

Estimando Recursos de Sauer

# 找矿地球化学入门

[加拿大] A·A·莱文森

## 内 容 简 介

加拿大著名地球化学家 A. A. 莱文森所著的《找矿地球化学入门》一书，是近年来国外出版的找矿地球化学方面的重要著述之一。该书的内容比较通俗，具有一定专业知识的同志一般就可以看懂；对从事金属矿找矿勘探的人员，也有一定参考价值。

书中介绍了金属矿床的原生晕，地球化学省的概念，化学和物理风化作用的因素，原生和次生迁移的过程，地球化学找矿勘探的基本原理和野外工作方法等。另外书中还讨论了区域找矿和详细找矿的工作方法，地植物和生物地球化学找矿，以及地球化学数据的统计处理方法。

## 英文版序言

近几十年来，金属矿床、石油及天然气的找矿方法变化颇大。目前，普查找矿已是一门精密的学科，世界多数地区开展的工作都采用了地质学、地球物理和地球化学的最新成就。本书目的是向读者介绍找矿地球化学的方法和有关文献，并为某些问题的自由探讨提供一种可能。对本书的内容，除一般大学的矿物、岩石和经济地质课程知识之外，只要学过一年的无机化学，就可以掌握。当然，统计学这个专门章节则是例外。本书可作为大学生的入门教材，同时读者对象也可包括希望了解一些地球化学找矿方法的地质人员和行政管理人员，以及物探、勘探地质工作者。对专门研究经济地质和从事实际化探工作的人，这本书也可能有一定的参考价值，但不适用于高水平的地球化学找矿的专门家。

可以说，本书的程度是介于详尽阐述与简要归纳之间而取其中。由于整个篇幅的限制，不是所有的问题都能说得充分，何况有关这个知识领域的文献非常广泛，涉及若干其他学科，年年又有不少新材料发表。因此，一本书不可能充分、详细地讨论所有的方面，而只能有选择地取材。尤其是象风化过程、土壤形成、成矿理论、pH与Eh等类问题，本来应该占有比现在更多的篇幅。因此，作者怀有这样的希望，即由于基本原理已经有了足够明确的说明，也许可以促使读者进一步阅读有关问题所依据的原著。

每一位教师应该自由地选择讲授这些材料的方法。但笔者认为，开始最好让学生首先掌握一般金属的比色测定方法，同时对地球化学找矿最重要的现代分析手段，例如原子吸收光谱法，尽管是很浅近的概念，也要加以介绍。这会使学生更加重视含量只有千分之几的微量元素及其共生组合以及污染问题的意义，从而关心这个知识领域的发展过程。这个办法在编写有关比色测定和其他分析方法的章节时大致有所反映，而且比较成功。围绕地球化学找矿所用分析方法的争论，曾经促进了新方法的提出，但目前看来，这些问题在一定程度上已经比较明确。学生应该学会迅速地换算不同的度量单位，为此书后的附录A提供了若干专用的表格。

本书虽是入门的教材，但实例与插图的选择是十分慎重的，只是所有参照其他文献的引文，未能全部根据原著核对，因此在论述某种认识或学说的发展过程时，可能会出现意料以外的错误。凡同一问题可以引用两份文献或两个参考来源的，均以最新发展的为准。材料的叙述力求公允，但在某些问题上，特别是以笔者的经验、个人的侧重点和看法为基础的部分，可能会有失于主观。此外，由于笔者所接触的北美洲的多数学生，对苏联的地质、地理完全不了解，因此选材一般限于北美（包括墨西哥）和澳大利亚。

石油与天然气找矿是较特殊的问题，但经B.Hitchon教授欣然同意单独写成一章（这一章与金属矿找矿关系不大，中译本已将其略去。——译者），同时由R.B.McCammon教授承担了地球化学找矿应用统计方法这一节的写作，笔者在此谨致谢意。对这两位撰稿人，在选材、写法和现状的判断等方面，都提供了自由取舍的方便，笔者对他们的见解是充分信赖的并也愿对两个章节负起责任。

A. 莱文森

# 目 录

## 英文版序言

第1章 导论.....	1—20
第2章 原生地球化学环境.....	21—39
第3章 次生地球化学环境.....	40—110
第4章 若干基本原则.....	111—128
第5章 野外方法.....	129—139
第6章 分析方法.....	140—147
第7章 原生分布.....	148—165
第8章 次生分散.....	166—176
第9章 区域填图与详细填图.....	177—186
第10章 植物的研究.....	187—202
第11章 加拿大的地球化学找矿.....	203—238
第12章 地球化学数据的统计处理.....	239—263
附 录.....	264—279



## 导 论

就广义来说，地球化学是与地球的化学有关的一个学科。正如所有其他学科一样，它也包括许多互相渗透的分支并有机地结合为一个整体。找矿勘探地球化学作为其中一个主要分支，同样包括了地质年代学、稳定同位素地球化学、有机地球化学、沉积地球化学、水地球化学，以及月球化学和环境地球化学等产生不久的新领域。近年来，许多地球化学家不受狭隘的专业限制，都把注意力集中到一点上，即如何借助化学来解决地质问题。因此，就现代的意义而言，地球化学所有各分支的主要目的就是解决地质问题（包括月球和环境问题）。

找矿地球化学则是运用地球化学的理论原则来寻找有用矿产。它的专门任务在于发现新的金属与非金属矿床、石油或天然气，并扩大已知矿床的范围。它的方法则是系统地测定通常所见数量有限的一种或几种化学元素或化合物的含量。任何分布广泛而又易于取样的自然界的物质，诸如岩石、底积物、土壤、水、植物、冰川冲积物或空气等等，都是它的研究对象。

为便于理解，一般把找矿地球化学分成两大类：①金属与非金属矿床的找矿；②石油与天然气的找矿。每一类都有很大的特殊性，而且目前在不少方面是互相排斥的，但都在找寻隐伏的自然资源。目的只有一个，即发现富集的元素或化合物，也就是超过正常标准的所谓异常，后者可以潜在地指示矿化的存在或可燃矿产的堆积。但是，金属矿床和富集的碳氢化物的找矿取决于不同的参数，使用完全不同的仪器，甚至在某种程度上取样也有所不同。因此本书把可燃矿产的地球化学找矿作为专门的一章放在最后。当然，这种区分方法是人为的，因为从理论上说，任何类型自然矿产的找矿都是根据相同的地质与地球化学的基本原则（例如构造地质学原理或流体运移规律）。何况目前已经了解到，我们采掘的金属大部分先是产在沉积岩或原生沉积岩，而后是变质岩当中，所以找金属和找可燃碳氢化物的方法显然应该很好地结合在一起。现在已有不少较大的石油公司也投资于非燃料矿产的找矿与开发，出现了一些在统一领导下同时进行燃料矿产与金属矿床找矿的组织。可以预料，今后这两方面会加强相互有利的联系。

不久以前，地质和勘探人员主要还是在已知地区根据露头或典型的矿化找矿，例如底积物见有重金属，等等，从而发现了多数可以宏观评价的大量矿体。同样，根据宏观的特征标志，也顺利地找到了若干大型的石油与天然气盆地。然而，宏观考察的有效时代很快成了过去，所有表象明显的矿床大概也都已发现。据墨西哥国立大学地质学院院长D. Kordob的看法，当前墨西哥大约90%的金属采自过去早由西班牙人发现的矿山。属于以前罗马帝国版图的欧洲部分地区，现在多数生产矿山的所在地则是古罗马人早已熟知的。因此显然需要一种

全新的找矿方法。在这方面与其他学科、尤其是与地球物理相配合而能起重要作用的，则是地球化学。但随后我们会看到，把化学应用于找矿和勘探，并非一件绝对的新事。它的新颖之处就在于使用高灵敏度的精密仪器从事“显微化学”测定来取代过去那种“大比例”地寻找金属矿床地表露头的办法。此外，所谓一些老方法的推陈出新，实质也不过是增加了若干新的辅助手段，诸如航空取样与分析、电子技术处理数据以及更完善的推断解释方法等。总之，最主要的还是力求能够查明证实有工业矿化存在的化学异常的类型。

随着技术领域的各项进展，对待贫矿也在重新进行经济评价。举铜矿为例，二十五年前矿石含铜低于1.5%的矿床，虽有相当大的储量，也认为没有工业价值。目前，不列颠哥伦比亚矿石铜品位0.4%左右的大型斑岩铜矿床和其他类似的矿点，被看作是有工业意义的。从实际的观点来看，这种金属含量低的矿床难于只靠宏观研究去发现，特别是在土壤、冰川冲积物或其他覆盖物的掩蔽之下。这时，地球化学方法特别能发挥有效作用。引人注意的是，品位低、储量大的斑岩铜矿的成功，使人怀疑如果不是品位高和便于露采的话，是否还有必要寻找和开发脉状铜矿。本书把斑岩铜矿床描述为一种面积大、但含铜量少的矿床，其中的铜矿物以分散的颗粒和细脉形式分布。这种矿床可以产在任何类型的岩石之中，但含石英的火成岩总是和它密切伴生。

对于贫矿，特别是难于集中富集的（如斑岩铜矿）或宏观手段不可能发现的矿床（如内华达州的卡尔林金矿），找矿地球化学是理想的适用方法。因为地球化学拥有直接观察所求元素或伴生元素的手段，并发现异常。当然，另外也还有许多找矿方法，不过都是间接的。就物探方法而言，主要依靠的是元素或矿物的某种原生物理特征或感应次生物理特征，目前看来也还是间接的手段。在确定远景区和构造方面，地质方法虽然很有价值，但在下述意义上仍属于间接的方法，因为它不能发现盲矿或化学异常。但是应该强调，地球化学找矿要和尽可能多的其他方法、手段相结合。和它关系非常密切的地球物理方法，可以发现地球物理异常，而一万个物探异常当中可能有一处会是日后建成矿山的起点。至于正在进行勘探的地区，有人认为，“一千个勘探区只有一个可以成为矿山，而且可能要从二百个勘探区当中选定一个进行加强勘探，其投资额则需几百万美元。”在许多情况下，地球化学可以帮助解释物探异常以及评价勘探区和地质远景区。在实际工作中，地球化学通常不是唯一的方法，而要在一定的阶段与物探、地质相结合。根据远距离研究，特别是卫星照片或其他图片确定地区并开展大面积的地球化学测量，是这个专业领域的最新成就。借助卫星研究地球资源的计划，为空前的大范围找矿开辟了广阔前景。大比例尺的构造与岩石研究，往往会发现总的地质态势，从而需要用包括地球化学在内的各种方法进行更详细的了解。

## 历 史

许多概述地球化学史的资料指出，地球化学找矿与勘探的开端，可以追溯到古代。正如现代的地球化学找矿人员一样，那时的淘金者也是追索金的分散晕。同样，古人搜寻铁化痕迹或铁帽，实质是在探索隐伏矿床的标志。古今的区别只在于前者限于矿物的观察，后者则利用了化学分析。

在古典文献和文艺复兴时期的著述中，已经提到化学方法用于找矿，特别是在分析天然

的石头、泉水和泉水的沉积物方面。H. E. Hawkes就曾引用过1540年威尼斯出版的Biringuccio 论文中的一段；R. W. Boyle也曾从1546年巴塞尔出版的阿格里柯拉的著作里摘录过下述材料：

“至于谈到找寻矿物，不一定非要去发掘，因为水的力量能够把矿物本身、矿物碎屑和矿物的‘浆液’从岩脉当中带出来。泉水剥开了岩脉，从中运出我所说的这些产物，挖矿的人首先应该注意其中是否有混在砂里面的金属或宝石，或是水中是否有矿物的‘浆液’。若是见到金属或宝石，不仅要淘洗泉水砂，而且应该淘洗泉水形成的溪流砂，以及溪流汇入的河流下游的河砂。如果发现河水中的矿物‘浆液’，也要加以收集。距离水源愈远，汇入的支流愈多，水质也变得淡薄，失去了原来的力量。假如没有支流或支流极少，除河流本身之外，它所注入的湖泊也会具有和水源相同的那些标志，也可以淘砂找矿。按照所含杂质的不同，泉水有多种不同特色，而且可以分成六大类：水味咸的说明蒸发后可以得到盐；含硝的表示水中有碱；铝质的水含明矾，硫酸质的水存在矾类；硫磺矿水含硫；含地沥青的‘浆液’，它本身的颜色已足够说明问题。”

正如Boyle所指出，这段话是在十六世纪中叶对水地球化学方法所作的精采描述。从阿格里柯拉的著作中还可以引用其他的例证，说明中世纪的人已经认识到我们今天所说的脉状硫化矿物氧化造成的热效应，并用于生物地球化学找矿。当时还了解到，植物可以是一种找矿的指示，尤其是土壤的微量元素过多引起毒化作用而造成的褪色现象和植物器官的某些物理变化，则与矿化带有关。矿化作用对植物的影响，据Boyle的叙述，至少在八世纪或九世纪已为人所知。中国人很早发现，某些植物的生长趋向于银、金、铜、锡矿床，因而可以用来找矿。他们显然还认识到，植物本身含有金属，甚至从某些植物中提取了汞。从十七世纪开始，文献中出现了不少有关化学与生物地球化学方法找矿勘探的记载，特别是二十世纪初期以来，这种报道更多。大家都很清楚，找矿地球化学的现代方法并非有了什么全新的理论依据，而只不过是有了更灵敏的手段，从而对五百多年来找矿人员曾经利用过的自然物质，能够取得更大量的、质量高的数据和资料。

现代化的找矿地球化学方法，首先是在三十年代初期用于苏联。之后很快推广到斯堪的纳维亚半岛国家，特别是瑞典。1932年，苏联的地质人员开始执行第一个大比例尺普查计划。他们改进了发射光谱分析，提出了标准找矿地球化学填图的土壤取样方法。这种方法最初用于找锡矿，但土壤和风化岩石的测量很快就用于找铜、铅、锌、镍、钨和其他金属。大部分分析工作是在野外或野外实验室利用半定量发射光谱完成。大体就在这个时期（三十年代中期至三十年代末），苏联、瑞典和芬兰开展了用于找矿的植物研究，其中包括植物分析和选择指示性植物。

始于苏联和斯堪的纳维亚各国的地球化学找矿，在某种程度上还是借鉴了这些古代和中世纪的文献资料。二十世纪初期以来，形成了有指导意义的地球化学基础学派，其代表人物有地球化学家В. И. Вернадский，生物地球化学奠基人А. Е. Ферсман。特别是后者最先注意到与金属矿床伴生的原生、次生分散晕的重要意义。对这个学科有过贡献的苏联的知名地球化学家当中，还应当提出И. И. Гинзбург、А. П. Виноградов、Д. П. Малюга。这时在挪威，V. M. Goldschmidt完成了有关元素分布的经典工作。地球化学家不仅首次对各类岩石中许多重要微量元素的分布作出了定量评价，而且借助于Goldschmidt的努力，总结了决定这种分布的规律并为后来的找矿实践所应用。此外，T. Fogt在挪威进行了已知硫化矿床风化物在土壤、植物和水中分散的研究。在芬兰，K. Rankama考察了北部冰河区某些镍矿

床植物中的镍含量。这样，到1940年就奠定了通过土壤、植物和排水盆地的研究开展现代化学方法找矿的基础。第二次世界大战开始时，这项工作在苏联和斯堪的纳维亚半岛实际已经走上轨道。

直到第二次世界大战末期，除个别例外，大多数国家对找矿地球化学没有给予应有的注意。只是在1945年，F.N.Warren及其在不列颠哥伦比亚大学的同事才开始以找矿为目的来研究利用植物中金属含量的分析数据。生物地球化学找矿的初次尝试，在加拿大发现了已知金属矿床周围存在铜、锌异常。在不列颠哥伦比亚大学后来的研究过程中，为了某些金属的快速、简便的化学测定，开始使用二苯硫代胍脲这种比色化学试剂。照Boyle和Smith的说法，“这可能是比任何别的因素更加促进了加拿大找矿地球化学方法的发展。”到1950年，土壤和水的研究价值（后来又加上底积物），开始超过了生物地球化学。Boyle和Smith曾经介绍过加拿大找矿地球化学发展史的某些方面，其中包括五十年代起开展这项工作的加拿大地质局的许多基础理论与实践成果。本书提到的大量文献和选用的插图，可以说明这些成果的意义，其中不少是与Boyle本人的工作有关。有一件事值得在这里提出，即Boyle和Smith两人认为，1954年开始使用的一套地球化学样品分析的野外化学装备的优点是值得怀疑的。当然，技术熟练的人使用这套设备在野外完成分析任务有许多方便，而且能就地看到结果。但如果技术不过关，也会造成严重的失误。一开始，某些计划单位和行政部门按照一般的判断曾经很相信这套设备，但后来却落了空，甚至使地球化学受到非议。直至不久以前，由于一系列无可争辩的成绩才又使它恢复了名声。与其他国家不同，在加拿大使用地球化学方法可能要更慎重，因为存在诸如冰川覆盖和许多地区排水不良等特殊条件需要考虑。凡有可能，本书尽量选用加拿大的实例，当然也注意到气候特殊的其他地区，比如热带干燥气候的澳大利亚。

在美国，找矿地球化学真正得到实际应用，大约是在1947年地质局的工作开始时期。最初几年在这方面顺利展开工作的有Hawkes、Huff、Ward、Lakin、Lovering、Canney、Bloom等人。在不同的地质和气候条件下，进行了所有取样类型的实验研究，目的是确定岩石、土壤、植物、天然水的元素特征分布。五十年代初，大型采矿公司在阿帕拉契亚山脉以南和太平洋沿岸的西北若干地区从事地球化学找矿。一开始，美国地质局主要指靠的就是野外比色测定，而不是苏联采取的发射光谱法。工作成果已经反映在一些出版物上，其中论述了便于测定金属矿物的比色法。这些方法在其他国家的应用情况也较好。此外，无论是在一般的实验室或野外流动实验室，美国地质局也充分注意发展发射光谱分析。

在英国，由J.S.Webb教授负责，于1954年在伦敦大学附设的皇家科学技术学院设置了应用地球化学研究组，随后开展了有关基本原则和分析方法的大量工作。这个小组还组织执行一项在英联邦国家，特别是非洲和远东一些国家找矿的庞大计划。该研究中心毕业的人，目前在世界的许多国家，其中包括加拿大和非洲、澳洲的国家从事工作，担任着政府机关、工业部门和大学的重要职务。法国的找矿地球化学研究始于1955年，不过很快就在本国和非洲的一些国家投入实际运用。

没有必要列举目前已经开展找矿地球化学工作的所有国家。只指出一点就足够说明问题，即凡有地质机构的国家，在现代的找矿和地质测量工作中，几乎都要利用地球化学方法。美国的一些州（特别是阿拉斯加）和加拿大的某些省（魁北克、安大略），也是如此。凡是本身没有设立地质机构的国家和地区，可在一项发展计划内由联合国进行地球化学找矿，有时



也很有成效。例如，在巴拿马就发现了斑岩铜矿床。显然，在采矿工业空前活跃的现代，无论工业部门和政府机构，找矿地球化学的利用程度将越来越高，如果资金和设备能有保证，发展会更顺利。

五十年末现代地球化学找矿方法的迅速进展归功于一系列因素。Boyle 和 Smith 继其他人之后曾对主要的基础性成果归纳如下：

1. 查明了与金属矿床有关的原生、次生分散晕和疏松层的性质。虽然这两者与金属矿床有关早在几百年前已为人所知，但只是在苏联和斯堪的纳维亚国家于三十年代至四十年代初期开展工作以后，才使这方面的资料系统化而更便于使用。

2. 苏联在三十年代采用发射光谱法以及美国地质局在四十年代末、五十年代初使用特别灵敏的比色试剂（特别是二苯硫卡巴腓），连带促进了精确、快速分析方法的不断完善。

3. 制成了聚乙烯实验用器皿和设备，从而解决了污染问题并提高了野外分析的可靠性。采用了离子交换树脂清除化学分析用水中的金属。

4. 五十年代末研制成功原子吸收光谱，可以快速、准确、灵敏并几乎毫无干扰地测定找矿地球化学所需多种元素的含量。

5. 发展了气体色层分离法，大大加强了可燃碳氢化物的找矿效果。这种非常灵敏的方法一举取代了过去往往不太令人满意的分馏法与冷凝法。

6. 统计方法和电子计算机的应用简化了分析的数据的推断解释工作。

以上各项重大成就，本书的有关章节将作详细介绍。

## 研究的分类

### （找矿地球化学方法的种类）

以上谈到几种地球化学找矿方法，但没有涉及它们各自相对的重要意义。表 1—1 的最新统计说明，没有一种方法能够受到特殊的重视。加拿大曾经把金属量测量当作重点，而美国则一度侧重岩石地球化学分析。选择找矿研究的种类，要根据整个设计的特点、找矿对象的地球化学特征、取样的性质和难易程度、气候条件与风化状况，以及具体地区的元素分散特点。例如，地势低下、覆盖层厚和水量不多的地区，如澳大利亚的很大一部分，土壤的研究应该胜于岩石、水和其他。另外，不同的找矿研究的相对意义，由于找矿目的和地点的改变，也会年年有所不同。一般来说，在最不发达的国家，最好是开展底积层踏勘。

表 1—1 列举的各项研究，是按照取样和分析的试料种类划分的。但是地球化学研究也还可以根据不同的任务分类，例如踏勘研究和详细研究，因为这两种研究方式的取样和分析试料有所不同。踏勘的目的是大面积评价，范围可达几万或几十万平方哩，比如：大片的租让地，有特殊地球物理或地质意义的远景区，或是已有不少申请提出要求调查的地区。这就需要区分有矿与无矿的面积，以便于下一步的工作。因此，踏勘是用来选定一个面积，而不是确定具体矿床的赋存。为了查清由地质条件和所求元素决定的整个地球化学状况，取样密度一般要求不大，大致为 2.6 平方公里、甚至 260 平方公里取一个样品。踏勘研究的时间一般不长，每一单位取样面积的开支少，每一样品所代表的地区范围大。底积层（排水盆地）取

1970年6月1日至1971年5月31日加拿大与美国分析过的地球化学样品种类  
(以百分比计算)

表 1-1

	加 拿 大	美 国
土 壤	56.7	19.0
岩 石	14.6	44.0
底沉积物	23.4	23.0
水	2.7	8.3
植 物	1.9	4.3
空 气	0.2	0.9
其 他	0.4	0.5
分析样品的数量	99.9% 812456	100.0% 337370

样最适合踏勘调查。详细研究的工作区域为较小的局部，面积由几哩到几十哩，目的在于更确切地圈定具体的金属矿床或可能有矿床赋存的特征构造（如断层）。在详细研究过程中，尤其是寻找矿脉或其他较小的对象，取样间距可以缩到3米或更小。这时，最主要的是土壤和植物取样，至于岩石、水及其他方面的取样则应按具体情况决定。但是不要忘记，根据不同情况，采取的每一种样品既可用于踏勘，又可用于详细研究。以下几节介绍的是几种主要的研究工作，同时初步说明取样与分析的几个基本类型的特点。图 1-1 是底积层和土壤样品分析数据的作图方法。

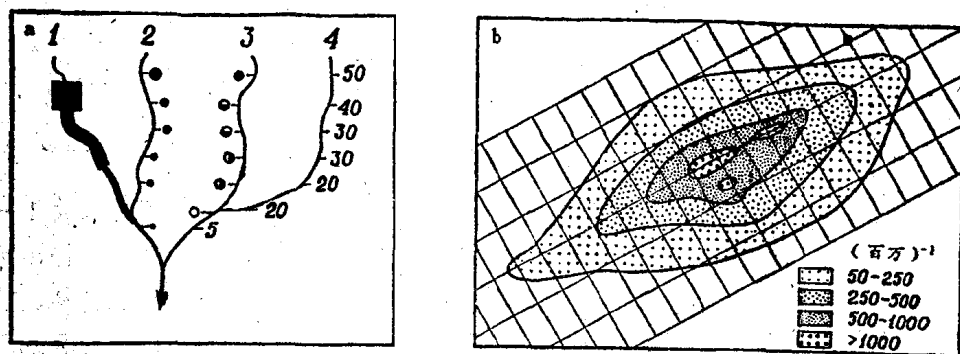


图 1-1 几种常用的分析数据作图法

左图 (a) — 根据底沉积物找矿 (排水盆地)

1, 2 — 与含量值成正比的图例符号; 3 — 不同符号表示不同含量; 4 — 数字表示, 一般以  $(\text{百万})^{-1}$  为单位。

右图 (b) — 金属量测量找矿结合土壤取样;

为了更形象地反映元素分布, 圈出了相同的金属含量 (等含量线)。

## 土壤取样

广泛用于找矿地球化学的土壤取样法, 已经取得了相当令人鼓舞的成果, 尤其是在风化壳研究方面。这种方法所以成功, 原因在于含矿岩石经风化、淋蚀之后, 上部的土壤以及其他的风化物和地下水, 也都带有元素的异常含量。因此, 运移到矿床范围以外的元素, 在覆

盖的土壤中形成异常富集（次生分散晕），其面积大大超过矿床本身（图1—2）。土壤具有分层结构，不同层的矿物组分和杂质元素含量互有区别，所以在不同的土层取样就会得到不同的结果。一般来说，根据A层与B层（真土）易于发现比较大的异常，C层则次之，因该层的组成是底部岩石程度不同的蚀变碎屑。B层的许多金属含量通常高于A层，所以在多数情况下也都侧重于B层取样。但是，由于土壤风化条件非常复杂以及其他某些原因，A层或C层取样也可得到很好的结果。经验证明，在冲积层（冰川沉积，风力搬来的砂）或厚土覆盖地区，例如西澳大利亚，主要的方法应该是深部钻探和靠近基岩取样。在其他地区，为取得最好的结果，应在土壤的所有各层取样。在理想的条件下，为了确定工作区的最佳土壤层面，事先要做一套土壤剖面取样（详见第4章“初步找矿”）。

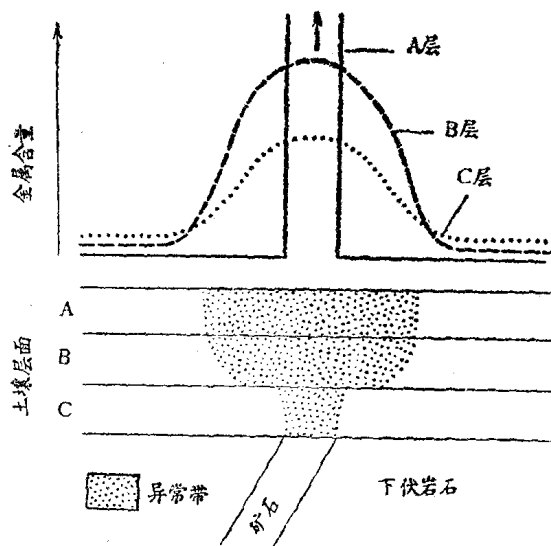


图1—2 次生分散晕横剖面示意及三个主要土壤层面的金属含量

层（冰川沉积，风力搬来的砂）或厚土覆盖地区，例如西澳大利亚，主要的方法应该是深部钻探和靠近基岩取样。在其他地区，为取得最好的结果，应在土壤的所有各层取样。在理想的条件下，为了确定工作区的最佳土壤层面，事先要做一套土壤剖面取样（详见第4章“初步找矿”）。

按照地球化学找矿的传统，土壤和底积物取样和分析粒度标准定为80网目。经验指出，在必须保证试料有足够的代表性和要求达到背景值与异常值最大显明度之间，这个粒度正是一个折衷的分析标准。然而也有例外。在某些情况下，例如找锡矿、铌矿和钛矿，化学与显微光谱取样分析最好是从土壤、冰碛岩或其他风化物中采取重矿物（稳定矿物）颗粒，进行重液分离或磁选。这时，土壤的粒度应大于80网目。选定这种粒级的取样，一般是在澳大利亚这样的红壤地区。关于这种情况，下面还要详细讨论。

在澳大利亚以及非洲和加拿大的一些地区，土壤取样可以用于踏勘和选择物探异常，但更合理的应用是在局部地区详细找矿时确定某个具体异常的位置与大小。尽管异常往往与下部的矿化带有关，但淤积层的元素分散晕面积相对要比底积层（排水盆地）的分散晕为小。在许多情况下更侧重于残积层取样，因为这个方法非常可靠，比其他取样方法更少受到可变因素的影响与限制，但往往也会发现假异常。对于活动性不强的元素，例如铬，土壤的研究特别有用。无论是残留物或再沉积物的土壤取样，网度都比较密。在理想的情况下，土壤的元素最高含量应该直接见于矿床的上部，低含量则距矿体较远。实际上，由于多种因素的影响，比如土壤的移动或水文效应，这种简单的情况往往很少遇到，但为了确定异常来源的位置，一般要对具体情况进行仔细的推断解释（图1—3）。

在加拿大，适于土壤取样的是育空省、不列颠哥伦比亚、加拿大西北部和其他省的部分地区。在加拿大地盾，覆盖层基本上已被搬走，普通的土壤研究方法不适用，尽管各类冲积层的现代取样研究方法预期在今后可以大大提高其推断解释程度。目前已经发表了有关在加拿大地盾的某些地区用土壤取样方法找矿见成效的报道，但还都受特殊条件的限制。关于在

加拿大进行地球化学找矿的问题，本书第11章有专门介绍。

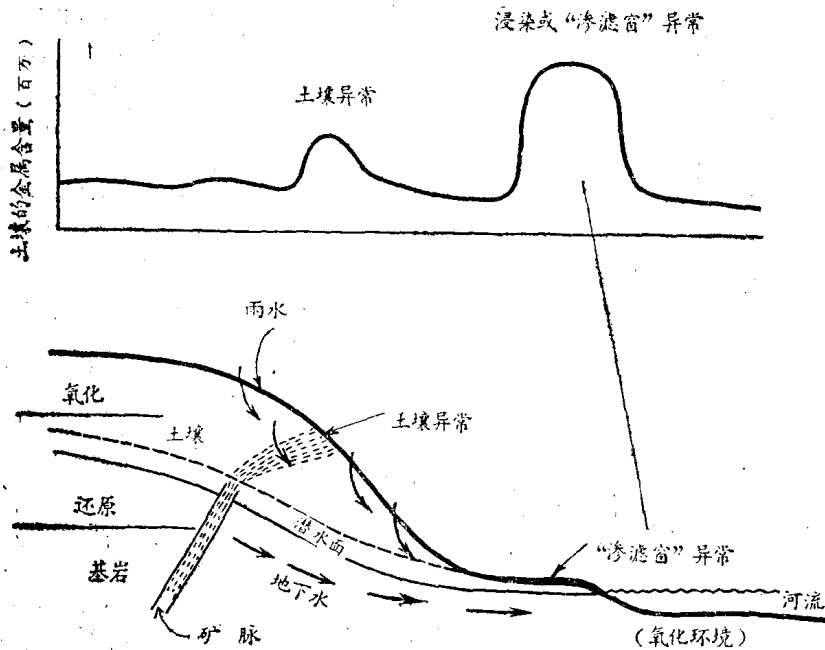


图1-3 地球化学异常与矿化来源之间可能发生的位移

土壤异常由于土壤移动而移位；从土壤中受水淋蚀的金属可以在水流出露地表时再沉积（在泉水露头），这种方式积累的金属称为浸染异常或“渗滤管”。如果直接在这种已经位移的异常上打钻，可能发现不了矿体。

## 岩石取样

运用基岩岩石取样方法进行找矿（也叫作岩石地球化学找矿）\* 的依据，就是分析整个岩石样品或其中的个别矿物。取样所采的是岩石露头或钻孔岩心，多数是未风化岩。除去表1-1所列美国材料以外，就全世界而言，岩石地球化学方法不如其他方法使用广泛。但目前有一种趋势，尤其是在研究单位，岩石地球化学方法较其他方法更受重视。

在区域性踏勘研究中，岩石地球化学方法可以用于发现有前景的地球化学省（成矿省）和有利于矿化的围岩。一般区域性的基岩研究，目的是查明地球化学的判断标志，以便根据这些标志划分与矿化伴生的岩石。例如，某些类型花岗岩的锡、钨、铍、铜或钼的平均含量高，另一些类型铀的平均含量高。正象针对个别矿物的微量元素含量一样，研究潜在远景区岩石微量元素含量的工作也一天天增多。就矿物来说，研究云母当中铋、锡、氯的含量，可以作为有色金属在相应的围岩里面形成铋、锡、氯矿化的指示元素。

大比例尺的区域岩石地球化学工作，文献资料为数不多，已知有澳大利亚，萨斯喀彻温、安大略、育空以及爱达荷的实例。在苏联，更大范围的岩石地球化学找矿实例较多，但细节我们不清楚。区域研究工作中，要在大面积上采取有代表性的样品是一件难事，因为就是在

\* “岩石地球化学找矿”这个概念，在苏联既包括基岩也包括疏松沉积物取样为基础的地球化学找矿方法。

不大的距离之内，岩石的矿物成分和微量元素含量会有变化，构造也有变化，甚至在一定的范围内缺少基岩露头。踏勘一般都是按照一个网度，尽管个别地区可能有几种类型的岩石。所以，成果的解释往往非常困难。应该特别注意仔细确定岩石的不同类型和蚀变程度，这对分析数据的推断解释十分必要。有的资料指出，某些经过仔细研究的具有大型工业矿床的地区（例如加拿大西北部的耶洛奈夫，育空的基诺希尔，新布伦兹威克巴瑟斯特—纽卡斯尔），围岩当中并未发现足以证明存在金属矿床的元素分布。因此，只要这个谜还没有解开，作出成果结论时就应十分小心，而且不能指望岩石化学找矿\* 能在每一个工作地区准确地指示矿化。

详细的岩石化学找矿可有不同的目的。有时是通过地下或地表取样来确定已知矿床界线。犹他州廷提克地区东部应用岩石地球化学方法成功地发现了新矿体，可算是经典式的实例。有些公司已经开始习惯于派出担负专门任务的地质队，在航空物探发现的异常区内采取所有露头的岩石样品。对这些样品通常是进行镍、铜和其他已知金属的分析。有的报道提到，地质队今后在划定的找矿面积范围内，对所有露头的岩石随机样品将只进行镍的野外定性分析。

但是，正如以上实例所表明的，详细的岩石地球化学找矿都是为了不同的近期目的。它可以是在排水盆地踏勘资料或其他方面地球化学、地球物理资料推断解释结果基础之上的详细找矿。在这种条件下进行的岩石地球化学找矿，特别是在金刚石钻探阶段，目的就是发现矿体或圈定与矿化伴生的元素原生分散晕（确定分散的性质）。周围的基岩往往反映出已知矿床界线以外是否存在矿体。凡有用元素含量降到背景值的面积范围，叫作原生晕。原生晕并不是找矿当中很大的“靶区”，它延伸超出矿床范围的距离只有几厘米到几十米。这时，取样的网度应足够密集，间距不可过大。但是象锌、汞等某些最易挥发和活动性强的元素，可能形成更广的晕，所以选择取样网度时要考虑具体的所求元素分散晕的特点，以及其他一些同样相当重要的因素，比如潜在矿体可能的大小和形态等。总之，原生晕的问题，包括研究它们的垂直与水平延伸在内，越来越显得重要，尤其是在找盲矿方面。

在找矿地球化学方法的简述中，Boyle和Garrett曾指出，根据苏联地球化学工作者的报道，某些与致密块状黄铁矿矿床有关岩石中的原生晕，垂直和水平方向的规模都相当大。陡倾构造中金属矿床的上部晕延伸距离可达1公里，水平方向展布距离为几百米到几公里。

西方的文献还没有介绍过未出露地表的矿床晕有类似的延展规模。也许这是由于通过分析岩石的一组微量元素来查明晕的方法还不够灵敏。可是，在塞浦路斯硫化矿床地表露头附近的工作证明，采用统计方法和多元变量来解释岩石地球化学找矿结果，可以发现距离矿体2公里远的晕。显然，原生晕对找寻深部埋藏的矿床，特别是构造条件有利时，可起重要作用。由于分析方法的现代成就以及推断解释采用统计方法，现在要比十年以前更有可能发现距离矿体很远的原生晕。可是不要忘记，某些矿床类型，例如同生的硫化物沉积矿床或是含铂的超基性岩，似乎并不能产生本来可以靠现代的测定和解释方法发现的原生晕。

## 河流沉积物取样

底积物取样方法几乎无例外地用于河盆地的踏勘研究。如果取样方法得当，采得的样品将是从小样点开始逆流而上整个集水面积内很有代表性的试料。谈到排水盆地的研究，一般

\* 这里指的是区域找矿工作中的基岩地球化学取样。

指的就是底积物取样，但也可以包括水的取样和重矿物的重砂分离（图1—4），甚至还包括湖泊沉积物。从六十年代起，在踏勘当中开始普遍研究底积层，经过一系列的工作（包括苏联的工作在内）证明，这种方法既有效又经济，可以帮助圈定需要进一步详细研究的地段。每隔1.5公里取4~5个样品或是研究从中分离出来的重矿物，可以在集水面积内发现地球化学异常或矿物异常，并追索其产生来源。一般来说，取样的河流越大，发现对底积层微量元素含量有影响的矿化带的概率也越高。

踏勘取样的密度在很大程度上决定于找矿对象。比如，据Webb的介绍，在赞比亚曾采用过20万平方公里面积内每260平方公里取一个样品的底积层取样密度；在北爱尔兰则是每2.5平方公里取一个样品。如果条件十分有利，例如在赞比亚和塞拉勒窝内（详见第9章）开展的某些工作，一个底积物样品可以代表25平方公里以上的集水面积。通常选用的沉积物都是参与运移过程并处于有效河床的，许多人把它们称为有效沉积物。如果条件有利，也可以利用属于侵蚀旋回早期的古老阶地沉积物和河谷平原沉积物。河流沉积物取样，在苏联，在北美、南美的许多地区，在非洲的东部和西部以及澳大利亚与爱尔兰等地都广泛开展了工作，发现了一系列矿床。为了判明地球化学省的界线和选择航空物探异常，研究河流沉积物也是有用的。这个方法适用于各种气候条件，而以大气降水适量地区为最好，但在诸如墨西哥和澳大利亚常见的那种水流季节性干涸地区，也完全可行。取样粒度通常小于80网目（粘土或淤泥），然后在野外或实验室内进行化学分析。使用多种化学方法，包括弱冷酸或缓冲剂萃取、熔融或热酸处理，等等。选用什么方法要根据欲测元素的特点，当地的风化条件和其他一系列因素（详见第6章）。

底积物找矿见效果的最主要原因在于：许多矿物，特别是硫化矿物在风化过程中不稳定，经过氧化或其他化学反应而分解；最后，矿石和指示元素都变成溶液而被潜水搬运到较远的距离，但不超出排水盆地的范围。元素的活动能力也很不相同（详见第3章）。吸附作用和pH—Eh等许多因素，都对元素的活动性有控制作用。如果盆地存在金属矿化，那么这个范围里面的细粒河床沉积物当中，尤其是粘土当中金属元素或指示元素的浓度就会升高。在巴拿马的一个斑岩铜矿区，有效沉积物中发现的异常距矿床17公里。搬运这些元素的河流，本身不一定穿过矿床，因为金属的来源可以是汇入河流的潜水或泉水。

说到这里，以上的这些讨论都是根据一种设想，即河流沉积物的金属是由溶液搬运而来。但也有另外一种解释，即归结为碎屑的机械移动。在物理风化，也就是机械风化为主的地区（沙漠或地形复杂地区），金属矿物能以碎屑物的形式机械地分散在底积物中，经过相应的化学分析可以从中发现成矿金属或指示元素。距矿化带愈近，这种碎屑颗粒的数量所见愈多，金属或指示元素的含量也相应增加。如果河流切过矿化带，碎屑沉积物中会产生异常。除对整个样品或其中大小不同的颗粒进行化学分析之外，作为一种补充，也可以把重矿物分离出来从事矿物对比或个别分析。重矿物颗粒的分离，同样采用找脉状矿床行之有效的传统方法，即在河流沉积物或河盆地细砾中常用的重砂淘金、淘锡或淘洗其他稳定重矿物的办法。

研究河流上游沉积物的金属含量数据，我们可以发现一个含量最高点，并把它叫作起点。它一般也就是金属富集的地下水进入排水盆地的位置，或者是金属矿物碎屑进入河流的位置，或者更可能是河流真正切过矿化带的位置。在理想的情况下，金属含量由起点逆流而上则迅速下降，顺流向下则随浓度变稀而逐渐减小。可是在实际工作中确定起点的位置却相

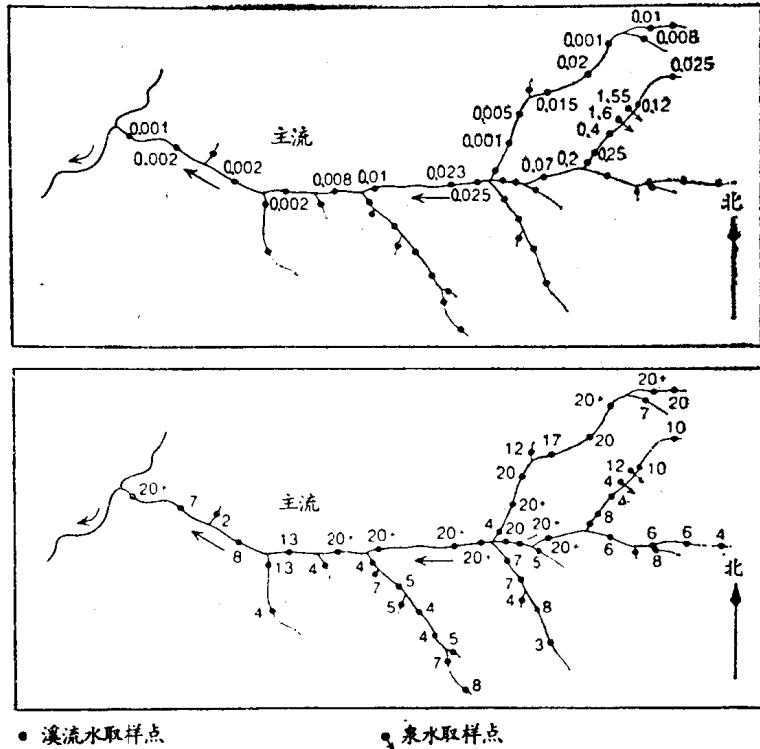


图1-4. 泉水、溪流水(上)及其底积物(下)的重金属(主要是锌)含量, (百万)<sup>1</sup>

当困难,尤其是遇到异常样品的含量仅略高于背景值,或是河盆地受到矿山工程及其他方面的污染等情况。此外,并非所有的起点都与矿化有关,因为不少是由与矿化无关的其他自然异常所造成。

找到起点以后,下一步就是查明异常来源。在这方面,宏观考察只是第一步,接着则是找寻矿化,研究地下水露头 and 可能的污染来源,等等。如果什么也没有发现,这时,作为找矿工作的最后一步,可以进行沿岸取样。这指的是在河流两岸以及河谷两旁坡地底部采取土壤和冲积层样品。因为这些地方由于潜水的渗滤作用可能发现所求的金属,从而指示出异常来自河流的哪一方(图1-5)。沿岸取样是进行土壤详细研究的准备阶段,可以帮助确定详细工作的面积范围。还要看到,河岸异常往往发育较弱,或根本不存在,但若一旦发现,则很有价值。

### 水地球化学找矿

从应用地球化学的角度来说,应该根据生成来源把水分为两种类型:①地下水;②地表水。两者的化学、物理性质互有区别。地下水比地表水一般更富含可溶组分。这在已经氧化

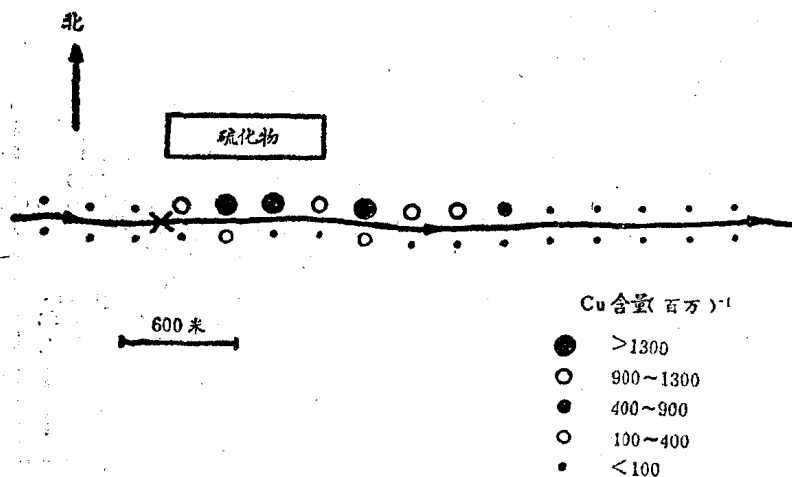


图1-5 沿岸取样法

本图以不列颠哥伦比亚的工作实例为依据，研究一条东向的河流底积物，起点用×号标出。沿河两岸的取样结果显示异常值位于北岸，后来确在该地发现硫化矿体。

的硫化矿床附近表现特别明显。因为这种地方的pH值低，地下水更易于溶解和搬运金属。根据这类原因，地下水成为找矿地球化学的一种潜在的矿化指示，尤其是呈酸性反应、深度不大而便于取样的地下水，更是如此。地表水的溶解能力较差，它在找矿地球化学中的重要作用就是可以搬运随地下水进入排水盆地的已溶金属。排水盆地的踏勘，往往同时采取和分析河水样品与沉积物样品。其它类型水的研究，例如潜水、湖水、沼泽水和泉水，无论在踏勘阶段或随后的详勘阶段，都要进行。化学元素通过地表水与地下水而发生运动的过程，和前边提到的土壤与沉积物的情况相似。这个过程机理在于一部分元素经过化学风化、氧化和淋滤之后进入河盆地。如果存在已经氧化的硫化矿床，接近地表的潜水可以溶解数量可观的金属并把它们搬运到地表盆地（图1-3）。活水中的已溶元素形成分散裙（元素浓度逆流向上游金属来源的方向而加大）；在滞流水，如湖水中则形成分散晕（元素浓度愈靠近含矿来源愈大）。这两种分散类型的区别示于图1-6。

前面已经讲过，分析泉水及其沉积物而作为水地球化学的一种方法，已有几百年的历史，至今在找矿当中使用水的范围也不大（见表1-1）。原因是这方面会产生许多不易解决的问题。比如，水的金属含量决定于降水量和季节，这就使推断解释工作复杂化；多数金属在水中的浓度很低（不超过 $(十亿)^{-1}$ ），难于分析；过去要求分析的样品量较大，水不便于采集和运输；另外，很多地区的地下水已经严重污染。现代分析化学的发展水平已经可以保证在野外条件下就地进行比色测定和仪器测定，而且要求的水样不超过100毫升，因此水地球化学找矿才开始较为可行。在加拿大，不少矿化远景区均有湖泊、沼泽和泥炭沼覆盖，工作证明可以广泛采用水地球化学方法。加拿大西北部科珀曼河盆地铜矿床附近对湖水所作的研究，充分说明区域地球化学找矿在该地一处长达300米的湖中取样，成效很大。当然，底积物取样可能更有前途。在比佛洛支铀矿床，在萨斯喀彻温和加拿大地盾，湖水用来圈定含铀沥青的矿化带。在克罗拉多盆地，地下水和井水取样被用于找铀矿。除一般可作为矿化指示的水源沉积以外，找矿地球化学相当感兴趣的还有锰的氧化物、褐铁矿以及地表水、潜



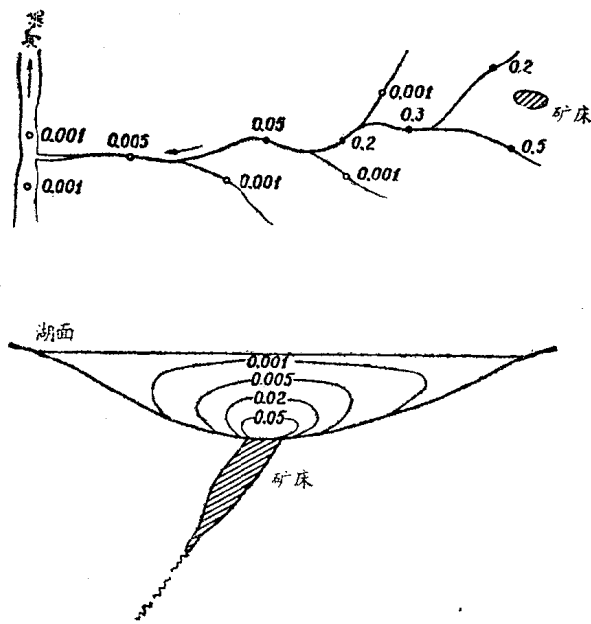


图 1—6 水层分散带与分散晕的区别

上图：铜—锌矿床附近排水水系金属的理想分布；

下图：超覆于铜—锌矿床上部湖水金属分散晕的理想剖面，含量单位均为（百万）<sup>-1</sup>。

水析出的某些沉淀物，因为这些都能吸附金属离子，但其取样、分析应与另外样品分开。在难于进行沉积物或土壤取样的密林覆盖地区、山区和湖泊分布地带，开展水地球化学方法的潜在可能性很大。

不久前发表的对加拿大地盾应用水化学方法所得成果的概况介绍指出，这些方法可以为找矿提供第三种测试数据，也就是说，水在深部淋蚀大量岩石之后，能够不受限制（自由）地向地表或地下井巷显示是否存在隐伏的矿体和矿床。但这份材料的作者得出的结论却认为，这些方法目前还不能用于加拿大地盾和其他地区。水地球化学方法已知是在有限的程度上用于苏联，西方（资本主义）国家则专用于找铀矿。最近开展的工作曾试图进行水的硫酸盐离子及其他组分和硫化物矿化的对比，但除一项研究以外，其余的结果都不满意。一般公认，水地球化学异常的解释应该有水文地质工作者参加，尤其是在区域普查找矿阶段和地质、水地球化学情况复杂的地区。考虑到近一个时期在金属与非金属方面已经取得有望成果的情况，看来对水地球化学方法应该更加注意。这方面的一个实例就是曾经利用地下水中的氟作为萤石矿化的找矿指示。高灵敏度室内分析方法的采用以及保证野外精确测试的轻便仪器的出现（Eh、氟、碳酸盐离子等方面的测试仪），打破了过去水分析的某些限制。此外，随着环境研究的开展，已积累了大量有关地表水、潜水及其伴生沉积物中分散元素含量数据。这些基础性的水地球化学资料完全可以用于找矿地球化学。以上所述也完全适用于找石油和天然气时见到的地层水。现在已比过去更易于测定溶于水的碳氢化物（例如苯），硫酸盐同位素组成的变化，已溶的无机组分（例如溴、碘、镍、钴）以及地层水的含盐度。