

A22

朱有光 蒋敬业 编著

金矿床地质与勘查评价系列丛书



金矿地球化学找矿

中国地质大学出版社

金矿地球化学找矿

朱有光 蒋敬业 编著

中国地质大学出版社

· (鄂)新登字 12 号 ·

© 金矿地球化学找矿
朱有光 蒋敬业 编著

出 版 中国地质大学出版社
(武汉市·喻家山·邮政编码 430074)
责任编辑 赵颖弘 责任校对 熊华珍
印 刷 中国地质大学印刷厂印刷
发 行 湖北省新华书店经销

开本 787×1092 1/32 印张 7 插页 3 字数 150 千字
1993 年 2 月第 1 版 1993 年 2 月第 1 次印刷 印数 1—1500 册

ISBN 7-5625-0751-1/P·262 定价 3.25 元

目 录

绪 论	(1)
一、地球化学方法在金矿普查、勘探中的作用和地位	(1)
二、微金分析的主要方法	(9)
三、当前金矿化探面临的任务	(11)
第一章 地球及各类地质体中金的丰度	(14)
一、球外星体中金的丰度	(14)
二、地球中金的丰度及各圈层中金的分配	(18)
三、火成岩中的金含量	(23)
四、沉积岩中的金含量	(32)
五、变质岩中的金含量	(36)
第二章 金在内生和变质作用中的地球化学	(41)
一、金的地球化学性质简述	(41)
二、岩浆作用中金的地球化学	(43)
三、热液作用中金的地球化学	(52)
四、变质作用中金的地球化学	(58)
第三章 金矿原生晕的主要特征	(70)
一、金的矿田晕	(71)
二、金矿原生晕的指示元素组合特征	(73)
三、金在金矿原生晕中的存在形式	(77)
四、金矿原生晕中值得重视的其他指示元素	(87)
五、金矿原生晕分带特征的讨论	(100)

第四章 金的表生作用地球化学特征及其在找矿中的应用	(122)
一、金的表生作用地球化学研究的迫切性.....	(122)
二、土壤和水系沉积物中金的富集特征.....	(126)
三、金矿区土壤和水系沉积物中金的存在形式及其在找矿中的应用.....	(129)
四、金矿区土壤和水系沉积物中金的富集粒度特征及其在找矿中的应用.....	(145)
五、铁帽金矿的地球化学.....	(152)
六、表生条件下决定金相对富集层位的因素.....	(162)
第五章 金矿化探工作部署及异常评价	(165)
一、金矿化探工作部署.....	(166)
二、异常评价.....	(174)
后 记	(217)

绪 论

黄金这一自然界稀少而又被人类较早认识的金属，除了可作为首饰和装饰品、广泛用于现代工业技术中之外，还可以作为国际货币而著称。黄金拥有量的多寡是衡量一个国家经济实力的标志之一。因此，黄金资源的储备，不存在资源过剩的问题。也就是说，金矿的寻找，是一项长期的战略任务。金矿找矿方法的研究，具有长远的指导意义。本书试图总结近年来地球化学方法找金的新理论和新方法，以期进一步提高金矿化探找矿效果和异常评价水平。

一、地球化学方法在金矿普查、 勘探中的作用和地位

黄金属稀有贵金属，在原生金矿石中，金的含量只有百万分之几，用肉眼很难发现其中的金矿物，尤其是对那些蚀变岩型和微细浸染型矿床的金矿石来说，更是如此，这就给以肉眼识别矿石中 useful 矿物作为主要手段的传统地质学方法找金带来了很大的困难。金矿石中金含量极低的特点，致使矿石中的金矿物不能决定矿石整体的物理性质，又直接给地球物理方法找金造成困难，而地球化学方法是通过分析矿石和矿体围岩中的金及伴生元素含量的微小变化来进行找矿

的，它可以克服矿石和岩石中金矿物过于细小、肉眼不易观察及含量过低、物探方法不能直接测定的障碍，故从理论上来说，它应成为金矿普查、勘探过程中最有效的找矿方法。

然而，在70年代以前，用地球化学方法找金并未取得令人振奋的效果，在世界上只有为数有限的金矿床主要是通过地球化学方法发现的。如前苏联的穆龙套金矿就是根据砷的地球化学异常发现的，即50年代中，在前苏联乌兹别克，根据金矿与毒砂有密切伴生的关系，提出了依据砷的地球化学异常找金的方案，发现了包括大型穆龙套金矿在内的一系列金矿床。又如美国内华达州林恩矿区的卡林(Carlin)金矿的发现，地球化学方法也起了重要作用。1961年春开始沿着罗伯茨山逆冲断层进行地质填图和采样时，查明了金及其伴生元素砷、汞、锑的异常⁽¹⁾，1962年7月开始钻探，1962年9月发现了第一件够品位的样品⁽²⁾，1965年卡林金矿开始生产，目前已成为美国第二个重要的金矿山。尽管如此，在70年代以前，由于常规的金分析方法灵敏度较低，不易发现异常，或者虽有分析灵敏度较高的测试方法，但价格昂贵，故不利于推广应用。因此，在50、60年代，用化探方法找金主要是通过金的伴生元素进行的，使找矿效果受到了很大的限制。无疑，金元素是化探方法找金最好的指示元素。R. W. Boyle 和 Н. В. Рослякова 都强调指出：“尽管穆龙套金矿是根据砷元素的异常发现的，但如果直接用金作为指示元素，该矿床可以更快、更好地圈出来。同时，砷作为探途元素，并非一贯正确，在许多矿床上这种元素根本无效。汞也不总是金的出色指示元素。因此，应该直接用金作为指示元素，金矿应该靠金来找，在地球化学调查的每个阶段都应该测定金。

只有用这种手段，才能对潜在的含金区作正确的评价，并在其范围内用最低的成本发现金矿”⁽³⁾。

在我国，早在1965年，郑康乐等曾在河北金厂峪金矿做过用金作为指示元素的化探找金的试验工作，研制了金的活性炭吸附-撒样光谱分析法，把金的检出灵敏度提高到 10×10^{-9} ，使金矿化探中用金作为直接指示元素找矿成为可能。但其分析检出限高于金的地壳丰度，故用金元素圈定的异常规模较小，容易遗漏众多的弱异常，更难以满足区域化探对金的分析灵敏度的要求。1978年，在谢学锦教授的建议下，地质矿产部提出了区域化探全国扫面计划。这项计划的主要任务是在中国数百万平方公里范围内不同环境中，采集各式各样的样品，用多元素多方法的分析系统分析这些样品中39种元素的含量，然后编制地球化学图。所编的地球化学图可以为新矿床发现提供重要线索，还可为基础地质研究、农业与环境研究提供重要信息。在这项计划中，金元素被列为39种元素中必须分析的元素之一，并将金的检出限规定在 1×10^{-9} 。在1985年中华人民共和国地质矿产部颁发的“区域化探全国扫面工作方法若干规定”中，又将金的检出限降低到 0.3×10^{-9} 。而当时美国阿拉斯加区域化探计划中，金的检出限规定为 50×10^{-9} 。北欧的Nordkallot计划，金的分析检出限规定为 40×10^{-9} ⁽⁴⁾。为了满足区域化探全国扫面计划对金元素分析的要求，在全国范围内开展了快速、廉价、检出限低的金分析方法的研制工作。1979—1980年，河南省地矿局实验室陈绍仁首先研制成功了活性炭吸附-化学光谱法，它能在化探样品中测出低至 0.3×10^{-9} 的金含量。随后，其它单位又研制成功了金的原子吸收分析方法、活性炭吸附比色法、泡

沫塑料吸附比色法及微珠析出比色分析方法等。这些方法的研制成功，对化探方法找金起了决定性的作用，使我国成为世界上化探找金的先进国家之一。

在国外，据美国采矿杂志 1986 年的统计资料，在世界性找金热潮中，勘查经费 50% 用于钻探，28% 用于地质工作，16% 用于地球物理方法，6% 用于包括化探方法在内的其它方法。因而采矿杂志认为化探找金只是一种辅助方法。

在我国，由于微金测试分析技术的突破，首先在秦岭熊耳山北麓地区通过了 1:5 万的水系沉积物测量，发现了上宫大型构造蚀变岩型金矿床。由于区域化探全国扫面计划的实施，在新疆发现了阿希、沙尔布拉克及多拉纳萨依等金矿床，在辽宁发现了排山楼金矿。冶金部系统在 20 万平方公里重点成矿区（带）的地球化学普查找矿工作中，用 1:20 万和 1:5 万水系沉积物地球化学找矿方法发现了川西北甘孜丘洛金矿等。就全国而言，仅“七五”计划的前 3 年，用化探方法找到了金的矿产地 330 余处，矿床 68 个，大型矿床 6 个，开创了化探方法找金的新局面。就地矿部而言，在 1966—1975 年的 10 年间，用化探方法只发现了 1 处金矿产地。1976—1980 年的 5 年间，共发现了金的矿产地 5 处。而在 1980—1987 年，发现的金矿产地猛增到 277 处（均已经地表工程和深部钻探验证），且具有逐年增长的趋势（图 0-1, 0-2），使化探方法找金取得了突破性的进展。在地质、物探和化探三大找矿方法中，化探方法被公认为是最有效的找矿方法。1988 年 10 月，在河北省北戴河召开的第一次全国物化探找金经验交流会上，全国金矿地质工作领导小组组长陈毓川同志指出，中国用化探方法找金已处于世界领先地位。

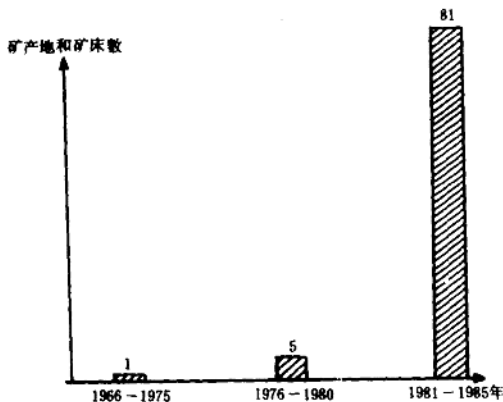


图 0-1 地矿部系统根据化探找到的金矿数
(据谢学锦等, 1988 年)

中国在用地球化学方法找金方面之所以能处于世界领先地位, 除了微金分析方法取得重大突破外, 还与广泛的采用了水系沉积物地球化学方法开展区域化探全国扫面和重点成矿区(带)地球化学普查找矿计划有密切的关系。

纵观现在世界上金矿床的成矿规律可以发现, 金矿床的成矿时代, 从太古代一直延续到第三纪、第四纪。有些砂金矿采区现在仍在进行着成矿作用。这说明金的成矿有着漫长

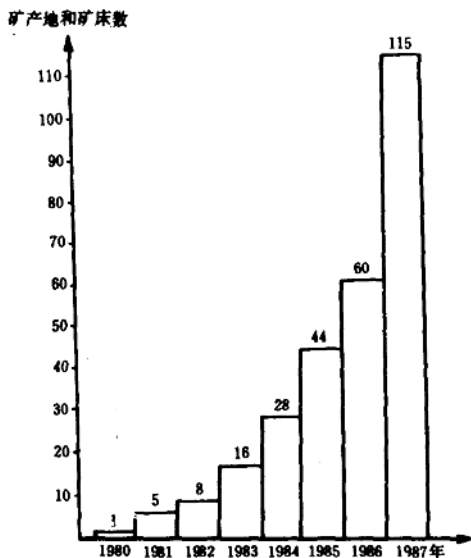


图 0-2 1980—1987 年地矿部根据化探方法发现的金矿
产地和矿床数增长情况柱状图
(据孙焕振等, 1988 年)

的时间域。同时, 金矿床可以发育在岩浆岩、沉积岩和变质岩等所有岩石类型中, 也可以发育在残坡积层和冲积层中。因此, 金的成矿又有广泛的空间域⁽⁵⁾。我国长江中下游与中酸性岩浆活动有关的斑岩铜矿和矽卡岩型钢铁矿床中普遍伴生金, 有的可构成独立金矿床; 我国东部东北—山东—东南沿

海的火山岩地区，广泛分布金银矿床；超基性岩经碳酸盐化等蚀变可形成金矿床（云南墨江金矿）；最近在华北燕山地区二长岩体内微斜长石交代岩的破碎带中，发现了钾化蚀变岩型金矿床⁽⁶⁾；黔西南、桂西北及滇东南地区的沉积岩分布区，无论在碳酸盐岩、碎屑岩或粘土岩中均有金矿产出；秦巴、川西北的浅变质岩中也发现中—大型金矿；古老变质岩分布区更是我国众所周知的重要金矿产区。这些事实说明，金矿的成矿没有明显的成矿时代专属性和岩性专属性，故金矿普查不能局限在局部范围内，因而大面积的区域普查是十分必要的。水系沉积物地球化学测量是一种样品采集少，控制面积大、追索矿源目标明确的找矿方法，是目前国内外公认的一种成本最低，效率最高（找矿周期短），效果最好的大面积区域普查金矿的方法，因此它在我国金矿找矿工作中发挥了重要的作用。近年来，我国所发现的众多金矿床中，由1:20万和1:5万水系沉积物地球化学测量所提供的矿化信息起着决定性的作用。

地球化学找矿方法，不仅在金矿的区域普查和地表疏松物覆盖下的隐伏金矿的找矿中发挥了重要作用，而且在金矿盲矿的勘查中也表现出明显的优势。

通过近一、二十年来的金矿地质、地球化学的研究，人们认识到金的地壳丰度极低，单一的岩浆作用（包括岩浆结晶和熔离作用）、沉积作用（包括形成含金为 $0. n-0. 0ng/m^3$ 的砂金沉积）和区域变质作用（包括有利于金富集的绿岩带）几乎都难以一次富集形成独立的岩金矿床。所有达到当今工业开采品级的岩金矿床，几乎都是初始状态的金在岩浆、沉积、变质作用中经历了多次活化转移、再分配再富集的过

程，最后在热液作用中富集、沉淀而形成。因此，可以说，各种类型的岩金矿床几乎无例外的与各种来源的热液活动有关，而热液矿床的原生晕是各类矿床中发育得最好、分带性最明显的地球化学异常，故各种类型岩金矿床形成的地球化学异常有利于用地球化学方法去发现和评价。当然，有些层控型的金矿床，原生晕的分带性并不是十分显著，这将为化探方法找金带来一定难度。

按照传统观念，金属金是化学性质最为稳定的金属之一。作为矿物形式的自然金，在自然界只可能产生机械搬运，而不可能产生化学溶解。因此，具有重要工业开采价值的砂金矿和砾岩金矿，都是纯机械搬运作用的产物。

近年来人们发现，“狗头金”绝大多数产于砂矿床，极少数产于所谓的原生矿床的“狗头金”，亦皆见于氧化带，真正产于原生矿石中的大块“狗头金”还未见报道⁽⁷⁾。多数研究者认为，“狗头金”、块金是化学成因的，因在表生条件下金是可以溶解、迁移、再沉淀的。金可以呈溶液形式迁移，砂金可以再生，这一关于金的表生溶液迁移的新认识，被涂光炽教授称之为80年代地球科学的重大进展之一⁽⁸⁾，这种认识具有重大的理论意义和实际意义，为水化学方法和生物地球化学方法普查金矿提供了理论依据。近年来，在前苏联、澳大利亚、美国、芬兰和我国等国都进行了用水化学方法和生物地球化学方法普查金矿的试验，这为土壤和水系沉积物地球化学找矿方法的改进及异常评价水平的提高提出了新的课题。

总结前面所述可以看出，由于金矿床形成的规律和特点，金矿床形成的控制因素及金的表生地球化学性质，决定了金

矿床可以形成所有类型的金的地球化学异常，具有应用各种地球化学找矿方法的前提，因而它们也适用于金矿普查勘探的各个阶段。同时，由于我国微金分析技术的突破（检出限低，分析成本低）和区域化探全国扫面计划及重点成矿区（带）地球化学普查计划的实施，使我国金矿化探的找矿效果居于世界领先地位。

二、微金分析的主要方法

在区域化探全国扫面计划和重点成矿区（带）地球化学普查计划的推动下，地矿部和有色金属总公司系统的许多实验室和研究机构，研制了众多快速、灵敏的微金分析方法，这些方法已汇编在中华人民共和国地质矿产部 1985 年发行的《金银的测试方法汇编》中，现就其应用较广的及新近报道的几种方法作简要的介绍。

1. 活性炭吸附-化学光谱法（河南地矿局岩矿测试中心研制）

采用王水分解样品，活性炭吸附柱分离富集金，在 1m 光栅光谱仪上，测定痕量金，按 10g 称样，可测定 0.3×10^{-9} — 1500×10^{-9} 的金，最近报道能在化探样品中测出低至 0.3×10^{-9} — 0.1×10^{-9} 的金含量。

2. 原子吸收分光光度法（黑龙江地矿局第三地质队研制）

采用活性炭吸附及 MIBK（甲基异丁基甲酮）-乙酸丁酯-异戊醇混合萃取剂富集分离后，直接火焰测定，10g 试样可测定 0.001×10^{-6} — 0.5×10^{-6} 的金。

3. 活性炭吸附-硫代米蚩酮比色法 (浙江省地矿局第三地质队实验室研制)

样品经王水分解, 采用活性炭动态吸附, 盐酸、过氧化氢提取, 在此介质中 ($\text{pH}=3-4$) 硫代米蚩酮 (TMK) 还原 Au^{3+} 为 Au^+ , 然后与 Au^+ 络合, 被甲基异丁基酮-异戊醇萃取, 借以进行比色, 取 10g 样品, 测定下限为 1×10^{-9} , 测定范围为 $1 \times 10^{-9} - 800 \times 10^{-9}$ 。

4. 测定痕量金的铈试金富集-光谱法 (郑州矿产综合利用研究所研制)⁽⁹⁾

利用金属铈作为贵金属的捕集剂, 灰吹为贵金属合粒, 然后用发射光谱法测定。这个测定方法的检出限为 0.2×10^{-9} (用 1m 光栅光谱仪时), 测定范围为 $0. n \times 10^{-9} - n \times 10^{-6}$ 级, 平均相对标准离差 (RSD) 一般在 10% 左右。该法不仅灵敏、准确、精密快速, 而且设备简单、容易掌握、易于普及。

5. 微珠析出比色分析方法 (中国地质大学 (武汉) 应用化学系研制)⁽¹⁰⁾

该法的要领就是, 先将 Au 与 TMK 显色剂的正辛醇溶液络合, 显色于含有掩蔽剂、缓冲溶液有机提取剂的乙醇-醋酸-水的混合介质中, 然后加入水改变介质的成分, 使有机相富集 Au-TMK 络合物成微珠析出, 再加入表面活性剂, 减少微珠与水相的表面张力, 使微珠收缩, 加深微珠的颜色, 直接在坩锅中目视比色。该法检出限为 0.2×10^{-9} , 特点是灵敏、试剂用量少、成本低, 适用于室内外快速测定。

6. 痕量金野外快速测试方法 (浙江省地矿局第三地质大队、黑龙江省地矿局第三地质大队研制)⁽¹¹⁾

采用水浴封闭无污染溶矿泡沫塑料吸附富集金的技术和

无臭灰化，TMK 在含金泡沫塑料上直接显色，目视比色，能检出 4×10^{-9} — 10×10^{-9} 的金含量。

7. 泡沫埋入法（武警黄金地质研究所研制）

这不是一种独立的分析方法，而是一种取样富集方法。其工作步骤是，按工作目的和要求布置测网，在测点上挖一小坑，整平后放一块泡沫塑料，将泡沫塑料上挂的标签留在坑外，均匀地盖一层原土，再喷洒一定量的稀王水，埋好。4 小时后取出，按编号装入样袋，可选用高灵敏度的无火焰原子吸收法进行测定，也可在野外现场分析。该方法的样品代表性好，异常突出，简化了分析程序。

三、当前金矿化探面临的任务

前面已经说过，我国由于微金分析技术的突破和第二代区域化探扫面工作的开展，80 年代以来，化探方法已为金矿产地的发现提供了大量的信息，提供了数以百计的矿产地，金矿化探的形势正处于上升趋势。但是，近年来所证实的数以百计的金的矿产地与业已发现的数以万计的金异常相比仍然是微不足道的，并且多数分布在研究程度较低的边远地区。如何从这大量的异常中进一步筛选出更多的矿产地，确定有远景的成矿区（带）、矿田，甚至具有重大经济效益和社会效益的超大型矿床，如何从已经地表验证为由金矿化引起的异常中评价其深部的含矿性和矿化规模，确定更多评价矿体剥蚀程度的定性、定量指标，都是今后一段时间里，保持金矿化探的找矿优势，推动金矿化探技术进步的关键课题。

金矿化探异常检查和评价工作，是一项带有很大探索性、

科学性和技术性的工作，要提高金矿化探异常检查和评价的水平，关键在于提高化探人员的素质和加强应用基础研究。

伊安·汤普森在论述加拿大 80 年代地球化学找矿面临的任務时指出，80 年代勘查地球化学真正的挑战是要对地球化学过程有根本的理解和认识，而后再应用各种技术^[12]。R. W. Boyle 指出，要更加重视对元素在内生和外生条件下发生迁移的控制因素的研究^[13]。这说明科学研究工作具有越来越大的意义。目前，国外许多从事矿产普查勘探的公司已经为此目的花费了其年度拨款的 10—12%。

因此，应密切注视当前构造地质学、岩石学、沉积学、矿床学、地球化学和地球物理学的新进展，通晓金矿床成矿的地质条件和超大型矿床的分布规律和特殊的形成条件，从战略上深刻把握金异常发育的地质构造位置，采用多学科的综合分析、研究和筛选，在综合学科都认为有望的地段，再采用多兵种、多手段分别进行进一步的检查和研究，分别确定各自的评价指标，然后再进行更高水平、更多资料、更具体的综合评价，为工程验证提供更可靠的依据。为了使地球化学异常的评价取得突破性的进展，不一定单纯从地球化学方法本身找出路，而应从综合兵种的综合方法找出路。根据不同情况，充分发挥不同方法的优势，以最有效的手段、最快的速度确定潜在的矿化规模。实践已经证明，在发现地表或近地表的矿化信息方面，地球化学方法已占了优势，而在异常深部评价的过程中，物探方法有可能发挥重要的作用。

当然，在提高地球化学异常评价水平方面，作为地球化学方法本身仍有不少领域需要深入探索，不少方法需要完善，下面各章将分别加以讨论。