



综述

中国构造地貌学的回顾与展望

史兴民¹, 杜忠潮²

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 咸阳师范学院资源环境与城市科学系, 陕西 咸阳 712000)

摘要:构造地貌学已经从经验科学迅速发展为高技术武装的现代科学。本文在分析相关文献的基础上, 论述了构造地貌学的特点、研究内容、研究方法, 回顾了在中国的研究进展, 最后提出了构造地貌学今后的研究动向。

关键词: 构造地貌学; 研究进展; 研究动向

中图分类号: P512.31

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2006)03-0280-05

Review and Prospect of Tectonic Geomorphology in China

SHI Xing-min, DU Zhong-chao

(1. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, Shaanxi, China;

2. Department of Resource Environment and Urban Science, Xianyang Normal College, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

Abstract: Tectonic geomorphology has been rapidly developed from experiential science to modern science with high techniques. Based on analysis of relative documents, the characters, contents, research methods of this learning branch are presented, and its research progress in China is reviewed and summarized in this paper. Finally, the future research direction of tectonic geomorphology is discussed.

Keywords: Tectonic geomorphology; Research progress; Research direction

0 引言

构造地貌学是地貌学的主要分支之一, 是研究地球内力作用形成的或直接受地球内力作用控制的外力作用所形成的地表形态特征及其发生、发展、结构和分布规律的科学^[1]。构造地貌学最初是为了总结构造与地貌的对应关系, 即研究地质构造受外力剥蚀后形成的地貌, 称为静态构造地貌 (Structural Geomorphology) 或次生构造地貌, 如背斜山、向斜谷、向斜山、背斜谷、单面山等。后来随着新构造运动的研究, 构造地貌学加强了对构造运动形成的地貌研究。它们的形成和分布与地壳构造运动的方向、受力方式有关, 比如构造运动隆起形成的山地、

台地和构造运动凹陷形成的平原、盆地等, 或者构造运动把已经形成的各种地貌加以改造, 或者断层两侧块体受断层运动影响而派生的各种地貌等, 称为动态构造地貌或活动构造地貌^[2] (Active Tectonic Landform)。

从上世纪末以来, 构造地貌学的研究发展很快, 不断引进新技术、新方法, 正从传统的经验型学科转变为定量和半定量的现代科学领域。本文在分析总结了大量文献资料的基础上, 论述了构造地貌学的特点、内容、方法, 回顾了中国构造地貌学的研究历史与进展, 并对今后的研究方向进行了展望。

1 构造地貌学的任务和内容

收稿日期: 2006-04-30

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目(90102016); 陕西省教育厅自然科学基金项目(06JK165)

作者简介: 史兴民(1975-), 男(汉族), 博士, 副教授, 主要从事地貌与环境变迁等方面的研究。

构造地貌学的主要研究任务是研究构造地貌(包括相关沉积)的形成过程与发育规律,并借此反推在一定的构造应力场作用下的地壳运动特征,解决实际应用中的问题^[3-4]。例如在工程建设、资源环境、地震预测和评价等方面构造地貌学有重要的作用。

构造地貌学的主要研究内容有:①分析由内力作用造成的地貌形态和各种地貌面变形及其反映的构造活动状况;②研究各种地貌体在构造运动的作用下,在三维空间上有规律地排列组合,这种组合可以反映地壳运动与构造应力场特征;③研究在多期构造运动的作用下同一地貌体内新老地层之间,或者新老地貌体之间的层次组合,这种组合的空间差异再配合年代测定可以揭示构造运动和应力场的变化和迁移情况。

2 构造地貌的基本研究方法

构造地貌学建立的研究方法的本质是:通过研究各种标志面或标志层的变形和错位来判断它们所反映的地壳变形与错位,以及分析地表起伏形态、外动力侵蚀、堆积强度等的相应变化作为佐证^[3]。具体的研究方法有:

(1) 研究地貌面(河流阶地以及夷平面)的变形与错断,包括层状溶洞和岩溶期的研究。这些标志性地貌面是研究构造隆升的重要材料,每一级这样的地貌面都代表一次地壳抬升、外力下切侵蚀的结果。夷平面代表地壳长期处于稳定环境,外力剥蚀夷平面使地表达到了准平原的状态。一般最新一级夷平面的时代是山地隆升的下限,其高度大致反映隆升幅度。河流阶地则反映了隆升过程中的一些细节和特征,阶地纵剖面图的变形和错断对构造活动有较好的反映。根据阶地的结构、形态、变形等可以推断褶皱构造、断裂构造的活动时代、次数、平均速率、间隔时间和幅度等。

(2) 分析构造活动所引起的沟谷与坡地形态、沟谷切割深度和河床比降等的变化,分水岭的迁移、水系格局变化,各种外动力、包括坡地过程、喀斯特过程等作用强度的变化等。

(3) 洪积扇的形态与组合。

(4) 研究新地层的变形与错位,分析新地层的沉积相与厚度。例如河漫滩二元结构面的高度变化研究。

(5) 进行专门的构造地貌制图和形态测量。

采用的技术手段主要有野外实测、GPS 定位与

测量、航片与卫片解译、大地变形测量、地球物理勘探、模拟试验、计算机分析与制图、测年方法的应用、实验室分析等。

3 研究进展

在解放前就已经有中外学者对我国的构造地貌进行了一些零星的研究和观察。新中国成立后,我国的构造地貌的研究主要分为五个阶段^[5]:

首先建国后至 1957 年这一阶段着重研究中国地貌的表现、差异、形成、发展以及和新构造运动的关系。对新构造类型、新构造和地震的关系等进行了初步研究,研究成果主要反映在中国科学院第一次新构造运动座谈会发言记录和中国第四纪委员会第一届学术会议有关的新构造运动的论文中。

从 1958 年至 1966 年这一阶段结合生产和科研任务进行了综合考察和区域地貌研究,对地貌发育和新构造运动的关系和不同大地构造单元上的新构造运动特点进行了分析和讨论,进行了中国地貌区划工作。例如新疆综合考察和青藏高原考察,西部地区南水北调的综合考察,云南热带资源综合考察等。这一时期还编制了 1/1000 万中国新构造图。

从 1966 年至 1980 年这一阶段发生了许多地震。为了配合地震预报工作,在新构造运动的定量研究、应力场研究、新构造和深部构造关系等方面以及全新世活动构造等方面都进行了研究。二十世纪 80 年代以前的中国构造地貌学的发展已由王乃樑等做了系统阐述^[3],通过在对以前构造地貌研究状况全面总结的基础上,初步将构造地貌学确立为地貌在内动力作用下形成机制的规律性概括,把构造地貌学确立为研究构造与地貌关系的一门地貌学重要分支学科^[3]。许多成果在第一次构造地貌学术讨论会上得到反映。

第四个阶段是上世纪 80 年代以后至 90 年代中期,构造地貌学进展集中体现在依据构造尺度和板块构造所做的构造地貌划分和构造地貌应用方面的研究,构造地貌学获得了快速的发展。这一时期国家地震局和新疆维吾尔自治区地震局还进行了综合专题研究和大比例尺活断层填图^[6-7]。此外在活动断层的活动性方面有了新的认识,发现断层活动有逐渐传递的现象^[8]。对构造地貌的发育和构造应力场的关系进行了研究,发现地貌对构造应力场有很好的反映^[9]。活断层与地貌发育、活动构造地貌模型等方面也取得了重要成果^[10]。组织开展了中国主要活断层习性对比研究(国际地质对比计划第

206项目),出版了中国活断层图集,总结了多条活断层的活动习性特征^[11]。开展了有关古地震与地震复发与危险性的评估^[12]。

进入九十年代,韩慕康认为构造地貌学是介于地貌学、地球动力学和构造地质学之间的边缘学科,构造地貌研究对象是由新构造运动直接形成的动态的、积极活跃的地貌^[2]。构造地貌学真正地成为了地学领域中一门独立的学科。这一时期在引用板块构造理论阐述中国构造地貌的轮廓、形成机理和区域分异等方面进行了尝试^[13]。同时新构造与构造地貌应用于地震预测、工程建设等方面的研究取得了新进展^[14]。

第五个阶段是1994年至今,在新技术的应用、挤压构造地貌,构造与气候关系等方面有许多新的成果。主要有以下几个方面:

(1) 新技术的应用:主要表现在以下几个方面:高精度仪器(GPS、VLBI、SLR)在研究中得以应用^[15];空间测量精度提高为测量断层的位移提供了高精度的测量数据^[16];利用现代雷达干涉技术获得区域性的运动位移场数据^[15];利用数字化的地震记录,来得到几秒至几分钟内的包括断层位移在内地面位移数据^[15];利用电阻率扫描技术研究活动断层^[17];使用仪器对活动断层进行三维观测^[18]。另外,可视化技术、地理信息系统、网络技术的应用促进了构造地貌学的应用、传播和成果共享^[19]。

(2) 河流地貌和构造运动关系的研究:这一研究具有持久的生命力,其中河流阶地与构造的关系研究的非常多,主要表现为研究阶地变形与构造活动的关系和恢复河流发育历史等方面^[20]。如对黄河^[21]、长江^[9]以及其他干旱区流域^[22-23]河流阶地的研究为这些区域的构造活动提供了重要的证据。此外河流纵剖面、沉积物和洪积扇也是重要的研究内容。对贺兰山冲积扇的研究表明,冲积扇的形态、规模、地貌、结构等不仅受流域特征、山地起伏、气候的影响,而且受新构造等的影响^[24],同时确定了被构造和侵蚀基准面下降控制的洪积扇在长宽比、展开的角度等方面的不同特点^[25]。断层活动引起的河流累计偏移也被用来恢复活动构造区的构造发育历史^[26]。另外水系密度分析法被用于研究渭河盆地隐伏基底构造的最新活动特征^[27]。

(3) 构造地貌发育的模式和模型研究:对挤压构造地貌形成机制和演化模式方面有了很多研究^[1],例如建立了挤压隆起山地边缘不对称地堑发育模式等^[28]。另外在四维地貌模型方面也进行了

研究^[29],即对地貌的三维空间形态随时间演化的模拟。

(4) 年代学方面:出现了根据砾石风化圈厚度估算地貌年龄^[30],以及宇宙核素测年^[31]等新的方法。在黄土高原区可以利用覆盖在地貌体或沉积物之上的黄土古土壤序列,间接地确定某些地貌沉积体的形成年代^[32]。另外出现了构造气候旋回年代学拟合方法,即在假定河流阶地所在地区最高一级阶地形成以来以稳定速率抬升的基本前提下确定河流阶地形成时间的上限,然后在反映气候变化的深海钻孔氧同位素变化曲线选取对应的时段,并按照阶地级序和拔河高度与 $\delta^{18}\text{O}$ 反映气候变暖的峰值年代进行线性拟合,选取相关系数最高的年代为阶地下切的年代,获得不同阶地的形成时代与阶地拔河高度的统计关系^[33]。

(5) 海岸区的构造地貌:综合考虑新构造运动和全球海面变化与海岸带地区地貌发育的关系,然后根据现代地貌面、海岸线和相关沉积等所反映的海面变化与全球海面变化的对比,可以推算沿海地区的新构造抬升速率^[34]。

(6) 活动断层和活动褶皱方面:利用土壤气体组成成分来作为研究工具,结合野外调查对比比利牛斯山脉一处的活动断层进行了研究^[35],开辟了新的研究方法。我国主要是对西北地区的一些活动断层进行了研究^[36],查明了它们的活动规律。活动褶皱方面对北天山的活动褶皱和地震方面进行了大量的研究^[37],获得了这些褶皱的变形特点与活动规律。

(7) 构造分期和构造与气候关系方面:对亚洲形变与全球变冷关系的探索研究认为新生代晚期亚洲形变强烈与全球气候变冷可能有关系^[38]。3 Ma以来的新构造运动被分为三个主幕、七个亚幕和四个旋回、八个亚旋回,将气候变化共分为八个旋回组,并将气候一构造旋回分为八个旋回组^[39]。同时发现火山活动与构造活动相关,多数发生在间冰期^[40]。

(8) 应用方面的研究:除了传统的找矿、工程建设、地震预测等方面的应用,近几年逐渐扩展到了对新构造对土壤的形成、分布及特征、水土流失的影响^[41-43]和新构造运动对水资源环境的运移,分布,水文地球化学性质等^[44]的影响方面。

(9) 青藏高原方面:在利用精密水准复测资料定量计算现代青藏高原上升速率^[45]等方面作了有益的尝试,这使构造地貌研究在理论和方法上前进了一步。夷平面的特征、形成方式和形成所需的时

间等基本问题被系统总结,认为夷平面是确定高原隆升的时间和幅度的相对可靠的根据^[46-47]。青藏高原的隆起对大气环流产生巨大影响^[48],认为在第三纪末期青藏高原以高原面计算海拔不过1 000 m左右,只是在第三纪末和第四纪初高原强烈上升,高原上升到2 000 m以上,是东亚季风稳定形成的时期,强大的西伯利亚—蒙古高气压在冬春季节驱动强劲的西北风,以黄土高原南的边沿山脉为屏障接纳了来自戈壁荒漠的黄土粉尘堆积。最能说明高原隆起的是兰州附近的黄河阶地。近年的研究表明,黄河是1.6 Ma才首次于兰州盆地出现的,在1.1 Ma在上游切穿积石峡,在下游切穿三门峡,终于完成了黄河的上下贯通,这次地壳运动被称为黄河运动^[49]。这是青藏高原在早更新世的又一次强烈隆升,黄土高原则开始了离石黄土堆积,表明环境的又一次巨变。这一类研究把地貌演化与岩石圈运动和大气环流变化联系起来,是构造地貌研究的重要发展。

(10) 理论方面主要进展如下:新构造应力场的作用。不同性质的应力作用可以形成相应的构造地貌格局,在多期应力场的作用下,可见不同力学性质的构造地貌形成或叠加在同一地区。深部构造、包括基底构造的差异活动、地壳厚度的显著变化,上地幔隆起等的作用。它们控制着大型或巨型地貌的形成。地壳介质物理力学性质的差异作用。同样的压应力作用下,塑性介质地区将形成长轴与主压应力方向直交的隆起高地与断、凹陷盆地构成的各种弧线型地貌格局;而刚性介质区形成升降断块相间的棋盘格形或菱形格局,在刚塑性介质混合地区,则形成复杂地貌。

4 研究动向

可以看出构造地貌学已经取得了很大的发展,正在从经验科学发展为高技术武装的现代科学。今后应当从以下几个方面加强研究:

(1) 地表与地下深处研究相结合,与石油勘探和地震研究等部门相联合,将地表构造地貌与地下深部构造以及地球物理反映相联系,讨论它们之间的关系。

(2) 由定性到定量,应用数学方法(概率统计、分形等)、测年方法和野外调查方法获取定量数据,提高构造运动的幅度、速率、周期等精度。另外应用GPS等技术可以获得精度较高的地壳形变的速率、幅度等资料。

(3) 由静态向动态发展,由三维到四维研究构造地貌的演化和发展特别是地貌突变部位和在活动断裂和构造升降应力集中点的表现,以及对构造地貌的动态模拟等。

(4) 野外观察测绘与实验模拟都应进一步加强。

(5) 加强构造分期的研究。与气候序列的研究相比建立构造分期序列的研究显得薄弱,特别是无法进行大范围对比。

(6) 活动断层与构造地貌的关系研究比较多,而与活动褶皱有关的构造地貌有待深入研究。

(7) 与气候变化、环境变化、全球变化相结合的研究,以及自然灾害、资源等方面应用研究是今后一个重要的研究趋势。

(8) 重视新技术、新方法的应用。加强3S技术在构造地貌研究中的应用,同时应该大力学习考古、测量、地球物理和地质等学科的工作方法。

[参考文献]

- [1] 李有利. 河西走廊中段挤压构造地貌形成机制与演化模式[D]. 北京大学, 1994.
- [2] 杨景春, 李有利. 地貌学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.
- [3] 王乃樑, 韩慕康. 构造地貌学的理论、方法、动向与应用[A]. 见: 中国地理学会第一次构造地貌学术讨论会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1984. 1-9.
- [4] 韩慕康. 构造地貌学[J]. 地球科学进展, 1992, 7(5): 61-62.
- [5] 王乃樑, 杨景春. 我国新构造研究的回顾与展望[J]. 地理学报, 1981, 36(2): 135-142.
- [6] 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1983.
- [7] 国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组. 阿尔金活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [8] 杨景春, 林伟凡, 蒋铭, 等. 北京八宝山断裂带近期构造活动及其和地震的关系[J]. 地震学报, 1981, 3(4): 390-398.
- [9] 李恩军, 丁美英. 长江三峡地区构造地貌研究[J]. 水电能源科学, 1996, 14(1): 52-55.
- [10] 杨景春, 郭正堂, 曹家栋. 用地貌学方法研究贺兰山山前断层全新世活动状况[J]. 地震地质, 1985, 7(4): 23-31.
- [11] 丁国瑜主编. 中国活断层图案集(IGCP-206项目)[M]. 北京: 地震出版社, 1989.
- [12] 丁国瑜, 卢演传. 我国现代板内运动状况的初步探讨[J]. 科学通报, 1986, 18: 1 412-1 415.
- [13] 陈志明主编. 中国地貌纲要(1:400万中国及毗邻地区地貌图说明书)[M]. 北京: 中国地图出版社, 1993.
- [14] 国家地震局《中国岩石圈动力学图集》编委会. 中国岩石圈动力学图集—新构造变动图组[M]. 北京: 中国地图出版社, 1991.
- [15] 陈顺, 陈棋福, 李娟. 活动构造研究的一些进展[J]. 中国地震,

- 2001, 17(2): 103-109.
- [16] 赖锡安, 徐菊生, 卓力格, 等. 中国大陆主要构造块体现今运动的基本特征[J]. 中国地震, 2000, 16(3): 213-222.
- [17] Riccardo C, Sabatino P, Antonio O, et al. The use of electrical resistivity tomographies in active tectonics: examples from the Tyrnavos Basin, Greece[J]. Journal of Geodynamics, 2003, 36: 19-35.
- [18] Stemberk J, Kostak B, Vilimek V. 3D monitoring of active tectonic structures[J]. Journal of Geodynamics, 2003, 36: 103-112.
- [19] John F, Shroder J, Michael P, et al. Geomorphology and the World Wide Web[J]. Geomorphology, 2002, 47: 343-363.
- [20] Hsieh M L, Peter L K Knuepfer. Middle-late Holocene river terraces in the Erhjen River Basin, southwestern Taiwan—implications of river response to climate change and active tectonic uplift[J]. Geomorphology, 2001, 38: 337-372.
- [21] 阎满存, 黄光荣, 李保生. 沙坡头地区黄河阶地发育与地貌演化[J]. 中国沙漠, 1997, 17(4): 369-376.
- [22] 李有利, 谭利华, 段峰军, 等. 甘肃酒泉盆地河流地貌与新构造运动[J]. 干旱区地理, 2000, 23(4): 304-309.
- [23] 史兴民, 杨景春, 李有利. 玛纳斯河流阶地变形与新构造运动[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2004, 40(6): 971-978.
- [24] 莫多闻, 朱忠礼, 万林义. 贺兰山东麓冲积扇发育特征[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1999, 35(6): 816-823.
- [25] Viseras C, Maria L Calvache, Soria J M, et al. Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation space. Examples from the Betic Cordillera, Spain[J]. Geomorphology, 2003, 50: 181-202.
- [26] Maruyama T, Lin A. Tectonic history of the Rokko active fault zone (southwest Japan) as inferred from cumulative offsets of stream channels and basement rocks[J]. Tectonophysics, 2000, 323: 197-216.
- [27] 侯建军, 韩慕康. 渭河盆地全新世隐伏构造活动[J]. 地理学报, 1994, 49(3): 258-266.
- [28] 郑文涛, 段峰军, 杨景春. 祁连山北麓挤压隆起山地边缘不对称地堑发育模式研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1996, 32(2): 215-221.
- [29] 王东锐, 杨景春. 四维地貌模型研究[J]. 地理学与国土研究, 2001, 17(5): 20-23.
- [30] 李保俊, 杨景春, 李有利, 等. 根据砾石风化圈厚度估算地貌年龄[J]. 地理研究, 1995, 15(1): 11-21.
- [31] Coltorti M, Farabollini P, Gentili B, et al. Geomorphological evidence for anti-Appennine faults in the Umbro-Marchean Apennines and in the peri-Adriatic basin, Italy[J]. Geomorphology, 1996, 15: 34-45.
- [32] 胡小猛, 傅建利, 李有利. 汾河流域地貌发育对构造运动和气候变化的响应[J]. 地理学报, 2002, 57(3): 317-324.
- [33] 刘小凤, 刘百麓. 应用构造气候旋回年代学方法确定河流阶地形成时代的初步研究[J]. 西北地震学报, 2001, 23(4): 395-403.
- [34] 王庆. 12.4 万年以来山东半岛东北部沿海地区的构造抬升速率[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998, 34(1): 106-113.
- [35] Baubron J C, Rigo A, Toutain J P. Soil gas profiles as a tool to characterize active tectonic areas: The Jaut Pass example (Pyrenees, France)[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 196: 69-81.
- [36] 李有利, 李保俊, 杨景春. 甘肃张掖黑河口断层晚更新世晚期以来的活动[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1995, 31(3): 351-357.
- [37] 邓起东, 冯先岳, 张培震, 等. 天山活动构造[M]. 北京: 地震出版社, 2000.
- [38] 汪品先. 亚洲形变与全球变冷—探索气候与构造的关系[J]. 第四纪研究, 1998, (3): 213-221.
- [39] 朱照宇, 丁仲礼, 汉景泰. 新构造活化与气候恶化[J]. 第四纪研究, 1994, (1): 56-66.
- [40] 刘嘉麒, 郭正府. 火山活动与构造气候旋回[J]. 第四纪研究, 1998, (3): 222-228.
- [41] 李龙堂, 米文宝. 试论新构造运动在土壤形成和分布中的作用—以中国西部为例[J]. 地域研究与开发, 1995, 14(4): 88-94.
- [42] 夏正楷. 宁夏地区的新构造运动与水土流失[J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 32-34.
- [43] 米文宝, 李龙堂. 浅析新构造运动对黄土高原水上流失的影响[J]. 干旱区研究, 1995, 12(3): 1-6.
- [44] 常丕兴, 马致远. 新构造运动与水资源环境[J]. 西安工程学院学报, 1998, 20(2): 24-28.
- [45] 张青松, 周耀飞, 陆祥顺. 现代青藏高原上升程度问题[J]. 科学通报, 1991, (7): 529-531.
- [46] 潘保田, 高红山, 李吉均. 关于夷平面的科学问题—兼论青藏高原夷平面[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 520-526.
- [47] 崔之久, 李德文, 伍永秋. 关于夷平面[J]. 科学通报, 1998, 43(17): 1794-1804.
- [48] 夏正楷. 第四纪环境学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1997.
- [49] Li Jijun. the environmental effect of the uplift of the Qinghai-Xizang plateau[J]. Quaternary Science Reviews, 1991, (10): 479-483.
- [50] 史兴民, 杨景春. 河流地貌对构造活动的响应[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 35-38.
- [51] 杨景春. 中国北部和东北部构造地貌发育和第四纪构造应力状态的关系[J]. 地理学报, 1983, 38(3): 218-228.
- [52] 韩慕康, 朱世龙, 赵景珍, 等. 太行山东麓断裂带南段第四纪构造应力场的地貌表现[J]. 地理学报, 1983, 38(4): 348-356.
- [53] 杨景春, 谭利华, 李有利, 等. 祁连山北麓河流阶地与新构造演化[J]. 第四纪研究, 1998, (3): 229-237.
- [54] 程绍平, 邓起东, 闵伟, 等. 黄河晋陕峡谷河流阶地和鄂尔多斯高原第四纪构造运动[J]. 第四纪研究, 1998, (3): 238-248.
- [55] 杨景春. 延怀盆地中更新世湖侵、新构造运动及古地震问题[A]. 见: 中国活动断裂[C]. 北京: 地震出版社, 1982.