

《沉积建造学讲座》

第一讲 沉积建造学及其研究意义

孟祥化 葛 铭

(中国地质大学)

尽管用法和解释有所不同,但地质学家们都在使用“建造”或类似的术语研究地壳沉积岩之间的相互关系及其组合规律,从而使以岩石组合体为单位的更大一级地壳地质体的形成及其背景条件的研究,成为当今世界地质学界研究发展的一致趋向。同时,大地构造学说的发展又赋予沉积建造学崭新的生命力。叶连俊先生在听取关于开展全国沉积建造编图工作计划汇报后说:“沉积建造研究方兴未艾”(1988)。

1988 年国际矿床(产)沉积学学术讨论会期间,许多单位的沉积建造工作者进行了座谈,一致认为沉积建造学研究及应用为鉴别和恢复大陆地质古板块构造历史,提供了新的研究途径。同时,也为阐明沉积资源的分布规律、成因及预测,起到了无可替代的作用。因此,希望组织协作,进行中国乃至全球沉积建造编图工作。

承蒙《岩相古地理》编辑部不失时机地安排了沉积建造学讲座,使我们有幸能为此项工作的深入展开和发展抛砖引玉,不胜感激。

一. 建造概念的由来和进展

建造做为岩石地层组合的概念应用于地质学领域已有二百多年的历史了。它象一位长寿的老人,虽然经历无数艰辛坎坷和时间的考验,仍具有顽强的生命力。

十九世纪,斯图德(B·Studer, 1927)把阿尔卑斯第三系粗碎屑沉积的岩相—岩性组合称为磨拉石建造(molasse formation);把海相页岩和与之交互的砂岩组成的韵律性沉积称为复理石建造(flysch formation)。

二十世纪五十年代,许多学者提出各种不同大地构造单元的建造类型,如地台型建造、地槽型建造、过渡型建造等。沉积建造是表示一定大地构造和古气候背景下的岩石共生组合体的概念已得到公认。这一时期涌现出许多论述沉积建造的优秀著作。例如,沙茨基

(1952)的《磷块岩建造和磷灰岩层的分类》和《沉积及火山岩建造的岩石共生问题》(1960),斯特拉霍夫的《沉积岩成因理论》(1961),列兹尼柯夫的《沉积岩相与建造》(1961)和鲁欣的《沉积岩石学原理》(第三册,1964)。在中国有叶连俊的《对沉积相和沉积建造分类原则及划分方法的意见》(1960)和《华北地台的沉积建造》(1983),陈国达的《地洼说和地洼型建造》(1965)以及孟祥化的《沉积建造及其共生矿床分析》(1978)等。

二十世纪六十年代以来,板块构造学说的兴起标志着地质学新的革命,它推动着包括沉积学在内的各个地质学科领域的迅速发展。许多沉积学家开始探索沉积作用、沉积岩石共生组合体建造与板块构造的关系。

当今沉积建造学的发展已经不能完全依附于传统的地槽学说理论,而应该根据当代地质学的重大变革和现代技术手段获取的新资料,按岩石共生法则探讨岩石共生的含义和建造的含义,揭示沉积作用、沉积组合与全球构造的内在联系,探讨较合理又科学的沉积建造分类和建造类型与板块构造发展的成因联系,并建立板块构造演化与沉积建造发育系列的模式。

七十年代以来,孟祥化在进行了大量的沉积建造分析研究基础上,总结出沉积建造发育特点和岩石共生规律,提出以岩石共生的物源、沉积环境及能量平衡三重含义为基础的沉积建造分析方法和建造分类方案,并应用现代板块学说理论对沉积盆地的建造性质进行了新的分析,探讨了板块构造与沉积建造的形成及发育的相关关系。1985年提出了一个建造学说新概念,将沉积建造定义为:某一特定的长期持续的板块构造背景(时限 $>10^7$ 年)作用范围(沉积盆地)内,形成的岩石和岩相共生组合体。

关于建造一词的英文名,有人用“formation”,有人用“sequence”等。国外文献中“formation”常常是代表“组”,这使建造术语使用混乱。在1988年国际矿床(产)沉积学学术讨论会上,我们首次使用了“Sedimentary Suite”(沉积建造)或 Sediment Suite(缩写为“SDS”)一词。“Suite”辞义为“一套沉积”或“岩套”,能较贴切地体现出建造的实质。另外,还有人使用“Assemblage”这个术语。

1. 建造作为地质过程的时间含义

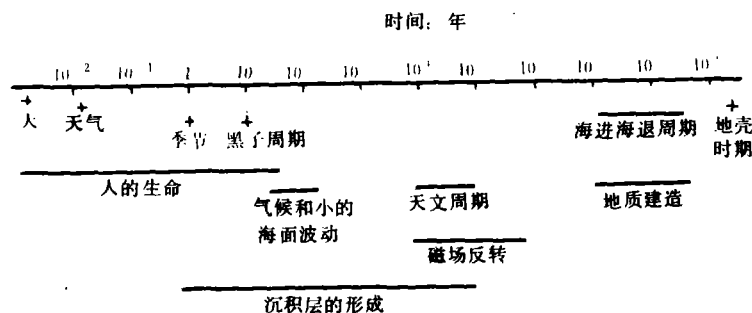


图1 地质过程的时期和持续期(引自 W. 斯瓦尔扎克, 1975)

建造的时间含义是指大于千万年的地质过程的地质建造。这一时限比岩相单位的时限要大得多(图1)。一般一个岩相单位或一个相序的地质过程都小于十万年,即使图1之中的沉积岩层(包括岩相),也比一般相序沉积序列(Facies sequence 或 sedimentary sequence)的时

限要大。图1中还可发现在 10^6 至 10^7 年之间出现一个缺口,暂且不管这一时间上缺口的意义和原因,我们可以明确一个问题:岩相单位与建造单位的时间含义是绝对不能等同,它们是完全两类不同地质过程的级次和概念。

从分布范围和规模上看,岩相与建造也是明显不同的。沉积建造是地壳表面上分布范围巨大的地质体,其规模相当于板块构造单元的沉积盆地范围内形成的沉积岩石、岩相的组合体,其面积可达数百万平方公里,延伸长度可达数百至数千公里。

2. 建造作为岩石岩相共生的含义

岩石共生和岩相共生是建造学的研究基础。岩石共生规律是地质学的一个基本法则,也是建造学说的核心。岩石共生规律是地质过程中地壳组成物质的运动基本形式之一。只有认识岩石共生、岩相共生特征及其形成原因,才能为分析和鉴别建造提供科学依据。因此,有必要重点论述一下岩石共生和岩相共生这一概念的含义。

岩石、岩相共生是地质建造在地球历史和空间分布上具有成生联系的岩石和岩相组合现象。

例如,人们已经发现的[海相纯石英砂岩—海相、海湾湖泊相高岭石质石英砂岩—粉砂岩—高岭石粘土]、[海绿岩—鲕绿泥石粘土—白垩及海相灰岩]、[长石质石英砂岩—长石砂岩—粉砂岩—水云母质粘土]、[白云岩—硬石膏—石盐—钾盐]、[硅藻土、火山灰、凝灰岩]、[硬砂岩(杂砂岩)、复理石浊积岩,与远洋放射虫硅质—黑色页岩]、[大洋锰结核、溶解碳酸盐相、CCD微相、深海红泥、褐粘土]、[层状磷块岩微相组与硅质岩、白云岩]、[层状磷块岩、硅质岩、硅质页岩、碧玉岩、细碧岩、角斑岩]、[酸性岩流—凝灰岩—铝磷矿]、[沉积岩块、滑塌岩、粗复理石(野复理石)—等积岩—深海泥岩]及[碳酸盐风暴岩—条带灰岩,生物丘截切构造]等等,都是地质建造中常常见到的岩石共生现象。如何认识这些岩石共生现象?哪些因素决定了这些岩石共生?正确解答这些问题,对全面完整地理解岩石共生含义很重要。如哪些是物源条件方面的共生原因?哪些是单纯沉积环境方面的原因?哪些又是构造背景条件或其它什么方面的原因?等等。一个完整的岩石共生概念,必须包括物源成因、沉积环境和沉积物质平衡程度三个基本要素。任何一个岩石共生都是由物源成因的同一性、沉积环境的相似—连续性和沉积速率及其能量平衡程度的同步性所决定的。这些要素既决定了建造共生成员性质,也决定了共生成员时空分布规律。如岩相的水平变化和垂向上变化的稳定与不稳定、连续与不连续交替关系等。

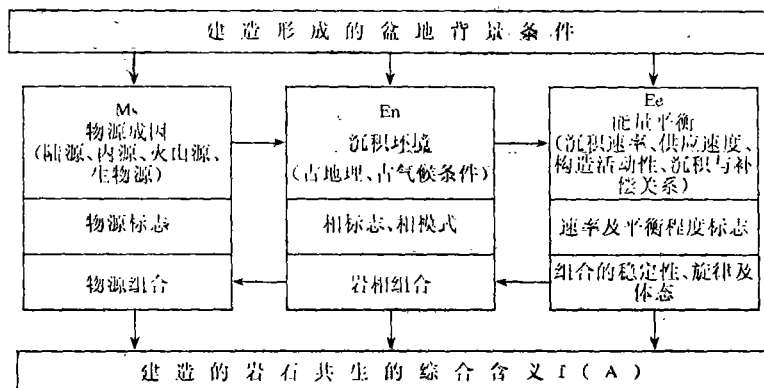


图2 沉积建造的岩石岩相共生含义的内容

从建造的物质来源到沉积盆地自然地理和古气候条件、各种动力场变异以及在这一形成过程中物质由原始物质到最终沉积时能达到的速率和能量平衡程度,正是这一系列作用因素的配置和排列组合,决定了特定沉积建造的性质和特征。

一个建造的岩石共生含义的基本内容可以综合为图 2

3. 建造做为三维地质体的含义

沉积建造的空间分布形态是指建造形成过程中原始堆积所呈现的面貌。沉积建造体可以用三度空间 X、Y、Z 的沉积共生体系变(向)量来表示。沉积共生体系的空间分布和配置形态特征方向性(水系网、流向、动力场),直接受构造背景边界条件和板块盆地演化所控制。按板块构造观点 X、Y、Z 的含义为:1)水平向(变)量 X、Y 表示建造的空间展布,反映板块构造盆地边界轮廓或气候分布轮廓。它是沉积建造内相界的水平分带性及沉积体系的配置关系和方位。X 代表与板块构造边界相垂直方向的变量,Y 代表与板块构造边界或轴向相平行的变量。2)垂向变量 Z 代表建造体的堆积厚度和形成发育时间过程的变量。它表示建造形成过程的沉积速率、盆地拗陷速率及其补偿关系的变化,沉积相的韵律旋回结构性质,标志建造的相序更叠和建造序列的更替关系,反映板块构造盆地发育和演化阶段。

二. 建造的分类体系

孟祥化自七十年代以来,从我国沉积建造研究入手,应用比较沉积地质学方法,依据现代板块构造以及现代大洋壳和大陆壳的形成过程所提供的资料,加之古大洋壳和古大陆沉积形成特征方面积累的成果,提出以建造新概念和新含义为基础的沉积建造分析方法和划分方案。

1. 按岩石共生含义的沉积建造分类法

首先,建造分类是按岩石岩相共生组合的特征和成因划分的(表 1)。按建造的物源共生关系划分为:陆源建造大类、火山沉积建造大类及内源建造大类。再根据建造的岩石岩相共生的速率和物质能量平衡程度划分出建造的系列:如稳定性建造系列,次稳定型建造系列和非稳定型建造系列。

2. 按板块构造背景的沉积建造分类

根据比较沉积学和比较大地构造学原理,孟祥化(1982,1985)将上述岩石共生分类法应用于对板块构造盆地与沉积作用关系的研究。发现所分的三大建造系列恰好与不同板块构造发育背景相吻合(表 2)。

根据表 1、表 2 并结合分析现代全球板块构造盆地的沉积作用以及对比古代沉积建造资料,可标定出相应于各板块构造位置(盆地)的典型建造类型(表 3)。

同时,孟祥化还分析了不同构造背景的沉积建造与气候影响的关系(表 4)。

三、沉积建造学研究意义

沉积建造研究对大地构造、找矿勘探、矿床成因、古气候研究以及事件沉积学都有重要关系。

1. 建造研究是追踪古板块构造盆地历史的途径

表1 沉积建造分类表 (据孟祥化, 1979)

构造条件 陆源 古沉积 气候平衡 标志 物源条件 成因	第一系列		第二系列		第三系列	
	稳定型建造系列		次稳定型建造系列		非稳定型建造系列	
	平衡程度	较平衡	不平衡		极不平衡	
	组合类型	稳定组合(单组分) (CQ+SQ+MQ+OQ)*	次稳定组合(双组分) (CF+SF+MF+OF)*		非稳定组合(杂组分) (CR+SR+MR+QR)*	
	基质含量	无至很低(0-5-10)	较高(5—10—25)		极高(>20)	
	沉积速率	缓慢	较快—快		很快	
陆源建造大类	潮湿型建造类	单陆屑建造 建造组合 单陆屑建造 铝土铁质建造 单陆屑含煤建造	复陆屑建造 组合	灰色复陆屑建造 杂色复陆屑建造	杂陆屑建造 组合	磨拉式建造 复理式建造 混杂式建造 瓦克式建造
	干旱型	戈壁建造		红色复陆屑建造		
火山沉积建造大类	潮湿型建造类	陆源粘土硅质建造		火山复陆屑式建造组合	火山硅质建造组合	细碧角斑岩建造 碧石型建造 碧玉铁质建造 硅质页岩建造 大洋玄武岩建造 火山复理式建造 火山混杂式建造
	干旱型	远硅质建造				
内源建造大类	潮湿型建造类	稳定内源式建造	异地碳酸盐建造 近岸陆屑碳酸盐建造 陆源碳酸盐建造	次稳定内源式建造	碳酸盐复理式建造	
	干旱型建造类	稳定蒸发式建造	白云岩型蒸发岩建造 膏盐型蒸发岩建造	次稳定蒸发式建造	红泥—微晶碳酸盐建造	
内源沉积平衡标志	平衡程度	较平衡		不平衡		极不平衡
	杂基含量	最低		较高		最高
	沉积速率	较缓慢		较快		很快
沉积旋律	简单		复杂而节奏清晰		极复杂而节奏明显或无	

* 表内组分代号意义, 参见表2注*。

前面已经说过, 建造比岩相代表更高层次的内容, 是代表和反映沉积的大地构造背景的。因此只有通过沉积建造学研究才可能正确判别盆地的大地构造性质。特别是对古大陆形成历史研究中, 要再造古板块构造发育历史, 没有系统地建造学研究更是不可能。实际工作中往往遇到这样的情况: 原始资料收集的虽然也比较详细和丰富, 但是由于对沉积盆地沉积建造性质分析不够, 对区域沉积大地构造格局缺乏认识, 以致编图工作只限于根据岩相单位

圈定岩相界线,有的时候由于在平面图上采用“优势压平法”,所以常常歪曲沉积相的空间分布,歪曲或掩盖它们在时间上的演化特点(特别是那些古构造演化特点)。这样所得到的岩相古地理图件是很难用于板块构造分析的。因此,我们应该着手编制全国性或大区域性的沉积建造图和盆地类型图。这对于开展大陆地质的古板块构造研究是极为重要的。

大陆古板块构造的恢复和再造工作是一项现代地学研究的系统工程。沉积建造学应该把这一巨大工程做为自己的重要研究方向和任务。

我们认为建造分析是追踪大陆古板块构造盆地历史的基本途径和方法(图3)。

表2 沉积建造大类的划分标志和其形成构造背景(据孟祥化,1982)

建造的能量平衡程度 建造的人类的 建造的物质源		稳定型	次稳定型	非稳定型
		* CQ+SQ+MQ+OQ Q>90% 基质含量最低 ** ME;规则型为主 沉积旋回韵律:简单 建造体态:固定假 体态	CF+SF+MF+OF Q=90-65% 基质含量较高 ME;过渡型为主 沉积旋回韵律:复杂而 节奏清晰 建造体态:条带、收缩 体、移位体	CR+SR+MR+OR Q<65%或Q<15% 基质含量最高 ME;紊乱型为主 沉积旋回极复杂 从节奏明显至无节奏 建造体态:移位体、扩张体
物源成因类型	陆源类	单陆屑建造	复陆屑建造	杂陆屑建造
	火山沉积类		大陆火山沉积建造	大洋火山沉积建造
	内源类	稳定内源建造	次稳定内源建造	非稳定内源建造
形成的构造背景		克拉通内部因热力均匀缓慢沉降形成的盆地	陆壳热力强烈形成的断陷、裂谷盆地和张裂边缘盆地(即被动边缘盆地)	洋壳因热对流扩张增生中的洋中脊盆地;洋壳因热对流密度增加向陆壳发生俯冲形成的活动边缘盆地(岛弧海沟盆地)

注* CQ=石英岩砾石及等石英岩砾石组成的砾岩(石英质砾岩);MQ=稳定组分的泥岩(如高岭石粘土岩);
 CF=花岗岩砾石及等花岗岩砾石组成的砾岩;MF=次稳定组分的泥岩(如水云母粘土岩);
 OF=次稳定组分的可燃有机岩;SR=岩屑并包括火山碎屑组分和基质很高的砂岩(杂砂岩、硬砂岩);
 OR=非稳定组分的可燃有机岩(如杂有机岩类);SQ=石英碎屑及等石英碎屑组成的砂岩(如石英砂岩);
 OQ=稳定组分的可燃有机岩(如孢子煤、树皮煤);SF=长石碎屑及等长石碎屑组成的砂岩(如长石砂岩、长石质石英砂岩);CR=杂砾岩;MR=非稳定组分的泥岩(如杂粘土岩);

** ME=自然岩石组合中微量元素地球化学分配类型。

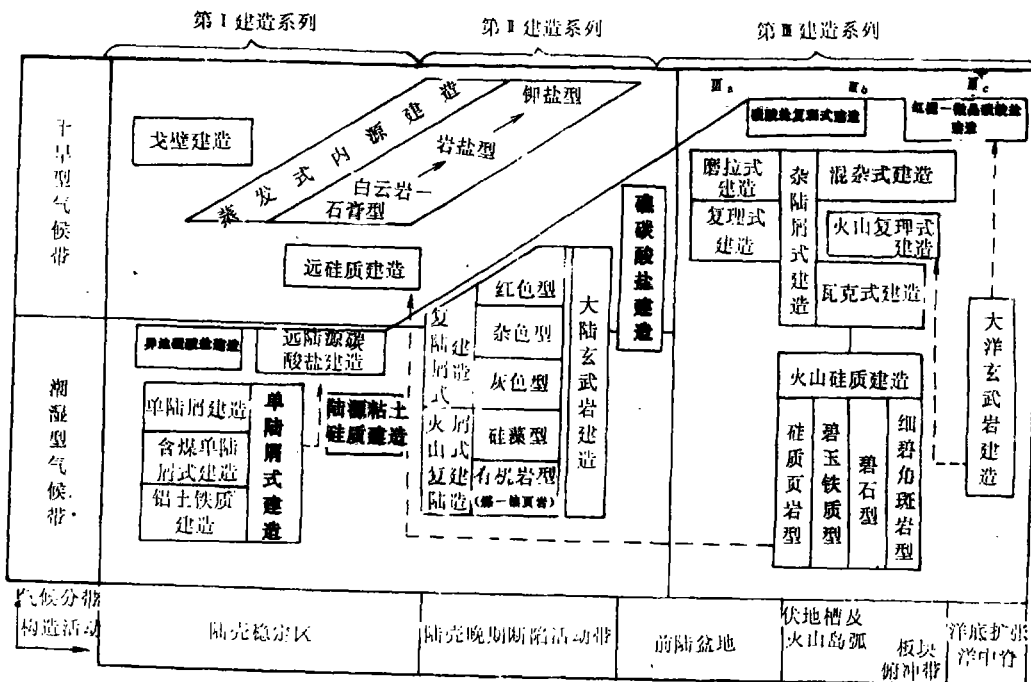
五十年代单纯以厚度法作为沉积大地构造分析基础的历史的方法业已过时。现代建造学已经提出了一系列建造分析的方法和判别标准,如应用建造的物源碎屑模型法,建造成熟度法和共生组合模式来鉴别沉积建造和盆地大地构造背景的稳定性;应用 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} : \text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$ 指数、EM 分配指数、建造平均沉积速率和速率共生模式、拗陷、补偿平衡指数、建造体态类型及建造序列等恢复板块构造和盆地演化历史。

表3 板块构造盆地类型与沉积建造类型分布关系(据孟祥化, 1982)

板块构造与沉积类型			典型沉积建造类型及其所属大类	
稳定陆壳区	均克拉通沉积地	克拉通陆表海盆地	单陆屑建造 铝土铁质建造 浅海异地碳酸盐建造(异化粒碳酸盐建造) 海陆交互含煤建造 石膏—白云岩建造(S型蒸发岩建造)	稳定型建造 (S型建造)
被动边缘区	裂谷—拉张盆地	陆壳内裂谷断陷盆地	复陆屑建造 复陆屑火山沉积建造 大陆火山沉积建造	次稳定型建造 (SS型建造)
		原始大洋裂谷盆地	复陆屑建造 蒸发岩建造(SS型蒸发岩建造)	
		被动边缘盆地	礁碳酸盐建造、碳酸盐复理石、蒸发岩建造(SS型) 瘤状碳酸盐建造、黑色页岩建造	
		陆缘裂陷海槽	藻礁碳酸盐建造、沥青碳酸盐建造(静海型碳酸盐建造) 海相火山沉积建造	
转换断层盆地			复陆屑建造(拖曳型体)	
活动边缘区	挤压俯冲盆地	深海沟	混杂建造、楔型复理石建造、绿岩建造	非稳定型建造 (AS型建造)
		斜坡盆地	野复理石建造、火山复理石建造	
		岛弧、弧前及弧间盆地	火山硅质建造、火山磨拉石含礁迹的火山沉积建造 火山复理石建造	
		边缘盆地 前陆盆地	陆源复理石建造、磨拉石建造	
	弧后盆地		火山复理石建造;拉斑玄武岩建造 蒙脱石粘土—火山沉积建造	
洋壳区	大洋中脊 远洋深海盆地		红泥微晶碳酸盐建造 大洋软泥沉积、大洋玄武岩建造 远洋复理石(页岩型)	

表4 沉积建造与构造及气候控制因素的关系

(据祥化, 1979)



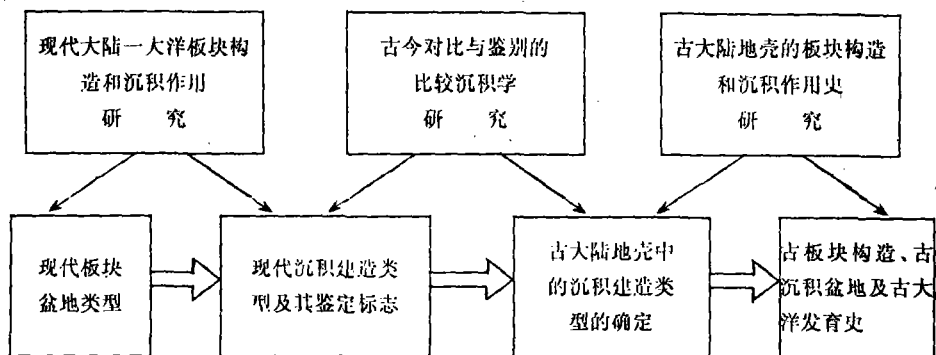


图3 沉积建造与板块构造盆地背景的分析途径

近年,在我国震旦纪研究中,我们应用了上述理论和方法,鉴定了沉积建造类型,编制了全国震旦纪沉积建造图和盆地类型图。通过这项工作不仅为恢复中国震旦世板块构造盆地格局和沉积格局提供了清晰的轮廓,也为解决这一时期沉积古地理古构造方面长期存在的某些争议问题提供了新的启迪。例如,通过对比研究华北板块与华南板块沉积建造性质和系列存在的明显差异,表明上述两者具有不同的板块构造发育历史。华南上扬子板块早震旦世复陆屑建造和火山复陆屑建造的确立,可以断定上扬子古陆早震旦世并不是一个平坦克拉通台地,而是一个断陷裂谷活跃的大陆边缘。由于火山硅质建造系列和远硅质建造的存在,所谓的“江南古陆”实际上则是被动边缘与活动边缘接合带上弧后深水盆地。

2. 建造研究与找矿预测

沉积矿床或层控矿床本身都是建造共生组合体的一个组成部分。各种成因的矿床都与特定建造类有关。根据共生法则,研究和总结它们的共生组合规律、鉴别建造类型与预测其共生矿产,判断掩伏矿层或矿体在地下赋存和可能的延伸趋向,这是建造学研究中不可忽视的重要内容。

从油气资源而论,建造分类表中的杂色复陆屑建造、杂礁碳酸盐建造、复理石建造、磨拉石建造,都是具有生、储、盖共生规律和条件的含油气建造类型。灰色复陆屑建造、稳定型海相交互含煤建造、磨拉石建造、陆源粘土硅质建造都是寻找煤田的建造类型。我国巨型铝土矿床都隶属于稳定建造系列的铝土铁质建造中,并且铝土矿床的分布明显地限制于有长期建造间断的稳定碳酸盐建造的展布范围。世界上最有工业远景的磷块岩矿床都属于远硅质建造和陆源—碳酸盐建造中,并且这两类含磷建造不论在矿石品位、矿石结构及成因上都有着明显的不同。只要道过沉积建造编图中发现火山硅质建造系列和上升洋流组合的部位,就应该是最佳磷矿床预测区。

根据建造学的综合研究与分析,不仅可以注意到各有无与相应建造类型可能共生的矿床,而且还可以通过建造体态和建造与建造的交替关系判断矿床赋存的空间部位。在这方面,应用建造体态分析和研究建造体内岩石岩相共生体系的配置和垂向序列的分布规律是很重要的。

3. 建造研究与沉积资源综合评价

通过建造学说的研究,能够更好地为综合找矿和综合利用矿产资源服务。从建造学说共生理论分析,杂陆屑建造和SS-蒸发岩建造都具有与石油、岩盐或钾盐矿床的共生规律,因

此,在找矿勘探方针上应确定找盐矿与找石油天然气工作必须密切配合。实践经验证明,我国某区经过预测所确定出的五个成盐盆地,有三个是直接由石油深井钻探遇到盐层发现的,有一个是通过与岩石共生有关的水化学标志确定的,而在老盐矿区发现的只有一处。

从国外勘探资料记载,钾盐矿床有70%是从石油探井发现的。从建造学观点分析,这些发现绝非偶然,而是建造共生组合规律这一地质科学的基本法则所决定的。又如,滇中铜矿根据建造学研究属于本文分类表的红色复陆屑建造,与世界上红色复陆屑建造一样,它不仅是大型含铜砂岩矿床建造,而且是寻找铝、锌、银、钴、钒、铀、锡、铼等多种元素矿床的建造。我国著名的昆阳、开阳、襄阳磷矿带属于巨大的远硅质建造,与苏联蒙古磷块岩矿床同属于远硅质建造,它不仅是大型层状磷矿床的建造,而且是寻找镍、钒、碘矿床的重要方向。事实说明,地质勘探工作中,必须重视和运用建造分析的方法,才能加快综合找矿及勘探工作的步伐。

4. 沉积建造与矿床成因

近十余年来,我们运用建造分析原理,对中亚和中国震旦—寒武纪含磷建造进行了研究。通过建造系列分析,划分出稳定型含磷建造系列和火山硅质建造的含磷系列。实践证明,巨型优质磷块岩矿床都隶属于火山硅质建造系列中的远硅质建造,其磷质来源与海底火山喷发有关。这一结论已为孟祥化等近年所发现的愈来愈多的证据所证实。

再如,在铝土矿床成因问题上,存在多种观点。近年我们从建造分析入手,确定我国石炭纪铝土铁质建造隶属于克拉通稳定型建造系列,铝土矿发育有明显地再沉积作用标志,十分类似重力流沉积特征。我们根据稳定型建造系列包括铝土铁质建造内均十分发育风暴沉积记录,又考虑到稳定型建造是不可能存在深水浊流沉积条件的,从而得出风暴重力流再沉积作用是铝土矿形成的重要机制之一。

最近在拟定的地质科技中长期发展纲要(草案)中指出“从全球地壳演化和成矿区带及盆地总体分析入手……逐步建立四维空间的地质成矿模型”。沉积建造学将为这一目标做出自己的贡献。

5. 建造学与事件沉积学

建造学研究也与近年提出的一些新的研究方向有密切关系。如事件沉积学,风暴沉积,缺氧事件等都与建造学有关。根据近年研究成果表明,风暴事件沉积记录主要与稳定型建造系列有关。因为只有克拉通盆地和稳定的大陆边缘建造能提供长期发育的陆表海—浅海台地。缺氧事件则与次稳定型陆源碳酸盐建造系列或火山硅质建造系列的硅质页岩建造或黑色页岩建造有密切关系。追踪古地震历史显然必需从详细研究古大陆地壳各种复理石建造形成历史。如果在事件沉积学研究中能结合沉积建造学的研究,就可能更好进行同类建造和同类大地构造背景条件的事件沉积的对比和比较研究工作。

主要参考文献

- [1] 叶连俊等著(1983):华北地台沉积建造。科学出版社。
- [2] 孟祥化著(1979):沉积建造及其共生矿床分析。地质出版社。
- [3] 孟祥化,葛铭(1985):沉积建造新概念及分析原理。中国区域地质,第15期,地质出版社。
- [4] 孟祥化著(1987):沉积岩和沉积相模式及建造。地质出版社。
- [5] 孟祥化著(1988):沉积建造学说研究新进展。矿物岩石地球化学通讯。1988年第3期。