维普资讯 http://www.cqvip.com

第80卷 第10期
2006年10月
地 质 学 报 ACTA GEOLOGICA SINICA
Vol. 80 No. 10
Oct. 2006

矿产预测理论

——区域成矿学向矿产勘查延伸的理论体系

朱裕生

中国地质科学院成矿远景区划室，北京，100037

内容提要：矿产预测理论研究始于20世纪50年代，在近60年的预测实践中，始终是研究的热门课题。我国学者在全国第一、二轮区划实践和相关研究成果基础上，完善了矿产预测理论的基本内容，形成矿产预测的理论体系，推动了区域成矿学向矿产勘查延伸新领域的探索。矿产预测理论概括为：矿床成矿作用"异相定位"预测理论；矿床成矿系列"缺位"预测理论；多元信息"类比-求同"预测理论和地质体"对等求异"预测理论。认为成矿作用的"异相定位和矿床成矿系列"缺位预测理论是矿产预测的地质理论依据，又是对成矿学理论的补充；多元信息"类比-求同"理论是传统的预测理论，本文赋以新的内含；地质体"对等求异"理论补充了"类比-求同"理论的不足，是前3项理论内容无可比拟的。矿产预测理论已受矿产勘查实践的检验，证明是有效的，在当前已成为提高矿产预测成果准确性和勘查效益的科学依据。

关键词：区划；区域成矿；矿产预测；矿产预测理论

矿产预测理论在20世纪50年代，提出了："矿产资源量同地质条件之间的定量关系数学模型"(M Allais，1957；J E Griffiths，1962；D P Harris，1965[1])的认识。显然该认识是在预测方法的应用过程中涉及到预测方法与矿床成矿作用相结合的重大成矿学理论问题，引起了矿产预测人员的极大关注，在我国众多的科研、院校、勘查单位在矿产资源评价的实践中进行了一系列探索。区域成矿学有重大进展，我国提出了"矿床成矿系列理论"(程裕淇等，1979，1983)，视为矿产预测的理论基础(胡惠民[2])。经全国第一轮区划工作的实践(温家宝，1985)，对矿产资源评价的基本理论归纳为：①地壳矿产资源富集度，地壳元素丰度为依据；②相似-类比，应用矿床模型实现；③矿产资源评价模型理论，以矿床成矿系列理论为基础；①地质变量的综合与分解的理论，通过数据处理实施；⑤矿床成矿地质条件与资源量关系的地质解释理论，应用地质人员的知识经验作出决策(朱裕生，1984)。

20世纪90年代初，在全国研究实践的基础上，初步概括为3点：①相似-类比理论；②求异理论；③定量组合控矿理论(赵鹏大，1992)[2]。1992～1999年间，在全国第二轮区划、科研攻关和跨世纪工程勘查实践基础上(陈毓川等，1989)，创造性地提出以地质为基础，成矿学新理论为指导的矿产预测3项理论的新认识，即：①相似-类比理论；②求异理论；③控矿因素求同理论(朱裕生，1999)[3]；1999年后，随着国土资源大调查的进展，开展了全国性的新一轮矿产预测工作(K1.4-2-1)[4]，在全面取得勘查效益的基础上，探索了区域成矿学理论与矿产预测方法的有机结合，在全国性的预测实践中，完善了矿产预测理论，基本点是：①矿床成矿作用的"异相定位"理论；②矿床成矿系列的"缺位"预测理论；③多元信息的"类比-求同"理论；①地质体的"对等求异"理论[4](朱裕生，2002，2004)。该理论推动了区域成矿学的深化研究和提升了矿产预测成果的准确性及实用价值，为我国矿产预测的地质理论研究和矿产勘查实践开拓了新的里程碑。

1 矿床成矿作用的"异相"定位理论

现代成矿学研究认为矿床是在地质作用演化过程的特定环境和特定时段(地质年代)内形成的，赋存矿床的四维空间显示矿床的各类特征。就预测和找矿而论，地质观察资料的研究和综合，有可能或应该推断赋存未知矿床(以下用"潜在矿床"表示)空间

注：本文为国家自然科学基金项目(编号 400030002)资助成果。
收稿日期：2005-08-17；改回日期：2006-02-15；责任编辑：郝梓国。
作者简介：朱裕生，男。主要研究方向矿床学。通讯地址：100037，北京市西城区百万庄大街26号中国地质科学院矿床资源研究所；电话：010-68999535。

维普资讯 http://www.cqvip.com

的位置和矿床特征,这类"四维空间"统称为矿床成矿作用的"异相定位空间"。地质观察研究"四维空间"的特征属矿床定位的地质条件;赋存有不同类型潜在矿床的四维空间性质是按已知矿床和成矿规律研究及横向综合对比推断的。矿床成矿作用的异相定位条件和性质不同的四维空间,众多学者和勘查工作者研究过,认为是"研究矿床的形成过程及其机理、探讨区域成矿规律,指导矿产预测"的成矿学理论基础(程裕淇等,1979,1983);"矿床赋存的地质背景和成矿地质作用演化组成了四维空间,是评价未发现矿产地远景的地质学依据"(朱裕生,1984)。至上世纪末,随着区域成矿地质理论的发展,成矿作用的"异相"定位理论(以下简称"定位理论")逐步完善,提出"形成矿床成矿的四维空间的地质特征完整的体系,有其成矿的地质环境和控矿条件","对相似地质条件和地区(或四维空间)寻找同类矿床有参考意义"(陈毓川,1999)。"地质体的不连续介面或不同地质体的分界面,像断层,节理、不整合面、侵入接触面、不同岩层交接面等,往往指示了矿化可能存在的部位和规模(赵鹏大,1992)[2],"成矿界面是成矿流体停积而发生矿质沉淀、富集成矿之所在,……"。成矿界面包括地质构造介面、岩石物理界面、元素聚散物理化学界面[3](吴淦国等,1999)。由以上的论述可知,"界面"是成矿的有利部位,在一个区域内(矿带或矿田)只要存在区域成矿作用,地质"界面"具有特定的成矿功能,始终是找矿和预测人员关注的"四维空间"。"矿床成矿作用定位的地质位置可以用"界面成矿"概括[3](朱裕生,2004)。矿床类型不同,成矿作用的差异甚大,识别矿床定位的地质界面和相应的四维空间归纳的定位标志各不相同,预测人员一旦掌握了这类"四维空间",矿产预测成果的准确性和发现矿床的机率将全面提升。由此可知,"异相定位"是矿产预测和矿产勘查的成矿学理论依据。

1.1　矿床 4 维空间空位型式

在具有成矿功能的成矿地质界面范围内成矿作用的演化,成矿元素富集的物理化学条件、时间和矿床成因上密切联系的矿石矿物集散、矿体储存的 4 维空间首先按 3 维空间标定、结合成矿年代学的研究,组成了成矿作用 4 维空间的特定位置,展示该空间范围内地质体的性质。有关"界面"的形态特征、定位空间的型式在总结全国成矿地质环境的基础上,提出矿床主要定位型式是:

(1)超基性和基性岩浆族成矿作用 4 维空间定位型式。

(2)花岗岩浆族的成矿作用 4 维空间定位型式。

(3)中、酸性岩浆侵入接触交代成矿作用的 4 维空间定位型式。

(4)碱性岩浆族成矿作用的 4 维空间定位型式。

(5)火山—次火山侵入—喷发—沉积成矿作用的 4 维空间定位型式。

(6)热液成矿作用 4 维空间定位型式。

(7)氧化—还原界面成矿作用 4 维空间定位型式。

(8)地壳浅表中低温流体界面成矿作用定位形式。

(9)构造动力改造成矿作用 4 维空间定位型式。

(10)沉积成矿作用 4 维空间定位型式。

(11)变质成矿作用 4 维空间定位型式。

(12)地下水成矿作用 4 维空间定位型式。

(13)地表水成矿作用 4 维空间定位型式。

以上仅列出 13 种 4 维空间定位型式,在矿床成矿作用研究整个范围内,虽然空间定位型式多种多样,以上 13 种型式是常见的,在矿产预测中经常出现和使用。矿产预测人员的基本任务是将矿床成矿作用 4 维空间定位型式转化为矿产预测的地质依据,建立 4 维空间的定位机理(条件)与矿床规模(矿床类型、大小、资源量)之间的定量关系模型,提高预测成果的在矿产勘查工作中的实用性,指导矿产普查工作的开展。

矿床成矿作用定位型式几乎囊括了矿床学领域内各类矿床的控矿条件和找矿标志,至少目前是区域成矿学需要探索的前沿内容。

1.2　矿床成矿作用 4 维空间定位标志

成矿地质条件、控矿因素、含矿岩石建造、组成成矿物质场(广义的地球化学场)的地质 4 维空间;赋存在 4 维空间范围内的矿种和所属的矿床成因类型、成矿作用发生的地质年代等等都是矿床成矿作用的定位标志。成矿地质"界面能否成矿"、成矿功能的强弱,取决于定位标志的优劣和成矿物质来源的丰富程度。当代区域成矿学总结了一套成矿地质构造环境的分类、识别标志及其与矿床类型、成矿作用之间关系的专属性(即成矿地质"界面"具备的功能),结合相应矿床的多元信息标志,可以识别矿床赋存的 4 维空间位置,用"矿床定位标志"一语概括。简言之,矿床成矿作用定位标志综合了矿床形成的机理和多元信息标志,通过"求异""求同"的技术操作(下述详叙),将其转化为矿产预测的地质理论依

维普资讯 http://www.cqvip.com

(a)

堆积旋回	岩相带	矿带	综合柱状	厚度(m)	岩性简述	硅酸盐矿物(体积%)	铁钛氧化物(体积%)	矿物含量比值 Ol×100/Ol+Aug	矿物含量比值 Mt×100/Mt+Im	矿物成分 斜长石(An)	矿物成分 橄榄石(Fo)
III	上部浅色层状辉长岩			500～1500	浅色层状辉长岩，偶夹矿条			5	48	57	
								8	78		
		1.2		10～20	层状辉长岩，含磷灰石5%，局部含橄辉岩型浸染状矿层			30	71	57	63
II	下部暗色层状辉长岩	3		166～600	顶部有3米斜长岩。主要为暗色辉长岩及薄矿层					40 49 55 56	63 72 76 76
		4		30～240	上部为层状橄榄辉长岩夹浸染状矿层；下部为浸染状矿层及橄榄辉长岩		Ol			59 59	77 78
		5		5～110	上部条带状铁矿层夹辉长岩，下部致密及浸染状矿层与辉长岩互层		Im	1 10			
		6		6～60				18	52		
I	底部含矿层	7		0～50	致密块状及稀疏浸染状矿层			3 5	51 83		
		8		0～60	中粗粒辉长岩夹条带状浸染状矿层 顶部为斜长岩。致密块状矿石夹少量浸染状矿石，底部夹厚数米的橄榄岩		Aug Mt	22 3 49	69 94 97	67 68	78
	底部边缘相	9		0～40	细粒辉长岩夹橄榄辉长岩底部为角闪片岩		Amp Im	43		59 68	80 82
上震旦统 观音崖组	底板				大理岩						

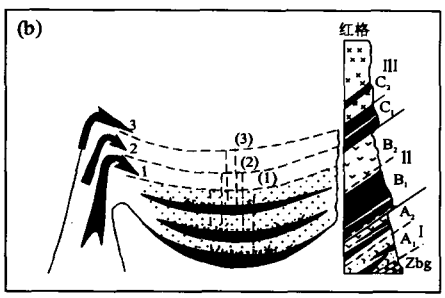

图 1 铁镁质岩浆连续补给重力分异成矿空间定位图(据张云汀等,1988)

Fig. 1 Space orientation of femic magma through gravity differentiation(after Zhang Yunting et al., 1988)

(a)—攀枝花钒钛磁铁矿床堆积韵律层柱状图;Ol—橄榄辉长岩; Aug—斜长岩; Im—浸染状钒钛磁铁矿矿石; Mt—致密块状结构钒钛磁铁矿矿石;(b)—钒钛磁铁矿床岩浆连续地补给成矿的堆积韵律层成因模式图;1、2、3—岩浆补给次数;(1)、(2)、(3)—岩浆房扩容变动情况;虚线箭头所指为当次岩浆补给铁矿堆积于韵律层下部;A_1、A_2—橄榄岩含矿带;B_1、B_2—辉石岩含矿带;C_1、C_2—辉长岩含矿带;Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ—堆积旋回;

(a)—Deposit cyclothem histogram of Panzhihua vanadium-titanomagnetite deposit ; Ol—olive gabbro; Aug—plaginclase; Im—disseminated vanadium-titanomagnetite ore; Mt—densify massive vanadium-titanomagnetite ore; (b)—genetic model of magma supply continuously to metallogenetic deposit cyclothem; 1, 2, 3—times of magma supply; (1), (2), (3)—Magmatic chamber dilation; dashed arrow point the iron ore supplied from magma deposit on the bottom of cyclothem; A_1、A_2—ore-bearing peridotite belt; B_1、B_2—ore-bearing pyroxenite belt; C_1、C_2—ore-bearing gabbro belt; Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ—deposit cycle

据,对现在还没有发现、将来应该发现的潜在矿床做出预测,进行潜力估算。预测实践中已有众多的实例证明,它是符合地质实际的区域成矿学内容的组成部分。以下例举若干实例对矿床的定位形式做概要描述[6]。

1.2.1 基性和超基性岩浆族成矿作用空间定位标志

基性和超基性岩浆族,主要指镁铁质—超镁铁质岩浆岩类。由于所含 Fe、Mg 成分的差异,成矿专属性不同,超镁铁质岩浆具有 Cr、Ni、Co、Pt、Au、金刚石矿床的成矿专属性;镁铁质岩浆具有形成Fe、

维普资讯 http://www.cqvip.com

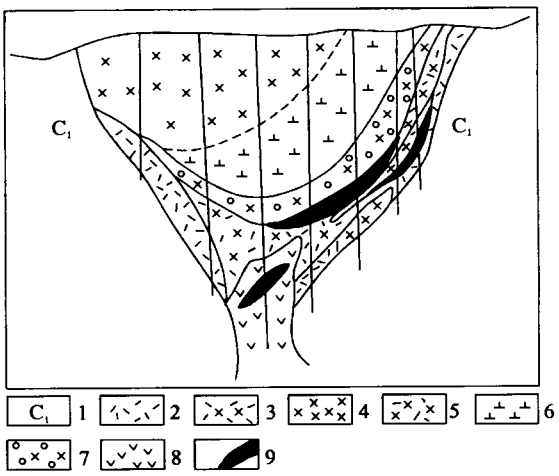

图 2　黄山东铜镍硫化物矿床地质剖面图
(据刘德权等,2003)

Fig. 2　Geological section of Huangshandong copper-nickel sulphide deposit

1—下石炭统干墩组粉砂岩;2—闪长岩;3—钛铁辉长闪长岩;4—辉石辉长岩;5—橄榄辉长岩;6—橄榄辉长苏长岩;7—辉长苏长岩;8—橄榄岩;9—铜镍矿体

1—Siltstone of Gandun group, lower Carboniferous; 2—diorite; 3—titanium-iron gabbrodiorite; 4—pyroxene-gabbro; 5—olive-gabbro; 6—olive gabbronorite; 7—gabbronorite; 8—peridotite; 9—copper-nickel orebody

V、Ti 矿床的成矿专属性(Krauskopf, 1967[7])。他们的成矿作用的 4 维空间定位机理有差异,定位标志各不相同。现择其攀西钒钛磁铁矿和东疆黄山铜镍硫化物矿床成矿作用 4 维空间定位的实例予以说明。

(1)铁镁质岩浆连续补给重力分异成矿作用 4 维空间定位:铁镁质岩浆脉动侵入时,低粘度原始岩浆在物理化学条件支配下,在粘滞度较小的熔融体内出现凝聚相并不断扩大,形成韵律变化的堆积旋回,Fe、V、Ti 等成元素富集达到一定浓度时,形成矿层。堆积旋回之间有较大差异,具有明显的突变,表明单个旋回是一次完整的液态重力分异和结晶重力堆积成矿作用。在岩浆不断补给的情况下,每个韵律层组成了由偏基性的斜长石和以辉石为主的岩相层、钒钛磁铁矿体赋存于铁镁质岩体的底部,组成韵律层序结构的钒钛磁铁矿床(张云湘等,1988[7])。我国扬子陆块西缘的攀枝花、红格、白马、太和等钒钛磁铁矿床是岩浆连续补给重力分异成矿作用 4 维空间定位的典型例子(图 1a),钒钛磁铁矿床堆积韵律层的成因模式见图 1b。成矿过程中最早矿物结晶温度在 850～950 C(骆耀南,1988),随后有所降低。该类矿床属晚期岩浆矿床,以 Fe、V、Ti 元素组合的磁铁矿矿石为主。由此可知,镁铁质岩体内 Fe-V-Ti 矿床 4 维空间定位标志掌握后,可以认为应在岩体的下、中部预测该类矿床。

(2)镁铁质岩浆与硫化物熔融体不混溶成矿作用的 4 维空间定位:在镁铁质岩浆的熔离体内岩浆熔离作用是指在较高温度下一种均匀的岩浆融离体。当温度和压力降低时,分离成两种或两种以上不混溶的熔融体。通常镁铁质岩浆为主相,硫化物熔融体为子相。随着温度和压力的减小,子相与主相分离,形成独立的硫化物流体子相(芮宗瑶等,2002)。这种不混熔融体如果在稳定的成矿地质环境中,显示很强的成矿功能,即硫化物熔融体就在镁铁质岩浆的中、下部凝集,形成原地熔融的铜镍硫化物矿床。东天山的黄山铜镍硫化物矿床是熔离成矿作用 4 维空间定位的典型矿床(图 2)。在通常情况下,熔离温度介于 1400～1500 C(汤中立,1998),而铜镍硫化物晶出温度发生在 488～414 C(汤中立,1995),铜镍矿床大致在这样的温度间隔下形成的。由于硫化物子相的比重大,通常沉积在镁铁质岩浆的底部,组成了铜镍硫化物矿体赋存在岩体的中、下部或下部空间定位机制。由此可以判定知,镁铁质岩体中底部硫化物子相是成矿的 4 维有效空间;岩体底部是预测和寻找铜镍硫化物矿床的有效空间。

1.2.2　氧化-还原条件下成矿作用界面空间定位

氧化和还原是两个对立的物理化学环境,形成的界面和其他地质界面一样,具有很强的成矿功能。沉积过程的海进和海退出现这类界面,成矿流体在运移过程中存在这类界面,变质作用和火山喷发作用都有可能出现这类界面,特别是热液成矿作用的温度,压力、pH 值,Eh 值转变时,这类界面屡见不鲜。岩浆热液和大气降水的交接界面,是氧化-还原物理化学条件转换的典型界面,具有特殊的成矿功能。总之,只要地壳有物质运动、地下流体存在(融熔体界面除外),氧化-还原界面总是存在,溶解在流体中的元素聚散作用随时可能出现,与元素聚散作用相联的成矿作用的发生、发展、演化过程的出现是必然的,形成矿床的机率很高。为描述氧化-还原界面成矿作用的实例,展示了广西下雷锰矿含锰岩系地层岩性变化和含锰岩系出现的位置。矿床顶底板围岩为上泥盆统五指山组,主要岩性属硅质灰岩和泥质硅质灰岩(D_3w^2,图 3)。以碳酸锰矿矿石为主,其次为次生氧化锰矿石。由图 3 可知,含锰岩系处在地堑型深水盆地相沉积和浅海盆地相沉积过渡带

维普资讯 http://www.cqvip.com

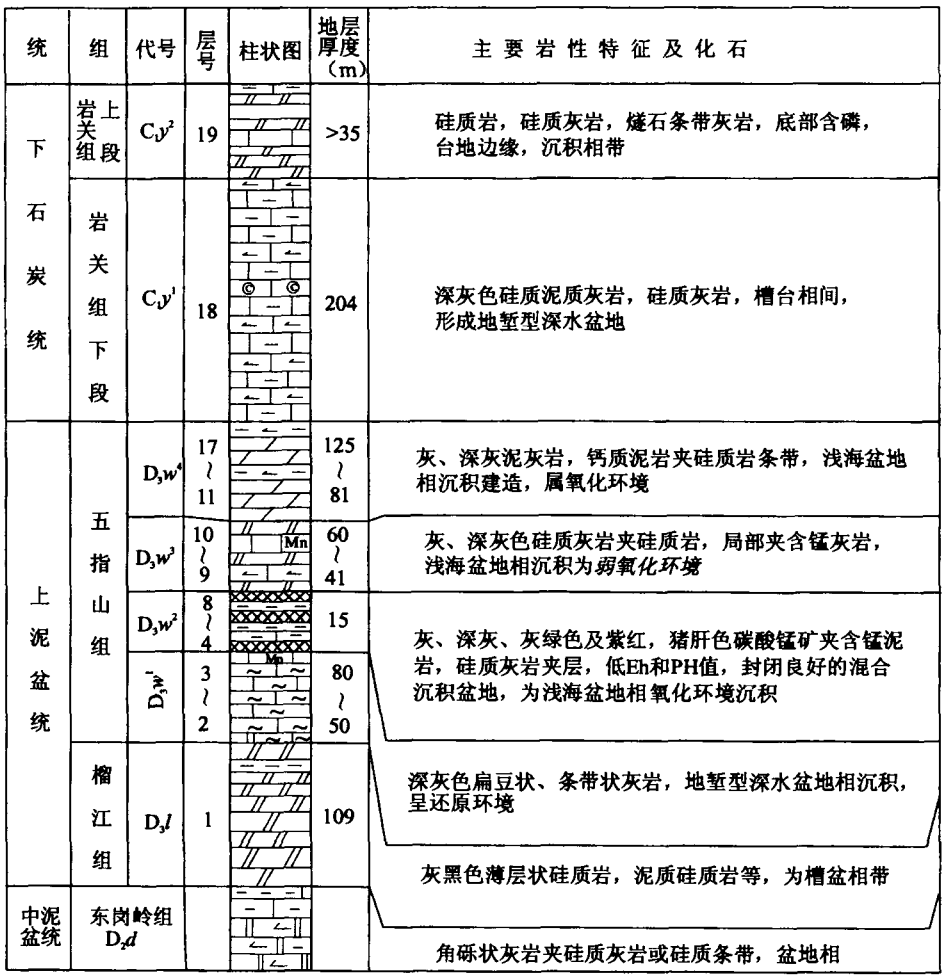

图 3 下雷锰矿含锰岩系地层(据韦灵敦,1992 资料修改)

Fig. 3 Manganese-bearing stratum of Xialei mangamese deposit(modified from Wei Lingdun,1992)

上,属弱氧化环境。上泥盆统五指山组由下向上的不同沉积相组成了明显的深或浅海盆地,沉积环境由还原至氧化的转换面上,含锰岩系赋存在这一界面上,其中的锰质正好由 $Mn(OH)_3$ 溶胶转化为 $MnCO_3$ 沉积成矿(D_3w^2,图 3)。

1.2.3 矿床空间定位型式谱析

每类矿床,或每个矿床都有自身定位的特定型式,可是成矿作用的类别和每类成矿作用的机理限定了矿床空间定位型式的类别。大家知道、铬铁矿床,铜镍硫化物矿床成矿作用及其相应矿床的空间定位不会超出基性、超基性岩体的范围,沉积成因的矿床限定在沉积岩类沉积过程特定的两个旋回交接面上。上述已列出众所周知的实例,其他如中、酸性岩浆侵入接触成矿作用形成的矿床,基本上都在中、酸性岩浆侵入体与围岩的接触带上(图 4a)、储矿断裂构造介面控制的矿体总是赋存在主、次断裂中(图 4b);韧性剪切带异相介面控制的金矿床基本赋存在韧性剪切带内(图 4c);沉积间断面成矿作用空间定位常常是两个不同岩相(或不同沉积序列)沉积地层的界面上(图 4d)。

由上可知,掌握了矿床成矿作用定位型式,无疑将当前矿产预测由平面预测推向立体预测,由圈定勘查目标区的传统预测转向 4 维空间的定位预测,由多元信息标志预测转向地质理论预测,至使矿产勘查工作由经验找矿和传统预测找矿上升为理论找矿,整体提高矿产勘查效益。

2 矿床成矿系列的"缺位"预测理论

矿床成矿系列定义为:在一定的地质历史发展阶段所形成的一定地质构造单元内,与一定的地质成矿作用有关,在一定的地质构造部位形成各矿种,各类型而且有成因联系的各种矿床的组合(陈毓川,

维普资讯 http://www.cqvip.com

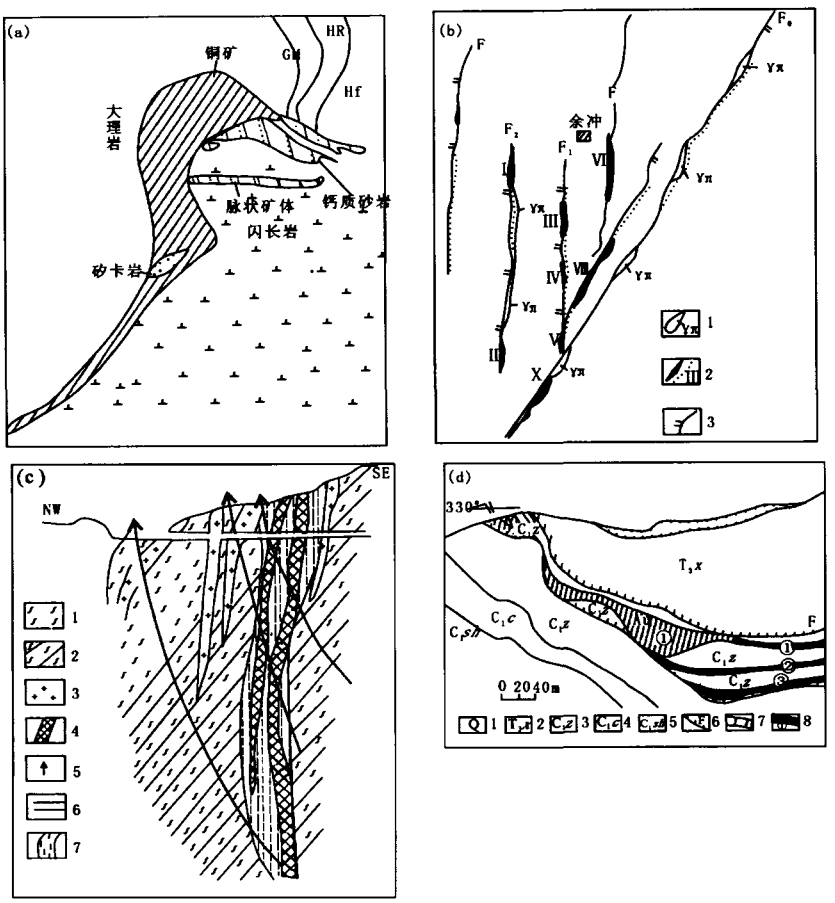

图 4　矿床成矿作用空间定位型式谱析图(据朱裕生，2003)

Fig. 4　Space orientation model of minerogenesis (after Zhu Yusheng, 2003)

(a)—接触带矿床定位型式；(b)—储矿断裂带矿床定位型式：1—花岗斑岩脉，2—金矿体，3—断裂带；(c)—韧性剪切带矿床定位型式：1—混合岩，2—混合岩化片麻岩，3—伟晶岩，4—千糜岩，5—钻孔，6—坑道，7—矿体；(d)—沉积间断面矿床定位型式：1—第四系，2—小坪组，3—梓门桥组，4—测水组，5—石望子组，6—断层，7—金矿体，8—银矿体

(a)—Space orientation model of deposit in contact zone; (b)—space orientation model of deposit in ore-bearing fracture belt: 1—Granite-porphyry, 2—gold ore body, 3—fault; (c)—space orientation model of deposit in ductile shear zone: 1—migmatite, 2—migmatization gneiss, 3—pegmatile, 4—phyllonite, 5—hole, 6—gallery, 7—ore-body; (d)—space orientation model of deposit in sedimentation interruption surface: 1—Quaternary, 2—Xiaoping Formation, 3—Zimenqiao Formation, 4—Ceshui Formation, 5—Shiwangzi Formation, 6—fault, 7—gold ore body, 8—silver ore body

联系；③在不同地区或不同时代的相似地质构造环境中形成的各类不同成因类型的矿床在时空分布上相互有不同程度制约。由此可以认为各个矿床成矿系列包含的矿床类型不尽相同，但是一个矿床成矿系列具有内在联系的矿床类型是一个定数。我们将这个数称一个矿床成矿系列矿床类型的“全位”，如长江中下游与燕山期壳幔源中、酸性浅成侵入活动有关的 Fe、Cu、Mo、Au、Ag 矿床代矿系列包括有斑岩型、接触交代型、中温热液型、中低温热液型和风化壳型等 5 个主要类型，认为该系列的“全位”有 5 个类型。在另一成矿区(带)内出现相同的矿床成矿系列时，只发现斑岩型和接触交代型矿床，从“全位”考虑尚有中温热液，中低温热和风化壳型 3 个类型有可能发现，此处就将这 3 个类型矿床称“缺位”矿床。矿床成矿系列的“全位”和“缺位”见解从矿床成矿系的理论上揭示了一个成矿区(带)或亚区(亚带)内的矿产资源远景。“缺位”概念自然地列入矿产预测的理论依据。确切地说“缺位”系指一个矿床成矿系列的“全位”概念在相似构造单元内(或成矿带、亚带、矿田等)推断可能出现的“缺位”矿床类型，阐明矿产资源的潜力。“缺位”理论的提出和在矿产预测中的应用，标志着矿床成矿系列由理论研究进入了指导矿产勘查的实用阶段。

1999)。一个成矿系列是指在“特定地质环境的 4 维空间中具有内在联系的矿床自然组合”(图 5)。他们之间的相互关系在图 5 上直观地勾画清楚，其核心内容是将矿床成矿系列的“成矿过程作为 4 维空间的一个完整体系，由两个或更多的矿床类型(或矿石相)所组成，……彼此之间存在着内在联系”(陈毓川，1999)。在一个成矿区(带)内划定矿床成矿系列、或在一个成矿亚区(或亚带)内划定矿床成矿亚系列时，其前提是：①出现两个或两个以上的矿床类型；②彼此之间存在着内在联系，或其成矿作用相互有

3　多元信息的“类比-求同”理论

“异同”是地质学中应用极为广泛的原理，在地质理论研究、野外地质观察，矿产预测和找矿工作中都对地质体和矿床作出分类，体现了相同者划归一类，否则归入另一类，可以认为：“异同”是对事物的不同之处和相同之处分类归并的理论，在地质学中

维普资讯 http://www.cqvip.com

习惯用“类比”一语概括；在矿产勘查中用“类比-求同”做为逻辑判断的理论。“类比-求同”是对两种(或两类)事物属性的对比，分别归并他们之间的可能相同或相似点。在矿产预测工作中，利用已知矿床的特征寻求与已知矿床相似或可能相同的地质体(或4维空间)属性对比，推断矿产资源的潜力或可能赋存有潜在矿床的4维空间，指导矿产预测和矿产勘查工作，直至发现矿床。以前应用“类比-求同”理论，是以地质勘查和预测人员的经验为主。当前矿产预测理论用“类比-求同”概括，他是在经验类比基础上发展为“成矿模式”和“找矿模型”类比；在MRAS系统中，用“数字模型类比”。由此可知，MRAS系统中的“相似-类比”实施内容既是分类归并的含义，又是将未知的新矿床纳入已知类型的“求同”概念范畴之内。矿产勘查发现史告诉我们，每个矿床的发现几乎都是应用同类矿床属性的“相同”或“相似”判断后指导勘查工作获得成功的。实践证明他是有效的[7]。

当代的矿产预测工作中，面对的是巨量的基础地质和方法地质(物、化、遥)数据，需应用现代化的高新技术，综合地、矿、物、化、遥和科学研究成果中包含的多元成矿信息。通常是将已知矿床的成矿信息作为“样本”，地质体(或4维空间)做类比对象，用“异同”的逻辑推理理论，对4维空间成矿的有利性作出评估，阐明地质体赋存潜在矿床的可能性。新一代矿产预测方法在MRAS系统平台上按“类比-求

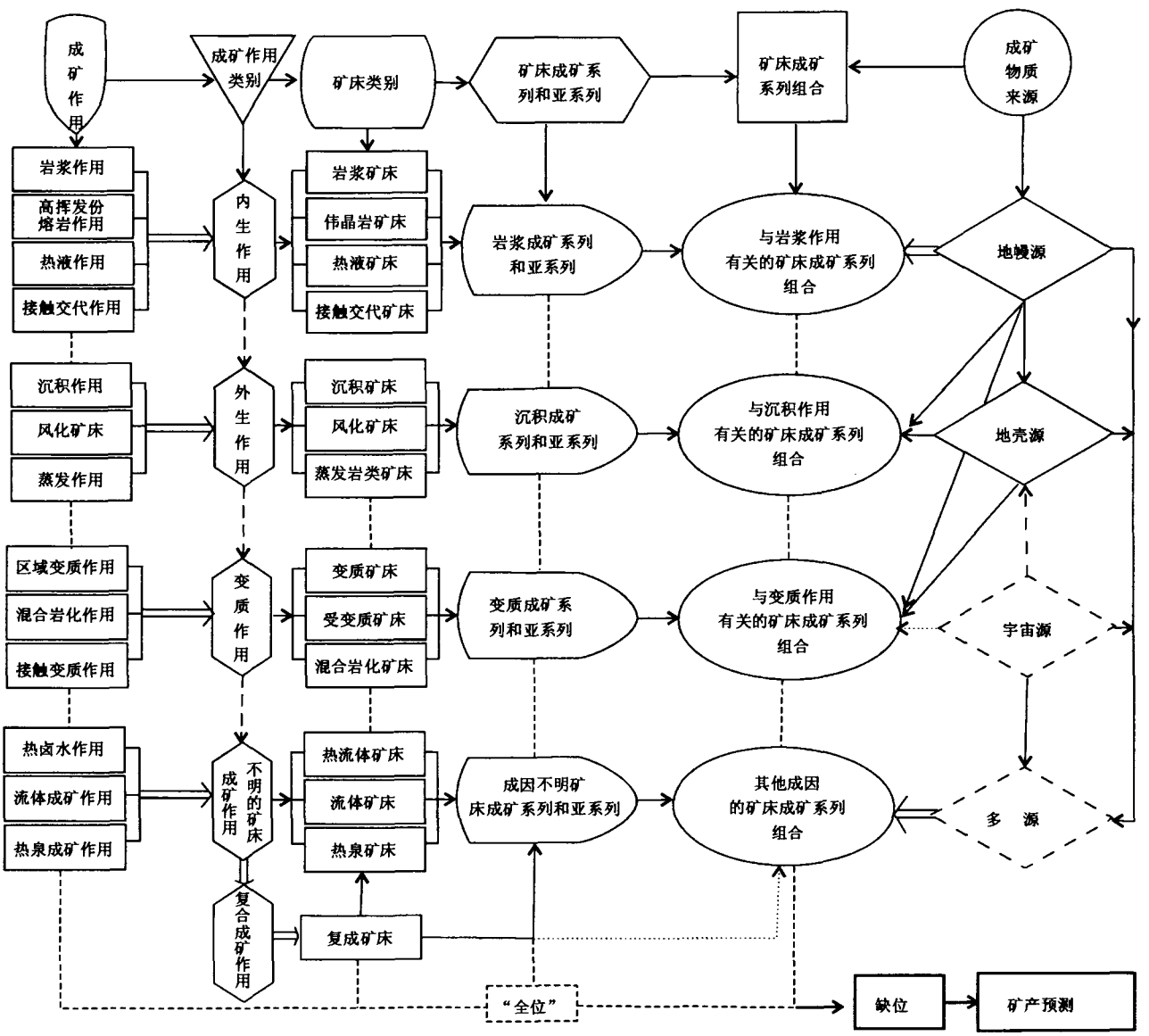

图5 矿床成矿系列结构和矿产预测框架图

Fig. 5 Construction of deposit minerogenetic series and frame work of mineral predication

维普资讯 http://www.cqvip.com

同"理论进行实际操作时已形成一套计算机化的预测流程(肖克炎等,2000)。其要点是:矿床受特定的地质条件控制,各类型矿床的定位标志(上文已述)清晰,当矿床在地表并未出露、隐伏在地下一定深度范围时,它仍然有间接和直接的定位标志(地质的、物探的、化探的、遥感的和主观经验的)显示。MRAS系统就是在研究已知矿床的基础上,以矿床的定位机制和预测准则为类比依据,未知区为"求同"的目标对象,排除差异点,找出与已知矿床具有相似定位机制的条件,阐明对象的矿产资源潜力。对危机矿山来说,建立已知矿床空间定位标志与未知区有相似成矿作用定位标志之间的潜力评价模型,作出已知开采区和未勘探区成矿可能性的潜力评估。在矿产预测模型化和计算机化的新一代矿产资源预测评价方法实施过程中,先前由"已知到未知"的推理准则已由"类比-求同"理论替代,应用MRAS系统操作,作出未知区潜力估算,取得比过去的结论更科学,准确性更高的新认识。

"类比-求同"理论对矿产资源潜力区内潜力认识是:

(1)推断矿产资源潜力区范围内潜在矿床存在的可能性,作出定性预测。

(2)推算潜在矿床的规模,做定量评估。

(3)阐明潜在矿床可能在4维空间定位标志,为矿产勘查、发现新矿床指出地质依据。

(4)提出寻找或发现新矿床的直接标志和间接标志及指出找矿的方法途径。定性预测和定量评估是两类不同性质的问题,前者用"类比-求同"较园满地解决;而后者只能在"类比-求同"基础上用定量预测的数字模型按已知矿床的规模提出在概率意义下的定量评估。

大量的预测实践证实"类比-求同"理论在矿产资源潜力评价实践中是有效的,但存在的不确定性也是显而易见的,在当代成矿学理论不断发展,对各类矿床获取的成矿信息日益丰富和应用计算机技术的现代化矿产预测工作中,"类比-求同"理论将得到更广泛地应用,矿产预测的科学性将日益提高。

4　地质体"对等求异"理论

应用"类比-求同"理论进行矿产预测工作中难以求解的问题是:

(1)成矿地质事件和矿床空间定位留下的地质历史记录的不对等性,即使相同的成矿地质环境中成矿作用定位标志不可能完全相同,特别是对隐(盲)矿床和半隐(盲)矿床定位标志的识别受到地质理论和方法手段的限制,认识和实际之间的差异性不言自明。

(2)地质工作详略程度的不均衡性,在已知矿床上(已知区亦然)地质工作和研究程度远远高于未知区,地质资料水平的不对等性的事实是普遍存在的。

(3)"类比-求同"理论标定的目的物与未知区寻求的目的物之间不对等性的事实决定了"类比-求同"理论只能预测评价和寻找与已知矿床类型和规模相似的矿床,对新类型矿床和迄今尚未发现的规模更大的矿床进行"类比-求同"的求解难度增加,甚至不可能进行。

由上可知地质体对等求异突破了矿产预测评价的"瓶颈"。

地质体对等求异是选取已知矿床或矿体与未知区内相似地质环内存在的相同客观标志,一般系指成矿地质环境,矿床(体)的4维空间定位标志,物化探异常规模和强度,遥感异常特征等数据(资料)的尺度相同,采用"地质体对等求异"理论中求解成矿有利性的大小列出成矿标志,视为圈定预测区的依据。

"异常"是指"相似"和"相同"事物之间寻求的差异点,突现差异的标志。"异常"在地质上是指"在物质组成、结构、构造或成因序次上与周围环境是有显著差异的地质体或地质体组合"(赵鹏大等,1992),又称"致矿地质异常"。"求异"对象是地质体。在通常情况下地质体有大小,类别,出露、隐埋之分,为达到"求异"的目的,应在同类地质体规模相似时进行"求异",在矿产预测中是指Ⅰ～Ⅴ级成矿区带;在矿床成矿系列理论范畴内指相同的次序。在求异操作时是对同级成矿区(带)和同级次序的矿床成矿系列而言。在矿产预测中简称"对等求异"。求"异"是在"类比-求同"达不到预测目的的基础上筛选出定位机制与已知矿床不同的标志(朱裕生,1999),识别未知区与已知矿床不同的成矿信息,科学地推断新类型、新矿种和超过已知矿床规模出现的可能性和他们在地质3度空间的定位条件,起到缩小勘查区面积或空间定位的作用。

综上所述,由矿床成矿作用"异相定位"定位预测理论、矿床成矿系列"缺位"预测理论、多元信息"类比-求同"理论和地质体"对等求异"理论组成的矿产预测评价理论框架是相辅相成不同内涵而目的相同的4方面预测理论。成矿作用的"异相定位"和矿床成矿系列"缺位"预测理论是矿产预测评价的地

维普资讯 http://www.cqvip.com

质理论依据，又是对成矿学理论的补充；多元信息“类比-求同”理论是矿产预测评价的传统理论，在矿产勘查的实践中证明是实用和有效的，但他只能预测和发现与已知矿床类型和规模相同的矿床；地质体“对等求异”理论补充了“类比-求同”的不足，他在指导预测新矿种、新类型和规模超过已知矿床时，是行之有效的，也是前3种理论无可比拟的。上述理论的提出和在实践中成功应用标志着矿产预测地质理论发展的完整性、实用性和科学性。在当代地质理论发展速率提高和采用新技术、新方法，特别是GIS矿产预测方法广泛应用的今天，矿产预测的理论将进一步经受实践的考验，登上新的顶峰。

注 释

❶ 矿产资源评价方法学导论. 1984. 北京：地质出版社，22～24.

❷ 赵鹏大. 1992. 成矿预测的基本理论、准则和方法. 原地质矿产部固体矿产中大比例尺预测经验交流材料.

❸ 朱裕生，1999. 论“大比例尺预测”. 见：《当代矿产资源勘查理论与方法》. 北京：地质出版社，316～325.

❹ 朱裕生，肖克炎，等. 2004. 中国主要成矿区(带)成矿地质特征及矿床成矿谱系. “危机矿山资源潜力调查与评价”(送审稿). 中国地质调查局，130～146.

❺ 吴淦国，邓军. 1999. 金属矿床矿田构造研究现状. 见：《当代矿产资源勘查理论与方法》. 北京：地质出版社，316～325.

❻ 朱裕生，等. 2005. 中国主要成矿区(带)成矿地质特征与矿床成矿谱系(K. 4～2～1).

❼ 张云湘、骆耀南，1988. 攀西裂谷. 北京：地质出版社.

参 考 文 献

陈毓川. 1994. 矿床成矿系列. 地学前缘. 1(3)：90～94.

陈毓川. 1999a. 矿床成矿系列与成矿预测. 见：陈毓川，主编. 当代矿产资源勘查评价理论与方法. 北京：地震出版社，19～15.

陈毓川. 1999b. 中国主要成矿区(带)矿产资源远景评价. 北京：地质出版社.

陈毓川，裴荣富，宋天锐，邱小平. 1998. 矿床成矿系列初论. 北京：地质出版社.

陈毓川，朱裕生. 1993. 中国矿床成矿模式. 北京：地质出版社.

程裕淇，陈毓川，赵一鸣. 1979. 初论矿床成矿系列问题. 地球学报，(1)：32～58.

程裕淇，陈毓川，赵一鸣，宋天锐. 1983. 再论矿床成矿系列问题. 地球学报(中国地质科学院院报)，(6)：1～64.

李晓波. 1996. 当代矿床学研究的几个前沿性问题及发展趋势. 见：陈毓川，主编. 当代矿产资源勘查评价理论与方法. 北京：地震出版社，155～161.

潘龙驹，刘肇昌，李凡友. 2000. 内生金属矿床聚矿构造研究. 北京：冶金工业出版社.

浦志伟，朱裕生. 1993. 成矿预测中成矿信息的提取和强化. 地质论评，(6)：508～514.

芮宗瑶，李阴清，王龙生. 2002. 初论成矿流体及金属矿物富集系统. 矿床地质，21 (1)：83～89.

汤中立. 1998. 岩浆硫化物矿床成矿机制. 北京：地质出版社.

汤中立. 2002. 华北古陆西南缘(龙首山—祁连山)成矿系统及成矿构造动力学. 北京：地质出版社.

温家宝. 1985. 开展新的一轮固体矿产普查工作. 中国地质，(10)：1～5.

吴淦国，邓军. 1999. 金属矿床矿田构造的研究现状. 见：陈毓川，主编. 当代矿产资源勘查评价理论与方法. 北京：地震出版社，142～149.

肖克炎，张晓华，朱裕生，等. 2000. 矿产资源GIS评价系统. 北京：地质出版社.

余中平. 1998. 成矿与找矿导论. 北京：冶金工业出版社.

翟裕生. 1996. 关于构造—流体—成矿作用研究的几个问题. 地学前缘，3(4)：300～304.

翟裕生，彭润民，向运川. 2004. 区域成矿研究法. 北京：中国大地出版社.

张炳熹，陈毓川. 1987. 矿床成矿模式与成矿系列. 见：当代地质科学动向. 北京：地质出版社.

张云湘，骆耀南，杨崇喜，等. 1988. 攀西裂谷. 北京：地质出版社.

赵鹏大，池顺都. 1991. 初论地质异常. 地球科学，16(3)：241～248.

赵鹏大，孟宪国. 1993. 地质异常与成矿预测. 地球科学，18 (1)：39～46.

赵鹏大，王京贵，钱明辉，等. 1995. 中国地质异常. 地球科学，20 (2)，117～127.

赵鹏大，池顺都，陈永清. 1996a. 查明地质异常、成矿预测的基础. 高校地质学报. 2 (4)：304～306.

赵鹏大. 1982. 试论地质体数字特征. 地球科学，7 (1)，145～156.

赵鹏大，陈建平. 1996b. 地质异常与遥感地质研究. 大自然探索. 13 (1)：10～13..

周先民. 2001. 找矿思维方法. 北京：地震出版社.

朱裕生. 1984. 矿产资源评价方法学导论. 北京：地质出版社.

朱裕生. 1988a. 成矿预测方法. 中国地质，(11)：28～30.

朱裕生. 1988b. 指导成矿预测的地质理论——成矿学理论和应用. 中国地质，(4)：9～11.

朱裕生. 1993. 论矿床成矿模式. 地质论评，39(3)：216～222.

朱裕生. 1998. 增加矿产勘查的科技含量、获取地质找矿更大突破. 中国地质，248(1)：23～25.

朱裕生. 1999a. 矿产资源潜力评价在我国的发展. 中国地质. 270 (11)：33～35.

朱裕生. 1999b. 研究成矿时空定位规律实现地质找矿的新突破. 中国地质，263(4)：27～32.

朱裕生. 2000. 强化成矿规律研究、提高“调查评价”效益. 中国地质，277：18～40.

朱裕生，肖克炎，等. 1997. 成矿预测方法. 北京：地质出版社.

朱裕生，王全明，张晓华. 1999. 中国成矿区(带)划分及有关问题. 地质与勘探，(4)：1～4.

朱裕生，肖克炎，宋国耀. 2000a. 成矿区带划分和成矿远景区圈定的讨论. 中国地质，(1)：41～43.

朱裕生，肖克炎，宋国耀. 2000b. 矿产资源评价图件的编制. 中国地质，280：35～37.

维普资讯 http://www.cqvip.com

Basic Theory of Mineral Resources Assessment

——Theory System between Regional Metallogeny to Mineral Exporation

ZHU Yusheng

Mineral Resource Planning Division of China Academy of Geological Science, Beijing, 100037

Abstract

The study of mineral resource assessment was started during 50's of 20 century, and has been hot topic for almost 60 years. Based on the study and practice during the national first and second regional planning, Chinese scholars perfected the theories and formed the mineral prognostic theory system, and promote the developing of regional metallogenic theories to new areas of mineral prospecting and exploration. Mineral resource prognostic theories include: Metallogenesis "phaseout allocation" theory, minerogenetic series "location absence" theory, multi-sources information "analogy-concordant" prediction theory and geologic body "difference seeking" prediction theory. Metallogenesis "phaseout allocation" theory and minerogenetic series "location absence" theory have been considered as theoretical basis for mineral resources forecast and as complement of metallogeny theory. In this paper, new meanings has been given to the triditional method of multi-sources information "analogy-concordant" prediction theory which has been improved by geologic body "difference seeking" theory. The mineral resource assessment theories has been proved to be effective in mineral exploration, and have become scientific basis for improving the accuracy and efficiency of mineral forecasting efforts.

Key words: regionalization; regional metallogeny; mineral prognosis; mineral prognosis theory

论杨氏东方翼龙在翼手龙类的系统位置

吕君昌[1)]，高春玲[2)]，孟庆金[2)]，刘金远[2)]，季强[1)]

1) 中国地质科学院地质研究所，北京，100037；2) 大连自然博物馆，116023

本文记述了一件采自辽西北票四合屯义县组下部东方翼龙的新标本。通过与正型标本的比较，证明东方翼龙为一有效的属，隶属于梳颌翼龙科。根据对新标本的研究，东方翼龙的修订特征应为：两翼展宽不超过 1.25m，尺骨与飞行指的第二指节及胫骨几乎等长，第三跖骨与胫骨长度之比约为 0.40。

内蒙古宁城一带道虎沟生物群及相关地层的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年

刘燕学[1)]，柳永清[1)]，张宏[2)]

1) 中国地质科学院地质研究所，北京，100037；　2) 中国地质调查局沈阳地质矿产研究所，辽宁，110032

应用 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测年方法，对内蒙古宁城道虎沟生物群和辽西凌源热水汤与建平马杖子地区含蝾螈类化石层上、下火山岩进行了定年研究。测年结果表明，道虎沟生物群（岩系）最年轻年龄约束为 158 Ma，最老年龄约束为 164 Ma。综合研究表明，宁城道虎沟生物群与凌源热水汤和建平马杖子一带含蝾螈类化石层属于同一生物群（时代）。道虎沟生物群发育于 164～158 Ma 的地质年代期间，地层柱上属于中侏罗世晚期。同时，依据道虎沟生物群及上覆火山岩被晚侏罗世土城子组及早白垩世含热河生物群岩系平行不整合覆盖，下部平行不整合于由砾岩、砂泥岩夹煤线或薄煤层组成的九龙山组之上等特征，道虎沟生物群及相关地层应对比冀北—辽西地区中侏罗世晚期髫髻山组（蓝旗组）。