

怎么了,构造地质学*

万天丰

教授,中国地质大学,北京 100083

* 国家自然科学基金项目(40674046)

关键词 构造地质学 大地构造学 流变学 机制

构造地质学是地质学中的一个重要分支学科,近来显得不大景气。探究其原因,笔者认为:此学科在学术思想、研究方法、学术气氛和适应社会需求等方面存在一些问题,值得探讨。笔者拟在构造变形的年代学、变形机制,大地构造演化问题,流变学与流体的作用问题,过多的术语创新问题,以及大力发展应用构造地质学推进基础理论研究等方面,抛砖引玉,进行讨论。

中国的构造地质学到底发展到了什么地步?到底是进步很大,还是成绩不大?停滞不前,面临危机?构造地质学是不是一门现在用处不太大的“夕阳科学”呢?这是很多地球科学家都很关心、很担忧,并且也是讨论得很热烈的问题^[1-10]。

构造地质学在地质学科中历来占有重要的地位。在20世纪,我国曾经兴起过两次构造地质学研究的高潮:60年代以李四光,黄汲清,张文佑,王鸿祯,马杏垣,陈国达,张伯声为代表,中国各大地构造学派纷纷亮相,呈现了一派百花齐放、百家争鸣的繁荣景象;70年代晚期到80年代板块构造学说引进国内,《活动论》大地构造学成为构造地质研究的新思维,定量化的构造应变分析使人耳目一新,使构造地质学成为许多年轻学子向往和追求的主要目标。构造地质学的研究,历来也是所有成年和老年地质学家最后都十分重视的课题。许多著名地质学家到晚年几乎都在构造地质问题上发表了独特的、具有战略意义的见解,引起普遍的关注,或者干脆就转变成大地构造学家,许多著名的地质学家都有此类经历,如李四光,黄汲清,王鸿祯等。

然而,从20世纪90年代后期开始,我国构造地质学的进展表现出了疲软和进展不顺的迹象。问题到底出在哪里,逐渐成为构造地质学界所共同关注的课题。

本文拟对于我国构造地质学研究中比较重要的几个问题,提出一些看法,以便抛砖引玉,进行讨论:①构造变形年代学与变形机制;②区域大地构造的演化;③地质构造的流变学与流体的作用;④少做术语创新问题;⑤发展应用构造地质学,推进基础研究。

1 构造变形年代学与变形机制

在构造地质学研究中,构造变形年代的确定和变形机制的研究历来是一个难题。不过,正如王鸿祯院士曾多次指出的那样:地质学从本质上来讲,是具有历史科学的特征。的确如此,地质思维的核心就是任何地质作用或圈层的相互作用都有一个历史演化过程。近百年来,地质科学的发展正好证实了这一思维方法的正确。现在几乎没有哪一门地质学的分支学科可以不研究历史演化的,无论是古生物、矿物、沉积地层、岩浆岩、变质岩,还是矿床,都已经很重视年代学与形成机制的研究。但是,遗憾的是,在构造地质界内却经常可以见到不研究构造变形历史演化和变形机制的现象,而且这样做还被默认,并且还属于符合“规范”要求的,有时候还说这是不同学派的不同观点而已。

在区域地质调查和构造研究中,构造变形的形成年代通常是采用划分构造层、利用参与和不参与构造变形的地层年代以及角度不整合面等方法来大致确定褶皱与断层形成的地质年代,利用构造变形之间的切错、叠加、置换、继承和新生等关系来判断相对的前后次序,还可以用充填到断层带内的侵入岩来测年^[11],当然也可以通过研究区域构造应力场与构造变形运动模式的匹配关系来确定之^[12]。在我国区域地质调查中,至今对于断层研究的要求还是不高的。在地质图上,通常只要标明两盘地层的时代,说清两盘何者在相对上升或下降,或水平运动;弄清断层面产状,指出哪一盘是上盘,哪一盘是下盘,确定断层的一次主要活动性质就可以了。这种初步的、宏观的判断断层的主要活动性质,抓

住了断层的主要运移特征,当然是必要的。这种研究方法对于只发生过一次断层活动的情况,还比较好说。然而,世界和中国的很多断层都是经历过多次活动的,在各个地段的运动模式都不相同,并且各次断裂活动的方式、方向也常常是各不相同的。仅仅对一次断裂活动进行研究就显得很不够,完全没有断裂构造变形史或年代学的研究,更谈不上运动学与动力学的深入研究。

可以说构造变形史和变形机制的研究是当前地质研究中的重要薄弱环节,是整个地质研究中水平最低的部分。原因是构造变形史和变形机制的研究难度很大,在野外,越是重要的、规模较大的断层,通常都是被覆盖的,没有露头或露头很差。在现在的区域地质调查规范和其他地质研究中,对于构造研究部分,通常是只要求弄清野外的基本地质特征,不必开挖人工露头,不要求做更精细的野外与室内的构造研究,更不给更多的测试经费。研究断层形成时期本来就已经很困难了,而较精确地研究叠加褶皱的形成时期其难度可能更大一些。这样就使一些构造变形史和变形机制的分析,猜想的成分远多于实际证据。这就是近50年来构造地质学研究停滞不前的重要原因之一,可以说,构造年代学和变形机制研究已经成为当前构造地质学进展中的主要障碍,当然也是构造地质学最关键的前沿性课题。这就难怪国际岩石圈委员会前任主席Burke K十几年前在中国地质大学的一次构造学术研讨会上,要大声疾呼:“Time, Time and Time!”。从时间演化的观点来研究构造变形及其机制,已经成为当务之急。

为提高中国区域地质调查中构造变形研究,这就应该进行构造变形机制与年代学的研究。这就是说,不仅应该确定断层的一次主要的活动性质,而且还要研究断裂的多次活动,弄清每次活动的位移方向(含倾向和倾角),沿断层面的水平与垂直位移量(或断距),断裂附近的拉张量或缩短量,断层附近的构造应力场特征,也即主应力方向的产状和大小(通常用差应力值来表示),为此必须在关键地段开挖人工露头,编制大比例尺的平、剖面地质图和素描图(只做剖面研究经常是不能解决问题的),以弄清各种构造变形在三度空间中的关系,这是野外构造地质学研究的传统基本方法。近年内,国内已经有学者提出在区调中加强多次活动断层的调查及图面表达方式的建议^[13]。对于褶皱,也应该通过构造层的划分,解析出每个构造时期特征性的褶皱样式、规模和分布,估算其缩短量、确定其主应力作用方向与大小。如果条件许可,还应进行应变速率的估算。在构造变形形态学、运动学和动力学研究中,还必须关注构造变形的温度,围压,动力变质矿物和流体介质的成份、含量、

特性,显微与超显微构造的特征,在地质资料充足的条件下选择真正同构造期的矿物,进行同位素测年。这样才可能较好地弄清各个构造时期的变形机制。

看来,在我国区域地质调查中,构造地质研究的规范和要求,应该重新修订,以大幅度地提高构造研究的精度。如果没有这方面的提高,中国构造地质学研究水平将继续长期处于落后状态。应该说,近十年来,中国区域地质调查的研究水平是有了长足进步的,野外制图和成图技术焕然一新,成绩是巨大的,但是不能不指出:构造地质研究水平和质量至今却并没有显著的提高,仍处于滞后状态。

总之,就中国构造地质与大地构造学的研究现状来看,当务之急显然是大力加强全国构造变形的形态学、运动学、动力学和年代学研究,而不能一步登天似的、直接研究“大陆动力学”,没有前面的基础,大陆动力学是很难发展起来的。

2 区域大地构造的演化

在中国区域大地构造研究中,问题最大的可能要算“只要一张大地构造图”的观点^[14-16]。一说需要大地构造图,从科研政策制定者、项目执行者到读者,比较普遍的、习惯性的要求就是“给我一张大地构造图”,以便一目了然地知道区域大地构造的背景面貌。许多地质论文,在文章一开头,除了说明研究区的地理位置之外,总要写上研究区的大地构造位置,而不管这个大地构造单元是什么时候形成的,与自己具体研究内容到底有没有关系,似乎这已经成为一种“套话”。之所以出现这种现象,当然有其可以理解的原因。在槽台假说盛行、大地构造研究还不够精细的时期,这种思维方法影响极大,而且似乎也完全可以编制出一张大地构造图来满足多方面地需求^[14-16]。应该说许多地质学家,从接受专业教育开始,就一直受此种思维方法的影响,因而印象深刻。

但是,要在一张大地构造单位划分图上,把40多年来的全部构造演化特征都反映出来,实际上是不可能做到的。因而通常的办法是将其主要特征表现出来,而忽略所谓的次要特征。可是,恰恰是这些“次要”的、局部性的特征,经常控制了区域构造演化的细节、矿床的形成、环境的变迁以及造成地质灾害,其影响实在是忽略不得的。

自从板块构造和活动论大地构造思想兴起以来,上述“只要一张大地构造图”的观点就备受争议。首先从区域古地理图编制开始突破,几乎所有地质学家都毫无

争议的、一致同意编制一系列古地理图,用以表现不同时期古地理环境的差异,而且为了体现在一张图件上尽可能地表现古地理的“等时性”,每张图件所代表的时限越短越好,从代、纪、世到期。原因自然很清楚,随着研究的深入,不同时期古地理特征的差异,越来越可以辨别。王鸿祯先生等^[17]在编制《中国古地理图集》时,不仅以“世”为单位,系统编制了中国古地理图,而且还很有远见地注意到大地构造与古地理的关系,在图集中特意增加一套以代或亚代为时限的大地构造图件。

不过,对于同样存在着随历史不断演化的大地构造问题,不少学者却仍旧满足于编制一张大地构造图,总想用一张图件来把 40 多亿年来构造单元的划分及其变化都表现出来。当然,如果在一个地区 40 多亿年来构造单元的属性确实基本不变、相对固定,用一张图件来表示,其实倒也并没有什么问题。但是,偏偏在中国大陆,出现稳定区与活动区多次交替、错综复杂的情况,这时候想用一张图件来表示 40 多亿年来不断变化的构造单元划分方案,就显得十分困难、矛盾重重。

在大地构造单元划分问题上,其实国外也有不少学者碰了钉子,他们的经验教训是值得汲取的。Marshak S, Pluijm Van der 和 Hamburger M 等^[18]1997 年在美国组织了陆内构造专题研讨会,提出了陆壳新的分类方案,他们也是想用适当改进陆壳分类的方法,“代”或“宙”为时间单位来划分陆壳,来“综合”描述各个地区大地构造的特性,并进而编制大陆地区的大地构造图。在他们的方案中,对于后期只经历过一次构造-热事件或者以一次构造-热事件为主的陆壳尚可适用。如果,某部分陆壳明显地经历过两次以上的构造-热事件,就不在讨论之列。此种情况,在中国大陆地壳却是常见的现象。所以,可以说,他们不是真正严格地按照构造演化史来进行陆壳分类的,只是做了一次不成功的尝试,在构造地质学界的影响甚微。

最近我国有部分学者提出要划分“大地构造相”,如同沉积岩相、变质相一样来研究大地构造。这里面存在的主要问题在于,某一“大地构造相”要不要按构造阶段分别划分?如果还是只编一张大地构造图又如何来表示不同构造阶段的、不同“大地构造相”?定性的、叠合了很长时期的“大地构造相”,到底代表什么,有多少科学价值,问题实在太大。历史经验早已告诉我们,构造地质学是不能采用像一百多年前古生物学、矿物学、岩石学、矿床学的鉴定、分类那样一套方法来研究。现在连那些学科都已经不仅仅局限于过去的分类、鉴定那一套研究方法了,难道我们构造地质学还要步其后尘吗?

总之,想要采用一个简明的分类方案来描述、划分

经历过漫长构造演化历史的、错综复杂的陆壳,是十分困难的。幸好从来没有人要求对于一个地区进行“综合性”的、叠置式的古地理区划类型图。否则,我们真不知道如何去编制这种重叠了几十亿年变化的古地理区划图。

笔者认为,对于陆壳进行缺乏演化观念的构造区划分类,可能是大地构造学思维方法上的一种误区,即忽略或轻视了陆壳某一部分在地质演化历史中的巨大差异和多次活动的事实,也许这是缺乏运动变化的思想在起作用的结果。看来,还是不做这种“综合性”的、缺乏时间概念的陆壳构造类型或“大地构造相”划分为好。在讨论陆壳大地构造区划时,必须明确地限定其适用的时间。这样对于大地构造学的发展才是比较有利的,而且也可能是真正有用处的。没有时间概念或者缺乏精确时间概念的任何大地构造区划,对于大地构造问题的解决,帮助不大。受到编制一张大地构造单元划分图的思想影响,不少矿产分布图、成矿规律图和成矿预测图经常用一张大地构造图或地质图作为底图,把各个时期形成的矿床资料放在上面。由于构造资料缺乏时间概念,想利用一张大地构造图作为背景来探讨不同时期的成矿规律就完全不具备条件,因而使成矿规律图和预测图的价值大为降低,不少成矿规律的分析就与实际构造背景脱节,进行了一些不能令人信服的猜想。

应该说,现在随着全国中比例尺区域地质调查工作的完成,极大地丰富了地质构造资料,认真地编制一系列精度较高的中国大地构造图的艰巨任务已经可以提到日程上来。这是大幅度提高中国大地构造研究水平的一个重大课题。如能集思广益,搞好此课题的研究,必定能有力地推动我国矿产资源和能源勘探,环境演化和灾害预防等工作,尤其对于深部成矿预测和隐伏矿床的找寻将可能起到重要的、战略性的指导作用。

另外,中国大陆的构造地质学家恐怕应该不仅研究中国大陆构造问题,而且也应该抽出相当大的力量来研究全球大陆与洋底的构造问题,否则又如何能为全球构造复杂系统做出一份贡献来呢?更不用说,当前我国正在努力地到全球去找寻矿产资源和能源,站在全球的角度研究环境的变化和减轻灾害,这些工作已经随着全球经济一体化蓬勃地开展着。有关决策部门只有加大对于中国构造地质学家到国外去进行较系统研究的资助,而不仅仅是派几个留学生出国进修而已,才有可能实现这个目标。

3 地质构造的流变学与流体的作用

地质构造的流变学研究,这是半个多世纪以来大家

都十分关注和重视的。近年来由于美国地质学家在白皮书上的呼吁,得到我国许多地质学家的响应,构造流变学似乎成为一项时髦的、关键的课题,甚至认为“这是认识大陆构造和超越板块构造的最佳途径”。事实上,上述认识与实际情况恐怕还有相当大的差距,当然主张加强流变学研究是必要的,也是正确的。尽管大家都赞成野外的构造变形都是流变过程,流变学研究在实验室内^[6]和解译岩石圈地球物理数据^[19]时,近些年来进展相当显著。但是长期以来,国内外用地质方法来研究流变学的却一直不多,进展也不大。

至今,在野外地质构造研究中能够获得的流变学参数,比较可靠的,只有流应力(即构造应力)的大小,它们是在采集野外石英或橄榄石等矿物,通过透射电子显微镜下进行超显微构造(位错、动力重结晶大小和亚颗粒大小)观测,对比高温高压岩石力学实验获得的经验公式,来估算构造应力大小的。曾经以为只有当岩石处于流变条件下,才可获得可靠的流应力大小,也即构造应力值^[20,21]。后来许多实验证明,即使岩石处在脆-韧性过渡状态时,也可获得稳定的晶内位错构造^[22-24],并据此半定量地估算构造应力的大小,取得了较好的地质效果^[25]。至于,应变速率(ϵ)、应力指数(n)、晶格蠕变活化能(Q)、粘滞系数(η)等反映流变作用的其他参数,尽管在某些条件下可以进行概略的估算,但准确度不高。总之,现在主要的难题在于如何用地质方法较准确地(定量化)估算地质构造作用的流变程度和流变作用的时间,或者说是应变速率。此问题恐怕也要通过切实加强室内实验、测试与野外研究的密切结合来解决之。

与流变学问题紧密相关的是流体作用的课题,对此也是争议不大,但实际进步很小。几乎所有地质学家都认为在固体地球内不同深度存在着含量不等、特征不同的流体,在离地表较近的部位肯定是液体,而在深处、即超过液体的临界温度和压力后,在地幔或地核内则都是超临界流体。可以肯定地说,它们对于构造变形起到了非常巨大的作用。可是流体作用到底大到什么程度,如何度量其作用,它是通过何种机制来影响构造变形的,则至今基本上仍处于无能为力的状态。

例如,对于形成滑移数十到上百千米的逆掩断层构造来说(图1),运用现有的力学知识是难以解释的。现在大家基本上都同意用 Hubbert 和格雷泰纳^[26]的岩块内流体的异常孔隙压力使上盘地块几乎处于“漂浮”的状态下,同时长期受到侧向的板块挤压作用来解释其形成机制^[27]。但是,在逆掩断层形成时期,流体的数量到底有多少,流体的异常孔隙压力应如何测定,断层带内流体的渗透率是多少,其大小又如何去测定等难题,则

至今并未解决。因而,50年前 Hubbert 等人关于流体异常孔隙压力促成推覆构造的想法,至今仍处在一种假说状态。

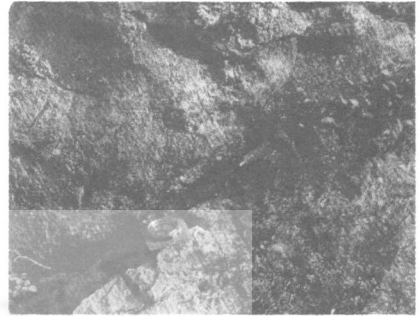


图1 巢湖南部山棚湾逆掩断层

照片中罗盘与锤子放置处为逆掩断层面,宽度不及10 cm。其左上侧为原来曾埋深达10 km左右的、新元古代灯影组含燧石白云岩(沉积于6-7亿年以前),其右下侧为三叠纪马鞍山组石灰岩(沉积于2亿年以前)。为什么古老的地层会“盖到”年轻的地层上去了呢?通常认为,这是大型逆掩断层以相当低的角度从深部将较老岩层沿断层面朝斜上方推移过来的结果,斜向推移的距离大约在20-30 km以上。如果两种干的岩石要发生如此巨大的位移,其摩擦力将无比巨大,摩擦生热也会很多。然而,断层面的绿泥石所反映的形成温度不及200°C(仅相当于5-6 km深处的静态温度)。因而,通常推断在两盘岩石内可能是富含水分的,流体高空隙压力使上盘岩石几乎“浮”了起来,两盘岩石之间摩擦力并不大,从而才缓慢地使逆掩断层顺利地形成。

在地球内部圈层互相作用中,流体的作用十分巨大,不仅对于浅层和深层的构造变形、圈层间的解耦-滑脱作用产生重大的影响,而且对于地下水的运移和储集、各类矿床的形成都起到很重要的作用。近年来,关注流体与构造裂隙的关系,已经得到比较普遍的重视,无论在基岩地下水的运移和储集、油气藏勘探和开发、煤层气和矿井内瓦斯的突发以及金属矿床的找寻中都已经做了大量的尝试,取得了许多可喜的成果,然而真正能在流体与构造断裂研究中进行定量化的测试、估算,获得比较准确的参数,进行与实际情况比较接近的数值模拟,并进而能有效地取得成矿作用深部和外围预测的研究成果还不是很多,急需从定性研究提升到定量化研究的水平。对于流体作用来说,有一些定量化的参数是我们在研究中所特别关注的,例如流体总量、流体的物理化学性质、流体运移速度、断裂带内的渗透率、流体对矿床和构造变形的影响程度等,它们均亟待从野外获得较为真实、可靠的数据,然后才可进行综合分析和

模拟计算。

根据近年来构造地质学研究的需要,我们可以清楚地看出,现有的固体力学、材料力学和断裂力学的理论和知识是完全不能满足发展构造地质学的需求的。那么我们需要什么样的力学呢?在构造地质学中,需要极低应变速率的流变力学,不是现在所能到达的 $10^{-6}/s$ — $10^{-7}/s$ 的应变速率,而是与地质实际情况比较接近的 $10^{-15}/s$ — $10^{-17}/s$ 。需要在各种不同温度、压力(从常温、常压到接近地核的温、压)条件下进行流变试验。不是只能破裂一次的断裂力学,而需要能够经历多次、多种方式作用的断裂力学。不是只研究干的固体岩石力学,而是需要在具有孔隙和裂隙的岩石内,充满不同种类、不同温度和不同压力的流体(从较低温度液体到超临界流体)作用的力学理论。总之,构造地质学急需与地球实际情况比较接近的、理化条件很复杂的力学理论与知识来解决问题。近几十年来,在这方面尽管国际上和我国的学者已经取得相当大的进展,但是离开实际需求还存在着很大的差距。这可能也是阻碍构造地质学发展的一个重要的因素。

4 少做术语创新问题

在发展构造地质学的过程中,现在还有一件完全可以做到的事情,就是“多做扎实研究,少做术语创新”。回顾构造地质学的发展,应该说在学科进展过程中比较常见的问题是总有一些学者比较喜欢进行术语创新,而不是在科学研究内容与研究方法上创新。应该说术语创新,比科学内容、方法创新要容易得多。

其实,地球上各地的构造变形,没有一个是完全相同的,因而构造样式与模式的研究只可大同小异。如果要仔细分析起来,每一个构造变形都是世界上独一无二的,认识每一个构造变形都可以说是在创新,都发现了前所未有的新现象,都可以提出一个新的样式或模式。这也就是为什么构造地质学从来都不能像过去的古生物学和矿物学那样进行科、属、种的鉴定和分类。如果要对每一个构造变形都进行命名的话,就可以创造出无穷无尽的新术语,实践证明这种研究方法是不可取的。关键问题是要扎实地研究构造变形的形态学、运动学、动力学和年代学,而不在于用一个什么响亮地术语来命名这种构造。针对构造地质界里的一些不大妥当的术语创新现象,於崇文院士曾经语重心长地对笔者说:“不要跟着去搞术语创新。新术语创造得越多,越不被大家所使用”。於老师的教导是切中时弊的。下面笔者拟冒昧地对近年来的一些较有影响的新术语进行讨论,以便

抛砖引玉。

“超越板块构造”和“后板块构造”^[2,3,5,6]这是国内近年来流传得比较广、也比较响亮的新提法和新目标。就对于板块构造学说的认识而言,新概念的提出者与大家的认识几乎一样,都是持肯定态度的。应该说,迄今还没有任何一种大地构造学理论可以比板块构造学说解释地球上更多的客观现象与事实。近半个世纪的实践证明:板块构造理论总体上是正确的。板块构造学说在中、新生代,甚至古生代以来全球板块(包括海洋与大陆板块)的划分(形态学)、不同时期存在着多种类型的不同方向的运移,各地块一直存在着不同的运移速度(运动学)等方面取得了大量的、丰富的资料和证据,这些都是国内外绝大多数地球科学家所公认的。板块构造理论所未能解决的,主要是动力学机制问题。尽管这方面已经有了许多假说,如早期的地幔对流传送带模式,地幔双层对流模式,近年来的超级地幔羽(super mantle plume),以及巨大陨石撞击诱发板块运动等假说,但是学者们基本上都认为解决上述问题的时机尚不成熟,还需要较长时间的资料积累和研究才行。因而,现在并不存在“板块构造学说已经过时了”的问题。

用“超越板块构造”和“后板块构造”的提法,容易使人误解。其实在美国 2002 年发表的白皮书中,“板块构造”这个词的前面并没有使用“post”(后)或“overstep”(超越),而是用了“beyond”。“beyond”这个前置词或副词,具有形容在空间位置上范围更大、更远,以及时间更长的含义,而不是对所表述内容的否定。所以,按照我们中文的含义,应该是对该术语在时空上的扩展和发展。事实上,从 20 世纪 60~80 年代板块构造学说已经取得的成就来看,空间上主要局限于研究大洋底部的板块构造,时间上主要限于 2 亿年以来。而自从 20 世纪 90 年代以来,大家都希望把板块构造的研究从空间上扩展到全球的大陆与大洋岩石圈,从时间上扩展为中生代以前的整个地球演化历史。所以,“beyond”这个词,的确使用得很恰当,但是在翻译成中文时,用“后”或“超越”这类词就很不妥当。这个词的使用,事关重大,含糊不得。笔者建议使用“发展(或扩展)板块构造学说”的提法。当然也盼望我们中国学者在充分占有全球大地构造资料之后,能真的超越板块构造学说,为人类认识全球构造做出新的、更伟大的贡献。

再比如“立交桥式构造”,这是许多学者研究秦岭碰撞带后,发现古构造线近于东西向,新生代的构造线近南北向之后,而提出的一种构造模式。初听起来,似乎这样来命名该构造模式是生动而形象的。然而,仔细推敲起来就会发现问题。这就好比在远古时代曾经造

了一座近东西向的桥梁,现在我们又在该遗址上造了一座近南北向的桥梁,我们能把这样两座桥梁合并在一起,而称它们是“立交桥”吗?立交桥,似乎应该是南北、东西可同时通车的桥梁才能这样称呼。把这种晚期构造以近于正交的角度切断早期构造的现象称为“立交桥式构造”模式,从科学涵义上来讲并不确切,省略掉了非常重要的时间概念。当然,如果仅作为一种通俗的比喻时,一定要提醒别人,上述两种走向的构造是完全不同时代的产物。

关于碰撞作用,国内外都有学者提出可划分为软碰撞与硬碰撞^[28]。Lee 和 Lawver^[28]把印度洋板块与欧亚大陆的汇聚速度在 11~10 cm/yr(在古新世晚期-早始新世,58~42 Ma)时,称为软碰撞;而把汇聚速度小于 6 cm/yr(晚始新世以来)时,称为硬碰撞。这是遵循了 Tapponnier^[29-30]等人的认识,从古新世就开始发生印度洋板块与欧亚大陆碰撞的推论来解释的。通常认为在陆陆碰撞之前,应该先发生洋陆间的俯冲,在洋壳消失后才能称为陆陆碰撞。近年来的研究,发现在该处洋壳消失的时间是渐新世晚期(约在 30 Ma 以前)^[31],碰撞作用应该只发生在 30Ma 以后,所谓的软碰撞就不能叫做碰撞作用,而只能是洋壳与陆壳汇聚过程中的一个减速过程。国内则把“碰而不撞”称为软碰撞,这个定性的尺度就更难以把握了。由此可见,碰撞就是碰撞,俯冲就是俯冲,把碰撞分为软、硬是不确切的,也没有什么必要性。

总之,上面只是举了几个影响大的新术语,供讨论。看来,还是多做些扎实研究,少做术语创新为好。

5 发展应用构造地质学,推进基础研究

构造地质学作为一门基础理论学科的分支,只有当它是有所用处的,并且确实能够解决实际的资源、环境和减灾等问题时,才会受到重视,才能蓬勃发展。因而,“应用构造地质学”的相关研究内容应该值得重视。尤其当我国一方面面临着资源和能源储备匮乏,另一方面现行的矿山勘探和开采深度一般都比较浅(金属矿床和煤田的勘探和开采深度一般只到 500 m,油气资源多数在 2 000 m 以内,少数可达 5 000 m),煤层气的勘探还仅仅是刚刚起步,急需进行隐伏矿床和油气藏的深部定位预测研究。而在此类预测研究中,主要依靠的是精细的深部三维地质构造(重点在地壳上部)、地球物理探测和勘察地球化学的研究。无论在找矿勘探阶段,还是在矿山、油田开采生产过程中,都有大量的构造问题需要去研究。

近年来在油气田勘探中,地震勘探,尤其是三维地震勘探的成果是令人十分惊喜的,三维叠前深度偏移技术、编制地震微相图、相干分析和三维可视化等技术的运用,使得研究人员可以像在地表观察地质现象一样来分析深部的构造变形,得到三维的图像,把深部构造变形样式、特征展现得清清楚楚,也就是说地球物理技术已经可以把深部构造变形的形态学问题解决得非常之好。现在急需运用构造地质学的理论对其进行运动学(水平与垂直方向的)、动力学和构造年代学的研究。这是当前我国掌握了大量地球物理资料单位的解释人员和研究人员所十分缺乏的,急需加强地质与地球物理研究人员之间的密切合作,以大幅度提高含油气盆地深部构造的研究水平。这就是说,即使在地球物理工作做得非常精细的情况下,构造地质研究仍可发挥重要的作用,而不至于没有用处。

对于活动构造给予特别的关注是很正确的,这是大陆构造研究程度最高的一部分,当然也是实用价值非常大的部分。正是活动构造对于地震的形成、环境的变迁、地质灾害的预防、基岩裂隙水和油气的运移发生巨大的影响。也许正是社会需求的导向,活动构造已经在定量地研究地质构造形态学、运动学、动力学和年代学等方面走在构造地质学科的最前列。

(2008年3月28日收到)

- 1 POLLARD D D. New Departures in Structural Geology and Tectonics[M]. Proceedings of Structural Geology and Tectonics, Sept. 2002. Denver, USA. (on web).
- 2 张国伟,郭安林,姚安平. 关于中国大陆地质与大陆构造基础研究的思考[J]. 自然科学进展, 2006, (10): 12-17.
- 3 郭安林,张国伟,程顺有. 超越板块构造——大陆地质研究新机遇评述[J]. 自然科学进展, 2004, (7): 10-14.
- 4 马宗晋,杜品仁,高祥林. 全球构造研究的思考[J]. 地学前缘, 2003, 10 (特刊): 1-10.
- 5 姚玉鹏,柴育成,马福臣. 地质科学发展的新机遇: 对地质学发展趋势的思考[J]. 科学通报, 2004 (18): 113-118.
- 6 金振民,姚玉鹏. 超越板块构造——我国构造地质学要做什么?[J]. 地球科学, 2004, (6): 644-650.
- 7 任纪舜,郝杰,肖葵薇. 回顾与展望: 中国大地构造学[J]. 地学论评, 2002, 48(2): 113-124.
- 8 朱炳泉,崔学军. 板块构造学说面临的挑战[J]. 大地构造与成矿学, 2006, (3): 265-274.
- 9 杨巍然. 地层层序系统与中国区域大地构造的研究发展[J]. 地学前缘, 2006, 13 (6): 102-110.
- 10 GYAPKIN K F. On the crisis of geotectonics in China and the world[J]. Petroleum Science, 2004, (3): 1-3.
- 11 朱志登. 构造地质学(第2版)[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999, 252.
- 12 WAN T F, ZHU H, ZHAO L, et al. Formation and evolution of the tancheng-lujiang fault zone[M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1996, 85.
- 13 张国仁,江淑娥. 区调中加强多期活动断层的调查及图面表达方式的建议[J]. 地质与资源, 2006, (2): 59-63.

- 14 黄汲清,肖序常,任纪舜,等. 中国大地构造基本特征——三百万分之一中国大地构造图说明书[M]. 北京:中国工业出版社, 1964;333.
- 15 任纪舜,姜春发,张正坤,等. 中国大地构造及其演变(1:400 万中国大地构造图简要说明)[M]. 北京:科学出版社,1980;124.
- 16 任纪舜,王作勋,陈廷愚,等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京:地质出版社,2000;50.
- 17 王鸿祯. 中国古地图图集[M]. 北京:地图出版社,1985;143.
- 18 MARSHAK S, Van der PLUUM B A, HAMBURGER M. Tectonics of continental interiors[J]. *Tectonophysics*, 1999, 305(1-3): 1-408.
- 19 万天丰. 中国大地构造学纲要[M]. 北京:地质出版社,2004; 387.
- 20 WHITE S. Difficulties associated with paleo-stress estimates [J]. *Bull of Mineral*, 1979,102: 210-215.
- 21 ROSS J V, AVE L H G, CARTER N L. Stress dependence of recrystallized-grain and subgrain size in olivine[J]. *Tectonophysics*, 1980,70 (1-2): 39-61.
- 22 NUTTAL J, NUTTING J. Structure and properties of heavily coldworked for metals and alloys[J]. *Met Sci*, 1978,12: 430-437.
- 23 GUEGUEN Y, DAROT M. Microstructures and stresses in naturally deformed peridotites[J]. *Rock Mechanics*, 1980,9 (Suppl.): 159-172.
- 24 DURHAM W B, GEOTZE C, BLAKE B. Plastic flow of oriented single crystals of olivine. Part II, Observations and interpretations of the dislocation structures[J]. *Jour Geophys Res*. 1977,82 (36): 5 755- 5 770.
- 25 郭铁鹰,万天丰. 青藏高原西部日土-普兰一带古构造应力值的估算[J]. *现代地质*,1988,2(1): 57-66.
- 26 格雷泰纳. 孔隙压力的基本原理通常引起的后果及其地质含义 [M]. GRETENER P E,陈荷立,译. 北京:石油工业出版社,1982.
- 27 朱志澄. 逆冲推覆构造(第二版)[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991;113.
- 28 LEE T Y, LAWVER L A. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia[J]. *Tectonophysics*, 1995. 251(1-4): 85-138.
- 29 TAPPONNIER P, MERCIER J L, PROUST F, et al. The Tibetan side of the Indian-Eurasian collision[J]. *Nature*, 1981, 294 (5840): 405-410.
- 30 TAPPONNIER P, PELTZER G, ARMIJO R. On the mechanics of the collision between India and Asia [M]//COWARD M P, RIES A C. *Collision Tectonics*. Geological Society Special Publications, London; Geological Society of London, 1986,19;115-157.
- 31 AITCHISON J C, DAVIS A M. Evidence for the multiphase nature of the India-Asia collision from the Yarlung Tsangpo suture zone, Tibet[G]//MALPAS J. *Aspects of the tectonic evolution of China*. London: The Geological Society, 2004, 226;217-234.

Hi ! What about Structural Geology and Tectonics WAN Tian-feng

Professor, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
Abstract Structural geology and Tectonics is an important branch of geology, which shows no prosperity in recent years. The author considers that there are some problems in academic idea, research method, and academic atmosphere to meet society requirement. In this paper, the chronology of rock deformation and mechanism, tectonic evolution, rheology and action of fluid, too many renew terminology and development of applied structural geology to push on basic theory, will be discussed.

Key words structural geology and tectonics, tectonics, rheology, mechanism

(责任编辑:方守狮)

(上接第 215 页)

- 20 LAVRIK N V, DATSKOSA P G. Femtogram mass detection using photothermally actuated nanomechanical resonators[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 82: 2697-2699.
- 21 TAKASHI I T O, SUN L, RONALD R, et al. A carbon nanotube-based coulter nanoparticle counter[J]. *Acc. Chem. Res.*, 2004, 37: 937-945.
- 22 IM H S, HUANG X J, GU B S, et al. A dielectric-modulated field-effect transistor for biosensing[J]. *Nature Nanotechnology*, 2007, 2(7): 430-434.

Issues on Enviromenal Safety of Nanotechnology and Development of Nanodetection Technology

LIU Jin-huai^①, MENG Fan-li^②

^①Professor, ^②Doctor, *The Key Laboratory of Biomimetic Sensing Advanced Robot Technology, Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China*

Abstract Up to today, nanotechnology has got significant achievement and has created gigantic wealth. However, the research to the safety of itself was ignored. It is not clear whether nanotechnology will bring any pollution to ecological environment. That is a new problem and nano-detection technology is the key to give a satisfaction answer.

Key words nanotechnology, environmental safety, nano-detection technology

(责任编辑:方守狮)