

673374

一九八八年国际金矿会议 译文集



中南工业大学

《有色金属文摘》编辑部

前 言

“88年国际金矿会议”作为澳大利亚建国二百周年庆祝活动的一部分于5月16日至20日在墨尔本市召开。会议得到了世界各地地质学家的热烈响应，参加会议的代表超过1300人。会议收到论文300多篇，内容丰富广泛，涉及金矿成矿地质环境，实验研究，成矿模式及找矿技术等，反映了当前国际上金矿地质研究的最新水平和现状。

为促进学术交流并满足从事金矿地质研究和勘探的工作者的需要，我们请有关教授从中精心挑选了对生产、科研和教学都有重要指导意义的论文35篇，翻译集结出版，约25万余字。

参加本文集翻译工作的有：谢国柱、胡祥昭、孙洪业、熊德明、朱余德、樊钟衡、邓衍藩、喻建良、胡腊英和高光明。校对：蔡塔根。为使本文集尽快与读者见面，自筹备编译该文集至文集出书，时间不足半年，实是仓促；加之编者水平所限，错漏之处，敬请指正。

编 者

一九八九年四月十五日

目 录

世界黄金概况.....	(1)
西澳大利亚耶尔刚地块中的金矿化.....	(9)
威特沃特斯兰德金矿田地质学: 最新进展兼论沉积期后作用的意义.....	(12)
南非巴伯顿绿岩带镁铁质/超镁铁质岩石中逆冲断层带早太古代 ($>3.0\text{GA}$)	
石英脉状金矿床的特征.....	(18)
津巴布韦的太古代金矿——论成矿作用和勘探.....	(21)
斯塔拉和楚阿夫坦克条带状含铁建造中的金—铜矿化作用	
——澳大利亚芒特艾沙东部元古代岩系中的新型层状矿床.....	(28)
南美前寒武纪的金矿成矿作用.....	(32)
津巴布韦格拉德斯通矿床: 地质学、地球化学和成矿机制.....	(36)
巴西博索罗卡金矿地质与地球化学特征.....	(38)
火山成因块状硫化物中金的成矿作用——现代矿床与古代矿床.....	(39)
澳大利亚东部古生代火山成因的块状硫化物中金的分布与成因.....	(43)
昆士兰北部基兹顿火山角砾岩筒中金的矿化作用及形成过程.....	(47)
莱逊山爆发角砾岩筒中金矿的成因.....	(52)
金, 煌斑岩和斑岩: 一种新的成因模式.....	(55)
说明斑岩铜矿中内生金成因的一种成因模式——泰拉德斑岩铜—金矿	
床 (菲律宾, 西北吕宋, 奎西奥)	(61)
澳大利亚新南威尔斯州布朗斯克里克矽卡岩中的金、铜成矿作用.....	(67)
澳大利亚昆士兰州北东部红丘矿床的成因.....	(71)
西太平洋岛弧金矿床的环境、类型及成因.....	(75)
巴布亚新几内亚利希尔岛金矿的地质和地球化学.....	(81)
日本九州地区第四纪金矿化及其地质环境.....	(84)
浅成热液贵金属矿床研究新进展.....	(87)

昆士兰东北部的古生代金矿床.....	(91)
内华达州沉积岩中卡林型矿床中金的产状及岩脉、矿物的共生组合关系.....	(98)
流体混合作用形成的沉积岩中的浸染状金矿床.....	(103)
西澳耶尔刚地块红土型及表生金矿的成因.....	(106)
博丁顿金矿.....	(110)
构造对金矿成矿作用的控制——以澳大利亚和南非的太古代岩带为例.....	(113)
阿拉斯加州东南部朱诺金矿的控矿条件.....	(116)
北美洲西部浅成热液金银矿床的构造和岩性特征.....	(118)
马来西亚半岛中央带的金成矿作用.....	(122)
铅同位素在昆士兰东北部金矿床勘探和成因模式中的应用.....	(125)
流包体中挥发分的分析及其在美国爱达荷州科达伦地区贵金属矿脉研 究中的应用.....	(131)
金的热液化学及其对成矿作用的意义.....	(134)
金从热水溶液中沉淀的动力学研究.....	(135)
遥感应用于黄金勘探的新进展和实际研究.....	(139)

世界黄金概况

罗伊·伍德尔

(西澳大利亚矿业有限公司)

1. 金：商 品

1.1 金的历史及与政治的关系

人类开采金矿的历史已有近六千年了，世界上最早的采金人是萨姆兰斯 (Sumerians)，公元前3800年，他就在相当于现在伊朗地区采掘黄金。埃及人至少在公元前3000年就已组织起了大规模的黄金开采。他们拥有在当时世界上最多的金，使法老得以维护埃及在中东地区的不可动摇的统治地位。他们用黄金购买自己不能生产的东西，用黄金支付军队的开支，用黄金维持他们在贸易中的中心地位 (Poss, P.30~P.50)。据托马斯 (Thomas) 和博伊尔 (Boyle) 1986年的统计结果，到1985年底，全世界总共已生产 125,000 吨黄金，其价值和耐用性使绝大部分至今仍然有用。

远在埃及、中国、波斯和巴比伦的古文化时期，黄金就具备了储存价值。几千年前就被当作货币在市场流通：在中国大约从公元前1200年开始；埃及从公元前1000年开始；巴比伦和米诺则开始于公元前300年。在东罗马帝国持续800年的繁荣和稳定时期，就开始实行了以黄金为基础的货币体制。从1814年开始的近一百年内，欧洲一些国家在向先进工业国家转变的过程中，就采用了以黄金为标准的货币体制。由于使用黄金，货币能够保持它应有的价值而产生了好的信誉，使人们乐意接受它 (Sutton, 1977,)。

十八世纪，来自美洲的黄金在经济上支持了英国的工业革命。在澳大利亚短暂的历史上，当其它国家正面临着空前的经济衰退的时候，黄金曾三次为澳大利亚带来了繁荣和工业发展。1988年，澳大利亚的金矿业再次成为维持国家繁荣，增加财政收入的重要经济来源。

历史告诉我们，战争，社会的腐化，政治上的争权夺利会导致通货膨胀，其必然结果是引起货币的贬值。这就是约翰·梅德纳·凯恩斯所谓的“野蛮的传统”仍然牢牢地影响人们心理的原因。

黄金是唯一的一种能使全世界接受的贸易交换媒介，也是国家之间，无论是资本主义国家还是社会主义国家，偿还债务的主要流通货币 (Green, 1985, P.2)。

1.2 全产量

当前世界黄金产量的大部来自五个国家，即南非，苏联，美国，加拿大和澳大利亚 (表1)。

表1 世界黄金产量 (1493~1985)

	发现金的时间	产量 (吨)	占世界总产量的百分比 (%)
南 非	1872年	39,800	36.9
苏 联	1775年	13,000	12.0 (估计值)
美 国	1799年	10,600	9.8
加拿大	1866年	6,900	6.4
澳大利亚	1851年	6000	5.5
其它国家		31,700	29.4

西方国家1986年黄金产量为1,282吨 (表2), 五年时间增加了300吨。预计1990年, 年产量可达1,500到1,600吨。加拿大, 美国, 澳大利亚, 太平洋沿岸国家和巴西是主要的增产国家 (图1)。这是由于它们拥有得天独厚的金矿资源, 并采取了有效的勘探手段和应用了先进的采矿、加工方法。黄金价格在国内市场的稳定也是刺激产量增加的原因。在许多国家, 当美元价格上涨, 本国货币贬值的时候, 黄金生产可使国家大受其益。

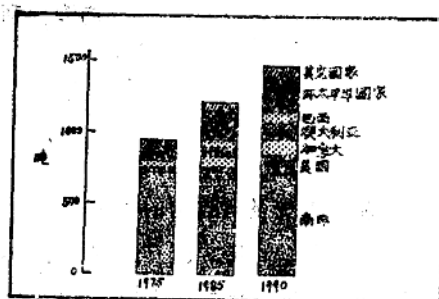


图1 西方国家黄金产量

表2 西方国家1986年金矿产量

国 家	产量(吨)	国 家	产量(吨)
欧 州	16.5	日 本	14.0
北 美 州		其它国家	14.2
美 国	108.0	非 州	
加 拿 大	107.0	南 非	640.0
中南美洲		赞 比 亚	14.9
巴 西	67.4	其它国家	37.7
哥伦比亚	27.1	大 洋 州	
智 利	19.2	澳 大 利 亚	75.0
委内瑞拉	15.0	巴布亚新几内亚	36.1
其它国家	45.3	其它国家	4.0
远东地区			
菲 律 宾	39.9	合 计	1281.8吨

东方国家年产量约350—400吨, 并可望有所增加 (Fisheer, 1987)。这样到2000年, 世界黄金总产量最高将可达到2000吨。

1.3 金的需求

1960年以前, 新采出的黄金均由政府控制的中央银行收购。但自1965年以来, 中央银行已将2,256吨黄金卖给了私人企业。5000年来, 黄金是一种主要用来做金币和政府金融储备的金属, 自1965年以来, 它也与钻石、铂和银一样成为商品和私人企业财产。现在它在世界上的价值表现在工业的应用, 珠宝制作和私人收藏上面。

1968至1985年间珠宝行业吸收了13,635吨金，占私人企业黄金的57% (Green, 1987)。最近，私人造币业也耗费了大量黄金。著名的金币有南非的克鲁格兰德金币，加拿大的枫叶币，美国的鹰币，日本的海诺希特金币和澳大利亚的纽吉特金币。然而珠宝业仍在黄金市场占据最重要的地位。

对黄金的需求量对它们价格的浮动影响很大 (图 2)。在那些传统的黄金囤积地区，如中东，印度和东南亚尤其如此。在这些国家，无论是珠宝制造行业，还是伪造金币和金条的行当，黄金都是数百万人赖以生存的基本出络 (Green, 1987)。1978 年，这个地区的企业家们买进了 450 吨黄金，但是当1980年金价涨到每盎司 400 美元时，他们又向市场抛售了近 150 吨。

由于美元的跌落及日本和欧州经济实力的增强，在世界金融市场上，黄金价格变得比美元价格更加重要了。例如在日本经济空前繁荣时期，金的日元价格下跌，引起需求

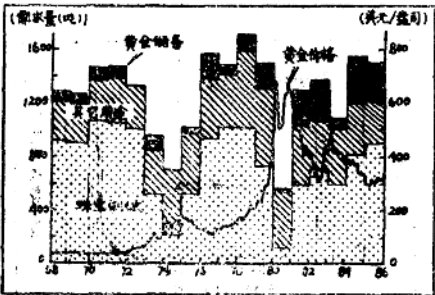


图 2 世界黄金价格的变化与黄金需求量的关系

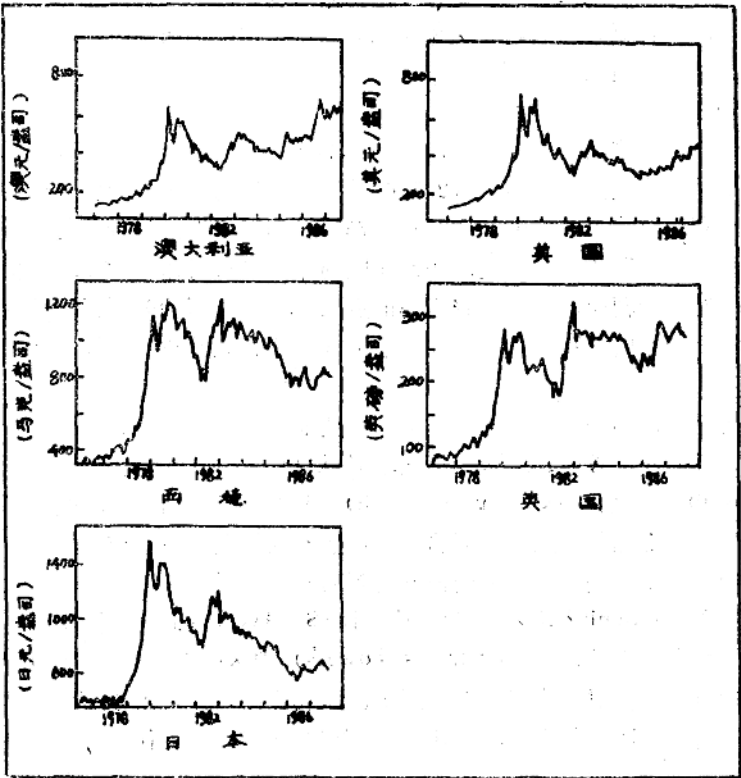


图 3 西方几个国家黄金价格的变化 (1978—1986)

量增加,从而抵消了因美元上涨而产生的负作用。(图3)

2. 金矿资源

地球历史上一个让人难以理解的问题是金在地球演化过程的不同时代的分配模式(图

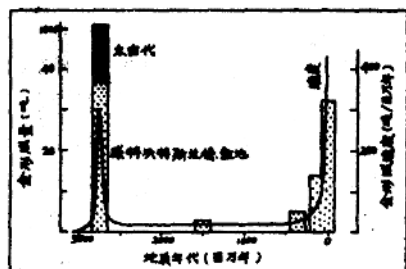


图4 世界黄金的主要成矿时期

4)。图4显示了整个地球历史上地壳构造和岩浆活动的一些重要信息,可能还有一些关于地幔射气的信息。在28亿—26亿年前的太古代是最有利的金成矿期。在威特沃特斯兰德(Witwatersrand)盆地形成了规模巨大的金矿床,在太古代克拉通的火山岩系中富集了大量的金。此后,延续到一百万年前,再未出现过如此大规模的金成矿活动。直到晚中生代和第三纪才形成了广泛的低温热液矿床和现代砂金矿。

西方国家发现新的金矿的可能性最大的

地区有:

- 威特沃特斯兰德盆地及任何出露有与其相同的地层或其它重复出现的地层的地区。
- 加拿大,澳大利亚,巴西,非洲和亚洲的太古界地层出露地区。
- 环太平洋地区,包括北美洲西部。

2.1 澳大利亚

澳大利亚至今已生产黄金6,300吨,其中1,700吨产自砂金矿床,4,600吨产自脉状金矿。脉金主要来自西澳的太古界地层(2,500吨)和东澳的古生界地层(1,900吨)。

1985年澳大利亚金产量为57吨,1986年约75吨,如果能维持现行的黄金价格以及不改变现行的“不交纳公司税”的财政政策,1990年以前年产量将可达到100吨。虽然占世界总产量比例不大,但对澳大利亚的经济有着重要的意义。金矿业不纳公司税,并不意味着所有的税都不交。金矿业所交的所得税,营业税和其它形式的州和联邦政府税收是政府收入的主要来源。

黄金价格的坚挺,政府采取的鼓励政策——免征公司税,扩大老矿山的储量以及通过使用新技术增加矿山的经济效益,这些都是刺激澳大利亚黄金产量持续增加的原因。碳浆(Carbon-in-pulp)和碳滤(Carbon-in-leach)提取技术以及在加工过程中使用盐水的工艺大大降低了在处理低品位矿石、泥质含量高的矿石及氧化矿石的成本。

维持目前产量水平的关键,在于能否发现新的矿床和新的含金远景区。最近的三个有意义的发现是坎博尔达(Kambalda)南部的圣埃文斯(St. Ives)金矿区,博丁顿(Boddington)的红土型金矿以及在南查特斯堡(Charters Towers)地区的新发现(Pajingo, Wirralee, Yan Dan)。最近,人们对寻找老矿山的深部资源表现出兴趣。在澳大利亚西部拉弗顿(Laverton)附近的兰斯菲尔德(Lancefield)金矿找到深部矿石就是一个成功的例子。

2.2 南非

2000年后南非很可能继续保持世界最大产金国的地位。1986年南非金产量为640吨。通

过扩大现有矿山的规模，在下世纪初可把年产量提高到800吨（图5）。（Krige, 1987）。

2.3 环太平洋地区（包括中美州）

日本高品位的菱刈（Hishikaris）金矿，巴布亚新几内亚的利希尔（Lihir）和波尔盖拉（Porgera）金矿，加利福尼亚的麦克拉夫林（McLaughlin）金矿，智利的埃尔印地奥（El Indio）金矿以及多米尼加共和国的旧普韦布洛—蒙特格罗（Pueblo Viejo-Montegro）金矿的发现，再次证明环太平洋自晚中生代到近代的火山活动区是寻找黄金的有利地区。

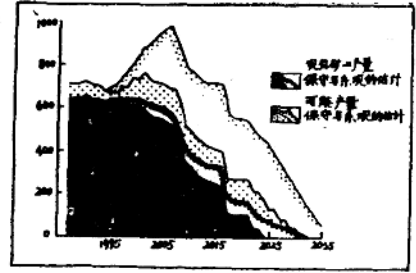


图5 南非黄金产量预测

1985年环太平洋地区（不包括美国和加拿大）的金产量为186吨（Milling—Stanley and Green, 1986）。1986年产量接近200吨。在环太平洋地区进一步寻找金矿的可能性是很大的，因为这个地区对低温热液矿床的成矿十分有利，另外许多地方地势偏僻，勘探程度很低。然而在开发的过程中，恶劣的自然环境，动荡的政治局势和经济技术基础的薄弱将会产生许多困难。对太平洋西海岸地区新发现黄金储量的估算，说明了这个地区的潜力之大。（表3）

表3 太平洋西海岸几个新发现的金矿的储量（吨）

波尔盖金矿（巴布亚新几内亚）	335	（1）
利希尔金矿（巴布亚新几内亚）	360	（2）
密西马（Misima）金矿（巴布亚新几内亚）	70	（2）
马撒山（Martha Hill）金矿（新西兰怀西）	85	（3）
金岭（Gold Ridge）金矿（所罗门群岛）	100	（3）
克林（Kelian）金矿（印度尼西亚）	90	（3）
菱刈金矿（日本）	120	（3）
合 计	1160	

- （1）Fleming et. al., 1986
- （2）Tyrwhitt, 1986
- （3）F. Reid, 1986 (Personal communication)

2.4 美国西部

美国至今已生产了11,600吨黄金，主要产自西部地区，其中5,500吨采自脉金矿，3,500吨采自砂金矿，1,400吨为付产品回收金（Cargill, 1980; Milling—Stanley and Green, 1986; Thomas and Boyle, 1986）。由于这个地区还有1500吨的脉金储量，所以仍将吸引大量的投资。1985年美国西部地区生产了79吨金，1986年约108吨，到1990年可将年产量提高到150吨。产量增加的主要原因是发现了适宜于露天开采的低品位矿石和采用了堆浸法技术。

2.5 加拿大

加拿大一直是世界上主要的产金国之一，到1986年共产金7,000吨。并正在进行大规模的勘探工作。1976年以来，共发现了49个有经济价值的金矿床，储量达1,200吨，其中约一

半属于海姆拉 (Hemlo) 矿 (Crastone et. al. 1987)。加拿大1985年生产金86吨, 1986年为107吨, 到1990年产量仍将继续增加。

2.6 巴西

在巴西发现新的有意义的金矿资源的可能性很大。这个国家有很长的产金的历史。自1552年以来, 已生产了1,750吨黄金。在巴西, 十个大型金矿中有七个是1976年以后发现的。巴西有大片的太古界地层 (2.6×10^6 公里) 和元古界地层, 其中发育有众多的金矿床和矿点, 以及广泛分布的冲积、崩积金矿。

拥有二十五万到五十万勘探人员和矿工的巴西金矿业, 多年来 (特别是1971年以来) 对巴西的金产量起着很大的作用。1985年加里波 (Garimpo) 金矿产金约55吨。

2.7 非州 (不包括南非)

从可统计的资料看, 非州主要的产金国是津巴布韦、扎伊尔和加纳。但应注意到其它国家由于向政府机构隐瞒产量而无法统计的情况。目前这个地区的年产量约50吨 (Fisher, 1987)。如果政府能更多地鼓励私人企业开发金矿, 非州的金产量将肯定会有所增加。

2.8 西方其它国家

西方世界的其余国家1985年生产了约31吨黄金。其中印度的产量令人迷惑不解, 这个国家过去的产量一直很高, 特别是著名的戈拉尔 (Kolar) 金矿田 (曾生产了790吨金), 但1986年仅产金2吨。

2.9 东方国家

估计苏联1984年金产量在270—360吨之间, 预计1990年产量可能达到310—500吨中华人民共和国也是重要的金生产国, 1985年产量约70吨 (Fisher, 1987)。

3. 2000年黄金勘探的发展趋势

由于黄金价格的上涨速度快于成本的提高, 也由于生产技术的改进, 使得大多数现有矿山都有可能延长矿山的寿命。这种情况能否出现, 很大程度上决定于金的价格是否稳定和管理部门和政府的政策是否适宜, 其重要性甚至超过矿区自然资源的多少。如果矿山的剩余资

金大部分被作为利润和税收而上交, 导致矿山勘探工作由于缺乏资金而无法进行, 那么扩大矿山储量, 延长矿山寿命就无法实现。然而, 如果矿山配备有地质人员, 并鼓励他们认真研究已知矿床, 分析成矿地质条件, 使用先进的勘探技术, 那么, 发现新的金矿资源是可能的。在这方面的工作中, 政府科研机构 and 高等学校的科技人员可以发挥优势, 做出他们的贡献。在所有的因素中矿山环境是最重要的, 在现存矿山周围发现新资源从经济上也是最有利的。

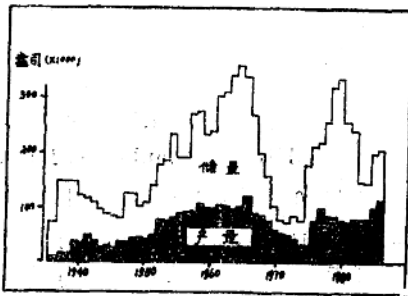


图6 澳大利亚中诺斯曼金矿
年产量与储量的关系

在西澳大利亚的诺斯曼金矿, 完善的矿山管理以及政府的免征公司税的鼓励政策, 被证

实是一个成功的例子（图6）。图6显示了这个矿区50年来的金矿储量与产量的关系。从图中可见，在中诺斯曼金矿50年的历史中，探明的矿量一直维持在仅能供少数几年开采的水平上。然而矿山却成功地生存了半个世纪。之所以能及时地发现新的资源，一是靠地质上的科学研究，二是由于在勘探工作上投入了大量的资金（即使是在经济困难时期）。在过去十余年中，他们投入了一千一百万澳元的勘探费用，其结果是找到650,000盎司的黄金，每盎司勘探成本仅17澳元。

“中诺斯曼金矿的经验”说明，无论在哪个大的金矿，下面几点都是值得借鉴的：

- 矿山管理必须鼓励持续不断的科学研究，包括对正在开采矿体的研究和区域成矿地质环境的研究。

- 充分支持有经验的地质科技人员立足于矿山，并保证有足够的勘探经费。

- 政府必须提供一个稳定的，有章可循的工作环境，应制定有利于矿山勘探工作和能保证有成就的地质科技人员有较高收入的矿业法和税收政策。

现在，地质科技人员感兴趣的问题是，金矿的成因和如何以及在何处能找到新的金矿床。许多国家在这方面的研究上做了前所未有的努力。目前，地质学家和化学家在探讨地球中金的可能来源，金的迁移方式和富集（沉淀）成矿的问题上，有了新的、进一步的认识。

物理学和化学在研究地热系统上的新的认识有助于我们理解低温热液型金矿床的成因。我们现在对风化作用中金的状态的新的认识也改变了以前认为的、在深度风化岩层中金只是作向下和侧向迁移的观点。在表土经历了反复的风化作用时，其迁移过程则更加复杂。我们还认识到了，在地表发生了强烈的淋滤作用时，金在风化带是怎样活动的以及金会在哪里富集成矿。

高精度分析技术的发展，使在测量土壤，沉积物和岩石中金的含量时，精度可达到十亿分之一（ppb）。并且由于分析费用低，可做为常规分析方法应用。用这种方法使我们可以金矿床的围岩中圈定出一条明确的异常界限，而这种异常中金的含量往往低到只有5—20ppb。快速的多元素分析方法和大量的元素含量数据的计算机处理技术的出现，对我们研究矿床周围金的次生分散和原生分散问题很有帮助。

在金矿的勘探过程中，地球物理方法的用途虽然是间接的，协助我们绘制与成矿作用和蚀变作用有关的地表和地下的岩性图与构造图，但对金的勘探起着很重要的作用。磁法，电法和电磁法都有广泛的用途。在过去十年中，由于微处理机的出现，使得数据的存取变得更方便，也促使计算机硬件、软件有了很大的发展，同时有了功能齐全的绘图程序，这一切使物探技术的面貌有了很大的变化。物探工作在金的勘探，尤其是在工作程度浅的地区的勘探中发挥了愈来愈重要的作用。

在什么地方找金以及采用什么勘探手段和方法仍是有待我们认真研究的问题。为什么在威特沃特斯兰德盆地会富集如此多的金？为什么在地球上与威特沃特斯兰德盆地同时代的火山岩中会伴生这么多金？为什么25亿年以后，晚中生代和第三纪火山活动会再次形成了分布广泛的金矿？其中最重要的问题是那些为数不多的，单独产出的大型金矿为什么会在那里形成。虽然寻找这种大型金矿需要长期的投资，而且风险很大，但人们仍认为是值得的。

发现一个新的金矿要投入多少资金？大多数规模大的金矿都可能被隐伏在浮土、淋滤带、残坡积层或时代较新的地层之下，也可能产在偏僻、荒凉的地区。所以，发现一个矿床

是会很困难的。我们指望在今后十年左右找到一个金矿的平均费用在三千万到五千万澳元之间。这是根据澳大利亚1955年至1978年24年中金属矿床的平均勘探费用来估算的。

在澳大利亚，每盎司金的勘探成本，低的不到10澳元，高的可超过100澳元。西澳大利亚在1979年7月至1984年6月找到了约250吨金，共投入了三亿九千五百万澳元的勘探费，勘探成本为每盎司50澳元。加拿大于1981年至1985年，探勘耗资十一亿四千二百万加元，成本为每盎司36加元，但如不包括巨型的海姆拉金矿，其勘探成本则高达每盎司87加元(Crassone, et. al., 1987)。

与其它金属矿比较，找金矿在经济上的一个很大的优势在于：如果矿体埋深浅，即使是小矿也是有利可图的，因为它的投资少，从发现到转为生产的周期短，并且产品销路也好。虽然小金矿对总产量影响不大，但对于投资者来说，其投资效益很高。

至今还未出现过由于开采导致金矿价值降低的情况。相反，新的找矿手段和技术以及费用低廉的生产方法的采用足以补偿这种因为资源随时间减少而产生的影响。只是在勘探工作由于矿山管理不善或由于得不到政府支持而难以开展时，或者在金价暴跌时，才会导致产量下降或者储量减少。但是在短期内它们增加的可能更大。

金矿广泛地分布在世界各地，其中有很多已得到开发（图7）。一个国家的金矿资源能否吸引到足够的勘探投资，决定于是否有一个适宜的投资环境。国内黄金市场的价格，成本和税收的高低，政府对利润留成和资金返回的政策，以及生活条件等都是重要的影响因素。找金是一项风险很大的事业，所以那些甘冒风险而进行投资的人应受到鼓励，刺激投资家乐意花钱和勘探人员甘愿出力的唯一希望，是能够得到真正的成功。



图7 世界金矿分布

樊钟衡 译

西澳大利亚耶尔刚地块中的金矿化

戴维 I · 格罗夫斯

(西澳大利亚大学地质系)

引言

西澳大利亚地盾的太古界花岗岩类—绿岩带的金产量约占全国金总产量的三分之一。虽然历史上有记录的金矿床超过2000个,累计金产量达2300吨以上,但有意义的仅是卡尔吉利(Kalgoorlie)金矿床,其金产量约占该区累计金产量的一半。重要的是,近些年来,金的勘探和开采兴趣再度提高,1987年开始了36个新的采金项目,这一年的金产量超过70吨。计划在1988年再增加46个采金项目,预计这一年的金产量将超过85吨,即超过以前的最高年产量——1903年的采金量。本文所引用的大部分数据摘自格罗夫斯(Groves)等(1984, 1985, 1986, 1987),格罗夫斯和菲利普斯(Philips)(1987),霍(Ho)和格罗夫斯的(1987)论文,以及本文集中的其它论文(未在参考条目中列出)。

矿床分布

该区的金矿床除了特尔费 (Tef-fer) 和皮克希尔—霍斯舒来特 (Peak—Hill—Horsesho Light) 产在古生界岩区外, 其余全都产在太古界花岗岩类—绿岩带岩区。相对出露较好的皮巴拉 (Pibara) 地块中罕见大型金矿床, 且产金量低 (每平方公里绿岩不足一千克)。相对出露不好的耶尔刚 (Yilgarn) 地块中, 所有的花岗岩类—绿岩区都有大型金矿产出 (图1)。其中默奇逊 (Murchison) 区每平方公里绿岩产金18.5千克, 南

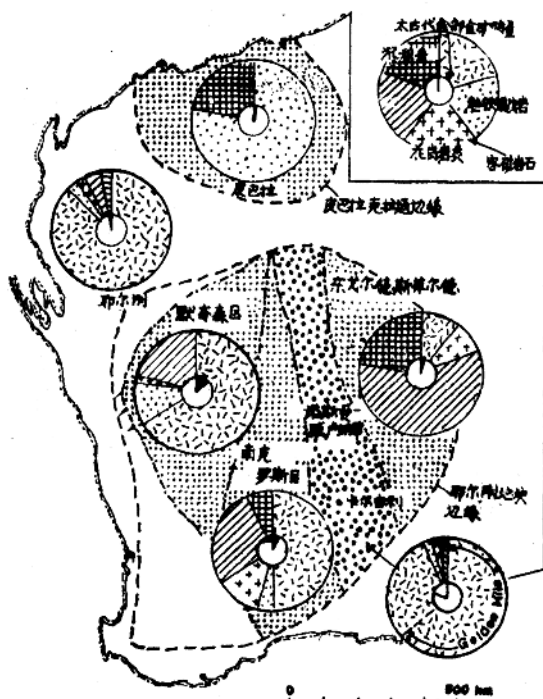


图1 表示与大的构造单元有关的金矿床及金产量的太古代西部地质草图

克罗斯 (Cross) 区为9.4千克, 戈尔德菲尔德 (Goldfields) 区东部为5千克, 诺斯曼—威卢纳 (Norseman—Willua) 花岗岩类—绿岩带的金矿化最好, 每平方公里绿岩产金36千克。该带有本区最大的特大型金矿床——戈登密尔 (Gorden—Mile) 金矿床(>1200吨金), 并且这个州中的绝大多数大型金矿床(>50吨金)都产在这个带上。

矿床特征

目前地质资料掌握得较全面的所有金矿床都是受构造控制的后生矿床。克罗夫斯等人(1985)所划分的成矿构造类型包括: 1. 剪切带型; 2. 富碲化物角砾岩型; 3. 石英细脉带型; 4. 石英脉组型; 5. 沉积岩中的层控/层状交代型。金矿化通常与铁的硫化物(±毒砂)—钾质云母(±钠长石)—碳酸盐蚀变带紧密伴生。典型的元素组合为Au—Ag—As—Al—W—B, 贱金属的含量往往很低。流体包裹体研究和热力学计算(Ho等, 1985)表明: 金一般呈还原态的硫络合物在低密度、低盐度(小于2%重量NaCl当量)、近中性的相对还原的 H_2O-CO_2 流体中迁移。尽管绿岩带的各种岩石都可以作为地表附近金矿床的容矿母岩, 但金的历年来的产量表明, 大型金矿床的主要容矿母岩是 $Fe/(Fe+Mg)$ 值高的岩石, 它们大多数为玄武岩、条带状含铁岩和富铁沉积岩(图2)。这些富铁岩石的硫化作用使还原态硫—金络合物失去稳定性, 这就是金之所以沉淀出来的主要沉积机理:(菲力普斯和克罗夫斯, 1983; 菲力普斯等人, 1984)。

金矿床的区域控制

区域上, 大多数金矿床产在闪石—绿片岩过渡相或更低级的变质相中。并且受长数百米——数公里的韧性断层或剪切带的扩张部位控制。这些构造带大多数沿绿岩带内部的层间界面发育。另外也可以沿花岗岩类—绿岩接触带或其附近发育(Skwarnechi, 1987)。在许多实例中, 特别是在矿化较好的诺斯曼—威卢纳绿岩带中, 这些断层或剪切带的规模通常都很大(走向延长数十—数百公里), 且常常是韧性走向滑移或斜向滑移的剪切带(Eisenlohr, 1987), 但这些构造本身极少出现矿化。这些壳型构造带在构造史上晚于花岗岩—绿岩带的形成。出现矿化的次级构造运动矢量表明: 金矿化趋向于在晚阶段的构造变形末期发生。因此, 从金矿化发生在绿岩带区域变质高峰期末或高峰期后这个意义上来说, 金的矿化属于退化变质作用。

越来越多的证据表明: 主剪切带是壳型构造重新活化的产物, 并且扩展到上地幔。很明显, 这些剪切带将幔源硫化作用、I型花岗岩、长英质斑岩和钙碱性煌斑岩联接了起来。钙碱性煌斑岩通常作为深部上地幔来源的标志。与金矿化密切共生的铁的硫化物(曾被解释为来自下伏古老的花岗地壳)中的铅同位素为放射成因异常铅, 这也说明至少有一部分含金流体是深部来源的(Dahl等, 1987)。在相邻的矿山之间, 与金矿化有关的铁的硫化物硫同位素组成也同样存在显著的差别。(Phillips等, 1986)

成因控制

尽管金的矿化作用通常与壳型构造密切相关,但越来越多的证据表明,在矿床或矿区之间,甚至在空间上与同一断裂构造有关的金矿床或矿区之间,稳定同位素和放射成因同位素的年龄测定数据和同位素的组成都有差别。例如:在空间上都与博勒—利弗罗依(Bouler—Lefrog)断层有关的不同矿床中,尽管成矿母岩的铅同位素比值相似,与矿石共生的碳酸盐的碳同位素比值,却通常有着显著的差别,但其混合线的放射成因铅终点的铅同位素比值是相同的。这表明,尽管成矿流体以韧性剪切带为运移通道,但流体的性质是瞬变的。汇集起来的成矿流体进入闪石—绿片岩过渡相或更低级的变质相中的次级韧性断裂是成矿的关键。每一种成矿流体都具有独特的运移通道,从而具有独特的同位素组成特征。流体的性质目前尚不清楚。但是,有证据表明,这种流体是地幔和地壳的射气作用产生的变质流体。新的同位素组成数据否定了成矿流体体系天然雨水演化产物的看法,也否定了仅仅由绿岩带的脱挥发分作用演化而成的模式。成矿流体也不是从与金矿化同时形成的长英质侵入体中分异出来的。金的矿化可能是由上侵到地壳的煌斑岩浆演化出来的流体形成的,但尚需深入研究。

在构造规模上,大型金矿床都集中在诺斯曼—威卢纳带,这与该带壳型构造的走向滑动或斜向滑动的剪切带密切分布是一致的,并且表明这可能与第一期火山活动之后,距今约50百万年的绿岩盆地封闭期间的横向挤压作用有关。因为在耶尔刚地块中,不管绿岩的形成年代如何,其金矿化都是同时期产生的。所以该地块中,其它岩石中与金矿化有关的构造必定迭加在较老的2.95Ga上。上述这些现象支持较早提出的诺斯曼—威卢纳带的构造及其成矿环境不同于耶尔刚地块绿岩带附近地区和皮巴拉地块东部地区的成矿作用及构造环境的观点。

胡祥昭 译

威特沃特斯兰德金矿田地质学：最新进展兼论沉积期后作用的意义

G.N.菲力普斯等

提 要

威特沃特斯兰德盆地由5—10公里厚的堆积物组成，主要为碎屑沉积物。大陆基底的年龄大于2700百万年。区域绿片岩相变质作用遍及整个矿田，但盆地的中心和边部变质程度较高。威特沃特斯兰德沉积变质岩的变形集中于与矿层伴生的薄层状泥质岩中，厚的均匀石英岩中则表现微弱。变质作用期间，整个盆地范围内流体的活动性增强了应变调节性能，导致广泛的蚀变并沿层面和主断面产生“通道化”现象。

金的重要伴生组合是普遍存在的主要是Au—C和Au—Fe—S—As化学成分组合。有经济意义的金与不整合面密切有关。岩性控制并不严格，碳质层和砾岩层为主要含金层，但所有其它岩类中局部可出现中等金含量。横穿盆地的剖面上没有任何特定的矿石类型具有普遍的意义。但在矿区范围内，沉积岩石学特征则特别重要。它影响着黄铁矿、碳和金的分布。在特定地区，金的品位变化明显与断层、褶皱和岩墙有关，但直到现在才足够详细地记载了这些关系。

导 言

威特沃特斯兰德金矿田以其巨大的规模（已经生产了4000多吨Au），单个矿层稳定延伸（沿走向50Km，沿倾向10Km，厚0.1到2m）以及稳定的品位而著名于世。

过去，金被认为有砂金和热液成因两种观点，但最近的观点已强烈偏于前者。产生砂金的原因是金的分布和沉积特征（不整合、含黄铁矿砾岩、碳质层）之间的关系密切，并推断出沉积物中缺乏蚀变，缺乏有利于沉积期后流体运动的渗透条件，缺乏矿物垂向分带以及流体不能搬运金等结论。

本文综合最近一些有关威特沃特斯兰德盆地的研究成果，以阐明这种岩石序列的沉积期后的历史。我们的研究间接地指出了一些探讨较近期地质作用（沉积期后作用）的方法学问题，以及强调研究构造、岩石、地球化学和同位素的意义，这比推测最早的地质事件（如沉积环境）更为重要。

地质概述

威特沃特斯兰德岩系分为泥质岩到砂岩组成的西兰群(5Km厚)和其上由砂质到砾岩(3Km厚)组成的中兰群(上威特沃特斯兰德层)。尽管西兰群中的几个砾岩层达到金的开采品位,但绝大多数金产量来源于中兰群的碳质层或砾岩层。

过去解释这些岩石的沉积环境,认为有潮汐——海(对西兰群)及冲积扇和河流环境(对中兰群)(Minter, 1978)。威特沃特斯兰德盆地至少经历了三期构造变形。同沉积期变形导致沿盆地边缘发育主冲断裂构造,与此同时中兰群岩石相应形成了特有的层内或层间不整合面。

上覆的芬德斯多普熔岩喷发后,盆地发生张性变形,从而在整个矿田内产生正断层和走向断层(Stannistreet等, 1986)。随后是一长期的稳定阶段,沉积了特兰斯瓦尔(Transvaal)岩系,后来,威特沃特斯兰德岩系遭受了强烈变形,形成了褶皱,和与层面近于平行的断层和区域低角度劈理。

区域变质证据

所有金矿田内变泥质岩中的磁黄铁矿—硬绿泥石—绿泥石—白云母—石英—金红石—电气石—黄铁矿共生组合,表明绿片岩相变质环境沿走向延伸达300Km以上(phillips, 1987),这些组合说明金矿田最高变质温度为 $350 \pm 50^{\circ}\text{C}$,在盆地露头的中心和边缘变质温度较高,其中兰晶石、十字石、硅线石、石榴石、堇青石和红柱石均稳定存在。

实际上,中兰群中其它每种岩石(如岩墙、基性岩套和含矿砾岩)中也发现有绿片岩相集合体。黄铁矿丰富,磁黄铁矿少见以及磁铁矿、钛铁矿和赤铁矿缺乏(碎屑内除外),说明整个盆地的含金岩层中硫活度很高。对碳质层进行化学成分研究时,H/C和D/C比值一般都指示了较低的温度(Hallbauer[1986],我们的资料提供的温度为 200°C 到 300°C)。对碳质层(壳质组)进行镜质反射率测量也提供了估计温度在 300°C 以下。

矿层内变形证据

在威特沃特斯兰德岩系中的应力分布很不均匀。1—2m厚的矿层伴生的泥质岩石发生了强烈变形,而周围10—15m厚的石英岩却变形较弱。局部地段,这种变形形成了板理和片理组构;以层状、脉络状和局部褶皱状形式出现在矿层中。

另外,糜棱岩和假玄武质玻璃在几个金矿区均有记载。资料表明,从卡列腾维勒(Caletonville)到西兰金矿田发生过平行层面的运动。

沉积环境的证据

尽管河流模式(冲积扇)常用来解释威特沃特斯兰德盆地中砂金的堆积原因,但越来越多的证据说明即使在上威特沃特斯兰德的含金层位中,海水的影响可能很重要。推断作为河流环境主要证据的古河流正用来重新解释为在威特沃特斯兰德岩系的几个层位中可能存在海相特征。这些层位包括沃尔(vaal)矿层(L. verrezen, pers. Comm., 1986),巴索尔(Basal)和利德(Leader)矿层和扎思德丰特恩(Zandfontein)石英岩(Cadle等, 1987)

沉积期后流体和蚀变的证据

资料已表明有下列沉积期后流体活动的证据。

1. 脉石英。