

# 21 世纪矿业应向后工业发展势态倾斜

## ——适者生存和可持续发展

裴荣富

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要:**“后工业”(post-industry)是知识经济或曰“新经济”的发展时代,这个时代的自然资源和一般劳动力资源,包括矿产资源在国民经济和社会发展中的基础地位逐渐为知识产权、市场网络、信息、创新环境等后天获得性资源,以及为创新人才的新“认知”(recognized intellect, RI)所代替。然而,据矿产资源分布及其成矿既具有一定的全球统一性又有区域的特殊性,以及不同国家(地区)对矿产资源勘查程度的不均衡性,特别是矿业活动与其他产业性质的不同,如何能按不同国家(地区)的具体发展状况,做好 21 世纪矿业向“后工业”发展势态的倾斜,达到适者生存和矿业可持续发展的目标是当代探讨的重大问题。在概括阐述了 21 世纪矿业发展势态、矿业活动特点及其自然属性的基础上,提出了矿业可持续发展的地质勘查和矿业活动决策支持系统的模拟,以及对当前紧缺铜矿资源可持续发展的新“认知”。

**关键词:** 后工业; 新经济; 新认知; 双控论和合理域; 衍生成矿作用; 构造成因。

**中图分类号:** F407.1      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2002)01-0072-09

**作者简介:** 裴荣富(1924—),男,研究员,中国工程院院士,1948 年毕业于清华大学地质系,主要从事区域成矿研究。E-mail: peirf@sohu.com

## 1 21 世纪矿业发展势态

21 世纪矿产资源和矿业活动可持续发展的势态应是既满足当代人的需要也不危害后代人的发展,并强调人们需求矿产资源权力的公平性,以及人类经济和社会发展与矿产资源承载能力的补偿性和全球矿业活动的共同性。这是因为矿产资源是不可再生的耗竭性资源,又是地球自然生态系统,甚至是宇宙世界的重要组成部分。21 世纪的矿业发展模式不应是再依赖过量消耗资源,损害生态环境发展经济。本文据宋瑞祥<sup>[1]</sup>中国矿产资源报告,概括其发展势态的主要目标为:(1)供给需求要保证平衡;(2)管理与保护措施要有效;(3)政策与法规要健全;(4)环保与经济发展要协调。采取的主要战略是:(1)开放型的资源供给;(2)节约型的资源消耗;(3)集约与科技推动型的资源开发;(4)协调型的区域矿产资源发展。依靠的主要措施是:(1)大力依靠科技创新,

提高智能和深化“认知”;(2)按各国家(地区)矿产资源的具体状况,周密地安排矿产资源调查评价、勘查和开发;(3)加强政策的宏观调控,建立矿产资源调查评价、勘查和开发的区块管理;(4)实行统筹规划和统一管理,强化开发过程中的监督和有效利用;(5)强调节约资源和生态环境保护;(6)加大矿业技术开发的科研投入,强调矿山开发环境的保护;(7)开展全球矿产资源成矿研究,有计划地开拓和利用国内外两种矿产资源、两个市场,有目的地进行国外资源勘查,实行资源互补;(8)发挥国家优势矿产出口,调整矿产品进口战略;(9)从产业优化改变消费方式,提高单位矿产资源产出效益,保障社会消费和生产体系长期稳定。

为了达到对上述 21 世纪矿业活动发展的主要目标、管理措施和战略,必须建立在矿产资源自身的特点和其自然属性的基础上。

## 2 矿产资源和矿业开发的特点

矿产资源是自然资源的一种,是人类赖以生存

的重要物质基础。但是,它是在地球演化过程中,通过一定成矿作用形成的,并在当代技术经济条件下能为人们开发利用的经济地质体。该地质体在自然资源分类中属物质资源,是劳动的对象,而且是通过合理的勘查、开发和加工过程,其自身被消耗而加入矿产品中的不可再生的耗竭资源。因而,矿业开发与其他产业有着不同的经济规律。其他产业在生产过程中可以通过对所消耗生产资料的补充而得以持续发展。但是,矿业企业即使补充了生产资料,它仍旧是从开发伊始即逐渐进入矿产资源的消亡,最终在原地仍是不能持续生产。因而矿山设计规模保持在一定年限内,依靠科学技术进步,运用新的“认知”在深部、外围和有关成矿远景区不断发现新的矿产资源,是解决矿产短缺、危机矿山新生和矿产资源可持续发展的重要举措<sup>[2]</sup>。

### 3 矿产资源的自然属性

上述的矿产资源和矿业开发的特点正是矿产资源自然属性所赋予的。众所周知,矿产资源作为长期地质历史演化过程中,形成可被利用的物质实体,是需要经过多学科的先进科学技术和创新的“认知”给予支撑而实现的。实现的过程受下列自然属性所制约:

(1)矿产资源形成的地质条件和成矿规律具有认识的不确切性。矿产资源作为在地球演化史中形成的客观地质体是较难于应用所能观察到的部分成矿信息而十分准确地给予历史再造。即使我们进行大量矿产勘查和成矿研究,仍然仅是对其进行的不同程度推断和评价的认识成果。这一认识成果是解决矿产资源赋存规律的重要依据,但具有很多不确切性。因而对矿产成矿规律和评价的要求,一方面要通过科学实践深化“认知”,另一方面只需达到一定地质的和经济技术条件研究保证程度的合理性即可满足矿山工业建设的要求。例如应用 $50\text{ m}\times 50\text{ m}$ 勘查工程探出的证实储量仍允许有5%的误差。

(2)矿产资源在地质体中具有赋存的隐蔽性。作为矿产资源的经济地质体很少100%的出露地表,对其勘查的实体大部是在地下,特别是对那些从未出露的盲矿体,更是全隐蔽性的。矿产资源的这种隐蔽性完全不同于土地和森林等其他自然资源。它是需要投入大量物化劳动,特别是创造性思维劳动才能予以发现和窥其全貌,而且能否作为劳动对象参

与矿业生产过程,还必须通过矿山建设可行性和生产勘探。

(3)矿产资源具有矿田、矿床、矿体及其结构—构造和组分组成的整体性。作为矿产资源的载体是由矿田、矿床、矿体及其结构—构造和多种组分组成的具体反映。它们所反映的矿田范围、矿床规模、矿体集散、组分共生和伴生状态、品位贫富等特点都要从其赋存的结构、构造整体性来评价。矿业开发必须与其整体性相适应,经济技术条件的合理性也应与其整体性相匹配。

(4)矿产资源分布具有不均匀性。矿产资源的分布取决于特定的地质构造控矿条件,不受国界、国家内部的行政区划所限定。因而,矿产资源的分布规律既具有全球的普遍性也有区域的特殊性。这种不均匀性的分布规律为矿业利用国内和国外“两种矿产资源、两个市场”的战略计划提供了客观依据,也是在国内开展矿产资源勘查和矿业开发、合理安排工业布局的客观必然。

(5)矿产资源具有一定成矿规律的最佳耦合性。矿产资源的分布虽然具有不均匀性,但其形成并不是随机的,是受一定地质因素控制的,特别是受成矿地质背景、控矿场地、成矿相和结构—构造矿床,即“景、场、相、床”4个等级体制成矿最佳耦合控制的<sup>[3]</sup>。最佳耦合不完全符合随机概率的统计,而且其出现机率是很小的。因而,必须通过大量地质观察和加强对促成等级体制最佳耦合成矿机制的深入研究,深化对其最佳耦合成因的“认知”是今后矿产勘查评价的重要研究方向。

(6)矿产资源开发利用具有地质的和经济技术条件评价的双重性。除上述对矿产资源认识的不确切性、地质体赋存的隐蔽性、载体的整体性、分布的不均匀性和等级体制最佳成矿耦合性等必须通过大量多学科科学技术和创新“认知”给以支撑外,由于矿产资源开发利用条件的复杂性决定着矿业活动投资大、周期长、风险高,以及在矿山建设开发过程中必须解决大量采掘、选冶、通风、地温、水文地质、地压、安全、环保等可行性的研究,所以矿业活动的可持续发展还必须兼具地质研究保证程度和技术经济条件可行的双重性<sup>[2,3]</sup>。

### 4 资源可持续发展的科学技术模拟

为了保证矿产资源和矿业的可持续发展,根据矿

业活动特点和自然属性提出下列矿产合理勘查的“双控论”、“合理域”和矿业活动决策支持系统的模拟。

### 4.1 矿产勘查的“双控论”与“合理域”模拟

该模拟的设想是建立在矿产资源兼具地质研究保证程度和技术经济条件可行的双重性基础上。其中地质研究采用 4 个等级体制成矿最佳耦合研究的保证程度来表达,技术经济条件研究的保证程度用各种开发技术条件的可行性来表达,如图 1 所示。按纵横比例的不同,在坐标图上按不同斜率勾画出一条矿产勘查的曲线(粗线),并按斜率的大小划分出 7 个勘查评价程序,8 个不同评价的矿床和 5 个不同评价的矿山,使矿产勘查评价程序不仅建立在成矿等级体制耦合研究不同保证程度基础上,也达到技术经济条件研究保证程度的要求。图 1 中标出的勘查开发不同阶段的界线带(阴影)和最优界线(实线)是反映合理勘查评价相对性和优选性的。因为若需矿产勘查评价达到最佳界限,必须投入极大,而且对一些复杂的难以确切探明的矿产资源也不需要做到最佳界限,只要达到当前经济技术条件允许,并能满足矿产地质研究保证程度就合理了。图中界线带的阴影范围即为“合理域”。

### 4.2 矿业活动决策支持系统的模拟

在上述矿产勘查原则和勘查模拟的基础上,建立矿产勘查决策支持系统是合理进行勘查管理的重

要举措。勘查工作决策支持系统应根据其工作的不同勘查阶段、不同矿床地质复杂程度、勘查技术的经济条件、工作目的的任务和勘查范围等决策其勘查成果、周期、投资大小和风险比例(图 2)。从图 2 中可以显示:普查阶段以成矿地质构造背景和成矿堆积环境和简要的经济技术条件试验研究为主,回答的勘查任务是何处找矿和哪里有矿,决策目的是圈出有利成矿远景区,采用的地质测量是大一中等范围的小一中比例尺,工作年限为数月或复查到数年,投入小,以不足总勘查费用的 10% 为限,风险可允许大到 100%;矿床评价勘查阶段则以进入成矿构造聚敛场和金属成矿相详细的和经济技术条件可行的初步研究为主,勘查任务是回答勘查对象是否具有工业意义,决策目的是提供现时工业意义的矿床或仅具有将来意义或具有边采边探或予以否定的矿床,工作范围小于几 km<sup>2</sup>,采用中一大比例尺地质测量,工作年限为年到数年,投入中等,最多投入达总勘查费用的 25%,风险小于 50%;矿床工业勘探阶段则以进行矿床结构—构造的详细研究,回答矿山如何开发或暂不进行矿山建设设计为将来提供技术储备的矿床,采用大比例尺地质测量和工作范围小于 1 km<sup>2</sup>,一般 1~2 a 完成。

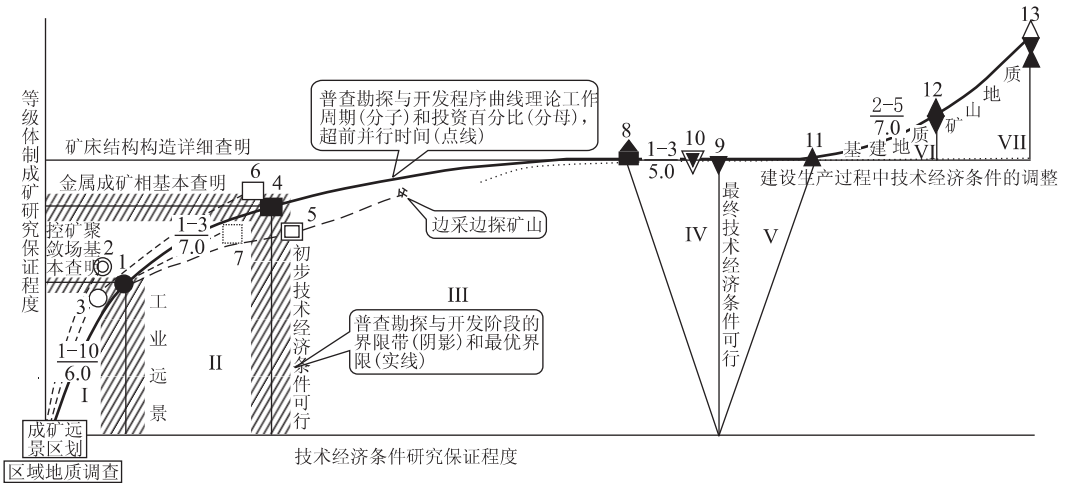


图 1 矿产勘查评价模拟设想

Fig. 1 Assessment modeling of mineral exploration

I. 矿产普查; II. 矿床勘探(初步); III. 矿床勘探(详细); IV. 矿山建设可行性研究; V. 矿山建设; VI. 矿山基础建设矿床地质研究; VII. 矿山生产矿床地质研究。1. 可进行勘探(初步)矿床; 2. 工业远景不明矿床; 3. 无地质和工业远景矿床; 4. 可进行勘探(详细)矿床; 5. 成矿复杂但具开采技术经济条件初步可行矿床; 6. 成矿基本查明但具未来开采技术经济条件可行矿床; 7. 成矿复杂不具开采技术经济条件可行矿床; 8. 可进行初步矿山建设设计矿床; 9. 按计划任务进行建设设计矿床; 10. 达到最终开采技术经济条件可行研究的技术储备矿山(暂不建设); 11. 投资单位基建矿山; 12. 已建成矿山; 13. 已投产和持续扩大远景矿山; (1-3)/5.0 表示工作周期(月或年)/投资百分比

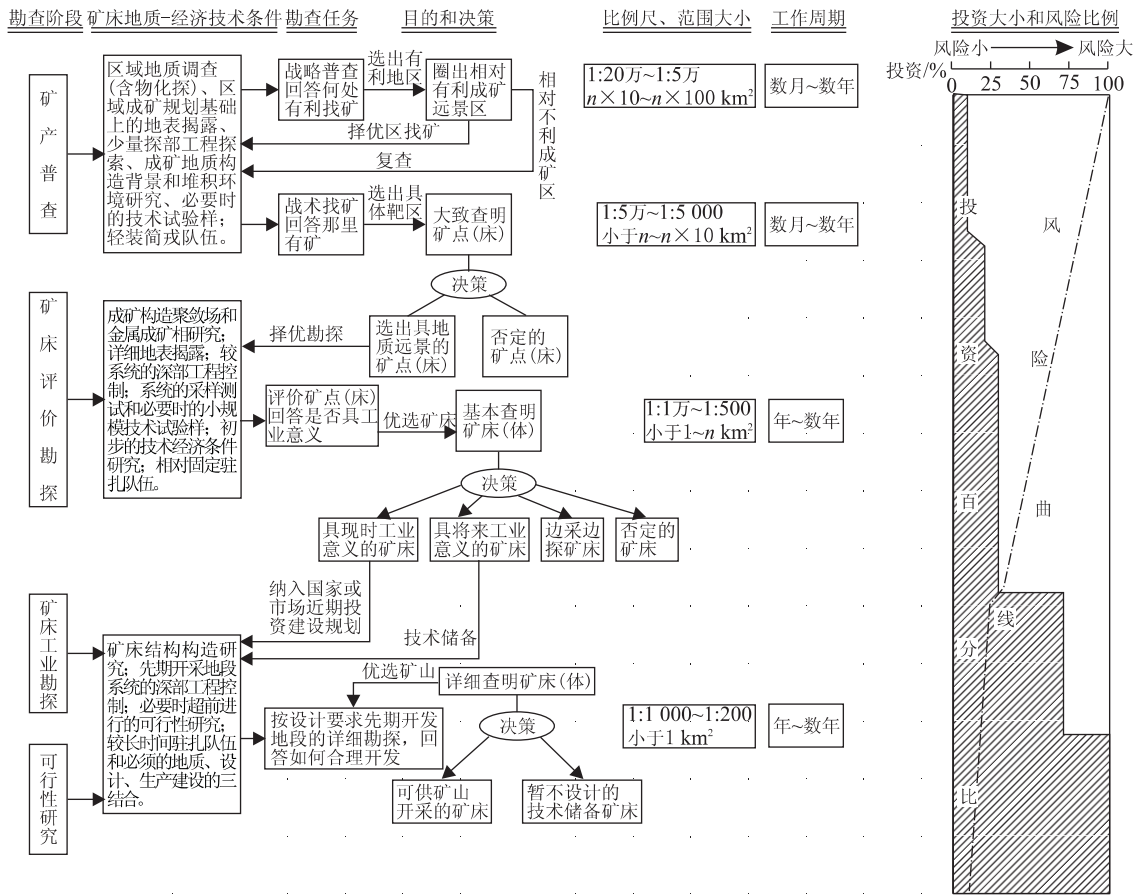


图 2 矿业活动决策支持系统模拟

Fig. 2 Decision-making support system modeling of mineral exploration and mining activity

### 5 铜矿资源可持续发展调查评价新“认知”

铜矿是人类认识最早和开发利用的矿产, 由于它被广泛而大宗地应用于工业建设和经济发展, 迄今全球对之进行大规模调查评价和勘查开发仍经久不衰。其中有些国家, 如中国的铜矿资源还是急待调查评价和勘查的紧缺矿产。铜矿的全球分布虽然比较广泛, 但大一超大型矿床的分布非常不均衡, 因为它在构造背景、成矿时代和矿床类型上均具有偏在性的特特<sup>[4]</sup>。据李朝阳等<sup>[5]</sup>、戴自希<sup>[6]</sup>统计五大洲 150 余国家 7 种类型铜矿储量大于 500 万 t 的仅有 51 个(表 1), 并以南、北美洲最多, 其中斑岩型铜矿占 28 个, 总储量为 36 586 万 t, 占 51 个超大型铜矿床总量(64 045 万 t)的 57. 1%; 沉积岩容矿(砂页岩)型铜矿占 15 个, 总储量为 17 828 万 t, 占 51 个超大型铜矿床总储量的 27. 8%。2 个类型铜矿即已占据铜矿已知的 7 个主要类型的 84. 9%。今后应以

调查评价斑岩型和沉积岩容矿型铜矿为主, 这是保证其可持续发展的重要方向。

斑岩型铜矿主要密集分布于环太平洋、古亚洲和阿尔卑斯—喜马拉雅 3 个成矿带。环太平洋成矿带除围绕其中心的达尔文海隆向周边划分为洋缘大金环、陆缘大铜环和陆内大钨、锡环外, 又按其叠复于前中—新生代的克拉通和造山带的地质背景不同, 可分为 I、II、III、IV 4 个不同成矿象限的亚带<sup>[4,7]</sup>(图 3)。斑岩铜矿则偏在产出于滨东北和东南太平洋科迪勒拉—安第斯陆缘新生代构造—岩浆岩链; 滨西南太平洋陆缘新生代岛弧带和滨西北太平洋陆缘中生代火山—侵入岩带; 产于特提斯—喜马拉雅成矿带则偏在于中—新生代陆缘和残余地块边缘构造—岩浆区; 产于古亚洲成矿带的斑岩型铜矿则偏在于后造山扭张性构造火山—侵入岩的岩株—岩钟部位; 沉积岩容矿型铜矿主要密集分布于非洲、澳洲、北美、南美、欧亚的前寒武纪古老地块成矿域, 并偏在产出于晚太古和早—中元古代的 Tanzania、Zimbabwe、Kaapvoal 克拉通、Pilbara、Yilgarn 克拉

表 1 世界铜金属储量大于 500 万 t 的铜矿床

Table 1 More than 5 million tons of metals for copper deposits in the world

序号	类型	矿床或矿区	储量/ 10 <sup>4</sup> t	品位/ %	产地	序号	类型	矿床或矿区	储量/ 10 <sup>4</sup> t	品位/ %	产地
1	斑岩型	丘基卡马塔	6 935	0.56	智利	27	斑岩型	萨尔切什梅黑	625	1.00	伊朗
2	斑岩型	埃尔特尼恩特	6 776	0.68	智利	28	斑岩型	麦丹佩克	510	0.80	南斯拉夫
3	斑岩型	拉埃斯康迪达	1 177	2.16	智利	29	沉积岩容矿型	恩昌加	1 550	4.11	赞比亚
4	斑岩型	埃尔阿布拉	807	0.59	智利	30	沉积岩容矿型	罗安安提洛普	896	2.80	赞比亚
5	斑岩型	第斯皮塔达	800	1.00	智利	31	沉积岩容矿型	恩卡纳	877	2.81	赞比亚
6	斑岩型	埃尔萨尔瓦多	860	1.13	智利	32	沉积岩容矿型	班克罗夫特	588	3.65	赞比亚
7	斑岩型	埃蒂纳	500	1.25	智利	33	沉积岩容矿型	木富里纳	980	3.47	赞比亚
8	斑岩型	宾厄姆	>2 121	0.90	美国	34	沉积岩容矿型	科尔韦济	3 500	3.47	原扎伊尔
9	斑岩型	比尤特	1 800	0.80	美国	35	沉积岩容矿型	普林斯利奥波德	540	4.50	原扎伊尔
10	斑岩型	莫伦锡	1 300	1.00	美国	36	沉积岩容矿型	怀特潘	780	1.20	美国
11	斑岩型	萨福德	800	0.40	美国	37	沉积岩容矿型	贝尔特铜矿	500~1 000	0.50~1.00	美国
12	斑岩型	圣马纽埃—卡拉马组	708	0.75	美国	38	沉积岩容矿型	乌多坎	1 050	1.50	俄罗斯
13	斑岩型	圣里塔	630	0.78	美国	39	沉积岩容矿型	芒特艾萨	550	3.00	澳大利亚
14	斑岩型	雷伊	630	0.79	美国	40	沉积岩容矿型	卢宾	1 500	1.00	波兰
15	斑岩型	特温比尤特斯	590	0.70	美国	41	沉积岩容矿型	曼斯费尔德	2 200	2.90	德国
16	斑岩型	迈阿密	530	0.90	美国	42	沉积岩容矿型	艾纳克	1 100	2.00	阿富汗
17	斑岩型	卡塞格伦特	500	1.00	美国	43	沉积岩容矿型	萨洛博 3A	966	0.85	巴西
18	斑岩型	塞罗佛尔迪	782	0.80	秘鲁	44	铜镍硫化物型	萨德贝里	1 000	0.80~1.90	加拿大
19	斑岩型	夸霍内	600	1.00	秘鲁	45	铜镍硫化物型	德卢斯	2 000	0.50	美国
20	斑岩型	玉龙	650		中国	46	铜镍硫化物型	诺里尔斯克—塔 尔纳森	>500	3.00	俄罗斯
21	斑岩型	德兴	~500		中国	47	黄铁矿型	温迪克拉基	507	1.52	加拿大
22	斑岩型	塞罗利罗拉多	1 800	1.50	巴拿马	48	黄铁矿型	里奥廷托	1 020	0.70	西班牙
23	斑岩型	潘塔诺斯	625	1.00	哥伦比亚	49	铜—铀型	奥林匹克坝	3 200	1.60	澳大利亚
24	斑岩型	卡拉内阿	1340	0.70	墨西哥	50	脉型	马兰杰坎德	655	0.83	印度
25	斑岩型	海兰伐利	900	0.45	加拿大	51	自然铜型	基韦诺	700~800	1.00~1.50	美国
26	斑岩型	科恩腊德	>790	0.60	俄罗斯	合计			64 045		

据戴自希<sup>[6]</sup>,李朝阳等<sup>[5]</sup>资料。

通、Carajas、Quadrilatreo、Guyana 地盾、Superior、Dakota、Manitoba—Saskatchewan 克拉通、Dharwar 克拉通、Siberia 克拉通、中朝—扬子地台、Ukrainian 地盾、Karelian 克拉通,以及其古生代盖层沉积盆地等成矿堆积环境中(表 1,图 3)。

20 世纪 60 年代以来,对在上述两类型矿床偏在产出的地质构造背景和成矿堆积环境上,应用地、物、化、遥多学科进行了大量统计预测,虽然在战略找矿上有所启示,但达到找矿效益的成功率很低,据国外有关勘查单位统计,其成功率只有 0.1%~0.7%<sup>[8]</sup>。这是因为地质成矿是受多种成矿因素支配的,它不完全符合概率统计的随机性。21 世纪开始,欧美等矿产资源大国已不再大量投入统计预测,而代以深化认识成矿作用的新“认知”(RI)并着重对其关键科学问题进行示范研究的突破,以提高找矿成功率。这是 21 世纪促进矿产资源可持续发展的重要科学技术支撑。本文仅对两大支柱的沉积岩型和

斑岩型铜矿可持续发展的某些新“认知”列述如下。

### 5.1 衍生成矿作用(过程)与沉积岩容矿型铜矿的可持续发展

衍生成矿(作用)(derivative processes)系指一种类型的矿床受另一种成矿热事件作用而派生出另一类型矿床,并与前者形成互为衍生的组合关系。它们可以形影相随,但两者之中一个类型不发育,另一类型才能形成特大型矿床<sup>[2~4]</sup>。

世界级特大型奥林匹克坝 Fe—Cu—Au(U—Ag—Co—La—Ce)矿床,铜储量可达 3 200 万 t,金 1 200 t, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 120 万 t,还可综合回收大量稀土、铁、银和钴,是多种组合的特殊矿床。它的发现和开发将解决铜、金、铀资源供求的 30%~70%,其经济意义极大,但自 1975 年发现以来,迄今对其成因仍无定论。近年来发现其在澳大利亚的 Ernest Henry,智利的 Candelaria、Salobo、Alemao、Sossego、Cristalino 和在巴西卡拉加斯地区产出的一些类似奥林匹克坝式

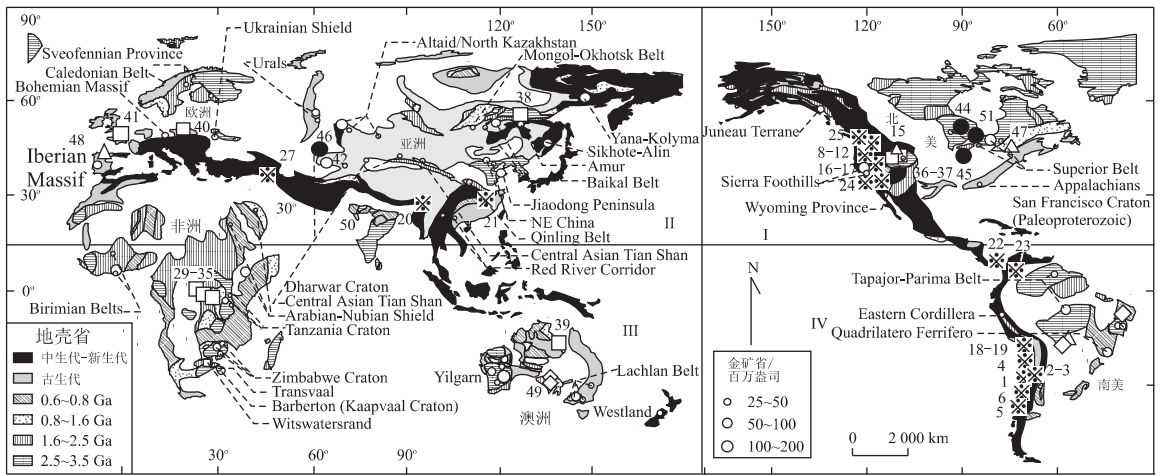


图 3 全球超大型铜矿和金矿分布图(据 Goldfarb 等<sup>[7]</sup>资料修编)

Fig. 3 Distribution of global super large copper and gold deposits

※. 斑岩型铜矿床; □. 沉积岩容矿型铜矿; △. 火山红层型铜矿; ●. 硫化 Cu-Ni 矿; ◇. 奥林匹克坝型 Fe-Cu-Au(U-Ag-Co-La-Ce) 矿; 1—51. 不同类型铜矿(见表 1). I. 环东北太平洋 Cu-Mo-Ag-Au 亚带; II. 环西北太平洋 W-Sn-Mo Cu-Au 亚带; III. 环西南太平洋 Au-Cu-U-Ag-Sn-W 亚带; IV. 环东南太平洋 CuAu-Sn 亚带

表 2 奥林匹克坝铜金矿和沉积岩容矿型铁铜钴矿衍生成矿变质相及演化

Table 2 Derivative heteromorph phase deposit and its evolution of Olympic Dam Cu-Au-U-La-Ce deposit and sedimentary-hosted Fe-Cu-Co-Ag-Zn deposit

地区实例	加拿大西北部	南澳大利亚	非洲铜矿带
C	Snake R. 铁矿	Bralman 铁矿	少见
B2	Lgor Cu-U 矿, Pagisleele 铁矿	Beltana 钴矿, Orapararian 钼矿	Kipushi Shikolobwe 铀矿
B1	Harl R. Cu-Zn 矿	Blimman 铜矿	Kambove 铜-钴矿
A	尚未发现	Copper Claim Whead Austen	Zamtian 铜-钴矿
BBT	尚未发现	Olympic Dam 铜-铀-金-银矿	尚未发现
矿源地体	大熊岩浆带(McTavish 超群)	Gawker 克拉通 (包括 Gawlen 山脉及火山侵入岩)	BangwenIn 地铁 (属后 Ubendian 和前 Mbala 层)

矿床均显示其金属组分与沉积岩容矿型铜矿(SSC)、火山红层型铜矿(VRC)矿床类似。Kirkham<sup>[9]</sup>和裴荣富等<sup>[4]</sup>通过大量研究提出奥林匹克坝矿床的形成可能首先是由深成岩侵吞了 SSC 和 VRC 之后, 爆发岩浆蒸气作用(phreatomagmatism), 并形成巨大的, 至少有三期花岗岩同角砾岩基(syn-breccia batholith)的同时, 释放出大量岩浆热流体, 形成既有岩浆源也容纳了沉积岩容矿源的多种金属而超巨量堆积的。据此, 裴荣富等<sup>[4]</sup>提出 SSC 和 VRC 型矿床可能是寻找奥林匹克坝矿床的标志, 或称它们是互为衍生的矿床组合。实际上, 在奥林匹克坝地区调查评价的最初目标也是寻找 SSC 型矿床, 但勘查结果却在该区厚达 300 m 盖层的深部发现了隐伏的奥林匹克坝, 从而鉴证了这两类矿床之间互为衍生的关系。

另外, 裴荣富等<sup>[4, 10]</sup>从扩大特大型矿床找矿方

向出发进一步提出奥林匹克坝与 SSC 矿床可能存在衍生变质相(heteromorph phase)的成因关系, 主要认为 SSC 型矿床的形成可能是通过岩浆作用衍生和侵蚀-沉积/成岩-化学/机械再造/热水喷流/表生等多种衍生作用而与奥林匹克坝矿床形成互为找矿标志的矿床组合(图 4)。衍生的矿床可分为 BBT, A, B1, B2 和 C 五个相, 并预测在加拿大西北部的大熊岩浆带, 南澳大利亚的浩肯克拉通和非洲铜矿带的邦卫因地铁带均可能具有这两类矿床的衍生相(表 2)。

上述衍生成矿作用新的“认知”, 为扩大发现世界级特大型矿产资源和铜矿的可持续发展开拓了新思路。

### 5.2 构造成因(作用)与可持续发展

构造成因(作用)(tectogenesis)系指构造的构造(tectonic structure), 即区域大构造是成矿构造的

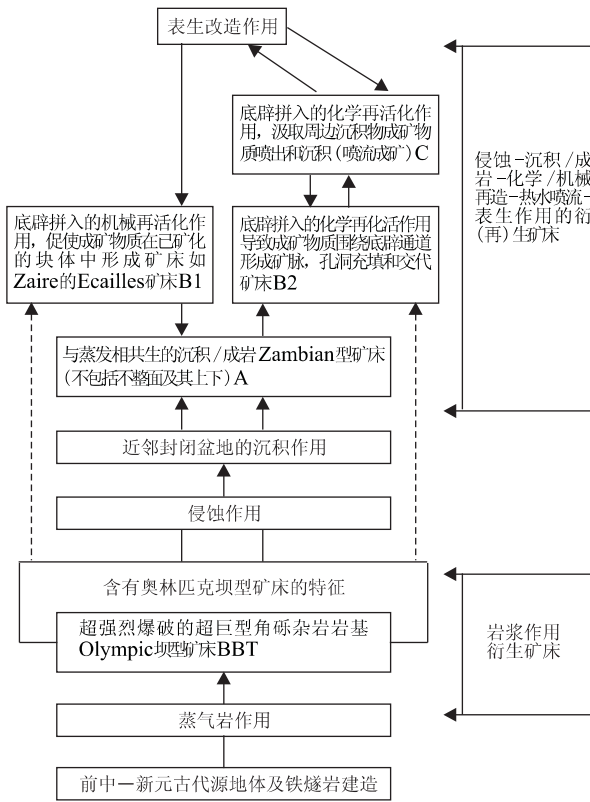


图 4 衍(再)生矿床变异相及成矿演化

Fig. 4 Heteromorphic phase of derivative deposits and its evolution

场地准备 (ground preparation), 但两者必须在特定构造事件下达到控构聚敛的最佳耦合才能形成特大型矿床<sup>[2,11]</sup>.

作为铜矿资源可持续发展最大支柱的斑岩型铜矿, 偏在产于智利北部—秘鲁南部中第三纪长达近 1 500 km 的南北向深大断裂系统中 (图 5)。这一系统是在区域的法拉永南美板块呈北东斜向俯冲汇聚构造作用下, 首先形成作为成矿构造场地准备的区域大断裂, 随之又耦合了复式一共轭控矿构造, 进一步又发展为地堑式的构造汇聚, 然后形成由北向南的科帕基雷、楚基卡马塔、拉埃斯康迪特和埃尔特尼恩特 4 个成矿涡穴 (pothole), 随之在 4 个有利的类似环状地堑式的涡穴部位快速堆积了铜量超过 2 亿 t 的最大矿汇 (ore cluster) 区, 堆积成矿时限, 都集中在 41~32 Ma, 其中楚基卡马塔矿汇区仅为 37~32 Ma, 即在 5 Ma 的短时限内超巨量堆积了近 1 亿 t 铜矿 (图 5)。这种成矿短时限堆积巨大储量应是典型异常成矿作用的实例<sup>[3]</sup>。在上述大构造场地准备的基础上, 最佳耦合了复式一共轭构造控矿和涡穴构造成矿的构造成因机率是不多见的, 只有在异

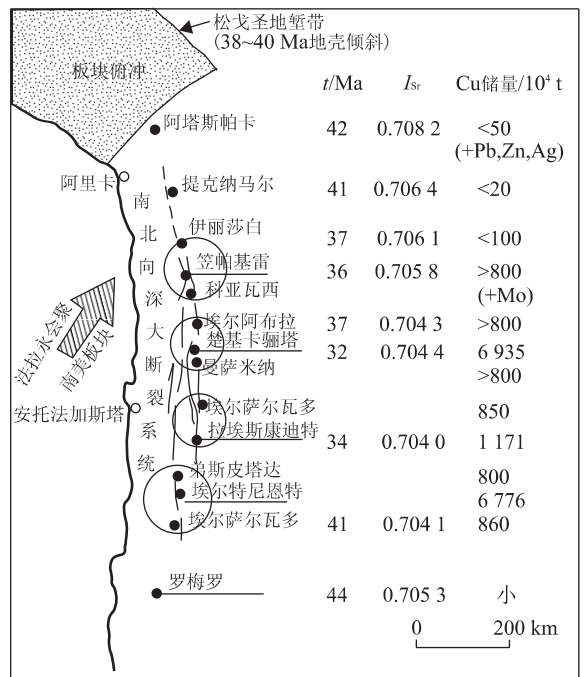


图 5 智利北—秘鲁南部第三纪斑岩型铜矿带的构造成因 (圆圈范围示矿汇区)

Fig. 5 Tectogenesis of the Tertiary porphyry copper belt in north Chile-south Peru circular area showing ore cluster

常成矿作用下才能得以实现。对异常成矿作用发生机制和成因研究的突破将是探寻特大型斑岩型铜矿, 促进矿产资源可持续发展的重要方向。

## 6 结语

新世纪即将进入新的知识经济时代, 矿产资源的可持续发展除了应适应新经济时代的资源供需全球化、加强政策宏观调控、强化环境生态保护等措施外, 更应强调创新人才和智能化, 依靠科学技术的创新, 深化认识矿产资源调查评价、矿产勘查和开发的新“认知”, 以探寻、勘查和开发具有适应 21 世纪矿业需求的特大型矿床为主要目标, 同时应深入实际做大量详细的地质观察研究, 对成矿新“认知”的重要科学问题作示范研究的突破, 采纳合理的矿产勘查和矿业活动支持系统将是今后可持续发展的重要方向。

## 参考文献:

[1] 宋瑞祥. 中国矿产资源报告 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 43—52.

- Song R X. Mineral resources report of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 43—52.
- [2] 裴荣富,熊群尧. 金属成矿省等级体制成矿与矿产勘查评价:当代矿产资源勘查评价的理论与方法[M]. 北京:地质出版社,1999. 134—141.
- Pei R F, Xiong Q Y. Hierarchical systematic metallogeny and assessment of mineral exploration in metallogenic province: theory and method for assessment of mineral exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 134—141.
- [3] 裴荣富,熊群尧,沈保丰. 难识别及隐伏大矿、富矿资源潜力的地质评价[M]. 北京:地质出版社,2001. 72—75.
- Pei R F, Xiong Q Y, Shen B F. Geological assessment of mineral resources potential for hard-identified concealed large rich ore deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 72—75.
- [4] 裴荣富,吴良士,熊群尧,等. 中国特大型矿床成矿偏在性与异常成矿构造聚敛场[M]. 北京:地质出版社,1998. 262—284, 312—364.
- Pei R F, Wu L S, Xiong Q Y, et al. Preferentially of exceptional ore deposits and its metallogenic convergence [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 262—284, 312—364.
- [5] 李朝阳,徐贵忠,胡瑞忠,等. 中国铜矿主要类型特征及其成矿远景[M]. 北京:地质出版社,2000. 1—10.
- Li C Y, Xiu G Z, Hu R Z. Characteristics of major types of copper deposits and its metallogenic potential of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000. 1—10.
- [6] 戴自希. 国外铜矿地质概况[M]. 北京:地矿部地质矿产司,1983. 36—87.
- Dai Z X. General geological situation of copper ore in foreign countries [M]. Beijing: Geological Mineral Department of the Ministry of Geology and Mineral Resources, 1983. 36—87.
- [7] Goldfarb R J, Groves D I. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis [J]. Ore Geology Reviews, 2001. 18: 1—13.
- [8] 赵鹏大. 矿产勘查理论与方法[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2000. 5—7, 24—25.
- Zhao P D. Mineral exploration theory and method [M]. Wuhan: China Geological University of Geoscience Press, 2000. 5—7, 24—25.
- [9] Kirkham R V. Sediment hosted stratiform copper (SSC) other stratabound base metal deposits and the importance of basinal brines and/or evaporites, halotectonics and halokinesis [A]. Proceedings of the joint sixth SGA-SEG [C]. Lisse: Swets & Zeitlinger Publishers, 2001. 15—18.
- [10] 裴荣富,吴良士,熊群尧,等. 找寻特大型隐伏矿床的衍生矿床导向和成矿轨迹追踪研究[J]. 矿床地质,1994, 13(4): 380—382.
- Pei R F, Wu L S, Xiong Q Y, et al. Derivative deposits as a guide and metallogenic path for prospecting concealed ore deposits [J]. Mineral Deposits, 1994, 13 (4): 380—382.
- [11] Bogacz W V. Metalliferous deposits; tectogenesis and mineralization at the beginning of the 21st century [A]. Proceedings of the joint sixth SGA-SEG [C]. Lisse: Swets & Zeitlinger Publishers, 2001. 7—13.

## Incline of the 21st Century's Mining Industry to Developing State of Post-Industry: Survival of the Fittest and Sustainable Development

Pei Rongfu

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Post-industry is a developing epoch regarded as "intellectual economy" or "new economy". In these years, natural resources, common (general) labour resources and mineral resources' basic status in national economy and social development has gradually been replaced by acquired resources, such as: information property right, marketing network, information and innovative environment and new "recognized intellect" for persons with innovative ability. However, the distribution and metallogeny of mineral resources possess certain global uniformity and regional exceptionality as well as inhomogeneity of exploring extent of different countries to mineral resources, especially to the difference of



mining activities and other industry, so if we can, in term of different developing conditions of different countries, manage the 21st century's mining industry to incline to developing states of "post-industry", trying to make it realize the survival of the fittest and sustainable development — obviously, it is also an important project expecting to be discussed. In this paper, on the basis of the general discussion for developing state of the 21st century's mining industry, the characteristics of mining activities and its natural property, the author proposes a modeling of geological exploration for sustainable development of mining industry and decision-making system for mining activity, as well as the new "recognized intellect" for sustainable development of very shortage copper deposits.

**Key words:** post-industry; new economy; new recognized intellect; double control theory and reasonable zone; derivative processes; tectogenesis.

\* \* \* \* \*

## 喜马拉雅造山带中段核部杂岩中基性麻粒岩的发现及构造意义

李德威, 廖群安, 袁晏明, 易顺华

(中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

举世瞩目的喜马拉雅造山带隆升幅度大、剥蚀作用强、构造活动新, 至今为止, 只是在该造山带东西 2 个构造结(帕米尔地区和南巴迦瓦地区)中发现了下地壳深变质岩。近期笔者在 1:25 万定结幅区域地质调查中首次发现喜马拉雅构造带中段曲当—康几一带的前寒武系聂拉木岩群中具有强烈塑性变形和多期退变质的基性麻粒岩, 这对于研究喜马拉雅造山带的地壳物质组成、下地壳流变状态、陆内造山过程和构造隆升机制等均具有十分重要的意义。

位于喜马拉雅造山带核部的聂拉木岩群基底变质杂岩主要由黑云石英片岩、石英片岩、黑云母片岩、石英岩、大理岩、片麻岩、混合岩、混合片麻岩、石榴角闪岩组成。在其下部还有灰色片麻岩和原地一半原地片麻状—眼球状花岗岩。此外, 常见喜马拉雅期 S 型花岗岩的侵位。变质杂岩及其侵入其中的淡色花岗岩与上覆沉积盖层之间呈大规模的拆离断层接触, 构成喜马拉雅变质核杂岩, 形成地壳尺度的伸展构造体系。

基性麻粒岩大多数呈透镜体、团块状、似层状产于片麻岩和石英岩中, 与围岩呈构造接触关系, 由糜棱面理和构造片理构成局部化强应变带。在区域上为大型的低角度韧性剪切带, 韧性剪切带大多为正

断式, 显示伸展构造特征, 有些麻粒岩也卷入韧性剪切, 形成剪切透镜体, 局部出现片理化现象和流变褶皱。在片麻状花岗岩和片麻状英云闪长岩中也含有基性麻粒岩包体, 出现退变质反应结构, 但麻粒岩相的残留矿物(如紫苏辉石)发育。

基性麻粒岩具斑状变晶结构, 石榴石颗粒较粗, 粒径一般为 4~6 mm。麻粒岩中后成合晶结构和冠状反应边结构十分发育, 可识别三期变质矿物组合: 早期的石榴石和相对富铝的单斜辉石具高压变质特征, 很可能为 B 型榴辉岩的残余, 初步认为它形成于喜马拉雅造山带根部深层高压变质环境。一个普遍发育而且十分重要的现象是石榴石核部几乎完全被后成合晶(Pl+Opx+Cpx)所取代, 白色的冠状反应边主要由斜长石组成, 还有少量的角闪石和普通辉石; 中期的麻粒岩相组合为 Opx+Cpx+Pl±Sp, 其中 Opx 和 Pl 为石榴石的后成合晶, 构成冠状体假象, 在早期单斜辉石边缘形成新的单斜辉石反应边, 其中单斜辉石均为富钙的透辉石, 斜方辉石成分变化大, 主要为紫苏辉石, 其次为顽火辉石, 矿物成分显示低压麻粒岩相特征; 晚期矿物仅见普通角闪石, 具绿色多色性, 常在先成的单斜辉石边缘形成反应边, 是角闪岩相退变质的产物。这种多期退变质现