

我国早前寒武纪变质岩中金 矿床深延问题初探

鲍庆忠

(沈阳地质矿产研究所)

内容提要 本文通过国内外绿岩带及其中的金矿床对比研究,说明我国早前寒武纪变质岩系的原岩层序和岩性特征与世界各绿岩带是可以对比的;我国早前寒武纪变质岩系中的金矿床在赋矿围岩、控矿构造及产出形式诸方面与绿岩型金矿也是可以对比的。从其成矿机理及基本事实出发,指出在我国早前寒武纪变质岩分布区及已知老矿区寻找深部矿体的可能性。

关键词 变质岩 金矿床 深延矿床 早前寒武纪

近几年来,由于黄金价格飞涨,促进了金矿地质研究和黄金生产的发展。随着地表浅部金矿资源不断减少,已知矿床的深部矿体及盲矿体的寻找就自然成了人们关注的问题。分布于古老结晶基底区(绿岩带)的金矿床是世界金的重要来源,国外该类型金矿储量大,勘察深度也大,为世人所瞩目。我国该类型金矿分布广泛,但就目前勘察的金矿储量及延深远不能和这些世界级的大矿相比。因此,探讨我国该类型金矿的深延问题,对金矿地质研究及扩大矿产储量都具有重要的意义。

1 深延矿床的概念

深延矿床指那些勘察深度相对较大的矿床。据1980年苏联地质学家E·M·涅克拉索夫统计,已知有30多个开采深度达1 km的金矿床(见表1),其中产于绿片岩相和角闪岩相的陆源—火山岩系中的金矿床(表1前15个金矿床)占深延矿床的50%。其最大特点是矿化深度大(最深达3500m,平均1600m),金矿储量大(最高达1500t,平均367 t)且每增深1 m,储量增加额也大(平均 $1.2 \times 10^5 \text{g/m}$)。他认为这类矿床在预测深部矿化及矿床储量评价等方面都比较可靠,开采也比较简单,是最具远景的金矿类型之一。

2 深延矿床的形成机理

这类矿床大部分为含金石英脉和细脉带,构造控矿作用(特别是断裂构造)明显,矿体产状以陡倾和近直立为主,延深较大。根据对表1中所列矿床的分析发现,这些矿床多

表1 国外延深大于1 km金矿床(田)及基本参数(E·M·涅克拉索夫)
Table 1 Gold deposits of depth more than 1 km in the world and their principal parameters

矿床(田)	国 家	矿体主要形态	h (m)	T (t)	p (t/m)
科 拉 尔	印 度	脉状、细脉状、透镜体	500	700	0.20
莫罗-维露	巴 西	细脉浸染状矿带	3000	250	0.08
肯-莫托尔	津巴布韦	脉和细脉带	2000	150	0.08
霍姆斯塔克	美 国	脉带和细脉状及浸染矿层	1900	900	0.25* (0.47)
格洛布-菲尼克斯	津巴布韦	致密块状及树枝状脉	1500	120	0.08
累沃诺腊	澳大利亚	脉 状	1500	80	0.06
芒特-马格尼特	澳大利亚	浸染矿带(柱)	1500	40—50	0.03
格内利	津巴布韦	浸染矿带(脉)	1500	50—60	0.04
霍恩	加 拿 大	筒状(条带状)浸染矿体	>1300	230	0.18
马德森雷德-累克	加 拿 大	浸染矿带	1200	1550	0.25* (1.29)
波丘潘	加 拿 大	脉带、细脉带、细脉浸染矿层	1280	60	0.05
布雷诺恩-派欧尼尔	加 拿 大	脉 状	1200	120	0.10
卡尔古利	澳大利亚	浸染矿带、少量树枝状	1200	1050	0.25* (0.87)
沃布腊伊登	加 拿 大	脉	1000	65—75	0.07
阿散苇地区	加 纳	致密块状脉	2000	450	0.22
普雷斯特	加 纳	致密块状脉	2000	200	0.10
本迪果	澳大利亚	鞍状脉	1400	700	0.25* (0.50)
马泽尔络德	美 国	致密块状脉	1500	400	0.27
巴拉腊特	澳大利亚	层状脉	1050	100—110	0.10
京皮	澳大利亚	致密块状脉	1000	110—120	0.12

续表 1

里非通	新 西 兰	致密块状脉	850—1000	63	0.08
克克兰—累克	加 拿 大	致密块状脉、细脉带	2100	700	0.30
高恩	澳大利亚	浸染状	1500	100	0.07
格腊斯—伐利	美 国	致密块状	1100	32	0.29
恰特兹堡	澳大利亚	致密块状	1000	190	0.21
圣安握尼欧	美 国	脉、细脉、网脉状	1500	40	0.03
马马拉捷克	加 拿 大	浸染状、细脉状	1500	180	0.12
拉马克—杨格马	加 拿 大	致密块状脉	1000	130	0.13
锡尔佛尔通—特落里德	美 国	树枝状脉和致密块状	1300	220—240	0.13
克里普耳—克里克	美 国	致密块状脉	1000	600	0.60

注：• 计算时采用参数 P 的平均值； h —已被矿山工程查明的垂直矿化深度； T —金储量； p —矿

床每加深 1 m 增加的金储量

分布于大型断裂构造（主要是区域性断裂构造或大型韧性剪切带）内或与之有关的张性空间内。

自Ramsay等（1970）系统地介绍了对韧性剪切带的研究成果，这个问题引起了各国地质学家的普遍关注。特别是80年代以来，发现了一些产于前寒武系变质岩区的大型、特大型金矿床，其地质产状均直接与韧性剪切带有关，如澳大利亚的卡尔古利金矿、加拿大魁北克省阿比提比绿岩带内的金矿、印度的科拉尔金矿等。金矿产于韧性剪切带内或与之有关的次级断裂中。

韧性剪切带是呈带状展布的，发育在地壳一定深度的高应变带，带内以剪切变形为主，带内的矿物成分和粒度均有相应的变化。剪切变形是地壳岩石变形中最常见的变形形式，岩石的剪切变形可表现为从韧性到脆性的一系列变形过程，甚至在一定深度下，韧性变形可以成为岩石的主要变形形式。现在所发现的许多韧性剪切带是由于地壳长期上升剥蚀才出露地表的。Sibson（1977）提出了断层的双层结构模式，从0—4 km范围内，构造岩以未胶结的断层泥和角砾为主，4—10 km范围内的构造岩以碎裂岩系列为主，10—15 km为脆—韧性过渡带，15 km以下为韧性剪切带，构造岩以糜棱岩系列为主。Cameron（1989）在研究挪威南部Bamble韧性剪切带时证实了Sibson的上述模式，并详细描述了剪切带的几何特征，从垂向剖面看，剪切带上部脆性部分较窄，宽度基本不变，韧—脆性部分向下，宽度随深度增加而逐渐增大，整个剪切带呈上窄下宽的楔形，楔形边的角度达40°，宽度可达30—40 km。

大型韧性剪切带是穿过地壳的渗透性通道，韧性剪切带中的渗透性来自随变形作用产生的微裂隙和扩容，导致广泛的流体流动。在韧性剪切带内，位移是通过粘性变形方式，以位错蠕动为主要机制。韧性变形强烈地依赖于粘度，而粘度又依赖于温度。剪切带温度是环境温度（随深度而增加）和由摩擦热而形成的温度两部分的总和。随深度的增加，粘度降低，使变形作用在地壳内扩展到越来越大的宽度。高的流体孔隙压力（ P_f ）有利于扩容作用。很显然，在负有效压力（ $P_f > \sigma_3$ ）的条件下，也降低了岩石对于变形作用的强度。在加热过程中水的体积增大，对增加 P_f ，进而增加扩容和渗透性可能是很重要的。在所有机械功都转变为热的极限条件下，由剪切作用产生的热是剪切应变（ τ ）和断层位移速度（ v ）的乘积。且依从于岩石的流变性质。大型的长期活动的断层内，由于它们的 v 、 τ 和时间都较大（长），温度更易于上升。

大型韧性剪切带不仅为成矿流体提供了渗透性通道，而且还提供了部分成矿溶液的直接来源。因此，几乎所有类型的内生金矿床都是热液成因的，不管其来源为何，都离不开含金热液的活动。

大型韧性剪切带内含矿溶液形成的可能性，波罗的地盾科拉半岛超深钻钻探结果表明：地壳岩石存在着垂向的变质作用分带。由上而下可划分为葡萄石—绿纤石相（0—1.2km）、绿片岩相（包括绿帘石—绿泥石和阳起石—黑云母两亚相，1.2—4.7km）、绿帘石—角闪岩（4.7—6 km）和角闪岩相（6—7 km）。不难推测，下部还会出现麻粒岩相（已为挪威南部韧性剪切带中的垂直分带所证实）。前进变质作用过程是矿物种类变换和脱水的过程，实验分析表明，在区域变质作用开始时， H_2O 的含量可达4%左右。基性火山岩变质后，绿片岩相中水为3.15%，角闪岩相中为1.03%，麻粒岩相中水仅为0.35%。一般认为，未变形岩石经历中—高级变质作用时，其渗透性是很低的，致使流体在1百万年内只能渗透几米远。因此，变质作用过程中析出的大量流体被长期地封存在变质岩层中，这对变质岩石中成矿物质的析出是很重要的。韧性剪切带形成过程中产生的微裂隙和扩容导致这些变质流体由底部的流体高压（ P_f ）区向上部压力梯度降低的韧性过渡带聚集。流体在剪切带内的渗透可引起广泛的化学反应，进一步溶解其中的成矿物质，形成含矿溶液。

3 国外前寒武系变质岩中的某些深延金矿床

这类矿床产出的最大特点是金矿化都与古老火山岩变质而成的绿岩有密切的关系，世界范围内的金矿含矿层位和岩性方面都可很好地进行对比（表2）。但不同地区又有各自的特点，这主要表现在各种岩性的比例、变质程度及时代等方面。如南非绿岩带相对其它地区特别是加拿大太古宙绿岩带含有更多的超基性岩石，而中性到酸性岩石较少，前者金、铬、镍、铁及铂族金属较为发育，后者则金、铜、镍较为发育。此外含矿岩系的变质程度一般为绿片岩相，个别地区可达角闪岩相，如印度科拉尔金矿即产于角闪岩相岩石中。

由表1可知，这类矿床大部分为含金石英脉和细脉带，矿体多限于绿岩带或其附近，受构造控制明显。就目前的研究成果可以看出，矿床主要产于大型韧性剪切带内或与之有关的次级构造带中，矿体产状以陡倾和近直立为主，延深较大。

表 2 国外某些地质区含矿岩系对比
Table 2 Comparison of auriferous rock series among some shields abroad

	加拿大地盾 (波丘潘矿区)	西澳地盾 (卡尔古利矿区)	印度地盾 (科拉尔矿区)	南部非洲 (巴伯顿矿区)	巴西地盾 (莫洛维洛矿区)
年龄 (Ma)	24 00—27 00	27 00—29 00	29 00	26 00—36 00	>25 00
层 位	基瓦丁群	卡尔古利群	达瓦尔超群	斯威士兰超群	里约德斯维尔哈 斯超群
岩 性	为一套由变质 火山岩组成的 绿岩, 底部由 夹熔岩的石英 岩、角闪岩、 超基性岩系以 及片麻岩化花 岗岩组成	为基性熔岩流 和条带状含铁 石英岩。基性 熔岩流中有少 量凝灰岩夹层, 具有细碧特征, 常为枕状构造。 条带状含铁石 英岩不发育	为角闪石—绿泥 石片岩。下部为 绿岩系的火山— 沉积杂岩	上部为砂、泥质 沉积岩系, 中 部为基性到酸性 岩系, 下部为超 基性岩系。上、 中、下部都有条 带状含铁层	下部为变质的镁 铁质和超镁铁质 熔岩流及一些侵 入体, 形成具囊 刺结构的科马提 岩, 也形成了阿 尔果马型含铁建 造。中部是厚度 较大的复理石建 造, 属于深水沉 积并延续着镁铁 质和超镁铁质火 山的溢出。上部主 要是沉积岩系, 其中发育有碳酸 盐相的含铁建造

据金矿办1987年及吴美德1986年资料

4. 我国下前寒武系内产出的内生金矿床

我国下前寒武系中产出的金矿床主要分布于中朝准地台区周边的胶东、辽东、冀东、内蒙古、小秦岭等地。金矿床产于早前寒武纪变质岩系及与其有关之花岗质岩石中, 赋存于断裂构造带内, 属石英脉型和构造蚀变岩型金矿。

中朝准地台已有研究成果比较普遍地认为, 金矿床与一定的矿源层、一定的地质热事件及一定的区域地质构造有关, 属层控热液型金矿床 (包括变质热液型和重熔—交代岩浆热液型金矿床^[1])。无论哪种成因, 对金矿的成矿物质来源, 都从不同角度强调了初始矿源层存在的重要性。

中朝准地台下前寒武系分为4个巨旋回 (表3)。原岩恢复结果, 下部以基性火山岩为主, 中部演变为中基性及酸性火山岩组合, 顶部出现陆源沉积岩组合。矿源层分属于其中的某些组段。如胶东地区的胶东群蓬乔组, 小秦岭地区的太华群间家峪组、洞沟组, 辽南的鞍山群城子坦组, 辽河群盖县组和大石桥组, 冀东的八道河群王厂组等。

从总体上看, 我国早前寒武纪变质岩石的原岩建造和世界上其它地区的绿岩建造很相似, 从建造的意义上讲是基本上可以对比的。但普遍缺乏典型绿岩建造下部的超基性火山岩组合。另外, 我国早前寒武纪地层的变质程度较深 (主要为角闪岩相和麻粒岩相), 时

表3 中朝准地台早前寒武纪地层地质特征简表

Table 3 Brief geological characteristics of Early Precambrian rocks in Sino-Korean paraplatform

时 限 (Ma)	地层名称	变质岩石组合	原 岩 建 造	变质作用及变质相	混合岩化作用	含矿性
下 元 古 界	朱杖子群 (青龙河 群双山子 群)、辽河 群、粉子 山群、秋 备组、铁 洞沟组、 熊耳群	上部：千枚岩、板岩、(十字 石)二云片岩及片麻岩和变粒岩 夹大理岩和磁铁矿石英岩 中部：大理岩、白云石大理岩、 (砂线石)石榴云母片岩和片麻 岩夹斜长角闪岩 下部：含石墨变粒岩和片岩、 云母变粒岩、透闪透辉岩、片麻 岩夹大理岩	上部：陆源碎屑—粘土 质建造为主夹碳酸盐建造 中部：陆源碎屑—粘土 质—碳酸盐建造 下部：陆源碎屑建造夹 中酸性火山—沉积建造	低—中级变质作用。上 部以绿片岩相为主，下部 为角闪岩相	中、上部混合岩化弱， 仅出现长英质脉状体，下 部混合岩化普遍，有顺层 混合岩和浅色均质混合岩 层	金 多金属 石墨 菱铁矿
	卢龙群、 胶东群、 太华群、 辽南鞍山 群上部	上部：石榴云母片岩和片麻岩 及变粒岩、砂线基青片麻岩夹透 闪透辉岩、大理岩、磁铁矿石英岩、 斜长角闪岩、角闪石岩(局部地 区有电气石变粒岩等) 下部：角闪黑云变粒岩、片麻 岩和浅粒岩、斜长角闪岩、角闪 石岩及磁铁矿石英岩、浅色云英片 麻岩(局部地区有麻粒岩)	上部：陆源碎屑—碳酸 盐建造夹有中酸性火山— 沉积建造 下部：中—基性火山— 沉积建造夹有镁铁质和超 镁铁质火山熔岩	中级变质作用。以角闪 岩相为主，局部出现麻粒 岩相，且多呈残留相存在	混合岩化作用普遍发育。 在中、下部出现均质混 合岩和花岗质混合岩、混 合花岗岩，局部有重熔型 花岗岩产出	金 硼 铁 磷 多金属
中 太 古 界	八道河群、 辽南鞍山 群下部	上部：角闪黑云变粒岩和片麻 岩夹黑云变粒岩和浅粒岩、斜长 角闪岩、磁铁矿石英岩 下部：以斜长角闪岩为主，含 有单矿物角闪岩和辉石岩、夹磁 铁矿石英岩	中—基性火山沉积建造， 含有铁镁质和超铁镁质火 山岩	中—高级变质作用。 低角闪岩相—高角闪岩相， 绿片岩组合为退化变质产 物	普遍发育顺层条带和条 纹状混合岩，也发育有混 合花岗岩	金 铁
	迁西群	二辉麻粒岩夹浅色麻粒岩、斜 长角闪岩、角闪片麻岩、变粒岩、 辉石磁铁矿石英岩等	中—基性火山建造夹铁 镁质—超铁镁质火山熔岩	高级变质作用。以麻粒 岩相为主，角闪岩相是退 化变质产物	以均质紫苏花岗岩混合 岩为主，也见有黑云紫苏 混合花岗岩	铁 (金)

据秦楠等(1988)资料修改

代却相对年青一些,且在中生代以来又重新活化。

从构造角度看,我国早前寒武纪的大中型内生金矿床大都与区域性构造(特别是断裂构造)具明显的共生关系,矿床成群成带地沿断裂构造产出。从构造性质上讲,有脆性断裂和韧性断裂两类,前者以形成石英大脉型和复脉型金矿床为代表,后者则以形成构造蚀变岩型(或称韧性剪切带型或称糜棱岩型)金矿床为代表。前者例子有胶东的玲珑金矿、冀东金厂峪金矿、吉林夹皮沟金矿、金城洞金矿、辽宁五龙金矿、内蒙古红花沟金矿、河南小秦岭金矿等,后者如胶东的焦家金矿、三山岛金矿、夏甸金矿和吉林金厂沟金矿、辽东东风金矿等。

5 结 论

a 我国早前寒武纪变质岩在原岩建造类型、岩性及层序上与国外某些绿岩带都十分相似,基本上可以进行对比。

b 我国早前寒武纪变质岩中分布的金矿床在围岩条件、控矿构造特征及矿床类型上与国外绿岩带型金矿都非常相近。

c 在我国早前寒武纪变质岩分布区,特别是在区域性褶皱构造与大的剪切断层的交汇部,有望发现世界级的深延金矿床。在已知的产于大型剪切构造中石英脉型金矿的下部可望发现细脉浸染型(即构造蚀变岩型或叫糜棱岩型)金矿。

参 考 文 献

- (1) 秦鼎等, 1988, 中国金矿主要类型区域成矿条件。中华人民共和国地质矿产部, 地质专报(四), 矿床与矿产, 第11号, 地质出版社。

A PRELIMINARY DISCUSSION ON DEPTH OF GOLD DEPOSITS IN EARLY PRECAMBRIAN METAMORPHIC ROCKS OF CHINA

Bao Qingzhong

(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources)

Abstract

The comparison of gold deposits in between greenstone belt abroad and Early precambrian metamorphic rocks of China shows that the succession of strata, lithological characters of metamorphic rocks of Early Precambrian in China are comparable with those of greenstone belt abroad. The country rocks, ore controlling structures and occurrences of the gold deposits in the Early Precambrian metamorphic rocks are also similar to those in the greenstone belt abroad. It suggests the possibility of searching for deepseated gold deposits in areas of Early Precambrian metamorphic rocks and in old mines of China.