

第一章 总论

全国大型、超大型金矿综合信息成矿预测是国家科委下达的攀登项目“找寻难识别及隐伏的大矿、富矿的新战略、新方法、新技术基础性研究”的第四课题，项目编号为 85B-34-04。该课题工作的总体部署是：

1. 开展全国大型、超大型金矿床综合信息成矿预测，迅速缩小靶区，全国开展 1 : 500 万综合信息大型、超大型金矿成矿预测；
2. 建立全国大型、超大型金矿床密集区综合信息找矿模型及预测模型；
3. 对于重点片全国第一大金矿省——山东，开展 1 : 50 万综合信息大型、超大型金矿床密集区综合信息成矿预测；
4. 在 GIS 平台上，建立知识数据库。划分目标图层——因变量图层、建立找矿模型图层——自变量图层、建立信息回代图层——预测图层，所有图层均进行空间实体的划分及相应的属性表编制，应用定性变量数据模型进行数学分析，使综合信息大型、超大型金矿预测向数字化、计算机化和智能化的方向发展。

首先研究国内外大型、超大型金矿床的研究现状。在大型、超大型金矿床的理论研究基础上，研究大型、超大型金矿床的找寻途径，并以此为基础，研究大型、超大型金矿床的预测途径。在定性成矿预测研究基础上，研究大型、超大型金矿床的定量预测。

第一节 国内外研究概况

一、国外研究现状

从 20 世纪 70 年代末期以来的短短 20 多年时间里，国外相继找到了若干规模巨大，并能产生重大经济效益的超大型矿床，如澳大利亚南部的奥林匹克坝、加拿大东部的赫姆洛、日本的菱刈等超大型矿床。随着过去近 20 多年来超大型矿床的不断发现，除矿床本身带来了巨大经济效益外，同时具有重要理论意义，受到国内外矿业界的广泛关注和重视。

70 年代以来，大型、超大型矿床是国内外地学界的热门话题之一（涂光炽，1995）。勘查储量占 70%~85% 而数量仅占 10% 的巨型矿床自然对矿业界有巨大的诱惑力（谢学锦，1995）由于大型、超大型矿床的丰厚利润和能够对地方乃至国家经济产生重要影响，也使得像“国际地球物理及大地测量联合会”（IUGG）、“国际地质科学联合会”（IUGS）等国际重要学术团体在 80 年代末将超大型矿床的研究列为重要研究的课题之一（涂光炽，1995）。开展大型、超大型矿床的研究意义十分重大。为此，国际地球物理与大地测量联合会于 1987 年提出对超大型矿床的全球背景的研究作为 90 年代地球科学重要前沿课题之一。第 28、29 和 30 届国际地质大会上均进行了专题讨论，国际矿床成因协会矿床地质构造委员会设立了“控制大型矿床、矿床群、矿带和矿区分布参数”项目。此后分别在 1994 和 1995 年召开了国

际超大型矿床成矿理论学术会，我国谢学锦院士出席了 1995 年会议，并做了颇具影响的题为“ The surficial geochemical expression of giant ore deposit ”的发言，提出了利用区域地球化学资料，迅速掌握全局，逐步缩小靶区的新战略。

我国矿产资源形势不容乐观。据统计，人均矿产资源拥有量不到世界平均水平的一半，居世界第 80 位(易善锋,1990)。就黄金而言 我国发现的黄金量在世界列第 20 位 仅占世界发现黄金量的 0.76%，按国土计算仅为 0.15kg/km² 未列入世界前 25 名(D. A. Singer, 1995) 因此，在我国开展寻找大型、超大型矿床的工作，解决我国矿产资源不足的现状十分必要。

大型、超大型矿床的发现不仅仅有经济意义，而且还会推动地学理论本身的发展和革新。澳大利亚奥林匹克坝超大型矿床的发现，对于促进现代成矿学的发展、矿产勘查理论和技术进步有着不可估量的影响。

二、国内研究现状

我国针对大型、超大型矿床开展研究工作始于 20 世纪 80 年代末期。涂光炽院士就大型、超大型矿床的找矿和理论问题在 1988 年的“天山地质讨论会”和“全国第三届矿物、岩石地球化学学术交流会”上首次提出。一石激起千层浪，90 年代以来，我国地质界的科技工作者从不同角度研究探讨大型、超大型矿床的成因等各类基本问题，并发表了许多文献。

1989 年在贵阳召开了我国首次超大型矿床寻找及理论研讨会，陈毓川院士在会上发表了“巨型、大型和世界级矿床地质找矿总趋势”一文 引起与会者的浓厚兴趣。

1992 年涂光炽院士主持的国家攀登计划项目 A 中，提出超大型矿床的找寻和理论研究的建议 开创了我国大型、超大型矿床理论研究的新纪元。“与寻找超大型矿床有关的基础研究”项目的启动也极大促进了我国大型、超大型矿床的研究工作，并取得了一批很有价值的成果。有关大型、超大型矿床的成矿机制、成矿背景和成矿条件等基本问题都作了较为深入的探讨。在众多的研究成果中 较为一致的观点为 大型、超大型矿床的形成需要多种成矿作用叠加 良好的大地构造背景 适宜的围岩等诸多条件(涂光炽,1989,1994)。但是成矿的物化条件、成矿物质来源等与较小的矿床并无特殊之处，就金而言尚未发现超大型金矿床与其他具有类似成因但规模较小的矿床间在成矿流体上会有什么明显的区别，似不存在能形成超大型金矿的独特流体(何知礼,1994)。既然如此，超大型矿床与一般矿床的最大区别就是一个量的差别，而量的差别直接反映成矿物质供给的差别，这也正反映了第二届世界巨型矿床会议的主题，“成矿过程与物质供应”对形成巨型矿何者更为重要？即所谓“Proces Verus Provenance Debate”(谢学锦,1995)。解决物质供应，对比成矿元素在空间变化规律这一较复杂的难题，在中国由于有了 1:20 万区化成果而变得可行。套合的地球化学模式谱系直接反映了超大型矿床的物质供应量与普通矿床间的差别(谢学锦,1995)。

谢学锦院士在“用新观念与新技术寻找巨型矿床”一文中提出，利用全国区域地球化学资料迅速掌握全局，逐步缩小靶区的新战略。准备充分利用已覆盖全国 500 万 km² 的 39 个元素含量变化资料，研究从区域性异常到地球化学域的一系列套合的地球化学模式谱系，圈出特别富含铜、金及银的地球化学块体，对这些地球化学块体，还要进一步研究其中可为成矿利用的金属量，追踪它们的逐步浓集的过程与方向，预测巨型矿床存在可能及所处位置。刘光鼎院士提出了应用深部地质构造研究大型、超大型矿床地质、地球物理背景的想法。赵

鹏大院士提出了地质异常理论和方法研究,找寻大型及超大型矿床。王世称等于 1991 年发表了“大型、超大型矿床的找矿方向和方法问题”一文,指出大型、超大型矿床的找矿方向应该放在已知大型、超大型矿床的外围的中、小型矿床及矿点、异常密集区;指出采用求异的理论找寻大型、超大型矿床的思路。强调研究矿床背景之上的特殊异常,即地质、地球物理、地球化学和遥感的综合信息异常,作为寻找大型、超大型矿床的技术途径。

三、国内外大型、超大型金矿床研究的发展趋势

(1)大型、超大型金矿床的发现,不仅仅有重要经济意义,而且推动地质领域的理论和方法研究,矿产勘查理论和方法研究。它对地质学技术进步有不可估量的影响。

(2)大型、超大型金矿床的主要类型总结及其应用。目前国内外已探明的大型、超大型金矿床的主要类型:主要产于太古宙绿岩带及其中的铁建造(BIF)中,主要与变质热液作用有关的绿岩型金矿,已知矿床有中国的夹皮沟、加拿大赫姆洛、波丘潘、克克兰湖、巴西莫劳—维枷等绿岩型金矿床和印度科拉尔、加拿大柳宾、美国霍姆斯塔克金矿床等;产于含炭变质碎屑岩建造,主要与变质热液作用有关的变质碎屑岩型金矿,如原苏联的穆龙套、宗巴毫、奥林匹亚达金矿床等;③产于含铁质、有机质的碳酸盐-碎屑岩建造,主要与地下热卤水渗滤作用有关的微细粒浸染型金矿,已知矿床有卡林、亚特兰大、阿利盖特山、科特兹等;产于火山岩型建造内,主要与岩浆活动和火山作用有关的火山热液、次火山热液型金矿,如菱刈、金瓜石、美国的锡尔弗顿、诺兰达金及伴生金矿床等;⑤产于古老变质砾岩层中的砾岩型金矿,如南非的兰德、加纳的塔库瓦、巴西的雅比纳和加拿大的埃利奥系湖—盲河等;⑥产于俯冲型造山带的岛弧岩浆岩套或碰撞造山带,主要与岩浆热液有关的伴生金及金矿,如德兴铜矿、美国滨海姆铝矿、潘古纳铜矿、亭提克多金属矿床等;⑦砂矿型 加纳塔克瓦、蒙他那;⑧冰碛岩型 加拿大苏必利尔湖的 Gongwaddon 组内的金矿床。

据陈毓川院士等(1995)的统计结果,我国大型及以上岩金矿床 61 处,其中绿岩带型金矿床占 9.8% 火山岩型占 4.91% 斑岩型占 3.28%,岩浆接触带型(包括岩体内及近远接触带)占 32.8% 构造蚀变岩型占 36.1% 微细粒浸染型矿床占 9.8% 变碎屑岩型矿床(穆龙套型)占 3.3%。统计数字说明我国大型及以上金矿床主要成矿类为构造蚀变岩型、岩浆接触带型、绿岩型和微细粒浸染型。我国大型及以上伴生金矿床 33 处 砂金矿床 14 处。伴生金矿床主要为与中酸性侵入活动有关的矽卡岩型、斑岩型、爆破角砾岩型;砂金矿床除 2 处为风化壳型以外,其余皆为砂矿型。

与世界上大型、超大型金矿床的成矿类型相比,我国金矿床在大多数的成矿类型中均有出现,但从成矿规模上相差较大。另外,如早前寒武铁建造(BIF)型、古砾岩型(兰德式)穆龙套型、砾岩层控型(奥林匹克坝式)和冰碛型等类型的大型、超大型金矿床在我国目前还没有突破,但我国大型、超大型金矿床有自己的特点,以蚀变岩型金矿床为主。

(3)方法研究。在新的地质理论、成矿模式、综合信息成矿模型的指导下,采用有效的地质、地球化学、地球物理等探测方法,系统开展成矿区带的研究,获得了突破性进展。如赫姆洛金矿床的勘查史可追溯至 19 世纪 60 年代,百年的努力未获得明显进展,1977~1978 年安大略地质调查所在该地区做系统的地质调查及电磁、航磁甚低频电磁激发极化等方法,最终确定该区的进一步勘查价值,经钻探工程勘查,探明金矿储量达 600t 以上。原苏联穆龙套金矿床的发现也是在详查地质研究基础上,配合地球物理、地球化学研究成果评价的。我

国猫儿岭金矿床，根据矿石毒砂、磁黄铁矿和自然金在矿物共生组合和黑云母蚀变的特点，采用高精度磁法和激发极化相配合的地球物理工作。研究钾化带和高磁高极化的组合异常提供地球物理信息研究 As、Pb、Cu、Ag、Au 组合异常提供地球化学信息 经过钻探 发现了该矿床。

应用综合找矿方法发现隐伏大型、超大型金矿床是总的发展趋势。

第二节 大型、超大型金矿床的概念及一般特征

一、大型、超大型金矿床的概念

关于超大型矿床的含义，目前分歧较大，早在 1983 年加拿大的拉兹尼就提出，以矿床已获得的某一金属储量与该金属之地壳平均含量的比值作为划分依据，超过此值的 10^{11} 称巨型矿床 超过此值的 10^{12} 的则称超巨型矿床。涂光炽院士在 1989 年就撰文指出，超大型矿床的定义应结合我国矿产地质实际，宜以 1987 年国家储量委员会规定之大型矿床 5 倍储量为超大型矿床下限。

根据国家储量划分标准则定，我国大型金矿床储量要求大于 20t 那么超大型金矿床的储量至少不小于 100t(表 1-1)。根据这种理解，据不完全统计，世界上已发现的超大型矿床至少有 70 多个 其中储量在 1000t 以上的有 7 个 500~1000t 的有 12 个 100~500t 的有 59 个。自 1886 年美国的霍姆斯塔克金矿床发现以来，一批大型、超大型金矿床相继发现，至 1995 年世界金矿床储量达 19 万吨以上，如兰德金矿床发现于 1876 年，截至 1984 年共产金 36000t 尚保有储量 18040t 约占世界金储量的 60% 美国的霍姆斯塔克金矿 1886 年发现 储量 1218t。加拿大安大略省赫姆洛金矿 1977~1978 年有重大突破 1985 年开采储量 600t。加拿大多姆矿山 1984 年投产 储量 333t。加利福尼亚麦克劳林金矿 1985 年投产 储量 100t。詹姆斯敦金矿 1984 年投产，储量 105t。内华达州朗德芒廷金矿 1983 年投产 储量 260t。巴西塞拉佩拉达金矿 1980 年投产 储量 500t。日本菱刈金矿 1903 年开始挖掘，1981 年开始勘查 获储量 112t 奥林匹克坝 1986~1987 年生产 储量 500t。乌兹别克的穆龙套金矿发现于 1956~1957 年 储量超过 3000t。美国的卡林金矿 1956 年投产 累积产金达 100t。大型、超大型金矿床的金资源量占有巨大比重，由此构成的金资源量占世界金总资源量的 60%~70%。与国外相比 我国金矿床规模普遍偏小 单个矿体绝大多数在 100t 之下。到目

表 1-1 我国主要金矿规模、储量统计表

金矿类型	矿床(矿点)数					不同成因矿床数所占比例/%	探明加控制储量/t	占总储量百分数 %
	大型	中型	小型	矿点	合计			
岩 金	66	115	146	19	346	60.5	4109.7	67.29
砂 金	21	85	50	4	160	28.0	616.2	10.09
伴生金	15	28	21	2	66	11.5	1381.4	22.62
总 计	102	228	217	25	572	100	6107.3	100

引自潘辉逖(1994),截至 1993 年 6 月。

前为止已勘查了 7 个超大型矿床（陈纪明等,1997）还有一些大型金矿床如东北寨、东坪等可望经过进一步勘查达到超大型。由此可见在我国寻找大型、超大型富金矿床仍然是一项艰苦努力的工作。但同时我们也应看到，国外金矿的勘查深度比我国要大，国外最大勘查深度可达 1600~3500m 而我国多在 1000m 以内。这种勘查设备和技术上的差异，也是造成我国不能扩大矿床储量的一个原因，但也预示着我国存在超大型矿床的潜在可能。

鉴于目前我国超大型金矿床数量有限，在本次综合预测研究中将大型和超大型金矿作为同一目标进行建模和预测。

二、大型、超大型金矿床的空间分布特征

大型、超大型矿床一般可分为两类，即常规和非常规超大型矿床（涂光炽,1995）常规超大型矿床是指成矿机制、矿床类型和成矿物质与一般的大型、中型和小型矿床无明显区别，只是规模上大得多的矿床。其空间分布主要呈“面型”和“线型”非常规超大型矿床则是指目前尚未发现与其有类似成因和成矿物质的那一类规模巨大的矿床，在世界范围内几乎是独一无二、举世无双的。这类矿床空间分布一般呈“点型”。常规超大型矿床是主流，非常规超大型矿床则是少数。

我国的大型、超大型金矿的空间分布特征表现了以“常规”为主，“非常规”极少的特点（图 1-1）。由图 1-1 不难看出大型、超大型金矿主要分布在我国东部地区，西部地区较少，分布极不均衡。这自然表达了东部地区成矿条件较好，但并不意味着西部地区成矿条件较东部地区差，更多的原因是西部地区的地质工作程度低。也就意味着西部地区有更多的潜力去发现大型、超大型金矿。

在图 1-1 中表现的另一明显特征为大型、超大型金矿与中、小型金矿“密集成群”，存在“鹤立鸡群”的关系。这里的“鹤”是指数目有限的大型、超大型金矿而“鸡群”则是指与大型、超大型金矿空间分布和成因密切相关的中、小型金矿群。

大型、超大型金矿与中、小型金矿这种“鹤立鸡群”的关系在区域上常表现为“金属省”（C. J. Hodgson,1993）的特点。“金属省”的存在实际上表达了一个地区的成矿潜力（endowment）一般来说，“金属省”主要反映在“矿床密集区”中具有不同成因类型和不同成矿时代的矿床，是成矿潜力较大的地区。

大型、超大型金矿床形成的时间从太古宙至新生代，由稳定的前寒武老基底区到活动带都有分布。就目前勘查结果来看，产于寒武纪老基底和中-新生代活动带的超大型金矿床的比例较大，其产于老基底及其盖层中的矿床主要分布于非洲、美洲、亚洲、澳大利亚，以及我国的胶东等。中-新生代的超大型金矿主要沿环太平洋和地中海—喜马拉雅带以及蒙古—鄂霍斯塔克带分布，原苏联及世界其他地区在近几年相继发现了古生代的金矿，储量巨大，引起了人们的高度重视，这类金矿床主要分布于原苏联的乌拉尔，我国的天山、阿尔泰以及澳大利亚的本迪戈和巴拉腊特等地。

有关大型、超大型金矿床形成的研究成果表明，矿床成因与一定层位、构造及岩浆等关系密切，故其空间分布也受这些因素制约。就层位而言，其主要作用是为金矿的形成提供充足的矿质来源。能够为大型金矿床提供矿质的一般是含金较高的地层，岩石的含金性统计结果表明，在各类岩石中，基性侵入岩和喷出岩含金最高，其次是中性喷出岩。由这些岩石组成的含金有利地层主要有：①太古宙喷出的大面积基性火山岩带；②元古宙形成的中基性火山

岩和元古宙盆地或凹陷区堆积的太古宙陆缘碎屑物；③古生代以后各次从深部上升的基性火山岩、次火山岩和由其分异的中性火山岩、次火山岩和侵入岩。

大型金矿床形成的大地构造环境，按板块观点，在其形成—发展—消亡几个阶段中均可形成大型金矿床。主要表现在：①地拱和裂谷阶段，主要形成与地幔上升的基性、超基性岩浆岩有关的伴生金矿床；②消减阶段，主要由于洋壳在俯冲带重熔，形成与钙碱系列火山岩带有关的火山岩型、岩浆热液型金及伴生金矿床；③碰撞阶段，主要形成由板块两侧含金岩系重熔而产生的岩浆热液型金矿床。

按槽台观点，主要表现在：①地盾边缘、地台隆起—拗陷区接触带、地台活化区构造—岩浆岩带及深大断裂活动地带（如岩浆热液型、变质热液型金矿床等）；②巨大火山洼地边缘、火山拗陷中的隆起地段、火山岩带巨大基底岩块边缘、优地槽发展早期海底火山喷发活动带等（如火山热液型金矿床）；③冒地槽、冒地槽与优地槽的交接部位的陆源碎屑岩—碳酸盐岩建造（微细粒浸染型和变质碎屑岩型金矿床等）。

构造运动及形态不仅为金矿的形成提供运矿、导矿和容矿空间，而且又是矿液运动的直接或间接动力。主要控矿构造表现在：区域深断裂、基底层与上覆层之间的构造不整合接触带及砾岩带、中基性火山岩及其区域变质产物中的糜棱岩带和其他种类挤压构造破碎带、多次褶皱构造的轴部与陡倾翼部、褶皱的层间滑动和两构造带的相交部位等。

三、从成矿系列的观点分析大型、超大型金矿床的共性

与世界上大型、超大型金矿床的成矿类型相比，我国金矿床在大多数的成矿类型中均有出现，但成矿规模上相差较大。另外，像变质成矿系列早前寒武铁建造型、古砾岩型（兰德式）大型、超大型金矿床在我国目前尚未突破，但我国有自己的特点，有产于前寒武系的蚀变岩型金矿床出现。

根据中国地质科学院成矿远景区划室对我国金矿的资源统计的结果表明（潘辉逖，1994）全国已探明的364处岩金矿床（占已探金矿储量的61%）主要集中于鲁、豫、吉、冀四省，均产于前寒武纪变质岩系分布区，其中山东省内占有32.7%。探明的主要大型、超大型岩金矿床类型有：

- (1)大型蚀变岩金矿床17处（其中有两个超大型金矿床）；
- (2)大型变质热液型金矿床8处；
- (3)大型渗滤热液型金矿4处；
- (4)大型火山岩型矿床3处；
- (5)大型岩浆热液型金矿床3处。

共计35处，其中有25处产于前寒武系地质背景上，占71%。

我国大型、超大型金矿床成矿时代同世界大型、超大型金矿床相比有自己的特点。虽然我国的大型、超大型金矿床多产于前寒武系地质背景上，但成矿时代以中生代为主（图1-1）。

但是如若从成矿系列的观点分析（程裕淇，1987），我国和世界大型、超大型金矿床相比还是有它们的共性。我国和世界大型、超大型金矿床主要还是以变质成矿系列为主，而侵入岩成矿系列、火山岩成矿系列和沉积岩成矿系列次之。

四、大型、超大型金矿床发现的途径

托里查德·西利托博士对过去 25 年期间环太平洋地区的贱金属和贵金属矿床的勘查及发现史研究后得出：①这些矿床中的 52%是在第二次世界大战前已有采矿或找矿活动的区域发现；②用地质方法发现的矿床主要是在生产矿山附近或者距生产矿山 2~3km 范围内的隐伏矿；③近 69%是在系统区域或地质调查中发现的；④除了地质填图、化探对 69%矿床的发现起作用，物探方法只对 13%矿床的发现起过作用。

根据国内外大型、超大型金矿床发现、勘查史，总结其发现的途径如下。

1. 广泛开采的砂金密集区发现大型、超大型岩金矿床

广泛分布的砂金矿床的密集区，有富金地质的金矿物补给来源，它们控制岩金成矿的有利的地区。美国某些大型金矿床是在广泛开采的砂金密集区发现的。我国著名的团结沟金矿床，解放前是采砂金的矿区。团结沟的砂金向源汇水盆地可达 1000km² 盆地内砂金矿床广泛分布，重砂矿物组合复杂，有多金属硫化物矿物，水系沉积物组合异常也比较复杂。

2. 已知大型、超大型金矿床的外围寻找姐妹矿

即在“鸡群”中寻找“鹤”。我国山东玲珑式、焦家式金矿床是一个典型地区，伴随矿床找矿模型的建立和成矿地质背景分析，不断在其周围发现新的金矿床，扩大了这一地区金的资源规模。美国内华达州的卡林型金矿床自 20 世纪 60 年代发现以后，在其周围也是不断发现姐妹大型、超大型矿床。

3. 应用地球化学发现大型、超大型金矿床

美国卡林型金矿的发现是根据地质构造格局的推断及元素地球化学中 As、Sb、Hg、Au 的组合异常确定的。我国的西南、川西北、湘中与桂西北的卡林型金矿床一般也都出现 Au、As (Hg、Sb) 异常，这是一个非常重要的规律。卡林型金矿因为是微细粒金矿床，一般没有金重砂异常显示，故地球化学方法有独特的功能。

4. 在中、小型矿床密集区中发现大型、超大型矿床

我国辽宁省盖县组片岩中广泛发现有含金石英脉型小型金矿床，如四道沟金矿床首先发现 1t 左右的含金石英脉金矿床，在开采过程中，发现有韧性剪切带金矿床，储量不断扩大。在这个典型实例的启发下，通过地质、地球物理、地球化学方法的综合信息进行区域评价，发现了辽宁猫岭大型金矿床。

5. 应用地质、地球物理、地球化学综合信息发现大型、超大型金矿床

在新的地质理论、成矿模式、综合信息成矿模型的指导下，采用有效的地质、地球化学、地球物理等探测方法，系统开展成矿区带的研究，获得了突破性进展。如赫姆洛金矿床的勘查史可追溯至 19 世纪 60 年代，百年的努力未获得明显进展，1977~1978 年安大略地质调查所在该地区做系统的地质调查及电磁、航磁甚低频电磁激发极化等种方法，最终确定该区的进一步勘查价值，经钻探工程勘查，探明金矿储量达 600t 以上。原苏联穆龙套金矿床的发现也是在详查地质研究基础上，配合地球物理、地球化学研究成果评价的。我国猫岭金矿床，根据矿石重砂、磁黄铁矿和自然金在矿物共生组合和黑云母蚀变的特点，采用高精度磁法和激发极化相配合的地球物理工作。研究钾化带和高磁高极化的组合异常提供地球物理信息研究，As、Pb、Cu、Ag、Au 组合异常提供地球化学信息，经过钻探，发现了该矿床。

五、我国形成大型、超大型金矿床所具备的条件

1. 含金建造

(1) 早前寒武纪(太古宙—古元古代)变基性火山岩建造,主要分布于我国中朝准地台的周边地区,如太古宙的迁西群、桑干群、阜平群、集宁群、鞍山群、八道河子群、乌拉山群、泰山群、胶东群、五台群、大别山群、康定群、昆阳群,古元古代的陈蔡群、建瓯群、冷家溪群、崆岭群等。这类含金建造大体上可与国外早前寒武纪绿岩地体对比,主要差别是我国的变质程度深、混合岩化强,其下部一般缺少超铁镁质火山岩——科马提岩。

(2) 太古宙—元古宙含金硅铁岩系建造,在我国中朝准地台边缘地带分布较广,如鞍山群、太华群、抢马峪组、胶东群、民山组和五台群。

(3) 元古宙—古生代中基性火山岩含金建造,主要分布在我国塔里木—华北地台及扬子地台边缘的地槽褶皱带或古板块消减带,如陕甘川三角区的前震旦纪碧口群,桐柏地区的中元古代熊耳群、毛集群,浙江绍兴—诸暨地区的元古宙双溪坞群,祁连山地区的前震旦系、寒武—奥陶系变中基性火山岩,内蒙古的下古生代白乃庙群、温都尔庙群,新疆西准噶尔地区的下石炭统基性火山岩等。

(4) 中-新生代钙碱系列火山岩含金建造,主要分布于我国东部沿海地区,滨太平洋构造带活动所致,如台湾第三纪火山岩,延边地区上侏罗统火山岩,辽西下白垩统义县组火山岩,冀北围场地区和皖南宁芜涇水地区上侏罗统火山岩,浙南—闽北遂昌—龙泉地区上侏罗统磨石组火山岩以及我国西南部优地槽褶皱带或火山岛弧带的上古生代火山岩等,如甘孜地区的三叠系图姆沟组,天山、北山和西准噶尔地区的中下石炭统南明水组、包古图组、少泉子组和白山组等。

(5) 元古宙—古生代变泥质碎屑岩、浊积岩含金建造,广泛分布于我国南方的江南古陆和云开隆起一带,如古元古界的双桥山群、板溪群、冷家溪群,粤西—桂东的震旦系、寒武系八村群、水口群,吉黑地槽褶皱系和中朝准地台北缘,如中-古元古代的麻山群、黑龙江群、新华渡口群和新开岭群、辽吉南部的古元古界辽河群、老岭群和集安群,内蒙古中部和冀东的中元古代二道洼群、白云鄂博群和朱杖子群,晋南的中条群和豫西的二郎坪群等。

(6) 显生宙含炭细碎屑岩-泥质岩-碳酸盐岩含金建造,主要分布于我国西南部川、黔、桂、滇和中部秦岭地区。含金建造形成时代早自震旦纪,晚至三叠纪,主要有川西、北地区的震旦系灯影组、下寒武统太阳顶组,黔东南的上寒武统三都组,秦岭地区的中泥盆统五道岭组,长江中下游地区的石炭—二叠系,黔西南的下二叠统顶部“大厂层”,上二叠统龙潭组、下三叠统夜郎组、紫云组,桂西北的中三叠统新苑组和百逢组,川西北的三叠统新都桥组、侏倭组和如年各组等。

此外,我国已发现不同地质条件和时代的含金、铀砾岩建造,如四川若尔盖隆扎一带下寒武统太阳顶群炭质硅质岩与板岩层间破碎带内已发现类似兰德金矿的矿床(点),其中邛崃金矿已达中型。

2. 成矿构造环境

(1) 我国属多构造单元的一个结合体,在不同构造单元的边缘和接触部均形成规模较大的构造—岩浆活动带和深断裂带,同时也控制着我国金矿床的成矿产出地带。如西伯利亚板块与塔里木—华北板块的接触部位形成的华北地台北缘、北天山—东天山、北山金成矿带,

塔里木—华北板块与华南板块接触带形成的昆仑—秦岭—大别及胶东金成矿带，扬子陆块与羌北—吕都—思茅微陆块接合带的金成矿带等。

(2)世界上两个巨大的中新代金成矿构造带，即环太平洋成矿构造带和阿尔卑斯—喜马拉雅成矿构造带分别横跨我国的东部沿海地区和喜马拉雅山—三江地区。虽然处于我国东部的太平洋板块弧后大陆边缘活动带没有成带产出的安山群带和 I 型 同熔型 花岗岩带以及没有成带产出的铜—金或铜—钼矿床，但我国东部大陆边缘广泛分布有前寒武纪含金矿源层，当这些矿源层被重熔形成重熔花岗岩时，就可形成矿床。在喜马拉雅碰撞带中，由于碰撞产生的巨大压力，会形成与碰撞作用有关的金矿床。

3. 含金岩浆岩建造

(1)同熔型花岗岩在我国主要分布于受亚洲和太平洋板块相对运动引起的东部活动带、某些板内拗陷带和深断裂附近，如延边优地槽褶皱带，长江中下游拗陷带、 郯庐断裂带华北地台北缘陆缘活动带和西南部叠接消减带。

(2)陆壳重熔型花岗岩主要分布在华北地台周边前寒武纪变基性火山岩和变泥质碎屑岩分布区，主要表现为含金老基底的重熔形成的金矿床。

据此，制定在我国寻找大型、超大型金矿床的目标如下：

金矿床类型除注意寻找已在我国占重要比重的构造蚀变岩型、岩浆接触带和微细粒浸染型以外，还要注意寻找在国外占有重要比重的花岗岩—绿岩带型、变质碎屑岩型和火山岩型金矿，以及在我国已发现线索但还没有突破的如铁建造型和金铀砾型金矿床的找寻。另外，大型、超大型金矿床的成矿类型分布具有明显的地区性色彩（涂光炽，1991）乌兹别克南天山穆龙套型金矿成矿带的一部分位于我国境内，因此属于这一成矿带的我国那一部分地带，是寻找变质碎屑岩型金矿床的主要远景区。

有利的含金建造分布区，主要为前寒武系的老变质岩分布区，包括早前寒武纪变基性火山岩和硅铁建造分布区；元古宙—古生代中基性火山岩建造和变泥质碎屑岩建造；中生代钙碱系列火山岩建造；显生宙，特别是泥盆纪、三叠纪含炭质细碎屑岩—泥质—碳酸盐岩建造；老基底之上的含金砾层等。

不同性质、不同等级的大地构造单元的接壤地区及单元中的深断裂带，且性质不同的单元在同一地区接壤地带以及多种成矿类型矿集中区的交汇部位，是极有利的金矿成矿远景区。

在中、小型矿床及矿点密集区，对地质、地球物理、地球化学和遥感等综合信息进行处理、解译、分析等手段 圈定和发现大型、超大型金矿床。

第二章 全国大型、超大型金矿床密集区 综合信息成矿预测及靶区评价

第一节 大型、超大型金矿床预测途径研究

一、预测途径的主要指导思想和基本观点

(1) 对于大型、超大型金矿床的全国性宏观预测,必须研究大型、超大型金矿床与中小型金矿床的关系,它们以金矿床密集区的形式构成客观的有机整体,往往以“鹤立鸡群”的形式分布。对于大型、超大型金矿床的预测和找寻,通常需要一个认识过程,在一些中小型矿床群中,有些是隐伏大型、超大型金矿床,但以中小型金矿床形式显示,通过工作和认识成为大型、超大型金矿床,国内外均有这方面实例。大型、超大型金矿床与中小型金矿床的关系,从统计观点分析,可视为金矿床密集区的集合。在金矿床密集区中,大、中、小型矿床集合可视为金矿床集合和控矿因素集合的有序上升变量的定量化研究问题。

(2) 对于大型、超大型金矿床的金矿床密集区的形成必须有足够的物质供应来源。地球化学上表现为区域上的高背景和强异常,地球物理上则表现为能够反映提供巨量物质供给的深大断裂和有利的赋矿条件,地质上则反映为有利的成矿元素,适宜的围岩条件和多期次的成矿作用。金元素物质供应源是多期、多阶段、多来源的,是长期演化、继承的结果。首要的物质供应源是前寒武系基底,其次是不同期次、不同阶段的构造岩浆。它们可以控制形成不同期次、不同类型的金矿床密集区。由三个以上不同成矿期,三种以上不同类型金矿床组成的金矿床密集区称为金属省。大型、超大型金矿床密集区多属于金属省组成的金矿床密集区。

(3) 大型、超大型金矿床密集区,与金元素地球化学剩余异常和砂金矿床密集区有一定的空间分布关系,它是物质供应源的信息显示。应用全国金元素地球化学数据,经过泛克立格数据处理,计算出金剩余异常,它们与已知大型、超大型金矿床密集区有明显的相对应关系,可以作为圈定金矿床密集区的边界条件之一。通过全国砂金向源汇水盆地图的编制可以看出,砂金矿床密集区和岩金矿床密集区也有一定的对应关系。全国共计划分大型、超大型金矿床密集区 40 处,以它们为模型单元,建立金矿床密集区综合信息找矿模型。对金异常密集区划分 65 个预测单元,进行大型、超大型金矿床密集区的成矿预测。

二、预测方法研究

1. 大型、超大型金矿床的综合信息预测及方法研究

课题的总体部署是开展三套比例尺综合信息成矿预测。首先开展全国 1:500 万比例尺综合信息大型、超大型金矿床密集区预测。通过 1:500 万全国预测可以迅速掌握全国金矿资源分布情况及大型、超大型金矿床密集区的靶区位置;第二对全国第一大金矿省——山东

省开展 1:50 万比例尺大型、超大型金矿床密集区预测,进一步深化研究大型、超大型金矿床密集区的靶区,达到逐步缩小靶区的战略指导思想;然后对于重点 1:50 万大型、超大型金矿床密集区的靶区开展 1:20 万~1:5 万综合信息大型、超大型金矿床密集区预测(山东鲁东胶莱盆地开展 1:20 万~1:5 万预测),使战略性预测和具体靶区评价相结合,达到科学预测和指导找矿的目的。

2. 模型单元的研究

关于以大型、超大型金矿床密集区为模型单元的问题。从矿床学角度研究大型、超大型矿床就是以矿床为单元,研究矿床本身的地质特征和成矿地质背景。综合信息矿床预测是以地质为先验前提,这是重要的理论基础。

从统计预测角度研究大型、超大型金矿预测,以地质体和矿产资源体为单元,研究矿体、矿床、矿田、矿化集中区的总体分布规律,在不同的预测尺度上,形成不同等级、不同序次的“金矿床密集区”它们均以“鹤立鸡群”的分布形式显示。

如大型、超大型金矿床由多个金矿体组成,在矿床中矿体储量大小是有序分布的。大型金矿体与中、小型金矿体的分布关系是“鹤立鸡群”形式。大型、超大型金矿田是由大型矿床、超大型金矿床和中、小型金矿床组成的,在大型、超大型金矿田中的金矿床的储量大小分布也是有序分布的。大型、超大型金矿床与中小型金矿床的分布关系也是“鹤立鸡群”的形式。大型、超大型金矿集中区应由大型、超大型金矿田和中小型金矿田组成,它们同样以“鹤立鸡群”的分布形式显示。因此,对于不同尺度的金矿资源体,应把它们作为建立不同尺度预测的模型单元,开展不同尺度的大型、超大型金矿预测。

大型、超大型金矿床密集区的单元划分问题是预测工作的一个新问题,也是十分关键的问题,它对以后其他矿种的大型、超大型金矿床预测是有参考价值的。

这种统计单元划分是有意义的,也是有规律的。从全国岩金分布图分析,明显可以看出大型、超大型金矿床和中、小型金矿床的空间分布是金矿床密集成群出现。从全世界岩金分布图上分析,同样显示大型、超大型金矿床和中小型金矿床的空间分布也是金矿床密集成群出现。我们认为大型、超大型金矿床与中小型矿床之间的空间分布关系,呈现“鹤立鸡群”的分布形式。这里的“鹤”是金矿床密集区中的大型、超大型金矿床;“鹤”往往不仅一只,大型、超大型金矿床往往呈现为姐妹矿床出现。这里的“鸡群”是指与大型、超大型金矿床相伴随的中、小型金矿床,它们是找寻和预测大型、超大型金矿床的重要线索。

3. 大型、超大型金矿床密集区的预测单元问题

通过对全国金元素地球化学图、金元素地球化学背景图以及金元素地球化学剩余异常图系综合分析,将会发现金剩余异常与金矿床密集区的分布具有一致性的对应关系。通过全国砂金补给源汇水盆地分布规律研究,同样显示与岩金矿床密集区有一定的空间对应关系。

我们以编制的全国汇水盆地网系图为底图,研究不同等级、不同序次的金水系沉积物异常和不同等级、不同序次的砂金和重砂异常。形成金矿床密集区与金异常密集区不同等级、不同序次的对应关系。故以金异常密集区为预测单元。

4. 大型、超大型金矿床密集区与金属省的关系

我们认为大型、超大型金矿床同中、小型金矿床组成的金矿床密集区应当看做一个有机整体来研究,研究它们的空间分布范围和边界条件,研究它们的单元面积大小、矿床储量以及大型、超大型金矿床与中、小型矿床之间的比例关系。应当指出不是所有的金矿床密集区

都有大型、超大型金矿床，他们与金矿床的成矿地质背景和研究程度有关（图 2-1）。我们将有大型、超大型金矿床的金矿床密集区作为模型单元，全国共提取 40 处（40 个单元），它们多分布于我国东部和东南部，而西部相对较少，这与研究程度有一定关系。我们应用金元素剩余异常和金汇水盆地（砂金以水系沉积物金剩余异常）作为边界条件，编制大型、超大型金矿床密集区分布图。对金矿床密集区的模型单元的金矿进行地质特点分析，它们往往由不同时代的金矿床和不同类型的金矿床组成。三个以上不同类型的金矿床和三个以上不同时代的金矿床组成的金矿床密集区称为金属省。因此，我们认为组成大型、超大型金矿床密集区的特点是从地质演化角度分析金属省，从矿床密集区的空间分布形式来看是“鹤立鸡群”，从矿床密集区的边界条件分析，是与金元素剩余异常相应，它们是三位一体的模型单元。大型、超大型金矿床密集区的分布图，是建立大型、超大型金矿床的因变量图层，也是建立大型、超大型金矿床综合信息找矿模型的基础性图系。

5. 模型图系与控矿因素分析

在模型单元划分的基础上，应用综合信息理论和方法编制建立综合信息找矿模型图系，进行控矿因素分析，它们对目标图层来讲是属于自变量图层。对各个图层进行空间实体划分并编制相应的属性表。现对各个建立大型、超大型金矿床密集区综合信息找矿模型图层分述如下：

(1) 研究目标图系

A 中国大型、超大型金矿床密集区分布图

(2) 建立综合信息找矿模型图系

B 中国大地构造分区与金矿床密集区关联图

C 中国前寒武系出露和隐伏基底与金矿床密集区关联图

D 中国构造岩浆岩分布与金矿床密集区关联图

a 中国中-新元古代古构造与金矿床密集区关联图

b 中国加里东阶段古构造与金矿床密集区关联图

c 中国海西阶段古构造与金矿床密集区关联图

d 中国印支阶段古构造与金矿床密集区关联图

e 中国燕山阶段古构造与金矿床密集区关联图

f 中国喜马拉雅阶段古构造与金矿床密集区关联图

E 综合信息构造与金矿床密集区关联图

a 中国重力构造解译与金矿床密集区关联图

b 中国航磁构造解译与金矿床密集区关联图

c 中国重、磁构造与金矿床密集区关联图

d 中国遥感影像构造解译与金矿床密集区关联图

F 中国莫霍面深度与金矿床密集区关联图

(3) 大型、超大型金矿床密集区及金异常密集区预测图系

G 中国汇水盆地网系图

H 中国砂金补给源汇水盆地分布图

I 中国金元素网格化数据等值线图

J 中国金元素地球化学背景图

K 中国金剩余异常地球化学等值线图

L 中国大型、超大型金矿床密集区综合信息预测单元及远景区分布图

全国性图件共计 22 幅。在编图的基础上,进行控矿因素分析,包括以下几个方面:

(1)不同大地构造单元对金矿床密集区的控制作用: 大地构造单元相对抬升区; 不同大地构造单元相结合部位,即构造单元边缘控矿; ③地壳消减叠接带、地壳消减对接带及走滑断层控矿。

(2)前寒武系基底构造对金矿床密集区的控制作用: 不同年龄前寒武系出露基底和隐伏基底边缘控矿; ②前寒武系在不同大陆及陆缘构造域上控制金矿床密集区。

(3)不同时代、不同期次岩浆岩对金矿床密集区的控矿作用: 不同构造域岩浆岩活动与金矿床密集区的关系,岩浆活动是构造长期演化、继承的结果; ②燕山岩浆岩活动期与金矿床密集区的关系,因为中国已知主要金矿成矿期为燕山期成矿。

(4)综合信息构造对金矿床密集区的控制特点: 重力构造对金矿床密集区的控制; 航磁构造对金矿床密集区的控制; 遥感构造对金矿床密集区的控制; ④综合信息构造对金矿床密集区的控制。

(5)深部构造对金矿床密集区的控制。

6. 大型、超大型金矿床发现途径研究

以大型、超大型金矿床密集区为模型单元和以金异常密集区为预测单元的技术路线是符合世界上已知大型、超大型金矿床的发现途径,追溯世界上诸多已知大型、超大型金矿床发现途径的,归纳起来有以下几个方面:

(1)广泛开采的砂金密集区发现大型、超大型岩金矿床 利用砂金追溯岩金这一最常用的找矿方法至今仍被找矿公司所沿用,其原因不仅是因为该方法简单、经济、直观,更主要是因为砂金在某种程度上反映汇水盆地金的补给能力。具有广泛分布的砂金矿床密集区,表明该区有富金地质体的金矿物质补给来源,是岩金成矿的有利地区。我国著名的团结沟大型金矿床就产在砂金密集区内,其砂金向源汇水盆地面积可达 1000km²。盆地内砂金矿床广泛分布,重砂矿物组合复杂,有多金属硫化物矿物,水系沉积物组合异常也比较复杂。团结沟次火山岩金矿床位于向源和侧源次一级汇水盆地中。

(2)在已知发现大型、超大型金矿床外围找寻姐妹矿床 应用类比的方法,通过研究对比地质成矿条件,在已知矿床外围寻找类似矿床是地质上常用的和有效的找矿方式之一。我国山东省玲珑焦家式金矿床是一个典型地区,伴随玲珑式、焦家式金矿床的找矿模型和成矿地质背景分析研究的不断深入,山东省境内不断发现大型金矿床,扩大了山东省金矿资源潜力。美国内华达州卡林型金矿床自从 20 世纪 60 年代发现以后,也在不断发现姐妹矿床。这正反映了大型、超大型矿床的“线型”或面型分布的特点。

(3)应用地球化学方法发现大型、超大型金矿床 地球化学方法是一种直接和有效的找矿方法,尤其是 20 世纪 70 年代末期以来,随着金分析技术水平的大幅度提高,使得地球化学家认识和识别新类型金矿和预测盲矿有了长足进展。美国卡林型金矿床的发现是通过推断地质构造格局和研究元素地球化学中 As、Sb、Hg、Au 的组合异常而确定的。我国的西南、川西北、湘中与桂西北的微细浸染型金矿床一般也都出现 Au、As(Hg、Sb)异常。卡林型金矿床因为是微细粒金矿床,一般没有金重砂异常显示,更没有明金显示,故地球化学方法在此型矿床的预测中有独特的作用。

(4)在中、小型金矿床密集区中发现大型、超大型金矿床 大型、超大型金矿常处在中、小型金矿密集区中。实际找矿工作往往是首先发现中、小型金矿床，再通过多年细致的工作后有可能突破发现大型、超大型金矿。如我国辽宁省盖县组片岩中广泛发现有含金石英脉型的中、小型矿床 四道沟金矿床就是其中之一 即储量为 1t 左右的含金石英脉型金矿床。但在开采过程中，储量不断扩大，并发现新类型金矿床，找到了猫岭大型金矿。

(5)应用地质、地球物理、地球化学综合信息发现大型、超大型金矿床 综合地质、地球物理、地球化学方法强调在新的地质理论、成矿模式、综合信息成矿模型的指导下，采用有效的地质、地球化学、地球物理等探测方法，系统开展成矿区、带的研究，是近些年矿产资源预测普遍采用的有效方法之一。如赫姆洛金矿床，其勘查史可以追溯至 19 世纪 60 年代 虽经百年的努力，并未获得明显进展。1977~1978 年加拿大安大略地质调查所在该区进行系统的地质、地球物理调查工作，并进行综合研究最终确定了该区的进一步勘查价值，经后来详细勘探该区金储量达 600t 以上。

我国辽宁猫岭金矿床的发现也是综合地质、地球物理、地球化学找矿的范例。该区地质信息主要反映矿石中的毒砂、磁黄铁矿和自然金的矿物共生组合和黑云母化蚀变的特点；地球物理信息则反映高精度磁法和激发极化的组合异常，其主要用于研究钾化带的高磁高极化；As、Pb、Cu、Zn、Ag、Au 组合异常则是地球化学信息的具体表现。将地质、地球物理、地球化学综合后的结果经钻探验证，确定了 52t 黄金储量的猫岭金矿。

在大型、超大型金矿床的成矿理论研究和大型、超大型金矿床的发现历史研究基础上，提出了大型、超大型金矿床的预测途径和预测方法。

第二节 全国大型、超大型金矿床密集区 综合信息找矿模型的建立

一、综合信息找矿模型的概念

(一)地质、矿产预测工作的基本特点

1. 地质工作程度和研究程度的不平衡性

从全国来看，地质工作程度和研究程度都是不相同的，我国东部研究程度高，而西部研究程度低。一些地区研究程度、工作程度很高，已积累了大量的地质资料、物化探资料，提出了较深入的认识；另一些地区则相反，研究程度低、工作程度低，认识程度也相对低，这是一种正常的合理现象。因为我们总希望把有限的资金、人力、物力投入到最有希望、最有经济效益的地区，在较短时间有所发现，产生明显经济效益。其结果造成不同地区研究程度和工作程度的不平衡性。因此，只能从预测方法上找寻解决问题的方法和途径。

由于地质工作程度和研究程度的不平衡必然表现在地质资料水平的差异性。另外一种原因随着时间的延续，地质科学不断的向前发展，地质理论的更新和测试水平的提高，也会显示出信息水平的不平衡性，这也是正常合理现象，也只能通过方法和技术路线解决。

2. 地质观察研究的不统一性

自然界中存在的大多数地质现象是地质作用的记录，是客观的事实。但由于专家们的历不同，工作方法不同，看问题的角度不同，以及验证的手段不同，因此对同一种地质现象，

可以得出不完全相同的结论，乃至完全相反的结论，这也是正常的现象。这种观察研究的不统一性，也是地质科学发展的动力，它将促进地质科学向前发展。只有全面分析各种观点标志依据，方能较客观地反映地质规律。这也是预测技术路线问题。

3. 物探、化探、遥感信息的多解性

通过矿石与围岩性质不同，产生不同的物理性质差异，将产生不同的物探异常；如果在元素组合与化学性质上有差异，将产生化探异常，这是大家都知道的常识。相同等级的差异将产生相同强度的异常。这种差异是可以由不同的矿石、围岩之间产生。因此，不同的矿体和围岩之间有相同等级、相同性质的差异将会产生相似的异常，是一种正常现象，必然产生多解性。

应当指出，地质体和矿产资源体本身也是不均匀的，同一地质体和矿产资源体的内部也有岩石和矿石之间的差异性，故同一地质体和矿产资源体也可以产生不同的物化探异常，这也是正常的。

不同地质体和不同的矿产资源体可以产生相似异常，同一地质体和同一矿产资源体也可以产生不同异常的现象，这是预测工作常遇到的难题，也必须探索合理的技术路线，是预测工作的大问题。

4. 地质体和矿产资源体的个性和共性问题

大量地质研究工作表明，地质体和矿产资源体，由于研究区地质特征不同，很少有完全相同的地质体和矿产资源体存在，这是它们的个性显示。但通过大量地质体和矿产资源体统计分析、分类、类比、求异，将会发现它们有统计性规律，应用这种规律去认识问题，它们的结果总是在某种概率意义下的结论。

现在广泛应用计算机技术，将可以求得地质科学统计性的规律。

(二) 成矿模式和综合找矿方法的发展与综合信息找矿模型

综合信息找矿模型的提出是有其历史过程的，是矿产地质学和综合找矿方法发展的客观产物。大约在 20 世纪 40 年代，原苏联学者 C. C. 斯米尔诺夫、Ю. A. 毕利宾等对矿床生成规律的研究，奠定了成矿规律学的基础，为地质找矿提供了科学预测的理论；我国程裕淇、陈毓川等提出的成矿系列理论，使矿产预测工作更加实用化，它对各种信息的综合解释提供了理论依据。

地球物理信息、地球化学信息和遥感信息在矿产预测中的应用，以及计算机技术的应用，大大推动了矿产预测工作的发展。

综合找矿方法和理论发展过程中，特别应当提出的是在 20 世纪 60 年代初原苏联学者 B. И. 克拉斯尼科夫等，综合了各国找矿勘探实践经验，从矿床合理普查角度，提出了根据矿床地质、地球物理、地球化学特点合理应用综合找矿方法的思想。他强调矿石物质成分和围岩物质成分的差异是矿产普查勘探的基础。根据矿床地质、地球物理、地球化学特征，提出了合理矿产普通勘探类型划分等，但尚未上升为成矿预测的模型。

由于矿床学的发展，特别是斑岩铜矿成矿模型的总结，使矿床成矿模式研究得到迅速发展。所谓成矿模式，是在深入解剖个别矿床，特别是典型矿床研究的基础上，力图从本质上掌握矿床形成的全过程，掌握控制矿床形成的成矿地质条件和控矿因素，从而能对某一类矿床的形成过程进行统一的理解和解释。从而使地质找矿工作发展到模式类比找矿和评价。斑岩成矿模式研究的发展，又引起了层控矿床模式出现，以及在我国进行了玢岩铁矿模式研究