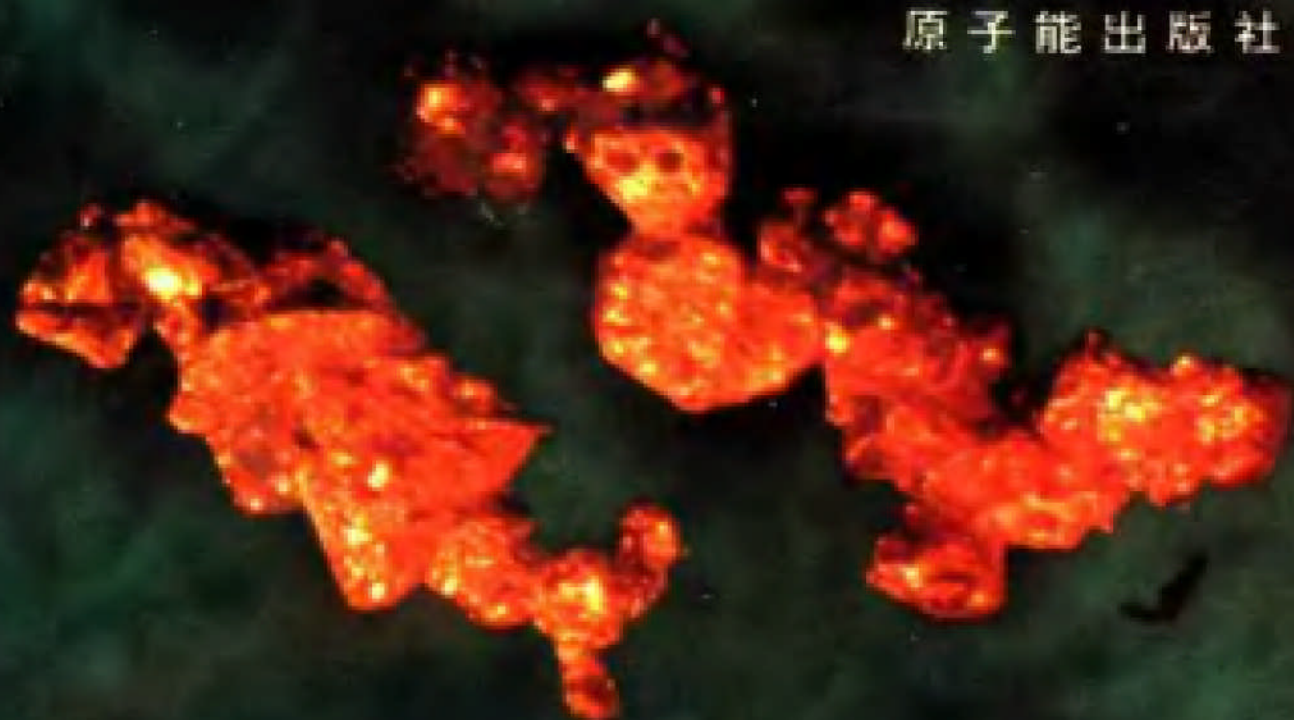


原子能出版社



金矿找矿方法和技术

中国核工业总公司黄金办公室
核工业北京地质研究院

金矿找矿方法和技术

中国核工业总公司黄金办公室
核工业北京地质研究院

赵溥云
菅俊龙 编
邓建华

原子能出版社

(京)新登字 077 号

内 容 简 介

本书较系统、全面地综述了近几年来我国找金事业的发展状况。全书共五章，主要内容包括：金的化学、矿物学、地球化学性质及成矿；金矿的地球物理和地球化学勘探；化探样品中痕量金的化学分析；黄金探测仪器简介；我国金矿工作发展趋势。本书内容丰富，资料翔实，具有新颖性和实用性。

本书对从事科研、生产、教学，以及领导的决策均有重要的参考价值。

金矿找矿方法和技术

赵溥云 菅俊龙 邓建华 编

原子能出版社出版（北京 2108 信箱）

印刷厂印刷

新华书店首都发行所发行·新华书店经销

开本 787×1092mm 1/32 ·印张 7·字数 164.3 千字

1994 年 5 月北京第一版·1994 年 5 月北京第一次印刷

印数 0—500

ISBN 7-5022-1062-8/P·28

定价：8.50 元

前 言

本书详尽而全面地总结和评述了八十年代以来，特别是“七五”期间我国找金事业的发展概况，介绍与物化探方法相关的痕量金测试技术突破和金现场分析技术的实验成功，从而使我国独特金异常查证方法居世界领先地位。还介绍了应用地球物理、地球化学等多种手段，在金矿找矿中发挥的巨大作用，取得了公认的成就。总结了我国近几年来在该领域所取得的成功经验和先进技术，并在此基础上进一步思考存在问题，提出“八五”期间或更长远的、适合我国国情的找金技术和方法，为长远发展做好技术、物质准备，为领导决策和从事金矿找矿事业的科技工作者提供参考，为我国黄金地质事业进一步发展做一份贡献。

为使本书反映问题全面、视野开阔，我们在编写过程中对近年来数百篇黄金地质、相关金找矿、化学分析和仪器等论文或专著资料潜心研究。同时还先后到地矿部、冶金部、黄金局、武警黄金部队、中国科学院、北京图书馆、国家专利局、中国核工业总公司系统有关部门，请教专家、查阅资料、了解核实有关情况，目的是务求使本书在理论和实践两个方面做到完整全面。

本书是在《国内找金物化探方法现状及发展》调研报告的基础上，由中国核工业总公司黄金办公室组织国内有关专家进行鉴定，并主持修改而完成的。参加审查鉴定的专家有冶金部地物勘查院物化探所所长李惠、冶金部地物勘查院高级工程师刘汉忠、地矿部物化探所高级工程师朱炳球；南京大学地科系沈渭洲副教授、中国核工业总公司

地质局薛裕鹤高级工程师、核工业北京地质研究院仇宝聚高级工程师；地矿部岩矿测试所吉上虞高级工程师、核工业北京化工冶金研究所孙索卿高级工程师；核工业北京地质研究院于振涛正研级高级工程师、中国进出口商品检验所索志成高级工程师等各位专家对该成果进行了详尽的审查并提出了宝贵的修正意见。

核工业北京地质研究院正研级高级工程师吴惠山先生对本书的编写，特别是有关物化探资料方面给予了热情的支持与帮助。

该书在编写和修改过程中，自始至终得到了中国核工业总公司黄金办公室邱次建高级工程师和洪永勇工程师的具体指导和多方建议，还得到了核工业北京地质研究院辛志秀工程师的热情支持和帮助，对上述专家、学者、同行及领导的真诚帮助和关怀，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限，敬请读者对于书中不足之处和缺点、错误给予指正。

作 者

1993 年 6 月于北京

目 录

前 言

第一章 金的化学、矿物学和地球化学性质

及成矿 (1)

1. 1 金的化学性质 (1)

1. 2 金的同位素 (2)

1. 3 金的宇宙丰度和地球丰度 (2)

1. 4 金的矿物学性质 (3)

1. 5 金的地球化学性质 (5)

1. 6 金成矿与找矿 (26)

1. 7 当前黄金地质研究和找矿趋势 (39)

参考文献 (41)

第二章 金矿的地球物理和地球化学勘查 (43)

2. 1 地球物理勘探方法 (43)

2. 2 地球化学勘探方法 (69)

2. 3 其它的找金方法和经验 (90)

参考文献 (113)

第三章 化探样品中痕量金的化学分析 (117)

3. 1 金的地球化学特征及化学性质 (117)

3. 2 金矿样品的加工和粉碎 (118)

3. 3 含金试样的分解 (120)

3. 4 痕量金的提取手段 (125)

3. 5 痕量金的测定方法 (144)

3. 6 天然水中痕量、超痕量金的分析 (162)

参考文献 (166)

第四章	用于找金和分析金的仪器简介	(171)
4. 1	轻便型 X 射线荧光找金仪	(172)
4. 2	黄金探测仪	(176)
4. 3	用于找金的 KB-1 型钾比仪	(177)
4. 4	CA-1 便携式微机测金仪	(177)
4. 5	金的自动分析仪	(179)
4. 6	GU1-Ⅲ型黄金精密分析仪	(180)
4. 7	金属探测器	(181)
4. 8	金矛	(182)
4. 9	电弧光源光电直读谱仪	(182)
4. 10	高性能爆裂仪在找金矿中的应用	(183)
4. 11	采金船	(183)
4. 12	间接寻找金矿的磁力仪	(185)
4. 13	淡层地震探金技术	(185)
4. 14	激发极化仪在金矿上的应用	(186)
4. 15	一种应用生物测定新技术的黄金 探测器	(186)
4. 16	红外辐射谱仪	(188)
	参考文献	(188)
第五章	我国金矿找矿工作的发展趋势	(190)
5. 1	黄金地质研究的现状和趋势	(190)
5. 2	找金方法研究现状和趋势	(195)
5. 3	新技术、新设备和新仪器研究的现状 和趋势	(200)
5. 4	发展我国找金事业的若干认识	(211)
	参考文献	(213)

第 一 章

金的化学、矿物学和地球化学性质及成矿

1.1 金的化学性质

金(Au), 原子序数 79, 原子量 196. 967, 比重 19. 32 (20℃), 熔点 1063. 0℃, 原子价 1, 3^[1]。金是周期表上 IB 族的一员, 这一族里有铜(Cu)、银(Ag)和金(Au)。金是一种软的黄色金属, 熔点相当高(1063. 0℃), 导电性和热导性在所有元素中仅次于银和铜。金在所有金属里延展性和韧性最高, 1 盎司金可以锤成面积约 300 平方英尺的箔。

金通常见于下列三种氧化态之中: 0(自然金), +1(一价金), +3(三价金), 这里分别用 Au、Au(I)、Au(III)表示。也发现有 Au(II)和 Au(V)这两种氧化态存在于某些复杂结构中。但它们似乎都是相对不稳态, 自然界中大概并不存在。处于自然态的金是各种金属中惰性最强的。在化学性质上金不起反应, 既不受水和大多数酸的影响, 也不为氧或硫酸所腐蚀。各种卤素能很容易同金作用, 产生卤素的各种溶液, 如王水之类, 也能这样。金在有空气存在时很容易在碱金属的氧化物溶液中溶解, 很难在碱金属的硫化物溶液中溶解, 在 225℃左右时易溶解于硒酸中, 易溶于含有 MnO₂ 之类氧化剂的硫酸溶液和盐酸溶液中, 而难溶于碱金属的硫代硫酸盐溶液中。

金的原子结构较复杂, 它的原子核由 79 个质子和 118 个中子组成。

金具有优良的物理性质, 自古以来它一直是人们普遍喜

爱的金属。在人们的社会活动、生活中及现代科学技术的尖端领域里,金作为货币、装饰品和工业材料正在被广泛地应用。

1.2 金的同位素

金的同位素现已发现 23 个,见表 1-1,其中只有 ^{197}Au 为稳定同位素^[2]。

表 1-1 金的同位素^[2]

同位素	半衰期	同位素	半衰期	同位素	半衰期
^{183}Au	50 分	^{191}Au	3.2 时	^{197}Au	3×10^{16} 年
^{184}Au	52 分	^{192}Au	4.1 时	$^{197\text{m}}\text{Au}$	7.2 秒
^{186}Au	7 分	^{193}Au	15.8 时	^{198}Au	2.2963 天
^{188}Au	12 分	^{194}Au	38.5 时	$^{198\text{m}}\text{Au}$	2.27 天
^{187}Au	8 分	^{195}Au	183 天	^{199}Au	3.13 天
^{188}Au	8 分	$^{195\text{m}}\text{Au}$	30.6 秒	^{200}Au	48.4 分
^{189}Au	8 分	^{196}Au	6.18 天	^{201}Au	18.7 时
^{190}Au	4.7 分	$^{197\text{m}}\text{Au}$	9.7 时		

1.3 金的宇宙丰度和地球丰度

据 R. W. 博伊尔资料(1984 年)对全世界 246 个球粒陨石分析获得含量范围是 $(0.0170 \sim 1.6000) \times 10^{-6}$,算术平均值为 0.2225×10^{-6} ;291 个陨铁样分析含量范围是 $(0.0550 \sim 8.7440) \times 10^{-6}$,算术平均值为 1.2050×10^{-6} ;陨硫铁(16 样)分析是 $(0.0700 \sim 8.0000) \times 10^{-6}$,平均为 0.9787×10^{-6} ;熔融石(15 样)为 $0.7003 \sim 0.0242$,平均为 0.0081;月岩和月壤(529 样)为 $(0.0000025 \sim 0.08700) \times 10^{-6}$,平均为 0.00485×10^{-6} 。这些结果表明,宇宙中的金很多存在于金属相里,也可能有一部分存在于陨硫铁相中,还可能存在于某些铁的氧化物和铬铁矿中。

金在地球上的丰度值为 0.8×10^{-6} , 地球内部各圈层的金丰度值如表 1-2 所示, 由表中可知, 金的地壳丰度值为 0.0035g/t , 即每 1000t 岩石含金 3.5g。同其它许多金属元素相比, 金的丰度值相当低, 仅相当于 Ag 丰度的 1/21, Cu 丰度的 1/18000, Pt 丰度的 1/13, Hg 丰度的 1/25。在贵金属元素中, 金的地壳丰度是最低的。在地壳的各个区域内的金丰度大致如表 1-3 所示。

表 1-2 地球内部各圈层金的丰度值(10^{-6})^[2]

元素	地壳	上地幔	下地幔	地核
Au	0.0035	0.005	0.005	2.6

表 1-3 金、银、铂在地壳的各个区域内的丰度(10^{-6})^[2]

来 源	Au	Ag	Pt
深 大 洋 区	0.004	0.098	0.095
次 大 洋 区	0.0029	0.082	0.05
大 陆 区	0.0034	0.067	0.031
褶 皱 带 区	0.0038	0.062	0.022
大 洋 壳	0.0035	0.091	0.075
大 陆 壳	0.0035	0.065	0.028
地 壳	0.0035	0.075	0.046
结晶质岩石	0.0036	0.077	0.049
沉 积 岩	0.0051	0.065	—

1.4 金的矿物学性质

1.4.1 金的各种矿物

金矿物如表 1-4 所示, 最常见的是自然金和各种碲化金。另外还有少数硫化物, 硒化物, 铋化物等。目前, 我国为工业所利用的主要是自然金和金银矿。金的碲化物主要产于低温矿床。金的纯度是指自然金中金原子所占的重量比, 以千分数

表 1-4 金的各种矿物^[1]

自然元素、含金和金属化合物	
金	Au
银质金(琥珀金)	(Au, Ag)
铜质金(铜金-cuproauride)	(Au, Cu)
钯质金(钯金-porpezlite)	(Au, Pd)
铑质金(铑金-rhodite)	(Au, Rh)
铱质金	(Au, Ir)
铂金	(Au, Pt)
铋质金	(Au, Bi)
金汞齐	Au ₂ Hg ₃ (?)
黑铋金矿	Au ₂ Bi
金铜矿	AuCu ₈
钯金铜矿	(Cu, Pd) ₃ Au ₂
硫化物	
硫金银矿(uytenbogaardite)	Ag ₃ AuS ₂
碲化物	
碲金矿	AuTe ₂
白碲金银矿	(Au, Ag)Te ₂
亮碲金矿	(Au, Sb) ₂ Te ₂
碲金银矿(autamokite)	Ag ₃ AuTe ₂
杂碲金银矿	(Ag, Au)Te
针碲金银矿	(Au, Ag)Te ₄
碲金铜矿(kostovite)	AuCuTe ₄
叶碲矿	Pb ₂ Au(Te, Sb) ₄ S ₈₋₉
锑化物	
碲金锑矿	AuSb ₂
硒化物	
硒金银矿	Ag ₃ AuSe ₂
碲酸盐	
碲酸金(?)	

表示试样中纯度的称金的成色。

1.4.2 金在其他矿物里

金是许多矿物里的一种微量和痕量组份。金在各种硅酸盐矿物里的含量范围大约从 0.0002×10^{-6} 到 0.924×10^{-6} 。金在各种自然元素里是痕量和少量组份,各种金属元素的含金量要比半金属元素和非金属元素如石墨、硫磺等等所含的多些。金存在于几乎所有银和贱金属的碲化物类和硒化物类里,银往往多于金。

在很多硫化物和硫化物-砷化物混合物里金是一种常见的微量组份。主要聚集在铜、银和锑的这些化合物里,以及黄铁矿和毒砂里。铅和锌常是伴生关系。在铜、银、锑的各种硫化物里以及硫化-砷化物混合物里,金呈自然元素出现,是一种晶格组份。

在黄铁矿和毒砂里常可找到金。其含量变化可以很大。

普通卤化物类含金极少,一般不到 0.01×10^{-6} 。所有常见的碳酸盐类,含金量都非常低,一般都大大低于 0.01×10^{-6} 。岩盐和常见硫酸盐类只含有痕量金。磁铁矿里的含金量可以达到 0.05×10^{-6} ,这里的金显然是置换了磁铁矿晶格里的铁,因为在这种矿物里,简直看不到有游离的金。在表生氧化物里,褐铁矿和锰土是最常见的两种含金矿物。

1.5 金的地球化学性质

1.5.1 金在岩浆岩中的地球化学性质

据最近美国地球化学手册资料表明,从超基性岩、基性岩到酸性岩,金的含量逐渐降低。这是一种金的地球化学性质。表 1-5 和表 1-6 均反映了此特点。我国各类火成岩中的金含量如表 1-7 所示^[1]。

1.5.2 金在沉积岩中的地球化学性质

博伊尔收集了世界各地不同类型固结和未固结的沉积岩中金的含量资料。如表 1-8 所列。

从表中可以看出,各类沉积岩中金的含量变化范围比较大,最小为 0.1×10^{-9} ,最高可达 2500×10^{-9} ,而其平均值的范围在 $(0.2 \sim 132) \times 10^{-9}$ 之间,全部沉积岩的含金量的平均值为 40.3×10^{-9} 。我国有关沉积岩的金含量列在表 1-9 中。

1.5.3 金在变质岩中的地球化学性质

有关世界各地各类变质岩中金的含量标在表 1-10 中^[2],从表中可知,全部变质岩含金平均值为 0.0109×10^{-9} ,其中以石英岩、硬结砂岩含金量最高,而板岩、千枚岩、变质岩等含金量最低。变质岩平均含 Ag 为 0.15×10^{-9} ,Au/Ag 比值为 0.0727。除大理岩、结晶灰岩含银较低外,其余各类变质岩中,银的含量超过金 10~100 倍。我国各类变质岩中金含量在表 1-11 中列出^[2]。

表 1-5 金在岩浆岩中的丰度⁽¹⁾

岩石类型		岩石名称	平均含量 (10^{-9})	样品数
深 成 岩	酸性岩及 中酸性岩	花岗岩	1.70	310
		花岗闪长岩	3.00	380
		长英岩(花岗岩及云英岩脉)	4.20	23
	中性岩	闪长岩-石英闪长岩、英云闪长岩	3.20	261
	基性岩	辉长岩、辉长-闪长岩	4.80	580
	超基性岩	纯橄岩、橄辉岩	6.60	149
火山岩 及次火山岩	酸性岩	流纹岩、英安岩、霏细岩、黑曜岩	1.50	188
	中基性岩	玄武岩、安山玄武岩、安山岩、粗面安山岩	3.60	696

表 1-6 各种火成岩类型岩石的含金量^[2]

根据施切巴考夫		根据博伊尔	
岩石类型	金的平均含量(10^{-9})	岩石类型	金的平均含量(10^{-9})
超基性岩	9.4	超基性岩	11.4
玄武岩	6.5	基性岩	20.4
花岗闪长岩	4.0	中性岩	8.7
花岗岩	3.5	酸性岩	10.6
流纹岩	5.4	碱性岩	3.4

表 1-7 我国各地各类火成岩中金的含量(10^{-9})

岩石类型	产地	样品数	Au 含量
花岗岩	吉林夹皮沟张广才岭(燕山期)	1	0.004
黑云母花岗岩	吉林夹皮沟张广才岭(华力西期)	13	0.003
钾长花岗岩	吉林五里山	14	0.110
钾长花岗岩	吉林金苍北山	1	0.050
钾长花岗岩	吉林大二道沟	1	0.040
花岗岩	吉林石间坪	1	0.050
黑云母花岗岩	龙江东风山		0.017
花岗岩	黑龙江西部		0.43
白岗岩	黑龙江西部		0.3
碱性花岗岩	黑龙江西部		0.048
奥长花岗岩	山东鲁西	19	0.0033
二长花岗岩	山东鲁西	17	0.0061
二长花岗岩	河南小寨岭(文峪岩体)	19	0.00071
花岗岩	内蒙昭盟格山岩体	13	0.02
花岗岩	河南围山城(桃园岩体)	38	0.015
花岗岩	河南围山城(染湾岩体)	13	0.0016
花岗岩	河南阜阳-济源	3	0.0014
			0.0014
花岗岩	华南花岗岩体		0.0033
似斑状黑云母二长花岗岩	辽宁辽南(石庙岩体)		0.003

续表 1-7 我国各地各类火成岩中金的含量(10^{-4})

岩石类型	产地	样品数	Au 含量
中粗粒细粒黑云二长花岗岩	辽宁辽南(石花顶子、八卦寺、大闹沟等岩体)	3	0.005
中细粒黑云母花岗岩	广东西部	4	0.005
花岗岩株	山东沂南冶官墓		0.84
花岗岩	山东招掖滦家河岩体	32	0.043
花岗岩	华南诸广、贵东岩体	3	0.00038
花岗岩岩墙	辽宁柏杖子(燕山期)		0.02~0.600
花岗斑岩	吉林大二道沟	2	0.04
花岗斑岩	吉林苇塘沟	1	0.130
钾长花岗斑岩	吉林孔家店	1	0.090
斜长花岗斑岩	黑龙江团结沟	58	0.0152
花岗斑岩	山东沂南冶官墓		1.35
花岗斑岩	黑龙江团结沟	105	0.0113
花岗闪长岩	黑龙江金苍北山	1	0.140
花岗闪长岩,细粒花岗岩	黑龙江西部		0.18~0.22
花岗闪长斑岩	黑龙江西部		0.1
花岗闪长岩	桂东张公岭(大宁岩体)		0.0037
花岗闪长斑岩	黑龙江团结沟(葡萄沟)	5	0.002
花岗闪长斑岩	黑龙江团结沟	4	0.002
斑状花岗闪长斑岩	青海松树南沟	184	0.107
闪长岩类	黑龙江西部		0.1~0.5
闪长岩	桂东张公岭		0.009
闪长岩	安徽铜陵天鹅抱蛋山	12	0.0114
石英闪长岩	安徽铜陵铜官山	2	0.00392
石英闪长岩	安徽铜陵金口岭	2	0.00804
闪长玢岩	安徽铜陵虎山	1	0.00153
闪长玢岩	吉林五间房、小二道沟	2	0.04
闪长玢岩	山东西部地区	21	0.022
辉绿岩	山东西部地区	10	0.0115
辉绿岩	河南小秦岭	3	0.00037
辉绿岩	四川康定偏岩子		0.02~0.95
钠长辉绿岩	浙江中乔	5	0.00166
基性岩脉	山东招掖		0.3118
超基性岩	云南墨江	92	0.060
辉长辉绿岩	陕西李家沟	9	0.05
细晶岩脉	安徽铜陵天鹅抱蛋山	1	0.01360

续表 1-7 我国各地各类火成岩中金的含量(10^{-6})

岩石类型	产地	样品数	Au 含量
煌斑岩脉	陕西太白	4	0.020
煌斑岩脉	辽宁水泉	1	0.0044
流纹岩	吉林上玉兴	1	0.026
霏细斑岩	浙江治岭头	6	0.0042
钠长斑岩	浙江治岭头	2	0.0435
英安岩	黑龙江团结沟	3	0.003
英安斑岩	黑龙江团结沟	3	0.004
英安质火山岩	山东鲁西	17	0.0024
安山岩	吉林五凤	6	0.060
安山岩	吉林刺猬沟	2	0.025
角闪安山岩	吉林刺猬沟	1	0.090
玄武岩	新疆托里		0.0057
玄武岩	黑龙江团结沟	3	0.003
玄武岩	吉林夹皮沟	13	0.006
玄武岩	河北小营盘		0.004
拉斑玄武岩	山东鲁西	12	0.0052
细碧岩类	浙江中岙	17	0.0033
细碧岩	浙江中岙	12	0.004025
细碧玢岩	青海松树湾沟	122	0.140
科马提岩	山东鲁西	40	0.004
玲珑混合花岗岩	山东招掖	11	0.0026
郭家岭混合花岗岩	山东招掖	8	0.0058
溱家河花岗岩	山东招掖重熔型	32	0.0043
混合花岗岩	山东招掖		0.0041
混合花岗岩	吉林桦甸	7	0.002
混合花岗岩	福建	4	0.0022
混合花岗岩	粤西	3	0.0047
混合花岗岩	江西		0.009
混合花岗岩	黑龙江老柞山区	5	0.019
混合花岗岩	黑龙江新立区	11	0.018
混合花岗岩	黑龙江团结沟	4	0.004
混合花岗岩	吉林夹皮沟		0.003

资料来源:我国各类岩石、矿物含金量数据引自金银矿产选集、东北地质、金矿参考资料汇编、全国金矿矿床矿物成因矿物学会议论文选集等刊物及内部资料。

表 1-8 固结和未固结沉积岩中的金含量(10^{-6})[1]

岩石类型	样品数	Au 含量范围	Au 平均值	Ag 平均值	Au/Ag 比 值
未固结的海洋沉积物	299	0.0003~2.5000	0.0523	—	—
砂岩、长石砂岩、砾岩和沉 积角砾岩	3474	0.0002~0.4300	0.0570	0.2	0.2850
杂砂岩和亚杂砂岩	38	0.0010~0.1000	0.0132	0.2	0.0660
维特瓦特斯兰德型及相似 的含金砾石砾岩		0.4~2.30	8.0	0.8	10.0
页岩、泥岩、粉砂岩、粘板岩	1356	0.0001~0.8000	0.0080	0.2	0.0400
含硫化物片岩、含黄铁矿的 杂砂岩黑色页岩、凝灰岩等	19	0.0025~2.100	0.1320	0.6	0.2200
凝灰岩类	97	0.0005~0.1120	0.0069	0.3	0.0230
石灰岩、白云岩	440	0.0002~0.0889	0.0070	0.1	0.0700
蒸发岩类〔石膏、硬石膏 岩盐、钾盐等〕	18	0.0050~0.0850	0.0208	<0.1	<0.1
	15	0.0050~0.0400	0.0238	<0.1	<0.1
燧石	3	0.0050~0.0400			
磷块岩	1		0.0072		
锰结核	1		0.0002		
所有沉积岩	2761	0.0001~2.5000	0.0403	0.3	0.1343

表 1-9 我国各地各类沉积岩中金分布(10^{-6})[2]

岩石类型	产 地	样品数	Au 含量
角砾岩	广西上林		0.15
石英岩质砾岩	陕西二台子	2	0.039
含砾砂岩	桂东张公岭(清溪群)		0.0076
砂岩	桂东张公岭(清溪群)		0.080
泥质砂岩	桂东张公岭(清溪群)		0.0044
砂岩	陕西太白	79	0.09
石英砂岩	河北平泉		0.005
石英砂岩	陕西李家沟		0.02

续表 1-9 我国各地各类沉积岩中金的分布(10^{-6})⁽²⁾

岩石类型	产地	样品数	Au 含量
长石石英砂岩	湖南沃溪		0.02
凝灰质砂砾岩	吉林团结沟地区	2	0.045
灰色细砂岩	湖南桃源		0.0061
粉砂岩	云南墨江	84	0.22
凝灰质中细砂岩	新疆托理		0.0182
凝灰质细砂岩	新疆托理		0.0164
			0.2123
凝灰质粉砂岩	新疆托理		0.0101
含生物碎屑含砾凝灰质砂岩	新疆托理		0.0472
钙质细砂岩、钙质粉砂岩	陕西二台子	3	0.014
页岩	桂东张公岭(清溪群)		0.0325
碳质页岩	桂东张公岭(清溪群)		0.130
黑色粘土页岩	湖北崇阳	1	0.08
火山角砾岩	黑龙江团结沟	5	0.002
安山集块岩	黑龙江团结沟等地区	2	0.045
角砾凝灰岩	黑龙江团结沟等地区	1	0.04
安山质熔角砾岩	黑龙江团结沟等地区	1	0.010
安山质角砾熔岩	黑龙江团结沟等地区	1	0.050
流纹质岩屑晶屑凝灰岩	黑龙江团结沟等地区	2	0.084
流纹质含角砾岩屑晶屑凝灰岩	黑龙江团结沟等地区	2	0.042
细凝灰岩	新疆托理		0.0067
灰岩	陕西太白	52	0.02
结晶灰岩	黑龙江东风山		0.0130
薄层灰岩(含粉砂岩、泥岩)	陕西二台子	2	0.0130
灰岩	广西上林		0.05
细粒白云岩	广西上林		0.20
白云岩	陕西李家沟		0.1~0.2
白云岩	辽宁水泉	4	0.031
白云岩	湖北崇阳	1	0.03
硅质岩	湖北崇阳	2	0.02~0.03

表 1-10 变质岩中的金含量(10^{-6})[2]

岩石类型	样品数	含量范围	平均值	Ag 的平均含量	Au/Ag 比值
石英岩和硬结砂岩	289	0.0002~1.1500	0.0317	—	—
板岩、千枚岩、变质泥岩	225	0.0009~0.0150	0.0022	0.2	0.0110
片麻岩类、变粒岩类	1929	0.0002~0.3000	0.0031	—	—
角闪岩类、绿岩	425	0.0001~0.1000	0.0071	0.25	0.0284
片岩类	1969	0.0001~3.7000	0.0186	0.2	0.0930
大理岩和结晶灰岩	40	0.0002~0.3000	0.0132	0.05	0.2640
角岩类和变质泥质岩	368	0.0003~0.3000	0.0064	—	—
榴灰岩类	103	0.0008~0.0400	0.0036	0.10	0.0360
砂卡岩类	44	0.0076~0.0200	0.0086	—	—
未区分的变质岩石(残斑岩、绿岩石化和绿帘石化凝灰岩类,等等)	12	0.0004~0.0084	0.0038	—	—
所有变质岩	5404	0.0001~3.7000	0.0109	0.15	0.0727

表 1-11 我国不同地区各类变质岩中的金含量(10^{-6})[1]

岩石类型	产地	样品数	Au 的平均含量
变质砂岩	辽宁四道沟	3	0.162
变质砂岩	桂东(清溪群)		0.080
紫白绢云母板岩	湖南沃溪(板溪群)		0.021
含碳凝灰质千枚岩	辽宁四道沟	6	0.179
石英绢云母板岩	陕西李家沟	3	0.758
灰色板岩	湖南桃源		0.0205
变质砂岩	湖南会同	1	0.003
含砾砂质板岩	湖南会同、新邵	3	0.0145
板岩	陕西太白	41	0.03
碳质板岩	陕西太白	10	0.03
紫色板岩	陕西二台子	1	0.006
板岩、千枚岩	陕西二台子	2	<0.002
硅质板岩	黑龙江东风山		0.0478

续表 1-11 我国不同地区各类变质岩中的金含量(10^{-6})^[1]

岩石类型	产地	样品数	Au 的平均含量
含碳泥质板岩	黑龙江东风山		0.0340
粉砂质板岩	黑龙江东风山		0.0510
云母片岩	辽宁四道沟	6	0.002
云母片岩	黑龙江团结沟	3	0.010
阳起石片岩	黑龙江团结沟	1	0.098
钠长绿泥片岩	黑龙江团结沟	3	0.063
云英片岩	黑龙江团结沟(近斑 岩接触带)	3	0.228
角闪片岩	辽宁清源	6	0.44
黑云片岩	辽宁清源	27	0.18
含石榴石黑云片岩	辽宁清源	15	0.05
磁铁角闪片岩	辽宁清源	13	0.12
矽线石云母片岩	辽宁辽东地区(辽河群)	6	<0.002
云母钠长片岩	东北(黑龙江群)		0.005
绿色片岩	东北(黑龙江群)		0.034
云母石英片岩	东北(黑龙江群)		0.039
云母片岩	东北(黑龙江群)		0.043
黑云母片岩	辽宁白云金矿区(辽河群)	24	0.0227
绿泥绿帘片岩	福建政和-尤溪		0.1
斜长绿帘绿泥石片岩	福建政和-尤溪		0.2
透辉阳起石片岩	福建政和-尤溪		0.24
方解绿帘绿泥石片岩	福建政和-尤溪		0.26
绿泥石阳起石片岩	四川冕宁茶铺子	83	0.106~0.220
绿泥石片岩	四川木里金山	5	0.062
片麻岩	浙江治岭头	39	0.0121
黑云母斜长片麻岩	浙江治岭头(陈蔡群)		0.017
斜长角闪片麻岩	吉林夹皮沟	1	0.070
斜长角闪片麻岩	山东胶东(胶东群)	10	0.007
混合岩化斜长角闪片 麻岩	山东胶东(胶东群)	6	0.006
斜长片麻岩	山东胶东(胶东群)	7	0.011
斜长角闪片麻岩	河南小秦岭(太华群)	27	0.00094
斜长片麻岩	河南小秦岭(太华群)	3	0.00134
角闪岩	吉林夹皮沟(鞍山群)	2	0.0305

续表 1-11 我国不同地区各类变质岩中的金含量(10^{-6})^[2]

岩石类型	产地	样品数	Au 的平均含量
斜长角闪岩	吉林夹皮沟(鞍山群)	4	0.2175
斜长角闪岩	东北(黑龙江群)		0.0375
斜长角闪岩	山东胶东(胶东群)	5	0.049
斜长角闪岩	河南小秦岭(太华群)	3	0.00163
变粒岩	东北(黑龙江群)		0.028
变粒岩	河北张宣地区	21	0.0031
变粒岩	福建政和-尤溪	5	0.36
黑云母变粒岩	辽宁辽东(辽河群)	23	0.004
角闪斜长变粒岩	辽宁清源	12	0.32
黑云斜长变粒岩	辽宁清源	52	0.28
角闪斜长变粒岩	河北张家口(桑干群)	3	0.049
混合岩化角闪斜长变粒岩	河北张家口(桑干群)	2	0.041
含黑云母角闪斜长变粒岩	河北张家口(桑干群)	1	0.025
麻粒岩	河北小营盘	4	0.0168
石英岩	河南小秦岭	11	0.00059
石英岩	云南墨江	268	0.25
片状石英岩	东北(黑龙江群)		0.034
磁铁石英岩	辽宁清源	7	0.05
白云质石英岩	新疆托里	2	0.004
大理石	四川木里耳泽		0.08~0.15
结晶灰岩及大理岩	四川木里金山	39	0.0855
大理岩	辽宁辽东(辽河群)	3	0.007
结晶灰岩透闪石大理岩	辽宁辽东(辽河群)	3	0.154
大理岩	河南小秦岭(太华群)	9	0.00055
硅化白云岩	陕西李家沟	21	<0.127
大理岩	辽宁白云金矿(辽河群)	13	0.002~0.007
混合岩	河南小秦岭(太华群)	77	0.00064
混合岩	河北小营盘	3	0.0106
混合岩	福建政和-尤溪	9	0.27
均质混合岩	河北张宣地区	4	0.0053
均质混合岩	山东胶东(胶东群)	2	0.005
蛇纹岩	山东鲁西地区	10	0.0066
蛇纹岩	黑龙江太平沟	20	0.04

1.5.4 各主要造岩矿物中的金分布

金在各类矿物中的分布变化很大,一般趋势是,铁镁质矿物中金含量要比长英质矿物高,副矿物的含量最高,如表 1-12 所示。

表 1-12 金在各种矿物中的含量^[1]

矿 物	岩 石 类 型	含 金 量 10^{-9}	金含量变化范围 10^{-9}	样品数
石 英	花岗闪长岩(美)	0.30	0.10~3.40	12
长 石	花岗闪长岩(美)	0.50	0.02~1.40	8
黑云母	花岗闪长岩(美)	2.60	0.10~15.80	11
角闪石	花岗闪长岩(美)	0.60	0.20~1.30	10
	辉长岩、闪长岩(苏)	5.90	0.20~1.30	10
辉 石	橄辉岩、辉长岩(苏)	16.00	3.50~40.00	4
榍 石	云英闪长岩(美)	17.50	0.50~34.60	2
磁铁矿	花岗闪长岩(美)	11.20	0.40~49.30	7

1.5.5 金在各种土壤及其它风化产物中

大多数土壤的平均含金量都是很低的,但金在某些类型的土壤中以及在金矿床的含金岩石附近的各种冰川产物和风化产物中是富化的。甚至在這些风化产物当中有些可构成有价值的金矿床。

据博伊尔等人资料,对远离金矿床土壤里的金含量分析获得,加拿大大多数远离金矿床土壤的一般背景含金量值范围是 $(0.0005 \sim 0.005) \times 10^{-9}$ 。北极岛部分灰色、灰褐色和红褐色土壤含金分别为 $(0.001, 0.0003 \text{ 和 } 0.0018) \times 10^{-9}$ 。在对世界不同地区金矿床附近的土壤中金含量考察中获得,金含量一般在 $(0.01 \sim 10) \times 10^{-9}$,个别可达 $(20 \sim 30) \times 10^{-9}$ 。明显比正常土壤富化。

各种风化产物如铝土矿,红土,沼铁矿、沼锰矿等资料较少,其中红土往往有金富集,尤其是在下面有金矿床的地方附近,通常红土含少量金,一般为 0.01×10^{-6} ,铝土矿中金的变化范围极大,从 $(0.0004 \sim 0.0290) \times 10^{-6}$ 。差异达两个数量级。其算术平均值为 0.0045×10^{-6} 。地槽型铝土矿和地台型铝土矿的金含量有些差别,地台型较富些,为 0.0049×10^{-6} 。

1.5.6 金在各种天然水体及其沉淀物中

海水、河水、湖水、泉水及地下水都含有数量不同的金,它们的主要特征如表 1-13 所示。

表 1-13 各种天然水系中金的含量^[3]

水体和产地	样品数	Au 的含量 10^{-6}	pH 值	备 注 10^{-6}
海水	73	0.001~46	6.5~7.7	71%的数值在 0.001~0.50 之间
河水	24	0.002~4.7	6.5~7.6	73%的数值在 0.002~0.1 之间
金矿附近的河水	24	0.0048~35		91%的数值在 0.0048~0.150 之间
湖水				
淡水湖(贝尔加湖,西腊的湖)	21	0.12~7.7		
咸水湖(美国大盐湖及欧文斯湖)	4	0.004~32		
温泉水	35	0.004~2.2	<1~14	65%的数值在 0.04~0.7 之间
地下水和冷泉水	8	<0.0005~0.2	6.3~7.3	
金矿附近的地下水、冷泉水及矿坑水	84	<0.0008~80	2~8	84%的数值在 0.001~1.0 之间

大洋海水的平均金含量为 0.02×10^{-9} ,但在各大洋中因地区不同,含金量亦有差异,各洋区金含量如表 1-14 所列。

表 1-14 海洋水中金的含量^[1]

海 洋	采 样 地 点	样 品 数	Au 的含量 10^{-9}	
			变化范围	平均值
南大西洋	186	1635	—	0.004
南大西洋	开普敦(南非),近岸处	1	—	0.009
北大西洋	不列颠海岸,波特兰,0~ 50 米深处	29	0.015~0.508	0.139
北大西洋		8	0.0038~0.027	0.011
北太平洋	旧金山海湾(美国)	87	0.002~0.055	0.012
北太平洋	华盛顿海岸(美国)	2	5.1~44	25
北太平洋	本洲之东(日本)	21	0.006~0.43	0.13
北极海		42	0.009~0.19	0.044
地中海	直布罗陀到热那亚沿岸,科 西嘉岛和摩纳岛	71	0.05~1.9	0.4
印度洋		4	0.0045~0.015	0.010

水圈的天然淡水中平均含金为 0.03×10^{-9} ,各类天然淡水中金含量大致为表 1-15 所示。它们的金主要来自大陆岩石,矿床及其风化产物,少量来自工业及民用废水。

许多温泉、冷泉、和地下水的天然沉淀物中都含有少量金,有些沉淀物里含金较高,特别是靠近金矿床的那些沉淀物。红海的海底温泉沉淀物含金高达 5.6×10^{-6} ,锰的各种氧化物常常富集金,特别是含有或混杂有锰的各种氧化物、磷酸盐、砷酸盐等的褐铁矿往往含有相当大量的金。有机化合物在某些地区也是金的主要富集剂。金在天然沉淀物里的性状是变化无常。在锰的各种氧化物或褐铁矿里大部分金可能是被

吸附态,或是作为氧化物络合物整体的一部分。

表 1-15 天然淡水中金的含量^[1]

水 体	产 地	样 品 数	Au 的含量 10^{-9}	
			变化范围	平均值
河 水	苏联远东、依尔库茨克、外 北贝加尔、卡姆喀什	7	0.006~4.7	0.15
莱茵河水	德国卡尔鲁斯鲁厄、朔普夫 特林、莱沃库森	24	0.0001~0.1	0.0033
溪 流 水	美国科罗拉多	29	0.001~0.08	0.022
溪 流 水	原苏联阿尔丹地盾、卡拉那 赫矿区	4	0.05~0.2	0.08
温 泉	日本九州岛($T=43\sim98^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=2.0\sim7.6$)	27	0~22	0.53
温 泉	美国黄石公园	—	0.004~0.1	—
温 泉	原苏联中亚($T=18^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=7.6$)	1	—	0.07
重碳酸泉水	原苏联东外贝加尔等地 ($T(\text{平均})=6.9^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}(\text{平均})=6.3$)	1	0.1~0.2	0.14
近地表地下水	原苏联哈萨克斯坦等地	180	0.1~4	0.15
地 下 水	原苏联哈萨克斯坦	106	0.1~2.0	0.4

金在自然水体里的存在形式可能是下列情况中的一种或多种的综合:

- (1) 自然金的极细颗粒。
- (2) Au^+ 和 Au^{3+} 离子。
- (3) 金的氢氧化物。
- (4) 可溶性卤盐和卤素络合物。
- (5) $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ 型的硫酸盐络合物。
- (6) 可溶性酸盐。

- (7)可溶性砷酸金或砷酸金络合物。
- (8)金的可溶性亚铋酸盐或铋酸盐络合物。
- (9)金的可溶性硝酸盐、亚硝酸盐和其它无机物。
- (10)金的可溶性氰化物、硫氰盐络合物。
- (11)金的可溶性有机络合物。
- (12)作为络合的硫化物、多硫化物、碲化物等的络合物。
- (13)作为各种胶体或溶胶。
- (14)作为水气(蒸气)里的汽溶胶和蒸气。
- (15)水体中各种腐植质络合物。
- (16)作为悬浮散粒物的必要组成或为其吸附。
- (17)作为各种由游弋和漂浮微体动植物组成部分或为其所吸附^[1]。

金在各种天然水体里的迁移情况概述如下:在地下水、泉水和地表水里它们很多是作为一种胶体存在,或是被吸附到有机胶体,无机胶体或有机-无机胶体上,以及散粒体上。其余的金则以可溶的形式存在于各种各样络合物里。在深部溶液里,金显然以络合物形式存在,主要为某些硫化物,铋-砷-硫化物或碲化物-硫化物形式。在酸性介质中,金也可被络合成某些氯络合物。

含有各种形式溶解金的溶液和气体,在温度、压力和浓度改变时,常常引起金的沉淀作用。除这些主要因素外,还有其他许多机制可使金从天然水体和蒸气里沉淀出来^[1]。主要包括:

- (1)由于 pH 值和其他参数改变引起金的络合物分解。
- (2)可溶性金络合物和胶体的吸附和(或)共沉淀。
- (3)氧化-还原电位的改变。
- (4)蒸汽、气体和溶液中 H_2S 、 S^{2-} 或 Cl^- 浓度降低。

(5)含金溶液、气体和胶体同各种天然物质相反应造成金的沉淀作用。

(6)胶体的凝聚作用。

(7)升华作用。

(8)由氧化引起有机络合物的分解。

(9)带有金的散粒物的沉积作用。

(10)含金动植物的死亡和沉积。

(11)生物沉积作用。

1.5.7 金的生物地球化学性质

金是许多植物和动物体内的一种微量组份,这在几百年前就已被认识。在这方面的报道文献很多。下面将分别讨论。

1.5.7.1 金在各种植物里

各种植物里的含金量变化范围很大,因此平均值实际是无意义的。表 1-16 列出各类植物的含金量范围。不少研究表明,真菌和细菌对金在自然界的循环中可能起着重要作用。在对草本植物含金研究中,有人发现荞麦、豆类和马尾草有比土壤含金量高得多的金含量,认为可能是一种良好的金收集器。金被植物吸收并转移位置的现象被许多人研究,获得如下结论^[1]:

(1) 只有少数植物能大量吸收金。

(2)金的浓度对某些植物是有代表性的。

(3)被植物根吸收的金散布到整个植物体内,并在某些器官里富集起来,如种子。植物年长,含金量增高。

(4)植物能吸收固体金粒所产生的离子化金。

1.5.7.2 金在各种动物里

过去人们只在有限的动物中测定过金,这些资料中反映

表 1-16 各种植物的含金值

植 物 类 型	灰分中含金值 (范围) 10^{-4}	资 料 来 源
<u>无维管束</u>		
细菌	无资料	afetrovetal. (1968); Aripovaand
藻类(海生)	0.00015~1.7	Prikhid'ko(1965); Aripovaand
藻类(陆生)	无资料	Talipov(1966); Babicka(1943);
真菌类(陆生)	痕量~11.6	Beridze etal. (1969); Boyle(未发表)
地衣类	1~1.3	Carnon etal. (1968); Curtin etal.
台藓类	0~19.2	(1968); Harmesa(1954); Hukal and
<u>有维管束</u>		Meinke(1962); Kaspai etal. (1972);
草本		Khouarnov etal. (1966); Korotavevu
禾本科和莎	0~8.6	and Polikarnocnkin(1970); Lungwitz
草科		(1900a,b); Raen and Rozhkov(1963,
非禾本科	0~610	1966); Schiller etal. (1971a,b,
灌木	0~600	1973); Stark(1943); Warren and
乔木		Delavtrail(1950); Zvyagintsev
针叶树	0~6	(1941)
落叶树	0~10	
<u>其它</u>		
蜜蜂	未检测到	
葡萄酒(前苏联	0.03~0.758	
产)	$\mu\text{g/L}(10^{-3})$	

的各种动物的含金量大致如表 1-17 所列,但当人们对某些含金高的动物深入研究后发现,像金龟子当吃不含金的植物叶子时就没有聚集金的机会,其灰里的金含量也显著减低。由表中资料可以看出,海生动物的含金量比陆生动物的似乎要

表 1-17 各种动物的含金量

动物类型	Au 10 ⁻⁹	资料来源	说 明
海生动物			
海绵	10	1	干物质内
海绵(多种)	18~126	2	干物质内
海胆	7	1	壳呢
海星	30	1	干物质内
海参	24	1	干物质内
水母	7	1	干物质内
	10	1	干物质内
蛤(<i>Tapes japonica</i>)	5.7	3	软体部分干物质内
对虾(<i>Pandalus sp.</i>)	0.28	3	软体部分干物质内
鲈鱼(<i>Pneumatophorus japonicus</i>)	0.12	3	肌肉干物质内
陆生动物			
甲壳动物类(蟹)	0	4	壳内
昆虫类			
金龟子	25000	4	灰内
蜂(<i>Vespidus sp.</i>)	400	5	灰内
水甲虫	0	5	灰内
白蚁	0	5	灰内
鸟类			
多种	0~1500	5	灰内
兽类			
多种	0~14000	4, 6	干湿两种物质内

资料来源: 1. Noddack and Noddack (1939); 2. Bowen (1968); 3. Fokai and Meinke (1962); 4. Bahloka (1943); 5. Bazin and Rozhkov (1966); 6. Lones (1970)

略低一些, 金似乎相当大量地富集在动物体含蛋白质的部分(毛发、脑、鱼的肌肉)里^[1]。

1. 5. 7. 3 金在各种腐殖土、泥炭沼、苔泥滩和湿沼泽里

因为腐殖土和腐殖堆积层里有各种还原性物质和 H_2S 存在,对各种金属有强烈吸附、吸收能力。金也和其他金属一样,往往会富集在腐殖土堆积层里^[1]。人们对腐殖土研究,知其含金量大致为 $<0.04 \sim 5.1 \times 10^{-6}$,它在腐殖土中是以极小的胶体存在,或是作为一种腐殖酸盐被结合或是螯合在其他金属有机化合物结构里。泥炭沼泽里、苔藓滩里和各湿沼泽里的有机质在某些地区里含金较高,达 $(0.01 \sim 2.3) \times 10^{-6}$ 。

1. 5. 7. 4 金在煤里

金在许多煤层里是一种常见的微量组份。但一般存在的量在灰分中低于 0.05ppm。有些煤层似乎所含金、银都大大富集了。请参看表 1-18。金在煤里的富集,通过下列一种或多种过程综合^[1];

- (1) 煤里的金有一些直接来自聚集起来的植物。
- (2) 金从流进或流经古老成煤沼泽地表水体里沉淀。
- (3) 金从循环地下水里沉淀。
- (4) 金来源于热液。

1. 5. 7. 5 金在有机质页岩、石油及其他各种碳氢化合物里

含有有机质、沥青、油母质等及其裂解产物的页岩和其他岩石,同普通页岩相比,往往含金略富,但金在这些岩石里的分布通常是不规则的。

石油含金的资料较少,表 1-19 介绍意大利、美国和利比亚的许多油田采集的油样和沥青样的含金量。石油里的含金量是 $<0.1 \times 10^{-9} \sim 3.012 \times 10^{-9}$,沥青是 $0.1 \times 10^{-9} \sim 1.0 \times 10^{-9}$ 。

表 1-18 煤里的含金量

产 地	说 明	Au(10^{-6}) (含量范围)	Ag(10^{-6}) (含量范围)	Au/Ag 比值	资料来源
德国和英格兰	煤灰里	0.2~1.0	0.5~10	—0.1	1
美国怀俄明州和 南达科他州	Cambria 煤的煤灰	17.1	—	—	2
	Cambria 煤层(含黄 铁矿的)砂岩顶板	0.1	—	—	2
美国西部	用 Cambria 煤炼的 焦煤	4.2(平均) <0.02	14.7(平均) —	0.28 —	2 3
美国东部	煤里灰	<0.05	—	—	4
南斯拉夫蒂莫 克盆地	褐煤、烟煤和半无 烟煤等煤灰里	0.117~0.573	2.56~6.07	—	5
加拿大新斯科舍 省布雷顿角岛 Gaspereau 河地区	宾夕法尼亚纪煤的 煤灰里	<0.01	0.78	<0.01	6
加拿大新斯科舍 省悉尼 Harbour 煤层	宾夕法尼亚纪煤 的煤里	<0.001	1.2	<0.0008	6
加拿大新不伦瑞 克省斯通黑文	宾夕法尼亚纪煤 的煤灰里	<0.01~0.015	2.3	—0.004	6
加拿大新斯科舍 省 Shubenacadie	煤里,有黄铁矿 的白垩纪褐煤	<0.005	1.3	<0.004	6
加拿大新斯科舍 省沃尔顿	煤里,密州纪砂 岩内断层附近有 黄铁矿的煤碎块	0.034	5.47	0.006	6
加拿大新斯科舍 省沃尔顿	从上述煤碎块里 分离出来的黄铁 矿和其它硫化物	0.5	77.3	0.0008	6
加拿大新斯科舍 省胡德港	黄铁矿,宾夕法 尼亚纪煤	0.04	0.17	0.23	6
加拿大新斯科舍 省萨克维尔附近 Dorchester 矿	宾夕法尼亚纪砂 岩里含有辉铜矿 的块煤碎	<0.01~0.03	2~190	<0.005	6
加拿大新斯科舍 省 Shippegan 岛	宾夕法尼亚纪砂 岩里含有辉铜矿 的煤碎块	0.01~0.08	27.5	—0.002	6

资料来源, 1. Goldschmidt and Peters(1933); 2. Stone(1912); 3. U. S. Geological Survey Circular 560(1968); 4. U. S. Geological Survey Circular 622(1968); 5. Popovic(1954); 6. Boyle(未发表)

石油里的金可能来自下列几方面^[1]：

- (1)来自生成石油的原来的动植物体。
- (2)通过吸附和吸收过程取自沉积岩。
- (3)通过同原生水和其他水溶液相接触而被吸收。

表 1-19 原油和沥青的金含量

试样号和类型	产 地	金含量(10^{-9})
据 Colombo 等人(1964)资料		
原油	意大利阿兰诺	<0.1
原油	意大利基埃蒂	<0.1
原油	意大利 Cerromaggiore	<0.1
原油	意大利 Avarella	<0.1
沥青	意大利基拉	0.5 ± 0.2
沥青	意大利诺托	1.0 ± 0.1
沥青	意大利维多利亚	0.2 ± 0.1
沥青	意大利拉古萨	0.2 ± 0.1
据 Shah 等人(1970)资料		
原油 010	美国加利福尼亚州	1.238 ± 0.032
原油 011	美国加利福尼亚州	0.723 ± 0.039
原油 012	美国加利福尼亚州	1.174 ± 0.06
原油 013	美国加利福尼亚州	1.911 ± 0.34
原油 014	美国加利福尼亚州	3.012 ± 0.40
原油 015	利比亚	0.666 ± 0.032
原油 016	利比亚	1.365 ± 0.076
原油 0.17	利比亚	1.242 ± 0.261
原油 0.18	美国路易斯安那州	0.668 ± 0.06
原油 0.19	美国怀俄明州	1.489 ± 0.051

1.5.8 金在大气里

大气里的金几乎全部都呈散粒存在,有一些可能作为挥发性的甲基金存在,也可能作为其他某种微生物活动产生的

挥发性有机金化合物。金可能或是散粒的整体的一个组份或是存在于被吸附形式中。散粒的来源是多方面的,包括被风从地面和海面吹起来的气溶胶、火山产生的气溶胶、工业污染气溶胶以及地球以外来的不明质点(陨尘),有人测定获得雨水每升含金 0.01 微克(0.01mg/L),空气每公斤含金不到0.003毫微克。

金是地球上某些气体、气溶胶的一种组份。尤其是在火山区内^[1]。

1.6 金成矿与找矿

研制找金新仪器,评价找金新方法,首要是看其找金效果,即在金矿找矿工作中的地位。

金矿找矿是一项具有战略性的侦察工作,其主要任务是在选定的区域内进行地质调查,以期圈定金矿成矿的有利地段,发现金矿床(点),查明金矿床(点)的实际工作价值,并对区域远景做出初步评价,为能否对工作区开展详查提供依据和基础地质资料。

要做好找金工作,深入开展金成矿规律研究是必要的,掌握、认识中国金成矿地质规律,更是在我国开展物化探找金、研究找金新方法、新仪器的重要前提。

只有对中国的金成矿与找矿现状有足够认识 and 了解,才能在研制找金新仪器和评价找金新方法中,既有创新又有高效益。下面对此作简要介绍。

1.6.1 中国金矿分类

金矿床分类,目前尚无统一标准,国内外学者和各国政府由于对金矿床分类的依据尚无统一意见,故形成分类的多样性^[1]。现将我国目前常见的几种分类方案介绍如下。

1.6.1.1 岩金矿地质勘探规范分类法^[2,4]

(1) 石英脉型金矿床

- 1) 石英单脉型金矿床;
- 2) 石英复脉型金矿床;
- 3) 石英网脉型金矿床。

(2) 破碎带蚀变岩型金矿床

(3) 细脉浸染型金矿床

(4) 石英-方解石脉金矿床

1.6.1.2 东北地质科学研究所金矿组分类^[2,5]

(1) 岩浆热液型

- 1) 裂隙充填石英脉型;
- 2) 破碎交代蚀变岩型。

(2) 火山热液型

- 1) 火山岩型;
- 2) 次火山岩型。

(3) 变质热液型

(4) 砾岩型

(5) 砂金

- 1) 冲积型;
- 2) 冰川型。

(6) 伴生金

1.6.1.3 中国地质学会矿床专业委员会贵金属专业组分类方案^[2,6,7]

(1) 硅镁质岩浆分异金矿床

- 1) 岩浆结晶分异金矿床;
- 2) 岩浆熔离金矿床。

(2) 硅铝质岩浆热液金矿床

- 1)重熔岩浆热液金矿床;
- 2)混合岩化-重熔岩浆热液金矿床。
- (3)接触交代金矿床
- (4)火山-次火山金矿床
 - 1)火山沉积金矿床;
 - 2)火山热液金矿床;
 - 3)次火山热液金矿床。
- (5)沉积变质金矿床
- (6)变质热液金矿床
 - 1)古老绿色岩系中的金矿床;
 - 2)含炭质(火山)碎屑岩系中的金矿床。
- (7)地下热(卤)水溶滤金矿床
 - 1)碳酸盐岩系中的金矿床;
 - 2)碎屑岩系中的金矿床。
- (8)砂金(略)

还有不少分类方案,都出自不同的理论基础,其侧重面有所不同,在金矿床研究中也都起过一定作用,这里就不多介绍了。我们认为上述三种方案更有广泛性和代表性。

1.6.2 主要金矿床特征及其成因

金矿床的形成是整个地质作用的一部分,而影响金的成矿因素又是多方面的,十分复杂的。金的成矿作用又具长期性、多元性、多期性、继承性、再生性等特点,所以金的成矿过程往往迭加多种成矿作用。因此对某些金矿床,特别是成因,总会有不同看法。这需要我们认真去研究金矿地质特征、成矿地质背景和生成环境。在此仅对我国岩金矿床的(岩金矿地质勘探规范)分类中的几类矿床地质特征及可能成因作简要介绍^[2,3,4];

1.6.2.1 石英脉型金矿床

这是主要的岩金矿床类型,规模较大,分布广,数量多,赋存条件复杂多样。围岩主要是变质岩、中-酸性岩浆岩。石英脉常成群成带分布。石英脉型金矿床往往沿片理化带充填,脉旁经常发育线型蚀变,以硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化最为普遍,金的赋存部位可以是较宽的含矿脉体内,也可以是脉体上、下盘部位。脉型矿床最大的特点是含金脉体晚于各种容矿围岩,具多期性和迭加性,一般单脉型、复脉型和网脉型可同时并存。金属矿物组合以金属硫化物最常见。金的成色一般较高,多为900以上。其成因多为含金热液沿岩石的裂隙或断裂充填而成。

1.6.2.2 破碎带蚀变岩型金矿床

这是近年发现并确定的重要类型。围岩为中-酸性岩,变质岩、混合岩、矿体严格受断裂构造控制。围岩蚀变以硅化和黄铁绢英岩化为特征。矿体主要赋存在黄铁绢英岩化岩石中,脉石矿物以石英、绢云母为主,金属矿物以黄铁矿为主。矿石多呈细脉浸染状,金与硫化物共生。矿体规模较大,形态较简单,矿体规模可达大型至特大型。矿体常以破碎蚀变带形式出现,分带性较明显,一般呈规则宽厚的脉状体,延伸很大。矿化作用的强度有的从中心向两侧扩散,有的则富集在上、下盘围岩两侧。围岩蚀变以硅化、高岭土化、绢云母化、碳酸盐化、黄铁矿化最为普遍。蚀变岩带内常见到糜棱岩及角砾岩体(带)。矿石为细小的石英脉、石英团块等。其成因为含金热液交代破碎带岩石而成。

1.6.2.3 细脉浸染型金矿床

产在不同时代沉积地层中或赋存在中-酸性浅成侵入岩中,其容矿岩石多为硅铁质岩石、粉砂质岩石、含炭粘土质

岩石,部分为碳酸盐岩呈微细粒以浸染状产出,矿石常为热液交代容矿围岩而成。矿化多富集在改造后的胶结物中,蚀变主要有硅化、绢云母化、高岭土化、碳酸盐化、黄铁矿化等。金属矿物组合主要有黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、辉钨矿等。其成因为含金热液沿围岩的微细裂隙充填交代而成。

1.6.2.4 石英-方解石脉型金矿床

该金矿床产于中新生代火山岩中或在碳酸盐岩层及少量碎屑岩中。在与火山有关的近地表产出的矿床中,银含量常大大高于金。围岩蚀变以广泛的青盘岩化为主,另有硅化、冰长石化、碳酸盐化等,但个别矿床蚀变很弱。矿石组构以梳状、晶簇状为主。矿体形态以复脉为多见,在两脉交叉处常形成矿柱。矿化极不均匀,金属矿物组合由简单到复杂不等。矿床规模多为中小型。此类矿床多由含金和碳酸钙的热液沿围岩裂隙或断裂充填而成。

金矿的成因类型不同,其矿物组合、蚀变特点也不同,相应的元素组合也有区别。对此深入研究,就可建立不同的地球化学异常模式,用于地球化学找金工作。这在化探找金中将具体论述。

1.6.3 中国金矿区(带)分布特征

最近,我国的一些学者对我国金矿作了深入研究。他们或从不同的原则出发,或以不同的观点来解释我国金矿的分布格局,它们各具特色,这里就几种具代表性的研究介绍一下,供参考。

1.6.3.1 中国金矿 23 个集中区

最近,国家黄金局在组织有关人员编写的黄金矿山手册中,从下列原则出发:已知金矿床(点)密集,分布区域,古老含金地质体的分布,与古老含金地质体有依附关系的火山岩和

侵入岩特征;大致相当于大地构造的Ⅱ~Ⅲ级单元范围^[2,9~12]。以此,他们把我国金矿划分为23个金矿化集中区。每个集中区的地质背景,控矿因素,典型矿床实例等列在表1-20中。

1.6.3.2 核工业系统提出八个成矿区,十一个远景区和七个潜在远景区

近期核工业系统在编制1:200万中国金矿分布图的基础上,根据大地构造单元,岩浆岩带、矿床、矿点集中的程度,成矿远景和研究程度,将我国金矿分布区域划分为八个金成矿区(带),十一个金成矿远景区和七个金成矿潜在远景区^{*}。它们所处的构造位置、分布及矿床情况列在表1-21中。

1.6.3.3 以板块活动观点划分为四大成矿域和58个成矿带

近几年,随着板块构造观点在我国的传播,已经有一些同志试图用板块构造观点来解释我国金矿的分布格局。这里介绍冶金系统天津地质研究院罗镇宽等人根据中国板块构造的轮廓,以及近几年在这方面研究的新进展,把我国金矿划分为四大成矿域和58个成矿带^[13]。

(1)塔里木-中朝板块成矿域

- | | |
|--------------|---------|
| 1)额尔古纳成矿带 | 6)丹东-营口 |
| 2)呼玛-嫩江成矿带 | 7)赤峰-朝阳 |
| 3)佳木斯-牡丹江 | 8)冀东 |
| 4)延边刺猬沟-小西南岔 | 9)张家口 |
| 5)夹皮沟-和龙 | 灵丘-繁峙 |

* 核工业北京地质研究院金矿编图组,1/200万中国金矿分布图说明书,(内部印制)1991。

表 1-20 中国金矿集中区的一般特征^[1]

金的矿化集中区	构造位置	区划范围	金矿床类型	主要矿床实例
爱辉-呼玛集中区	内蒙-大兴安岭褶皱系	德尔布干深断裂以东黑龙江流域的爱辉-呼玛一带	岩浆热液型金矿床、火山热液型砂金矿床(为现代河流冲积型)	爱辉森 24 桥金矿塔源呼玛
嘉荫-鹤岗集中区	吉黑地槽褶皱系的佳木斯隆起和张广才岭优地槽褶皱带北部	小兴安岭东段的嘉荫-鹤岗-桦南一带	变质热液型 岩浆热液型(交代-重熔型) 火山热液型(斑岩型) 砂金(冲积)	东风山金矿 平顶山金矿 团结沟金矿 桦南
延吉-东宁-鸡西集中区	滨太平洋地槽褶皱区的延边华力西优地槽褶皱系	吉林的延边和黑龙江的鸡西、东宁一带	岩浆热液型(古生代) 火山热液型 砂金(第三纪-第四纪河谷冲积)	小西南岔中区 五凤金矿 珲春
桦甸-抚顺集中区	天山-兴安地槽和中朝地台的接壤部位	北界桦甸-铁岭南界集安-本溪一线	变质热液型 岩浆热液型	夹皮沟 集安金沟厂
丹东-营口集中区	胶辽台隆的营口-宽甸隆起	辽东半岛的辽阳-本溪-宽甸一线	变质热液型	四道沟 五龙
张家口-赤峰集中区	中朝地台的内蒙地轴东段	赤峰以南, 张家口-承德-北票以北的地区	变质热液型 火山热液型	小营盘 奈林沟
白云鄂博-白乃庙集中区	中朝地台的内蒙地轴西段	潮格旗-镶黄旗以南杭锦后旗-呼和浩特-集宁以北	岩浆热液型 砂金(冲积)	白乃庙 金盆
燕山集中区	中朝地台燕山台褶带的腹地	以昌平-蔚县-迁西青龙等燕山山脉分布区	变质热液型 岩浆热液型	金厂峪 峪耳崖
招远-乳山集中区	中朝地台的胶辽台隆南部	山东半岛的掖县-招远、乳山一带	岩浆热液型	玲珑、焦家

金的矿化集中区	构造位置	区划范围	金矿床类型	主要矿床实例
五台集中区	中朝准地台山西断隆五台隆起区	五台山、太行山的广大地区	变质热液型	义兴寨
灵宝-嵩县集中区	中朝准地台南缘基底	陕西华阴至河南嵩县一带	岩浆热液型 祁雨沟	小秦岭
西峡-南阳集中区		洛南-栾川-方城以南丹凤-西峡以北地区	变质热液型	银洞坡
鄂西北集中区	由黄陵、神龙架及武当山古隆起区组成	整个鄂西北地区	变质热液型	端坊
丽水-瓯江集中区	华南褶皱系的华夏褶皱带	福建马祖岛、泉州到广东南粤一带	变质热液型	治岭头
台湾集中区	太平洋岛弧地槽褶皱区		火山热液型	金瓜石
沅江-湘江集中区	扬子准地台	自黔西北,沿沅江流域至洞庭湖畔	变质热液型 砂金(冲积)	桃源沃溪 湘、资水流域
平南-连县集中区	华南褶皱系	广西浔江-桂江流域		
博白-罗定集中区	华南加里东褶皱系	广西交界的云开大山山区	变质热液型	博白坑
太白-柞水-安康集中区	北秦岭加里东褶皱带		渗滤热液型	二台子
略阳-小金-木里集中区	扬子准地台与松潘-甘孜地槽褶皱系之结合部位	略阳-汉中至四川木里一带	变质热液型 砂金(冲积)	李家沟 漳腊
三江流域集中区	三江褶皱系的中南部	四川巴塘至云南金平一带	变质热液型	墨江金矿
黔西南-桂西集中区	北属扬子地台、南部属华南褶皱系	包括黔西南、桂西和滇东南一部分	渗滤热液型	板其 叫曼
准噶尔集中区	天山-兴安地槽褶皱系	包括准噶尔盆地的东部和西部地区	变质热液型 火山热液型	托里 金山沟

表 1-21 我国金矿床分布特征表

类型	地 区	构 造 位 置	矿 床 情 况
金 成 矿 带 (8)	1. 黑龙江东北部	大兴安岭褶皱系北部, 吉黑褶皱系北部佳木斯隆起	各类金矿 52 处
	2. 胶辽	华北地台的胶辽台隆	各类金矿 112 处
	3. 华北地台北缘	内蒙地轴燕山台褶带, 山西台隆的五台隆起	各类金矿 120 余处
	4. 华北地台南缘	小秦岭隆起, 熊耳山隆起, 中条山隆起	各类金矿 57 处
	5. 秦岭	秦岭褶皱系, 武当-淮阳隆起	各类金矿(点)80 余处
	6. 云开-大瑶山	华南褶皱系, 云开褶皱带	大型 2 处, 中小型 48 处
	7. 雪峰山-九岭	扬子地台边缘	金矿 58 处, 矿点 150 余处
	8. 准葛尔-阿尔泰	准葛尔褶皱系, 阿尔泰褶皱系	金矿 14 处, 矿点数十处
金 成 矿 远 景 区 (11)	1. 长江中下游	扬子地台东段北部	各类金矿 50 余处
	2. 赣杭	扬子地台与华南褶皱系接触部位	金矿 36 处
	3. 台湾北部	西太平洋岛弧区台湾褶皱系	矿 3, 点 16 处
	4. 康滇地轴	扬子地台西缘	中小型矿 10 余处
	5. 祁连山	祁连褶皱系	中小型矿 40 余处
	6. 哀牢山	三江褶皱系中南部	金厂, 小寨-平安寨等
	7. 北盘江-右江	扬子地台南缘, 华南褶皱系西南缘	中小型矿 20 余处
	8. 北山	天山褶皱系东端	矿 2 个, 矿点 52 处
	9. 北天山	天山褶皱系, 准葛尔褶皱系之间	矿床矿点 18 处
	10. 松潘-小金-木里	松潘甘孜褶皱系东南, 扬子地台西北	发现矿点数十处
	11. 额尔古纳	北部上黑龙江冒地槽, 南部额尔古纳褶皱	发现矿床, 矿点多处

金成矿潜在远景区 (7)	1. 鲁西	华北地台中, 郯庐大断裂中段以西	铜井铜金矿等
	2. 扬子地台南缘	江南台隆南缘	金矿床 13 处
	3. 武夷山	浙闽隆起	中小金矿 21 处
	4. 龙首山	阿拉善地块南缘	发现多处, 伴生金为主
	5. 东昆仑	东昆仑中间隆起带	伴生金矿 3 处, 点 10 余处
	6. 巴颜喀拉山	巴唐结札及唐古拉褶皱带	矿床 12 处, 矿金点多个
	7. 雅鲁藏布江	南部雅鲁藏布江褶皱带, 北部拉萨褶皱带	墨竹工卡大型伴生金及多处砂金点

资料来源: 根据核工业北京地质研究院金矿编图组 1/200 万中国金矿分布图说明书整理。

11) 白云鄂博-白乃庙

19) 中条山

12) 招远-掖县

20) 北山

13) 牟平-乳山

21) 祁连山

14) 沂南

22) 天山

15) 五河-凤阳

23) 帕米尔-昆仑山

16) 大别山北麓

24) 阿尔金山

17) 小秦岭

25) 布尔汗达山

18) 镇安-太白

(2) 准噶尔成矿域

1) 阿尔泰

3) 西准噶尔

2) 东准噶尔

(3) 华南成矿域

1) 宁芜-溧水

5) 桐柏

2) 安庆-铜陵

6) 武当山

3) 大冶-九江

7) 黄陵

4) 大别山

8) 绍兴-诸暨

- | | |
|---------------|--------------|
| 9) 遂昌-龙泉 | 19) 黔西南 |
| 10) 德兴 | 20) 黔东南 |
| 11) 湘东北 | 21) 桂东 |
| 12) 湘西 | 22) 张公岭-龙水岭 |
| 13) 湘中 | 23) 庞西洞-求水岭 |
| 14) 湘南 | 24) 吴川-四会 |
| 15) 会同-天柱 | 25) 台湾 |
| 16) 龙门山 | 26) 玉树-白玉-稻城 |
| 17) 勉略 | 27) 沧山-哀牢山 |
| 18) 康定-冕宁 | 28) 江达-贡觉 |
| (4) 冈底斯-拉萨成矿域 | |
| 1) 冈底斯-拉萨成矿带 | 2) 高黎贡山成矿带 |

近年来,还有不少学者指出,裂谷带是我国重要的金矿带,并以出现洋壳基底的和前寒武纪的裂谷环境最重要。阐述了我国裂谷带金矿床的主要类型。裂谷封闭阶段是独立金矿床形成的主要时期。我国主要产金区的东北、华北各省,据不完全统计与裂谷构造有关的金矿床占总数的 70% 左右,若将裂谷岩系后期混合岩化形成的金矿床考虑进去,则将达到 88% 左右。因此,裂谷带是找金的重要构造带(刘肇昌 1987)。

表 1-20 和表 1-21,以及与板块活动、裂谷活动有成因联系的金矿分布说明,我国金矿资源丰富,分布广泛,类型多样,在不同区域构造单元、地层、岩体都有金矿成矿,但是在不同地域内金矿成矿类型、成矿条件和成矿远景价值却有很大差异。这些对将来深入找金以及在考虑采用的找金方法上,均是非常重要的。

在了解中国金矿分布特征的基础上,结合中国地壳演化、

成矿地质等资料,可以获得下列认识:

(1) 中国金成矿明显受 I 级大地构造单元边缘及其过渡带控制。

(2) 金矿集中区与古隆起和中间地块大致相当。

(3) 深大断裂体系是区域金矿发育的重要地带。

(4) 断裂,褶皱构造,火山机构,沉积间断面或不整合面等对金矿均有控矿性。

(5) 绝大多数金矿床分布与岩浆侵入体关系密切。金矿化多与花岗闪长岩-闪长岩或钠质花岗岩类有关。

(6) 太古代、元古代变质岩系为中国金成矿的重要矿源层。

(7) 中国金矿床在前寒武纪和中-新生代出现成矿的高峰期,空间上更多地集中于古老地盾(台)区和中新生代的构造-岩浆活动带中,在时间和空间分布上均有明显不均匀性和间断性。

(8) 金矿类型分布具有区域性特点。

所有这一切,都是我们研究、选择适合中国金矿物化探新方法、新仪器的重要基础和工作前提。在研究找金方法中是这样,在某一地区选择更合适的金矿找矿方法,达到快速、高效、适用的目的,则离不开这个地质基础。所以在工作中努力开展金成矿模式和找矿模式的研究,加强找金方法或仪器应用效果论证,也是研制找金新仪器,评价找金新方法的重要一环。

1.8.4 金矿找矿方法

金矿找矿方法很多,但由于金在地壳中的丰度低,故成矿富集的机率相对很小,加上金矿石的品位低而不稳,所以一般测试方法不易收到预期效果。因此金矿找矿方法有它自己的特点。常用的和行之有效的方法主要有以下几种。

1. 8. 4. 1 地质调查法

它是一种适应性很强、周期短、见效快的综合性找矿方法。普查找矿区一般部署在金矿成矿带或成矿集中区内。主要有以下工作：

(1)对前人资料认真收集与分析。

(2)确定地质调查的重点，根据实际金矿地质特征确定具体内容。

(3)确定地质调查的点、线密度。

(4)深入开展对已发现的矿化体或含金层的调查。

1. 8. 4. 2 重砂找矿法

重砂找矿法又称重砂测量，它是一种古老的找矿方法，随着地质科学的发展和各种仪器的更新，它更具活力。它是一种既快速简便，又经济有效的找矿方法。在金矿普查勘探，特别是在砂金普查勘探中正得到广泛应用。

重砂测量的任务是借助于对金的机械分散晕的研究，在有利的地貌条件下，寻找和圈定砂金矿床(体)，并根据重砂矿物共生组合关系，进一步追索原生金矿床，以推断其矿石种类，研究矿床成因及其区域成矿的某些地质问题。

金重砂测量一般从现代河床冲积物开始，并沿河系大小支流，溪谷、山涧进行取样追踪。随着工作进展，逐渐缩小找矿靶区，进而转入对残、坡积层和原生岩石进行研究。与此同时，还应对不同沉(堆)积层的地质时代与特点、侵蚀营力、地貌类型、金及其它重矿物富集规律等多方面进行研究，以达最终找到砂金矿床或岩(伴生)金矿床目的。

1. 8. 4. 3 地球化学找矿法

金矿地球化学找矿是利用金在岩石、土壤、水系沉积物、生物或水、空气以及某些特定矿物等天然物质中的含量与周

围背景含量有显著差异这种地球化学特征和矿床学、矿物学的理论为依据,研究它们在上述物质中的分布规律或某些特征,圈定相对富集的地球化学异常(扩散晕)区,以达到寻找金矿床的目的。

根据取样介质不同,有岩石、土壤、水、生物、气体及水系沉积物等地球化学法;以某些测量对象或特征性能差异不同又可区分为,指示元素、同位素地球化学法、谱学找金、找金矿物学或标志矿物、放射性测量、重砂测量或铁帽淘洗等。在以后有关章节将详细介绍。

1.6.4.4 地球物理找矿法

物探方法间接找金主要是利用与金矿化伴生(共生)的磁性或导电性矿物;金矿容矿围岩及其蚀变带的某些特有的地球物理性质,如导电性、自然性电场等;控矿构造及其充填物(断层泥、角砾岩等)所具有的某些可被物探方法直接查找的性质。特别是利用物、化探方法配合找金矿控矿构造已在我国取得了显著成效与进展。这在有关章节将全面介绍。

1.7 当前黄金地质研究和找矿趋势

目前黄金地质与找矿正处于总结经验、完善理论、扩大领域、提高效果的发展阶段。具体可概括为“三个转变”、“五重视”和“十注意”^[14]。

1.7.1 在地质研究和找矿工作指导思想上“三个转变”

(1) 从砂金、石英脉型金等可见金向微细浸染型等不可见金转变。

(2) 从高品位、大储量或高品位、小储量向低品位,大储量和同时重视低品位、中小储量转变。

(3) 从隐生宙到隐生宙和显生宙的转变。

1.7.2 在地质找矿工作整体上“五重视”

(1) 重视基础地质科研,特别是应重视一层(矿源层)和三带(剪切带,断裂带、蚀变带)。

(2) 重视找金手段的综合应用和开拓找矿新理论、新方法、新技术。

(3) 重视寻找超大型金矿床和新类型金矿床。

(4) 重视找金过程中的诸种矿产的综合普查和综合评价。

(5) 重视成矿模式的研究和运用。重视各国典型金矿床的地质资料对比。

1.7.3 在找矿方向上“十注意”:

(1) 注意在不同容矿岩石中寻找卡林型金矿。

(2) 注意寻找浅成低温热液型及热泉型金矿。

(3) 注意在含碳陆源碎屑岩中寻找穆龙套型。

(4) 注意在老变质岩中找金。

(5) 注意在碱性杂岩中找金。

(6) 注意在老矿的纵深和侧翼找新矿。

(7) 注意在已知金矿带上找新矿。

(8) 注意在砷、锑、汞矿区和多金属矿区找伴生金、共生金或独立金矿床。

(9) 注意在砂金区及红土岩深部找原生金。

(10) 注意在地质工作程度低的地区找金。

1.7.4 努力发展我国金矿地质研究

80年代以来,特别是1985年以后,由于科研和生产人员的辛苦努力以及全国各地的找金热情,我国金矿地质工作与研究取得了前所未有的成绩,积累了许多成功的经验,建立了一批生产基地,培养锻炼了一支队伍^[14]。

在此基础上,今后我们应认清困难、发挥优势、争取更大成绩。

(1)加强基础地质研究。我国金矿基础地质科研起步较晚,基础比较薄弱,应引起足够重视。主要应包括下列内容,我国金矿的成矿找矿模式;开展新类型金矿成矿规律研究;加强成矿环境、条件及时间的研究;注意用新理论、新方法去重新研究、评价老矿山;注意新区、重视老区的综合研究;加强金矿地质情报调研、跟踪国外进展,开展国际合作;认真选择一些具有开拓性的研究项目,给予支持和帮助。

(2)把超大型金矿的寻找和理论研究作为一项战略措施。包括:超大型金矿的全球背景研究;成矿理论研究;开展有关学术交流;进行有利靶区选择研究等。

(3)重视综合找矿和综合评价。在我们的工作中应该既强调找金,又不忽视其它矿种。自然界单一矿种的矿床很少,伴生矿、共生矿,多金属矿占着很大比重。因此,必须综合找矿,综合评价。在找矿方法上应注意地质、物探、化探、遥感以及计算机等技术手段的综合应用。这种综合是一种世界趋势,不可忽视^[4]。

参 考 文 献

- [1] R. W. 博伊尔著,马万钧等译,金的地球化学及金矿床,地质出版社,1984
- [2] 黄金矿山实用手册编写组,黄金矿山实用手册(金矿地质),中国工人出版社,1990
- [3] 秦鼎等,中国金矿主要类型区域成矿条件,地质出版社,1984
- [4] 全国储量委员会,岩金矿地质勘探规范(试行),内部资料,

1984

- [5] 母瑞身等,中国金矿成矿规律的初步研究,沈阳地质研究所,1985
- [6] 中国地质学会矿床专业委员会贵金属矿床地质专业组,中国金矿床成因类型及划分,地质参考资料,(1),1985
- [7] 张均,对金矿床成因分类的评述,地质科技情报,(4),1987
- [8] 张甲忠,我国金矿集中区的分布特征及找矿远景的若干设想,地质与勘探,(5),1987
- [9] 段瑞焱等,中国金矿床的时空分布特点,沈阳地矿所所刊,1984
- [10] 栾世伟等,金矿床地质及找矿方法,四川科技出版社,1987
- [11] 侯德义主编,找矿勘探地质学,地质出版社,1984
- [12] 张成喜等,金矿床地质学,东北工学院出版社,1989
- [13] 罗镇宽等,我国金矿床的分布格局,成矿地质条件及扩大找矿远景的设想,金银矿产选集,(6),1986
- [14] 刘全根等,世界黄金科学技术发展现状和趋势以及我国对策的建议,甘肃科学技术出版社,1990

第 二 章

金矿的地球物理与地球化学勘查

各种类型金矿从勘查到最终成为矿床(点)的各个阶段,都离不开物探、化探方法,特别是对那些大型、超大型金矿更是如此。原则上说,现代的所有物探、化探方法均可用于找金(个别的方法,由于种种原因,目前暂未开发)。

找金矿的物探、化探方法包括:放射性方法勘查(包括放射性物探与放射性化探)、地球物理勘探(简称物探)、地球化学勘查(简称化探)和一些暂时尚不能明确划归物探或化探的边缘学科方法等四大类(注:放射性方法勘查,从原理上应划归化探范畴,但照顾历史原因,本书暂将其划归物探)。

2.1 地球物理勘探方法

地球物理方法,包括放射性方法和非放射性方法。前者列于图 2-1 和图 2-2*。而非放射性地球物理方法一般包括电法、磁法、重力法和地震法(用于找金最主要是浅层地震法)等。它们均可用于间接找金。实际工作中用的最多的是电法和磁法。

2.1.1 放射性方法勘查

放射性方法勘查,正如上述可分为放射性物探与放射性

* 吴慧山,1987 年给研究生讲课稿

化探两大类(图 2-1,图 2-2)。但由于分类原则的不同,此两类间有重复现象。而从测量的基础,也可分为两大类,即测量天然放射性和测量人工放射性。本节中仅根据找金的常用性,重点介绍下列四类方法,即伽玛能谱法、氡射气法、X 射线荧光法和中子活化法。余者从略。

2.1.1.1 伽玛能谱法

伽玛能谱测量方法是基于测量放射性核素发射的伽玛射线的某一特定的能量谱段的一种勘查方法。按测量对象的空间主要可分为航空 γ 能谱测量、汽车 γ 能谱测量、地面 γ 能谱测量(含浅孔)、地下 γ 能谱测量(包括井下和山地工程)和水下 γ 能谱测量等。按测量的 γ 谱段和范围的不同,可分为 γ 能谱积分测量和 γ 能谱微分测量(目前在实际工作中以后者应用居多)。

γ 能谱测量方法应用于找金,主要是基于:放射性元素的分布与金矿化在成因上的关系,或者是与金的共生组合关系。

加拿大和原苏联应用 γ 总量测量方法找金,开始于 50 年代,但进展缓慢,效果不够显著。从七十年代特别是世界找金热开始以来,随着 γ 能谱技术的发展及其普及,在找金和解决某些与找金有关的地质问题方面,此法越来越被人们所重视,工作量也越来越大,其结果颇受人们的欢迎。在我国比较正规地采用 γ 能谱法找金,应该说开始于八十年代,其效果也很好。目前除核工业系统采用外,在地矿系统、有色金属工业系统和冶金工业系统也在广泛应用。

在原苏联应用 γ 能谱方法找金,主要是在西乌兹别克斯坦和外贝加尔湖地区^[1,2]。

西乌兹别克斯坦是一个多金属地区。航空 γ 能谱方法在一些金矿床,例如 MYPYHTAY, KOKNATAC 等,发现了偏

高的天然放射性的克拉克值。在地面配有伽玛异常检查队,他们首先对已知的金矿床进行地面 γ 能谱标准测量,计算 U/K 、 Th/K , 以及任何一种放射性核素同金的比值,例如 U/Au , 以及在垂直剖面上天然放射性元素同金的分布情况,总结规律,然后运用到未知的地区。

Ф. П. 克林德列夫和 А. М. 戈夫满等人,在七个金矿区进行了 γ 能谱测量后,得出如下看法:

(1) 铀(或镭)增高区,在空间上同金矿体基本吻合,如 МОТЕБАЙ КОХГАТАС 和 МАКДЖАЙГУЛАК 等矿床。

(2) 钾增高区,在空间上同钾交代作用区相吻合。在一些围岩中,钾可高达 6~8%。钾交代岩一般发育在石英金矿脉的接触带中或在蚀变带中。矿床金矿体的主要部分是赋存在破碎带中的交代角砾岩中。

(3) 外接触带中 Th 和 K 增高区。НАРМУТАН 矿床主要的金矿体是赋存在与花岗岩接触的石英黑云母片岩发育的外接触带中。

(4) 铀异常是有利含金矿化的地质构造的间接标志。

(5) 钾增高与交代岩有关,而后者又与破碎带、同片理构造有关,而这些又是与金矿石英脉或网状脉的形成有关,同蚀变带有关。

(6) 钾是大部分 Mo 矿和近地表金矿以及中、低温 Sn 、 Cu 等矿床的指示元素。 Th 是稀有金属(Ta 、 Nb 、 Be 、 Zr 、 W)指示元素。铀是大部分热液硫化物矿床的指示元素,这些矿首先就是 Au 、 Pb 、 Zn 、 Cu 、 Ni 、 Co 和 Bi 以及 Mo 、 Ag 、 Sb 、 Hg 。铀的增高不但可在近矿带,而且可在本身矿体中发现,然而在这种情况下 Th 和 K 又往往没有。

在外贝加尔湖地区,主要的侵入岩和喷出岩(与金密切

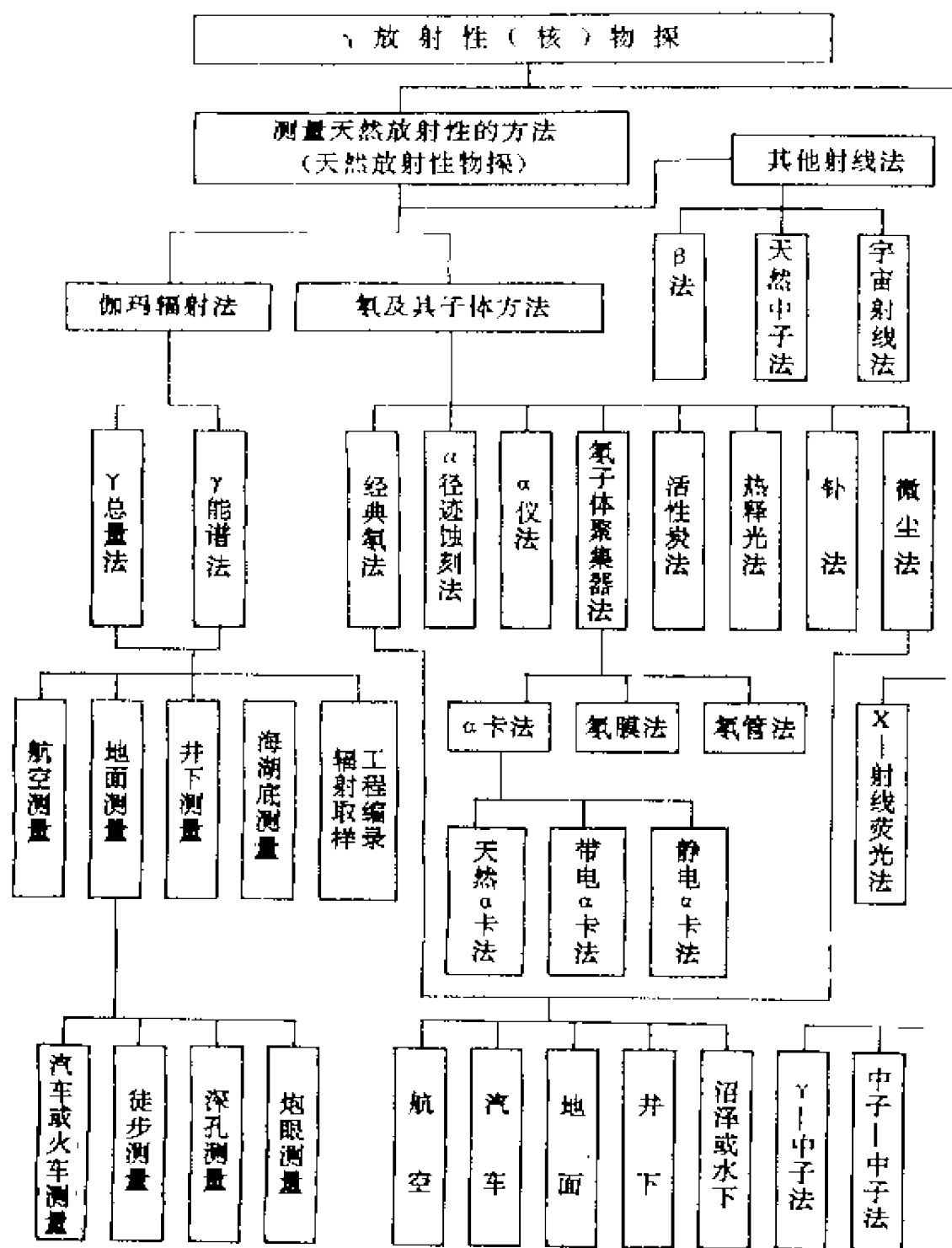
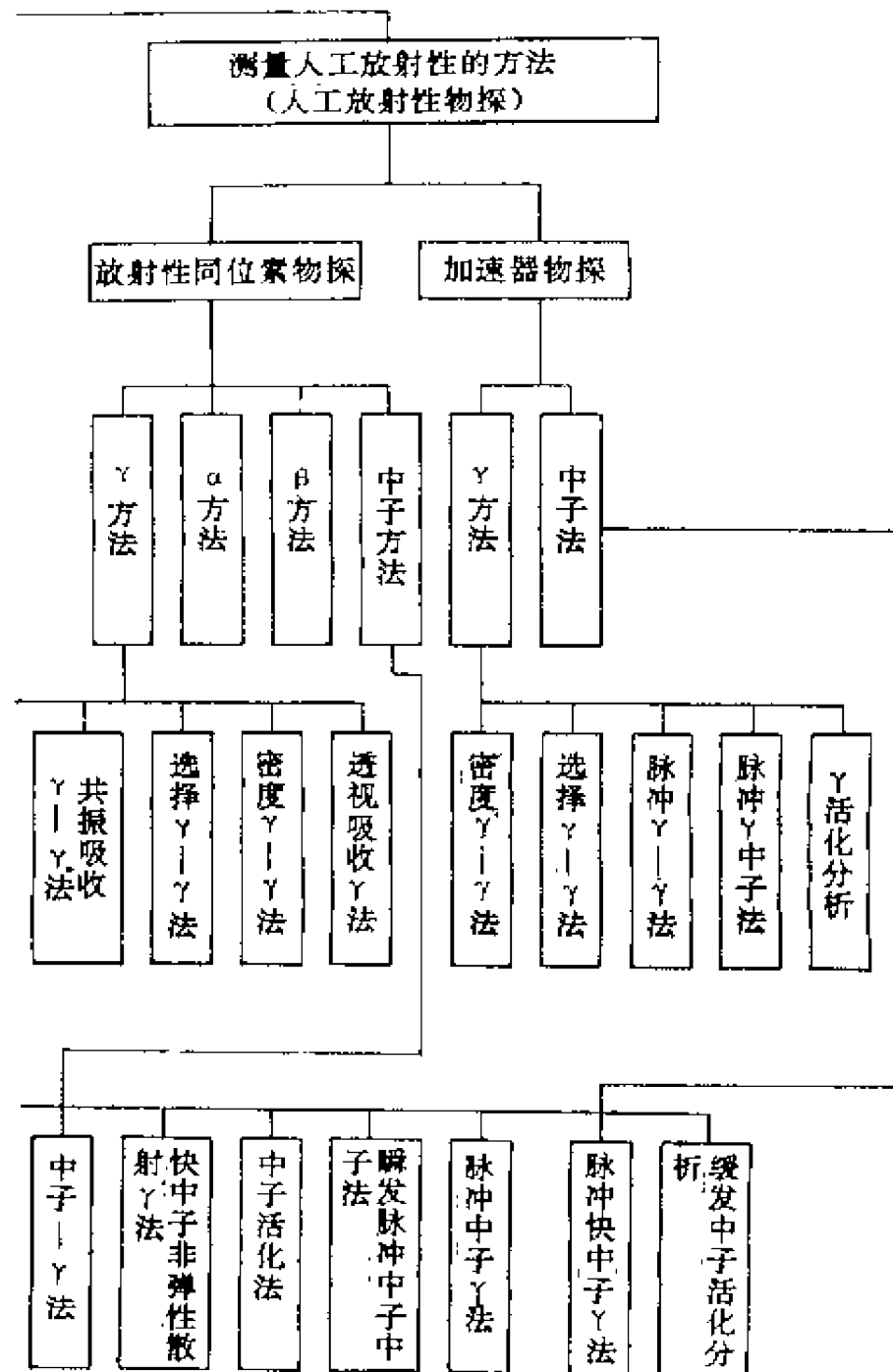


图 2-2



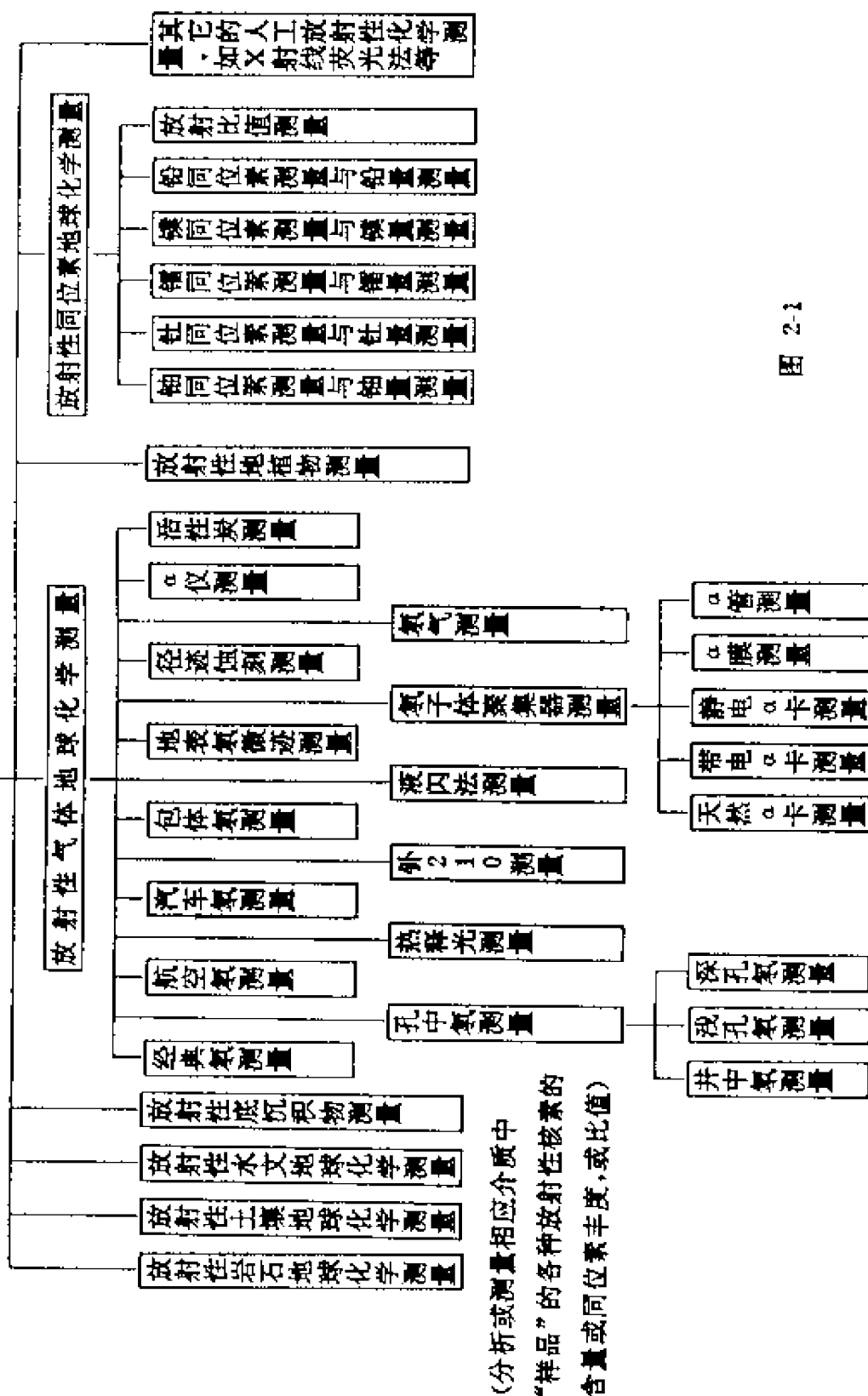


图 2-1

相关)具有偏高和高的放射性元素(U、Th、K),特别是K,高者可达5~8%。凡是钾交代作用的矿床均有高的钾含量和在金矿硫化物矿床上往往有偏高的铀克拉克值。当矿床由于矿物组合而引起的温度分带性时,往往有明显的比值Th/U和Th/K的变化,这可用于发现深部盲矿。

在应用航空和地面伽玛能谱找金工作中有如下事实,应特别引起注意:

(1) 重砂矿物中的独居石、锆石及其它矿物总是经常同金在一起。铀和钍也同样作为混合物存在于矿砂中。

(2) 岩浆的晚期和末期阶段的侵入岩体都富集有放射性元素,同时也富集有金元素。金矿总是产于区域放射性增高地段内。火成岩的岩基、岩株、原生沉积岩等,在其含金构造附近放射性强度值都有增高现象。

(3) 在古含金砾岩胶结物中有沥青铀矿,伟晶岩中有含铀有机化合物。如在加拿大,含金砾岩中含 U_3O_8 可达0.11%~0.14%。

(4) 在溶洞的松散砂质粘土堆积物中含有独居石、曲晶石、不同种类的锆石和混入的 ThO_2 和 UO_2 。金矿体是在松散的砂质粘土堆积物中。这种矿,首先是采用不同变种的电法或氦法,圈出喀斯特溶洞的分布位置,然后用放射性方法确定这个溶洞的含金可能性。

(5) 含金石英脉往往有偏低放射性元素和偏低的氦射气浓度。

(6) 在低温热液型金银矿的一定范围内放射性一般高于远离区同类岩石。

八十年代以来伽玛能谱方法又进一步深化,发展到研究金银矿床交代晕的标型元素——K-Na-Li。

即：金矿上晕（次生石英岩、石英和石英-高岭土交代岩）钾、钠低，锂高；

金矿区范围内（冰长石化、绢云母化和水云母化），钾高，钠带出，锂转低；

碱金属元素的绝对含量及其比值可作为确定侵蚀断面水平和预测矿化深度的标志，即对地表矿，矿化断面特点是钾的浓度高（达 5%~6% 或更高）和锂的含量相对低（ $n \cdot 0.001\%$ ）；对未出露的地表矿，矿上晕钾有最低含量（一般 $< 1\% \sim 3\%$ ），锂有最高含量，钠为负异常（明显带出，达 $m \cdot 0.1\% \sim n \cdot 0.01\%$ ）；总之，能谱法找 Au-Ag 矿建造的原则：明显钾正异常是出露地表矿的特征，钾负异常是未出露地表矿的特征；在矿化范围内，钠呈明显负异常，锂是正异常。

2.1.1.2 氡射气法

氡射气法是通过测量介质中的氡同位素浓度来进行勘查的一种方法。它按其测量时间的长短可分为瞬时测量和累积测量两大类（具体方法从略）。

天然放射性的三个系列，铀系、钍系和锕系，各有一个放射性气体，即相应为 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 、 ^{219}Rn 。但实际工作中起最大作用的是 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 。该方法都是测量介质中氡射气浓度的，用来圈定破碎带及其它构造以寻找金矿和进行有关的地质填图。

氡及其子体方法一般为人们所罕知（相对于能谱方法而言）。它可有效地用于圈定与金有联系的所有构造带，其中包括石英脉、硅化带、破碎带，以及蚀变带。当工作地区地形起伏变化大，它可优于其它方法进行工作。其特点是轻便、快速、有效、低成本。

在加拿大，Gross 等人用包括氡法在内的 α 放射性方法，

研究过 9 个侵入体, 结果发现一些含金矿床是处在诸如小型岩株和岩基这样一些火成岩侵入体的界线上或其周围的地段。这些测量结果表明, 含矿构造附近的火成或沉积(花岗岩化)成因的岩株及岩基, 其放射性带超过正常的放射性活动带。换句话说, 在附近不存在重要含矿构造的侵入体, 就不会出现这样一种放射性带。

2.1.1.3 X 射线荧光法^[3,4]

X 射线荧光方法是通过测量被激发对象的特征 X 射线来确定其元素和相应含量的一种方法。测量是通过 X 射线荧光仪来完成的。该类型仪器一般由一个探头和一个主机构成。

探头由放射性同位素激发源、平衡滤光片(或称滤波器)和由 NaI(Tl) 晶体和光电倍增管组成的闪烁计数器等组成。激发源类型视被测元素而定, 若测量中等原子序数的元素可选用 Pu 源; 若测量高原子序数的元素, 宜选用²⁴¹Am 源。平衡滤光片的选择以最大限度“提取”被测元素特征 X 射线和尽量压低干扰射线为原则。

主机的核心是脉冲幅度分析器。随着仪器的使用价值的不同, 有的主机仅有一个分析器, 有的配两个, 还有的配微型机芯片的多道分析器。此外, 主机里通常配有前置放大器、主放大器、时钟电路、低压电源、高压电源和控制电路等。

在野外土壤中进行测量时, 探头必须放在 B 层中探测。这样可借助于分散晕寻找隐伏金矿。在野外作业, 根据勘查的目的任务, 可作路线测量或面积测量, 按预定比例尺进行。在金矿点上工作时, 例如在探槽、坑道、钻孔岩芯等山地工程表面测量, 以此矿化段的测量, 点距要加密到 5~10cm。

据章晔等 1986 年底资料, 有三个实例如下:

第一, 在我国西南某花岗岩体含金破碎带和含金辉绿岩

脉地段,进行了 $10\text{m} \times 2\text{m}$ 测网的小面积 X 射线荧光测量。被测的是亲 Cu 元素(Cu、As、Zn、Se、Pb、Hg、W、Bi)特征 X 射线的总量。所圈定的两个异常段包含了含金辉绿岩破碎带。经探槽揭露,控制含金脉长达 180m ,破碎带宽 $2 \sim 6\text{m}$,金品位为 $0.06 \times 10^{-6} \sim 23.25 \times 10^{-6}$,平均品位为 9.23×10^{-6} 。东侧所圈定的一个异常,大于背景值 $1 \sim 2$ 倍。使坑探揭露见到了金矿体。

第二,在某低温热液金矿床地区,进行了以追索金矿化为目的的 X 射线荧光(测 As 的特征 X 射线)路线测量。结果发现了三个异常,后经取样分析,均见到了金矿化。

第三,在我国某高、中温热液裂隙充填脉状金矿床上进行 X 射线荧光测量。由于该矿床具有一般石英脉型金矿床特征,即 Au 与 Fe、Cu、Pb、Zn 等亲 Cu 元素共生,所以在金矿体上方 X 射线荧光异常突出,而且可很容易区分其围岩的界限。

另据报道,贵州浸染状金矿床的矿石矿物中有毒砂、含砷黄铁矿、雄黄、雌黄等含砷矿物,其中含砷黄铁矿和毒砂是溶金的。在矿床的特征元素共生组合中,砷总是伴随着金,因此, X 射线荧光法是藉助于 As 与 Au 元素的共生关系,通过观测金矿体分散晕中由人工源激发出的 As 的特征 X 射线强度,找出砷与金的相关关系,从而来寻找和圈定金矿化带,即将砷的荧光异常作为一种金矿找矿标志。

X 射线荧光法也有一些干扰因素。为消除这些干扰,提高异常的衬度值,原苏联刊文*,提出利用萃取剂对样品进行预富集,然后进行测量。萃取剂选用 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。实验工作选用

* 张守本,放射性地质简讯,9,1990

PPK-103 型仪器及 6BДП 探头。探测器为充有氙-烷气体的正比计数器。放射源为 Cd-109, 其放射性活度为 $8 \times 10^5 \text{Bq}$ 。粉末样品撒在粘有厚度为 $5 \mu\text{m}$ 聚丙烯薄膜的框架 ($7 \times 6 \text{cm}$) 中心。在金矿的一个剖面上, 对未处理和经过 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 方法预富集的样品分别进行测量, 其结果表明: 后者的异常衬度增大 7 倍。因此, 利用 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀砷的简单方法能消除样品粒度和物质成分对测量结果造成的影响, 在富集过程中又解决了钍和铀的干扰。

X 射线荧光法的另一个进展是原苏联的 VNIIR 研究所推出的三种不同型号的 X 射线荧光仪*, 其型号是: BARS-3m; MARK-3m; Spectroscan-3m。三种仪器均可与微机配套联用, 有接口和软件可与任何类型计算机兼容, 分析数据也可以用 IBM 计算机处理, 能就地分析各种元素。适用于多种领域的应用。

近期美国科技公司, 已研究出携带式智能 X 射线荧光分析仪。

2. 1. 1. 4 中子活化法

分析水中金一般采用发射光谱分析, 但灵敏度不够, 难于作出评价。为此, 人们研究了水样浓缩物灵敏度高的中子活化分析法。具体作法是: 水样体积 1L, 加入 500mg 经盐酸预处理过的活性炭及 10ml 浓盐酸进行元素的浓缩, 经 8~10h 周期性的轻微搅拌, 过滤样品, 最后将活性炭粉末和滤纸一同烘干, 进行活化后分析。

据郭武林等报道(1991 年)^[6], 中子活化法可以在天然产

* 于明强, 放射性地质简讯, 6, 1988

状条件下划分和评价含金岩石,是有效的方法之一。通过(n , γ)反应对热和共振中子作用结果所形成的放射性核素 ^{198}Au ,具有很长的半衰期($T_{1/2}=2.7\text{d}$)。但由于矿石中含金量很低,因此为使钻孔中岩石活化,就需要有大功率的中子源。中子源 ^{252}Cf (10^{10}n/s)可作此用。另一个特点是必须在很强的干扰背景上分辨Au射线。为消除由于长寿命的放射性核素 ^{42}Na , ^{42}K , ^{56}Mn , ^{76}As , ^{122}Sb , ^{140}La 等的干扰,必须加大剖面观测点结束辐射后的中断时间间隔。

采用Ge(Li)检测记录活化 γ 射线谱,因而使中子活化法应用于金矿的可能性显著增大。

对岩石的辐射,一般有两种中子源,其一是同位素型(^{252}Cf),输出为 $5\times 10^9\text{n/s}$, (特殊情况下可采用 10^{10}n/s),激发时间为20~25h;另一种是拆装D-T管中的控制型,输出为 $(2\sim 4)\times 10^9\text{n/s}$,激发时间为5~14h。一次测量的持续时间为30~60min。间断时间为5d。试验研究结果表明,当中子源功率增至 10^{10}n/s 时,可使金检出或保持在1g/t的水平(激发时间和观测时间改为约1h的情况下)。

2.1.2 磁法勘探

磁法勘探是利用地壳内各种岩(矿)石间的磁性差异(即观测和研究磁异常)来达到找矿和解决有关的其它问题。它可按不同磁力仪类型来分类,但均是测量地磁场强度的绝对值或相对值。磁力仪分机械磁力仪(也称磁秤)和电子磁力仪。目前,在找矿生产中应用最多的是电子磁力仪(磁通门磁力仪、核子旋进磁力仪、光泵磁力仪及超导磁力仪等)。机械磁力仪(如国产的CS2-61型悬丝式垂直磁秤)有逐渐被电子磁力仪代替的趋势^[6]。

根据曲赞资料^[7](1991年),磁法是金矿勘探中最常用的

物探方法,特别是航空磁测。目前,美国、加拿大、澳大利亚、芬兰及日本等国在金矿田的普查与勘探的初阶段,均利用航磁开展工作。加拿大运用航空磁测发现鲁平金矿,澳大利亚用航空磁测发现十几个包括绿岩带上的金矿。加拿大、澳大利亚和芬兰近年来还使用航磁水平梯度测量来进行金矿床普查,效果很好。

实践证明,要想利用航空磁测获得更详细的金矿地质信息,首先要采用高灵敏度的仪器,选择较小的线距(小于250m)和尽可能低的探头高度。

地面磁法可以用来圈定与金矿成矿有关的石英脉和各种岩脉的位置和分布范围。例如,西非加纳某矿区的含金石英脉处于有磁性的绿岩带中。磁测表明,在绿岩带磁场特征变化明显之处和被构造切割之处出现了金矿化。又如美国怀俄明州提敦国家森林区金矿是用磁法成功地圈定出了磁性矿物的富集带,由电阻率测深法确定出含金砂砾层厚度。加拿大阿比提比金矿位于局部火山杂岩地区,大部分靠近绿岩带中强磁性地带边缘,矿体的赋存位置是根据磁异常强度明显变化的地方确定的。

李宝印 1984 年报道^[8]了应用磁法在山东招掖金矿田的效果。他认为,磁法主要是用于间接查明与金矿赋存的有关断裂带、破碎带和蚀变带,其主要依据的地球物理场特征是:

(1) 两种磁场的过渡带或磁场梯度带是构造存在的标志之一。焦家断裂的北西侧是胶东群地层,由于该处变质岩磁性不强,磁场特征表现得很平稳。而断裂的南东侧则磁场普遍高起,这一侧为玲珑花岗岩。由于在黄弧和望儿山两断裂间的花岗岩体磁性较强($K = 800 \times 10^{-6} \text{CGSM}$),因而产生普遍高起的磁异常,断裂破碎带(黄弧断裂)则从磁场过渡带或梯度带

中通过。这是断裂带赋存在两种不同岩石介质之间的情况。在玲珑花岗岩一个介质中,断裂带通过的位置也出现类似的磁场过渡带或磁场梯度带特征。

(2) 磁场高值带沿走向突然消失,代之以低值或负值磁场区,在磁场截断处是构造存在的标志之一。

(3) 在普遍高起的磁场中突然出现脉冲型低值或负值线型磁场带,这是构造存在的标志之一。

(4) 在强度不大的平稳磁场中出现低缓的低值或负值磁场带,这是构造存在的标志之一。

(5) 在平稳的磁场中出现高值的线型正磁场带,这是构造存在的标志之一。

(6) 磁铁绢英岩化花岗岩引起的高值正磁场带,亦是研究本区断裂破碎带及蚀变带的标志之一。

根据上述场特征,在本区已做的 800km^2 多磁测中圈出与断裂带、破碎带、蚀变带及岩脉带等信息有关的构造特征线近百条,其中已有若干条得到证实。

磁法解决断裂带、破碎带、蚀变带等也是有条件的,例如有的岩脉和围岩之间的磁性差异不大或断裂破碎带的破碎蚀变强度不大造成的磁性降低不明显等因素,都可能圈定不出来。

据李治华材料(1986年)^[9]。他认为,重力法与磁法配合找金效果好。河北省有大、中、小型金矿床(点)百余处。据初步统计,绝大多数分布在所推断的深断裂附近的负磁异常的边缘,并且在金矿床附近都能见到不同时代的多期侵入的花岗岩体和花岗闪长岩体。这一规律说明,金矿床的形成与深断裂区域热液蚀变和多期次花岗岩侵入有密切关系。

通过对华北地台的区域重力场和磁场的研究认为,这两

种场可用于指导金矿区和金矿床的预测:由于区域重力梯度两侧的地层厚度发生突然变化(可达3~7km),因而可推断宽大的重力梯度带为一切穿地壳的深大断裂所引起,地壳厚度突变位置指示出深断裂位置。区域磁场上沿推断的深断裂附近经常伴有线状负磁异常或局部负磁场区,反映了伴随断裂出现的热液及岩浆活动使具有磁性的古老片麻岩退磁(特别是剩余磁性)或有酸性花岗岩侵入。

对华北地台而论,切穿地壳的深断裂控制着金矿带的空间展布,断裂带附近大范围的围岩蚀变和不同时期的花岗岩类侵入体控制着矿田和矿床的空间分布,特别是在古老的花岗岩体(或混合花岗岩)附近,时代新的花岗岩类侵入体周围是形成金矿床最有利的地段。区域重磁场与金矿的关系是:金矿床大部分在重力变化达50~100毫伽的宽大重力梯度带上及附近的负磁异常区的边缘部分,在这样的地区经常表现为局部重力低这一现象与花岗岩类侵入体有关。

2.1.3 电法勘探^[10,11]

电法勘探是电学(电磁学和电化学)领域中的一门应用学科,它是利用地壳中多种岩石、矿石电学性质间的差异来实现地质目标的。它基于观测和研究电磁场(天然存在的或人工形成的)空间和时间分布规律以勘查地质构造和寻找有用矿产的一类勘探方法。按电磁场的时间特性可分如下三类:

(1) 直流电法或时间域电法(观测或利用稳态电场)。

(2) 交流电法或频率域电法(观测或利用似稳态电磁场和电磁波)。

(3) 过渡过程法或脉冲瞬变场法(观测和利用电磁场的瞬态过程)。

在生产实践中,常按产生异常电磁场的原因分为如下方

法:

传导类电法包括电阻率法、自然电场法、充电法、激发极化法四种。其中电阻率法又包括电阻率剖面法、电阻率测深法两种,激发极化法又包括直流激电法、交流激电法、磁激发极化法三种。

感应类电法包括脉冲瞬变场法、低频电磁法、甚低频法、无线电波法四种。

金往往同金属硫化物相伴生,与石英脉、构造蚀变带和老变质绿岩带等有关系,并且与周围岩性存在着电性差异,因而可通过电法来间接寻找金矿。

实践证明,在找金工作中,应用最多的是激发极化法(电的和磁的,后者是近年来发展起来的)、电阻率法(各种剖面法和测深法)和电磁感应法(今后发展的重要方向之一)。个别情况也应用充电法和自然电场法。

2.1.3.1 激发极化法

在向地下供入稳定电流时,可观测到测量电极间(例如做电阻率法时)的电位差随时间而变大(一般情况下),并经相当时间(数分钟)后趋于某一稳定的饱和值;在断开供电电流后,测量电极间之电位差,在最初一瞬间很快下降后,便随时间相对缓慢地下降,并在相当长时间后(通常约需几分钟)衰减接近于零。在充电和放电过程中,由于电化学反应引起的这种随时间缓慢变化的附加电场现象,被称为激发极化效应(简称激电效应)。激发极化法(简称激电法)是以不同岩、矿石激电效应之差异为物质基础,通过观测和研究大地激电效应,去探查地下地质情况的一种电法。几乎所有的原生金矿都有黄铁矿等硫化物,因而最适于应用激电法。

加拿大发现的金矿大多数与金属硫化物伴生,硫化物通

常是黄铁矿或毒砂,偶尔也有磁黄铁矿,利用激发极化法效果良好。当工作地区存在中等导电性覆盖层时,可采用传统的偶极-偶极、单极-偶极或梯度等各种排列的频率域和时间域激发极化法。例如,在尼加拉瓜利用时间域激发极化法和磁法圈出了受热带风化作用蚀变的第三纪火山角砾岩中含金的浸染状黄铁矿和闪锌矿,而未蚀变的玄武岩可以从磁场图上辨认出来,其反映为高电阻率,而大多数的主要矿带为低电阻率。

频谱激电法应用时间常数具有进一步分辨矿体的优点。频谱包括六种或多种频率的振幅谱和相位谱。在加拿大赫姆洛金矿的激电测量表明,凡有金矿出现的地段,其激发极化谱的时间常数似乎都比较大。韦伯斯特和约翰逊应用时间常数在加拿大各种火山岩矿床上进行地质填图,用来发现较细颗粒的浸染状硫化矿床。

河南某金、银矿产于一个规模很大的多金属矿带中。金和银矿物(自然金、金银矿、碲金矿、针碲金银矿、自然银和辉银矿等)与黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等共生,形成以金、银、铅为主的多金属矿床。金、银含量甚微,对矿石物性无显著影响,但其伴生的硫化金属矿物使矿石具有低电阻和高极化率,因而有利于用电法找矿。

用中梯装置作了 1:1 万的激电法面积性测量($\sim 9\text{km}^2$),发现和部分圈定了破山和银洞坡等异常。破山激电异常带在已工作的地区内分布长 7.8km(沿走向方向尚未封闭), η_s 异常极值达 20%。异常分布与下古生界歪头山组的第三矿化带吻合较好,后者是该区的主要含矿层。在异常区内钻探详查初期的 4 个异常验证钻孔均已见矿。

山东招掖金矿区主要运用了激电法,找金效果好。它的作

用是圈定与金矿赋存直接有关的金属硫化物富集带。一般说来金矿与硫化物呈正相关关系,因此查硫化物富集带是寻找金矿的重要一步。当然有硫化物富集带存在不一定都有金矿,但是有金矿的地段一定是硫化物的富集地段,故硫化物富集带是寻找金矿的重要标志,发现了大量的激电异常,后经揭露见到金矿体,其中也有一些异常是由非矿因素引起的,因此在作异常评价时要注意如下几点:

(1) 电阻率中梯结果对评价激电异常有重要意义。本区金矿床无论石英脉型或蚀变岩型,在含矿带上将出现高阻的石英脉或高阻的高硅化带及绢英岩化带。实践证明,高阻高极化率异常型是本区矿脉异常的基本特征。

(2) 激化率是评价激电异常的重要组合标志。

(3) 化探异常是评价激电异常的重要依据。其中特别是原生晕方法。

(4) 要结合地质情况,综合物化探资料,仔细分析激电异常的特点。

崔焕敏等应用磁激发极化法在招远金矿的试验研究结果也是好的,特别是在地形起伏变化大的地区,使用该方法会更好。

2.1.3.2 电阻率法^[8]

电阻率法是利用岩(矿)石导电性差异来寻找矿产和地质构造的直流电法中的一种方法。用人工方法将电流通入地下以建立电流场,如果地下存在导电性不同的岩层和矿体,它们就会影响电流场的分布。良导电性物体(它的电阻率很低)对电流有“吸引”作用,导电性差的物体(它的电阻率较高)则有“排斥”作用。因此,当地下存在导电性差的地质体时,由于它对电流的“排斥”作用,使电流远离它本身而流过,而当地

下有良导体存在时,它将对电流起“吸引”作用,使大部分电流通过其本身。这样,在地表观测到的电场将发生畸变。这就是电阻率法工作的基本原理。

当前各种电阻率法仅次于激电法而被广泛地用于找金矿,而且其地质效果也很不错。

电阻率低的地区往往是硫化物矿物、石墨或盐类覆盖层所引起的,有时可见少量硫化物矿物或石墨与金矿有关,例如加拿大安大略的迪图尔湖金矿、我国胶东的焦家金矿等,金矿体主要赋存于构造断裂带中,并与硫化物矿物共生,金与硫化物大致呈正相关关系。

高电阻率带也可能是与金富集有关的近地表硅化带的标志。在北美,应用电阻率填图可以反映硅酸蚀变的型式,高电阻率区可以确定为地表钻探的靶区。

在招掖金矿带,为解决不同的地质目的,投入了好几种电阻率法,其效果均好。简介如下。

(1) 电阻率联合剖面法

在本区投入该方法主要是要查明与矿体赋存有关的断裂带及破碎带。有如下认识:

第一、 ρ_A^s 与 ρ_B^s 曲线具有明显的低阻正交点或正交点带,这是构造存在的一般标志之一。

第二、 ρ_A^s 与 ρ_B^s 曲线也具有低阻正交点,但由于电性不均匀性影响或平行断裂构造的影响,使交点产生位移。这种交点带仍然是构造存在的标志之一。

第三、 ρ_A^s 与 ρ_B^s 曲线一边异常普遍高起,歧离带明显,一边异常值不高而曲线平稳, ρ_s 曲线分离不明显,在两种场的过渡带处是构造存在的标志之一。

第四、当断裂破碎带硅化、绢英岩化等蚀变作用增强时,