

地球化学探矿实例

第 四 辑

地质矿产部物化探研究所 编

地 质 出 版 社

地球化学探矿实例

第 四 辑

地质矿产部物化探研究所 编

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书通过 22 篇论文介绍了国内外金矿地球化学勘查方法技术的发展现状和我国近年来取得的部分成果,内容涉及水系沉积物测量、土壤和岩石测量、地电化学测量、汞量测量、水化学测量、X射线荧光测量等方法在寻找金矿中的应用、反映了我国金矿地球化学勘查水平。

适于从事地球化学勘查的工程技术人员和大专院校师生阅读。

地球化学探矿实例 第 四 辑 地质矿产部物化探研究所 编

责任编辑:李云浮

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销



开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 11.875 插页: 2 页 字数: 283,000

1991年2月北京第一版·1991年2月北京第一次印刷

印数: 1—950 册 国内定价: 7.90 元

ISBN 7-116-00798-9/P·681

编 者 的 话

《地球化学探矿实例》第四辑，经作者和编者努力合作一年多，现在与读者见面了。

在当前全国金矿地质工作开创新局面，取得新突破的形势下，能通过这本集子给读者带来一些新的思路、经验、资料、信息，是我们所希望的。

本辑选入了22篇文章，其中实例稿20篇，评述性文章2篇。文集介绍了近几年金矿物化探方法在18个省、地区和单位所取得的部分成果。其中，以金矿化探实例为主。

所介绍的方法包括：水系沉积物测量，土壤、岩石测量，钻孔原生晕测量，汞量测量，地电化学法，水化学法，X射线荧光测量；地面磁法，激发极化法，自然电场法，电阻率法等。使用这些方法发现了大型金矿床1处、中型金、银矿床2处，小型金、银矿床3处，还有多处可望成为一定规模的金矿、银矿的矿产地。

从实例中可以看到，地球化学勘查方法已成为重要的常规的金矿勘查手段，物探方法也成为常用的大有作为的手段。在不少实例中，已经看到这两种方法的有机组合，可以起到取长补短、尽其所长的较好效果。

本辑中，还选入了数篇侧重于研究沉积物中金的分布、不同元素组合，评价准则、异常模式等内容的文章，表明金矿化探的工作水平在不断提高，采用地电化学法，水化学法，汞量测量等新的方法技术找金矿的效果很好。

“化探找金·国内与国外”一文，作者通过国内外化探工作的对比论述，明确指出了我国金矿化探近年取得长足进展的根本原因。“苏联金矿化探的几个问题”一文，着重介绍了苏联学者研究地球化学场的级次、元素组合、异常类型、异常特征（岩石、构造）的方法等，很有启发性。

本辑由邵跃任主编，审阅全稿。梁咸度、傅学信承担了全稿编辑工作。李玉清、金仰芬参加了部分原稿的审修工作。图件由白秀荣和李九玲、张福莲绘制。

编 者

目 录

化探找金·国内与国外	谢学锦 (1)
苏联金矿化探的几个问题	吴传璧 (8)
根据 As、Ag 等元素组合找到甘肃南金山金矿	徐家乐 (21)
辽宁省凌源县柏杖子金矿化探找矿效果	吉德胜 翟圣斌 (30)
物化探方法在“焦家式”金矿的应用	顾留成 肖霏兵 (42)
青海东乘公麻金矿的发现	罗金铃 曹能为 张玉玺 (51)
马庄山异常元素组合及金矿的发现	陈贵林 (60)
新疆托里幅区域化探找金矿效果	李正永 蔡分良 舒 骏 (66)
运用原生晕方法在河南小秦岭金矿田阎家峪成矿预测区寻找盲矿	王定国 吴启明 (77)
物化探方法在新疆找金矿一例	高增勋 (86)
总铺白岭金矿的发现	魏松祥 刘晓慧 (93)
综合物化探方法在辽宁某区寻找蚀变岩型金矿的效果	张令臣 (99)
金堆城异常元素水平分带及白花岭银矿的发现	李志杰 (107)
物化探方法在内蒙古大井铜银矿床外围的找矿效果	郑殿杰 (114)
一个金矿床的物化探发现史	俞保冯 (121)
新疆哈图金矿床地球化学异常模式与金异常评价方法	古平等 余学东 (128)
汞量测量在金矿勘查中的应用	金仰芬 伍宗华 (143)
部分热液金矿床汞的异常特征	余学东 古平等 汪名启 (152)
地电化学和水电化学方法在金矿勘查中的应用	伍宗华 金仰芬 (163)
胶东东部水系沉积物中金元素分布的试验效果	应祥熙 (171)
新疆西准金矿化探采样方法的改进及其效果	王耀辉 (180)
用壤中汞气测量现场分析快速评价金矿的初步效果	朱有光 徐有浪 董 勇 陈守余 (182)

化探找金·国内与国外

谢 学 锦

地矿部物化探研究所

金价暴涨是从1979年下半年开始的,但国外金矿勘查工作在那一年以前业已大大加强。这表明了国外矿产勘查界的远见。此后,在矿业界持续萧条的情况下,金矿勘查却日益兴旺。到1984年,全世界用于金矿勘查的投资已占矿产勘查总投资的60%^[1]。1987年加拿大投资20亿加元用于矿产勘查,其中95%用于找金及其它贵金属(Siegel,私人通讯)。

但国外化探界对此问题并不够敏感。化探工作者虽然目睹了70年代后期开始的,一方面是一直延续的矿业萧条,一方面是金矿勘查为一花独秀的局面,但并没有及早地进行技术准备,制定相应的战略来扭转这种局面。从历届国际地球化学勘查学术讨论会(IGES)上宣读的论文中也可看到这种不够敏感的情况。1980年汉诺威会议(第8届IGES)93篇文章只有一篇涉及金(占1.08%)^[2];1982年萨斯卡通会议(第9届IGES)53篇论文,也只有一篇涉及金(占1.89%)^[3];1983年赫尔辛基会议后出版的专集26篇论文,有关金的文章有4篇(占15.38%)^[4];1985年多伦多会议56篇论文,有关金的文章有10篇(占17.86%)^[5]。而1987年奥尔良会议上金矿化探成了中心议题,宣读的50篇论文中有关金矿的有16篇(占32.00%)^[6]。可见,国外化探界只是在最近几年才逐渐重视金矿化探问题。但这也只是从战术角度上考虑,还没有把金矿化探提到战略高度上来。全世界几乎绝大部分重要的全国性区域化探计划,例如,英国应用地球化学研究组在英国本土,包括北爱尔兰^[7]、英格兰和威尔士^[8]的区域地球化学填图计划;英国地质科学院在舍得兰及奥克耐等地的区域地球化学填图计划^[9,10];美国的铀矿资源评价计划^[11];加拿大的国家区域化探计划^[12];联邦德国的国家区域化探计划^[13],其分析元素的名单都未列入金。而只有美国的阿拉斯加计划^[14]和北欧三国的Nordkalott计划^[15]才有金的地球化学图。但阿拉斯加计划中金的检出限为50ppb,而Nordkalott计划为40ppb。

国外金矿化探在找金矿高潮中,技术准备起步迟,而且在战略性的区域化探中未起作用。因此,国外尽管在金矿勘查中投入大量资金,但化探并未能占有较大份额。据美国采矿杂志1986年统计资料^[16],在找金矿热潮中,勘查费用50%用于钻探,28%用于地质工作,16%用于地球物理工作,6%用于其它方法,其中包括化探方法。可见,目前在海外,化探在找金矿中所起的作用是很有限的。

分析其原因是:

1. 从50年代开始,大规模化探快速分析的检出限主要在ppm级,因而化探方法把注意力集中于找寻异常下限在ppm以上的矿产,主要是贱金属矿产。世界上许多重要金矿床都是靠重砂方法找到的^[17]。在找金矿中主要方法一直是重砂方法(包括肉眼观察及用分析方法分析重砂中金的方法)而不是化探方法。这种长期形成的认识和作法,即使在70年代后,测定ppb级含量的大规模地球化学快速分析方法已经实现,也仍未能改变。

2. 更重要的是由于金在风化产物中呈独立的颗粒存在, 且难于磨细, 因而采样及分析时取子样引起的误差非常严重。

表1列出了不列颠哥伦比亚水系沉积物测量结果^[18]。在有远景地区采取的 95 个样品, 经 3 次分析检查, 至少出现一次以上异常含量的样品 19 个。这些样品 3 次分析结果如表 1。

表 1

样 品 号	金 含 量 (ppb)			(次数)
	1	2	3	
T 387	44	32	24	有把握, 三次分析 都是异常值
T 389	80	22	60	
K 611	520	7300	6400	
K 613	660	220	166	
L 79	40	<10	34	难肯定, 因检查分 析都无异常
L 96	490	<10	<10	
L 97	700	<10	<10	
410	24	<10	<10	
411	168	<10	<10	
614	120	<10	300	
388	80	<10	<50 (?)	
L 86	<10	22	370	被漏掉, 因只分析 一次时没有异常值
T 377	<10	22	40	
T 385	<10	380	360	
T 405	<10	240	<10	
T 408	20	1460	<10	
624	<10	24	<10	
81	<10	<10	76	
82	<10	<10	2230	

从表上可以看出, 只有 4 个样品可以有把握地被认为是异常。7 个异常样品, 经重复分析检查异常消失, 很难肯定它们是否有异常。8 个样品可能是被漏掉的异常。因为第一次分析未发现异常含量, 只有几次分析后, 才发现有的有异常。

在区域化探的低密度采样中, 每个样品的分析结果都是很重要的。错误的高值使追踪检查徒劳无功。而在有矿地区出现低值, 问题更加严重, 因为这样就完全丢掉找矿的机会。这可能是许多国家性区域化探计划对分析金不敢问津的原因。其后果则是化探在国外找金未能发挥重大作用。

国外解决这一问题的途径是, 研究欲使金分析取得可靠结果, 需要多大的取样量。Clifton^[19] 计算出在 95% 置信度上要获得 $\pm 50\%$ 的分析精度, 对不同粒度的金, 需要多大取样量 (图1)。Nichol^[20] 根据 Clifton 的计算得出结论认为, 如果金颗粒大小是 $62\mu\text{m}$, 感兴趣的含量是 64—250ppb, 则分析时取样须为 200—800g。因而国外化探学者不断指责一些找矿公司所用的 5—10g 分析取样量是不合要求的。为此, Border-Clegg 分析公司声称, 他们在生产中使用 500g 样品, 用王水溶解, 有机溶剂提取, 原子吸收方法测定, 可

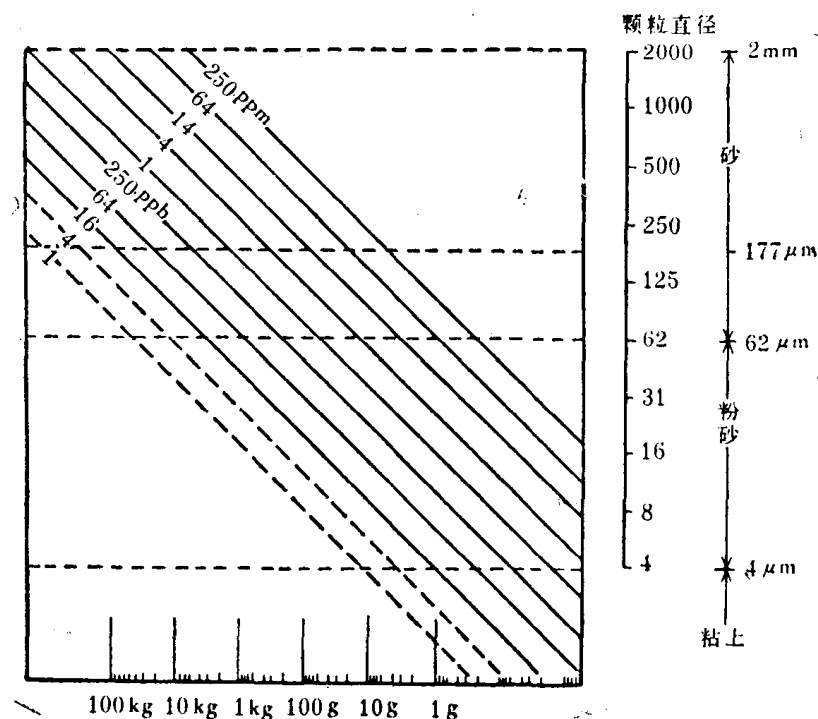


图 1 欲获得 $\pm 50\%$ 的分析精度时对不同金粒度所需的取样重量
(此图已在1988年金矿化探(二)一文中刊登, 但该图清绘有错误, 故在此再次刊出)

得到可靠结果, 检出限为 $10\text{ppb}^{[21]}$ 。Fletcher 在最近发表的文章中称取 100g 样品, 用 NaCN 浸溶金, 用二异丁基甲酮提取, 然后用无火焰原子吸收方法进行测定, 亦能达到上述精度要求。Fletcher 所使用的方法已有详细论述的文章 $^{[22]}$ 。但这样大的分析取样量在实用中成本很高, 也很不方便, 对化探方法在找金矿中的推广使用实际上起了阻碍作用。

国内金矿化探情况与国外大不相同。地球化学方法在国内找金已成为最主要的方法。根据化探金异常的线索已找到的金矿 $^{[23]}$, 数量远远超过以其它方法为主要依据找到的金矿的数量。

国内金矿化探与国外情况如此悬殊, 是由于国内化探找金的思路与国外完全不同。国外对金分析取样遇到的难题采取正面强攻的方法, 而国内则采取迂回的方法, 避开这个问题, 却更好地达到有效找到金矿的目的。 $^{[24,25]}$ 国内的思路是这样的:

1. 水系沉积物及土壤中的金, 不论其原生金的粒度如何, 总是既有粗粒 ($>50\mu\text{m}$), 又有肉眼可见细粒 ($>1\mu\text{m}$), 及显微与超显微状态的 $^{[26,27,28,29]}$, 且与原生金矿的粒度分布不同。这是金在表生生物化学环境中水成分散的结果。像 Nichol $^{[20]}$ 列举的图 2 上的 A 及 B 两种情况是不存在的。真实的情况可能如图 2C 所示。对于这些不同大小的金颗粒, 从 Clifton 的图上 (图 1) 可以看到。取 $5-10\text{g}$ 样品进行分析时, 只对那些 $<4\mu\text{m}$ 或 $<1\mu\text{m}$ 的金颗粒才可获得可靠的结果。较粗颗粒的金是分析不可靠的根源。

2. 根据 Roslyakova 与 Roslyakov 的研究 $^{[30]}$, 大型金矿四周的区域性异常面积可达数百平方公里, 而其含量水平只比地壳克拉克值高出一倍, 或不到一倍。实际上, 文献上发表的金的克拉克值数据 (4ppb) $^{[31]}$ 是不正确的。根据我国所获得的大量资料, 它很可能在 1ppb 以下, 而金的区域性异常一般大于 $2-3\text{ppb}$, 浓集中心大于 $4-6\text{ppb}$ 。

3. 由此可见, 对于有意义的金的异常含量可以分成两个部分。一部分是由金的较粗颗

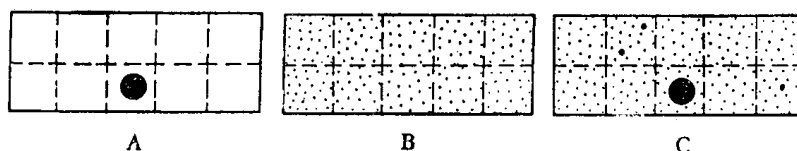


图 2 水系沉积物及土壤中金粒度不同分布设想图
每格相当 1 份样品；A—粗粒；B—超微粒；C—粗粒、细粒及超微粒

粒引起的。这部分数值很不稳定。从图 2 的 A 可见取 10 份 10 g 样品，分析 10 次，较粗金粒落入的那一份样品与其它样品分析结果相差非常悬殊。另一部分是由显微状或超显微状金引起的。这一部分数值很稳定。今后也许需要使用某种偏提取方法将这两部分金分开。但目前可用一种很简便的办法，即采用检出限很低（比如 0.2ppb）的分析方法，待圈出金异常后，在评价时重视大于 2—3ppb 的区域性异常的面积和大于 4—6ppb 的浓集中心的面积，而不重视异常范围内含量的绝对数值。这样就可以将由显微状或超显微状金引起的较稳定的异常与较粗颗粒金引起的不稳定的异常区分开来，从而避开了金矿化探分析中的误差严重的问题。

这两种思路产生的不同效果可以用下列示意图来说明。图 3a 示国外的作法。金分析的检出限为 50ppb，只发现 6 个异常点。而这 6 个异常点在第二次分析或异常检查时可能全部或大部分消失。致使化探找金工作难以继续。图 3b 示国内的作法，金分析检出限为 0.2ppb。如果第一次也是发现这 6 个强异常点，第二次分析也相差悬殊，但这种情况也不会使国内化探工作者无计可施。因为对 6 个强异常点虽两次分析或检查相差悬殊，但两次分析都是异常含量。更重要的是已经发现了重要的区域性异常和许多浓集中心，使我们对这一地区的评价和进一步工作都有明确的看法，因而，几个高含量点不稳定的分析结果，不会使看法受到改变。

这种思路也不是一蹴而成的。1977 年（金价暴涨前两年）我们作出决策，要将金列入于区域化探全国扫面必分析元素之列，并要求金的检出限降至 1—3ppb。当时的依据并不像今天这样充分、明确。

1. 对区域性金异常在评价中的重要意义，只是根据 Roslyakova 和 Roslyakov 提供的少量资料作出的。但其后逐渐累积的资料越来越多地证实当时的推测是正确的。

2. 在评价中强调异常面积比强调异常强度更可靠，这是我们过去多年研究其它类型矿床的次生地球化学异常时取得的经验^[32]。现在看来，这种看法对金更为适用，且靠它避开了金分析中遇到的严重误差这一难题的困扰。

我已写了两篇金矿化探文章^[24,25]。这是第三篇。在这三篇文章中都涉及了国内外化探找金的不同思路，之所以要反复强调这个问题，是因为：

1. 尽管国内近年来金矿化探取得很大成效，但这些成效是如何取得的，当事者并不一定都很清楚。一般认为，我国金矿化探取得比国外更显著的效果是因为我们研制了更加灵敏的金的分析方法。这种看法并不错，但不全面。按国外的化探分析水平也完全可以研制出类似的方法。但国外同行并未认识到，直到现在也还未完全认识到需要这样作。在国内决心要将金分析的检出限降到这样低的限度是与对区域性金异常的深刻认识和要回避金分析中遇到的困难有关的，因而对金矿化探的成就不能仅从战术上去找解释，还需看到战略上的成功。国外对金矿化探中遇到的困难采取正面强攻的办法，在战术上水平方面是很

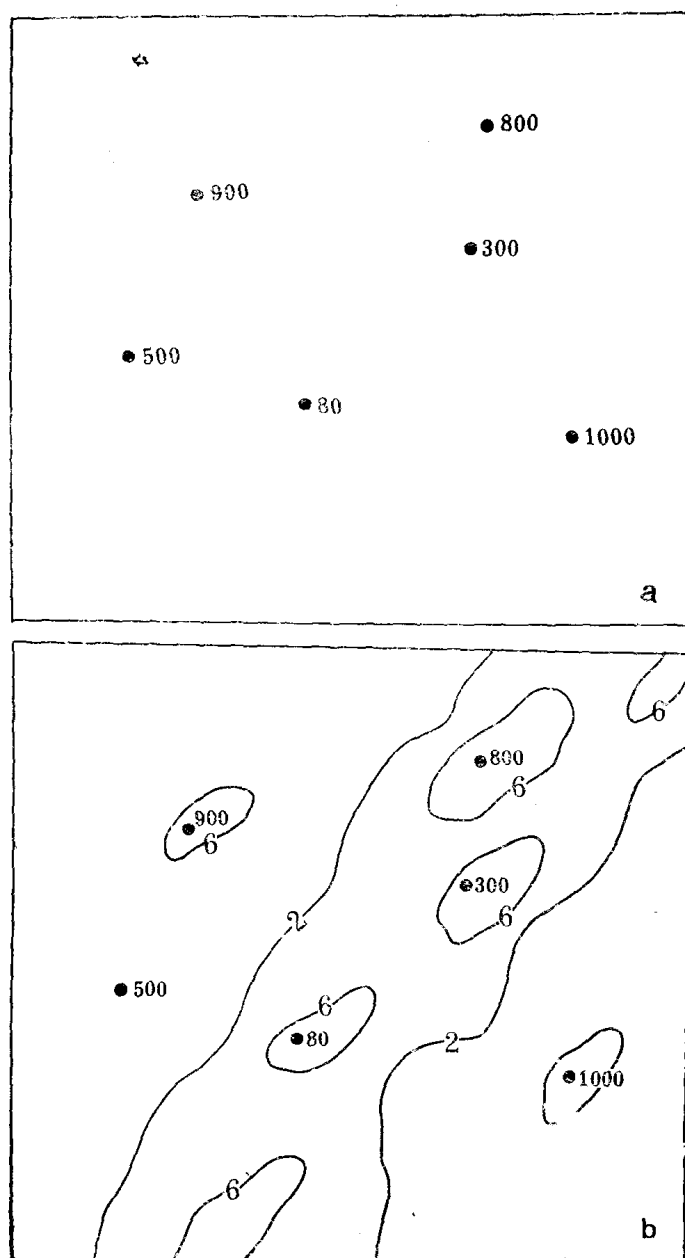


图 3 国内外两种化探找金思路两种效果对比示意图
(单位ppb)

高的，很富有创新的，但在战略上却有失误，就是明显的对照。

2. 科学技术上成功的作法并不见得一开始都是依据十分充分的。经常需要在只有较少依据的情况下，靠预见与洞察能力作出决策，冒一定风险来实行。回顾这七八年来金矿化探在我国的发展历史就可清楚看到这一点。

3. 在中央集权的体制下，只要决策正确，就可以集中力量作成大事。但必须指出：我国金矿化探虽以比国外大得多的规模进行着，也取得了比国外更显著的找金效果，累积了大量有价值资料，当然也暴露了不少有待深入研究的问题，但我们综合这些资料，表达这些成果，发现值得研究的问题并创造性地将金矿化探继续向前推进方面却作得很差。这

与金矿化探已取得的成就相比很不相称。这是值得重视与急待解决的问题。

参 考 文 献

- [1] C. J. Moon and M. A. Khan, Mineral Exploration, Mining Annual Review, p. 151—169, 1985.
- [2] Abstracts, 8th IGES, 1980.
- [3] Abstracts, 9th IGES, 1982.
- [4] A. J. Björklund (Editor), Geochemical Exploration 1983. J. Geochem. Explor. Vol 21, No.1—3. 501 pp.
- [5] Abstracts. 11th IGES, 1985.
- [6] Abstracts, 12th IGES, 1987.
- [7] J. S. Webb, P. L. Lowenstein, R. J. Howarth, I. Nichol, and R. Foster, Provisional Geochemical Atlas of Northern Ireland, AGRG Tech. Comm. 60, 1973.
- [8] J. S. Webb, I. Thornton, M. Thompson, R. J. Howarth, and P. L. Lowenstein. The Wolfson Geochemical Atlas of England and Wales. Oxford University Press, 74 pp.
- [9] S. H. U. Bowie and J. Plant. Regional Geochemical Atlas, Shetland. Inst. Geol. Sci. 11 pp with 21 maps, 1978.
- [10] S. H. U. Bowie and J. Plant. Regional Geochemical Atlas, Orkney. Inst. Geol. Sci. 11 pp with 20 maps, 1978.
- [11] S. L. Bolivar. An Overview of the National Uranium Resource Evaluation Hydrogeochemical and Stream Sediment Reconnaissance Program. LA-8457-MS, Los Alamos Scientific Laboratory, 24 pp.
- [12] Geological Survey of Canada. National Geochemical Reconnaissance, 1:2,000,000 Colored Compilation Map Series, GSC Open File Reports, 730—749, 1981.
- [13] H. Fauth, R. Hindel and U. Siewers. Geochemical Maps of the Federal Republic of Germany. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 1985.
- [14] T. A. Weaver, S. H. Freeman, D. E. Broxton and S. L. Bolivar. Geochemical Atlas of Alaska. U. S. Dept. Energy, Rept. GJBX-32 (83), 1983.
- [15] B. Bolvikem. Geochemical Atlas of Northern Fennoscandia, 19 pp with 155 maps, 1987.
- [16] J. A. Nichol. Gold Exploration, Mining Annual Review, p. 13—17, 1986.
- [17] J. C. Antweiler and W. L. Campbell. Gold in Exploration Geochemistry. Precious Metals in the Northern Cordillera, AEG Spec. Vol 10, p. 33—44, 1982.
- [18] J. F. Harris, Sampling and Analytical Requirement for Effective Use of Geochemistry in Exploration for Gold. Precious Metals in the Northern Cordillera, AEG Spec. Vol. 10, p. 53—67.
- [19] H. E. Clifton, R. E. Hunter, F. T. Swanson, and R. L. Phillips. Sampling Size and Meaningful Gold Analysis. USGS Prof. Paper 71—51, 1969.
- [20] I. Nichol. Geochemical Exploration of Gold. A Special problem. Applied Geochemistry in the 1980's, p. 60—85, 1983.
- [21] P. E. Croft. Geochemical Analysis; the Role of the Consulting Laboratory. Applied Geochemistry in the 1980's, p. 185—190, 1983.
- [22] K. Fletcher and S. Horsky. Determination of Gold by Cyanidation and Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy. J. Geochem. Explor. Vol. 30, No.1, p. 29—34, 1988.
- [23] 孙焕振、牟绪赞: 金银矿产普查中化探应用的效果及若干问题的讨论, 《物探与化探》, 第10卷, 241—245页, 1986。
- [24] 谢学锦、侯智慧: 金矿化探, 《长春地质学院院报》, 第7卷, 第4期, 361—372页, 1987。
- [25] 谢学锦: 金矿化探(二)—采样与取子样的难关, 《国外地质勘探技术》, 第2—3期, 146—154页, 1988。
- [26] A. F. Korobcnukof and V. A. Gcpanof. 成矿作用中金—汞的关系、内生金矿床的地质特征和某些矿物中金金的分布, 王义为译, 地矿部情报研究所, 44—49页, 1984。

[27] P. Lacroix and F. Colin. Gold Dispersion and Size Fraction in a Tropical Rainforest Weathering Profile at Dordo-Mohi, Gabon, 12th IGES, Abstract p. 72, 1987.

[28] 谢学锦、侯智慧、刘树信: 黑龙江团结沟地区砂金成因的讨论、《地质与勘探》, 第10期, 46—54页, 1987。

[29] 侯智慧: 关于金的表生地球化学行为, 《河北地质学院学报》, 第10卷, 第3期, 289—295页, 1987。

[30] H. J. Roslyakov and N. A. Roslyskova, *Endogenic Aureoles of Gold Deposits*. Bull. Siberian Division Acad. Sci. USSR, N. 182, 132p, 1975.

[31] J. E. Mielke. Composition of the Earth's Crust and Distribution of the Elements. Review of Research on Modern Problems in Geochemistry. Earth Science Series 16, UNESCO, p. 9—37, 1979.

[32] 谢学锦: 《区域化探》, 地质出版社, 192页, 1979。

苏联金矿化探的几个问题

吴 传 璧

地矿部情报研究所方法室

80年代以来,国际市场上金价暴涨。1980年时,不同国家的金价涨到每克20—27美元,平均每克19.8美元,与1970年每克1.2美元相比,提高了15.5倍。尽管近几年金价有所下跌,但到1985年仍维持每克10.5美元的高价^[1]。这就大大促进了金矿勘查工作的发展。近些年来,西方的贱金属勘查出现萧条,而贵金属,尤其是金却出现了找矿热潮,世界范围内约60%的勘查经费被用来找金矿^[2]。从文献分析,苏联的金矿勘查虽然未出现类似北美和西方的热潮,但其普查预测和研究工作却有持久的稳定性,且取得了颇多成果。

在金矿勘查中,地球化学方法占据着非常重要的地位。从区域预测评价,局部详查到矿体勘探,它都发挥着独特且有效的作用。因此,金矿化探涉及到勘查工作中具有战略和战术性的许多问题。现就有关资料从以下几方面作一评介。

一、几个一般性问题

就金矿的地球化学勘查方法而论,似乎与其它金属矿床化探并无特殊不同。现有的化探方法几乎均可用于寻找金矿,普查勘探工作部署的总体程序也无特殊要求。但从苏联金矿化探文献的分析看,有以下几个问题值得注意。

首先,与金矿有关的地球化学场是分级次的。普查准则、普查标志和找矿模型也应按不同的级次来研究,建立和应用。

杰留金(1987)^[3]在论述金矿预测评价准则时曾明确指出:作为一个基本原则,不同级次的成矿预测级别,应与一定级次的地质构造和构造-物质单位对应起来。他从地质标志出发,划分出如下预测级次:成矿省、成矿域、成矿带、成矿区、矿田和矿床。并指出成矿带内的地球化学普查标志是存在原生和次生的金的地球化学、重砂地球化学异常及单个的金矿点;而金矿田和矿床(就绿岩带金矿而言)的标志是围岩中有偏高的背景含金性。例如,加拿大的拉沙克矿田,无矿化岩石的金含量背景为0.6—1.7mg/t,矿田可用3mg/t的金晕圈定出来,而主矿带可用10mg/t划分出来。

沃罗滕采夫(1987)^[4]在论述后贝加尔地区巴列依型和其它类型金矿的找矿标志时,从构造、岩浆岩、地球物理、地球化学、岩石交代蚀变、矿物学等方面提出四级(即矿结、矿床、矿化带和矿柱)普查标志。其中,地球化学找矿标志是:矿结——测区对金的地球化学专属性;不同成矿温度的矿点和矿床的存在;地球化学场的环带状分带性;砂矿的含金性;矿床——金及其伴生元素的大型组合晕;地球化学晕的水平分带性;矿化带——金及其伴生元素的局部次生晕;金及其伴生元素的明显内生晕;矿柱——衬值最大的金及其伴生元素的内生晕。

罗斯里雅科夫和罗斯里雅科娃则针对苏联不同类型的各主要成矿区，分矿田晕、矿床晕和矿体晕三级，对金的地球化学场的特征进行了系统而全面的总结^[5,6,7]。其主要内容将在下节简介。

总之，当代的金属矿化探，已不仅仅着眼于局部高值异常的查明和评价，而是针对不同级次的预测和普查任务，依据不同规模（级次）地球化学场的特征和其它标志（尤其是岩石交代蚀变、矿物和构造特点），在更广的视野内研究成矿地质-地球化学环境，总结不同级次的普查准则和标志，找出其内在联系，以期提高不同阶段预测普查工作的效果和局部异常评价的可靠性。所以，苏联的这种研究思路应引起我们足够的注意。

第二，金矿床的指示元素组合是因矿石建造（矿床类型）而异的，伴生指示元素的选择和找矿模型（异常模型）的建立宜按矿床类型来进行。早期的金矿化探工作，因批量样品金量分析的灵敏度不足，都是依伴生元素进行的。实践证明，金矿床特征指示元素的变异性颇大，即便是人们通常认为适应性较广的元素（例如As），也不是在各地都可适用的。于是，博伊尔在总结金矿化探的指示元素时，按其有效性作了分类^[8]（表1）。其中第6组系砂矿指示元素，暂且不论。作为后生矿床的指示元素，博伊尔按其重要性排出如下

表1 金矿的指示元素和组分（以有效性为序）

1	Au, Ag, As, Sb, Te
2	SiO ₂ , CO ₂ , B, F, S,
3	K, Na, Rb
4	Cu, Zn, Pb, Hg, W,
5	U, Mo, 铂族金属
6	Au, Ag, Bi, Te, W, B, As, Sb, Sn, P, 铂族金属（砂矿指示元素）

序列：Si(SiO₂)、S(FeS₂)、Ag、As、Sb、Te、B、Bi、Hg、Mo、W、Cu、Zn、Pb、Cd、Tl、Ba、Sr、Mn、Se、F、Cl、U和Th。其中，Ag、As、Sb在所有类型和时代的矿床中几乎普遍有富集，但后两者也非处处可用。Si和S主要在一些特殊原生晕研究方法中有较大作用。Te和Se通常局限于特殊矿带，而Se又主要常见于第三纪的矿床。Hg在年青的矿床中最富集，随矿床时代变老而含量减小，但在富含闪锌矿、辉锑矿、黝铜矿和其它硫盐矿物的细脉和大脉金矿中，不论时代如何Hg含量总是偏高。W在较深和较浅的后生矿床中均有出现，但作为后生矿床指示元素的意义，我们还了解不够。在外生条件下，它在土壤、水系沉积物和植物中以高于平均值的含量出现，可作为含矿的指示。Cu、Zn、Pb、Cd、Bi不是后生金矿的特征指示元素，却是有用的指示标志。F是第三纪矿床的特有指示元素，在前寒武纪、古生代和中生代的矿床中只以很小的数量存在，而且与矿床中绢云母，其它云母、电气石、黄玉等含F矿物的存在有关。Rb和Cs只在某些矿床上与一定的围岩蚀变有关。U和Th是含金砂卡岩、脉型和大脉性矿床，以及古生代火山岩中金矿的良好指示元素。由此可见，上述绝大部分指示元素的有效性是因地质条件而异的。博伊尔也注意到矿床类型与指示元素组合的关系，但未作全面系统的总结。

谢尔巴科夫以世界上许多金矿床为例作了研究，认为在矿石中富集的元素，其组成和比例关系取决于地壳的类型、地球化学专属性、岩石组合，以及矿床的热液系统和成矿建造的专属性^[9]。而金矿化探指示元素的组合又主要与原生矿石有关。他对各种建造金矿床中富集的元素作了如下概括。铬铁矿-铂族金属和金-滑石菱铁片岩建造：Pt、Os、Ir、

Ni、Co、Cr；含铜黄铁矿建造，金-硫化物-石英建造、金-硫化物-矽卡岩建造、金-氧化铁建造：Fe、Cu、Zn；黄铁矿-多金属建造：Pb、Zn、Cu、Ag、Ba、Bi、Te、Se；金-石英-硫化物细脉浸染建造：Fe、As；金-石英脉建造：As、Sb、Hg、W、B、Mo；古含金砾岩矿床：U、Zr、Ti、Os、Ir、Cr；金-银矿建造：Ag、Te、Mn、Sb、Hg、Sn、Mo、Pb、Zn、Cu、Co；铜-钼建造：Cu、Mo；石英-玉髓近地表建造：Fe、F、Hg、Pb、Sb；碳酸盐岩中的金-硫化物建造：Fe、As、Te、Se、Bi、Pb；铜镍建造：Cu、Ni、Co、Pt、Pd。在上述所有类型的建造中，都有不同比例的Au、Ag存在。

综上所述，我们可以得到两点认识。其一，金矿床的地球化学指示元素组合与矿床类型，特别是与矿石建造有极密切的关系，除Au和Ag在各种类型金矿中均稳定地出现外，其它指示元素组合有很大的变异性，这与贱金属矿床有较稳定的组合明显不同。因此，在实践中，具体地区的普查应根据当地已知或推测的矿床类型分别选用指示元素；在普遍规律的研究中宜针对一定的矿床类型分别总结地球化学场的元素组合及分布特征，建立各类型矿床的找矿模型。其二，依金找金是最可靠的找矿途径。因此，研究金矿床（田）地球化学场内金元素本身的分布规律，建立找矿准则，是金矿化探的重要课题。

此外，顺便提一下，实行依金找金的重要保证，是金的分析方法。据认为^[9]，当分析灵敏度为10ppb时，不能把隐伏金矿体的位置完整准确地反映出来，也不能把低含量晕段有依据地剔除掉。在次生异常的研究中，尤其当运积物厚度超过10m时，更是如此。据罗斯里雅科夫的意见^[6]，在普查有原生金矿远景的地区时，要求使用灵敏度优于10ppb的分析方法，但是其工作效率较低，前几年还不能普遍使用。最近，据塔乌逊报道^[10]，苏联已研制出以闪烁谱分析为基础的分析仪器和方法。用这种仪器可以测定微量金（灵敏度未具体说明），而且不仅能测定样品中的金总量，还能测定金粒大小。该方法每个班次可作200个分析样，效率比其它测金方法高几倍。

二、金的矿田晕、矿床晕和矿体晕

既然化探工作所研究的主要对象地球化学场是分级次的，而Au又是寻找金矿床本身最可靠的指示元素，研究Au元素自身的不同级次的地球化学场——矿田晕、矿床晕和矿体晕，就显得格外重要了。

苏联对此课题的研究是有一个过程的。早在1931年费尔斯曼就提出：金的地球化学问题本身就是很重要的事，但我们完全没有从地球化学的角度对金矿区作分析，而这正是一项既实用又迫切的任务。当时由于金的分析方法的问题，金矿化探还只能依据其它指示元素进行。从60年代中期到70年代中期，许多著名的地球化学家和化探工作者对苏联的重要金矿田和金矿床进行研究，测定围岩中的金含量水平，确定金矿床周围金晕的规模，发现正负晕并存的现象，力图就不同级次的金异常的分布特点得出规律性认识。整个过程是从局部异常向区域异常场发展的。其中，罗斯里雅科夫等的工作具有代表性和系统性。对此我们过去已有报道^{*[9]}。这里只极概括地作一介绍。

* 《化探资料选编》（七），地矿部情报所，1985。

《金矿床地球化学勘查理论和方法译文集》，有色总公司北京矿产地质研究所，基建工程兵黄金指挥部，地矿部情报研究所，1984。

(一) 金的区域背景

罗斯里雅科夫等在苏联境内的不同地区, 选择了5种矿床类型的17个矿床(脉型, 9; 网脉型、网脉-脉型, 2; 细脉浸染和浸染型, 4; 含金硫化物型矿层, 1; 含金砂卡岩型, 1), 并收集了他人成矿区和矿床上的研究成果, 对主要岩石类型中金的背景含量(区域背景)、金的矿田晕、矿床晕和矿体晕进行系统研究。其中, 区域背景是以矿床外围10km以远的基岩样品来查明的。各岩类的基本情况如下(本节以下金含量单位均为ppb)。

沉积岩 各类沉积岩中金平均浓度和局部变化范围很窄, 为2—3.5, 均在1个数量级之内。这一总的变化范围为灰岩($\bar{c}=2.0$)和细粒碎屑岩所特有。在灰岩中, 随其中碎屑含量增大 $\bar{c}$ 增高, 在泥灰岩中达到3。在其它沉积岩中, 虽有若干特例, 总的说来, 金的平均含量是随着碎屑颗粒度、有机组分(碳质)、硫化物含量的增大而增高的, 可达6.5。其中砾岩的平均含量最高, 碳质岩石中的金平均含量比贫有机物岩石高1—2倍, 有时甚至高一个数量级。此外, 沉积物的时代越新, 金平均含量有增高趋势。

火山岩 各类火山岩中金平均浓度变化于1.8—5之间, 局部数值可变化于0.5—10之间。其中, 基性岩的变化幅度较大, 为1—9.0, 平均3—4.5; 酸性岩一般小于5.5。岩石时代由老至新, 金平均含量有降低趋势。在火山岩的所有矿物中均可查明有金, 然而它主要浓集在磁铁矿和暗色矿物中。磁铁矿含金最高者可达804.4, 辉石(14)、角闪石(8.5)亦浓集有金; 而石英(2.2, 6.7)和长石(3.1, 3.4)等淡色矿物中浓集程度较低。在火山岩杏仁体中测得25的偏高含量。

侵入岩 各类侵入岩的金平均浓度不一。酸性岩较低, 为1—5; 基性和超基性岩较高, 为6—9; 碱性岩为1—6, 但其离散度较大。侵入岩的所有造岩矿物均含Au, 含量范围 $n \cdot 10^{-2}$ — $n \cdot 10$ 。其中浓集矿物是角闪石, 黑云母, 榍石、磁铁矿(测得过891.9的含量)。

变质岩 各类变质岩中金平均浓度的离散度最大, $\bar{c}$ 在1.0—5.4之间。一般说来, 变质弱的岩石金平均含量低, 而绿片岩相的岩石平均浓度较高。浓集矿物仍是黑云母、角闪石、硫化物、磁铁矿等。值得注意的是, 变质过程中金会发生再分布, 出现淡色矿物带中的金含量高于暗色矿物带的现象。磁黄铁矿变成磁铁矿时, 会放出Au, 后者与石墨、石英一起富集。

小结 根据上述研究成果, 并与其它作者在其它地区所获结果对比, 可对金的区域背景得出如下认识: 金的背景浓度为1.8—3.4mg/t, 离差为1.78—3.26; 区域背景金含量的分布与正态律不相矛盾; 金与其它元素不存在相关性, 在某些地区它与沉积岩和变质岩中有机质含量有相关性。

(二) 矿田晕(局部背景)

所谓矿田晕, 就是占据着金矿床周围颇大面积, 具有异常的金含量和离差的地段。对于矿床来说, 它是局部背景。矿田晕的规模大则数百平方公里, 较小数十平方公里, 单个矿床的矿田晕地有数平方公里。其中, 内生晕和外生晕有联系又有区别。

内生晕 根据各类型矿床矿田内生晕的研究结果, 其特征有: 金的平均浓度较区域背景明显增大, 为它的两倍以上, 达到 $n \cdot 10$; 金含量的离差变大, 变化范围可达3—4个数量级, 应特别注意的是, 在矿床附近会出现低于区域背景1个数量级的含量; 矿田内金含量的变化是由构造和蚀变岩石的分布控制的, 故在查明矿田晕时, 不仅要查明金的偏高含量, 而且要查明金的偏低含量, 以及蚀变程度和成分不同的地段上金的分布情况; 矿田晕

内金的浓集矿物是副磁铁矿、硫化物（浸染状）、暗色矿物和云母；金与其它指示元素的相关性差，一般无可靠的相关关系，有时与Cu和Ba存在正相关性，作为找矿准则的是：金的浓度偏高（ $n \cdot 10$ ）和金在面积上明显的分布不均匀性；在高背景上存在异常低的含金量，是临近矿床的标志。

外生晕 在外生条件下，由于元素赋存介质和地球化学差异很大，外生矿田晕涉及的方面更多，问题较为复杂。其主要研究内容和结论请参阅文献^[9]。这里只简介与金矿普查有关的问题。（1）尽管土壤中的金平均浓度比基岩中普遍降低，但在矿田范围内与区域背景相比仍显著偏高，如在正残积景观内高3倍，副残积景观中平均高2.9倍，新残积景观中平均高1.6倍；在风化壳和覆盖层（运积物）内有金的富集层存在，其中的金含量与无矿区也有很大差别。所以，根据外生晕的金含量可以把矿田晕圈定出来。（2）与内生矿田晕相似，外生晕中含金量的变异性很大，如正残积景观的土壤中金在1ppb到几个ppm之间变化。金在正和副的残积景观中的分布都不服从正态律，新残积景观中一般服从正态律。同时，矿田内既有正异常存在，也有负异常和相当区域背景的地段存在。所以，金含量的离散度大也是划分外生矿田晕的准则。（3）外生晕中的金含量一般与亲铜指示元素是不相关的，在正和副的残积景观中尤其如此。因此，划分矿田晕应以金晕为主要依据，在运积物发育区特别需要高灵敏度的分析方法。

（三）矿床晕

矿床晕在成因上与热液变质作用有关，受绿泥石化、绢云母化、硅化、黄铁矿化发育区的控制。其规模与矿田晕的规模有依从关系，大者数十平方公里，小者也有数平方公里。

内生晕 内生矿床晕的最大特点是结构复杂。金的平均含量比局部背景增高2—4倍，同时离差亦进一步增大，变化范围达4—5个数量级。具体表现是，矿床晕内低于区域背景，相当区域背景，相当局部背景，乃至相当矿石水平的金含量区段同时存在。在这种情况下，矿床晕的金平均含量不易求得，也无充分的代表性。替代办法是分组统计含量，以反映矿床晕的特征。一般说来，矿田晕金含量的分布只有一个峰值；而矿床晕的金分布显示出两个峰值，一个相当于局部背景（矿田晕）水平，一个相当矿床晕水平（包括50mg/t以上的含量组）。矿床晕内金富集在载体矿物中，主要是黄铁矿和毒砂，以及矽卡岩矿物。矿床晕中的金与许多元素已显示出相关性。例如，在一些矿床的岩石和矿脉中，Au与Cu、Pb、Ag、Co（玢岩），Au与Ag（矿脉），Au与Ni（花岗闪长岩），Au与Pb、As、Cu有相关性。要注意的是，在岩石中和矿脉中，相关的元素有所区别。

外生晕 外生矿床晕的金含量也是很大的。为了在矿田晕的背景上把它划分出来，不宜采用通常取异常下限的办法，而是取矿田晕中概率最大的含金量作背景上限。根据外生矿床的特点，在普查中应注意的问题是：（1）矿床晕中金与矿石中的许多伴生元素有正相关关系，因此晕有综合性及金与其它元素的相关性，可作为有矿体存在的准则；（2）矿床晕中正负异常并存，具分带性，金含量偏高是近矿标志，以脉型矿床为例，土壤中正负异常差异最大处是矿体所在部位；（3）外生矿床晕中活动态金的普查意义甚大，其异常部位往往与下伏矿体对应，覆盖层厚度大时，盐晕等活动态金的异常尤其重要。（4）要注意覆盖层中的次生富集层及景观条件的影响。

（四）矿体晕