成矿预测研究中值得重视的几个问题

武汉地质学院　范永香

地质勘探工作要做到按客观地质规律办事，实现地质工作的调整和工作重点转移，扭转找矿勘探后备基地不足的被动局面，进行以矿产预测为中心的全国资源规划，具有极其重要的战略意义。为了不断提高找矿效果，选准远景区，抓准最有远景的地段和矿点是非常关键的。要做到这一点，首先应在成矿规律研究的基础上，进行成矿预测，以避开在无远景地段和矿点上纠缠徘徊，从而大大提高找矿勘探的效果。

成矿预测可以理解为在辩证唯物主义指导下，在地质综合研究、特别是成矿规律研究基础上，运用适合本地区的理论和假说，采用合理有效的途径和方法，对找矿远景做出预测评价，并在实践中不断验证检查。成矿预测的基本思路是查明矿床形成的条件和规律而预测矿产；预测的基础是成矿理论和成矿规律研究，预测的基本方法是类比法（主要控矿因素地质特征类比、矿化类型类比、矿化信息类比等）；预测大致程序是在广泛收集资料的基础上，对各种资料进行辩证综合类比，圈出不同级别的远景区，对其中远景最好的进行验证评价。预测的种类按工作精度和要求不同，通常分为区域性预测和局部预测两种，前者指大面积的中小比例尺预测，主要任务是圈出进一步找矿的远景区；局部预测，一般是在已知矿区的外围和深部进行预测，要求预测到矿田、矿床、矿体，具体指导施工。

成矿预测工作是一项难度大、探索性强、高度综合的工作，它几乎涉及整个地质领域和探矿技术领域。成矿预测的基本做法是，以一定的地质理论为指导，编制反映本区成矿特点的各类预测图。所有用于区域地质和矿床地质研究的方法和手段，均可直接、间接地用于预测，但成矿规律研究是个关键，各种具体方法均为成矿规律研究提供资料。成矿规律共性是预测类比的基础，要提高预测的精度则要花大力气研究每个预测地区的个性，只有一般规律，不深入分析各个地区的具体规律，预测的效果照例不好。地质上没有一成不变的万能模式，往往因地而异，故特别强调辩证地综合类比。另外涉及到一些地质基本理论，迄今并未得到完善解决，亦影响预测水平的提高。

成矿预测的进展，主要决定于以下三方面的进展：①成矿地质理论方面的进展，这是基础，不同成矿理论指导，则有不同的预测方向。对预测地区各种资料进行综合成矿规律分析时，关键在于找出各种地质因素与成矿作用的本质内在联系。各类成矿模式的建立，试图反映这方面的成果。还包括工业上对矿产资源利用发展趋势，如注意一些大矿的预测、新矿床类型的预测、一些潜在矿产的预测、成矿理论的新进展等。

②预测信息的不断扩大，从地表的各类矿化标志，到遥感遥测信息，各类统计信息研究等，要求地质人员对地质现象要从地质理论高度进行创造性的思考，不少大矿的发现，往往是从不显眼的微小信息开始的，同时也要求地质人员具有专业方面的素养和较高的基础理论知识。

③随着预测技术方法和手段的不断完善与提高，目前苏联强调以系统区域地质调查为基础的综合地质分析和成矿规律研究。而一些西方国家则强调遥感遥测技术和统计分析方法的应用。局部预测苏联强调矿床分带规律的研究和应用，一些西方国家强调建立成矿模式指导预测，这些都是值得注意的动向。我们要结合我国的实际，摸索解决问题的办法。

下面就成矿预测中，以成矿规律分析研究为中心，提出所涉及到的几个地质方面的问题，供工作时参考。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

成矿理论和成矿规律研究

成矿理论和成矿规律研究是成矿预测的基础，成矿规律研究深入了，远景区自然就选准了。

成矿规律可以理解为矿床形成条件及其时空分布规律，也就是矿床形成的空间、时间、物质三方面内在联系的总和。成矿规律的分析往往从成矿的空间展布、时间分布、物质成份的共生和演化三个方面进行综合分析。地质资料的综合和预测图的编制，要紧紧抓住成矿物质运动的时空分布规律，并用以指导预测。

矿化的空间展布在预测中具有首要的意义，目前国内外多以构造因素为中心进行研究，构造因素同时控岩控矿，与不同的构造级别相应而划分不同级别的成矿带（区）、矿带、矿田、矿床。不同级别规模矿床带状分布规律，在预测中具有重要意义，引起了普遍的重视。

从时间上分析成矿作用的历史演化，与地壳构造发展阶段相结合，划分不同成矿期与矿化阶段。对外生矿床表现为明显的地层控制，对内生矿床同样是重要的，如我国东部主要是燕山期成矿。就某个矿种而言，成矿集中在地质历史上某几个时代，如内生金矿床主要集中在前寒武纪成矿，这是众所周知的事实。

成矿物质研究，从划分不同地壳类型、区域主要岩石类型到分析不同矿床类型及其物质共生组合规律，用矿物岩石、地球化学方法，研究参与成矿作用的物质组成，包括各种矿物岩石组份分析，稳定同位素测定，包裹体成份研究等，从而划分各种不同成矿建造、地球化学场，分析成矿物质的可能来源。

区域性预测和局部性预测，由于精度不同，成矿规律分析时其侧重点有所不同，区域性成矿规律分析重点是成矿带和矿化集中区的划分和圈定，从而为找矿指出战略远景区。而局部性预测，主要在研究程度较高的已知矿床外围或深部进行预测，矿床分带和矿田构造的深入研究具有首要的意义。成矿规律分析的重点在结合不同矿床类型，比较精确地建立成矿系列和成矿模式而指导对矿田、矿床以至矿体的预测。现就上述两种情况，分别简要述及值得注意的一些动向。

区域性成矿规律分析，苏联进行工作较多，基本上以不同地质构造单元而划分成矿带（区），次一级构造划分次一级矿带或矿田。在构造观点上，传统的地槽地台观点仍占统治地位，基本沿用H.斯蒂勒（1939～1950）、Ю.А.毕力宾(1955)的基本观点，侧重于地槽区成矿规律分析较多，联系地槽发展的不同阶段，每个阶段有不同构造特点、岩浆活动和沉积建造，与之相应的有不同的内外生矿床形成。В.И.斯米尔诺夫强调了不同类型地槽的划分，分地槽为亲玄武岩地槽和亲花岗岩地槽，各自成矿特点有很大差别，分别以乌拉尔和维尔霍扬为代表。前者早期岩浆活动强烈，晚期岩浆活动较弱，以亲玄武岩的铁、镍、铬、铜（金）矿床为主。后者相反，早期岩浆活动较弱，晚期岩浆活动强烈，以亲花岗岩的金、银、锡、钨、铅、锌、锑矿化为主。还将地槽构造带详细划分许多构造带，同时也承认地槽区成矿的多旋回性。他们比较重视我国陈国达教授提出的地洼成矿分析。不同程度上接受了板块构造观点。

美国等西方国家，重视板块构造及其对成矿的控制，特别是消亡板块边缘俯冲带对成矿的控制，用在南北美滨太平洋地区预测斑岩铜矿带获得成功。现在有趋势将板块构造理论与地槽地台构造理论结合起来，分析区域成矿规律，并在不同程度上为苏联和我国学者所接受。

深断裂对成矿的控制，引起了一些人的重视(M.A.法沃尔斯卡娅等,1976)。特别是深切地幔的断裂，往往多期活动，同时控岩控矿，是地幔物质上升的通道。有时这种断裂表现为一系列断裂组成的断裂带，围绕深断裂形成矿带，大矿分布在深断裂交汇点或与次级断裂交叉点上。随着资源卫星在地质勘探中的应用，利用其易于了解概貌和一定“穿透”能力的优点，大大提高了线型构造的研究水平。发现深断裂带的发育往往带有全球性的规律。我国学者张文佑教授强调断块构造，并按断切深度将各类断裂进行系统分类。我们最近注意到卫片资料和部份区域物探资料，在我国存在一系列近东西向和近北北东向深断裂系统，在构成我国大地构造格架中起重要作用，其中尤以秦岭—大别近

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

东西向深断裂为界，分我国为南北两部份；贺兰—龙门横断深断裂为界，分我国为东西两部份，最为重要；构成主要构造格架，形成主要岩浆岩带和一系列断陷盆地，构成了不同的地球化学区。各类断裂的广泛发育，不仅作为成矿物质的通道和容矿空间，而且是成矿物质形成驱动的重要因素，可否按深断裂系统进行区域成矿分析，划分不同的成矿区，值得研究。不管那种构造学派，都认为各个断裂体系的复合交汇是成矿的重要有利部位。成矿规律分析时，首先抓构造，构造中首先重视断裂对成矿的控制，是极为重要的。

有关大比例尺局部性成矿规律研究，多从已知矿床出发，深入到不同矿床类型，在详细的矿床地质研究基础上，建立成矿模式指导预测。美国这方面报道较多，如卡拉马祖铜矿就是借助于斑岩铜矿的蚀变模式，结合断裂性质分析而发现的。亨德逊钼矿，是从已知相邻克莱梅克斯钼矿研究，建立了成矿模式，从岩浆多期活动、多期成矿而发现的。苏联近年来强调矿床分带规律研究在局部预测中的重要意义。为了查明矿床分带规律，需要深入研究矿田矿床构造，岩体形态、产状及围岩蚀变，配合系统化探工作，确定隐伏矿体的预测标志。

国内冶金系统在局部大比例尺预测方面，取得了不少可喜的成绩，如个旧、大厂、湘西汞矿、夹皮沟金矿等都总结了经验，取得较好的预测效果。根据云锡地质勘探资料（1978），个旧大致的做法是从多方面对矿床地质进行比较深入的研究，建立成矿模式而指导预测。从岩浆控制分析岩体与矿化的联系，确定岩体含矿性的标志。对岩体成矿专属性分析中，强调了岩体含碱度和挥发份的研究；现已查明个旧与锡矿有关的花岗岩体含氟量与锡的探明储量呈正相关联系，锡矿化好的岩体含氟（ppm）大于2000，矿最好的老卡岩体含氟量在2450～3750，其次为马松岩体为2040～2260，成矿差的岩体均在1500以下。另一方面金属成矿元素在某些造岩矿物中的含量亦可作为岩体含矿性评价标志之一，如个旧花岗岩中黑云母、角闪石、白云母中锡的含量，可以作为岩体含矿性的标志（赣、鄂一些斑岩铜矿床中，斑岩体含氯量和岩体中云母含铜量亦有类似的情况）。从构造控矿方面，建立了控矿构造模式，将所有矿化分为八类（图1）。围绕背斜不同部位构造性质不同，而有不同形态产状的矿化。翼部主要是层间滑动和破碎带控矿，矿化面积大，而连续性差；轴部层内裂隙控矿，多为脉状或细脉带矿体；倾伏端为剥离构造控矿，矿体呈多层次扁豆体产出。用系统的化探原生晕资料，从主要成矿元素和伴生元素围绕岩体呈规律分布进行了矿床分带的研究，从岩体接触带向上在垂直方向分为五个带：①Sn、Cu、W（伴生Bi、As）—②Sn、Cu（伴生W、Bi、Mo）—③Sn、Pb（伴生Zn、Ag、Mo）—④Pb、Zn（伴生Ag、Cd、In、Mn、Sb）—⑤Fe、Mn（伴生Pb、Zn、Ag、Sb）。元素分带有力地指导了对隐伏岩体和有关矿化的预测，收到很好的效果。

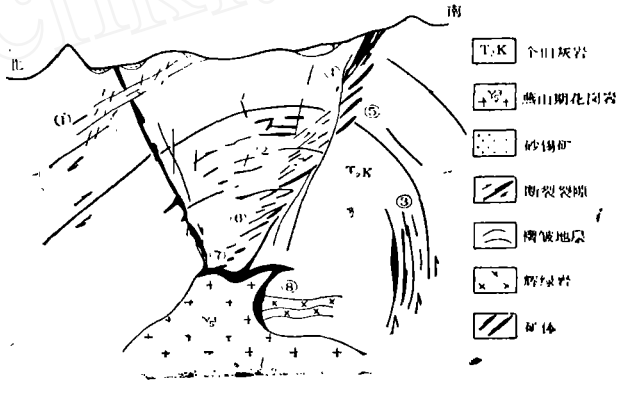

图1　个旧矿区控矿构造模式图
（据云锡地质勘探队）

①马拉格式：产于背斜翼部，皆条状矿体层内裂隙配合层间滑动控矿；

②弯子街式：产于背斜轴部，层状、脉状、似层状矿体，层间剥离和张裂隙控矿；

③松树脚式：脉状矿体，近南侧倒转翼，压扭性层间断裂控矿；

④尹家洞式：背斜轴部纵向压扭性断裂破碎带控矿；

⑤老阴山式：压扭性断裂产生的多字形裂隙组控矿；

⑥18号式：产于张扭裂隙带的矿体；

⑦5号式：张扭断裂和接触带控矿；

⑧新山式：正接触带矿体

为了使成矿规律研究深入下去，加强成矿理论的研究和探索是极为重要的。一个地

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

区的找矿工作要想打开局面，首先应在理论上有所突破，尤其是工作程度较高的地区。成矿的理论进展，直接与成矿规律和成矿预测有关，对成矿作用的不同认识，决定了不同的预测方向、预测方法和所要研究的侧重点也各不相同。近十几年来层控观点，火山成矿观点，花岗岩化成矿观点，成矿作用的叠加改造等观点的提出，无疑是成矿理论研究的很大提高。有关成矿作用的认识，普遍强调了成矿物质的多来源、矿化的多成因、成矿的多阶段，重视了成矿作用的后期叠加改造作用。从而扩大了各类矿化的预测领域，打破了矿床按内生、外生、变质的成因分类，提出成矿系列概念，从成矿作用的整体出发，进行综合预测。

有关层控观点，在国内已引起普遍的重视，在不同程度上用于预测实践，并取得了初步成果。如云南东川式铜矿五十年代围绕岩浆岩体找矿无重大突破；六十年代考虑到断裂构造对成矿控制，按构造找矿，取得了一定进展；七十年代以来用层控观点指导找矿，同时考虑层位、岩相、构造控矿，找矿工作取得了较大进展：围绕整个康滇地轴，由南而北，从易门东川到安通，600公里范围内，因民落雪层中均有矿化，打开了找矿的局面。考虑到典型的含铜砂页岩层控矿床的相变规律，如赞比亚、扎伊尔铜带，在赞比亚矿好的是含铜砂岩，北延进入扎伊尔相变为含铜白云岩，前者矿大质优，后者较差。我国东川、易门铜矿相当于扎伊尔含铜白云岩相，应当注意向古剥蚀区方向追索更有远景的含铜砂岩相矿化。湘西汞矿的例子也很类似，开始从低温热液观点出发，只注意沿构造找矿，现在同时注意了地层岩相的控制，取得了较大的进展。层控矿床的概念，实质上指的是受地层岩相控制的复合矿床，包括同生沉积和后期改造的一些矿床。矿体形态可以不完全是层状，决定于后期的改造。层控矿床远较沉积矿床范围扩大了，但仍具外生沉积矿床的基本特征。受一定层位岩性控制，与一定古地理环境有关。廿五届国际地质大会按围岩岩性分为六类：页岩组合中的Cu、Pb、Zn、Ni、Mo、U、P、V；灰岩、白云岩中的Cu、Pb、Zn、Hg、Sb；砂岩中的Cu、U；变质岩中的Fe、Cu、Au-U；砾岩中的Au-U；海相熔岩中的Fe、黄铁矿及黄铁矿型铜矿。

有关火山成矿理论，四十年代只注意了黄铁矿型铜和多金属，到五十年末陆续发现许多重要矿床，包括Fe、Cu、多金属矿床。整个火山活动的不同阶段均有矿床的形成，包括熔岩喷出、气液作用、超浅成的次火山岩体、火山沉积等都与矿化有一定联系。值得注意的是从有关火山矿床研究，重新提出矿浆成矿说，认为智利北部普纳高原的拉科铁矿，我国宁芜地区的部份铁矿，金属矿物直接从岩浆中晶出成矿。有些矿床地质工作者注意到火山沉积层控矿床的下面有蚀变伴随的脉状矿化和交代型矿化的存在。从日本黑矿研究提出，认为下面的细脉状矿化是上面层状矿化提供物质来源的通道。如日本秋田县北部释迦内黑矿一号矿体剖面极为典型（图2）。上部为层状黑矿（包括下部的黄矿和黄铁矿），向下为石膏层、酸性火山角砾岩。在石膏层和角砾岩中有脉状矿化与上面层状黑矿相连。脉状矿化从上而下呈有规律的垂直带状分布。从而有人认为块状硫化物矿床与斑岩铜矿之间存在某种成因联系。在国外（如澳大利亚和加拿大等）发现了许多特大型的铅锌有色金属矿床，认为都与火山沉积有关。如澳大利亚的布罗肯-希尔，Pb、Zn金属储量大于5500万吨，麦克阿瑟河 Pb Zn金属储量达2584万吨，芒特艾萨 Pb、Zn金属储量达1178万吨。这种情况在我国尚未发现，值得在以后工作中注意。

有关花岗岩类与矿化的联系，情况极为复杂，成矿专属性变化很大，普遍认为与花岗岩有关的矿化与不同成因的花岗岩不断演化分异有关，具有多次活动、多次成矿的特点，而且趋于活动晚期成矿。在花岗岩为主地区进行成矿预测，从岩浆多元论出发，区分不同成因花岗岩，分别研究其含矿性，是极为重要的。

矿源和矿化集中区

一些重要的矿床往往集中出现在不大的范围内，形成矿带或矿化集中区，国内外实例很多，这是无须证明的事实，问题是要探索其形成机制，以指导预测找矿。在区域性预测中能正确地圈出矿化集中区，作为区域预测的远景区，是非常有意义的。如我国南岭地区是个W、Sn、稀有（Nb、Ta、Be、

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

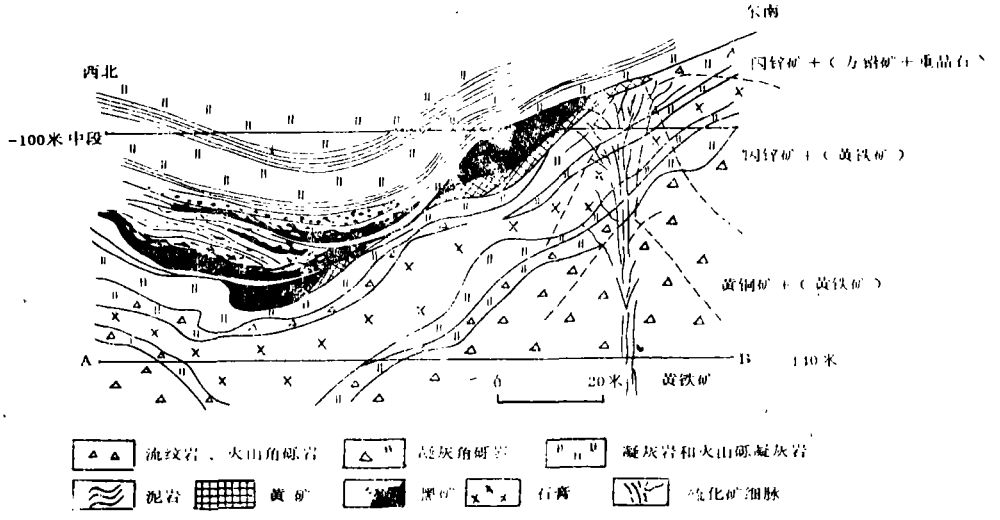

图2　日本秋田县释迦内黑矿1号矿床地质剖面（据库原良道修改）

Li）的矿化集中区；长江中下游地区是个Fe、Cu矿化集中区；湘黔是Sb、Hg矿化集中区；川南是Fe、Cu矿化集中区。国外也有许多典型的例子，如美国亚利桑纳是Cu的集中区；苏联乌拉尔土尔盖是Fe、Cu集中区；南非布什维尔一津巴布韦是Cr、Pt、金刚石的集中区；加拿大科迪勒拉是Cu的集中区等。一个矿化集中区可以包括几个主要矿带，矿化集中区对“就矿找矿”具有重要意义。

组成矿化集中区的矿床，可以是同期多成因的单一矿种，指成矿期相近多种类型矿床单矿种集中区，可以是多期多成因单矿种。前者如美国密苏里铁矿集中区，矿床类型包括岩浆矿床、夕卡岩矿床、热液矿床等，但成矿时间约在13亿年左右，在70×100平方公里范围内，由十几个主要矿床组成，总储量达数十亿吨以上的铁矿集中区。多期多成因的例子，如苏联乌拉尔土尔盖铁矿集中区，由十几个主要矿床组成，总储量大于50亿吨，矿床类型包括火山沉积、热液交代，直到伟晶岩型、岩浆矿床等，成矿时代从下石炭世到三叠纪。类似的铁矿集中区在世界上很多，如加拿大的拉布拉多，总储量达200亿吨以上，由750个主要矿床组成。澳大利亚的哈默斯利储量达145亿吨，由75个矿床组成。我国的鞍本、冀东也可作为铁的集中区，如鞍山地区在100×40平方公里范围内，有大小710个矿床，总储量达50亿吨以上。

形成矿化集中区的原因，人们推测与矿源有关；可能存在深部矿源层，没有充足的矿源，形成如此集中储量巨大的矿床是难以想象的。有关矿质来源的认识，除了地壳深部和地幔来源之外，现在不同程度上强调多数金属矿床的矿质来源，最初可能与同生沉积有关，随着地质环境的改变，可以重新富集成矿。如炭质砂页岩中普遍富Cu、Ni、Mo、V、U、Co等，白云岩、灰岩中富Cu、Pb、Zn、Hg、Sb等，这种初步富集的地质体，可能成为矿源层。在后期地质作用（包括岩浆作用）过程中富集成矿，象斑岩铜矿，有时岩体很小，而形成储量巨大的铜矿，很难解释，所以南京大学的同志提出矿化岩体和矿源岩体双层结构的设想。

关于矿源问题，是矿床学最基本理论问题之一，包括矿质来源和搬运矿质的介质两方面的问题，现在趋向于矿质和搬运介质都是多元的。目前认为矿质主要来源于地幔和地壳（包括深部和浅部）。R.迪茨（1964）提出加拿大肖德贝里镍矿是陨石成因的，即宇宙来源。B.И.斯米尔诺夫（1974）分矿源为三类：与玄武岩浆有关的壳下源，与花岗岩有关的地壳同化源和非岩浆源。有关矿质来源的认识，请阅下表。

同位素地质学的发展，丰富了矿质来源

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

矿质来源与矿床成因类型（据张秋生）

矿源	搬运矿物的介质		形成深度	矿床类型	矿床成因类型（主要的）	主要实例
	“岩浆”	硅酸盐熔体				
宇宙源				I	岩浆熔离铜、镍（铂）矿床	加拿大肖德贝里（？）
上地幔源	原始岩浆	硅酸盐熔体	深成	Ⅰa	深成岩浆结晶分异铂、铬矿床，岩浆熔离铜、镍（铂）矿床	中国红旗岭，南非布什维尔
			浅成	Ⅰb	金伯利岩中金刚石矿床，稀有元素碳酸盐矿床，安山岩（玄武岩）中的磁铁矿矿床	南非德兰士瓦金伯利岩，我国山东、辽东金刚石，坦桑尼亚碳酸盐中稀有元素，智利拉科铁矿
地壳深部源	重熔岩浆	硅酸盐熔体	深成	Ⅱa	碱性岩中稀有-磷矿床，伟晶岩矿床	苏联希宾，辽宁赛马，秦岭官坡
			浅成	Ⅱb	斑岩型铜钼矿床	德兴、玉龙斑岩铜矿，河南南泥湖钼矿
	岩浆热液	气水溶液	深成	Ⅳa	混合岩化热液矿床，夕卡岩矿床，中低温热液矿床	辽宁硼铁稀土矿床，湖北、山东的铁矿，江西钨锡矿，湖南桃林铅锌矿
			浅成	Ⅳb	高中低温热液矿床	智利铜电气石矿床，捷克矿石山五元素矿床（U、Ag、Bi、Co、Ni），自然金矿床
			地表及水下喷出	Ⅳc	块状硫化物矿床，硅铁硅锰古沉积矿床，海水卤水矿床	白银厂铜矿，塞浦路斯铜矿，日本黑矿，红海卤水，鞍山铁矿，印度锰矿
	变质热水	气水溶液		Ⅴ	磁铁石英岩中交代富矿，阿尔卑斯脉矿床	鞍山铁矿
	地表水	热水溶液		Ⅵ	灰岩（白云岩）中层状铅锌矿床	美国密西西比，辽宁北部某矿（？）
地壳表部源	地表水	水溶液	深部热水	Ⅶa	灰岩中层状铅锌矿	加拿大潘音泡特
			表部	Ⅶb	沉积矿床，风化矿床	

的认识，但问题远远没有解决，只停留在两大类来源是不够的，而且两大类来源往往存在过渡类型，具体到某个个别矿床的矿源分析更难予解决。

查明矿化的不同来源，在预测中具有一定指导意义，对地幔型来源的矿化，要注意在地壳薄、有深切地幔断裂附近的预测。这些地方的地幔物质易于进入地表附近成矿，如深大断裂的两侧、不同构造单元的邻接带、板块构造俯冲带、老基底长期出露的地方等。而对地壳深部源的矿化，要注意有关的岩浆活动、构造作用和变质作用，对花岗岩要力求查明不同成因的花岗岩体，注意花岗岩体的演化，趋向于晚期分异完全的岩体易成矿。同时分析可能存在的矿源层与矿化的联系。联系到地壳演化历史，老基底主要为地幔源的矿化，从元古代以后才有玄武岩和花岗岩两类岩浆活动。到晚元古代才有碳盐酸和生物作用参加。随着时间的推移，花岗岩浆活动逐步超过玄武岩浆的活动。联系到地槽发展三个主要阶段，早期主要是地幔源型矿化，到中晚期地壳源型矿化愈来愈重要，变为二者混合源矿化。而地台区则以各类混合源矿化为主。

在分析矿质来源时，还要联系成矿元素的地球化学性质。有了矿质来源还要有一定的地质构造条件，方可富集成矿。如金矿在地壳上极为分散，故要经多次叠加辗转，方可形成工业矿化，故金矿大部集中在变质岩区成矿，胶东、燕山、秦岭等地形成金的矿化集中区，就是这个道理。

有关矿质来源的判断，主要是同位素测

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

定、元素共生组合特点分析和地质类比。小范围可以从矿床分带蚀变类型，矿化和岩体构造的关系等分析做出判断。如多种岩体存在，矿化围绕某个岩体呈水平和垂直带状分布，则说明矿化与该岩体有关。系统测温及包裹体成份测定，矿物标型特征研究，查明矿液的流向，而说明矿液的来源。围岩蚀变交代作用分析，查明参予矿化的组份带进带出，有条件时进行定量计算，如某些夕卡岩铁矿，广泛存在浅色交代蚀变，形成铁镁质矿物分解而成的褪色晕，有些矿质是从围岩中获取的，在围岩中形成蚀变“负晕”。可见地质、地球化学的深入综合研究，乃是查明矿质来源的主要途径。

成矿系列和成矿模式

成矿系列指同一元素或相关的一组元素，以多种成因类型在同一地区出现的一系列矿化，或称成矿体系。多种成因类型矿化之间，彼此有成生联系，形成所谓“多位一体”、“同源多体”的矿化，是同一成矿作用，因不同的空间部位、不同的构造和围岩条件而产生不同形式的矿化。根据江西省地质局有关队的资料，赣东北城门山、武山一带的铜矿化，在斑岩体中为浸染状斑岩型矿化；在接触带则为夕卡岩型矿化；远离岩体存在受断裂和岩性控制的层状和脉状热液矿化。周围还可以出现铅锌矿化、黄铁矿矿化与之共生。这种情况在一个地区研究成矿规律进行成矿预测极为重要。城门山、武山一带1958年找铁，1962年以后主要找铜，开始找到的是夕卡岩型和热液型矿化，1974年以后发现斑岩型矿化，储量有大幅度增长，总结了“四带一面”的成矿规律，即断裂带、裂隙带、层间破碎带和接触带，不同岩性的界面是成矿的有利部位。

宁芜盆地的玢岩铁矿，远在解放前即开采上部的“南山式铁矿”，后来陆续发现了更为重要的凹山式、梅山式铁矿，储量也有大幅度的增长。经我院和有关单位协作，前几年进行了比较系统的研究，总结建立了玢岩铁矿成矿模式（图3），围绕有关次火山岩体不同部位出现不同的八种类型的铁矿化，在预测中可以从不同的地质条件而预测某类矿化的存在。

赣南钨矿由于围岩和构造条件的不同，可以出现夕卡岩型白钨矿和脉状黑钨矿，在硅铝质围岩中形成石英、黑钨矿化，而在碳

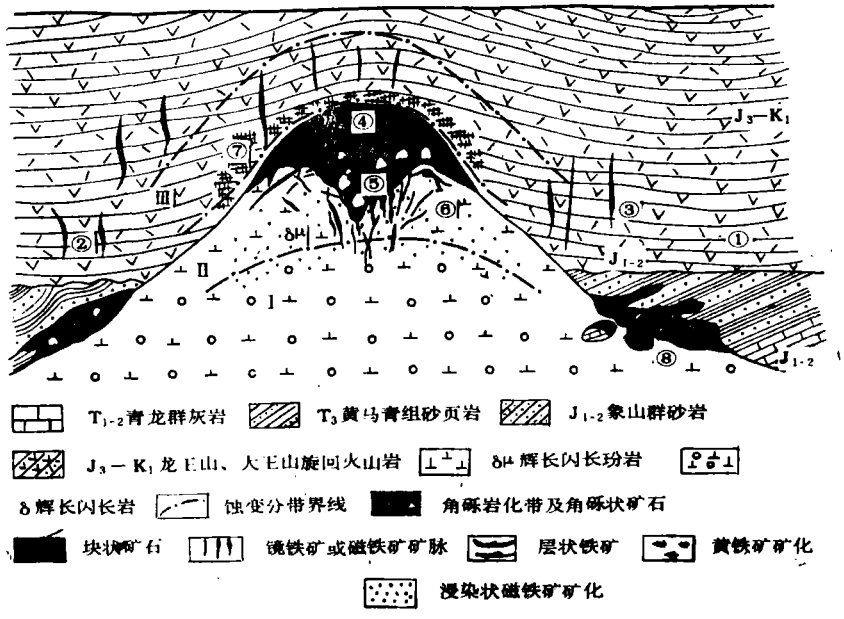

图3　玢岩铁矿成矿模式图

①龙旗山式；②竹园山式；③龙虎山式；④梅山式；⑤凹山式；⑥陶村式；⑦向山式黄铁矿；⑧凤凰山式、姑山式

Ⅰ.下部浅色蚀变带；Ⅱ.中部深色蚀变带；Ⅲ.上部浅色蚀变带

〔据宁芜地区铁（铜）矿床项目研究报告委员会〕

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

酸盐围岩中形成夕卡岩白钨矿化。铍矿化亦有类似的现象，硅铝质围岩（赣南）形成绿柱石为主的矿化，而在碳酸盐围岩则成香花石、日光榴石、金绿宝石为主的矿化（如湖南）。

美国西部蒙大拿比尤特铜矿，先采金，后采银，继而发现铜铅，开始认为是热液矿床，现在认为是斑岩型铜矿，可能也经历了认识不断深化的过程。

苏联乌拉尔土尔盖铁矿是由岩浆、夕卡岩、热液型、火山沉积以至伟晶岩型等一系列矿化组成的以铁为主的成矿系列。

外生沉积矿床，表现为不同的岩相变化而出现不同的矿化。

有成生联系的一组矿化，在同一地区出现，这种现象是极普遍的。提出研究成矿系列，摆脱了矿床研究中孤立的成因分类，而从成矿作用的全过程出发，考虑到不同地质条件对矿化的影响。在一个地区建立了成矿系列，可以由此及彼指导预测找矿。开始发现的矿化可能不是重要的矿化，但有可能导致更重要的发现。从研究矿物元素的共生到研究矿床的共生规律，对多种成因矿床进行综合研究。

成矿系列的研究，是从成矿的共同地质背景和统一成矿过程出发，深入揭示不同类型矿化之间的内在联系，实质上是同一成矿过程中，由于条件的变化而形成不同类型的矿化。不同类型之间往往是逐步过渡的，但在某一地区由于特定的地质条件往往以某一类型为主，其他类型居于次要地位。

有关建立成矿模式，近年来国内外文献广为见及，一般以简明的图表形式，对成矿地质特征、矿床形成机制进行高度的理论概括。它反映了控矿条件和成矿作用的本质联系，是成矿规律研究中值得重视的问题，在预测中具有重要意义。

建立成矿模式，要做大量深入细致研究工作，并在实践中不断补充完善，关键是新建立的模式是否真正反映了成矿规律客观实际。V.E.麦凯尔维指出，过去十五年矿床研究的主要成就是建立了四个成矿模式，即斑岩铜矿热液蚀变模式、密西西比河谷古含水层模式、沉积型铜矿的萨布哈模式、日本的块状硫化物火山成因模式。可见成矿模式是集中反映了成矿规律研究的成果，可以依建立的模式指导预测。

地球化学场

为了进行深入的成矿规律研究，在成矿综合类比过程中，地球化学场类比愈来愈起重要的作用。地球化学场是指一定区域中化学元素的分布和分配情况及迁集活动历史。即一个区域的地球化学背景，首先反映在元素区域克拉克值与地壳克拉克值对比上，表现为某些元素在某一地区或某个地质体特别集中，有关矿床也较为集中。元素迁集分配的不均匀性，首先取决于区域岩石主要类型和地质历史演化，形成以某些元素相对集中的地球化学区。如前已提及的各矿化集中区的例子，也是不同的地球化学区。

区域地球化学场的研究，首先是各种成矿元素的丰度，各类元素的区域克拉克值变化，从而查明主要成矿元素的富集趋势、富集地区和富集地质体，划分出不同地球化学区，联系地质构造特点，查明不同元素特定的富集条件，用以指导成矿规律研究。

为了划分地球化学区，区域化探成果的系统整理具有重要意义。要充分利用已有资料为预测服务。区域化探资料，直观地反映了区域地球化学场的特征、主要区域性异常常与矿带、矿化集中区或主要矿源层相一致。同时也比较清楚地反映主要控矿因素与矿化的联系，易于指明区域找矿方向（地区和矿种、矿化类型）。可以起到迅速筛选靶区，同时为区域总的成矿远景估价和潜在矿产指明方向，从正常场—低异常区—高异常区—浓集中心—工业矿床，反映了成矿元素逐步的、多阶段富集的趋向。

某一特定的地球化学区，还表现了某些元素成矿的继承性很强；表现为同一组元素在不同时间以不同形式相继成矿；还表现在不同地质作用过程中辗转成矿。即从内生岩浆热液到外生沉积风化等不同地质作用过程中多旋回成矿。如康滇地轴的铁、铜矿化集中区，也是铁、铜的地球化学场，从老到新，铁、铜的成矿继承性很明显，从老基底大红山群与细碧角斑岩建造有关的大红山铁、铜矿和拉拉厂式铜矿，继之为满银沟式、鲁奎山式铁矿和东川式铜矿，再晚在盖层中形成沉积铁矿，在陆相盆地中形成含铜砂页岩型铜矿。同时还有受南北向深断裂控

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

制的与基性-超基性岩有关的岩浆型铜、镍硫化矿和钒钛磁铁矿矿床（力马河和攀枝花），形成规模巨大的铁铜矿带，集中了许多重要铁铜矿床。

在进行成矿规律研究和预测过程中，地球化学场分析对新的矿床类型和潜在矿产的评价起着重要的作用。新矿床类型的发现，往往首先是从地球化学场研究开始，从元素的富集趋势提出来的，而用类比法，新的矿床类型往往易被忽略。在不同类型矿带交汇处，不同成矿期重叠处，尤其要注意新矿床类型的发现。从成矿元素的富集趋势，易于指出潜在矿产的方向，如中南地区寒武系底部和部份志留系黑色页岩中，普遍富含Ni、Mo、V、U等多种元素，是很值得重视的潜在矿产。

地球物理场和深部构造

目前国外比较重视地球物理场与矿产分布规律关系的研究，覆盖区的预测找矿和深部矿的找寻尤为重要。利用区域物探成果，首先解决区域构造格架和深部构造，划分确定地壳类型、各壳层的厚度、莫霍面的起伏等，主要利用航磁、航放和重力地震资料。还包括古地磁和热流值的测定，古地磁在古地理研究中，用于恢复古纬度、磁极、赤道位置，是古地理图编制不可缺少的资料。测定地壳不同部位的热流值的变化，对研究构造岩浆活动和成矿作用都很有关系。全面地研究区域构造，各种物探成果的综合使用，是必不可少的。有些矿带的形成，用地表构造不足以说明其形成原因，往往不完全受地表构造的控制。从矿质来源分析，不少成矿作用与地幔或地壳深部来源有关，有的地球化学区和矿化集中区形成与上地幔不均匀性直接有关。因此美、苏、加拿大等国很重视深部构造的研究，美苏还设计了深达15000米深钻，以探求地壳深部的结构和构造。

苏联分析了有些矿带分布在莫霍面落差较大的地方，例如维尔霍扬—科累马矿省西部金矿带属之。地壳厚度与矿化也存在某种联系，如金伯利岩及有关矿化分布在地壳薄的地方。根据物探资料结合地质划分不同的地壳类型，并分析各类壳型与矿化的关系，如依重磁场可以分出玄武岩型和花岗岩型不同的地壳类型，前者为正重磁场，后者为负值，各有不同的专属矿化。如乌拉尔铜矿化在重力值最高处，而另一些地区稀有金属矿化与重力值低相一致。国内江西的成矿规律研究中，似乎已注意到该省南北两部属于不同的地壳类型。安徽用重磁结合预测火山岩地区铁矿，取得了些经验。

苏联分地壳为四类，各类有不同的矿化组合：（1）Fe—Mg质型地壳（乌拉尔），包括高加索、滨太平洋区，分布于大陆与大洋玄武岩连接处，主要是Cr、Ni、Co、Pt、Ti等矿化。发育绿岩带，基性-超基性岩发育，玄武岩厚达38公里，有很厚的细碧角斑岩建造，花岗岩很薄，过渡到洋壳即无花岗岩。（2）Si—Al质型地壳（远东），包括外贝加尔和维尔霍扬等，分布有很厚的硅铝层，主要是一些层控矿床和Sn、W、Pb、Zn、Mo、Au等矿化。（3）Si、Al—Fe、Mg质型地壳（哈萨克斯坦—阿尔泰），包括西外贝加尔，在玄武岩基础上形成，玄武岩较花岗岩为厚，花岗岩的成份复杂，以火山型含铜黄铁矿为主，同时有Pb、Zn、Co、Au、Hg的热液矿化。（4）Fe、Mg—Si、Al质型地壳（天山），硅铝层较厚，主要是与花岗岩活动有关的矿床，有Hg、Sb、Pb、Zn、Sn、Mo矿化，还有斑岩型铜矿。

我国从1954年开始航磁测量，目前大部地区完成了航磁工作（包括部份海域）、重力地震也积累了部份资料，已经利用这些资料对于以铁矿为主的金属矿床和石油、煤田等进行预测，还有待进一步加强。

本文在写作过程中，曾得到赵鹏大、翟裕生、卢作祥、邓永高等同志的帮助，在此一并致谢！

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net