

区域成矿学与找矿新思路

翟裕生, 彭润民, 邓 军, 王建平

(中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 区域成矿学是研究区域成矿背景、成矿系统和成矿演化以阐明矿床时空分布规律, 指导找矿的综合性分支学科。文章阐述了区域成矿学的主要内容和研究方法, 在概述区域成矿学研究历史的基础上, 提出了区域成矿系统及演化观点是当今区域成矿研究的重要趋势。以区域成矿系统分析为主线, 提出4点找矿思路: (1) 区域找矿目标——由单个矿床到矿床系列; (2) 建立矿化网络观念, 逐步缩小靶区; (3) 全面研究矿床形成条件与保存条件; (4) 找矿信息与矿床模型的有机结合。最后提出了科学的找矿工作流程。

关键词: 区域成矿学; 成矿系统; 矿化网络; 矿床保存; 找矿信息; 矿床模型

中图分类号: P612

文献标识码: A

文章编号: 1000-8527(2001)02-0151-06

当前矿产勘查和矿床研究领域有3个倍受关注的重点: 一是矿床模式的建立和改善, 以解决找什么类型矿的问题; 二是区域成矿规律研究, 以明确去何处找矿的问题; 三是运用找矿信息和先进技术, 以探索富有成效的找矿方法。这3个问题密切相关, 共同为提高找矿效果服务。现主要就区域成矿和找矿问题谈一些初步认识, 供大家参考。

1 区域成矿学的研究内容与方法

区域成矿学是研究区域的成矿背景、控矿因素、成矿过程和矿床基本特征, 以阐明矿床时空分布规律的综合性分支学科。它是找矿预测和评价矿产资源的地质理论基础, 也是地球系统科学的重要组成部分。

区域成矿系统是区域成矿学的核心内容之一, 它与成矿背景、成矿演化一起构成区域成矿学的3个研究重点。

1.1 区域成矿学的目标和任务

区域成矿学的目标和任务包括3个方面。

(1) 阐明成矿地质背景和主要控矿因素。

(2) 查明已知矿床的类型、组合、时空分布和矿床的地质-经济特征。

(3) 建立区域成矿系统和成矿谱系。

(4) 矿产资源潜力评估和找矿预测。

1.2 区域成矿学的研究内容

区域成矿学的研究内容主要包括以下几个方面。

(1) 区域地层、构造、岩浆和变质作用及地质发展史; 区域主要地质事件及其成矿意义; 区域地球物理特征及岩石圈组成与结构。

(2) 含矿岩石建造的种类、形成与分布; 构造-成岩-成矿作用。

(3) 区域地球化学特征; 基岩、土壤、水系物质的成矿元素丰度, 主要地质体的元素丰度, 壳幔的主要元素丰度; 作为成矿物质来源的地球化学体及其成矿意义。

(4) 区域地质流体: 古含矿流体的类型、来源、输运和停积; 区域尺度含矿流体的示踪标志; 构造-流体-成矿作用。

(5) 已知矿种、矿床类型和成矿条件, 主要矿床的成矿模式及成矿特征。

(6) 区域的综合地质异常(地质、物探、化探、遥感等), 原生异常与后生异常, 各类异常间的关联及其示矿意义。

收稿日期: 2001-05-08

基金项目: 国家科技攀登资助项目(95-预-25); 中国地质调查局研究项目(200110200069)。

作者简介: 翟裕生(1930-), 男, 教授, 博士生导师, 中国科学院院士, 矿床地质学专业, 长期从事矿田构造学、金属矿床学和区域成矿学等方面的教学与研究工作。

(7) 区内的成矿系统(一个或数个)及各成矿系统间的联系;按区域构造演化和成矿继承性建立区域成矿谱系。

(8) 建立矿产信息库,编制区域成矿规律和成矿预测图。

(9) 总结区域成矿规律,认识区域成矿特征,明确进一步研究的问题与方法。

(10) 区域矿产资源潜力评价:明确区域内的主要矿种、主要矿床类型;预测矿产资源量和远景区;研究重点矿床的找矿模型和区域普查找矿方向以及适用于本区的找矿方法和技术。

1.3 区域成矿学的研究思路和方法

1.3.1 研究思路

区域成矿研究对象复杂,因素多样,是一个带全局性的地学研究课题。作者建议以成矿的构造-地球化学背景、成矿系统和成矿演化三者作为区域成矿学的3根支柱,以它们为基础有机地联系各种控矿因素、成矿过程和成矿产物,再进一步构筑区域成矿学的基本理论框架。区域成矿学的研究思路可概括为:“以唯物辩证法、系统论和历史观为指导,以成矿构造-地球化学背景、成矿系统和成矿演化为主线,以矿质分馏-浓集、临界转换成矿、多因耦合成矿等为理论基础,研究区域成矿的时空结构及演化,以阐明矿床的形成与分布规律,作为普查找矿的理论基础。”

1.3.2 研究方法

针对研究对象的复杂性,宜采用多学科的综合研究方法,包括地质学、地球化学、地球物理学、地理学、气象学、遥感学、水文学、生物学、经济地质学、矿产勘查学等学科的交叉融合来探索区域成矿规律。

区域成矿学的研究方法主要有:

(1) 区域地质、地球化学、地球物理的综合信息制图与研究;

(2) 区域控矿因素分析;

(3) 区域地球化学块体分析;

(4) 区域成矿系统分析(环境-要素-过程-产物-演变);

(5) 矿床形成-变化-保存研究法;

(6) 区域成矿模式及成矿谱系研究法;

(7) 区域成矿图编制(二维、三维、四维);

(8) 区域矿产信息库的建立;

(9) 区域矿产预测及预测图的编制;

(10) 区域矿产资源潜力评估法。

以上每一种方法都有其目标、任务、技术手段、工作程序和质量指标等,详见《区域成矿学》^[1]及有关的工作方法指南。

2 区域成矿学的研究历史和现状概述

20世纪初期,地质学家认识到矿床在区域中分布的某些规律。法国人 de Launay 在1905年提出 metallogeny 概念,该词指矿床的成因,侧重在成矿与区域岩石和构造的关系。1913年,他指出“每个成矿省都有一定的区域矿床类型,受地质构造的控制,在一定程度上可以根据构造来预测矿床”。到40年代初期,区域成矿研究基本上以成矿区带和成矿时代为主线,并注意区域尺度的矿床分带研究。

40年代中期以来,前苏联的 Y. A. Bilibin^[2]将矿床时空分布融入到地槽理论中。他总结了乌拉尔地槽的成矿规律,将地槽发展分为5个阶段,每个阶段都有一定的构造、岩相和矿床类型,并划分出相应的构造-岩相成矿带。1959年,陈国达提出了地台成矿、地洼成矿等,开创了区域成矿研究与大地构造相结合的新阶段。此外, S. S. Smirnov 于1945年提出了环太平洋成矿带的概念。以后区域成矿研究包括编图工作的广泛开展,主要采用大地构造、岩石建造与矿床类型相结合的研究方法。

70年代以来,板块构造理论的兴起,促进了区域成矿学的发展。H. Sillitoe、J. Sawkins 等将板块边缘构造运动与金属矿带的成因结合起来研究,解释了斑岩铜矿、块状硫化物矿床等的分布规律。一些代表性著作,如 A. G. Mitchell 的《矿床与全球构造》、J. Sawkins^[3]的《金属矿床与板块构造》等,从全球构造尺度论述了主要矿床类型分布的规律性。1980年, R. W. Hutchinson 则将金属硫化物矿床作为识别大构造环境的一种标志(“矿床化石”)。

90年代以来,加强了新一轮的大陆构造研究,开始酝酿形成大陆动力学的新理论,这将为难以用板块构造运动来解释的大陆内部大型矿集区的形成提供理论框架。现今研究较多的陆内成矿构造体制有:(1)伸展环境下的大陆裂谷成矿作用,可能在地幔热柱作用下,地幔岩浆流体注入陆壳,在岩浆房和浅部定位的岩体中常形成由亲地幔元素组成的矿床,如岩浆型 Cu-Ni 矿、Fe-Ti-V 矿床等;(2)挤压环境下的造山带成矿作用,常表现为大陆碰撞造山带及碰撞复合型造山带,导致壳幔混合型岩浆的发育,发生亲壳和亲幔元素共生在一起的复杂成矿作用,如德兴成矿带、长江中下游成矿带;(3)大

陆内部巨型线性构造和断裂构造,主要是走滑断裂系,常伴有壳幔混合型岩浆及有关的Cu、Au成矿作用。

以上简要介绍了主要用大地构造观点来研究区域成矿的代表性学说。另有一些地质学家则强调以区域地球化学特征来研究大型成矿带中成矿金属的差别,并尝试用地球各部位原始物质组成的不均一性来解释这种差异,提出了超越构造单元的地球化学省或金属省等概念。谢学锦等^[4]以中国大陆近2/3面积的区域化探(1/20万水系沉积物)的丰富信息为基础,提出了地球化学块体理论与方法,开拓了区域地球化学勘查的新领域。

80年代以来,国内外地质矿床学家运用同位素年代学与地质学相结合的方法积累了大量的成岩成矿年龄,区域成矿时代的研究有了新进展,地史时期的成矿演化受到关注。1992年,M. E. Barley^[5]以古大陆开合为背景,指出地史上有3个大陆成矿高峰期(距今2 000~1 800 Ma、1 000~800 Ma、400~300 Ma),它们分别相当于古大陆聚合晚期到裂解初期的转折时期。近来有学者用巨型地幔柱活动来说明造成这种构造体制转折成矿的原因。

中国的区域成矿研究参见《区域成矿学》^[1]的有关章节,需要补充的有以下几点。

(1)中国的全国性区调和编图工作有很大进展,在此基础上广泛开展了成矿区带的矿产调研与成矿规律研究,其中有些重要的成矿区带已经过了几轮区域尺度的研究,不断有新发现和新认识,为区域矿产资源战略评价和发现新矿产基地打下了良好的基础。

(2)90年代以来,由于地质、地球物理和地球化学专家的密切合作,完成了若干地学大断面以及有关的专题和综合研究,加深了对一些区域的岩石圈结构的认识。如中国东部岩石圈自中生代以来的巨大减薄;中国东部存在两类地幔,即古老地幔和显生宙地幔,其成分、温度和交代作用都有明显差别等认识,还有其他新的认识,都为区域成矿研究提供了重要的基础信息。

(3)区域地球化学块体研究已在中国东部各省区全面展开,并开始获得良好的成效。进一步的深入探索将对区域成矿规律和找矿方向的研究将起到重要的促进作用。

(4)重大地质事件包括突发事件与大规模成矿的关系已引起重视。例如,中国东部燕山期成矿高峰与重大地质事件、西南地区晚古生代火成岩省与金属成矿(Fe、Ti、V、PGE等)的关系。一些突发事件地质事件,如火山爆发、生物灭绝、陨石撞击、巨型地震等与大规模成矿以及成矿作用与地质灾害的可能联系等也已提到研究日程。

(5)区域成矿系统及演化的观点,作为当今区域成矿学研究的重点内容已引起广泛关注,其学术思想和研究要点已开始应用于成矿区带的调查和研究中,详见有关文献[6~8]和①。

3 区域成矿研究和找矿思路

在成矿区带研究中如何运用当代区域成矿学的理论与方法,是大家关心的问题。作者建议以成矿系统分析为一根主线,以它为纲,进一步研究和审视有关找矿目标、找矿信息和找矿方法等问题。现提出4点认识和思路供参考,希望能起到抛砖引玉的作用。

3.1 区域找矿目标——由单个矿床到矿床系列

在过去的找矿工作中,常以单个矿种和单个矿床类型为目标,如找寻金矿、铁矿、铜矿等,找斑岩型铜矿、找构造-蚀变岩型金矿等。这种“单打一”的找矿对象,在计划经济时期和专门找矿工作中是常见的,也是无可厚非的,但这终究限制了找矿者的广阔视野,也造成了有可能避免的浪费。

当今,我国的综合性区域矿产调查和找矿预测工作正在全面展开,找矿的目标就不只是单个矿种和矿床类型,而应该是找寻该区存在的矿床组合或矿床系列,即由一定成矿系统产生的全部矿种和矿床类型。例如,在长江中下游成矿带找寻Cu、Fe、Au、S、Mo、Pb、Zn等矿种的斑岩型、矽卡岩型、角砾岩筒型、热液脉型和层控型等矿床。这样以一个成矿系统中所形成的矿床系列(组合)作为找矿的整体目标,就可胸有全局、举一反三,线索较多,信息量大,回旋余地也大。这就增强了找矿工作的主动权,与“单打一”的找寻单个矿种和矿床类型来比较,更有利于提高找矿的命中率。从另一个角度看,矿床分类过细,不利于在找矿中建立对区域成矿的整体认识。而加强对找矿目标的整体性、综合性研究则有利于建立起找矿的战略眼光。

① 翟裕生. 成矿系统与成矿预测. 中国地质调查局. 矿产资源调查评价理论与方法技术论文集. 2001. 44—51.

3.2 从矿化网络入手逐步缩小靶区

在区域找矿中,一般先发现示矿异常,再据以追溯矿体。因此,深入研究矿致异常,应该成为区域成矿研究的一项基本内容。

在成矿作用中产生的各类异常——地质的、地球化学的、地球物理的异常,或直接由矿体因素引起,或由矿化蚀变岩石及含矿地层、岩体、构造等引起。它们或反映矿化的化学异常或物理异常,或反映矿化体的生物异常。这些异常在时间、空间和成因上是密切关联的,例如,很多地球物理异常就是由地质和地球化学异常引起的。因此,可以将与一定成矿作用有关的各类异常称为“异常系列”,并将其纳入成矿系统的产物之中。即一个成矿系统的作用产物包括矿床系列和异常系列两个部分,它们在形成时间上常显示阶段性,在空间上组成有序结构,表现出分带性,形成三维的矿化-异常网络或简称矿化网络。而这种矿化-异常网络正是我们区域找矿的总体对象。由于矿致异常一般比矿体占有更大的空间,能显示更多的有关成矿的信息,因此,常常是有效的找矿标志。应充分运用地质成矿理论,区分和筛选这些有关异常,一步步地缩小找矿靶区,以达到发现矿床的目的。

3.3 全面研究矿床形成条件和保存条件——“来龙去脉”找矿法

矿床是地质历史的产物。区域成矿系统及其产物是一定的地质历史作用的结果。矿床系列及异常系列在其形成后又进入一个新的历史阶段,即这些产物经受后来地质作用的变化和被改造的阶段。主要的地质改造作用有构造变形、流体溶蚀、变质作用和地表风化剥蚀、搬运和掩埋作用等。作为一个矿床,其经受的后来变化有变形、变质、变位、变品位、变规模等,其结局有几种可能:①保存完好;②部分保存,即矿床规模缩小;③转变为其他类型;④消亡。目前,已知的地表和近地表的很多矿床都是经过众多地质事件磨难后的“幸存者”。一个区域中的矿床“幸存者”越多,找矿的潜力就越大。

正是利用了历史分析的方法,我们才注意到矿床和成矿系统的“来龙去脉”。对每一个矿床,都要问几句:你经历过哪些遭遇?你是原状,还是残破状?你是原来的规模(储量),还是剩余储量?你损失的储量到哪里去了?调查摸清这些问题,对于正确评价矿床是很有帮助的。由此还可进一步认识到,在过去的区域成矿研究工作中,大多只注重成矿条件,即有利的成矿地质因素的研究,而忽视了对于

矿床形成后保存条件的研究。基于前述理由和实际找矿的经验,区域成矿研究应该“两手抓”:既要研究矿床的形成条件,又要研究矿床的保存条件。即矿床保存条件的研究不是附带任务,在大多数情况下,它是一项并不亚于成矿条件研究的重要内容。在具体工作的地区,还要研究一个成矿系统产生的矿床组合和异常系列的被改造过程和整体保存条件,包括哪些矿床类型被破坏了,哪些被保存下来,保存在哪些地段?等等,这对于区域矿产资源评价是十分必要的。

3.4 信息-模式找矿法

作者曾经提出科学找矿的3根支柱——找矿信息、找矿经验和找矿理论^[9]。具体到在一个区域找矿时,如何去应用这3个支柱呢?针对这个问题,作者建议采用信息-模式找矿法(暂定名),信息指综合找矿信息,模式指矿床概念模式。将这二者有机结合,合理运用,有助于提高找矿的成效。

如前所述,找矿信息包括地质的、地球化学的、地球物理的和遥感的信息。找矿信息有直接的和间接的。面对浩如烟海的信息,如何去伪存真,去粗取精,筛选出有效信息和异常呢?这首先需要地质成矿理论的指导,具体来说,要建立起找矿的工作假说(预想方案),即设想该区可能存在的矿床及其概念模式。例如,斑岩铜矿概念模式、构造蚀变岩型金矿概念模式等。再分析这些矿床概念模式可能会产生哪些示矿异常信息,以及该类异常信息在找矿区域现今地质-地理条件下的表现形式。这样将找矿信息与矿床概念模式相互印证,既运用矿床概念模式来评价筛选各类找矿信息,又用确实的找矿信息去检查、修正假设的矿床概念模式,这中间还要进行必要的现场调研、核对信息的准确度,细化矿床概念模式。就这样反复的磨合双方,逐步聚焦,一步步接近实际,接近找矿靶区。如果进展顺利,就有可能发现未知矿床。一旦预期的矿床被发现,有利的找矿信息就变成该矿床的有效示矿信息,而工作初期假定的矿床概念模式也就成为确实的矿床模式了。

综上所述,从成矿系统观念引伸出的找矿思路和工作流程,可概括如图1所示。

以上一些建议和思路,是否符合找矿实际,需要在找矿工作中进一步检验和修正。但是,运用成矿系统观念,将成矿环境、控矿因素、成矿过程、矿床系列、异常系列以及成矿后变化-保存等方面有机地结合起来,融合为一体,则是区域成矿学研究的

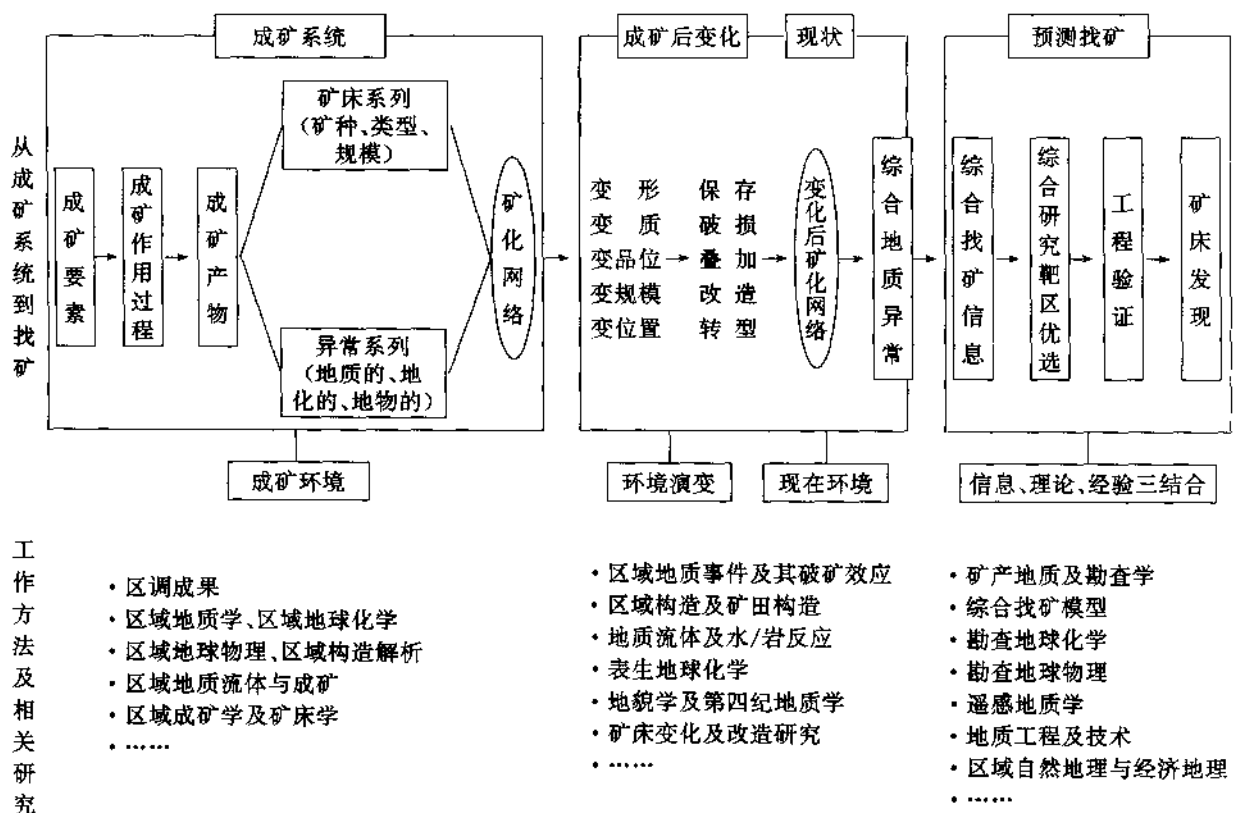


图1 区域成矿系统及找矿流程模型

Fig. 1 Metallogenic system and exploratory method

重要内容，也是提出找矿新思路的理论基础。只要我们善于学习，勇于实践，开拓创新，一定会开拓区域矿产调查和预测找矿的新局面。

作者在学习和工作期间，曾长期得到陈光远先生的热情指导和谆谆教诲，谨以此文表示对先生的崇敬和缅怀。

参考文献：

- [1] 翟裕生，邓军，李晓波. 区域成矿学 [M]. 北京：地质出版社，1999.
- [2] Bilibin Y A. Metallogenic Provinces and Metallogenic Epochs [M]. New York: Queens coll Flushing, 1955. 35.

- [3] Sawkins J. Metal Deposits in Relation to Plate Tectonic [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 283—294.
- [4] 谢学锦，王学术. 金的勘查地球化学 [M]. 济南：山东科学技术出版社，2000.
- [5] Barley M E, Groves D I. Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time [J]. Geology, 1992, 20: 291—294.
- [6] 翟裕生. 论成矿系统 [J]. 地学前缘, 1999, 6 (1): 13—28.
- [7] 翟裕生. 成矿系统分析与新类型矿床预测 [J]. 地学前缘, 2000, 7 (1): 123—132.
- [8] 翟裕生. 矿床变化与保存的研究内容和研究方法 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25 (4): 340—345.

REGIONAL METALLOGENY AND EXPLORATORY THINKING

ZHAI Yu-sheng, PENG Run-min, DENG Jun, WANG Jian-ping

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The study of regional metallogeny is a complex branch of geosciences, dealing with the research of regional tectonic setting, ore-forming system and metallogenic evolution to reveal the regulations of temporal

and spatial distribution of mineral deposits. This paper discusses the fundamental contents and major research methods of this discipline. Based on the introduction of the history of regional metallogenic research, the authors point out that the metallogenic system is a guideline for studying regional metallogeny and propose four exploratory thinking: (1) the exploratory target, from single ore deposit to ore deposit series; (2) establish the "mineralization network"; (3) study not only the controlling factors of ore-forming, but also the factors of post-ore changes and preservation; (4) the combination of exploratory information and ideal ore deposit model.

Key words: regional metallogeny; metallogenic system; mineralization network; ore deposit preservation; exploratory information; ore deposit model

内蒙古多伦地区 5 幅 1:5 万区域地质调查成果报告 以优秀等级通过评审

由中国地质大学(北京)多伦区调项目组(参加该项目的主要工作人员有:白志达、徐德斌、顾德林、田明中、赵国春、孙恺荪等)自 1996 年起历经 5 年时间完成的内蒙古多伦地区 5 幅(共 1 915 km²) 1:50 000 区域地质调查成果,于 2001 年 1 月 11 日以优秀等级通过中国地质调查局内蒙古自治区地质调查院组织的专家评审委员会的评审验收。

该项目在以下几个方面取得了重大成果。

- (1) 新发现了前寒武纪中高级变质岩系,并进一步划分为变质表壳岩和变质深成体。
- (2) 正确建立了本区显生宙地层系统。在火山地层中采集了 14 件同位素测年样品,用 3 种不同的方法进行测定,特别是用 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 法测定的同位素年龄为火山活动的时代及地层划分提供了可靠的时代依据。
- (3) 对测区内中-新生代火山岩的野外地质学、岩石学、岩石化学、地球化学特征、岩相类型、火山旋回、火山机构、岩浆起源及演化进行了详细而深入的研究。对测区内火山岩划分出 11 种火山岩相类型,对各种岩相的物质组成、火山活动特征和堆积定位环境进行了深入探讨。特别是晚侏罗世侵入相泡沫熔岩和上新世火山渣锥的发现和认识,丰富了与火山岩相关的地质问题的研究内容;通过野外地质资料、区域地球物理资料的综合研究,在测区内识别出 15 个火山机构,火山构造划分合理、层次清楚。对测区内中-新生代火山岩的研究具国内领先水平。
- (4) 将区内中生代侵入岩区分为火山侵入岩系和深成侵入岩系列,采用不同方法进行研究,具有创新性。
- (5) 早二叠世中晚期额里图组火山岩时代的确定及其与下伏早二叠世早期三面井组角度不整合面的发现,对研究本区晚华力西造山运动具有重要意义。
- (6) 充分利用重、磁和 TM 假彩色合成图像对测区内隐伏断裂构造进行了解译,结合实测断层的分析研究,认为原 1:20 万区调所划分的“槽台”界线应向北移至北纬 42°40′一线,本区在古生代处于陆缘结晶基底之上。
- (7) 花塘沟“冲击角砾岩”经大比例尺填图证实,是发育在火山机构内的玻璃质隐爆角砾岩。
- (8) 对第四纪地质进行了较深入的研究。新发现史前人类遗存点 10 处,石器 3 000 件。论述了第四纪生态环境特征及其演化,提出了本区沙漠化治理的措施和对策。
- (9) 对区内矿产及其分布特征进行了初步总结,探讨了控矿因素,划分出了 5 个金属矿产、3 个非金属矿产的找矿有利地段。

(中国地质大学(北京)地质调查研究院报道)

