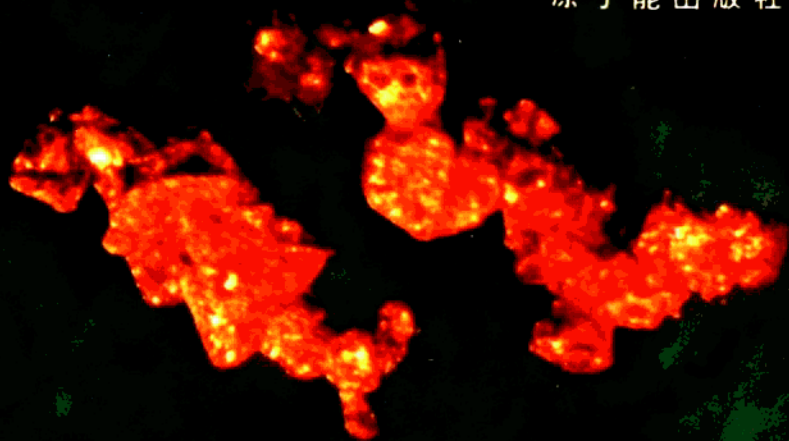


原子能出版社



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

赵淳云 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素卿高级工程师；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水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 GUI-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^[1]

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^{18} 年
^{184}Au	52 分	^{192}Au	4.1 时	$^{197\text{m}}\text{Au}$	7.2 秒
^{185}Au	7 分	^{193}Au	15.8 时	^{198}Au	2.2963 天
^{186}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	^{199}Au	6.18 天	^{201}Au	18.7 时
^{190}Au	4.7 分	$^{199\text{m}}\text{Au}$	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})^[1]

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})^[1]

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, 锑化物等。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、合金和金属化合物	
金	Au
银质金(琥珀金)	(Au, Ag)
铜质金(铜金-cuproauride)	(Au, Cu)
钯质金(钯金-porpezite)	(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) ₈ 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 ₃ Au(Te, Sb) ₄ S ₃₋₄
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、银和铋的这些化合物里,以及黄铁矿和毒砂里。铅和锌常是伴生关系。在铜、银、铋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含金量如表 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^{-6} ,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^{-6} ,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^{-6})

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	河南小秦岭(文峪岩体)	19	0.00071
花岗岩	内蒙昭盟铭山岩体	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	山东沂南泊官墓		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
辉长花岗斑岩	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	山东沂南泊官墓		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	浙江中嵛	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	浙江中岳	17	0.0033
细碧岩	浙江中岳	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
滦家河花岗岩	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. n
	15	0.0050~0.0400	0.0238	<0.1	<0. n
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