

论构造复合

丘元禧

(中山大学地球科学系)

摘要 构造复合现象在地壳岩石圈中普遍存在,它是构造运动多期次多阶段发展的记录。构造复合存在多种多样的形式,其基本形式不仅包括各种形迹的复合,建造与形迹的复合,而且包括建造与建造的复合;就其复合的空间位置而言,既有原地的复合,也有异地的复合;就运动方式而言,既有同方式运动的复合,也有不同方式运动的复合;就构造复合的规模和等级而言,小至小型或显微构造,中至露头规模的构造形迹复合,大至构造带、构造地块、构造体系乃至巨型构造域(岩石圈板块)的复合。

文章特别强调了复合构造域和区域构造体系等概念。用三大板块相互作用和构造复合的概念解释了存在于我国及其邻区的区域构造体系的形成机制。文章的最后提出了构造复合的若干基本规律。

关键词 构造复合 复合构造域 区域构造体系

0 引言

构造复合(compounding of tectonics)现象在地壳岩石圈中普遍存在,它是构造运动多期次多阶段发展的记录。对构造复合进行了比较系统深刻研究和阐述,对它的科学概念奠定了基础的是李四光教授^[1-3]。他的学生和其他地质学家在他生前和身后围绕构造复合问题,开展了许多研究,其中以李东旭^[4-5]发表的有关构造复合系统分析最为系统。他提出了对构造复合应进行6个方面的分析,即形态分析、力学分析、量级分析、主次分析、时序分析及构造带与地块的复合分析。许多地质力学工作者还致力于复合构造的控岩控矿研究,也取得了令人瞩目的成就^[6]。这些工作都发展了地质力学。但是,近年来构造地质学与大地构造学又有了许多新的发现,特别是板块构造理论问世以来和近年来大陆动力学的兴起,极其普遍和多种多样的构造复合形式被进一步揭示和阐发出来,并且显示出其发展的若干基本规律,因而有必要对其作进一步的归纳与总结。本文是对其作初步探讨,不当之处,敬祈指正。

1 构造复合的基本形式

地质构造包含建造与改造、形成与形变两个方面^[7]。本文作者认为构造的复合不只是形迹

的复合,还应当包括建造与建造、建造与形迹的复合。笔者之所以主张建立这一概念,在于构造运动的物质记录不只存在于形迹之中,而且存在于物质组分的建造和变化之中。伴随多期次的构造运动地壳的结构调整和组分调整^[8],必然导致形迹及建造的复合,其形成是多种多样的。经初步归纳与整理,可有如下一些基本形式:

1.1 构造成分的复合形式

1.1.1 形迹与形迹的复合 包括各种次生的构造要素(面理、线理)的复合,叠加褶皱和复合断裂。应该强调指出,褶皱和断裂并非突然发生在成岩之后,在同生变形(contemporaneous deformation)或准同生变形(penecontemporaneous deformation)和成岩变形之间存在一个连续发展的系列。这样,我们所论及的形迹和形迹之间的复合就不仅包括成岩以后发生的各种形迹的复合,而且包括同生变形或准同生变形和成岩变形之间的叠加和复合。研究这些构造形迹之间的复合,不仅可以建立起构造时序,而且可进一步建立起构造演化序列(变形序列)。

1.1.2 建造与形迹的复合 这种复合表现为建造形成以后叠加上形迹,或反过来形迹形成以后叠加上建造。前者最普遍的一种形式是原生结构要素(面理、线理)叠加上次生结构要素(构造面理和构造线理)。例如沉积岩的层面形成以后,沿层面产生滑动,使层面转化为构造滑动面,或层理和顺层劈理叠加在一起。在野外,我们经常可看到一些面理既是层面,又是构造面理(如 $S_1//S_0$)。具有形成和形变双重性质时,就是这种建造与形迹复合的构造。

建造与改造、形成与形变是相互制约、相互依存的。一方面各种形变的特征是和组成它的岩石的物质成分的力学性质有关,受到它的制约。例如光弹实验证实岩石的褶皱是由于在较软弱的介质中较强的主导岩层弯曲而造成的^[9],发现褶皱波长和主导岩层的厚度呈线性关系,主导岩层的厚度及其有关岩层的物理性质控制着早期褶皱的波长;又如一些折劈理的发育是和所在岩层的力学性质有关。反过来,既成的形变对后来建造的形变常常起着控制其展布的作用。不仅如此,那些同构造的建造与同步的形变还有成因上的联系。例如,伴随层滑作用和顺层剪切滑脱构造的发生和发展,一系列顺层物质分异(如动力分异成因的层状石英体),剪切熔融体(低速层)乃至剪切深熔层状花岗岩片麻岩和某些层控矿床的形成等等。

1.1.3 建造的复合 指后期建造包含或包容、穿插、切割先期建造的组成。如沉积建造中包含前期基底的物质组成,多期次的复式岩体和多期复合变质带等等。岩石的形成总是在一定的构造背景下产生的,其空间展布是受前期或同期构造控制的。建造的复合正是反映了前后构造状况的更叠和转化。新老建造的复合不只是反映运动或构造的形成过程和发展序列,而且是一种地质构造否定之否定的系列。为了说明这一点,无妨举一些例子:在浙江东南部有两个燕山晚期的花岗岩体(梁弄岩体和龙皇堂岩体),侵入时代属白垩纪(K-Ar法年龄为 94-109Ma),成因属地壳较深部岩石派生岩浆形成的花岗岩;Sm-Nd同位素计算得出模式年龄 $T_{\text{Chur}}^{\text{Nd}}$ 分别为 1200-1600Ma 左右以及富集因子 $f_{\text{Sm}/\text{Nd}} < 0.2$,表明浙东南火山岩区较深部同样存在前震旦纪基底岩石或古陆壳^[10]。另外,据江博明研究台湾大鲁阁花岗岩(90Ma)锆石 U-Pb 上交点年龄为 1668Ma,推测是经过再循环的锆石,其来源可能来自中国大陆^[11]。上述两地的燕山期花岗岩中都含有古老岩石的矿物成分,说明这些花岗岩是古老陆壳重熔的产物。在新的花岗岩建造中包含了古老基底的成分或者说前者是由后者转化而来的,反映了古陆所经历的后期运动的改造作用。

在广东云开大山西侧广西博白黄陵中,下奥陶统下部,有一套厚达 4000 多米的花岗质碎屑岩,其中长石砂岩的长石含量达 30-50%,在郁南一带下奥陶统的层间砾岩中也含大量花岗岩斑岩和脉石英的砾石,这说明在奥陶纪以前本区已有花岗质岩石;由于构造运动的抬升剥

蚀,这些花岗质物质才转入新的建造之中,它是郁南运动的物质记录^[12]。

南岭地区广泛发育燕山期花岗岩体,通常构成复式岩体。这种复合的花岗岩建造反映了多期次多阶段的构造运动和岩浆物质运动。在华夏地洼区燕山期的内生金属矿床往往具有多源复成矿床成矿物质多次转移逐步富集的特点^[13]。这种复合的含矿建造的形成和发展也是伴随地壳构造演化、构造运动而发生发展,正是这些建造的复合作用深刻地反映出在构造运动过程中地质结构与物质组分的调整作用。

在形变过程中常常要发生矿物的相变,形成新的应力矿物,通过电子探针可获得显微构造域中伴随形变发生的微区化学成分的变化(如糜棱岩显微构造域中由核至幔微区化学成分变化的核幔构造)。新老变形时期形成的新老矿物,新老化学成分的复合也是一种建造的复合,这种微区物质成分的演化也记录了地质构造的演化。

可见,把构造复合的概念扩展到建造领域里是非常有意义的,它使我们获得许多保存在建造中的有关地质构造和地壳运动或变形事件多阶段多期次发展的物质记录和地质信息,而这些往往在单纯的形变复合中是无法获得的。

1.2 构造空间位置的复合形式

1.2.1 原地复合 指前后构造基本上在原地理位置或原构造深度,即构造位(structural level)进行的复合。这种复合,尽管前后构造体系、构造型式、构造的力学性质、构造应力场可以不同,但受变形的岩块前后两次的地理位置或构造深度(构造位)基本不变。例如前后两次原地的脆性变形叠加或两次韧性变形叠加,前后两次原地同走向或不同走向主压面的叠加都属于这种类型。

1.2.2 异地复合 指前后构造在复合以前处在异地或不同的构造深度,由于较大的水平位移或垂向位移才使两者复合在一起。大陆漂移、海底扩张、地体碰撞拼贴和增生,板块的俯冲和仰冲、远程推(滑)覆体等都揭示了这种异地复合构造的存在。北美阿巴拉契亚山脉位移量达260km的薄皮推覆构造和下伏原地系统之间应是一种异地复合。我国滇藏三江地区羌塘地块、冈底斯地块、保山地块和中缅地块近年都发现了冈瓦纳冰水杂砾岩、舌羊齿以及南半球低纬度古地磁记录,因此这些地块被确认是由冈瓦纳古陆离裂出来,并向北漂移越过古特提斯洋拼贴到华南地块上的增生地体。它们与原华南地块之间的复合也是一种异地复合。

应该强调指出这种异地复合,复合前的构造和复合后的构造是分属于两个系统和完全不同的。如远程推覆体的原地系统和异地系统的构造不同但却复合在一起;地体构造拼贴前、碰撞期和拼贴后的构造也是不同的但却复合在一起(图1)。只有通过细致的构造解析和筛分,我们才得以认识复合区不同时期和不同阶段的构造并复原他们原来的构造位置。

不同构造位的复合也是一种异地复合。例如在我国大陆地区可以普遍地看到现今露头剥蚀面上浅构造位的脆性变形叠加在深构造位的韧性变形之上。这种异位复合反映出中国大陆的地壳基底中生代以来总体不断隆升的发展过程。

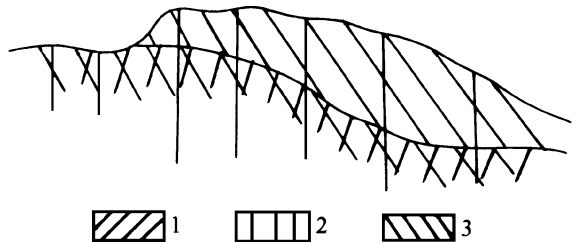


图1 异地复合体中的构造

Fig. 1 Map showing allochthonous compounding of tectonics

1. 碰撞复合前的构造; 2. 碰撞后的构造; 3. 碰撞期形成的构造

1.3 构造运动方式的复合形式

1.3.1 同方式运动的复合 指复合前后两次的构造应力场完全一致的复合构造。李四光所提出的重接复合就是这种同方式运动所造成的复合。

1.3.2 不同方式运动的复合 指前后两次构造形成的构造应力场及其主压面是不相同的复合,构造应力场的不同反映出前后两次运动方式的不同。例如,前次构造是由垂直运动形成的,后次构造是由水平运动造成的,或者两次都是由水平挤压运动造成的,但前后两次的区域应力场的主压应力轴方位不同。李四光所提的斜接、反接、截接等复合形式都是不同方式运动的产物。

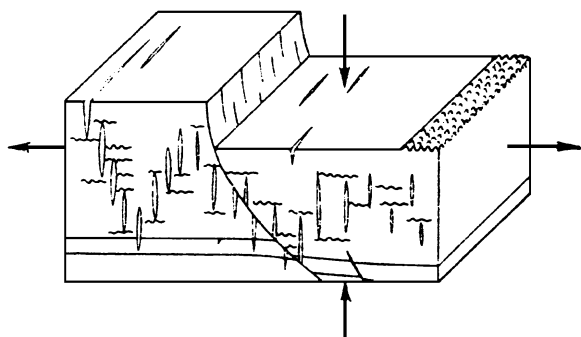


图 2 垂直压应力的缝合线

Fig. 2 Stylolite perpendicular to compressive stress

这些与层理平行的缝合结构与张裂隙共生,而张裂隙本身又与正断层共生(据 M·马托埃,1980)

马托埃^[14](Mattauer)等人在研究法国中央盆地时,对法国中央地块东南部朗格多克(Languedoc)地区中生代灰岩中的小构造研究表明:有些平行层理发育的水平缝合线并非同生沉积成岩阶段的产物,而是在裂谷阶段(中新世)由垂直层理的最大主应力 σ_1 生成的构造缝合线,它和张性阶段的构造伴生且发育在断层附近,断层擦痕电算结果也证明 σ_1 是垂直的(图2)布尔格和马特(Burg & Matte)通过法国华力西中央地块的断层擦痕研究获得了四个阶段的构造应力场:其中第一和第三阶段 σ_1 为近水平,而第二、第四阶段 σ_1 则近垂直,反

映4次构造运动方式的改变,从而造成3次构造复合。

我国华南陆缘带在中新生代也存在类似的情况。燕山期晚期这里曾是一个以挤压为主的大陆边缘,但自晚白垩世末至新生代则转化为拉张的伸展大陆边缘,两者的复合形成了华南复合式大陆边缘构造^①。

在我国东部新生代裂谷盆地的碱性玄武岩中含有来自地幔的深源包体,这些以尖晶石二辉橄榄岩、镁铝榴石二辉橄榄岩、榴辉岩为主要岩石类型的深源包体中常具有一系列深层次的韧性变形,实际上它们是深源地幔构造岩^[15],随着玄武岩流的上升而复合在浅层次的地壳之中,这是深、浅位复合的另一种类型。

1.4 构造复合的规模和等级

1.4.1 小型或显微构造的复合 一般指露头或显微镜下所见的结构要素如面理、线理之类的复合或叠加褶皱和断裂的复合。对形迹复合的认识往往是最直观的,各种更高级别更高层次的复合都或多或少地会在形迹的复合上留下踪迹;复杂的构造复合的剖析工作往往要从这里开始,从这里获得最初的感性认识。

1.4.2 构造带的复合 指大型乃至巨型构造带的复合,包括不同时期优地槽带和冒地槽带的复合,不同时期褶皱带、断裂带的复合,挤压构造带和伸展构造带的复合等等。我国一些造山带(如秦岭造山带)往往具有多旋回的造山作用的历史便是这种复合构造带的例证。

① 丘元禧. 试论构造体系与板块构造在地球动力学上的联系. 第五届地质力学学术讨论会论文摘要汇编, 1994

1.4.3 地块的复合 李东旭^[4]曾提出复合地块的概念。地块 (massif or block) 这一术语在我国构造地质文献中含义往往比较广泛,适用范围比较广,既可指某些较稳定的块体,也指某些地体、微板块、板块。地块与地块的复合常构成更大规模的复合地块。如位于长江中下游的大别地块 (淮阳地盾) 经过近年的许多基础研究,业已证明它是由北部华北地块和南部的扬子地块拼接而成的复合地块,在拼接地带的造山带——大别变形带,实际上是东秦岭变形带的东延部分。上述认识是以下列资料为依据的:大别地块内部发现蛇绿混杂岩带,它是两个陆块的接合界线,出现一批具太古代年龄值 (U-Pb法 2900Ma, Rb-Sr法 2780±880Ma) 的岩石;在金寨燕子河还发现深基底的麻粒岩相高级变质岩,大别群具有 $Sr^{87}/Sr^{86} = 0.7061$, 2780Ma, 与华北地块南部霍邱群 $Sr^{87}/Sr^{86} = 0.7056$, 2796Ma 相对应^[16]。因此,大别地块的北部是由华北基底的成分为主组成的块体;南部及南淮阳亦是一片古老的变质结晶岩系,它是扬子地块的基底。这一复合地块的内部构造样式主要是断面北倾的大型犁式推覆系统;北部是由中晚元古界和古生界组成的构造推覆系统,可能是加里东期一个碰撞山系;南部及南淮阳很可能是在晋宁期碰撞山系基础上叠加了印支—燕山期俯冲滑脱山系的复合山系^[17]。因此,这一复合地块 (华北地块推覆到扬子地块之上) 的结合部是一个复合构造带。

1.4.4 构造体系的复合 构造体系的复合包括不同构造体系的构造成分之间的复合和同一体系内部不同构造成分的复合。前者称为系间复合,后者称为系内复合。系内复合又包含两种情况,即同一体系在不同时期内由同方式运动所造成的多次变形和多次复合和系内不同序次构造成分的复合。

构造体系具有不同的等级和规模。那些小型的构造体系可以存在于一个地块或构造带内,而那些巨型构造体系又包含了许多构造带和地块。因而当一场大规模的构造运动使巨型构造体系发生复合时,常常导致包含在其中的构造带、地块及构造带,地块中的构造形迹发生复合。因此,通过对构造形迹、构造带和地块的构造复合的逐级分析就可以认识那些巨型构造体系之间的复合。

李四光^[2]对我国西北地区陇西系和祁吕山字型复合体系的分析堪称是对巨型构造体系复合分析的一个范例。李四光指出陇西系在六盘山和贺兰山南段以西的广大区域中占有重要的地位,从南山变质岩系到第三纪甘肃层,全部都卷入了这一构造体系,又由于它复合于其他构造体系之上而发生了强烈的干扰作用。它对广义的陇西地区以及河西走廊东南部的综合构造形态起了极其重要的控制作用。我们从李四光的论述中,可以看到,在巨型构造体系复合过程中构造带和地块都卷进去了,并不同程度地产生了复合改造作用。

由于构造体系的复合导致构造形迹的复合在自然界中比比皆是,只要细心观察,在具体露头上,常常可以看到。例如,在我国东部新华夏系和 EW 向构造体系之间的复合地区,我们常常可以看到由于后期构造体系的叠加改造,一方面新华夏系利用了纬向构造体系的构造成分,另一方面又改变其力学性质和滑移方向,使每一组结构面都成为复合结构面。例如 EW 向结构面具有先压后剪切张扭的性质, NNE 向断裂具有先剪切后压剪 (左行) 的特点, NNW 向断裂具有先剪切 (右行) 后张剪 (左行) 的特点,而 NNW 向断裂则具有先压剪后张性的特征。谭忠福等人^[6]在河南卢氏灵宝地区对新华夏系和纬向构造体系的复合现象所作的观察和分析亦为我们提供了一个范例。

1.4.5 巨型构造域的复合 这里所说的巨型构造域是指由于板块或大型陆块间的相互作用所形成的构造域。例如存在于西伯利亚和华北地块的古亚洲构造域以及在中新生代存在于我国的滨西太平洋构造域或古生代以来的特提斯—喜马拉雅构造域。

由二个或二个以上的板块构造的相互作用可产生巨型构造域的复合,例如欧亚板块与库拉-太平洋板块、特提斯-印度板块的相互作用而产生的巨型构造域的复合。

板块与板块之间的相互作用不仅波及广大空间,而且经历了较长时间的发展。这样,与板块构造相互作用相联系的往往就不单是一个构造体系的发展而是多个构造体系的发展。这种由板块相互作用产生的构造体系,笔者称为区域构造体系^[18],以示和那种受全球构造应力场所控制的全球构造体系(如星球级的纬向系和经向系)相区别。例如由李四光厘定的华夏系、中华夏系和新华夏系实际上是自印支期以来,滨西太平洋地区由于库拉-太平洋板块向 NNW 方向或 NWW 向斜向俯冲,亚洲大陆板块向 SSE 或 SEE 斜向逆冲长期作用的产物。黄汲清^[19]曾把这一套 NE 向构造称为太平洋式构造,意指它们是太平洋构造域的产物。我们不妨把它称之为华夏方向构造系列。实际上它代表华夏方向构造连续发展的序列,是库拉-太平洋板块与亚洲板块长期相互作用的产物,是伴随两大板块相互作用不断发展的连续发展序列。

同样地,由于特提斯-印度板块与中国古大陆板块的相互作用所产生的以区域性 EW 向为主体的 EW 向构造带和在我国西北地区发育的西域系或古河西系、河西系,以及主要由印度板块与中国板块相互作用所产生的青藏滇缅印尼歹字型构造体系也构成一个连续发展序列。它是特提斯-喜马拉雅构造域的产物,黄汲清曾称之为特提斯式构造。

由于特提斯-印度板块、库拉-太平洋板块与中国板块的相互作用,在时间和空间上存在着交叉从而产生了复合构造域。中国大陆特别是其东部和东南部处在三大板块相互作用的地带,因而可以说其主体部位是处在复合构造域之中,从而表现出各种复合构造的特点。

在中国东部发现了一些构造现象,如果仅用太平洋板块对中国板块的作用是无法解释的。例如沿 NNE 走向出现了许多大型拉张裂谷或地堑。过去一些地质力学工作者用新华夏系二次纵张去解释,但这些地堑大多不发育于背斜轴部。用板块构造理论的弧后盆地的模式去解释也有问题,因为中国东部晚近时期 NNE 走向的伸展性构造的普遍性和它已深入到大陆内部显然也不能都用弧后盆地的模式去解释。

新华夏系主压面具有左行压剪性质,但现在发现不少 NNE 走向的构造中,有些期次的活动具有右行张扭性质者(如郟庐断裂带、南澳断裂带等),这显然不能纳入新华夏系主压面的框架之中。

卫星遥感图象解译及笔者在黔东南及广东等地实地考察,发现有一组走向 NEE 的左行压剪性断层几乎切割了所有其他方向的构造线和白垩系—第三系,显示其形成时代很新,很可能相当于李四光所建立的华夏式构造。地质力学工作者多少年前就总结出华夏系列构造中的华夏系、中华夏系、新华夏系的构造走向随时代变新具逆时针旋转逐渐偏北的发展规律,唯独华夏式例外是一个不解之谜。

与此同时,在中国东部还发现了许多 NW 向的压性、压剪性构造^[20-22],对于这些插入中国东部和东南部的 NW 向构造也很难用太平洋板块向北,亚洲板块和中国大陆向南来解释其形成机制。还有,中国及其邻区的 SN 向构造主要发育于秦岭以南(北纬 30°以南),而且其成生活动时代很新,如滇藏三江地区的横断山脉、湘桂粤 SN 向构造带、菲律宾马尼拉海沟和吕宋群岛。为什么在秦岭以北却不发育这些经向带?

所有上述这些相互矛盾的构造现象,如果用特提斯-喜马拉雅构造域和太平洋构造域与古亚洲构造域的交叉复合来解释,许多问题似可迎刃而解。

由于古亚洲洋(西伯利亚安加拉古陆与华北地块之间古生代期间的大洋,又称蒙古洋)和古特提斯 EW 向海脊的 SN 向扩张和俯冲关闭,形成了古中国大陆以 EW 向构造为骨架的古

亚洲构造格局。

从早中生代开始的库拉板块向 NNW 方向的洋脊扩张和斜向俯冲,开始了太平洋构造域的活动。在古太平洋向北,中国大陆向南(据古地磁资料,中国大陆在中生代时也向北漂移,但漂移速度相对于太平洋的向北扩张较慢。前者为 2—4cm/a,后者据磁条带换算可达 4—8cm/a,因而大陆相对向南运动)反时针扭动过程中,形成了华夏方向(华夏系、中华夏系和新华夏系)构造。45Ma 以来,太平洋-菲律宾板块运动方向从 NNW 向转成 NWW 向,从而在整个东亚强化了区域性的 NWW-SEE 的挤压应力场,出现了 NNE 走向的晚期新华夏系。

伴随中特提斯的打开和关闭,来自冈瓦纳的冈底斯地块拼贴于古中国大陆之南缘而成为异地体;渐新世以来,印度板块与欧亚大陆会聚。据印度洋磁条带宽度换算,自始新世以来,印度板块向 NNE 方向漂移达 2100km,三角形的印度板块的北底边与欧亚板块拼贴,其北东角嵌入大陆内部。印度板块与欧亚板块的碰撞拼贴产生巨大构造效应:平行 NNE-SSW 挤压应力方向形成一系列 NNE 走向的张性裂谷盆地,其影响范围远至贝加尔裂谷、汾渭地堑以及中国东部一系列陆缘裂谷盆地(下辽河、渤海盆地、东海盆地等),以及 NEE 左行剪切断裂(如阿尔金大断裂)和 NWW-NW 向右行剪切断裂(如红河大断裂)。它们复合在同方向,但不同力学性质的太平洋构造域的构造成分之上。Tapponnier^[23]著名的模拟实验揭示了由于印度板块的向 NNE 方向的挤入而导致亚洲东部和东南部滑移场和挤出构造的形成,与我们在区域上的观察与综合分析大体相符。由此可见,NEE 向的左行压剪性构造(华夏式构造)并不是太平洋构造域的构造成分,和太平洋板块与亚洲大陆板块的相互作用无关,而是喜马拉雅构造域的成分,其成因与印度板块的碰撞有关,而插入中国东部的 NW 向压性、压剪性构造不是新华夏系的配套构造而是特提斯-喜马拉雅构造域的构造成分(图 3)。

印度板块的大幅度向北漂移和嵌入亚洲大陆,不仅引起大规模的板内碰撞效应,使太平洋构造域复合叠加上喜马拉雅构造域的成分,而且首先改造了原来的 EW 走向的特提斯构造带,使它发生大的扭曲而成为巨型反 S 形构造^[24],由于旋扭作用而形成李四光所厘定的巨型青藏滇缅印尼歹字型构造。近年来,在青藏三江地区一系列大型弧形右行走滑断裂叠加复合在近 EW 向的逆掩推覆构造之上的厘定,进一步证实这一巨型旋扭构造和特提斯构造复合构造体系的存在(图 3)。

当印度-澳大利亚板块向北漂移时,由于 EW 向的洋脊扩张速度不同,沿 SN 向转换断层,印度板块与澳大利亚板块分离。不仅如此,东部的太平洋-菲律宾板块也被一系列近 SN 向的转换断层所分割。这些转换断层是在 45Ma 以后,随着太平洋-菲律宾板块的转向运动(从 NNW 向转成 NWW 向)而发展成为岛弧海沟带(自东向西依次为伊豆-小笠原-马里亚纳海沟、帛硫海沟和马尼拉海沟)。显然,当太平洋-菲律宾板块向 NWW 推挤的时候,牵就利用了那些原来近 SN 向的构造而使其力学性质转变为压性结构面。在它的西面受到华南大陆和印度板块的阻挡,这就在原来 SN 向的张性构造带(如攀西裂谷带)或隆起带上(如广西、粤北山字型的脊柱上)复合叠加上 SN 向的挤压构造带。这也许就是在华南北纬 30°以南发育 SN 向构造带和它们在晚近时期具有强烈活动性的主要原因吧。从这个意义上讲,这些区域性的 SN 向构造带不属于全球构造体系而是区域构造体系,它属于太平洋构造域的成分(图 3)。

以上对复合构造域的分析还只是限于平面上的分析,单是平面分析还不能解释其他一些构造现象。比如亚洲东部新生代 NNE 向的拉张裂谷盆地作为一种印度板块的碰撞效应,为什么在近印度板块的地方并不发育,而远离印度板块的亚洲东北部和东南部反而发育?而且越近西太平洋裂陷作用越深,乃至出现有洋壳的边缘海(如日本海和南中国海)。为了解释这一现

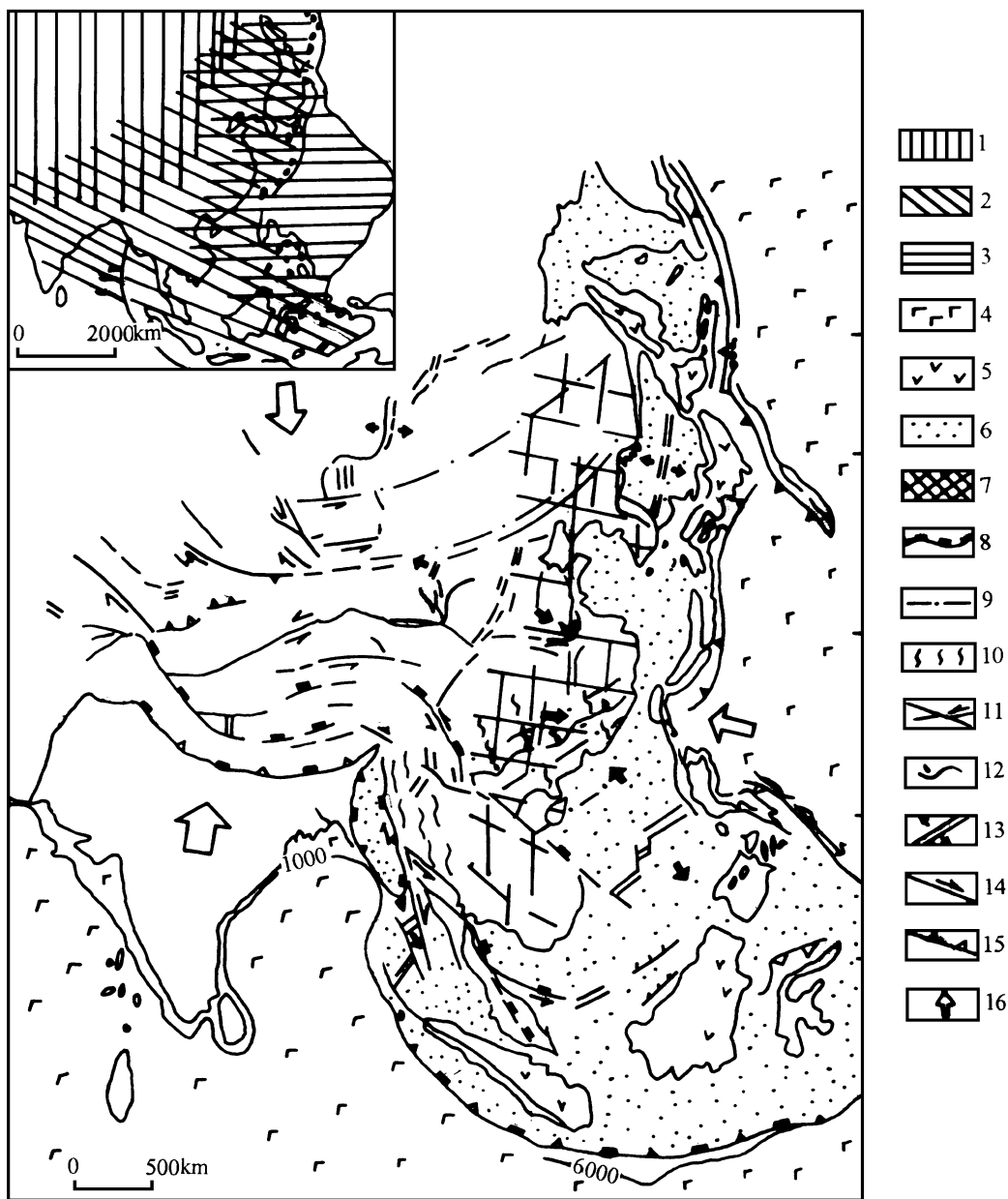


图 3 亚洲东部复合构造域与复合构造型式展布示意图

(据 Tapponnier修改, 1986)

Fig. 3 Sketch of compounding tectonic domains and compounding tectonic types in East Asia

1. 古亚洲构造域; 2. 喜马拉雅-特提斯构造域; 3. 库拉-太平洋构造域; 4. 大洋分布区; 5. 大陆边缘弧(岛弧)复合构造带; 6. 大陆边缘陆表海和边缘海(裂谷盆地)复合构造带; 7. 大陆边缘多字型复合构造带; 8. 歹字型复合构造带;
9. EW向复合构造带; 10. SN向复合构造带; 11. X型复合构造带; 12. 山字型复合构造带; 13. 伸展构造和扩张轴;
14. 走滑断层; 15. 俯冲带; 16. 板块运动方向

象,笔者试图用由印度板块的推挤所引发的深部地幔流向东和东南方向蠕散来解释^[25]。由于

印度板块、太平洋-菲律宾板块与亚洲大陆的会聚,而使深部地幔物质在亚洲东部会聚隆起,因而诱发表层的伸展构造。它们在空间上远离印度板块,在时间上滞后。但是,上述分析仍然是一种平面上的复合构造分析,亚洲东部可能还存在垂向上的构造复合。中国东部中生代燕山期造山作用曾使陆壳加厚,近年的研究表明大陆地质演化可能有其独立的地球动力学系统和过程^[26],其中岩石圈底层剥离 (delamination)、去根作用 (derooting) 可能在大陆岩石圈构造演化中占有重要的地位^[27]。华南在中生代早期曾形成一个有着巨厚陆壳的大陆造山带。在这个背景上,新生代陆缘扩张可能与中生代后造山的拉伸塌陷和岩石圈底层的剥离作用有关^①。也就是说,在中生代加厚的陆壳构造的背景上,由于叠加上后期上地幔的顶蚀和岩石圈的底层剥离作用,陆壳进入了造山后的拉伸减薄期,乃至在亚洲东部出现一系列陆内和陆缘裂谷盆地乃至边缘海(日本海和南海)。于是,伴随深部地幔的顶蚀、地幔的上隆,新的上地幔构造复合叠加在老的壳幔构造之上乃至深源地幔包体伴随玄武岩流上涌而“侵入”到地壳中来。华北燕辽地区、北部湾雷琼断陷和海南岛五指山的深部构造都提供了这种例证(图4)。正是这种垂向上的构造复合和板块相互作用所形成的平面构造格局,共同决定着亚洲东部的中生代复合构造的格局。

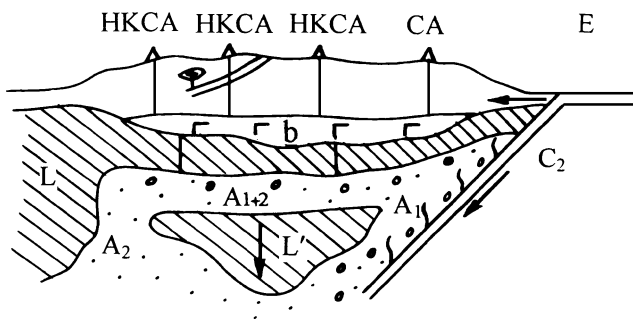


图4 华北—东北大陆岩石圈折沉示意图(据邓晋福,1996)

Fig. 4 Sketch showing sinking of continental lithosphere of the North China and the Northeast China

HKCA. 高钾钙碱系列火山岩; CA. 钙碱系列火山岩; C₂. 陆壳; b. 玄武岩质底侵的岩浆层; A₁. 与大洋俯冲有关的软流圈; A₂. 与陆内造山有关的软流圈; A₁₊₂. A₁与 A₂的混合体; L. 岩石圈; L'. 折沉的岩石圈

以上重点讨论了由于多个板块的相互作用所产生的巨型复合构造域和区域构造体系在时空上的复合作用,但尚未涉及全球构造体系和星球级规模的构造复合。近期研究表明,具有全球规模的横贯东西的特提斯构造带的开合随时间变新而不断向南迁移,正是这些星球级的构造体系和全球构造应力场控制着区域板块的展布和运动。这些星球级的构造体系的形成与发展可能与地球自转速率的变化,地球的不对称、不均匀膨胀和收缩有关。而随着地轴倾角的变化,地轴的摆动,不同时期地球的不对称、不均匀膨胀和收缩等的历史性变化,不同时期地球的经纬坐标系和经纬度的间距位置并非没有变动,再加上在具体地区上由于地块的旋转所发生的构造形迹展布方位的变更,使得不同历史时期全球构造体系的地理坐标(经向、纬向、极区的极坐标)及其构造带的空间展布不可能是完全重接的,而呈现出某种复杂的斜接复合关系。解

^① 邹和平. 陆缘扩张型地洼盆地系构造—岩浆作用及深部过程研究. 中国科学院长沙大地构造研究所博士论文, 1994

析这种全球构造体系的复合关系,对全球范围内不同历史时期内古大陆、古大洋和古板块的再造,应先进行一个一个区域的构造复合解析,顺序渐进地再进入全球构造复合的解析,相信可以逐步解决全球构造体系历史演化的重建问题。

2 构造复合的若干规律

构造的复合并非杂乱无章而是有规律可寻的,就目前认识到的,初步归纳如下:

(1)构造运动的发展导致地质构造不断的形成与发展,导致多期复合构造的形成和发展。构造运动是连续不断地进行的,但构造运动又是由渐进到激进而呈现出阶段性。这种突变性通常被称为一场大规模的运动。伴随每一场大规模的构造运动,必然发生物质组分和结构的调整,必然产生组分(建造)和结构(形变)两方面的复合,铸成复合的地质构造。这样,前一场运动过程中形成的建造和形迹便会或迟或早,或多或少卷入到下一场运动中来,成为新的地质构造的材料。但是,也不是每一个老构造在下一场运动中都必定要重新活动和遭受改造。例如某些稳定的地盾区、古陆台区,特别是它的中心部位,自从它稳定下来以后,基本上没有或很少活动过,因而并没有叠加上各期的构造。因此,从整体而言,伴随多期构造活动,构造复合具有普遍性;但就每一个具体构造而言,又有它的特殊性,即不一定在每一个地区每一场运动都会把老构造卷入而形成复合构造。

(2)不同方式的运动导致不同方式的复合。例如垂直运动和水平运动,挤压运动和伸展运动所形成的复合构造不同,不同等级和不同规模的运动导致不同等级和不同规模的构造复合。例如,由于联合古陆的解体和新大洋的形成,导致海陆的重新改组,导致大陆的漂移和大洋岩石圈的俯冲、地体的拼贴、碰撞,然后又有新大陆的增生。在整个构造旋回中,在新旧大陆的改组中实现着新老建造和形迹的复合。而在每一个新的地质构造的发生发展过程中,由于边界条件的改变而发生不同序次的运动,由不同序次的运动产生不同序次、不同等级的构造复合。在这中间,区域性乃至全球性构造应力场的改变是决定性的一环。只有变革的运动才会导致构造格局的变革,一连串的运动导致一连串的构造复合。

(3)构造复合的形成与发展既有其继承性的一面,又有其新生性的一面。继承性既表现在前一期建造转化为后一期的建造组成的材料上,又表现在前一期的构造成分归并入后期构造中成为后期构造的成分。但是,前期构造转入后期构造,除少数基本不改变其原来的状态外,为了适应新的应力场的需要,多数在它的形态、力学性质、组合关系、变形行为等方面发生不同程度的改变。当这种改变达到某种质的变化,便产生新生的构造。例如一个古老地块的开裂,常常多少利用和继承了原来已存在于地块中的老断裂;当它开裂后成为孤立地块单独漂移时,虽然它的构造状况可能还会有某种变化,但总的说来处于相对静止的状况。当它和另一地块发生对接碰撞时,由于新的边界条件和新的应力场的存在产生了全新的碰撞构造。虽然这些碰撞构造总是或多或少利用了地块中原有的老构造,但也产生了一系列新生的构造。

(4)构造复合过程中,既可产生工作老化,也可产生应变软化,一切取决于变形环境及其相应的岩石力学性质。众所周知,岩块遭受构造变形以后常常会降低它的塑性变形性能而变得僵硬起来,称之为工作老化。这种岩石力学性质的改变使得以后复合上去的构造具有脆性,但是,这只是问题的一个方面。因为岩石的力学性质是变形因素和变形环境(温度、压力、溶液和时间等)的函数。在自然界,与在实验室中的工程材料不同,本无所谓绝对的岩石强度,它是随着上述因素的变化而变化的。

因此,在构造复合过程中可发生工作老化,也可发生应变软化。近20年来对地盾区结晶基底中的韧性剪切带、俯冲带和断裂变质带进行了深入的研究。大量的研究成果揭示出伴随构造位的加深,原来刚性很大的岩块在高温高压和长时间的地应力作用下,其塑性加大,发生韧性变形。在这些构造部位,应变软化是屡见不鲜的。这种复合构造常常由于强烈的构造置换而难于辩认其早期构造,但是通过仔细寻找残留构造也不是完全不能认识,大量显微构造研究可以发现先存构造发生了不同程度的应变软化。

(5)在多期构造复合中,复合构造的基本面貌是由最强烈的那次变形事件决定的。例如青藏三江地区及其邻区,历史上有过多次的开合并曾是横亘东西的特提斯构造带的组成部分,但是给人们印象最强烈、最醒目的是青藏滇缅印尼巨型反S型构造(歹字型旋扭构造)和构成世界屋脊的青藏隆起。这是因为渐新世以来印度板块与欧亚板块间的碰撞是最强烈的造山运动,它改造了以往的建造与形迹并把它们卷入和归并到统一的新生的构造体系之中。

(6)在构造复合过程中,改造控制建造,建造影响改造,表现在前期或同期运动中的形变常控制着同步形成的建造。例如某些沉积相带、岩浆岩带、变质带受复合断裂构造的控制,某些重熔岩浆带、变质带的形成与大型复合断裂的活动有关,而反过来建造又影响形变发生的部位和形态特征。例如不整合面、层面、侵入接触面常是发生构造复合的部位,许多复合构造的形态常常受组成地块建造的展布所制约,如许多不协调褶皱是随地层的不同岩性组合而变化;在不同的建造部位,其复合构造的形态是不尽相同的。大量的地质事实表明,构造复合部位经常是最有利的成矿部位,许多矿床受复合构造控制,有用矿产常常富集于成矿作用的晚期阶段。所有这些都说明在多期构造复合的时空格架中,对有用矿产的形成与展布具有控制意义。

综上所述,构造复合的研究具有重大理论意义和生产实践意义,对于构造复合的进一步研究必将对历史构造学和应用地质学的发展作出贡献。

参 考 文 献

- 1 李四光.地质力学的基础与方法.中华书局,1945
- 2 李四光.旋卷构造及其他有关中国西北部大地构造体系复合问题.北京:科学出版社,1955
- 3 李四光.地质力学概论.北京:科学出版社,1973
- 4 李东旭.构造复合系统分析.地球科学,1983,8(3)
- 5 李东旭.北京西山地质构造系统分析.北京:地质出版社,1996
- 6 谭忠福等.构造体系的复合改造作用及其对隐伏矿床的预测意义.国际地质交流学术论文集.北京:地质出版社,1980
- 7 李四光.关于改进构造地质工作的几点意见.地质论评,1965,23(4)
- 8 杨开庆,董树文.论地壳物质的构造动力调整作用.中国地质科学院地质力学研究所所刊,第7号,1986
- 9 Biot M A. Theory of Folding of Stratified Viscoelastic Media and its Implication in Tectonics and Orogenesis. Geol Soc Am Bull, 1961, 72 1595- 1620
- 10 陈江峰.中国东南地区中生代岩浆岩的 $Sr-Nd$ 同位素组成及其大地构造意义.中国东南海陆岩石圈结构与演化研究.北京:中国科技出版社,1992. 119- 129
- 11 Jahn B M, Martineau F, Peucat J J, et al. Geochronology of the Tananao, Schist Complex, Taiwan, and its Regional Tectonic Significance. Tectonophysics 1986, 125 103- 124
- 12 莫柱孙.南岭花岗岩地质学.北京:地质出版社,1980. 4
- 13 陈国达.成矿构造研究法.北京:地质出版社,1989. 332
- 14 马托埃.地壳变形.北京:地质出版社,1984. 249
- 15 曾广策.海南岛北部第四纪玄武岩岩石学.地球科学,1984. (1)
- 16 董树文.长江中下游地壳物质的构造动力调整作用.地质学报,1989, 63(2)

- 17 陈家义. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 1994. 232
- 18 丘元禧, 夏亮辉. 中国东部及邻区中生代大陆边缘性质的讨论. 中国区域地质, 1994, 12(3): 258- 267
- 19 黄汲清, 任纪舜. 中国大地构造及其演化. 北京: 科学出版社, 1980. 111- 114
- 20 邵云惠. 试论我国东部的北西向构造及其理论意义. 中国地质科学院 562队分刊, 第 1号, 1980 19- 27
- 21 丘元禧. 广东的北西向构造. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 第 3号, 1982 179
- 22 万天丰, 朱鸿. 中国及邻区白垩纪— 始新世构造应力场. 中国及邻区构造古地理和生物古地理. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. 230- 244
- 23 塔波尼, 等. 印度和亚洲之间的碰撞机制. 见: M. P考沃德和 A. C里斯编. 碰撞构造 (中译本). 1986. 65
- 24 Qiu Yuanxi, Xia Lianghai, Yang Shukang. The Contorted Sutured Belt of East Tethys. The Proceeding of Third International symposium of IGCP 321(Godwana Dispersion and Asian Accretion), 1993. 24- 27, Kuala M alaysia
- 25 Qiu Yuanxi, et al. Mesozoic Taphrogeny and Dispersion in the Continental Margin of South-East China and Adjacent Seas. Tectonophysics, 1991, 197(2- 4): 257- 271
- 26 Kayser K W. Delamination and Elimination Magmatism. Tectonophysics, 1993, 219 177- 189
- 27 邓晋福, 等. 中国大陆根 柱构造—— 大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1996

ON COMPOUNDING TECTONICS

Qiu Yuanxi

(Department of Earth Sciences, Zhongshan University)

Abstract Tectonic compounding common in the earth crust and lithosphere is the records of repeated tectonic movements. There is a great variety of tectonic compounding the basic types of which include the compounding of various structural features, and that between structural features and geological formations as well as that of various geological formations. The compounding structures may be either autochthonous or allochthonous; they may also comprise structural features caused by the same manner of tectonic movements or by different manner of tectonic movements; and finally, there may be compounding of structures of all sizes ranging from microscopic ones up to tectonic belts or even tectonic domains.

The author emphasizes the concepts of compounding tectonic domains and regional tectonic systems. These concepts have been used to explain the mechanism of the formation of regional tectonic systems in China and adjacent areas.

Key words compounding tectonics, compounding tectonic domain, regional tectonic system

作者简介

丘元禧, 男, 教授. 1952年毕业于清华大学地质系, 长期从事区域构造、大地构造方面的研究. 通讯地址: 广东省广州市新港西路 135号中山大学地球科学系. 邮政编码: 510275