿带, Seal湖铜矿带, 拉布拉多)是肯定的，但是根据笔者的经验对于金、银、铅、锌与其它许多元素在大多数地区的表现来看，则是模棱两可的。我们需要有更多的有关岩石中痕量元素与主量元素的化学知识及其对金属成矿带的地球化学关系的知识，特别是当钻进到厚层复盖或年轻的上复岩石时。这类矿产勘探的目标即使是原生晕也是较小的，非常需要用更有利的指示岩石来扩大目标。

地球化学方法研究的第二个最重要的领域是研究发现岩石中深部盲矿床与碳氢化合物矿床的方法。我们往往倾向于在二维的网格中考虑并工作，通常具有面积性勘查者的思想，而对第三维或深度不特别予以注意。如果采矿地质学家所从事的工作是针对矿体的，则他们要被迫地从三维空间来考虑问题，他们已在找矿中发展了许多完善的方法。如果把这些技术与根据原生晕，渗透晕，原生矿和次生矿的局部特征来寻找矿体的地球化学的技术相结合，则可以肯定能以最少的代价在已知矿带内发现许多矿体。我们需要知道关于原生晕的，特别是关于渗透晕的三维形态，及其对矿体的关系，对于这些问题近几年来很少注意到。对此，很值得提及的是，岩石地球化学技术是潜在的有力的勘探工具，它的勘探深度超过了任何可预见的地球物理方法。成矿带内地下水系的性质也只受到很有限的注意，但是正如Boyle等(1971)指出的在此介质中取样对找矿是有用的。至于碳氢化合物矿藏有关的岩石晕与地下(层间)水晕的性质，形态，与化学几乎还没有任何确切的知识。考虑到以往75年中对油气田所作的大量钻探则这种情况更是荒唐可笑的。在我们知道与油气田有关的元素的，盐的、与碳氢化合物的晕的确切的性质之前，我们还不能够用地球化学方法去发现这类矿田。笔者断言，当我们认真地在石油与天然气勘查中开始采用地球化学探矿方法时我们将会找到目前整个世界上已知油气田同样多的油气田。笔者在1960年的讲话对于金属矿也作了相似的断言，并且很快证实此断言是对的。

许多国家中含有潜在矿床的大片成矿区，均为厚层地表沉积物所复盖；例如加拿大和苏联等国家的沉积物由各种冰川物质所构成；在澳大利亚与美国，中美洲，南美洲及非洲的一部分沉积物为红层；在许多国家中地表物质为近代沉积或火山碎屑。经过许多国家的大量研究之后现在已经清楚在厚层复盖地区作矿产勘探的唯一有生命力的地球化学方法是在复盖层上打取样钻并对合适层位的物质作化学分析，通常取的是基底层的物质。对确定被地表沉积物深埋的分散扇，流，与晕的特征(水成的或机械的)，形态，及其对矿化的关系已进行了一些研究。但是更多的研究应该是冰碛复盖，红土复盖，与沉积物-火山碎屑复盖地区的元素的机械分散与化学分散，以对这种地区所发现的分散模式的解释提供一个完善的基础。

在地球化学测量时，发现许多在元素性质、大小和强度上不同的异常是很普遍的。由

于变化万千的地球化学因素，根据我们现有的知识要将与矿化和矿床有关的异常从那些代表着来自围岩富集的异常中区分开来是不可能的。换言之，我们还缺乏明确的鉴别方法。对此，需要对特殊类型的矿化与矿床的专属性标志，元素之间比值与矿化作用的关系，元素分散与距矿化中心的距离之间的强度关系要作更多的工作。从相同的课题考虑，我们需要列出并阐明有关痕量元素的分散晕与分散流的大小与强度对估测矿床的大小与品位之间的解释方法要集中大量的研究工作。

近年来对生物地球化学，地植物学，与大气地球化学方法做了大量研究，但是还没有在矿产与碳氢化物的勘查中有广泛的用途。其原因并不清楚。尽管用生物地球化学与大气地球化学测量所发现的异常均属于次级性质，是从原生矿化向外迁移了两次，但其分散模式通常比与土壤风化残积物，水系沉积物，水有关的分散模式更为清晰，并常常有更大的衬度。生物地球化学还有一个更有利的因素，即灌木能从深处吸取金属，在许多情况下在干旱地区能够达到一百英尺或更多。这种方法在澳大利亚，以及非洲，亚洲和南美洲的许多国家定会有很大的优点。当该地区有适度的树木复盖时，一种新的作法是利用树液分析。这个方法已在确定金矿带与铜，锌，铋，铀等元素的富集带时具有意义。另一种新方法是利用狗作“嗅矿者”，应比过去更受到注意。

越来越多的研究是用地球化学方法圈定地面上的有希望的地热带，因为利用地热能来发电将更受到注意。许多这类的研究工作正在新西兰的北岛与意大利的 Larderello 峡谷进行，那里的许多热电站是用热水（蒸气）发动的。在这些国家和其它国家的工作已经证明，地热区能被泉水与地下水中的汞，砷，铋，铀，硼及硅含量的增高指示出来。而且也非常明显，地热带能为水中碱金属（包括Na, K, Rb）的增高，与Na/K与其它比值的增高所指示出来。

经济地质学家对包括B, CO₂, S, Se, Cl, Br, I 与F等元素与化合物在内的各种矿化剂已经讨论了许多年，这些元素和化合物在后生过程与同生过程中元素的迁移是有利的。这些元素中的一个或几个实际上对所有类型的矿床是通用的，但是我们还没有在地球化学探矿方法中发挥它们的全部优点。这些元素中的两个，B与F，实际上是所有后生矿床的通用指示剂，当其中之一不存在时另外一个一定存在，有许多矿床中两者同时出现。

有许多元素是某些类型的矿床的专用指示剂其中应当提到的是金、铍、镭、铋、铀和铂族元素。所有这些元素在地球的所有地球化学圈中的丰度都很低；当发现到可测出的浓度时（金为1ppm或以上；镭为 1.4×10^{-6} ppm或以上）人们可以肯定在周围会出现含有这些指示剂的矿床（如铜矿，银矿，镍矿，铀矿等等）。除了金和可能还有镭以外，我们对这些元素在矿床中，以及在其分散晕，分散流，与分散扇中的分布与地球化学的确切知识了解得还很少。这是研究工作中的一个富饶的领域，人们可以在此范围内提出许多最有用的地球化学探矿方法。

在所有地区应该对重砂矿物测量予以更多的注意。笔者及其同事们在育空的山区和在加拿大的 Appalachians 观察到水系及河流中分散流以颗粒形式搬运和水搬运形成是同等重要的。在传统习惯上重砂矿物测量是用于圈定在表生循环中具有低化学迁移度的金属富集的地区的。然而，我们的研究指出分析浓缩的重砂矿物中化学迁移度较大的元素能够圈出金属矿带。对从水网中所取的浓缩重砂矿物作地球化学分析与矿物分析可以补充正规的水系沉积物测量并提供有助于解释水系沉积物数据的补充信息。而且，深成矿物与表生矿

物的颗粒分散流比水成分散流延伸得更远，特别在碳酸岩地区，在这种地区中许多元素的化学迁移率由于pH较高而受到了限制。

在北部地区，特别是在已经冰冻的地区，笔者建议更多地用沼泽（泥炭沼泽）作取样介质。许多这种沼泽代表了从上一次冰川期以来的一段时期内注满了湖底淤泥与泥炭的古代湖泊。取沼泽样品，特别是下部层位（事实上代表了古湖泊沉积）的样品，从区域性的基础上说可能是圈定矿化带与矿化区的有效方法，这些矿化带与矿化区被厚厚的冰碛物复盖，而用其它地球化学探矿方法通常是无效的。

对矿床与碳氢化合物矿藏中一些元素的同位素分布的研究约早在25年前就已经开始了，但是只有很少几个成果被用于地球化学探矿。有许多文章建议在地球化学探矿中采用同位素，但是笔者还没有看到采用这个技术的详细的例案。对探矿而言最合适的同位素似乎是硫、铅、铀、碳及氢，而其它元素最后可能也会被证明是有用的。同位素是一个庞大的课题，但是只有很少一些简单的关于它们可能用于探矿的实例。在土壤及水系沉积物的重砂矿物如黄铁矿与方铅矿等之中，高含量的放射性成因的铅同位素可能指示铀与/或钍矿床的存在，而如若与本区内由于铀矿物的浸染所造成的背景丰度相比较，过量的 ^{234}U （可由天然水中的高 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 丰度比来表明）可能反映铀矿存在。在与硫化物矿床有关的变质带或蚀变晕中，硫同位数比值的系统变化可能指示接近矿体。同样，沉积岩与层间水中碳与氢的同位素比值的系统变化可能是接近石油或天然气田的讯号。

现在有许多国家正在考虑在全国统一的网格的基础上，在岩石圈（岩石），土圈（土壤），水圈（水，水系沉积物，湖泊沉积物），与生物圈（植物，泥沼）等物质中，分析周期表中的主要元素以出版标准的区域地球化学图。每平方公里一个样品似乎是合适的，在成矿带则要求有更高的取样密度。对于大多数国家来说，完成这样的计划需要集中力量持续一个世纪或更多时间。这种图件对矿产勘查，与包括林业，渔业，农业，再生产等等在内的许多环境研究将会提供有用的数据。

应当把大量的思考与研究引导到如何在整个的勘查计划的合适阶段中使用地球化学方法的问题上。笔者对许多国家的公司与其它机构进行勘查时的过程仔细观察了25年以上，作者确信这个课题需要得到比它到现在为止的更多的注意。根据笔者的观点，合适的勘查顺序是：（1）地质评价，（2）用水化学与水系和湖沉积方法，土壤地球化学方法，岩石地球化学方法，生物地球化学方法，航空放射性方法，与大气微粒方法中的一种或几种方法的地球化学普查；（3）在地球化学普查测量时发现的异常模式的地点上使用地球物理与/或详细地球化学方法以获取矿化位置的清晰的目标。只有在那些不适合于作地球化学探矿的地区可以省略第二步工作，但按笔者的经验这种情况是很少的。

对地球化学数据进行各种数学解释将来需要有关的研究工作予以配合。对二维与三维的矢量分析要予以特别的注意。最简单的矢量就是元素在溪流的水中或水系沉积物中向上游至矿化带或矿床的浓度递增。本文作者认为考虑到现在可以得到的大量数据，人们应当能够对地面测量所取得的，以及按三维测量所取得的矢量作定量处理。在许多场合我们已经按方向与大小（包括元素的浓度与各元素间的比值）处理矢量，我们由此将能够精确地预言哪一种矢量可能是指示矿体的。

最后，笔者主张我们要对了解在内生环境与外生环境下控制元素迁移的因素付出更大的注意力与贡献出更多的研究基金。在这方面，大学，特别是地质学院应承担义务，而在

作者的印象中世界上有许多地区对它忽略了。审查了许多大学的课程与研究计划发现了一个令人遗憾的缺陷，就是忽略了所谓“有用的地球化学”，亦即按元素在自然界的情况去研究它们。在现代的地质文献中涉及对地球的大现象的渊博研究太多了，而对于解释地球化学测量结果有用的基础地球化学因素的研究则太少。

现在已有很多最新的以地球化学探矿为题的教科书和论评可资利用；其中有些收录在下列文献目录中。

康继本 译，郑康乐 校

论土壤在冰川地区地球化学 勘查工作中的应用

B. Bølviken

C. F. Gleeson

摘 要

在过去二百万年间，地球表面很大部份面积曾几度为冰川所覆盖。这些地区的覆盖层是由冰积物所组成，冰积物是由活动冰川及冰溶水带来的，以后又经受了冰川期后作用。因此，在冰川地区地球化学分散作用可以分为两大类：(1)同生分散作用，即主要是冰川期发生的机械或颗粒分散作用；(2)后生分散作用，即冰川期后发生的化学与机械的分散作用。当这两种作用混杂在一起，便形成复杂的地球化学分散模式和异常，这种模式与异常都不容易解释。因此，所用的取样与分析方法都必须是能发现成因不太复杂的异常的方法才行。

对同生分散模式进行解释，其前提是对冰川历史要有充分的了解。为了取得显著的效果，常常需要对直到基岩表面的冰积物剖面进行取样。这项工作时常要动用笨重的装备，取样成本可能比较高。所采用的分析方法必须用很强的化学煮解以及对残积矿物进行矿物鉴定。

冰川覆盖层的后生分散模式，可以由地下水里金属的分散作用沿山坡向下而形成的，也可以是由于毛细管作用力、生物活动或挥发组分的气化运移而直接产生在基岩原地的上部。与地下水接触的矿床，将起着天然的伽戈尼电池效应，使金属向上覆的冰积物发生电分散活动。后生分散模式可以用较少的成本、较弱的化学提取在近地表土壤层里被检测出来。

这些原理已为已发表与未发表资料的经验所佐证。本文是对近10年西方文献所报导的资料作一评述。目的是介绍运用冰川地区土壤样品分析作为一种找矿手段的技术现状。

如果我们要促进冰川地区土壤地球化学方法的应用，就需要更好研究分散作用的机制。

引 言

“土壤”一词在化探里常常是被当成覆盖层的一个同义词来对待的，虽然从狭义上说，它是指浮土上部已有分层的部份。在本文，土壤一词将是指基岩上部的全部或部份未固结的物质。土壤取样将包括现代水系沉积物及其它水系物质以外的任何覆盖层的取样。

土壤可以分为残积土壤与冰川土壤。残积土壤是下部岩石风化产物就地残积的（如热带土壤）。可是冰川土壤或冰积物则是冰川及冰溶水对新鲜或风化的基岩及冰川期前土壤层作用的产物。因此，冰川地区土壤化探的应用将产生一些与热带和其它残积土壤覆盖地区截然不同的特殊问题。

在过去二百万年间，大陆很大部份地区曾几度为冰川所覆盖。冰川地区包括差不多整个加拿大、美国北纬40°(纽约)以北大部份、欧洲北纬50°(伦敦)以北大部份以及亚洲的许

多地区，尤其是北纬60°(列宁格勒)以北地区(图2.1)。这些冰川地区包括了世界目前正在积极找矿的一些地区。这一点在近年发表的介绍冰川地区土壤用于找矿的大量文献里得到了反映。

本文将概括介绍这些工作所反映的趋势。我们用的主要文献来源是勘查地球化学学家协会(The Association of Exploration Geochemists)出版的勘查地球化学文献目录(Exploration Geochemistry Bibliographies)(Hawkes, 1972, 1976)、教科书(Hawkes和webb, 1962; Levinson, 1974)、专题论文以及会议文集(Cameron, 1967; Kvalheim, 1967; Canney, 1969; Boyle和McGerrigle, 1971; Bradshaw等, 1972; Jones, 1973a, 1973b, 1975, 1977; Bradshaw, 1975a; Elliott和Fletcher, 1975; Govett, 1976b; Kauranne, 1976a; Legget, 1976), 科学杂志里的文章, 尤其是地球化学勘查杂志(Journal of Geochemical Exploration)。大部分有关冰川沉积和冰川作用的资料引自Flint(1971); Goldthwait(1971a); Nickol和Björklund(1973)及Dreimanis(1976)等的文章。

在冰川地区, 从基岩到土壤的地球化学分散作用可以分为两大类: (1)同生分散作用, 即主要是冰川期所发生的机械或颗粒分散作用; (2)后生分散作用, 即冰后发生的化学与机械分散作用。目前冰川土壤所发现的任何地球化学分散模式, 从原理上说都是这两种作用的产物。要解释冰川地区土壤测量的地球化学资料, 充分了解好同生与后生分散作用是很重要的。下面两个章节扼要介绍一下这两种作用。

同生分散作用

冰川地区的同生地球化学分散作用模式是与冰川沉积物同期形成的, 也就是说, 它们是冰川作用的产物。

冰川活动过程

第四纪时期气候曾几次发生变化, 在气候较冷的时期, 发生了广泛的冰川(Flint, 1971)。冰川从一个或几个中心区向外流向海洋, 总的运动方向与当地地形的一些小的变化没有多少关系。大部情况下, 只有极高大的山峰才能阻截冰川的运动。在平川地区, 冰川运动时是呈冰席或散开成山麓冰川。冰川运动的速度可以在短距离内出现很大的变化, 尤其是处在能造成局部高流速的冰下山谷的边缘地带。冰川通过磨蚀与刻蚀作用, 把基岩与冰前沉积物破坏成细粒粉末到漂砾这样的碎屑。当气候逐渐变得温暖时, 低地的冰川融化作用(融化、蒸发与裂冰作用)的速度便超过冰、雪的堆积作用。这样, 冰川前缘便开始后退, 在它后面留下了大量的冰川沉积物, 统称为冰积物。

按照Dreimanis(1976)的意见, 冰川搬运冰积物有几种方式: (1)底碛; (2)冰内碎屑物及(3)冰面碎屑物(图2.2)。

1. 冰川底部1~3米内含有冰川所夹带的大部份岩石碎屑。这是主要的磨细带, 它具有粉碎磨蚀作用, 使底碛岩屑被磨细到这种程度, 即在35公里以外任何岩性的岩石碎屑99.9%都被磨细成其组成矿物颗粒只有0.1%的碎屑能显示原来的岩性(Goldthwait, 1971b)。

2. 挤压冰碛流可以把岩石碎屑从冰川底部带到冰川内部的位置。在冰川底部以上30米

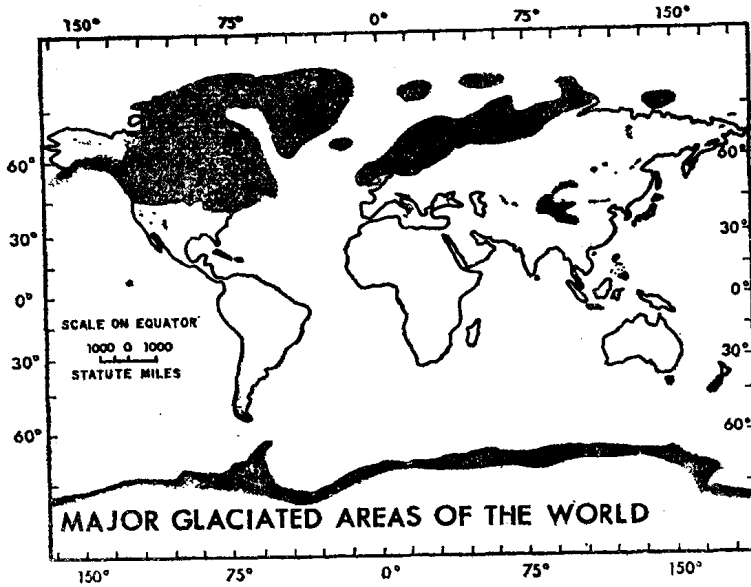


图 2.1 世界的主要冰川地区, 据Flint (1971)

处, 便可见到冰内岩石碎屑。如果冰内岩石碎屑搬运方向多少与冰川底部平行的话, 它们就可能被搬运达数百公里。

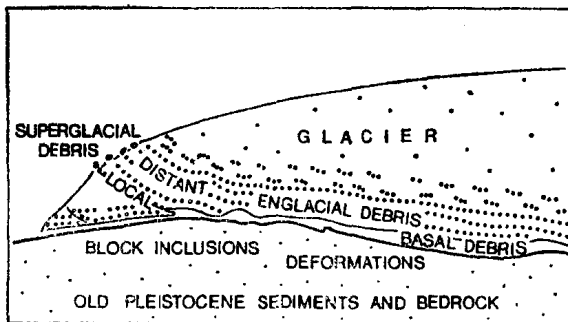


图 2.2 冰盖边缘径向示意剖面图。据Dreimanis (1976)

3.冰面碎屑物一部份是由落在冰川表面的岩石碎石堆积而成, 部份是在冰川端部的冰内碎石被搬运到冰川表面所形成的。岩石可在冰面被搬运数百公里。

冰川所搬运的物质可以被在冰川端部附近冰融水改造, 重新被分配。

冰川后期阶段, 冰川冰的移除使被禁闭的冰前湖水放出, 使与冰川接触的海面高于陆地, 使以前形成的隐伏冰川沉积物在地表上露出。

冰积物的分类

冰川冰积物按其沉积特征, 可分为两大类: (1)冰碛(Till); (2)成层的冰积层(Stratified Drift)(Dreimanis, 1976)。

冰碛是未分层、分选差、含有大量各种不同大小的岩石和矿物碎屑的冰川沉积物。

层状冰积物具有在水中沉积或重新分配征象的、有分选与分层的沉积物。

对地球化学勘查目的来说, 根据成因对冰积物进行分类是极有意义的, 因为这种分类方法的关键所在, 是可以通过冰积物的同生地球化学异常追踪到基岩异常源地。

如本文转绘自Dreimanis(1976)一文的图3所示那样, 冰碛从成因上可分为两大类。

底碛(Basal Till, Lodgment Till) 主要是由冰川底部碎石组成(图2.2)。它被搬运的距离可以是几厘米至几公里。

消融冰碛(Ablation Till) 主要来源于冰内与冰面碎屑物(图2.2), 被搬运距离可