

文章编号: 1006-6616 (2001) 03-0254-05

构造应力场研究与实践

孙 叶¹, 谭成轩²,

(1. 中国地质科学院五六二综合地质研究所, 河北 三河 101601;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081.)

摘 要: 由李四光教授开创的构造应力场研究自 20 世纪 20 年代至今已经历 70 多年。回顾其研究过程, 展望未来发展, 可以分为两个研究时期: ①开创研究时期 (1926—1966)。主要运用构造形迹力学性质及组合规律分析推断构造应力状态, 重点研究构造体系及其典型构造型式的构造应力场。②实测研究时期 (1966—)。最初通过实测地应力、地形变、断层位移以及现今构造活动的各种相关资料, 配合模拟实验研究现今构造应力场; 尔后对地质时期古构造应力场进行研究, 主要采用应力、应变矿物进行应力状态定量或半定量分析, 并配合模拟实验进行研究。实测研究时期可分为 3 个研究阶段: 实测平面构造应力场研究阶段。主要以进行平面构造应力场研究为主; 实测三维构造应力场研究阶段。以三维构造应力场研究为主并对构造应力场学科进行研究总结; 深部构造应力场研究阶段。未来将会开展对地壳整体及地壳深部进行全面的构造应力场研究。构造应力场研究对认识地壳运动问题具有深远意义, 在地质找矿、地质环境与灾害、工程建设中均可发挥积极的作用。

关键词: 构造应力场; 应力实测; 深部应力测量

中图分类号: P315.7

文献标识码: C

本文重点讨论地质力学工作者在构造应力场研究与实践过程中所遇到的问题, 拟对构造应力场研究的发展时期和研究阶段进行划分, 并展望未来发展。

1 开创构造应力场研究时期 (1962—1966 年)

李四光教授从地壳结构方面探讨地壳运动问题遇到各种构造形迹之间在形成时代和归属划分等问题。20 世纪 20~40 年代, 地质构造研究还是以构造形态描述为主, 形成时代研究尚缺少可靠的研究方法和手段, 他认为构造应力场理论与方法是解决这个问题的重要途径之一。1947 年他在《地质力学之基础与方法》中系统讨论了构造应力场的研究思路、设想与理论方法, 开创了一个新的研究领域, 奠定了岩石力学与构造应力场的分析基础^[1]。1963 年出版的《地质力学概论》^[2], 对构造体系的研究方法、手段和实践作了系统总结, 把构造

收稿日期: 2001-05-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (49802017) 和地质力学开放研究实验室项目 (dlkf-9803)

作者简介: 孙叶 (1933—), 男, 研究员, 主要从事构造应力场、内动力地质灾害、区域地壳稳定性研究。

应力场作为厘定构造体系的手段，而后又认为，应该把构造应力场作为独立的分支学科去研究会更好。20世纪50年代他开始着手引进和研究现今地应力的实测技术方法，并开始进行断层位移测量研究、岩石蠕变长期观测、应力矿物研究以及定量化的模拟实验研究等各项研究工作，为实测构造应力场研究作了充分的准备。1965年他还拟定了《岩石力学与构造应力场分析》编写提纲，提出了学科研究方向^[3,4]。

2 构造应力场实测时期（1966—）

2.1 平面构造应力场实测阶段

1962年广东新丰江水库蓄水发生诱发地震后，李四光开始部署实测现今构造活动，研究构造活动与地震活动的关系^[5]。1966年邢台地震以后，他亲自在京津地区全面系统地部署现今构造应力场的实地监测，包括地应力解除测量、地应力监测、断层位移测量，进行长期连续监测^[6]，全面安排了地震地质研究工作，组建了一支专业队伍探索地震预测预报问题，遗憾的是在他逝世（1971年）以前未能完成研究总结。以后经过5~6年时间的连续监测，已经看出断层位移的活动规律，众多地点的地应力绝对值测量结果与地应力监测资料显示了一定规律，表明京津地区现今地应力场总体以新华夏系活动方式为主。在研究区域构造体系及其近期活动规律的基础上，接着又开展了以下几方面的研究工作：①对区域水准网多年的复测数据进行整理计算，结合地质构造背景分析区域性主干断裂现今活动特征和地壳现今形变变化规律，编制不同年限之间地壳构造形变图（即构造现今活动图）；②研究历史地震并分析现今微震活动规律；③开展多种方法的模拟实验研究，包括光弹法、明胶网格法、泥巴网格法、脆漆法等，进一步证实该区构造体系现今活动属新华夏系活动方式为主，地震活动主要受其控制。在大家共同努力下，由孙叶执笔编写总结报告，系统运用实测资料，配合模拟实验成果编制了系列图件，同时总结了现今构造应力场的实测方法，指出现今应力场与地震活动的关系。随着微观、超微观应力矿物和岩组研究工作的进展，借鉴现今地应力场研究的思路，构造应力场的系统分析研究也得到了快速发展，对构造应力场的发展演化研究起了重要的推动作用，并在地质找矿和工程建设中发挥了积极作用。1980年前后，孙叶等在北京八宝山断裂带的煤岭弧形断裂地段，沿断裂走向实测现今地应力值，同时配合对燕山期岩石组构研究查明该弧形断裂附近局部构造应力场及其发展演化特征，进一步证实构造应力场存在局部变化^[7]，实测平面构造应力场的研究由此全面开展，基本研究方法也日益完善。20世纪80年代开始广泛将实测平面应力场的研究方法引进实际应用领域，对工程选址、城市环境地质评价、地质灾害防治、国土整治、油气运移与觅找、固体矿产的觅找与开发等作出了一系列重大贡献，同时也使该学科获得迅速发展和充实。该阶段不足之处在于对岩石力学性质的研究相对薄弱，有时甚至将地块简化为单一均匀的岩块来处理。

2.2 实测三维构造应力场研究阶段

自20世纪80年代开始，进入实测三维应力和三维构造应力场的探索研究阶段，对各种影响因素也较以前考虑得更全面，尤其注重结合区域岩石力学性质变化规律进行研究，使构造应力场研究进入量化研究阶段^[8~13]。如：作者在1998年深圳的工作成果以及黄汉纯、黄庆华等在柴达木石油天然气方面的研究成果^[14,15]，并在此基础上对构造应力场学科进行了阶段总结（1994~1998）。

《岩石力学与构造应力场分析》专著是全体地质力学工作者长期努力工作的成果，是理

论研究的阶段性总结。它汇集了相关学科的成果,特别是在实践应用中的成功实例^[16~19]。该书的出版,初步实现了李四光的部分遗愿。书中叙述了岩石力学性质的实验观测与自然表象,岩石变形与流动以及岩石的断裂与损伤。该书在阐述基本概念与相关问题的基础上,讨论了地质历史时期构造应力场的研究方法、典型构造型式、发展演化及其应用等;叙述了现今地应力的测量、现今地应力场的研究方法和典型构造型式的演化;分析了中国区域三维现今构造应力场的基本特征及其分布规律,并探讨其与地壳运动的联系;对模拟实验的基本原理、概念、方法技术也作了总结,叙述了典型构造型式的实验成果并进行了力学分析,结合应用实例对三维模拟实验作了讨论,进而对全球构造应力场进行了模拟与力学分析。

构造应力场的研究方法很多^[20~22],可以通过不同地质时代的应力、应变、断裂位移的单项直接测量并配合相应的地球物理、地球化学资料分析研究认识其特征;为了获得较为全面的认识,经常采用综合分析研究方法,具体步骤可以概括为:①明确工作目的及任务,确定研究区域范围和深度,选定地块形状与边界;②鉴定构造体系及其发展与延伸,按照不同比例尺要求简化构造格架;③进行不同岩石力学性质分区以及断裂内部不同性状的分段;④选择各种具有代表性实例进行工作,对各种资料进行综合研究,分析构造活动规律与特征,研究地块内体力分布变化,确定地块边界加载的方式方法;⑤进行构造应力场模拟实验;⑥认识区域地壳运动规律、矿产形成与分布规律、地质灾害发生发展和展布规律、地质环境的演化、区域地壳稳定性分区与发展态势;⑦编制具体实施方案、措施、规划、建议,为工程建设服务。应该指出,构造应力场具有明显的时空演化特征,具有不同级别叠加的特点,因此,按照不同地质时代从老至新,依次进行不同区域大小、深浅、级别、层次分析研究是不可少的。

综上所述,虽然自20世纪80年代已开展三维应力测量,但到目前为止三维构造应力场的研究成果还较少^[23~25],并很少涉及地壳深部构造应力场问题,主要是对平面构造应力场研究作了阶段性的系统总结,岩石力学研究甚少是其明显的不足。未来从平面应力场转向三维应力场的研究将更多地重视岩石力学性质及其相关问题,对模拟深度、岩石性状与地壳层圈的变化特征都将更加重视,并将从相对值转入绝对值的研究范围。

2.3 未来深部构造应力场研究阶段

随着三维构造应力场研究的发展,必然对地壳深部情况提出更为迫切的要求,以保证对三维应力场的全面、正确的认识,同时从深部构造应力场特征来探索地壳运动问题,也必定走向地壳深部。地壳运动问题是一个长期探索研究的课题,由于问题的复杂性和涉及科学领域的广泛性,加之几个世纪以来各学派认识问题的角度不同,各自具有正确性的一面,同时又带有一定的局限性,所以长期存在争论,并在争论中逐步对某些问题取得共识,但又在另外的问题上产生分歧。同样,构造应力场研究仅仅是地壳运动的研究方法之一,即使将来对地壳深部构造应力场研究取得较为系统可靠的资料,并且在地球物理化学方面也取得长足进展之时,对地壳运动问题也只能是提供一些重要的论据,要全面了解地壳运动问题,还有待其它许多问题的深入研究。

3 结语

构造应力场是李四光教授开创的地质分支学科之一。它与岩石力学紧密联系在一起,是地质力学的基础与方法,是探索地壳问题的途径之一。回顾其发展历程,展望未来,可以将

其划分为两个发展时期：构造应力场开创研究时期（1926—1966）；构造应力场实测研究与应用时期（1966—）。后一个时期又可分为 3 个研究阶段即实测平面构造应力场研究与应用阶段，实测三维构造应力场研究与应用阶段和未来深部构造应力场探索阶段。

目前构造应力场的研究工作正处于完成平面构造应力场的总结，初步进入三维构造应力场的研究与应用，开始提出深部构造应力场问题之际，在研究工作中，更要重视岩石力学与构造应力场的密切联系，加强深部地质资料的应用，以求提高研究成果的可靠性。

参 考 文 献

- [1] 李四光. 地质力学之基础与方法 [M]. 北京：中华书局出版社，1947.
- [2] 李四光. 地质力学概论 [M]. 北京：科学出版社，1973.
- [3] 李四光. 天文、地质、古生物资料摘要（初稿）[M]. 北京：科学出版社，1972.
- [4] 李四光. 地震地质 [M]. 北京：科学出版社，1973.
- [5] 国家地震局广州地震地质大队综合队. 新丰江水库区活动构造与地震关系 [J]. 地质力学论丛，1977，(4)：34 ~ 42.
- [6] 国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组. 一九七六年唐山地震 [M]. 北京：地震出版社，1978.
- [7] 国家地震局地震地质大队（孙叶执笔）. 中国某地区地应力场问题的初步探讨 [A]. 国际学术交流文集（1）[C]. 北京：地质出版社，1978.
- [8] 王仁. 固体力学 [M]. 北京：地质出版社，1979.
- [9] 潘立宙. 变形椭球的性质及其在地质应用中的一些问题 [J]. 力学，1976，(1)：23 ~ 31.
- [10] 孙叶. 北京地区现今区域地应力场问题的初步探讨 [A]. 地质力学文集，第三集 [C]. 北京：地质出版社，1979.
- [11] 孙叶. 对地震地质工作的一些设想——兼论华北、京津地区现今地应力场的特征 [A]. 中国地质科学院 562 综合大队集刊，第三集 [C]. 北京：地质出版社，1983.
- [12] 孙叶，王宗杰，沈士贞，等. 北京煤岭弧形断裂现今应力状态 [J]. 中国科学（B 辑），1983，(11)：1021 ~ 1028.
- [13] 孙叶. 地应力场的研究现状及其当前面临的课题 [A]. 地质力学通讯（九）[C]. 北京：地质出版社，1985，(5).
- [14] 孙叶，赵娴，徐祥银，等. 深圳市东水西调输水隧洞工程构造活动性分析 [J]. 地质力学学报，2000，6 (1)：59 ~ 68.
- [15] 黄庆华，黄汉纯，马寅生，等. 三维变弹性模量光弹性模拟在地学上的应用 [J]. 科学通讯，1987，(6)：352 ~ 358.
- [16] 孙叶，谭成轩，李开善，等. 区域地壳稳定性定量化评价（区域地壳稳定性地质力学）[M]. 北京：地质出版社，1998.
- [17] 陈庆宣，王维襄，孙叶，等. 地质力学的方法与实践（第三篇），岩石力学与构造应力场分析 [M]. 北京：地质出版社，1998.
- [18] 孙叶. 中国地质灾害类型划分与减灾对策的战略分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报，1991，(4)：26 ~ 35.
- [19] 张国铎. 胶东西北部金矿带控制构造模式的研究 [A]. 地质力学第四次学术讨论会论文摘要汇编 [C]. 北京：地质出版社，1991.
- [20] 曾佐勋. 构造模拟 [M]. 武汉：中国地质大学出版社，1992.
- [21] 陈子光. 岩石力学性质与构造应力场 [M]. 北京：地质出版社，1986.
- [22] 安欧. 构造应力场 [M]. 北京：地震出版社，1992.
- [23] C Tan，Y Sun，R Wang. Present activity of the Shenzhen fault zone and its impact on the safety of a planned diversion tunnel in Shenzhen，China [J]. Engineering Geology，2000，57 (1&2)：73 ~ 80.
- [24] Ghose R，Yoshioka S，Oike K. Three-dimensional numerical simulation of the subduction dynamics in the Sunda Arc region，Southeast Asia [J]. Tectonophysics，1990，181 (1 ~ 4)：223 ~ 255.
- [25] Gaudreault M，Rouleau A，Archambault G. A numerical and field study of the role of stress perturbation on rock mass permeability

ty around underground openings [J]. American Geophysical Union , 1994 , 75 (16) : 147 .

RESEARCH AND PRACTICE ON TECTONIC STRESS FIELD

SUN Ye¹ , TAN Cheng-xuan²

(1. 562 Comprehensive Geological Institute , CAGS , Sanhe 101601 , China ;

2. Institute of Geomechanics , CAGS , Beijing 100081 , China .)

Abstract : The study of tectonic stress field , which was founded by J. S. Lee , can be divided into the following two periods : ① initial research period (1926—1966) , which focuses on the tectonic stress fields of some typical structural patterns by the analysis of stress states of structural features . ② in situ measurement period (1966—) , which focuses on the plane tectonic stress field research in the former part of this period and later on the 3-D tectonic stress field study and on the deep tectonic stress field research in the future mainly by the insitu measurements of crustal deformation , crustal stress , fault displacement , rock fabrics , stress minerals , as well as modeling experiments . The research on tectonic stress field has not only the significance in exploring mineral resources , protecting geological environments , controlling geological hazards and in application in engineering construction , but also the important role in discussing crustal movement .

Key words : tectonic stress field ; insitu stress measurement ; deep stress measurement