

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

构造地质学现状和进展

——第31届国际地质大会构造领域学术成果综述

吴淦国¹⁾ 张达^{1,2)} 陈柏林²⁾ 吴建设¹⁾ 陈祥云¹⁾

1) 中国地质大学, 北京, 100083; 2) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081

第31届国际地质大会于2000年8月6日至17日在巴西第二大城市里约热内卢召开。与以往国际地质大会一样, 构造地质学的研讨是大会讨论的主要组成部分。本次大会在一般学科讨论中以构造地质学为专题进行了4个方面的讨论。它们是岩石变形机制、大陆地区的伸展构造、岩石圈应力状态、走滑断裂与大型剪切带等。除以上几个方面外, 在其他一些专题讨论及一般讨论中也有较多方面和构造地质关系密切, 例如“大地构造、板块运动及区域地球物理”专题中板块的起源与演化、古大陆重建、克拉通与造山带地球物理特征所反映的构造动力学机制等都和大地构造与区域构造研究直接相关。一些与构造地质有关的重要的国际地质研究的前沿及热点诸如岩石圈结构与深部过程、岩石圈的运动、全球主要构造带的研究等, 在整个大会讨论及地质旅行中占据重要地位。本次大会还注重拓展技术方法及应用手段的讨论话题。地球物理、地震地质及遥感地质学在构造地质学方面的应用达到了新的水平, 成为构造地质学研究的重要手段。随着信息技术的飞速发展, 构造的数值模拟研究在本次大会上有了较大的进展。

构造地质学在实际应用中的进展主要表现在控制矿带、矿田、矿床的构造研究, 控油气田的构造研究和环境有关的新构造研究等等。

构造地质学现在和未来已经越来越显示出多学科交叉、协同发展的趋势。构造地质学除区域构造、岩石变形、构造应力场研究外, 与相关学科如岩石圈的起源与演化、岩石圈地球动力学、全球构造演化等关系越来越密切。本次大会在以上几个方面都取得了新的进展。

1 地球的成因与演化

对于地球的起源与演化过程中太古宙陆核的构造体制问题提出了一些新的想法与观点。通过对大陆上不同地区存在的太古宙变质岩进行的大量的同位素年代学及稳定同位素示踪研究, 在古老陆核的增生与演化方面取得了较大的进展。加拿大学者 R. C. Bailey 认为太古宙较高的地壳热流是认识地壳构造的关键, 这种较高的地热梯度与韧性程度较高的大陆下地壳有一定的对应关系。他认为由于大陆地壳的溢流作用导致壳内热流的不均匀性, 从而形成陆核内部温度的不均一, 导致下地壳内部岩石发生韧性与脆性转换, 这种转换可作为大陆增生的主要动力来源。M. E. Barley 认为晚太古代会聚与离散大陆边缘的对比研究表明太古宙板块运动与年轻的板块构造旋回不论是样式还是幕次方面都没有根本的区别, 它们在运动学方面具有某些相似性。他分析了两个晚太古代裂谷及被动大陆边缘环境的古克拉通, 它们都有 2.77~2.74Ga 期间大陆拉斑玄武岩和陆内裂谷盆地碎屑岩沉积物, 2.725~2.715Ga 期间叠加断陷盆地的溢流玄武岩及 2.68Ga 海侵的记录, 覆盖着具有被动边缘盆地沉积特征的 2.6Ga 的页岩及铁质沉积。因此太古宙片麻岩地体及古缝

合线的研究使我们认识前寒武古板块运动成为可能。K. D. Kollerson 根据稳定同位素研究结果指出古大陆演化和大气圈与水圈的循环作用有关。Andrew Glikson 提出太古宙大碰撞与地壳演化序列的关系。地月系统的碰撞熔化作用, 连同最近太古宙陆核分离单元及月球碰撞玻璃质熔岩的定年, 确定主碰撞的时间为 3.2 ± 0.1 Ga。这些事件的构造和岩浆效应及其隐含的周期性演化特征已被查明。根据前寒武纪大碰撞与地壳构造和岩浆周期性之间的潜在的相关性, 指出 2.71~2.67 Ga 全球花岗绿岩带的形成可能和地月系统的碰撞有关, 并用来说明太古宙向元古宙转换的地壳环境。所有这些都成为古构造演化的新进展, 成为我们今后工作中应该注意的问题。

2 岩石圈结构与构造应力场

通过地震学及深部岩石学来研究岩石圈结构已成为目前较常用的手段。随着数据处理技术的提高, 使人们利用大陆及大洋地球物理资料特别是地震资料研究岩石圈结构成为可能。利用地震波研究岩石圈特别是地幔与下地壳的各向异性已成为探讨板块运动机制、地幔对流、深部物质组成的主要途径。当前岩石圈研究的主要动向是将地幔深部物质的成分及流变特征与用地球物理手段揭示出的岩石圈各向异性等特征结合在一起进行系统的研究。因此将岩石学、矿物学、显微构造学、流变学、地震学及大陆深钻计划结合已成为该领域的一种流行趋势。这种研究的大部分成果来自国际岩石圈计划。地球物理资料证实在地壳 7~17km 深度处存在近水平构造带, 该带以弹性波速的突降和高导性为特征。该带存在大量裂隙及矿化水溶液。科拉半岛超深钻同时证明了在该深度上存在近水平分布的含水层。有学者解释这种含水层受到水平应力作用下会导致上地壳大型拆离断层的发生, 从而可能成为地球上造山带和稳定地台形成后构造变动的地球动力学的重要界面。

大陆板块内部应力大小及方向能揭示出一些和板块运动相关的科学问题。Zevallos 分析了南美大陆板内应力数据, 认为板内以水平挤压应力及走滑状态占优势, 但在安第斯高原垂直应力成分比较普遍从而产生大量的正断层系统。说明造山带内部构造应力分布也存在不均一性。

俄罗斯学者 B. M. Chikov 提出地壳应力构造的概念, 他认为地壳应力构造代表一组特别的构造系统并且与主应力、多期应力叠加、剪切流动等理论密切相关。在研究岩石圈的应力状态方面, 有学者提出岩石圈应力场的产生是和岩石圈结构及构造的不规则性有关。有资料显示岩石圈内最大剪应力集中于地壳厚度的突变带; 在岩石圈多层模式中, 岩石圈应力场来自单层应力场的叠加, 并能形成非常高的应力集中。

3 泛大陆的形成与演化

在本次会议上关于泛大陆、冈瓦纳大陆、劳亚大陆及特

提斯洋古构造演化的研究成果有比较精彩的讨论。南美大陆作为冈瓦纳大陆的重要组成部分,其地质构造演化与冈瓦纳大陆的演化有密切的关系,南美地区大量的矿产资源与该大陆的形成及裂解密切相关,古大陆演化各阶段的地球动力学特征决定了各阶段的成矿环境,因此冈瓦纳大陆的形成与演化作为一个主题进行了充分的交流。通过古地理、古构造分析,特别是根据古大陆边缘的构造变形分析基本确定了南北大陆碰撞活动的时序和方式。该领域另一主要进展是通过国际合作对比研究,草拟出泛大陆演化各阶段的构造及古地理演化图件。

4 若干重要造山带研究进展

全球主要构造带的讨论也是本次大会的重点交流内容之一。经典研究地区与研究热点主要包括超高压变质带、大陆碰撞造山带—阿尔卑斯造山带及喜马拉雅造山带、安第斯活动大陆边缘构造及岩浆活动、陆内造山带的形成与演化、环太平洋构造带等。

超高压变质带的研究在全球各个地区都较为深入,随着新的超高压变质带的不断确认,超高压变质带的特征、形成的物理化学条件都得到了较为深入的研究并在一定程度上达成共识。W. Kurz 研究了阿尔卑斯造山带榴辉岩的形成及变形机制。认为阿尔卑斯造山带在不同构造背景下,榴辉岩组构显示出从具辉长岩组构的棱角状残留物到较好磨圆榴辉岩糜棱岩连续的转换。在磨圆差的低温榴辉岩中,绿辉石显示亚颗粒和晶格优选方位较发育,这些被用来解释平行的透入性片理。在变形的高级阶段,绿辉石显示出以亚颗粒旋转为特征的重结晶组构,核幔组构经常出现。在较好磨圆的榴辉岩糜棱岩中绿辉石C轴在有限应变椭球体X轴附近呈束状分布。在低温榴辉岩内绿辉石以位错滑移为特征,而在高温状态中则以位错攀移为主。晶格优选方位的发育在低温榴辉岩(小于550℃)似乎主要和形态优选方位及固体的旋转有关。在高温榴辉岩(在约600℃)晶格优选方位的演化主要和晶体塑性特征有关。但对于超高压变质带形成及折返机制目前还处于探索阶段。

安第斯造山带的构造及古地磁学研究。与阿尔卑斯造山带的构造应力场的演化研究表明,在造山作用长期演化过程中,存在着非常明显的旋转效应。有学者通过对阿尔卑斯造山带局部及远程应力场对比研究表明,发现该造山带在伴随着地块旋转过程中应力场也发生改变。大陆边缘的组成、结构、运动样式多样性,决定了造山运动型式的复杂性。除了挤压、伸展等造山作用外,地壳的旋转也成为一种重要的型式。安第斯造山带的古地磁研究表明在造山过程中,地块曾经发生过非常明显的转动。对覆盖于南纬25.4°~26.4°之间的安第斯大陆边缘之上的中生代熔岩及岩墙古地磁学分析的结果表明地壳有大约42°的顺时时针旋转。在这一地区,地壳的顺时针旋转是中晚白垩世压剪性变形的结果。在安第斯大陆边缘上 Arica Deflection 的南部即智利以北、玻利维亚以南的地区,古地磁资料所反映的地壳属顺时针旋转,而在 Arica Deflection 的北部,古地磁研究的结果显示出反时针的地壳旋转。这种地块旋转现象在西太平洋大陆边缘也有表现。因此,地块的旋转应作为一种造山机制加以研究。

板内造山作用也是研究大陆构造的主要切入点。综合本

届地质大会关于陆内造山作用的研究成果,显示出国际上也注重于对陆内造山带结构的研究,这主要得益于地球物理资料及地震资料的获取与解释程度的提高,同时有岩石学资料的充分利用,这就使得从三维空间研究陆内造山带成为可能。目前国外研究板内造山作用的主要手段是将地质地球物理及地球化学等多学科结合起来。注重于板内构造应力状态的研究。注重研究板内地震与新构造活动之间的关系。通过对古裂谷的研究,认为板内构造应力场的条件是决定裂谷形成演化的重要因素。在不同的构造应力状态下,裂谷的性质在演化过程中也会随着大地构造背景的变化而出现主动和被动的相互转换。

关于东亚大陆向环太平洋构造作用域转换的重大科学问题,一些学者也进行了较为深入的研究。主要结论来自对横贯该区的地质大断面的地质及地球物理资料的解释。Maslovlev 通过地震学、地热学及大地电磁测深确定出在过渡转换区的岩石圈软流层的形态的特征是:这些过渡区域主要表现为活动构造背景下的弧间槽及边缘海深部盆地。而软流层的顶部深度变化范围从30km(新生代盆地)到50~80km(古生代盆地)。而在弧间盆地之下,异常地幔到达地壳。深海盆地基底同时包含由于软流圈上隆产生的张应力作用形成的裂谷构造。看来,深部地幔直至软流圈异常应是导致构造域转换的主要作用因素。

5 岩石变形机制

岩石变形机制从来都是构造研究的基础。本次大会涉及岩石变形方面的摘要占有较大的比例。重要新进展表现在以下几个方面:

(1) 重要造山带造山过程中岩石变形行为成为研究的重点,主要研究造山作用不同阶段岩石的变形性质、变质作用与变形的关系、变形的物理化学条件,通过以上研究反演造山作用机制。

(2) 壳幔深部岩石变形行为的研究逐步成为前沿研究领域,揭示壳幔相互作用及地壳深部重要的构造变形界面、韧脆性转换界面的重要研究手段是研究深源岩石的变形机制及物化条件,较多学者认为矿物成分、深部流体、流体压力及岩石渗透率成为影响岩石变形的重要因素,因此地壳深部及地幔岩石变形特征的研究将为地壳结构的建立及深部过程对表壳构造的控制作用提供重要的证据。

(3) 岩石圈流变学即非牛顿体变形机制及岩石变形的非弹性条件即粘塑性等成为当前构造岩石学领域的重要内容之一,这些研究对了解岩石圈深部各向异性及深部动力学具有重大的意义,是研究地幔动力学或岩石圈动力学的基础。岩石圈流变学参数决定了其对构造作用力的特征。M. Xu 分析了辽西—辽北—松辽地区中生代盆地,认为三个地区分属三个不同构造单元,有不同的热力学参数,根据不同地区岩石圈流变学剖面得到辽西地区具有稳定的刚性,其脆韧性转换面深度为25km;但在松辽及辽北由于刚性程度不高,转换面深度只有16km。岩石圈强度在辽西地区为 $14 \times 10^{12} \text{N/m}^2$,而在辽北及松辽为 $7.4 \times 10^{12} \text{N/m}^2$ 。在晚中生代以来大陆拉张背景下,它们有不同的变形方式,产生了NE—NNE 向延伸的具有不同构造型式、沉积充填及油气远景的盆地。这些差异在不同盆地的形成过程中 (下转第432页)

(上接第447页)起着重要作用。Lin研究了碎裂岩及其在上地壳中地震带流变学意义,表明活动断层带流变学在5~10km地震生成带是受在S-C碎裂岩中变形过程所影响的。

(4)变形岩石的实验研究也是一个重要的研究领域,人们对于主要的变形矿物如石英及其变体、方解石等进行了大量的实验研究,这些实验研究取得了较大的成果,并为岩石变形机制提供了重要证据。

6 构造模拟方面

构造模拟技术的主要进展表现在以下几个方面:①韧性变形岩石的逆向模拟技术的出现;由于现存的地壳变形的是多期复杂变形叠加的结果,这些结果可以用无限数目的不同应力与应变历史来解释。正向模拟可以帮助我们了解地质作用过程及解释野外地质资料,但很难确定变形的精确路径。Dani W. Schmid利用逆向模拟技术来恢复有限应变岩石的变形轨迹。其主要原理是假定一套多层不同厚度的未变形岩石受任意方向恒定远程应力作用,首先利用正向模拟产生综合数据,然后将逆向模型应用到这些综合数据中。逆向模拟的具体作法是不断变换远程应力场的方位和强度等条件及岩石的流变参数,直至模拟到假设的原始状态,即变形岩恢复到岩石未变形状态,在此过程中我们能够确定自然界变形系统中岩石应力应变状态及岩石的流变参数。②由于地质构造的形成是多种因素的相互作用的结果,为了解地质构造的作用过程,在一种多维多参数的模型中应用多种数据集来反演地壳构造已变得越来越普遍。这就要求在模拟过程中将与构造有关的各种数据有机地利用起来建立实用可信的模型来模拟各种不同的构造变形过程,这种模拟结果更接近于地质实际。③充分利用现代计算机技术,使构造模拟从规则模型到任意模型、从简单边界条件到复杂边界条件、从时间的间断性到连续性、从平面模型到三维模型,以至与三维动画结合,使模拟更逼真地反映地质构造演化的全过程。④当前行星地质学与行星对比研究日趋深入,Paul J. Tackley等利用构造模拟技术展开对月球及其他行星的研究,其成果表明

构造模拟技术将成为研究行星动力学的重要手段之一。其主要方法是利用天文观测、探测装置及卫星传输等数据模拟行星构造的形成与演化。⑤对单一地质体的模拟从简单的定性静态模拟发展到定量的多阶段、多种介质成分及多参数相结合的模拟。这种方式的模拟结果能更实际地反映地质构造的演变过程及地球运动学及动力学特征。

7 拉张构造研究

拉张构造在本次大会上也作为一专题进行讨论。讨论的主要内容包括不同时期裂谷及盆地的形成与演化。大多数学者通过地球物理、地震学资料反演盆地及裂谷所处部位的深部构造,并认为深部构造是控制拉张构造形成的主要机制。通过盆地构造应力场的模拟,一般认为盆地形成前都经历过强烈的地壳缩短作用,尔后由于构造应力场的松弛或深部构造差应力作用导致区域拉伸作用的产生,进而形成裂谷或盆地构造。

8 走滑断层与韧性剪切带研究

全球主要走滑断裂系的研究近年来也是备受关注的热点之一。这主要是因为走滑断裂系一般认为是板块之间相互作用的主要构造形迹,通过对大型走滑断层的研究能够反演板块运动的地球动力学特征。近年来的研究成果除地质学研究外,深部地震反射、古地磁、构造模拟手段逐步应用到该领域的研究中,并取得了较新的成果。韧性剪切带的研究目前已进入构造带及围岩中元素及矿物的物理化学演化过程的研究,从而确定剪切带形成的深度及物化条件。由于韧性剪切带的运动学及动力学标志较清楚,目前大部分研究成果趋向于利用韧性剪切带良好的地球动力学标志判断构造运动的方向、应力应变量级、构造变形的期次等,进而推断韧性剪切带形成的大地构造背景。

今后构造地质学的发展应注意融合相关学科共同发展;参与重大的全球性的前沿地质问题的研究;发挥自己传统研究领域的优势;加强构造地质学实验及模拟研究;加强国际合作研究。

(任希飞 编辑)