



“十二五”国家重点图书出版规划项目
陕西出版集团资助项目



总 主 编 徐冠华 郑 度
陆大道 管华诗

主 编 杨守仁 李凤棠 张 臣

中国地学通鉴

地 质 卷 (下)



陕西师范大学出版总社



“十二五”国家重点图书出版规划项目
陕西出版资金资助项目

中国地学通鉴

地质卷(下)

主 编 杨守仁 李凤棠 张 臣

陕西师范大学出版总社



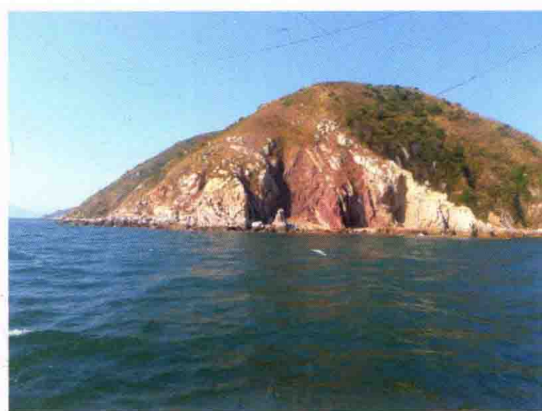
浙江象山花岙岛上的熔结凝灰岩



陕西岚皋南宫山地质公园金顶火山岩/吴成基 摄



五大连池火山熔岩形成的翻花石/吴成基 摄



香港世界地质公园新界沉积岩园区/吴成基 摄



褶皱



冰川国家地质公园的大型逆冲断层



断层三角面



华山北麓山前断裂/吴成基 摄



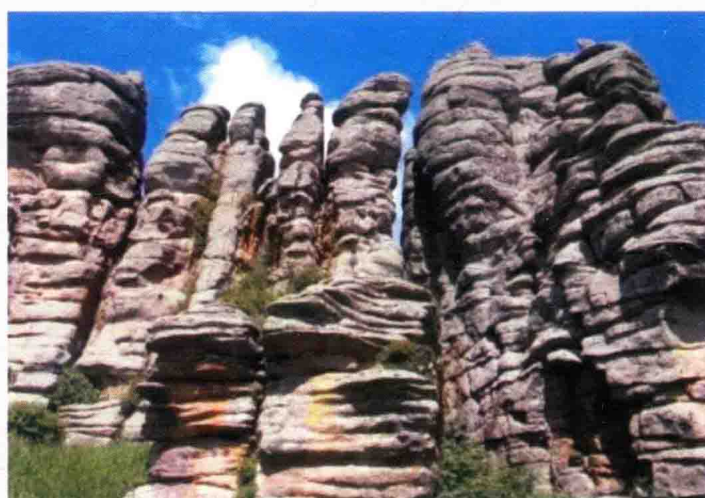
石香肠构造



新疆西准噶尔晚泥盆世砂岩中的球形风化



新疆西准噶尔介壳灰岩的腕足类化石



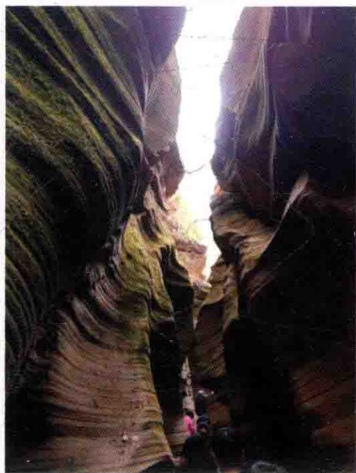
内蒙古阿斯哈图花岗岩石林



陕西凤县通天河森林公园花岗岩石臼/吴成基 摄



广西阳朔月亮山石灰岩大石拱



陕西甘泉雨岔大峡谷/郎根栋 摄



陕西靖边波浪谷/郎根栋 摄



陕西洛川黄土地质公园黄土柱/吴成基 摄



天山一号冰川



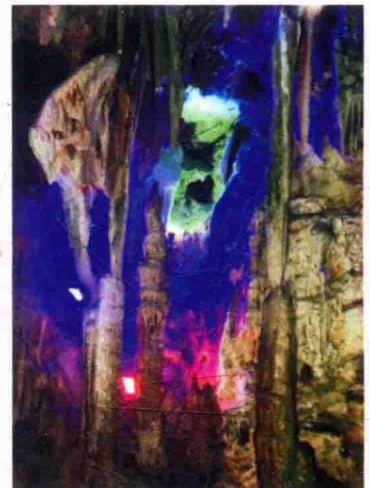
腾冲火山国家地质公园/岳冬菊 摄



大连滨海国家地质公园



台湾野柳地质公园/张科利 摄



陕西柞水溶洞国家地质公园/吴成基 摄



湖北黄石国家矿山公园/党安荣 摄



四川牦牛坪稀土矿山

(图片除署名外均由作者提供)

目 录

第二篇 中国地质科学研究综述(下)

第五章 中国经济地质学研究	550	第八章 中国地质应用技术研究	657
第一节 中国矿产地质研究	550	第一节 中国探矿工程研究	657
第二节 中国宝玉石矿产地质研究	568	第二节 中国勘查地球物理学研究	663
第三节 中国能源矿产地质研究	570	第三节 中国勘查地球化学研究	670
第六章 中国应用地质学研究	592	第四节 中国遥感地质研究	674
第一节 中国工程地质学研究	592	第五节 中国地质填图研究	678
第二节 中国水文地质学研究	597	第六节 中国地质实验技术研究	683
第三节 中国岩溶地质学研究	600	第七节 中国地质信息与计算机应用	693
第四节 中国地震地质学研究	608	第九章 中国地质科学的国际合作与交流	706
第五节 中国灾害地质学研究	612	第十章 中国地质科学展望	709
第六节 中国农业地质学研究	621	第一节 国际地球科学发展态势	709
第七节 中国城市地质学研究	627	第二节 中国地质科学发展战略	714
第七章 中国地质科学新领域研究	634	第三节 中国地质科学近期发展的重点	717
第一节 中国深部地质研究	634		
第二节 中国海洋地质学研究	637		
第三节 中国行星地质学研究	641		
第四节 中国极地地质研究	642		
第五节 中国岩石圈地质研究	645		
第六节 中国环境地质学研究	652		

第三篇 中国区域地质

第一章 中国地质构造区划	723	第二节 古生代地层特征	733
第一节 地台区	723	第三节 中生代地层特征	738
第二节 造山区	726	第四节 新生代地层特征	742
第三节 边缘海盆区	729	第三章 中国区域岩浆岩发育特征	745
第二章 中国区域地层特征	731	第四章 中国大陆岩石圈结构特征	749
第一节 前寒武纪地层特征	731		

第四篇 中国地质科学信息要览

第一章 中国地质机构和科研单位	753	第三章 中国地质专业普通高校	817
第一节 中国地质管理机构概况	753	第一节 中国高等地质院校概况	817
第二节 中国地质科研单位概况	754	第二节 中国普通高校地质科学专业设置	818
第三节 中国地质科学研究单位名录	758	第四章 中国地质科学家	826
第二章 中国地质科学学术期刊	799	第五章 中国地质科学大事记	886
		第六章 中国地质科学主要文献	927

第二篇

中国地质科学研究综述(下)

- 中国经济地质学研究
- 中国应用地质学研究
- 中国地质科学新领域研究
- 中国地质应用技术研究
- 中国地质科学的国际合作与交流
- 中国地质科学展望

第五章 中国经济地质学研究

第一节 中国矿产地质学研究

自然界中有利用价值的矿物和岩石统称矿产。矿产大多数为自然固态(金属、非金属、铀和煤等),少数为液态(石油、地下水等)和气态(天然气等)。矿床地质就是地质学中研究矿产的重要分支之一,其研究的矿产,从地质意义上讲,它是地质作用的产物,它的形成是严格地服从于某一地区或地带的独具特点的地质发展中的成矿作用,因此能具某一类型特征和时、空分布的规律。从有利用价值意义上讲,即从经济意义上讲,它具有商品性质,与一个国家的现代化是息息相关的。

一、中国古代对矿床的认识

中国是世界上最早发现、开采、使用有色金属的国家之一,我们祖先在几千年的找矿采矿实践中积累了矿产产出规律的认识和地质找矿的经验。甘肃马家窑出土的青铜刀年代为公元前 2750 年,湖北大冶铜绿山的采矿冶炼遗址规模宏大留存完整,至迟始于西周末年。在成书于公元前 180 年前的《管子·地数》中就有“上有丹砂者,下有黄金。上有慈石者,下有铜金。上有陵石者,下有铜锡赤铜。上有赭者,下有铁。”的记载,指出元素共生和矿床分带现象以及砂金产于水潦汇集之处。《山海经》中经常出现在山的“阴”“阳”处分别产出不同矿产的记述,如“荆山(湖北南漳县),其阴多铁,其阳多赤金,……漳水出焉,而东南流注于睢,其中多黄金”,“符禺之山(陕西华县),其阳多铜,其阴多铁”,“泰冒之山(陕西肤施),其阳多金,其阴多铁”,这不仅指矿产的共生(伴生)关系,还可能包含有原生矿(出露在高位)与次生堆积矿(堆积在凹地或低处),或垂直分带(分布在地表的“阳”与隐伏在其下的“阴”)的矿床特点的意思。《本草纲目》载有“阴平铅(指甘肃文县所产的含白铅矿氧化矿石)出剑川(四川剑阁),是铜、铁苗”;“比(砒)乃锡之苗”,指出伴生毒砂的锡矿床氧化带的砒华(砒霜)为其找矿标志。找到矿以后,往往是就地采矿冶铸,这在中国古代已具有高超技术,1973 年在湖北大冶铜绿山铜矿发现的古矿冶遗址就是一个完整的实例。可以说,地质学和矿山地质学是人类从漫长的矿业活动中,经过长期积累、总结、验证、提高而逐步形成、发展的。

二、中国现代矿床地质学奠基性研究

在国外,较系统的矿床地质学理论大致建立于 19 世纪中叶至 20 世纪之间。中国古代对矿床的认识虽早,但未能发展成矿床学。20 世纪初,中国早期留学生到工业先进国家学习地质矿业,带回了较系统的矿床学理论知识。1916 年地质调查所接纳了地质研究所的毕业生,矿床学才开始进行研究。1929 年何杰为北京大学地质系讲授了经济地质学。1949 年前中国仅在《中国地质学会志》和《地质评论》上发表有关矿床地质的论文就达 200 余篇,涉及矿产数十种,其中以云南东川铜矿、湖南水口山铅锌矿、云南个旧锡矿、大冶铁矿和赣南钨矿以及华北地区的煤矿等研究比较深入,对这些矿产开发起了明显的推动作用;其他刊物如《地质汇报》《地质专报》、中央研究院地质研究所《中文集刊》《西文集刊》《丛刊》等刊载有关矿床方面的论著也达近百篇(册)。这个时期矿床学研究是与地质基础学科如地层古生物、构造地质学、岩石学研究同时开展的,因此,有可能在旧

中国提出有关区域成矿规律的初步认识。

(1) 翁文灏对矿床地质理论的贡献 翁文灏先后发表了《中国矿产志略》(1919)、《中国矿产区域论》(1920)和《中国矿床生成之时代》(1930)等经典著作,全面论述了当时已知的中国各种矿产的成因类型与分布规律;首次应用地热分带理论指出华南内生金属矿床之带状分布十分明显,从闽粤沿海经赣湘至贵州存在锡钨钼带、锌铅铜带、锑带和汞带;认为华南锡带、锡钨钼带、锌铅铜带、汞带与偏酸性花岗岩有关,长江下游的铁铜与偏中性的石英闪长岩或花岗闪长岩有关,实际上提出了岩浆岩成矿专属性的见解;首次在中国提出成矿系列的概念。翁文灏对成矿规律的论述,对后人在这方面工作大有影响。

(2) 谢家荣对矿床地质理论的贡献 在谢家荣 400 余种著述中,大多为矿床地质的内容,涉及 10 多个矿种,包括成矿特征、找矿方向、成矿理论以及矿相学、陨石学诸方面。《中国铁矿之分类》(1923)是中国关于金属矿床分类的早期论文;他把中国东部的燕山花岗岩分为 4 期,每期都有它专属的内生金属矿床,并认为长江下游的铁铜矿床属第 3 期(扬子期),南岭的钨锡矿床属第 4 期(香港期)。他与孙健初等合著《扬子江下游铁矿地质志》(1935),对该区铁矿进行了详细的论述,并提出了系统的分类。这是继 1924 年瑞典丁格兰《中国铁矿志》之后出版的有关铁矿床的重要著作。进一步探讨了中国成矿时代和成矿区域,指出水成矿床有 7 类,火成矿床有 5 类,并按地理位置划分 16 个矿产区域。1936 年他论述了中国的铜铅锌矿,划分出 7 个类型;还提出中国南方的 5 个锡矿带,它们都是南北走向,但整个矿带则是东西走向(南岭走向)。

(3) 其他学者对内生金属矿床理论的贡献 四川攀枝花铁矿的发现具有重要意义。1935 年常隆庆去攀枝花外围考察,嗣后,袁复礼、苏良赫和任泽雨(1938),常隆庆和刘之祥(1940),汤克成和姚开瑞(1940),李善邦和秦馨菱(1941)都对攀枝花铁矿床作了详细调查。1943 年郭文魁、业治铮等以平板仪测了该矿区地质图,估计了储量,并论证该矿床的岩浆分异成因。郑厚怀(1936)对若干内生金属矿床成因学研究后,划分出接触交代型、高温热液型、晚期热液型、次生富集型等矿床类型。在 20 世纪 30 年代,孟宪民、陈恺等详细研究了云南个旧锡矿床,讨论了锡矿的矿物组成和地层、构造运动以及岩浆活动的关系。孟宪民(1937)将中国的锡矿区划分成南岭带和沿海带。冯景兰(1947)研究了四川、西康的铜矿,论述了它们的次生富集特征;并在研究云南的矿产分布规律时曾提出 9 个造矿时期和 12 个矿产区域的见解。朱熙人(1935)研究中国铜矿成因,划分出 6 种矿床类型,他和袁复礼、郭令智合著《云南矿产志》,对云南的成矿时代和矿产分布进行了论述。南延宗(1936)研究湖南金船塘的金属矿床时,说明了它们的矿物和成矿特征以及它们与中生代花岗岩的密切关系。钨是中国特产,高平、徐克勤、丁毅曾作过详细调查。1943 年徐克勤、丁毅比较深入地研究了江西钨矿地质,对赣南地区的地层、构造和火成岩特点以及它们对钨矿的关系进行论述,并提出了钨矿床分类:正常伟晶岩脉矿床;伟晶与汽化过渡期矿床及汽化矿床;汽化与高温热液过渡期矿床;深成石英脉矿床;晚期高温热液或初期中温热液矿床;砂矿。并详细描述了各钨矿产区的特点。田奇璈、黄懿与朱夏、刘国昌先后对湘西黔东的汞矿进行了研究,田奇璈首先对汞矿作了分类,黄懿、朱夏(1945)根据构造关系、矿化次序等方面的考虑,提出了和田奇璈不同的分类方案。

(4) 其他学者对非金属矿床的研究 1913 年~1949 年作过调查的非金属矿产有磷矿、黄铁矿、食盐、石膏、芒硝、重晶石、砷矿、明矾石、石棉、云母、滑石、石墨、金刚石、玉石、萤石、高岭土和耐火粘土等 10 多种。20 世纪 30 年代叶良辅、李璜、张更对浙江平阳矾石矿床进行过详细研究,认为该矿床是中生代流纹岩和流纹凝灰岩遭受明矾石化的结果。1935 年程裕淇和陈恺研究了性质相似的安徽庐江矾石矿床。在抗日战争后期,谢家荣论述了西南地区铝土矿和震旦纪磷块岩的地理分布,认为铝土矿产出于下石炭统底部,有“红土”型和红壤化型 2 种类型,附有一张小比例尺的古地理图表示铝土矿和磷矿的大致分布和可能发现新矿床的地带。这是中国人用古地理图法预测矿产的首次尝试。米士详细研究了云南昆明附近的铝土矿地层剖面,对铝土矿的地质时代和沉

积方式有精辟的论述,并认为 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 4 个时期都有铝土矿层,它们属浅水型和海陆交替型而不是风化型。在盐类矿床方面,朱庭祜、袁见齐等都提出了各种假说。李悦言对四川的盐城地质进行长期研究,划分出潟湖相和内陆湖相 2 大类型。他的研究否定了前人所谓“淋滤过饱和说”,为以后在该区发现新盐田提供了理论根据。

三、中国现代矿床地质学蓬勃发展

新中国成立后,为了保证经济建设对矿产资源的迫切需求,矿产地质勘查工作大发展,矿床学也取得了多方面的主要进展。

第一个五年计划期间,地质部等有关部门组织勘探了一批重点矿床,提交了矿山建设所需要的储量。谢家荣、程裕淇、孟宪民、冯景兰、侯德封、叶连俊等根据中国已有的矿山地质资料,初步总结了中国铁、锰、铜、铅、锌等矿产的成矿条件和分布情况,提出了找矿方向,对普查勘探工作部署起到指导作用。随着一些重点矿区勘探工作的深入,地质资料日趋丰富,从而对一些重要矿床的地质特征和成矿条件及成因等作了综合分析,如程裕淇关于鞍山式铁矿,郭文魁、郭宗山关于铜官山一带铜矿,宋叔和关于白银厂一带铜矿,程裕淇、黄懿、裴荣富关于大冶铁矿,徐克勤、苗树屏等关于华南钨矿的著述等。李璞等研究了全国超基性岩特征和铬矿勘察问题,涂光炽等对祁连山地质发展史和成矿作用进行了研究,司幼东、郭承基等研究了内蒙古地区稀有和分散元素成矿特征。

1958 年全国第 1 次矿床会议上对中国已知的铁、铜、锰、铅、锌、钨和铀矿等矿床类型、成因和分布规律作了较系统总结,其中《中国已知铁矿类型的特征、分布与生成的地质条件及今后普查方向》《中国铅锌矿的工业类型及其发展方向》《中国铀矿工业类型》《中国铜矿床的工业类型、分布规律及找矿方向》《中国锰矿床》《中国钨矿床类型及其分布规律》以及岩浆岩成矿专属性等文章具有导向意义。这一时期矿床学发展的主要特点是岩浆热液成矿理论起了主导作用。尤其是中小型侵入体有关的矽卡岩矿床和气成热液矿床得到广泛重视。广大地质工作者初步掌握了现代矿床的研究方法,做了大量的矿床地质基础工作,培养了大批年轻的矿产地质人才。

1958 年~1977 年尽管中国地质工作经过了曲折的发展道路,矿床地质勘查和矿床研究还是取得了一定的成果。20 年的勘查表明,中国矿产资源比较丰富,矿床类型众多。开采矿山和勘探矿床数目日益增多,为矿床学研究提供了广阔空间,在相当一段时间内学术思想活跃,研究内容拓展,形成或初步形成了不少分支学科和新的研究方向。例如,花岗岩与成矿、火山与成矿、沉积成矿、变质成矿、同生和层控矿床、多成因矿床、矿田构造等。地矿、冶金、有色等部门和院校研究所的专家、学者对中国近百个代表性矿床进行了系统总结,出版了多种专报。在此基础上,进行了矿床模式和成矿模式的综合研究。

(1) 矿床类型的研究 1952 年以来矿床地质研究工作得到了加强。中国学者提出并发表了一批水平较高的矿床地质论文。重要的有程裕淇(1957)关于鞍山式铁矿,郭文魁、郭宗山(1957)关于铜官山铜矿,宋叔和等(1955,1957)关于白银厂铜矿,黄懿、裴荣富等(1957)关于大冶铁矿,王植等(1957)关于中条山铜矿等,侯德封、叶连俊等(1953)探讨了中国锰矿成因类型,李璞、涂光炽等(1963)对祁连山地质发展史和成矿作用进行了研究。这些研究成果在理论和实践上都有一定价值。1958 年以来,综合整理了大理矿产普查勘探资料,结合专题研究成果,先后对铁、铜、钨、锡、铋、钼、铀、铅、锌、铂、金、铝、铬、镍、煤、石油、磷、硫、明矾石、云母、金刚石、硼、水晶等 20 多种矿产进行了较系统的深入研究和总结,提出了比较适合中国地质情况的矿床类型。从地层、构造、岩相古地理、岩浆活动、变质作用、含矿建造直至物质组成等方面探讨和阐明了这些矿床类型的成矿远景和找矿方向,并建立了成矿规律和矿产预测这门科学。比较突出的例子有:涂光炽(1988)列出了中国 9 种改造成矿作用形成的改造矿床类型;王秀璋等(1992)以为中国金矿床,包括太古宙绿岩带型、卡林型、变质碎屑岩型等许多金矿在内均属改造矿床类型,足见改造成矿的普遍性。世界

上迄今拥有 250 种矿产中国都已找到,已探明储量者达 153 种。同时,新发现 30 多种特大型矿,还发现了斑岩型钨、钼矿,斑岩型铅锌矿,斑岩型银矿,砂岩型银铜矿及火山岩型银矿等少见的矿床类型。鄂西含碳岩系中的银矿化近年也业已证实。

(2) 区域成矿规律的研究 20 世纪 50 年代末,地质部地质研究所编出了全国 1:100 万分幅矿产图,在此基础上编制出 1:300 万全国内生金属成矿规律图,并于 1964 年由郭文魁等编写出版了《我国主要矿产成矿条件的基本特征》一书。1959 年张炳熹等对湘、赣、闽、浙等省矿产的成矿规律进行了研究,取得了较好的成果。一些地质学家根据中国主要金属矿床的成矿条件、地球化学特征等,对成矿规律提出了许多新的认识和见解。20 世纪 70 年代中期召开了几次全国火山岩及有关矿产科技工作会议,并在宁芜地区组织了有几十个单位、几百名科研人员参加的火山岩铁矿研究,深入探讨了火山岩区矿床的形成机理,由陈毓川、李文达等总结和提出了“玢岩铁矿”成矿模式。1975 年程裕淇、陈毓川等提出了关于铁矿床的“矿床成矿系列”概念,1979 年进一步综合概括提出所有矿床的 3 大类 21 个成矿系列,经过近 20 年研究后提出了新方案,将全国矿产(固体燃料和油气除外)划分为 4 大成矿系列组合、32 个成矿系列类型、234 个成矿系列。从而突破了区域成矿规律分析中往往只从单一矿种、单一矿床类型进行分析的研究方法。20 世纪 80 年代初为适应矿产普查勘探工作的进一步开展,编出了《1:400 万中国内生金属找矿规律图》,反映了中国内生金属矿产的分布规律和主要特征。这对进行国际地质、成矿规律对比,丰富成矿理论,指导找矿,具有积极的推动作用。1981 年~1985 年中国地质科学院等单位在对南岭攻关项目的研究中,提出了层控矿床的分类方案,总结出 5 种成矿模式,划分出 3 个成矿区、14 个成矿带,总结了南岭地区钨、锡多金属矿床的控矿构造特征、矿产预测的标志和条件,划出若干重要成矿远景区、预测段;总结了花岗岩与有关矿产的形成关系,建立了五大成矿系列和重要成矿区的区域成矿模式与典型矿床的成矿模式。研究总结了西昌—滇中地区花岗岩的形成、演化与区域成矿关系,建立了该区地壳结构模式和区域构造演化特征,查明了不同时期的控矿构造和铁、铜等矿床在空间上的分布规律,划出了 7 个构造成矿带,总结了铁、铜等矿产的区域成矿特征,提出了成矿远景区和找矿方向。其他如东南沿海、长江中下游、中朝地台北缘、西准噶尔等地区的区域成矿规律研究也取得了进展。

(3) 矿床成因理论的研究 中国矿床成因的研究工作获得迅速发展,其中许多课题已与国际矿床学界并驾齐驱,有的则处于领先地位。20 世纪 50 年代岩浆热液成矿说起了主导作用,对许多矿床的成因都用它来解释,并且找到了一些大型、特大型矿床。热液成矿作用涵盖了多个矿床,中国学者作了多方面的探索。胡受奚等交代蚀变作用与成矿,冯钟燕等对矽卡岩和热液型矿床,赵一鸣等矽卡岩矿床,芮宗瑶、任启江等对斑岩型矿床,都有描述。海底热水(喷流)沉积作用对形成 SEDEX 型矿床起到关键作用。这类矿床在中元古代和泥盆纪均很发育,矿床成带分布,常形成大型、超大型矿床。祁思敬、韩发、陈先沛等分别研究了南秦岭和华南的热水沉积成矿作用,发表了有关专著和论文。50 年代末~60 年代初孟宪民等统计了中国铁、铜、铅、锌、锑、汞和锡等矿床储量,发现层状矿床的储量占大部分,许多矿床赋存层位具有明显区域性分布的特点,于是,他在 1963 年认为这些矿床都是与围岩同时沉积后经再分泌形成的“同生矿床”。他对大量的碳酸盐岩地层中的铅、锌、汞、锑矿床和以铜矿与某些层位中的火山沉积矿床给以同生成因解释,提出了“顺层找矿”观点。在实践中,同生论得到了越来越多矿床学者的支持。同生论与岩浆热液论之争论构成这一时期中国矿床学史的重要特点。50 年代~60 年代王恒升等研究含铬、镍超基性岩,讨论了中国超基性岩的成矿专属性,1962 年提出了岩浆晚期铬铁矿岩浆熔离富集成矿的看法。60 年代~70 年代王述平对铬铁矿的成因类型探讨中,提出了深部找铬铁矿问题。1963 年涂光炽、李文达等分别对祁连山和长江下游金属矿床氧化带特征及其成因作了深入细致研究。70 年代~80 年代国内外矿床界的热门话题之一是层控(层状)矿床,除了召开一些专门学术会议外,还出版了系列专著。孟宪民是中国层控矿床理论的奠基者。谢家荣、周圣生等对此都有重要论述。主要的则是在 80 年代有涂光炽主编的《中国层控矿床地球化学》3

大卷,对 17 个矿种 250 个矿床地球化学工作的系统总结。朱上庆、郑明华等的《层控矿床地质学》(1988)、《层控矿床及找矿》(1992)、《层控矿床学》(1991)以及曾允孚等的《南岭泥盆系层控矿床》(1987)等著作,深入分析了层控矿床的地质和成因。层控矿床学说将几百年来矿床学上的水成—火成、内生—外生、同生—后生的激烈对立和争论在一定程度上统一起来了,促进了矿床形成理论和矿床地球化学学科的纵深发展,也给找矿勘探工作带来了新的方向、前提和标志。70 年代以来人们对“内生矿床”提出了新看法,如对汞矿提出了“沉积再造”含矿层的看法,对湖南花垣铅锌矿提出了生物化学沉积成矿(藻礁相沉积环境成矿)的看法等等。西南地区的砂岩铜矿也被认为在沉积时分散的有用组分在沉积期后分异作用的产物。长期以来矿床单一成因的观点统治着矿床学界的思维。1974 年涂光炽提出矿床的多成因包括成矿物质的多源性、多种成矿作用的参加、多阶段成矿作用和多种含矿溶液的改造。多成因矿床成因模式大致有:叠加成矿(如白云鄂博铁矿)、活化或再造成矿(如关门山铅锌矿)、沉积改造成矿(如砂岩铜矿、某些铀矿、大西湾菱铁矿等)和催化成矿。1991 年涂氏曾运用铜同位素及矿物学、元素含量等因素,论证了华北大湾、八家子等矽卡岩矿床的成矿物质至少部分来自岩浆岩侵入的围岩地层。1995 年他进而指出:同一类型矿床(如铜镍硫化物矿床和矽卡岩矿床)也可以有不同的物质来源、成矿介质和成因,简言之,即可以具多成因。有的学者根据中国主要铁矿和有色金属矿床的大量实际资料和硫同位素数据提出了渗透热卤水成矿说。对云南金顶铅锌矿床、海南石碌铁矿床都曾以这种成矿理论进行解释。50 年代谢家荣强调了火山作用在某些矿床成矿中的作用;宋叔和等深入研究了白银厂含铜黄铁矿床的成因,论述了细碧角斑岩系与铜、多金属成矿的关系;70 年代由 17 个单位联合组成的长江中下游火山岩铁矿研究组在宁芜和庐枞地区陆相火山岩区的铁矿床进行详细研究后提出“玢岩铁矿”的概念,并对其岩浆演化、围岩蚀变、矿床构造和成矿分带特征进行了研究,建立了玢岩铁矿的成矿模式,是中国火山岩区成矿模式研究的重要成果。在研究火山作用与铁矿成矿关系的过程中,提出了矿浆成矿说,如宁芜地区的梅山和姑山、云南大勐龙曼养和大红山铁矿就属于这种成因。80 年代湖北大冶式铁矿也发现了矿浆成矿的证据。石准立、翟裕生等在鄂东大冶式铁矿发现了矿浆成矿的证据。以某些学者提出了浅成条件下岩浆分熔作用形成矿浆的观点。苏良赫等曾对宁芜铁矿的矿浆成矿作用、吴延昌和赵斌对铜陵地区的岩浆型矽卡岩及其成矿作了成矿实验研究。为了查明中国 Cr、Ni 资源问题,王恒升、王述平、白文吉、鲍佩声等系统研究了中国基性、超基性岩浆的成矿作用,汤中立等发现和深入研究了金川 Cu-Ni 矿床,提出了深部熔离、矿浆上侵贯入和多次贯入的矿床成矿模式。

(4) 沉积矿床成矿理论研究 随着中国大规模开采、普查勘探,沉积矿床研究有了很大进展。1963 年叶连俊在总结中国铁、锰、磷、铝等外生矿床特征的基础上,对溶液搬运或化学分异提出了异议。他认为外生成矿作用应分为大陆和海洋两大阶段。在大陆阶段,岩层通过风化形成很不相同的风化壳,这些陆源风化物对后来的成矿作用以及矿种起控制作用。海洋阶段是风化壳产物在海侵初期被淹没于海水之下,在局限海盆或泻湖底部的新的物理化学条件下开始海解或汲取;大量溶出物质以重碳酸络合物等形式存在,逐渐积累和富集于海盆底的水中,以至达到过饱和程度,形成海相沉积矿床,它们代表特殊的沉积相并在岩相系列中占据一定的空间位置。这就是“外生矿床陆源汲取成矿论”。1959 年~1961 年袁见齐等对中国陆相盐类沉积的形成机理,含盐盆地的形成历史以及成盐物源等,均依据中国地质实际资料提出了新的碎屑岩类(陆相)的成矿理论。1984 年袁义军在多年的实际工作中感到传统的成岩成矿理论对许多地质现象都难以解释,于是提出了成岩成矿作用中的“喷发—堆积”或“喷发—沉积”的见解,简称“喷发—(堆)沉积理论”。

(5) 花岗岩成矿研究 中国花岗岩分布广、类型多,有关的矿床丰富。20 世纪 60 年代后,花岗岩与成矿作用研究有了很大进展。1963 年徐克勤等发表《华南多旋回花岗岩类的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性》一文,除了已认识到的燕山期花岗岩外,还分别划分出加里东期和海西期花岗岩,并提出了各期花岗岩的成矿特点。1963 年谢家荣、程裕淇等向国内介绍了花岗

岩由沉积岩经花岗岩化形成的观点,谢家荣进而将成矿物质来源分为:地面来源、地壳表层来源、再熔化硅铝层混合岩浆来源和硅镁层来源,从而在依据矿源进行矿床类型划分方面起到了先导作用。70年代以来中国学者较集中地讨论了花岗岩的类型划分及不同类型花岗岩的成矿作用。闻广等(1963,1983)曾论述过花岗岩成矿专属性。1973年涂光炽提出了花岗岩类多因演化观点和“断裂重熔”形成花岗岩质岩浆的学说。莫柱荪(1962,1995)提出“断裂变质作用”概念用以解释两广地区某些断裂带中的花岗岩化、混合岩化现象;并提出云开隆起区的地质发展史,主要表现为陆壳物质的变质—重熔—侵入活动,河台金矿、银岩斑岩钨矿等都是混合岩化花岗岩在地壳浅部演化的结果。

(6)矿田构造和成矿预测研究 矿田构造控制矿床的产出位置和矿化分布特征,对找矿勘探有实际指导意义。1964年江西地质矿产人员利用钨矿矿化类型的分带和矿化围绕岩体分布的规律和控矿构造研究,发现隐伏矿床,打开了钨矿找矿的新局面。对个旧锡矿、大厂锡矿、湘西黔东汞矿和冀东变质铁矿等,也分别总结了矿区成矿规律,包括构造控矿规律,在深部预测中有很大进展。在区域和矿区的成矿规律研究中,地质力学理论与方法被广泛应用,如对赣南钨矿、豫西多金属矿、粤北铀矿等的成矿预测,都收到良好效果。矿田构造研究对矿产预测有积极作用,为使这方面研究更好开展,陈国达(1978)著有《成矿构造研究法》一书。杨开庆(1982)在地质力学构造体系控矿理论基础上提出“动力成岩成矿”学说,翟裕生(1981)提出将成矿构造研究与矿床成因研究相结合的学术思想,主编了《矿田构造学概论》(1984)和《矿田构造学》教材(1993)。曾庆丰、谭忠福、石准立、赵寅震、林新多、池三川、宋鸿林、吴学益等先后发表了有关矿田构造的研究成果。

四、20世纪八九十年代中国矿床学研究进展

20世纪80年代以来,板块构造理论广为传播,地质科学迅猛发展,出现了系统化和全球化趋势,也促进了地球科学包括矿床学的中外交流和研究水平的提高。70年代~80年代板块构造学说的兴起带动了矿床学研究,发展了板块构造背景与矿床的时空分布规律研究,这对中国的区域成矿规律研究有明显的促进。与此同时,在典型矿床深入研究的基础上,中国学者又提出成矿系列观点和研究方法,并在全国范围内推广,深化了对矿床类型的对比和综合研究,进而发展到对成矿系统动力学研究。在此时期,与国际上的矿产勘查重点和矿床地质研究热点相呼应。中国的金矿地质和超大型矿床形成条件研究也受到广泛重视。对海洋中的金属结核、结壳和热水成矿作用也开始研究。由于中国矿床地球化学的发展,对于成矿理论的一些基本问题如成矿物质来源、成矿作用过程、成矿作用的动力学等进行了广泛探索,且获得一批有意义的成果。

(1)成矿作用研究 认识了一些新的成矿作用。涂光炽在20世纪60年代初提出了“沉积再造”的新概念,80年代末~90年代初又将其发展成为“改造成矿作用”,从而在传统的沉积、岩浆和变质成矿作用之外,揭示了一种新的成矿作用。1995年涂光炽在介绍热水沉积成矿作用时指出,热水沉积矿床的形成实际上包含了内生与外生2种成矿作用。涂光炽还介绍低温热液成矿作用,认为它已提到了议事日程,因为积累的大量气液包裹体测温数据、低温条件下的成矿实验,以及野外、镜下对矿床蚀变岩石、矿石的各种观察、研究都说明在250℃以下的热液在一定条件下有很强的搬运元素的能力,完全可以形成低温热液矿床。如卡林金矿,部分陆相火山岩型和部分浅变质碎屑岩型金矿都形成于低温领域。中国北部高寒冻土带的砂金,现在已有不少学者从野外观察及实验角度论证了金呈化学搬运的可能,而搬运条件恰好是十分低温的近于0℃的水介质。前已述及的独立银矿床,如银硫盐矿物型、银(铜)砂岩型,甚至火山岩型银矿也多是低温热液产物。众多的非金属矿种,如果是热液矿床的话,相当大的部分落入低温矿床,如中国东部产于火山岩、花岗岩和变质岩中的脉状萤石矿床,产于陆相火山岩中的明矾石矿、叶蜡石矿、沸石矿、膨润土矿、重晶石脉等,南部产出的水晶矿、冰洲石矿几乎无例外地在低温条件下生成。现在看来,砂岩型矿床(包括Cu、Cu-Mo、Mo、Pb-Zn、Cu-Ag、U、U-V等矿床)、含碳岩系中的若干类型矿床(如Au、Au-W-

Ag、Au-Ag、Ag-V 矿床)、不整合脉型铀矿、碳硅泥岩型铀矿及一些火山岩型铀矿等矿床都应归入低温热液矿床。

(2) 成矿物质来源多样化的见解被普遍接受 谢家荣在 1962 年《论矿床的分类》中抛弃了原有的以单一玄武岩浆为矿质来源的矿床分类, 而把矿质的多种来源作为最基本的因素, 提出了新的矿床成因分类。其矿质来源包括地面来源、地壳表层来源、硅铝层再熔化混合岩浆来源、硅镁层玄武岩岩浆来源 4 大类。上述新的成矿作用的认识导致了矿质来源多样化的理解。如改造成矿作用的矿质来源主要是大陆壳, 包括赋存矿床的地质体。热水沉积成矿作用的矿质来源是洋壳及其上的沉积盖层。古老基底也可以作为后期成矿物质的来源, 这方面, 涂光炽在讨论华南元古宇基底对成矿的贡献时列举了 2 个可能, 并提供了实例。他还认为包括下地壳和上地幔在内的地球深部也是成矿物质的重要来源。与基性—超基性岩浆有关的矿床及海底热水沉积矿床的成矿物质一般被认为至少部分来源于地球深部。

(3) 成矿热液新认识 由于稳定同位素方法的发展, 通过氢、氧同位素研究, 可以查明成矿热液的来源。中国对各类矿床做了很多氢、氧同位素分析, 其中各类热液矿床的资料表明, 成矿热液是多来源的, 有岩浆水、变质水、海水、大气降水和建造水等不同成因的水。几乎所有的热液矿床的成矿作用都有大气水参与。因此, 受热的大气水是成矿热液的一个重要来源。

(4) 超大型矿床的探寻与研究 超大型矿床因其巨大储量和罕见而具有重大经济价值和科学研究意义, 寻找超大型矿床已成为许多国家和勘查部门的找矿目标。近年来, 超大型矿床是国内地质界和矿业界的热门话题之一。凡是国家确认的大型金属与非金属矿床储量 5 倍以上的矿床方可称为超大型矿床。因为超大型矿床的发现与开拓可以带来巨大经济与社会效益; 一个现代化国家重要矿业的开发与工业基地的建立必须依托于一批超大型矿床; 超大型矿床的研究还可以推动固体地球科学的发展, 所以备受世人关注。中国在 20 世纪 50 年代~60 年代发现了大批超大型矿床, 如白云鄂博 Fe-Nb-REE 矿床、兰坪金顶 Pb-Zn 矿床、金川 Cu-Ni 矿床、柿竹园 W 多金属矿床、攀枝花 Fe 矿床等; 70 年代以来又发现一批超大型矿床, 如玉龙 Cu-Mo 矿床等; 近年发现的几个超大型矿床有四川石棉县独立碲矿床、湖北宜昌透辉石矿床。涂光炽自 80 年代起倡导和组织了“找寻超大型矿床的基础研究”(国家科学攀登计划), 探讨了中国超大型矿床的时空分布规律, 剖析了白云鄂博稀土—铌—铁矿、柿竹园钨—锡—多金属矿、大厂和金顶等多金属矿的形成机制, 提出了同生构造、挥发分、碱金属、有机质、热水沉积等是关键控矿因素, 并初步总结分析了多数超大型矿床之所以产在大陆边缘构造地带的原因。1992 年秋国家科委批准的攀登计划 A 中列入了“与寻找超大型矿床有关的基础研究”项目, 推动了中国探寻与研究超大型矿床的工作。涂光炽、裴荣富、翟裕生等发表了有关超大型矿床地质和成因的论述。中国具有探寻超大型矿床的有利因素: 已拥有一批超大型矿床, 可提供经验与理论; 地质与成矿条件多种多样, 全球 3 大成矿带(环太平洋带、地中海—南亚带、中亚—蒙古—兴安岭带)均经过中国, 已找到的矿种与矿床类型较齐备; 邻国已找到若干重要超大型矿床, 其中不少距国境线甚近, 地质背景与中国相似, 找矿方法与理论可供借鉴; 中国西部地质工作程度低, 找矿潜力较大; 深部隐伏矿有一定前景等。例如, 在滇黔桂和川甘陕 2 个三角区成矿带、云南哀牢山金矿带、中西秦岭成矿带、阿尔泰和天山、西准噶尔成矿区已显示潜在的金矿资源远景区。

(5) 大地构造学与找矿 中国大地构造学各种学派都很重视大地构造的发展和演化与矿产的密切关系, 并形成了各自的大地构造成矿或控矿学说。例如, 20 世纪 60 年代初郭文魁等领导编制的全国区域成矿规律图, 张炳熹等主持并参加的对华南湘、赣、闽、浙 4 省内生金属成矿规律研究。60 年代以来全国大多数省市地质局和地质科研单位编制了不同范围、不同比例尺的成矿规律图(1:100 万、1:50 万等), 以指导普查找矿工作。在这些研究中多采用黄汲清的多旋回构造理论和李四光的地质力学构造体系, 陈国达和张文佑的断块构造说、地洼成矿说也被重视引用。板块成矿论兴起后, 李春昱(1981)、郭令智(1981)等强调要运用板块观点研究中国的成矿规律。李春昱

结合中国地质构造情况提出了按板块缝合线划分中国四大成矿域的观点,郭令智进一步主张研究地体及其对成矿的控制。王鸿祯等关于大地构造活动论和演化阶段论的学说,马杏垣等对中国大陆动力学特征及境内地学大断面的研究等等,对区域成矿研究均有较大影响。杨遵仪、程裕淇、王鸿祯(1986)的《中国地质学》和程裕淇的《中国区域地质概论》较全面地总结了中国区域地质调研成果,是研究中国区域成矿背景和环境的基础性文献。

(6)区域成矿研究 20世纪80年代以来,对成矿区带的研究广泛开展矿产勘查和区域地质成矿研究的基础上,中国新发现或进一步确定了一些新的成矿区域,如三江成矿域、西南大面积低温热液成矿域、古亚洲或中亚成矿域等。还运用新技术、新方法和新理论对中国的重要成矿区带进行了不同比例尺的成矿规律和成矿预测研究,其中比较重要的有:原地质矿产部、中国科学院、国家自然科学基金委员会及有关地质行业组织的对秦巴地区、南岭、长江中下游、华北地台北缘、三江等地的区域成矿规律研究,并取得巨大成果;新疆“305”项目取得重要进展,编制了自治区及邻区成矿规律图,对阿尔泰山及天山等区域的地质演化与成矿特征有了突飞猛进的认识。中国大多数省市地质矿产局都编著有相应的区域地质志和成矿规律图,完成了各自的区域矿产总结。这些工作使对中国区域成矿的认识提高到一个新的水平。有关成矿规律的研究论文反映在各类地质矿床刊物中。完成了一批区域成矿研究的著作和图集,全国性的例如:《中国内生金属成矿图及说明书》(郭文魁等,1987)、《中国矿产资源图及说明书》(宋叔和,1992)、《中国黑色有色金属矿产图集》(刘兰笙等,1996)、《中国地壳演化与矿产分布图集》(蒋志,1996)、《中国主要成矿区带矿产资源远景评价》(陈毓川等,1999)、《中国铜矿床》(黄崇轲,2001)、《中国金矿床成矿预测的理论与方法》(沈远超等,2001)等。区域性的如:《华北陆块北缘及其邻区有色金属矿床地质》(芮宗瑶等,1994)、《中国新疆古生代地壳演化及成矿》(何国琦等,1994)、《西北海相火山岩地区块状硫化物矿床》(郭介人等,1994)、《秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究》(张本仁等,1994)、《秦岭泥盆系铅锌成矿带》(祁思敬等,1993)、《秦巴金属矿产成矿概论》(耿树方等,1994)、《胶东绿岩带金矿地质地球化学》(杨敏之等,1996)、《中国东部金矿地质学及地球化学》(胡受奚等,1998)、《长江中下游铜铁成矿带》(常印佛等,1991)、《长江中下游地区铁铜(金)成矿规律》(翟裕生等,1992)、《南岭地区有色稀有多金属矿床控矿条件、成矿机理、分布规律及成矿预测研究》(张宏良等,1987)、《南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质》(陈毓川等,1989)、《华南元古宙基底演化和成矿》(涂光炽等,1993)、《滇西特提斯的演化及主要金属矿床成矿作用》(罗君烈等,1994)、《华夏地块韧性剪切带金矿地质》(王鹤年等,1992)、《赣南红山—锡坑迳地区铜锡矿地质及预测》(周济元等,2000)、《滇中大美厂式铜矿成矿作用构造物理过程研究》(李志伟等,2001)等等。在区域成矿研究方面逐步形成了一些学术观点,如“构造体系成矿”“全球构造演化控制区域成矿”“构造—成岩—成矿”“区域成矿系统”“边界、转换、耦合、叠加成矿”等,为进一步的研究打下了基础。代表性的著作有《区域成矿学》(翟裕生等,1999)等。

(7)成矿系列研究 在矿床研究中,人们注意到一个地区中不同矿床类型间的共生、伴生关系。将具有成因联系的一套矿床组合成为成矿系列。1979年程裕淇等从地史演化和构造、岩浆、沉积、变质等各种成矿作用出发,综合概括了3大类19个矿床成矿系列,每个系列都有其独特的地质成矿条件。成矿系列观点突破了矿床学中只从单一矿床成因类型进行研究的局限性,并将矿床类型间的内在联系与区域成矿背景和演化相结合,无疑是矿床学学术思想和研究方法的一个进步,对普查勘探工作广泛的影响。翟裕生等(1980,1987,1992)研究了长江中下游、南岭等成矿区带特征和主要成矿系列,提出了成矿系列结构概念,包括分带性、阶段性、过渡性、重叠性、互补性等结构型式,以表示一个成矿系列内部各矿床类型间的时、空、物质和成因联系。陈毓川、章崇真、夏宏远等研究了南岭与花岗岩有关的有色和稀有金属成矿系列,边效曾、沈永和、陶维屏等发表了有关成矿系列的著作。翟裕生等(1996)的《成矿系列研究》一书较系统地论述了成矿系列研究的理论基础。陈毓川等(1998)以中国的区域成矿研究为基础,发表了《中国矿床成矿系列初论》。一