

中国前寒武纪构造格架及 研 究 方 法

马杏垣

白 瑾 索书田 著
劳秋元 张家声

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书应用解析构造学的原则和方法,总结了我国前寒武纪构造演化的基本特征,恢复了不同地质历史阶段形成的基本构造格架;同时,阐述了某些变质岩构造分析的方法和原理,以及构造编图的原则。本书图文并茂,图件中包括1:1400万中国前寒武纪构造格架图。

本书对于了解我国大陆岩石圈的早期演化历史、结晶基底的结构构造、变质岩构造解析和编图,以及对前寒武纪成矿和减轻地质灾害的研究均有理论和实际意义。可供有关教学、科研和生产的地质人员参考

中国前寒武纪构造格架及研究方法

马杏垣

白 瑾 索书田 著
劳秋元 张家声

责任编辑 王休中

地质出版社出版
(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 8¹/₂ 铜版插页: 4页 字数: 209,000

1987年2月北京第一版·1987年2月北京第一次印刷

印数: 1—1,695册 国内定价: 2.30元

统一书号: 13038·新354

目 录

一、绪言	(1)
二、编制构造图的原则	(5)
(一) 构造观	(5)
(二) 构造旋迴与构造阶段	(5)
(三) 构造环境	(6)
(四) 构造要素、构造形迹和构造样式	(8)
三、前寒武纪构造演化景观	(9)
(一) 太古宙岩石圈演化	(9)
(二) 早元古代板内构造的发育	(10)
(三) 中、晚元古代向现代板块构造体制转化	(10)
四、构造研究方法	(11)
(一) 构造解析的原则	(11)
(二) 不整合面的鉴别	(13)
(三) 变质岩的原岩恢复	(16)
1. 对野外岩石产状和结构、构造的观测	(17)
2. 镜下观测	(17)
3. 岩石地球化学资料的分析整理	(17)
(四) 小型构造观察	(18)
1. 劈理的观察	(18)
2. 线理的观察	(21)
3. 小褶皱的观察	(22)
4. 应变分析及其测量标志的选择	(25)
(五) 叠加褶皱研究	(28)
1. 叠加褶皱的类型	(28)
2. 叠加褶皱的主要识别标志	(31)
3. 叠加褶皱的几何分析	(33)
1) 后期褶皱对先期褶皱的改造	(33)
2) 先期褶皱对后期褶皱的控制	(35)
3) 叠加褶皱的展开	(37)
4) 叠加褶皱地区工作的主要环节	(39)
(六) 地层变新方向判别	(42)
(七) 韧性剪切带的研究	(46)
(八) 变形与变质作用关系分析	(57)
(九) 退变质作用的研究	(58)
五、中国前寒武纪构造格架	(61)

(一) 太古宙构造格架	(62)
1. 中国早期大陆地壳的总体特征	(62)
2. 褶皱干扰格式	(65)
3. 花岗-片麻岩穹窿	(72)
4. 韧性剪切带	(74)
5. 小结	(77)
(二) 早元古代构造格架	(77)
1. 基本的构造作用过程	(77)
2. 巨型剪切带系统	(78)
3. 盆地和活动带	(86)
4. 褶皱带的构造样式	(93)
(三) 中、晚元古代的构造格架	(97)
1. 华北构造区及东北构造区	(97)
1) 非造山的岩浆岩套	(98)
2) 大陆内部的裂陷槽和沉降带	(100)
3) 重力滑动构造	(102)
4) 大陆边缘裂陷	(103)
5) 东北地区的前寒武纪构造演化	(106)
2. 华南构造区	(107)
1) 沟-弧-盆系统	(107)
2) 构造变形样式群	(110)
3) 大型断裂系	(117)
3. 西北构造区	(121)
1) 大陆内部及边缘的裂陷	(121)
2) 基性岩墙群	(121)
3) 中、南天山火山裂谷	(121)
4. 西藏构造区	(123)
六、后记	(124)
主要参考文献	(125)
图版说明及图版 I—VIII	(130)

一、绪 言

中国前寒武纪出露良好，露头总面积约占我国大陆面积的20%左右。如图1—1所示，太古宇和早元古界岩石主要分布在华北地区，西南和西北也有零星出露。中、上元古界地层的分布则非常广泛。它们包含着30多亿年完整的地质纪录和约占7/8的地质历史，是探索地壳构造演化的重要环节。

中国前寒武纪历史阶段划分，以25亿年前作为太古宙和元古宙的分界。元古宙进一步划分为早、中、晚三个代，后者包括震旦纪，其上限分别为17、11、8.5和6亿年。在这漫长的地质年代里曾发生过八次主要的地壳运动，表现为区域性不整合（表1），其中三次，即阜平、吕梁—中岳和晋宁运动，是较强的，造成大范围的稳定克拉通化，称之为造盾期。

前寒武纪各种地壳运动的不同构造反映相互交织成的构造格架是地体的基础，对后期构造有较强的控制和影响。这些古老岩系中蕴藏着丰富的矿产资源，后期的构造—岩浆再造更加强了矿床的富集。太古宇高级变质的杂岩处于地壳中、下层次，是大陆浅源地震多发层，是孕震和发震的场所，后经构造推覆或其它形式抬升地面，为我们研究地壳深部构造和过程，特别是震源实体，创造了条件，因此对其进行构造研究具有重要的实际和理论意义。

作者曾于60年代（马杏垣等，1960，1963）探讨过我国东部前寒武纪大地构造基本轮廓和发展的样式，运用历史—构造的方法，研究不同大地构造单位的形成过程，并用比较的方法加以分析，从而划分出地壳发展过程的阶段或旋迴。以构造阶段和构造环境作为解释前寒武纪构造事件和划分构造单位的主线，强调了地质历史发展的总趋势为前进的不可逆的过程，大地构造单位在地质历史过程中也必然是不断演变与发展的。基于此，提出过萌地槽、地台；雏地槽、地台；原地槽、地台等，使这些名词术语与变化着的历史环境相一致。

随后，板块构造逐渐兴起，构造观和构造方法学方面有很大变革，前寒武纪地质构造研究也有长足的进展。在此背景下和新的资料基础上，作者又论述了中国大陆地壳的早期演化（马杏垣等，1980，1981），指出地壳演化的每一阶段都以特定的构造体制为标志，反映着岩石圈与下伏地幔中物理条件的变化，描述了中国陆壳的旋迴性克拉通化，紧接着又开裂形成新的活动带系统的发展过程。为迎接1983年北京国际前寒武纪地壳演化会议，马杏垣、白瑾、索书田、张家声等合作，广泛综合全国前寒武纪构造资料，论述了我国前寒武纪地质历史过程中构造样式的变化（马杏垣等，1984，1985）。与此同时，马杏垣、张家声、劳秋元一起，以解析构造学的观点和方法编制了中国前寒武纪构造格架图（图1—2）。因此，本书可以说是上述工作的继续与发展，也可以作为该图的说明。主要目的是阐述我国前寒武纪各阶段构造格架的变化及其意义，以及构造编图的原则和方法。

本书编写的分工：一、二、三、四之（一）、六由马杏垣执笔；四之（二）、（三）、（六）、（八）、（九）由白瑾执笔；四之（四）、（五）由索书田执笔；四之（七）由张家声执笔；

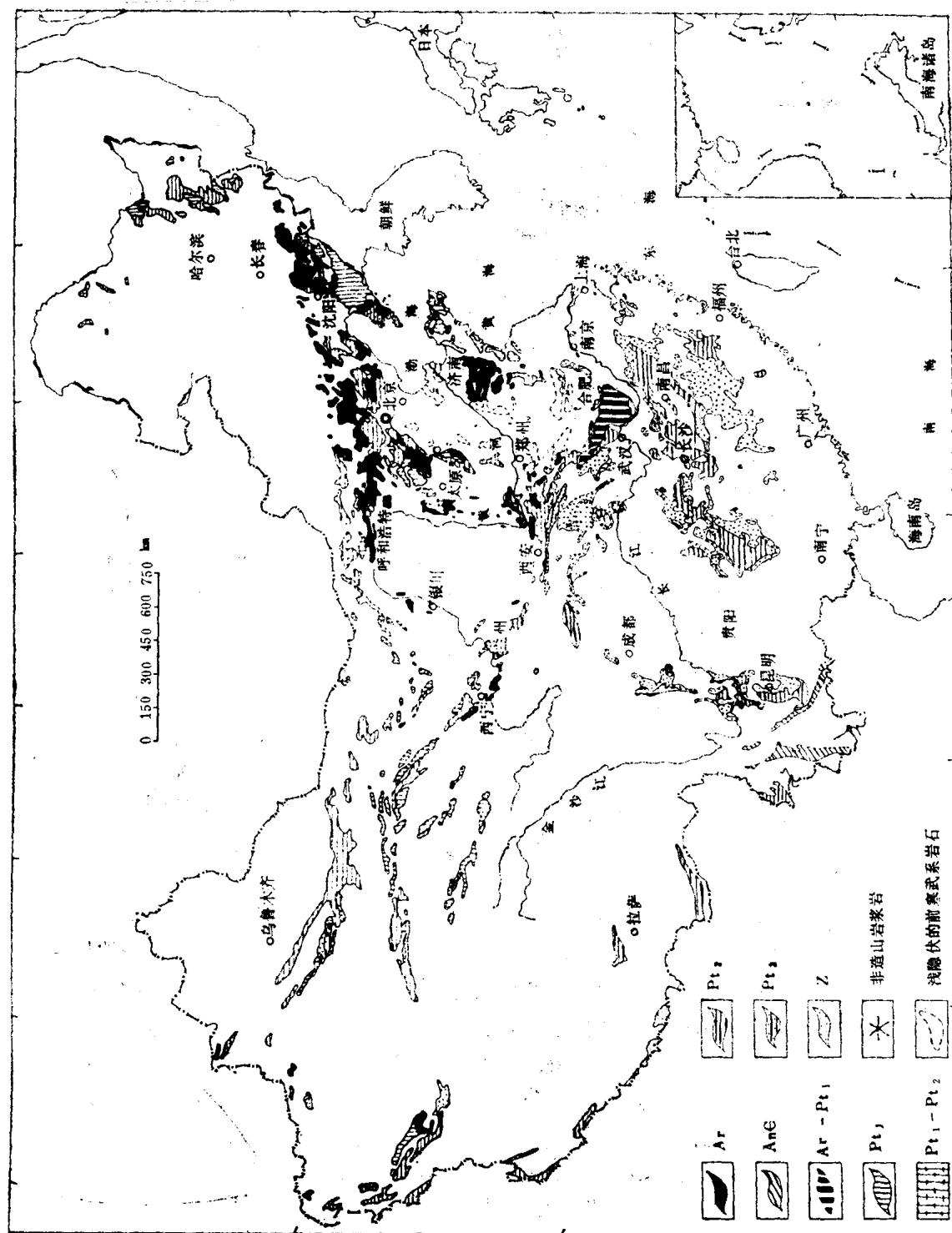


图 1-1 中国前寒武系露头分布图

Ar—太古宇, AnE—前寒武系未分; Ar—Pt₁—太古宇至下元古界未分, Pt₁—下元古界, Pt₁—Pt₂—下元古界至中元古界未分, Pt₂—中元古界, Pt₂—Pt₃—晚元古界未分, Z—震旦系

中国前寒武纪划分和构造事件

表 1

宙	代			构造运动	年代 (Ma)
显生宙					600 —
元 古 宙	晚元古代	Pt_3^2	Z_2	澄江运动	750—700
			Z_1		
		Pt_3^1		晋宁运动 (塔里木运动)	900—850
	中元古代	Pt_2^3		四堡运动 (阿尔金运动)	1100—1000
		Pt_2^{1-2}		满银沟运动 (赛图拉运动、阴山运动)	1400—1300
		Rt_1^2		吕梁—中岳运动	1850—1700
	早元古代	Pt_1^1		五台运动	2300—2200
				阜平运动	2600—2400
太古代	晚太古代	Ar_2		迁西运动	3100—2900
	早太古代	Ar_1			

丘由张家声、索书田等执笔。

在编图和写作过程中参考了大量已刊和未刊的文献。并得到王鸿祯、高振家、胡金夫、王楫、蔡学林等同志的热情帮助，均在此致谢。

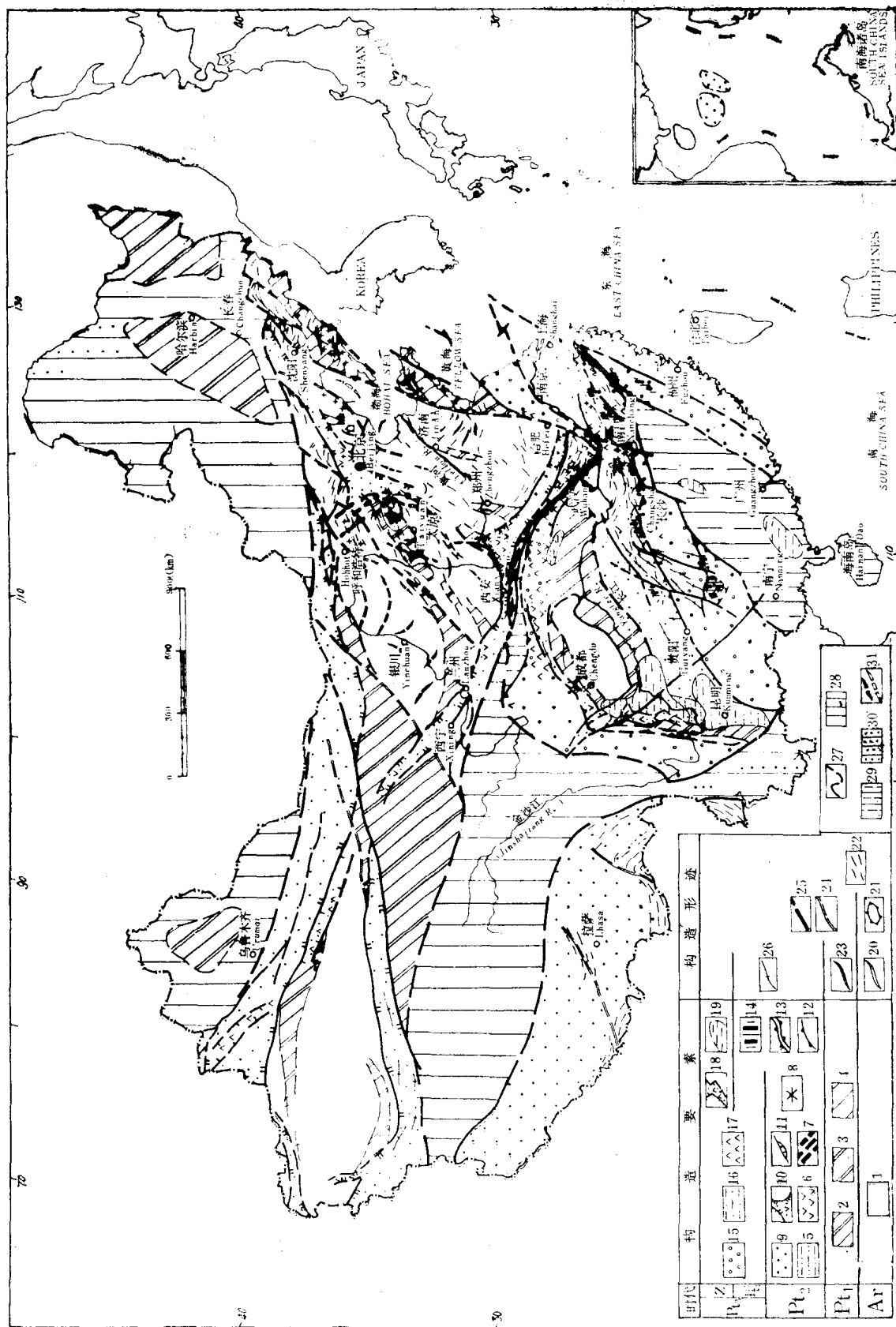


图 1-2 中国前寒武纪构造格架图

1—太古宙克拉通, 2—早元古代活动带未分, 3—五台期活动带, 4—溇沱期活动带, 5—中元古代弧后盆地, 6—中元古代酸性至基性火山岩, 7—基性岩墙群, 8—非造山岩岩, 9—中元古代活动带, 10—拗拉槽, 11—断陷盆地, 12—俯冲带, 13—对接带, 14—海沟杂岩 (蛇绿岩套), 15—晚元古代早期活动带, 16—晚元古代弧后盆地, 17—晚元古代酸性至基性火山岩, 18—火山、冰川—火山裂谷, 19—水下隆起区, 20—太古宙褶皱轴迹, 21—片麻岩穹窿, 22—片麻理、片理, 23—早元古代褶皱轴迹, 24—韧性剪切带, 25—断裂, 26—中、晚元古代褶皱轴迹, 27—构造区、构造要素界线, 28—前寒武纪未知区, 29—前寒武纪海域, 30—推测的前寒武纪陆块, 31—正、负线性航磁异常轴迹

二、编制构造图的原则

构造编图的任务是通过构造-沉积-岩浆组合、不同时代的变形和构造单元，反映出一个地区的构造演化。目前大多数构造图仍然是以褶皱带为基本单元，以地槽学说为理论基础的。但自新全球构造问世以来，构造观有了很大的变革，许多地质学家试图按照板块构造的观点编制构造图，并已取得了一些成果 (Keppie, 1981)。作者等也作了一些尝试，把大陆和大洋的“开”与“合”作为主线，分析构造环境，鉴定构造要素，并按解析构造学的方法与原则，分析各时代的变形，综合出各阶段的构造格架 (杨巍然等, 1984)。以下简述构造观和有关的构造方法。

(一) 构造观

新全球构造观的出现，标志着动力地球观已取代过去准静态的地球观，把地球看作是一个高度活动的动力体，由其内部热驱动着对流，从而带动板块活动。近年来对地球内部能量如何传递到地表的研究，更深入地揭示了地球内部能量与外部的多种多样的变换形式及其所产生的后果。

人们已不再把地球演化看作是简单稳态均变的过程，在量变-质变的发展中注入了构造事件和构造时期的新灾变论观念。灾变已成为构造发展的重要质变形式之一。全球的和局部的地幔对流是分周期性过程，反映于板块活动，则表明为大陆块的聚合与开裂分离，接着又汇合形成新的超级大陆，又将导致局部地幔加热和新的离散时期。地球内部的脉动配合着大陆和海洋的“开”与“合”，就构成了编制构造图的基线。

必须指出的是地球的构造演化是非均一的，随着地球热量的不断消失及岩石圈刚度和稳定性不断增加的趋势下，板块之间的相互作用方式及从而产生的构造样式和格架将随着地质历史的进程而不断变化。

(二) 构造旋迴与构造阶段

作为地质科学的一个基本的科学概括，构造旋迴的概念是和地槽学说及其构造单元的各种分类相联系的。它的来源可以追索到上世纪中叶 (Hall, 1859)，后来几经发展，它的基本模式，包括递进的三阶段：地槽期、构成期和造山期。即从巨厚的线型沉积拗槽开始，经强烈变形和深成作用，接着是差异隆升，火山作用，最终萎缩合并到大陆块中去。长期以来把这种构造旋迴看作是山脉演化的同义语，也称作造山旋迴，并作为大陆演化的主要过程。

随着构造学的进展，构造观的改变，上述构造旋迴作为山脉演化的模式必须加以修正。实际上没有一个单一模式能适用于所有山系，它们的地质历史是错综复杂多成因的。因之，不能把造山作用归因于单一的确定性机制。当然，总的来说，它们基本上与消减的

板块边缘碰撞和地体增生有关。

构造阶段 (tectonic stage) 是以某些构造要素组合为特征的沉积、岩浆、变质岩体, 其上下以不整合面为界, 也是构造发展的一个阶段, 通常以造山作用的结尾作为构造阶段的界限, 并以终结的造山运动来命名, 如迁西阶段, 阜平阶段等。

一个地区连续的构造阶段就构成其整个构造演化的历史, 把这些构造阶段的主要地质构造事件按时间序列绘成柱状图称之为构造柱 (tectonic column)。它们是在分析了尽可能完善的各方面参数, 包括地层、构造、岩浆、变质地质年代学和地球化学, 地球物理资料基础上编制的。把各地区的构造加以对比, 就构成了整个地区地质构造发展的时、空图解。不同构造柱中构造阶段系列演化特征上的差异及区域性变化, 就是划定构造块体或构造区的基础, 如图1—2中的华南、华北、西北和西藏构造区, 它们之间往往为区域断裂或缝合带所分开。

华北、华南、西北和西藏四个构造区的构造阶段序列是不相同的, 反映着各区地质演化的差异进程。例如华北经过太古宙的演化后又经早元古代末的吕梁—中岳运动最终基本固结, 原地台基底形成, 后来再未经受透入性的变形事件。此后的中、上元古界盖层又可分为两种性质, 长城、南口、蓟县系是不成熟的沉积盖层, 王鸿祯 (1980) 曾称之为似盖层。晚元古代的青白口系和震旦系则是真正的盖层。在西北, 同时代的中上元古界地层经受构造变动成为褶皱带或褶皱的盖层。同时, 华南的构造环境更为不同, 表现为一系列弧形褶皱系。西北、华南两构造区都是在晋宁运动后才最终固结的, 而西藏构造区结晶基底的固结可能要延至寒武纪早期, 即所谓的珠穆朗玛运动。

(三) 构造环境

上述构造阶段包含着不同的构造条件, 从板块构造的模式中, 大致可以识别以下的构造环境: (1) 稳定环境, 以克拉通及其盖层为代表; (2) 大陆开裂环境, 以拗拉槽、地堑和裂谷的形成及其中陆源沉积和碱性火山作用为特征 (Burke and Whiteman, 1973; 马杏垣, 1982)。以上两种构造环境都发生于陆壳和过渡壳, 它们的区分是以围限边界断裂的出现为标志的; (3) 大西洋 (被动大陆边缘) 构造环境, 以大陆架、大陆坡和海底沉积为特征。这个阶段以开裂的扩展、轴部出现新洋壳并伴以玄武岩和岩墙群通道为特征。这种构造环境包括陆壳、过渡壳和洋壳; (4) 太平洋 (活动大陆边缘) 构造环境, 以弧-沟-盆系和科迪勒拉式大陆边缘为特征 (Dewey and Horsfield, 1970), 洋中脊本身可在一些地区发生俯冲潜没。这种构造环境是从俯冲开始的, 形成混杂堆积, 接着有钙碱性火山活动为标志, 这种环境也包括洋壳、过渡壳和陆壳; (5) 挤压构造环境, 以山前和山间凹陷中的磨拉石堆积、碱性—拉斑玄武岩火山作用和环状杂岩体及破火山口为特征。它们由褶皱与平推断层作用的扭压 (transpression) 而变形。这种环境的开始是由缝合作用的年代及磨拉石沉积的开始而确立的。这种环境也可发生于陆壳、过渡壳与洋壳三种地壳条件。

须指出的是, 这些构造环境虽然反映了一个“开”与“合”的序列, 似乎构成一个完整的构造旋迴, 但它们并非定向性序列一个接着一个地发生, 不同构造环境的出现也是非同时性的 (Coney, 1970)。

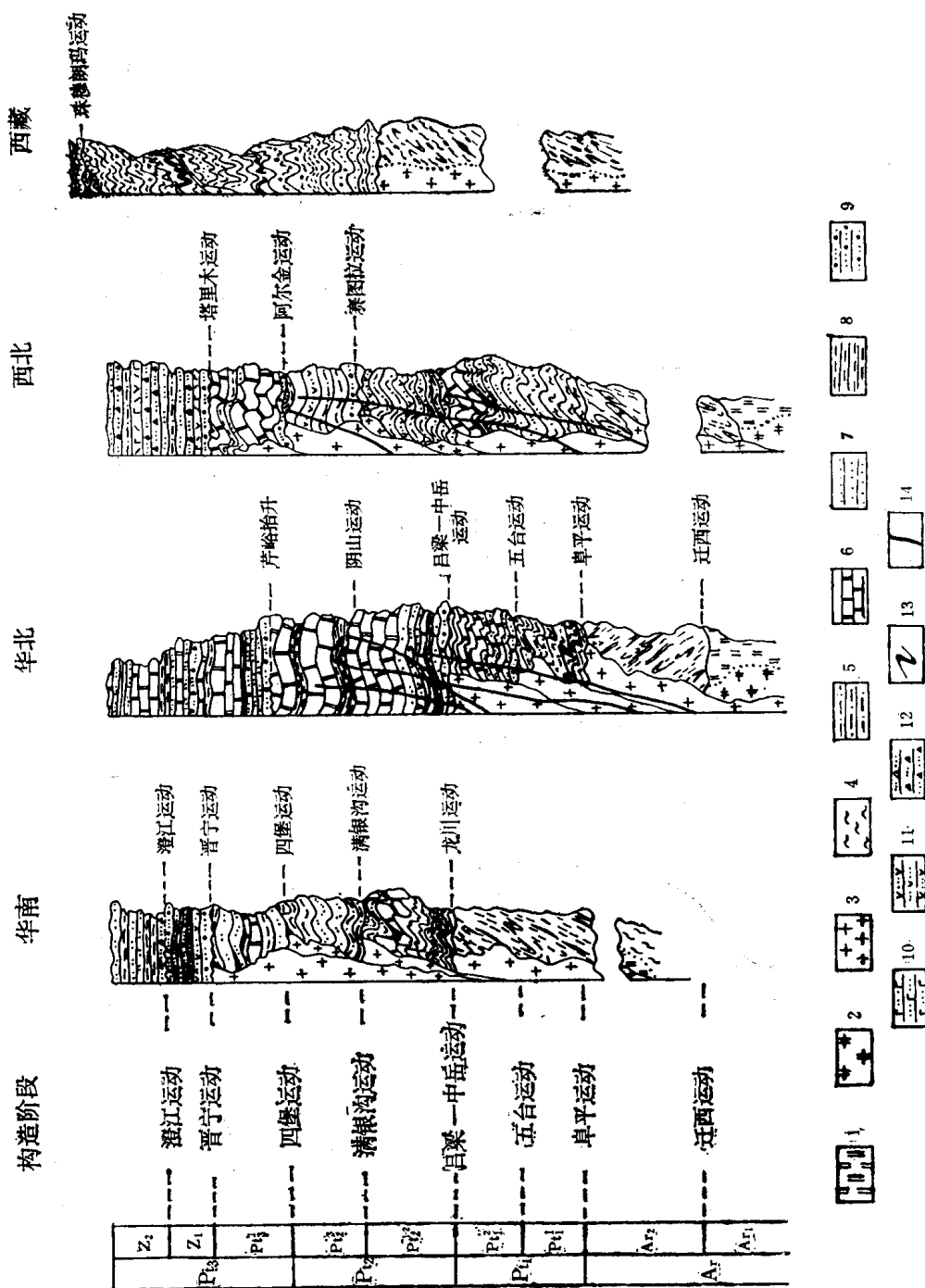


图 2—1 中国四大构造区理想柱状图

1—麻粒岩, 2—紫苏花岗岩, 3—混合花岗岩, 4—片麻岩, 5—片岩, 6—千枚岩, 7—大理岩, 8—石英岩, 9—页岩, 10—泥质岩类, 11—砂砾岩, 12—砾岩, 13—中酸性火山岩, 14—基性火山岩, 15—基性岩墙群

(四) 构造要素、构造形迹和构造样式

构造要素 是大型构造范畴，不是指单个的褶皱、断裂等。它以明确的构造-地层-岩浆组合为特征，作为某种特定构造环境的组成部分。上述五种构造环境都包含着一些代表性的构造要素。例如：(1) 稳定构造环境中的坳拉槽、裂谷、地堑及槽地 (trough)；(2) 基性岩墙群，非造山火成岩套等；(3) 被动大陆边缘环境的大陆架、地斜 (geocline)，地块、洋壳、蛇绿岩套等；(4) 活动大陆边缘构造环境的岛弧、海沟杂岩、火山弧、弧后盆地、弧间盆地等；(5) 挤压构造环境有褶皱带、前陆盆地、山前凹陷、山间凹陷、侵入杂岩及缝合带等。这些构造要素可在同一时期的任何地方并列存在；反之，任何地区在地质历史发展过程中也可属于几个不同的构造要素。

构造形迹 (structural features) 指的是构造地质学中所讲的中、小型构造，如褶皱、断裂、面理、线理、剪切带等，在构造图中主要表示它们的方位、时代及相互关系，反映各地区的变形格式。

构造样式 (tectonic style) 指的是一群有相互联系的构造的形态特征的总合，可以借助它们区别不同地区或不同时代的构造群，也可直接反映构造条件。

构造要素的类型和样式是随地质历史的发展而变化的，特别是地球的早期演化有其特殊性。现今的板块构造模式能追索到什么时代尚有争议。由于岩层出露条件的局限，研究程度的不足，早前寒武纪的构造关系难以准确恢复，所以采用了另外一些构造要素的名称，如活动带、绿岩带、绿岩-花岗岩地体、高级变质区等，它们都与前寒武纪构造演化有密切的关系，这在以后的有关章节中将会谈到。

三、前寒武纪构造演化景观

近年来肖庆辉等(1984)对国外前寒武纪地质构造研究作了广泛介绍。张秋生等(1984)结合“国际地质对比计划”91项的工作,对中国早前寒武纪地质及成矿作用进行了较深入的研究。此外,还有孙大中等(1984)冀东早前寒武地质等专著的发表,为我国前寒武纪构造研究提供了丰富的资料。这里拟在此基础上为前寒武纪构造演化勾画一个图景,作为下述各构造阶段构造格架的背景。

现代板块构造学说的许多根本问题仍没有圆满解决,诸如俯冲的机制,板块运动驱动力和许多造山带的详细演化过程等。因此把这一模式推延至远古时代是困难的。Goodwin(1981)在论述前寒武纪构造发展时,按照递进演化大陆不断增加稳定性的观点解释地质纪录。把全球热量的产生和消灭、地壳分离与克拉通化作用及大气中氧含量的增高三个条件作为控制大陆地壳定向发展的因素,连同普遍存在的重力控制一起不断地起作用,地壳的一级构造发育都是这些作用的反应。据此描绘了地壳大约从46亿年前开始至今的发展总趋势以及不同发展阶段的特征性事件。

地壳构造演化可分三个时期,继地核形成和主要去气作用,以及推测的一些原始地壳发展之后,有:(1)早期高度活动的小板块构造期;(2)经过一个比较稳定的克拉通化,即硅铝壳中的活动带时期;(3)递进到发育有大型刚性岩石圈板块的板块构造时期等三个阶段。联系我国的前寒武纪构造发展,这种阶段性划分是较为可取的,作者等(1980,1981,1984)也作过类似的论述。

在分析构造演化时,切忌概念式的方法,例如仅用小片基性、超基性岩,钙碱性岩石组合等去假定已消失的大洋,确定地缝合带,并几乎完全用地球化学数据推断构造过程等等。从而以均变的地壳演化观把同一板块构造模式推延至早太古代。

实践证明,必须把野外观察放在重要地位,以构造关系的详细研究代替概念式的解释。充分认识随着地球的逐渐变冷及其它因素的变化,其内部过程有根本的不同。岩石圈板块本身及它们之间的相互作用随着地质历史的推移也相应发生很大变化。因之,地球的构造演化并非均一的,不能完全根据现在的情况去推演过去的情况。

(一) 太古宙岩石圈演化

25亿年前的太古时代由于大洋纪录的消失,大陆中岩石关系的复杂性和不明确性,所以有关太古宙岩石圈演化问题仍有很大分歧。然而根据野外调查和岩石学、同位素地球化学证据和热流值的推算等,可以肯定当时地球热流值很高,是现今的2.5至4倍。因之推测当时是大洋岩石圈强烈生长和破坏的时期,结果产生大量钙—碱性熔岩,以英云闪长岩为终端物,并变形、变质成大陆中、下地壳层次的片麻岩和麻粒岩。太古宙地壳形成的速率很高,似乎与上地幔中广泛熔融及不能透入上覆大陆壳的浓密岩浆的板底垫托作用(Underplating)有关。这也导致了太古宙大陆壳的非线性生长和分异以及卵形、弧形等垂直构造的发生,同时也被认为是早期的岩石圈增厚与稳定的主因。

当时整个岩石圈呈漂浮状态，俯冲消减现象很少，因此绿岩带的生成恐不能归之为大洋岛弧和安第斯型弧环境。它们的双峰式火山岩和有成生联系的英云闪长岩—奥长花岗岩—花岗岩体主要发生于大陆内部和边缘的裂陷环境。表明早太古形成的大陆块体已具有足够的厚度和刚度，足以支持晚太古代的绿岩盆地的形成 (Kröner, 1981)。而高级变质地体代表前绿岩硅铝壳，主要是浅水沉积物与花岗岩类。绿岩盆地的关闭由平卧褶皱及逆冲断层引起水平缩短，可能使地层重复，破坏了原有的沉积层序，经后来花岗岩类岩基侵位，岩层又重新变陡。太古宙末期的全球性地壳形成事件产生了最早的大陆克拉通，在中国表现为华北和塔里木地区的克拉通化，作者过去称为萌地台，也就是萌芽大陆的意思。

(二) 早元古代板内构造的发育

太古宙—元古宙代表一个过渡时期，在此过程中加厚了的太古宙大陆壳上升受侵蚀，产生了丰富的碎屑物，还有许多岩墙和侵入体注入稳定的地壳。这个时期大的岩石圈块体可能已能以较慢的速度独立移动。

较不稳定的地壳受大规模变形歪曲的反应，主要是在构造软弱地带拉薄、开裂、甚至发生有限的板块分离，形成长条状裂陷盆地，以及通过基底重新活化而发生的水平缩短和硅铝壳内地壳楔状体推覆堆叠，壳下岩石剥离 (Delamination) 及转换剪切等，即所谓的硅铝壳内造山作用。Condie (1982) 综述了早、中元古代序列的组成之后，得出17亿年前的构造时期以克拉通内盆地或稳定大陆边缘构造为主的结论，而以后的组合则代表更活动的环境，频繁的大陆裂陷和局部俯冲的发生。我国早元古代构造条件是符合这种一般情况的。但是华北太古代克拉通可能具有更强的活动性，在一些地区绿岩带继续形成，如双山子群和五台群等。这可能是由于壳下岩石圈还不够厚，早期下地壳的脱水作用不彻底所致。但岩浆的板底垫托作用仍然是早元古代大陆内盆地中火山岩系形成的重要作用，在这种作用控制下沉积了各种混合的火山—沉积岩系。

因此可以认为，早元古代及以前的全球演化中岩石圈的垂直生长是非常重要的，这可能是观察到的岩浆岩组合及岩石圈稳定作用和大陆克拉通化的机理。随着克拉通稳定性的逐步增大，早元古代末的构造变动使岩石圈集结成更大更稳定的陆块，如形成从华北至塔里木横亘我国的中轴大陆。

(三) 中、晚元古代向现代板块构造体制转化

17亿年后至显生宙开始是一转折时期，从局部现代式汇聚板块边缘的出现至完全的“开”“合”过程 (威尔逊旋迴) 的建立。

华北原地台的内部和边缘有许多夭折的开裂作用造成的拗拉槽、地堑、碱性岩浆活动、斜长岩—环斑花岗岩等后造山岩套及基性岩墙群等。华南则是另外的构造景观，环绕着上扬子稳定陆块，出现沟—弧—盆系活动边缘及弧形褶皱带。元古宙末华北与华南原地台之间的喜马拉雅式的碰撞造山带的形成，产生原地台内的交叉断裂系。

总之元古宙末产生了规模和组成上与现今类似的大型岩石圈板块，并开始了现代板块构造活动。

四、构造研究方法

全面的构造方法应该包括多尺度、多层次、多类型的构造研究，当然不是本书所能容纳的。这里着重讲的是构造解析的原则和与鉴定构造要素，分析构造环境及建立构造格架有关的一些工作方法：

前面曾多次强调过，前寒武纪构造研究应从地质实际出发，把野外构造关系的观察研究放在重要地位。野外出露的变形岩石包含着—系列构造信息，中、小尺度构造直接与大构造相联系。能用应变状态的研究准确推导构造带变形和位移的大小。对一个地区的全面应变格式作出估计之后，就能对大的或小的岩石圈块体之间的相对运动方向作出判断。应该指出的是，前寒武纪，特别是太古与早元古地体，是地壳深层次的产物，有其特殊性，对这种类型构造的研究有特别重要的意义。

（一）构造解析的原则

作者曾结合前寒武纪构造研究提出过构造解析的方法（马杏垣等，1981），并拟建立以辩证方法为核心的解析构造学（马杏垣，1983）。现结合构造学的新进展，联系前寒武纪构造实际，将基本原则概述如下：

（1）研究构造首先要识别各种变形的应变格式。它们是地壳介质对构造应力作用的反应方式。因之要进行应力和应变的解析。

（2）构造层次

构造层次具有时间和空间上的含义，在构造解析中把握住构造层次的概念并加以引伸是十分重要的。这不仅在于认识地壳、岩石圈的不同构造层次的变形过程及其特点的差异，而且有利于解析构造置换、叠加、组合等一系列问题。不同构造层次之间的界面在构造变动中起重要作用。沿着它们可以发生滑脱，爆发地震，是震源之所在；也可以成为区域变质、混合岩化的场所，等等。岩石圈和上地幔在构造、组成和物理状态方面的非均匀性是地球内部构造的基本特征，也可作为一种构造驱动机制。而造成岩石圈层片状构造的主要机制之一就是滑脱作用（detachment），这在前寒武纪构造中是常见的。

（3）尺度

地质构造有时间和空间上的尺度。每一尺度都强调某些不同的方面，而且有其不同的研究方法。因之从较多的尺度上分析构造问题，就越能得到比较全面的认识。研究构造可以由小到大，也可由大及小，各有优点。从野外露头研究中是很难了解板块构造的，对某一局部地区作板块构造解释就必须把该地区的构造情况放到大区域或全球构造背景上去分析。构造的均匀性和透入性概念是和尺度相关的，这一点应当注意。

每一尺度的构造中都可分出许多基本的单位，例如地壳的最大单元有陆壳与洋壳与过渡壳之分，还可划分出不同的板块，也可做另外的划分，如地台、地槽褶皱带等。不同的构造单元在不同的构造环境中又会产生许多的构造要素（tectonic elements），如在伸展

构造环境下,发生裂隙,造成地堑、裂谷等;在俯冲环境中可产生弧、沟、盆系列等。在露头观察的小尺度上最基本的是构造形迹 (structural features)、如断层、褶皱、节理等。

构造运动的另一客观存在形式是时间。时间尺度表征着构造变动的阶段性和顺序性。而这一变动过程的根据就是量变和质变互相转化的规律。任何一种质变都是突变式地,以飞跃的方式实现的。突变结束一个过程,标志着发展中的转折。据此可以划分出长短不一的构造阶段或旋迴,即地壳构造发展具有分期性 (Episodicity),还有另一种形式的突变即灾变,如地外星体的撞击等,这在前寒武纪漫长历史中应该是一种重要的作用。

构造变形的时间尺度不仅表现为时间的长短,还包括构造作用过程的速率。把地震看作是一种地质构造变动,它在不同时间尺度里有不同的表象,给出各种信息,根据这些异常,可做出长、中、短、临预报。解析构造学强调对构造事件的预测性,就是建立在这种对不同时、空尺度的构造演化的认识基础上的。

(4) 叠加、置换、序列、世代

这是一些和构造演化有关的现象和概念。构造叠加 (superposition) 是多期变形的结果,可由不同类型的变形过程引起,如:①由一个构造旋迴中相继的构造幕造成,②一个递进变形过程中的相继褶皱和断裂,③一次变形过程中发生的若干不同方向的同期褶皱和断裂,④交叉构造带以及造山作用类型发生变化造成的等。

构造置换 (transposition) 是一种构造在递进或相继的变形过程中被另一种构造所代替的现象,如地层经强烈变形,层理可被劈理、片理所置换,使原来的层理面成为劈理、片理等的运动面。

构造的叠加、置换说明构造现象的空间排列和时间上的形成都有先后次序的规律可循,构成一定的序列 (sequence),可划分出不同的世代。一般讲,一次按一定作用方式的区域构造运动造成的构造要素群,就称为一个世代 (generation) 的构造。

(5) 构造转化与再造

李四光 (1972) 在论述地质力学方法时强调“按照序次查明同一断裂面力学性质可能转变的过程”是非常重要的。因为世界上不存在任何绝对停滞不变的事物,一切都在运动,由一些内容和形式转化为另外一些内容和形式。地质构造也是一样,它们在地质历史过程的运动、变化和发展中,旧的性质将会转化和消失,新的特性将不断产生。这种转化不仅限于力学性质,特别是残留在新的构造带中的老岩块或地块,经历更深刻的转化过程 (transformation),它们的组成和结构将受到再造 (reworking)。这些都是研究地质构造时应该特别注意的问题。我国有些地质体的时代、结构与特性长期弄不清就是和没有认真解析构造转化与再造有关,例如秦岭构造带经历了加里东、海西和印支三个阶段的构造变形,其中许多前期地块受到后来多期改造,面貌全非,不易辨认,就是突出的例子。

(6) 介质和物理化学条件

构造变动过程是变形条件和岩体双方的相互作用过程,两者都是变化的,相同的应力系统在不同的物理化学条件下作用于力学性质不同岩体上,将会产生不同的结果,因之要分别加以研究。

(7) 得失、增减、改组与分异

世界上不可能有无运动的物质,也没有无物质的运动。而任何运动都包含着物质的不

同要素的相互作用。地壳构造演化过程不单纯是一个变形过程，而且要有所“得”(addition)，例如物质从地幔转移到大陆；也要有所“失”(subtraction)，例如一般说的深层再循环，物质从大陆回到地幔。这样大陆就会增生(accretion)，例如俯冲-增生(subduction-accretion)就是这种过程的一种重要形式。它通过增加或再分配的方式使板块边缘增加面积。也还会有面积的缩减，通过俯冲侵蚀(subduction erosion)或构造侵蚀(tectonic erosion)的方法从边缘上遗失物质。

经过一系列的构造过程，地壳物质会不断改组(reconstruction)，即从一种岩性透性地重新铸造成另一种，从而达到分异(differentiation)。例如从远古时期比较均匀的原始地壳发展成的上、下部不同性质的地壳。

(8) 构造组合系统

作者曾把共生组合的概念引入构造解析中，因为地壳并非由各种构造事件和过程形成的各种构造杂乱无章地组合而成，而是各种构造现象间具有密切的联系，由统一的有规律的运动过程造成的有规律的整体。要正确地理解一种构造现象，就应当从它与其它现象的联系中去考察、了解它的起源和发展。

构造现象之间的联系是各种各样的，但始终表现为它们的相互依存和相互作用。解析构造学的目的和任务就是通过辨证的方法，去识别具有内部组织和规律的许多密切相关的构造要素的集合体——构造组合(tectonic association)。它包括前述不同构造变形场中不同层次、尺度和序列等的各种构造单元、构造要素和构造形迹的组合，也包括构造-沉积、构造-岩浆和变质的组合。岩浆和变质作用是更为深刻的构造活动过程。因之这些组合也可以分成不同的类型和级别，它们又构成更大的系统，即构造格架。

板块构造强调板块边缘的构造关系，分为分开的、转换的和聚合的边缘系统，后者又分为非碰撞与碰撞的两种类型。此外还有非板块边界系统，或板内构造。在这些不同构造系统中的特定构造条件下，产生各种构造组合，如弧、沟、盆组合，又如伸展裂开条件下的地堑，裂谷的构造组合等。

以上初步概括了构造解析的几项基本原则，这当然不是构造方法学的全部。因为解析构造学要探索构造现象的内在联系和相互制约的规律性，就不能只限于观察和识别构造格式、解析构造组合、展示它们的变化和发展等，而更重要的是要科学地理解这种发展的全部机制。为此，必不可少的是模拟实验、定量测试和提出各种假说，并在实践中加以验证。

(二) 不整合面的鉴别

不整合面是重要的划时代的地质界面。代表一个没有沉积或已有岩层但被侵蚀掉的时间间隔，记录了地质环境的根本变化。对它的确定，不仅在鉴定岩系顶底方面起决定性的作用(如通过铁堡不整合确定了五台群在龙泉关群之上)，而且在大的地层单元划分上，特别对古构造的恢复和发展阶段的探讨方面，均有很大意义。

在变形变质岩区，要确定一个不整合，往往比较困难。原因有二：一是认识上的，就是往往没有充分考虑到变形变质的特点，而以变形较简单和未变质的岩区准则去观察研究变形变质岩区的不整合现象；二是因为变形变质的缘故，使不整合面很难被观察出来。为