

地质科技资料选编(一一九)

苏联矿产预测 与 预测普查组合

苏联矿产预测与预测普查组合

501

(2-2)

2954

地质矿产部情报研究所

一九八八年五月

目 录

编者前言..... (1)

预测中的建造分析

- 成矿理论和成矿规律研究中的矿石建造与地质成因模式.....Э.Г.季斯丹诺夫等 (3)
- 苏联成矿预测方法.....Д.В.龙德克维斯特 (7)
- 建造分析在预测研究中的意义.....Д.В.龙德克维斯特 (15)
- 地壳典型构造的含矿建造和矿石建造 Д.В.龙德克维斯特等 (31)
- 建造分析中决定含矿规模的因素.....Д.В.龙德克维斯特等 (41)
- 建造分析在矿床预测中的意义..... М.Б.博罗达耶夫斯卡娅等 (50)
- 有色金属和贵金属矿床的建造分类原则..... М.Б.博罗达耶夫斯卡娅等 (56)
- 预测研究中的建造分析..... Е.И.菲拉托夫 Е.П.希赖 (63)

局部预测和方法

- 苏联矿产局部预测现状与任务.....《苏联地质》编辑部 (71)
- 矿床局部预测的方法学基础.....А.И.克里夫佐夫 (73)
- 专门性成矿预测分析的原则和方法.....Д.В.龙德克维斯特等 (79)
- 油气聚集带——局部预测对象.....А.Н.佐洛托夫 Б.А.列别杰夫等 (87)
- 含油气性的局部预测方法.....И.И.涅斯捷罗夫 В.И.施皮尔曼等 (96)
- 苏联前寒武纪层控有色金属矿床成矿区划原则.....Г.В.鲁奇金等 (105)
- 非金属矿产局部预测的现状和任务.....Н.Н.韦杰尔尼科夫等 (112)
- 固体矿产局部预测中地球物理研究的方法学原理.....М.Н.施托尔普纳等 (119)
- 含矿性有效局部预测的条件.....А.Б.卡日丹 (124)
- 关于局部预测的某些方法学问题.....Ф.Р.阿佩利钦 (129)
- 稀有金属矿床局部预测方法.....В.В.伊万诺夫等 (132)
- 提高内生矿床局部预测效果的途径.....В.Н.沃耶沃金等 (134)

预测普查组合

- 苏联地质部推广“预测普查组合”取得明显地质效果和经济效益.....王立文 (138)
- 建立最佳“预测普查组合”的原则和方法.....А.И.克里夫佐夫等 (144)
- 有色金属矿床的“预测—普查—评价”系统.....А.И.克里夫佐夫等 (151)
- 金矿预测、普查和评价的基础.....Б.И.别涅沃尔斯基等 (156)
- 中哈萨克斯坦网脉型钨矿的最佳“预测普查组合”.....А.А.弗罗洛夫等 (159)
- 利用详细构造预测图作为集体承包矿床勘探的地质依据.....В.И.费多尔丘克 (164)

编者前言

本书登载了26篇文章，分三部分。第一部分介绍的是苏联矿石建造学说和建造分析及其对成矿理论研究、成矿分析和矿产预测的意义；第二部分介绍的是苏联矿产局部预测的现状及其某些矿种局部预测的理论基础和方法；第三部分介绍的是苏联最近如何把预测普查原理和方法结合起来，形成一个系统即“预测普查组合”，来指导各个阶段的预测和普查工作。这三部分的内容，互相联系，前后呼应，都是为促进我国在普查找矿中取得重大突破服务的。

从本书登载的三部分文章中可以看出，苏联矿产预测普查工作建立在科学论证的基础上，讲究有效的预测普查方法学原理，追求地质找矿效果，特别重视经济效益。本书报道的有关“预测普查组合”的一组文章，是这方面的一种体现。

矿产“预测普查组合”在科学技术方面以矿石建造学说和建造分析为理论基础，是在精心研究矿床模式的基础上建立的。也是通过分析总结苏联一些重要成矿区（带）多年积累的大量有关资料和经验的基礎上並吸收其他有关国家的知识和经验之后提出来的。矿石建造学说和建造分析是苏联提出，发展和一贯强调的，而且，随着预测普查比例尺的增大，更加细致和深入了。在这方面的主要研究方向是构造-物质成分研究，这种研究的基础是划分成因上和共生组合上稳定的岩石和矿石的建造组合，并查明它们在不同构造类型的构造建造带内的时间空间分布规律。通过这种途径可确定地质建造的主要含矿性准则。除传统建造分析方法外，认为用详细的岩石-建造方法和岩石-地球化学方法研究地质建造的内部结构，对大比例尺预测和局部预测有重要意义。查明和分析成矿地质建造的内部结构是局部预测的决定性因素。根据这些方法绘制了多种有关图件，制定了不同时代和成因的矿床和矿田的地质-成因模式和找矿模式。通过这些研究，能可靠地查明矿化与含矿建造内部结构和特点的联系，对查明的远景区进行定量评价。近年来，苏联正在把矿石建造学说和建造分析同矿床模式研究结合起来。提出要进一步建立典型含矿地质环境的地质-成因模式，认为不建立矿石建造的地质-成因模式，就不可能详细地、立体地了解矿床、矿田和矿区的成矿体系，而这正是大比例尺预测和局部预测的科学基础。建造原理、单矿种成矿规律，以及矿田和矿田的地质-成因模式、地质-地球物理模式和综合性（地质、地球化学和地球物理）预测-普查模式、矿床多因素模式是苏联预测研究的基础。通过这些，苏联使矿产预测普查工作更加理论化，也更加具体化，在预测普查方面取得了不少成绩。

“预测普查组合”也是矿产地质勘探工作管理和实施的比较好的形式之一。它遵循现行地质勘探工作阶段划分，实现地质勘探工作的有效组织配合和先进工艺流程。它把地质勘探阶段、方法、标志、对象和工作目的统一起来；在某一工作阶段，用最有效的方法，识别最必要的标志，查明预测和普查对象，达到一定工作目的。苏联多年来在地质勘探过程中严重地存在着盲目追求实物工作量和储量，不注意经济效益的倾向，在工作中忽视“阶段—方法—标志—对象—目的”的统一，在预测普查方法手段上追求时髦，甚至“不惜任何代价”，所查明的标志不分主次，似乎越多越好。“预测普查组合”强调不要把那些在该阶段地质勘探工作不能用来确定和识别预测普查对象的特征以及可能给该阶段地质勘探工作造成“累赘”的标志纳入预测概念和因素系统。换句话说，它是在注意地质效果的基础上，强调经济因素和时间因素，有利于多快好省地预测和普查矿产地。从这个角度看，是否可以说“预测普查

组合”是地质勘探工作管理和实施概念的一个革新。

本书由王绍伟、王立文、何庆先、纪忠元、张国容同志编辑加工。魏智如、赵秀兰同志绘图。全书由何庆先、王立文同志统编。

由于水平有限，编辑匆忙，本书可能存在许多不当乃至错误之处。敬请读者不吝指正。

在本书编辑过程中，承蒙地矿部科技司王学德、阎立本同志多方指导，支持，地矿部地质情报研究所吴昌功、程恩华同志大力协助。谨向他们致谢。

地矿部地质情报研究所报道室

1988年3月1日

成矿理论和成矿规律研究中的 的矿石建造与地质-成因模式

Э.Г.季斯丹诺夫等

摘要: 本文探讨了矿石建造学说在成矿理论研究、成矿分析和预测中的意义。矿石建造作为建立模式的基础,可以揭示矿床在具体动力成矿体系中的形成过程及分布规律的本质。指出了对自然界内生成矿体系进行划分和分类的可能性,以及应用地质-成因模式对矿床进行区域预测和局部预测的可能性。

关于“西伯利亚成矿规律”问题的全苏第十一届成矿规律会议,于1987年8月在新西伯利亚城苏联科学院地质地球物理研究所召开。这次会议是在苏联科学院西伯利亚分院成立30周年之际召开的。30年来,对西伯利亚矿物原料基地开展了广泛研究,形成了西伯利亚地质学派,在成矿作用和成矿规律研究方面取得了重要成果。最近十年在矿床地质和成因以及成矿预测方面的研究工作表明,深入研究和广泛应用建造研究方法,特别是苏联地质学派提出的矿石建造分析原则和方法,从多方面提高了我们在成矿作用和成矿规律方面的知识。

H. C. 沙茨基等人的著作奠定了地质学中建造方法的基础。建造分析就是对各种地质产物始终使用共生分析的原则进行系统研究,划分出主要地质建造和岩浆建造类型。B. A. 奥布鲁切夫等人在描述金属矿床时使用过矿石建造这一概念,而C. C. 斯米尔诺夫为这一概念注入了现代分类和成矿的内涵。在Ю. A. 毕利宾等人的著作中,矿石建造学说在金属成矿理论研究的各个领域得到了进一步论证、深入发展和应用。矿石建造学说在矿床知识领域中占有一定地位,并且是成矿理论和成矿规律学的重要组成部分。成矿理论是阐明导致有用组份在地壳中富集的各种作用,而成矿规律学的任务是查明矿床在大陆地壳和大洋地壳具体构造中全球的、区域的和局部的分布规律。

矿石建造学说的内容包括自然界主要类型矿床的分类和划分,查明矿床的形成条件和建立矿石建造的地质-成因模式,使矿石建造系统化以进行成矿分析和预测。为了描述内生成矿体系主要类型的特点和发展成矿理论,矿石建造学说的内容还包括对具体矿石建造地质-成因模式资料的总结。

矿石建造是在相似地质环境中形成的矿物成分和矿物共生组合形成顺序相似的同类型的一组矿床。它是在一定地质条件下发生的一系列物理作用和物理-化学作用的必然产物,这些作用的结果以成矿组份异常富集的形式在地壳中固定下来。查明这些规律是矿石建造学

说的主要内容。这决定了受自然界特定构造作用、岩浆作用、变质作用和其它作用的直接影响而形成的矿石建造的深刻成因性质。由于矿石建造就是包含共生矿物组合规律性总体的一组矿床,而这些矿物组合又反映了成矿作用的物理-化学条件和地质条件以及成矿过程的地球化学特征,因此,以划分矿石建造为基础的矿床分类既可应用于成因方面,也可应用于成矿规律方面,并可成功地应用于矿床预测方面。

近年来,矿石建造分析本身取得了很大进展。它是应用矿石建造学说对某一地区已知的和尚未查明的矿床类型进行成矿研究和矿床预测的方法学基础。按照P.M.康斯坦丁诺夫的观点,建造分析的任务包括:(1)论证矿石建造的划分和区别,查明工业建造与非工业建造的不同特征;(2)确定各个矿床的建造类型,用建造分析专门方法对其进行预测评价;(3)查明各种矿石建造在空间上和时间上有规律的相互关系,并在研究这些相互关系的基础上确定各个矿区的远景。

建立矿石建造体系,并按照与岩浆作用及其它内生成矿作用的关系把矿石建造归并为若干成因系列,这是矿石建造分析必不可少的阶段。矿石建造序列作为与一种岩浆建造或其它成矿体系伴生的矿石建造的总和,对于成矿规律研究具有特别重要的意义。因为矿石建造序列或组合决定了某些地质构造带及构造-建造带(在成矿规律图上作为研究区的构造-成矿带和其它成矿单元划分出来)的成矿特征。

详细研究表明,矿石建造不是杂乱地产生的,而是在一定构造环境中规律地产生的。业已查明,正是与一定岩浆杂岩有关的矿石建造组合,即矿石建造成因序列决定了某种构造发展中的成矿格局。

矿石建造研究分若干连续而又相互联系阶段。第一个阶段是对已知矿床和矿点进行矿石建造分析,并根据主要建造标志划分出矿石建造、亚建造和矿物类型。矿石建造分析的方法学基础是适应各种级别的地质产物(矿物、岩石和岩组等)的共生分析方法。在这个阶段,由于许多成因问题有争论,加之资料有限,广泛应用形式上“客观”的方法,包括形式统计方法和逻辑数学方法进行矿床分类和划分矿床稳定组合,确定对矿床有代表性的地质和物质成分标志。虽然在早期研究阶段,形式分类法具有重要作用,但不能充分考虑许多类型矿床(如层控铅锌矿床,黄铁矿型多金属矿床,金-硫化物-石英型矿床)形成时广泛出现的复杂的“趋同”现象,也不能查明那些趋异建造标志,而这些趋异建造标志通常只能在深入的成因研究中,即在用地球化学、同位素及温压地球化学等方法研究矿石矿物和脉石矿物,以及近矿交代岩和近矿围岩的过程中加以确定。

矿石建造本身包含该组矿床最有代表性的共同特征,能反映该建造类型成矿作用过程和条件的基本规律。查明那些可以确定矿石建造独立性和界线的特征,保证矿石建造划分的正确性,是矿石建造分析的主要任务。矿石建造划分原则是不变的,而不同矿石建造分析方法(结合成因类型的矿床特点)却得到不断完善和发展。但也出现了某些新的迫切问题,特别是在“趋同”矿床的划分方面。

利用矿物共生组合作为矿石建造划分方法中的一个基本分析环节决不会降低决定该类矿床主要特征的其它因素的意义。问题在于,共生矿物组合是稳定的体系,不仅可以严格地估算成矿作用的主要物理-化学参数,而且可以“度量衡”地划分各种建造。但正如矿石建造分析的实践所表明的那样,片面追求按矿物成分划分矿石建造,而不考虑决定矿床建造属性的全部地质条件,将大大缩小应用建造分析方法的可能性,而且往往会犯很大的错误,把

“趋同”矿床划为一种矿石建造。剖析“趋同”现象是矿石建造分析最重要的任务之一。因为根据矿石建造的划分只能可靠地预测同一类型的矿床或成因相同的矿床。不久前A.И.谢格洛夫正确地强调了应用“矿石建造”概念和矿石建造分析的实际意义。因此，作为同一类型的一组矿床的矿石建造，首先应该满足同一性的要求，才能建立起反映成矿作用过程的综合模式，排除自然界常见的“趋同”现象。

研究和建立矿石建造的地质-成因模式，是总结每一个矿石建造矿床自然形成过程的地质条件和物理化学参数等资料的重要阶段。只有在成矿体系范围内对所查明的规律进行成因解释，并建立起矿石建造的综合地质-成因模式，才能最充分地揭示具体矿石建造的矿床形成过程的本质及其分布的规律。只有在这种情况下，当矿石建造出现趋同现象，并且从矿石的成分、产状、沉淀条件和其它标志来看存有过渡类型的矿床存在时，我们才能有根据地谈论成矿的主要因素及其矿石建造的主要区分标志。

从成因上深入揭示矿石建造是对成矿条件及矿床分布规律进行科学分析的主要任务。建立正确的成因模式不仅能再现矿石建造的一般成因特点，而且可以在一定范围内对这一总体划分的可靠性进行评价，更加准确地确定矿石建造的界线，从成因的角度为矿石建造进一步划分为亚建造、矿物类型或其它组成部分提供依据。因此，矿石建造一方面是建立地质-成因模式的基础（对象），另一方面，从建立地质-成因模式时所获得的资料来看，矿石建造又可以以一定方式发生变化。

若在矿石建造分析过程中取得了更为准确的新资料，就需要对矿石建造的划分及其空间分布的确定的正确性进行反复检验，并对其成因概念做若干修正。在矿石建造分析的早期阶段不忙于使用成因原理是正确的，但是要在解决主要问题即在发展作为成矿理论及成矿预测的科学基础的矿石建造学说时也不使用成因原理就不正确了。不建立矿石建造的地质-成因模式，就不可能在矿床、矿田和矿结范围内对含矿岩浆成矿体系及其它内生成矿体系有完整的立体概念，而这种概念是大比例尺预测的科学基础。

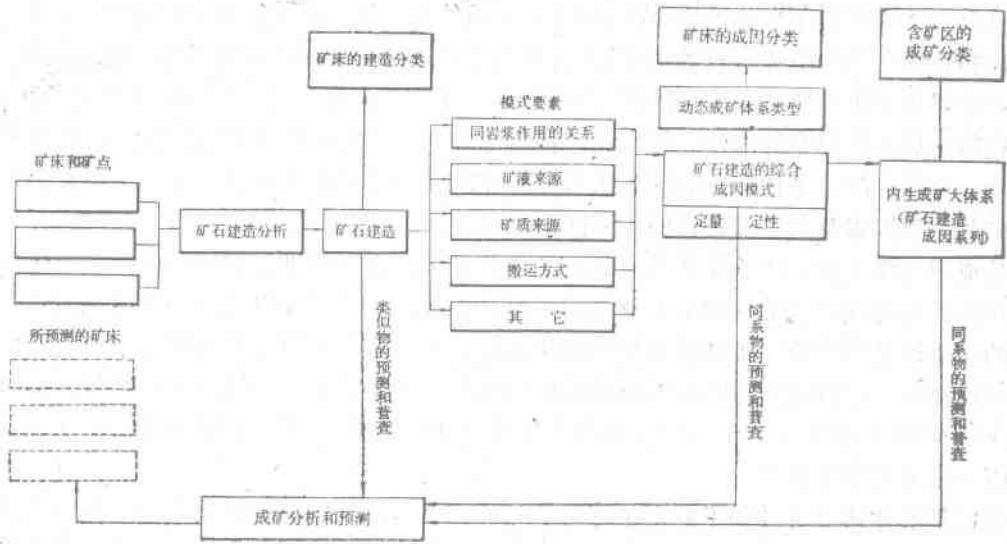
建立矿石建造的地质-成因模式是继矿石建造分类之后深化矿石建造理论研究的一个自然阶段。建立模式的阶段是查明内生作用的前提和本质（如内生作用的动力，成矿金属和流体的来源，成矿体系的动力条件及其时空演化，富集成矿的最佳条件）以及在此基础上制定有科学依据的预测和普查准则的一个决定性阶段。

本文的附图中表示了矿石建造与其地质-成因模式间的关系，以及二者在认识和预测矿床的体系中的地位。矿石建造的综合地质-成因模式是一个有机的联合体，即构造模式的要素的总体。这些要素包括个别参数或数量有限的参数总和，代表整个成矿体系或其各个组成部分的地质-成因特征。综合模式本身是矿石建造的动态成矿体系及其时空演化的形象表现。

动态成矿体系是内生作用的总和。内生作用导致在矿结范围内形成某种建造的矿床和矿点，并出现在地壳的不同深度：从动态成矿体系产生的根部带到矿质富集或成矿组份分散的上部带。

综合地质-成因模式将动态成矿体系的下列三个主要地带有机地联系在一起：（1）形成岩浆和流体的根部带，在该带发生的内生作用归根到底决定了整个成矿体系的能量状态和流体状况；（2）迁移带，包括热量传递和物质搬运带；（3）矿质富集和分散晕形成带（矿田、矿床和矿点）。这三个主要地带在时空上的相互关系造成了具体动态成矿体系的总体格局，

这些动态成矿体系对于形成矿石建造的特定内生体制具有代表性。总体来说，目前主要是在最容易观测和研究的矿带，其次是在流体迁移带，可以通过参数描述来建立模式。而对代表动态成矿体系发展的深部，其中包括实际上不能进行观察并发生了含矿岩浆作用、变质作用及成矿作用的主要地带的模式要素研究得还不够。但是，在研究这些深部层位的成矿作用和



附图：矿石建造与其成因模式间的相互关系以及二者在认识和预测矿床的体系中的地位

区别不同环境中成矿作用发展的典型性情况方面有很大的可能性，这就是在地壳深部结构的地质和地球物理资料、现代岩石学和成矿理论的实验和理论成果的基础上，在地质学中广泛采用数学模拟的最新手段和方法，来分析变质作用、岩浆作用和岩浆期后作用的动力模式。

根据最一般的成因特点，可以将自然界的内生成矿体系分为以下几类：岩浆成矿体系，变质成矿体系，非岩浆水成成矿体系和复合成矿体系。每一类动态成矿体系又可分出若干组，每一组都有其特点。例如，岩浆成矿体系可分为狭义的岩浆成矿体系，深成（侵入）成矿体系，火山成矿体系，地内（地幔）成矿体系和复合成矿体系；变质成矿体系可分为受变质成矿体系（按其本身性质应属复合成矿体系），变质生成的成矿体系和超变质生成的成矿体系；对于非岩浆水成成矿体系来说，最典型的是地下水和卤水深循环体系；热液-沉积成矿体系、共生-后生成矿体系及其它多源的成矿体系是复合成矿体系的代表。内生动态成矿体系的分类可能成为今后建立矿床成因分类的良好基础，在矿床成因分类中将充分考虑成矿体系的自然特点，成矿体系在构造和岩石圈发展史中的位置，成矿过程的成因特点及物理-化学参数。

在具体地质环境中，如果内生作用发生的时间很长，而且又很复杂，则常常可以产生（在时间和空间上可能有间断的）若干彼此有成因联系的动力成因体系。在这种情况下，可形成一些属于同一个成因系列（成矿组合）的矿石建造的矿床和矿点。考虑到划分这种成因系列的矿石建造对于成矿分析和预测有重要意义，因此最好提出一个关于动态成矿体系总体

的概念，称之为内生成矿大体系。内生成矿大体系的发展在时间上相当于一个导致矿石建造成因系列（成矿组合）形成的内生活活动旋回。

建立个别矿石建造的成因模式并查明同源动态成矿体系间的成因联系，可以揭示同源矿石建造出现的普遍成因规律，论证内生成矿大体系的功能，从而可以查明形成具有一定地球化学专属性的具体矿区、成矿带和成矿区的成矿作用发展的更广泛和更普遍的规律。

查明大型和特大型矿床是预测和普查具体矿石建造的矿床的独立任务，要形成大型和特大型矿床必须在成矿体系发育的介质和动力方面有一定的附加有利因素。至于矿田和矿床范围内的局部预测，则在早期研究阶段已取得的有限信息的基础上建立矿石建造成因模式就能查明隐伏矿体和对矿床深部作出评价。根据地质-成因模式，通过综合地质统计分析和解决与成矿作用动力学相关的问题可以对所预测的主要参数作出定量评价。

吴太平译自《Геология и геофизика》，1987, № 7. 古方校

苏联成矿预测方法

Д.В. 龙德克维斯特

预测方法

当前我们的主要地质工作任务之一是预测苏联矿产资源保证程度的远景。这项工作包括圈定和评价远景区，发现矿床和矿石的新类型，使采矿工业布局更趋合理。

苏联在矿床预测方面主要有两种办法：根据区域成矿规律研究结果进行预测和根据计算机对矿床资料（数据库）和区域地质资料所做的统计-经验研究进行预测。

第一种办法是苏联沿用很久的办法。С.С.斯米尔诺夫、Ю.А.毕利宾、В.И.斯米尔诺夫、Д.М.塔塔林诺夫、В.Г.格鲁舍沃伊、А.И.谢苗诺夫、В.А.库兹涅佐夫、И.Г.马加克扬等苏联科学家奠定了这方面的基础。第二种办法目前正在苏联各科研部门和工业部门的地质研究所实行。后一种办法所取得的人所共知的进展是莫斯科国际控制程序科学研究所发明的“区域”预测系统。该系统从解决的问题和拥有的软件来看可与加拿大“阿巴拉契亚”项目所使用的系统相比。在“区域”系统中地质人员和计算机之间的人机对话是极其重要的，因为预测变量是根据成因假说选择的。本文将着重介绍全苏地质科学研究所（苏联地质部区域成矿规律研究和成矿预测研究方面的牵头单位）实行的第一种办法，即根据区域成矿规律研究结果进行预测的办法。

矿产资源的预测工作是采用不同方法进行的，具体视预测的最终目的而定。“专门性”

成矿预测研究和“区域性”成矿预测研究的目的和分析方法是完全不同的。“专门性”成矿预测研究是根据向采矿和加工部门提供特定成分矿石的需要确定的。这种研究建立在分析已发现矿床的分布模式，确定控矿因素和预测准则的基础上（图1）。先从某一类型所有矿床综合归纳出上述原始资料，然后用来分析新的地区。工作的成果是圈出局部远景区，并对所预测的资源做出定量评价。该预测方法已在几个地区使用，例如向科拉半岛工业部门提供含铁石英岩、氧化锰矿石和铜镍矿石的预测系统，向乌拉尔冶炼厂和哈萨克斯坦的铜-钼工业企业提供铜硫化物矿石的预测系统和向西伯利亚地区提供钾盐的预测系统等。专门性成矿预测研究的原则和方法已在1978年出版的《固体矿产区域预测评价准则》一书中作了总结。

分析已发现矿床的分布模式，确定控矿因素和预测准则的基础上（图1）。先从某一类型所有矿床综合归纳出上述原始资料，然后用来分析新的地区。工作的成果是圈出局部远景区，并对所预测的资源做出定量评价。该预测方法已在几个地区使用，例如向科拉半岛工业部门提供含铁石英岩、氧化锰矿石和铜镍矿石的预测系统，向乌拉尔冶炼厂和哈萨克斯坦的铜-钼工业企业提供铜硫化物矿石的预测系统和向西伯利亚地区提供钾盐的预测系统等。专门性成矿预测研究的原则和方法已在1978年出版的《固体矿产区域预测评价准则》一书中作了总结。

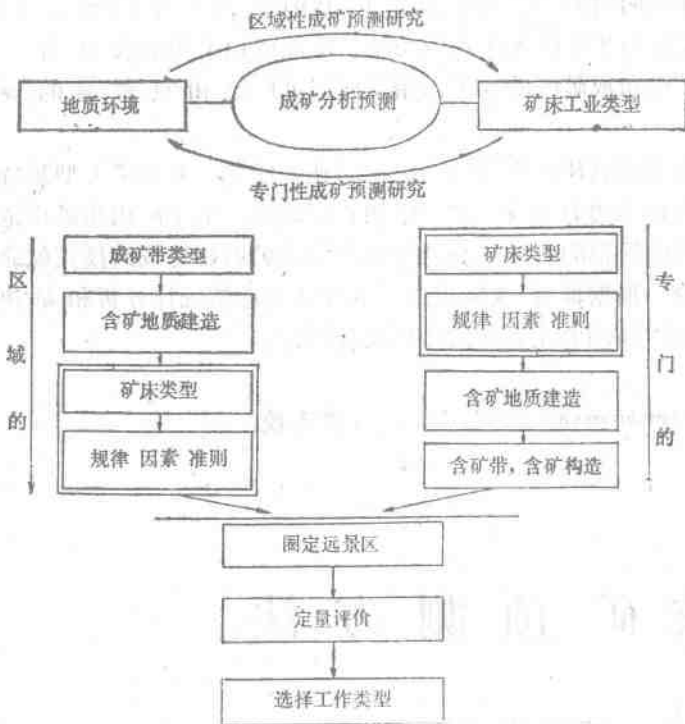


图1 区域性成矿预测研究和专门性成矿预测研究的工作顺序

“区域性”或“综合性”的成矿预测研究是在对苏联领土进行有计划的地质调查过程中进行的。在这种情况下，调查的对象是规模不同的地区：成矿区、成矿带和矿区。我们希望通过这种调查能确定在特定地区内可能找到的所有矿产及其主要矿床类型，圈出远景区，并对其进行评价。这种性质的成矿预测研究是以区域地质研究结果，即区测和物化探资料为基础的。这项分析的基础是对成矿带进行分类；广泛使用已查明的规律（控矿因素），如矿石与特定类型的成矿带及其演化时期和地质建造的关系。因此，在这种情况下进行成矿预测研究的先决条件是进行成矿分区，圈定各类型的成矿带（在空间上）和查明成矿阶段（在时间上），接着再进行详细的建造分析，在确定了有远景的矿化类型以后，再使用全套专门性成矿规律研究方法（图1）。

对卡累利阿和科拉半岛、提曼、北乌拉尔和贝阿线（目前正在建设）地区的一整套矿产进行的评价是比例尺1:100万~1:150万综合性区域成矿预测研究的例子。全苏地质科学研究所的科学家积极参加了这些计划。区域性成矿预测研究的原则和方法已在1981年出版的《地壳构造的含矿性和地质建造》一书中作了总结。

专门性成矿规律研究和区域性成矿规律研究二者互相补充，互相配合进行效果最好。从图1可以看出用这两种办法进行分析时着手工作的顺序不同。在第一种情况下，我们从所要找的矿床类型着手，在第二种情况下，是从所要分析的地区着手。在分析的最后阶段，即在圈定远景区、对其进行定量评价和选择工作类型等阶段，专门性成矿规律研究和区域性成矿

规律研究所采用的方法是相似的。

定量预测包括估计所找矿石或金属的吨位（或其他计量单位）或所预测类型的大、中、小矿床的数量。还要根据各个地区含矿程度将其分为几个等级（1~3级）

苏联的定量预测方法，总的看来，与加拿大和其他国家所采用的相似。“专家评价”方法和类比法是最常用的方法。在采用类比法计算时，要确定那些在地质发育史、建造组合、构造背景和形成时间方面与所分析的地区很相似的，且经充分研究的“标准”地区内的特定矿石含量。然后采用H.A.贝霍维尔提出的公式： $Q = KqV$ ，式中 Q 为矿带内的远景储量， V 为矿带的几何形态特征， q 为标准地区特定矿石含量， K 为考虑到类比地区之间在某些特点方面的差异而采用的校正系数。在某些情况下，我们的估算有时以远景区的面积为基础，有时考虑含矿带或含矿断裂的周长，有时则观察控矿构造的交汇点所显示的有希望找到的矿床群的数目。对于已经过广泛研究的矿床类型和地区，则采用直接计算预测资源的方法，如对资源和控矿因素的表现程度之间的关系进行回归分析。当掌握化学元素克拉克值及化学元素

表1 建造与空间上和时间上的成矿单元的相互关系

矿物建造(物质)	表现形式(空间)	出现时期(时间)
根据建造的年代系列和侧向系列识别出的建造组合——规律性的统计上稳定的建造组合	构造-建造带(平面上),构造-建造阶段(剖面中)——建造组合的分布。构造-成矿带——矿化在一个建造组合内的分布区。在成层建造的剖面中是构造-成矿阶段	根据主要构造活动的间歇期分出的构造阶段——建造组合形成时期
地质建造——规律性的统计上稳定的岩石组合。含矿地质建造——在空间上和时间上与矿化伴生的地质建造，含矿地质建造又分为产矿地质建造(直接含矿)，生矿地质建造(与之伴生的矿化产在构造-成矿带和建造之外)和容矿地质建造	建造带(平面上)，亚阶段(剖面中)——地质建造的分布 成矿带——含矿地质建造及与之伴生的矿化的分布带	褶皱区、地台和活化区的构造活动期，亚阶段——地质建造形成时期
矿石建造——规律性的统计上稳定的，以单型构造(分带性)为特征的矿石组合	矿带——一个矿石建造的分布带	矿化作用、岩浆作用、变质作用沉积作用阶段——含矿建造的形成时期

在岩石和土壤中的分散晕的资料时，我们可以使用И.Н.奥甫钦尼科夫、E.M.克维亚特科夫斯基、H.И.萨弗罗诺夫、A.И.索洛夫夫、A.A.斯梅斯洛夫等人所提出的地球化学计算方法（《区域成矿研究时的定量预测》，1979）。

在进行大比例尺和中比例尺（1:50万~1:5万）成矿分析时，所研究的主要构造-物质对象是建造组合、地质建造和矿石建造以及与其相应的空间上的和时间上的成矿单元(表1)。

逐步提高地区研究程度的原则是解决专门性成矿规律问题和区域性成矿规律问题的一种通用方法。这个原则的实质是，为评价一个地区要使用各种准则：从可以剔除大片地区的一般区域性准则，到可以在早期圈出的地区内圈定远景区的更为详细的准则。从图1可以看出，预测的基本因素是有关成矿带、地质建造和矿床分类的已积累的并经综合归纳的资料。决定该预测系统效果的重要因素是，要尽可能充分地利用上述资料，并在分析过程中使用其他地区和其他大陆上的类似矿带、类似地质建造和类似含矿性的资料。例如，在评价卡累利

阿-科拉半岛地区的前寒武纪岩石特别是太古代绿岩带的成矿远景时，我们就充分利用了研究乌克兰地盾、加拿大和澳大利亚的凹槽时取得的经验，在研究花岗岩类建造的含矿性时我们使用了在克鲁什内霍利、康沃尔、中国东南部和蒙古等地的典型地区所取得的资料。

让我们再简单介绍一下为了确定更详细的预测和找矿的局部地区而研究成矿带和地质建造含矿性所取得的主要成果。

构造-成矿带的类型

最近二十年来苏联成矿预测研究方法有重大变化。这种变化的表现是：以前是根据发育时期（褶皱区、地台和构造-岩浆活化区的发育旋回期和阶段）来识别成矿带，目前则改变为根据构造和物质来识别成矿单元。因此，目前成矿分析是建立在根据建造系列识别成矿带，圈出含矿建造，使用地球化学的、矿物学的和地球物理的预测准则，分析韵律，即分析地层、岩体和成矿带的分带基础上。

这种方法上的变化很必要，因为按发育阶段划分成矿单元有时被认为是主观的，因此常会引起争论。例如，高加索白垩纪-始新世期的阿扎尔-特利莱特带的特点先是拉斑玄武岩、安山岩和流纹岩发育，接着有碳酸盐岩-陆源岩石沉积，之后又有碱性玄武岩和安山岩喷出和辉长岩-闪长岩侵入体侵入。有些人将该带划为裂谷阶段，另一些人认为该带相当于地槽带的早期阶段或晚期阶段，还有些人认为该带是次生地槽带。但是，从根据岩石成分、韵律和深部构造特征所做的预测评价来看，所有的人都同意该带在铁矿床、矽卡岩矿床、黄铁矿型铜-多金属矿床和斑岩铜矿方面可能是有远景的。

苏联构造-成矿带的分类建立在建造成分、建造形成次序及其在剖面和构造中的变化的基础上。共分出了87个构造-成矿带类型，包括50个由成层岩石组成的构造-成矿带（23个非岩浆成因的由沉积岩组成的构造-成矿带和27个沉积-火山成因的构造-成矿带），21个主要发育顺裂隙侵位的“穿切式”侵入体和交代建造的构造-成矿带，13个由高级变质杂岩组成的构造-成矿带，3个由特定成分的风化壳组成的构造-成矿带。这些构造-成矿带类型又可根据矿物成分细分为一些亚型。所有这些带及其含矿性在《地壳构造的含矿性和地质建造》一书中都做了简单介绍。作为例子，我们可以举出一些已圈出的、由成层的沉积建造和火山建造组成的带，这些带中的岩石常常已变质成钠长石-绿帘石相，局部地方已变质成角闪岩相。按照惯例，这些带是相当于地槽早期阶段。在苏联已查明9个这样的带（图2），每个带在建造组合和含矿性方面都有自己的特点。

镁铁质弱分异带（图2）的特点是，其中最初发育的火山岩属于未分异的钠质玄武岩建造，而分异的组份（钠质玄武岩和流纹岩）却甚为罕见。在这些带的边缘，火山岩为硅质岩-碳酸盐岩和陆源岩层所代替。在凹槽的轴部黄铁矿型矿床和含铜黄铁矿型矿点很常见；在凹槽的边部则产有含铁硅质岩建造和由褐锰矿-黑锰矿-蔷薇辉石组成的含锰硅质岩建造的矿床和钼-钒板岩。

镁铁质分异带（图2）在乌拉尔发育最为典型（许多含铜黄铁矿型矿床和矽卡岩型铁矿床与之伴生）。这些带的特点是，下列建造呈多韵律式交替出现：粗面玄武岩建造—钠质玄武岩建造—钠质玄武岩和流纹岩建造—玄武岩-安山岩建造。火山岩硅与板岩或质岩、硅质凝灰岩层和陆源-碳酸盐层频繁互层。

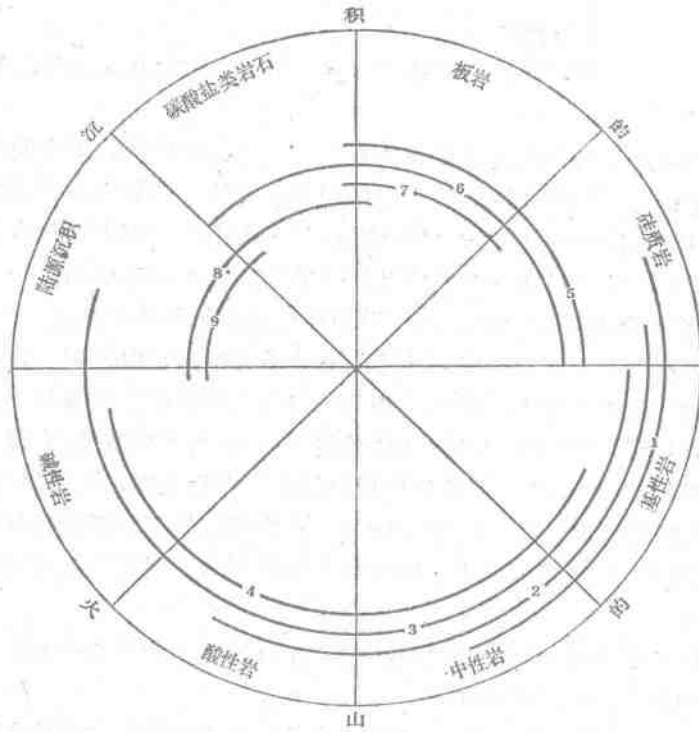


图 2 显生宙褶皱区火山-沉积凹槽和沉积凹槽的构造-成矿带的类型

1. 镁铁质弱分异型；典型矿化：Cu, Zn, Fe, Mn, 磷块岩；天山（吉尔吉斯）型；
2. 镁铁质分异型；Fe, Cu, Zn；乌拉尔（塔吉尔-马格尼托哥尔斯克）型；
3. 碱性-镁铁型；Mn, Fe, Cu；东堪察加型；
4. 镁铁质-硅铝型；Pb, Zn, Cu；鲁德内依阿尔泰型；
5. 硅质板岩；Fe, Mn, 磷块岩；远东（乌德-善塔尔斯克）型；
6. 硅质板岩-碳酸盐岩；Fe, Mn, Zn, Pb, 重晶石, 磷块岩；哈萨克斯坦（阿塔苏）型；
7. 板岩；Cu, Zn, Pb, Co；高加索（菲利柴斯基）型；
8. 陆源岩石-碳酸盐岩；Pb, Zn, Au, 铝土矿, 菱镁矿, Fe, Hg, 萤石；南哈萨克斯坦（卡拉套）型；
9. 陆源岩石；Au, Cu, Zn, Pb, Sd；苏联东北部（维尔霍扬斯克）型

碱性-镁铁带（图2）的特点是产有富钾玄武岩-粗面岩建造，该建造是组成该带的主要火山岩建造。镁铁-硅铝带的特点是，它属于“次生的”优地槽，而且其中钠质玄武岩建造异常发育，黄铁矿型多金属矿床与该建造有空间和成因上的联系。

在实际上没有火山岩发育的带中，许多构造-成矿带类型是根据带内所发育的主要岩石（陆源岩带，碳酸盐岩带，硅质岩带和黑板岩带）来划分的。对所伴生的矿化来说，这里所分出的自然系列反映了矿石类型与地质建造的伴生关系：磷块岩，赤铁矿-石英矿床，褐锰矿-黑锰矿-蔷薇辉石矿床以及其他矿石与硅质岩建造有关；金矿床与黑板岩有关；铅-锌矿床与黑板岩有关；铝土矿、重晶石、铅锌矿床和其他矿床与碳酸盐建造有关。

在分析构造-成矿带的实际含矿性时，最重要的是查明组成该带的各建造之间的数量关系，它们的厚度，在空间和时间上的变化顺序，发育完全还是不完全以及基底的成分。下面举几个例子。

含铜黄铁矿型矿床在火山作用是正向（火山岩出现次序从基性到酸性）的地槽带中很常见，在某些韵律中岩石种类很多，从玄武岩到石英角斑岩和钠长斑岩都有。在垂向上矿化向

上发生变化，表现为铅锌数量逐渐增加。

贝辰加型铜镍矿床多见于镁铁质成分的裂谷带，但火山作用是逆向的，即从拉斑玄武岩到苦橄岩或科马提岩。

在造山区，基底成分对预测有很重要的意义。斑岩铜矿建造的矿床照例都是在具有镁铁质基底的构造中形成的，这种构造中的火山作用是正向的，即从安山岩到英安岩和石英斑岩。流纹岩-锡石建造和硅酸盐-锡石建造的锡矿床见于火山作用在大韵律中是逆向的而在小韵律中是正向的造山带，这类矿床是在具有硅铝质基底的凹槽中形成的。

在分析构造-成矿带的建造系列时，可以发现许多共同性的成矿特点：

1. 在比较各种岩石和与之伴生的矿石建造的演化系列时，可以发现一定的相关关系：岩石发育过程中物质成分的变化越大，矿石矿物共生组合成分的变化也就越大。

矿物系列演化时间“长”的矿床与演化时间“长”的岩浆岩系列有关，有很多叠加的矿化阶段（结果是具有明显的矿化分带）。在矿化作用期间成产物分异不太明显的、成分比较均一的矿床与演化时间“短”的岩浆岩系列伴生。例如，具有明显的逐步形成特征的云英岩型锡钨矿床是与演化时间“长”的岩浆系列伴生；逐步形成的特征不太明显的钼-钨矿床与演化时间“短”的岩浆系列伴生。

金刚石矿床和铬铁矿矿床（晚期岩浆矿床）与演化时间“短”的岩浆系列伴生，而且单独出现，与其他矿化类型没有密切的伴生关系。

相反，铬铁矿矿床（早期岩浆矿床）、铂矿床和钛磁铁矿矿床与布什维尔杂岩型的长期演化的岩浆岩系列（超基性-基性-酸性）伴生。长期演化系列的典型例子是富含各种矿物（铁、磷灰石、金云母，偶尔还含稀有金属和稀土元素）的“中心”型超基性-碱性侵入体。

2. 通过比较岩石发育次序的各种情况，并考虑某些岩石广泛分布的方式，我们得出了如下结论，即岩石建造演化过程中的一些间断具有极其重要的意义。

通过不同矿床的对比，我们发现大多数矿床，不论是外生矿床还是内生矿床，都是在一定带（或地区）内沉积作用、火山作用或岩浆作用完全停止活动或活动极其缓慢的时期形成的。分析表明，最有远景的是剖面中具有多韵律，而且与矿床同期的地层具有地层间断、地层缺失或厚度明显变小的那些构造。在岩浆岩分布很广的地区，韵律中的间断同样是有利的，而且韵律中的这些间断可以根据岩墙和区域性分布的交代岩的出现等现象加以识别。

在苏联由A. И. 阿尔汉格尔斯基、И. Г. 萨波日尼科夫和H. M. 斯特拉霍夫等人针对许多沉积矿床（磷块岩、铝土矿、锰矿和铁矿、铅-锌矿化）所建立的这种关系，在分析某些内生作用形成的矿床时（金-银矿床、铜-钼矿床、黄铁矿型矿床等）也适用。这些内生矿床都产在与矿化同期的火山岩在地层剖面中缺失或厚度明显变小的地方。

地质建造的含矿性

在确定了所研究地区的成矿带类型和可能的含矿性之后，就应当着手解决一些局部问题：识别含矿地质建造和圈定远景区。

近几十年来，识别具特定成矿专属性的含矿建造（包括查明产矿岩石，生矿岩石和围岩）的建造分析方法在苏联得到了迅速的发展，已经成为解决预测问题的一个环节。结果是，我们已经对地质建造进行了综合研究和分类，其中包括59个沉积建造，45个岩浆建

造，24个变质建造，15个热液-交代建造和14个风化壳建造及其直接再沉积产物（包括砂矿）。然而，必须强调指出，只有在某些情况下，即当一个建造产在一定时代的成矿带类型内，而且成层沉积建造、“穿切式”侵入建造、变质建造、交代建造或风化壳建造有利地结合在一起时，潜在含矿性才能变为现实。这里指的是那些能说明矿化是有巨大经济意义的矿床还

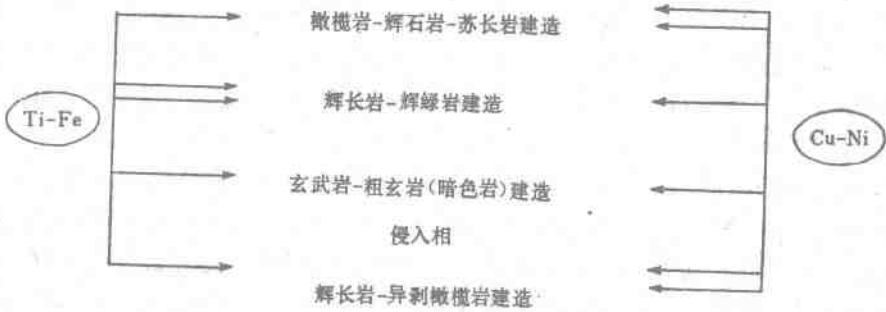


图3 矿化规模与各种成分的地质建造之间的关系
(双箭头表示的是特大型矿床与之有关的建造)

是只是一些不需要浪费金钱的小矿点的地质环境和某些构造特点（能决定矿石沉积系统的封闭或开放程度）。例如，苏联铁-钛矿化和铜-镍矿化都与橄辉岩-辉石岩-苏长岩建造、辉长岩-辉绿岩建造、玄武岩-粗玄岩建造和辉长岩-异剥橄辉岩建造有关（图3）。然而，大的铁-钛矿床只与辉长岩-辉绿岩建造有关（库辛矿床），而重要的铜-镍矿床则与橄辉岩-辉石岩-苏长岩建造（芒切哥尔斯克矿床）和辉长岩-异剥橄辉岩建造（贝辰加矿床）伴生。

与地质建造一起还分出了150个包括主要工业矿床类型的矿石建造。这里需要指出的是，为了建立一个预测系统，这个矿石建造的数目还是不够的。对于硅质-赤铁矿建造，褐锰矿-黑锰矿建造，矽卡岩铁矿建造，高铝霞石-长石建造，稀有金属伟晶岩建造，斑岩铜钼建造以及许多其他建造来说，我们还必须分出一些出现矿化的地质环境彼此有所区别的亚建造，这些亚建造与不同的地质建造有关，并分别具有不同的预测准则。例如，铜镍硫化物矿床通常被划为一个成因类型和一个含矿建造。然而，为了进行预测，至少应分出5个亚建造。这些亚建造实际上代表着与不同地质建造有关的一个矿床系列。该系列的端员矿床一方面是含矿的、在深部侵位的、分层的橄辉岩-辉石岩-苏长岩深成岩体（芒切哥尔斯克型），另一方面是产在近地表火山岩和沉积岩中的、属于橄辉岩-辉长岩建造和辉长岩-异剥橄辉岩建造的含矿小侵入体（诺里尔斯克和贝辰加型）。

由于矿石建造和亚建造具有这种多样性，所以我们可能做到：第一，识别出对一组矿石建造和亚建造都通用的区域性准则和对每个亚型适用的局部性准则。第二，识别出在成分、构造和出现矿化的地质环境以及预测准则方面均不同的建造和亚建造系列。

在上述的铜-镍矿化的例子中所分出的建造系列反映了出现超基性岩浆活动和矿化的地质条件的具体变化：岩浆活动的深度和规模，沉积成矿系统是开放的还是封闭的以及硫、还原剂等对这种环境的物理-化学特点所产生的影响。相应地，芒切哥尔斯克型矿床是在深部比较封闭的系统中，在熔融体、溶液和这种环境之间相互作用微弱的条件下形成的。相反，贝辰加型矿床却是在地表附近的开放系统中，在熔融体和溶液与富含硫和其他还原剂的围岩

相互作用强烈的条件下形成的。

矿石建造和亚建造的多样性表明，为了进行预测，最好能建立各种成因类型的矿化模型。矿化的成因类型的数目一般要比矿石建造和亚建造的数目少得多。

在预测时最重要的是要考虑在大旋回、旋回和韵律形造过程中地质建造或矿石建造形成的“绝对”时期和相对时期。对每一类型的矿床来说可以分出一个或两个(偶尔为三个)为该类型矿化形成所特有的最盛的成矿期。这种成矿期可以是全球性的，也可以是区域性的。在苏联的欧洲部分和亚洲部分可以观察到两个最盛的成磷期：晚里菲期-奥陶纪(750~450百万年)和晚白垩世-更新世(80百万年以后)。值得指出的是，二叠纪磷块岩在世界其他地区(如科迪勒拉)很发育，而在苏联只在前乌拉尔和高加索有些小矿点。

至于苏联的锰矿床，已查明有三个主要的成矿期：温德期-寒武纪和志留-泥盆纪(与硅质建造和碳酸盐建造有关)和渐新世(恰图拉，尼科波尔，与钙质-砂质-泥质建造有关)。成矿期可能是全球性的，与大气圈、水圈和岩石圈的普遍变化有关(如对磷块岩、锰、煤、含铁石英岩来说就是这样)，也可能是区域性的，与各地区的地史特点有关。例如，海西构造运动表现强烈的欧洲大陆及其邻近地区，中泥盆世Cu-Pb-Zn矿化发育，而在东西伯利亚阿尔泰-萨彦岭地区的层控型铜和多金属矿化的最大成矿期是里菲期。同样，在地中海带和太平洋带中以及在俄罗斯地台和西伯利亚地台，锡、铜-钼以及许多其他内生矿床最为富集的时期也都有很大的差别。

在某些情况下，类型相同但时代不同的地质建造和矿石建造在矿物成分和微量元素方面可能具有不同的特点，这些特点在预测时应当加以考虑。例如“当我们确定含铁石英岩的实际价值时，我们应当考虑到矿石中磁铁矿和赤铁矿的数量比值，这个比值随着时间的推移而自然减少，直到在里菲期形成纯赤铁石英岩。

这些例子说明，必须积累更多的有关地质建造和矿石建造在地史中演化情况的资料。这些新的资料使我们在采用与经过充分研究的地区类比的方法估算远景资源时引入一些校正系数，可以进行各种校正。

近年来进行的建造研究使我们查明了矿化规模与地质建造之间的定性和定量关系。所得出的一个结论是，有经济意义的岩石是在对成矿有利的时期在一定类型的带中形成的特定地质建造的一个组成部分，而不仅仅是具有一定成分和结构的岩石。

要进一步完善预测研究系统就需要扩大成矿规律学的理论基础和应用其他学科(如构造学、地层学和地貌学)所查明的地史中的普遍规律。沃尔特·戈洛夫斯基相律对成矿分析有重要意义，该相律揭示了岩石沉积作用在时间和空间上相互关系的一致性。在成矿过程中，类似的关系经常可以见到，只不过是表现在相似性原理上和地质成因定律上。相似性原理所反映的是，不同等级的成矿单位(从成矿区到矿田和矿床)中矿石分带是基本相似的。地质成因定律指的是成矿作用在不同时间范围内的发育情况是相似的。各个建造在地史中演化的总顺序表现在一个个矿床各自的演化史上，就好象矿床在地史中演化的顺序表现在矿物共生组合的演化史上，而矿物共生组合的演化顺序表现在单矿物的演化史上一样。

在为了预测深部矿化而建立成矿建造和含矿带的地质-成因模式时应当使用“大地水准面”原理和居里-萨弗拉诺夫斯基的对称原理。“大地水准面”原理是指凭经验确定的地壳中最强烈矿化在大地水准面附近所表现出来的规律。这里的地壳起着区域侵蚀基准面的作用，是在成矿时氧化还原作用发生变化的地方。应用“大地水准面”原理时，要求在进行成矿分析时使用

有关成矿时期古地形的资料以及当时地面起伏程度和绝对高程的资料。应用这个原理时，还要求确定准平原面。

经Ч.Ч. 萨弗拉诺夫斯基针对地质体进一步详细化了了的P. 居里原理认为，正在形成的地质体所表现出的对称性反映了环境的对称性。根据这个原理可以得出结论说，在地球的重力场中，正在形成的各种含矿体的内部构造（分带）总是在一个方向上（在垂向上和在平面上向两侧或在平面上从中心向外）具对称性。该原理可以说明层控型和“穿切型”地质建造中矿化分布的许多特点。

进一步发展成矿预测研究的理论和方法方面的应用课题有：

1. 完善定量预测方法；
2. 提高查明大型和特大型矿床和矿区预测准则的能力；
3. 探索预测矿床新类型的合理方法。

这些课题是各国地质研究工作的共同任务，解决这些问题需要综合分析世界各大陆的有关成矿带类型、地质建造和矿床分布模式方面的资料。

吴承稼译自《Geoscience Canada》，1983.Vol.10, №2, pp.76~82

建造分析在预测研究中的意义

Д.В. 龙德克维斯特

专门(分矿种)预测的基础，归根结蒂，是了解主要建造类型矿床的成分，结构特征的稳定性，了解矿床分布规律的稳定性，以及了解由此产生的矿床预测要素和预测准则。所谓预测，就是有科学依据地预见不同类型矿化赋存的可能地点，而预测的基础，则首先是利用为了实际目的而确定出来的一定地质建造和矿石建造在分布上的相关关系。地质建造和矿石建造的分布所以不同，是因为许多建造的岩石成分和伴生矿化的成分发生了变化。

可见，分矿种预测首先要以区域性建造分析为基础。然而，众所周知，对建造分析方法仍然研究较少，而对在这方面所使用的术语，如“地质建造”、“含矿地质建造”、“矿石建造”、“矿床建造类型”，不同研究者，不同学派，有不同理解。

地质建造的划分原则

大家知道，在早在十九世纪初期就已产生的建造学说中，在建造的划分和描述上，出现了几种独立的方法。差别最大的方法是成因方法和共生方法。成因方法的特点是把彼此有成因关系的岩石或矿石的组(группа)、组合(ассоциация)、“集合体”(сообщество)划分为建造。于是，在建造的定义中就出现了诸如“成因上的亲缘关系”、“同源岩浆”、“同一阶段的