

doi:10.3799/dqkx.2011.105

海原—六盘山地区活动构造的活动时间 厘定:来自光释光测年的限定

肖 骏^{1,2}, 陈汉林^{1,2*}, 林秀斌^{1,2,3}, Karl-Heinz Wyrwoll³, 王旭龙⁴

1. 浙江大学地球科学系, 浙江杭州 310027

2. 教育部含油气盆地构造研究中心, 浙江杭州 310027

3. School of Earth and Environment, The University of Western Australia, 35 Stirling Highway, Crawley, WA 6009, Australia

4. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西西安 710075

摘要: 海原—六盘山地区位于现今青藏高原东北部, 该地区活动构造的研究不仅可以为地震安全评价提供依据, 也可以为第四纪青藏高原的扩展提供限定。在野外地质调查的基础上, 运用光释光定年技术, 限定研究区活动构造的活动时间。研究显示, 海原—六盘山断裂和香山—天景山断裂在晚第四纪存在剧烈活动, 产生了如角度不整合(夷平面)、褶皱和断层构造。这些结果表明, 研究区应该作为地震安全评价的重点关注区域, 同时也显示青藏高原东北部在晚第四纪存在持续的扩展。

关键词: 青藏高原东北部; 构造学; 活动构造; 光释光。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2011)06-0993-06

收稿日期: 2011-04-10

Determination of the Timing of Active Structures in Haiyuan-Liupan Shan Area: Constraints from OSL Dating

XIAO Jun^{1,2}, CHEN Han-lin^{1,2*}, LIN Xiu-bin^{1,2,3}, Karl-Heinz Wyrwoll³, WANG Xu-long⁴

1. Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

2. Structural Research Center of Oil and Gas Bearing Basin, Ministry of Education, Hangzhou 310027, China

3. School of Earth and Environment, The University of Western Australia, Stirling Highway, Crawley, WA 6009, Australia

4. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China

Abstract: Haiyuan-Liupan Shan area is located in the northeastern margin of present Tibetan plateau. The study of the active structures in this area will provide constraints not only for the seismic evaluation but also for the northeastward growth of the plateau. Based on the geological survey and optically stimulated luminescence (OSL) dating, the timing of the active structures has been determined. The results indicate that active structures occurred in Late Quaternary along the Haiyuan-Liupan Shan and Xiangshan-Tianjing Shan faults, forming the structures such as angular unconformity (planation surface), fold and fault. This suggests that Haiyuan-Liupan Shan area should be considered as a focus of seismic evaluation, and also that the Tibetan plateau grew in its northeast margin in Late Quaternary.

Key words: Northeast Tibetan plateau; tectonics; active structure; optically stimulated luminescence (OSL).

海原—六盘山断裂带是现今青藏高原东北部地区一条重要的断裂带, 对该断裂带的研究可以为高原的生长过程提供限定。此外, 该断裂带也是高原边缘地区重要的地震活动带, 区内强震活动频繁, 对这

些活动构造的研究, 特别是活动时间的厘定, 对地震安全和工程评价以及青藏高原第四纪在高原东北部地区的扩展都具有重要意义。前人对本区的构造活动性进行了详细的调查(国家地震局地质所和宁夏

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(No. 41102128)。

作者简介: 肖骏(1983—), 女, 博士, 从事构造地质学研究。E-mail: yef_king@zju.edu.cn。

*** 通讯作者:** 陈汉林(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 从事盆地与造山带构造研究。E-mail: hlchen@zju.edu.cn

回族自治区地震局,1990; Zhang *et al.*, 1991; Burchfiel *et al.*, 1991),另外一些研究涉及到了这一地区的第四纪构造应力场(谢富仁等,2000;崔笃信等,2009)、构造分段活动性(向红发等,1998a,1998b)、断层泥组构(张秉良等,2000)、阶地结构(雷祥义,2006;张智勇等,2003)等.然而,对海原—六盘山地区活动构造的精确年代限定还鲜有报道.本文将选取海原—六盘山地区几个典型的构造剖面,在野外地质调查的基础上,运用光释光测年技术,限定活动构造的活动时间.

1 地质背景

海原—六盘山地区位于现今青藏高原东北缘,西北连祁连山断裂带,东南接秦岭造山带,东部和北部分别为稳定的鄂尔多斯和阿拉善地块.研究区由呈弧形展布的 4 个断裂带组成,分别为海原—六盘山断裂带、香山—天景山断裂带、烟筒山断裂带和牛首山—罗山断裂带(图 1),这些断裂带的走向在北

西段表现为北北西—南南东走向,在南东段变为近南—北走向.

研究区新生代经历了复杂的构造演化.新生代早期,由于受到燕山运动晚期构造事件所形成的山体的后续影响(林秀斌等,2009),研究区普遍缺失古新统,并在始新统下部沉积了一套砾石;始新世和渐新世是研究区构造相对稳定的时期;中新世早期,研究区北部受印度—欧亚板块碰撞影响,开始抬升并发育砾石沉积,而南部尚处于弱伸展环境,发育湖相沉积,中新世中、晚期,研究区在 4 条弧形断裂带控制的区域普遍抬升(Song *et al.*, 2001; Ding *et al.*, 2004; 张培震等,2006;Zheng, *et al.*, 2006; Lin, *et al.*, 2010),使得构造框架基本成形;更新世以来的最新一期构造运动形成了研究区现今的构造、地貌形态.

2 典型剖面的变形特征

本文选取海原—六盘山断裂带不同构造部位上的 3 个典型的活动构造剖面,分别为寺口子剖面、车家湾剖面和小洪沟剖面,对断裂带的活动时间及其演化进行研究.

2.1 寺口子剖面

寺口子剖面位于宁夏固原西北约 25 km 须弥山大佛一带(图 1),地处六盘山—马东山以东,由变形的中、新生界构成,被发源于六盘山—马东山的水系切割而出露,剖面西南端 GPS 为 36. 271140°N, 105. 998460°E;北东端 GPS 为 36. 297490°N, 106. 034310°E.

下白垩统及新生界变形并发生逆冲,逆冲断层使断层上盘早白垩世地层直接覆盖在下盘新生界之上.逆冲断层上盘由于隐伏逆冲断层作用,形成断层传播褶皱,露头上表现为一个背斜和一个向斜构造.这些变形的新生界在变形之后被夷平,发育夷平面,夷平面之上覆盖着的第四纪层序(图 2).

逆冲断层露头如图 3 所示,GPS 为 36. 27827°N, 105. 99403°E.露头中出露 2 个逆冲断层 F₁ 和 F₂,断层倾向北北东.断层 F₁ 上盘由近直立的 K₁ 黄绿色砂岩及角度不整合于其上倾角较缓的第四纪砂砾岩构成,下盘由近水平的第四纪砂砾岩及新生代红色砂岩构造,新生代红色砂岩倾角较陡,两者呈角度不整合接触;新生代砂岩中发育逆冲断层 F₂,F₂ 终止于不整合面.

2.2 车家湾剖面

车家湾剖面位于海原县城以西约 15 km 的南华

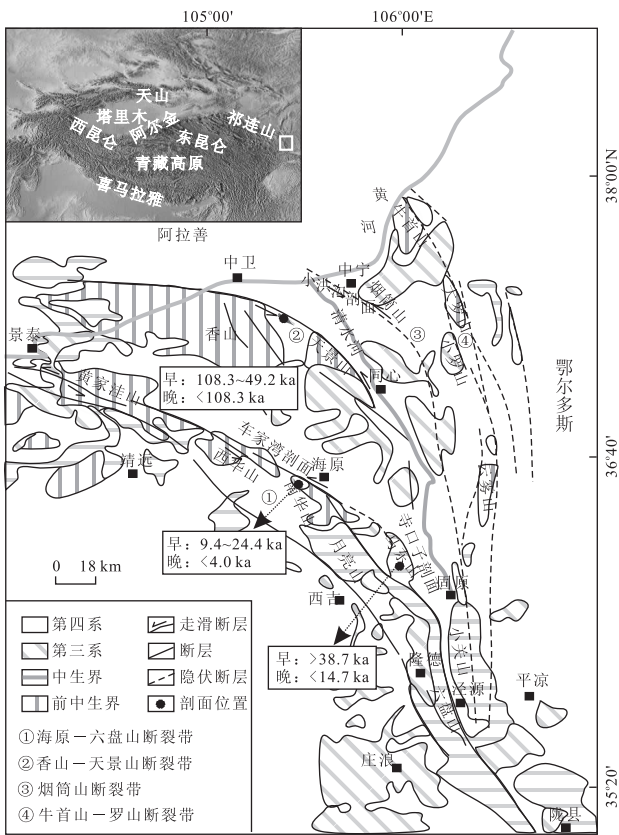


图 1 海原—六盘山地区地质简图及剖面位置(据林秀斌等,2009)

Fig. 1 Simplified geological map of Haiyuan-Liupan Shan area and the section locations

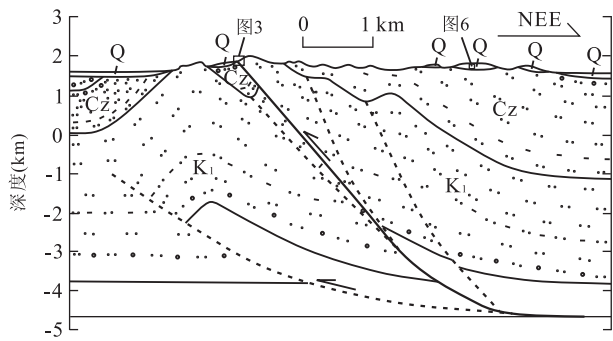


图 2 寺口子剖面构造剖面

Fig. 2 Structures in the Sikouzi section

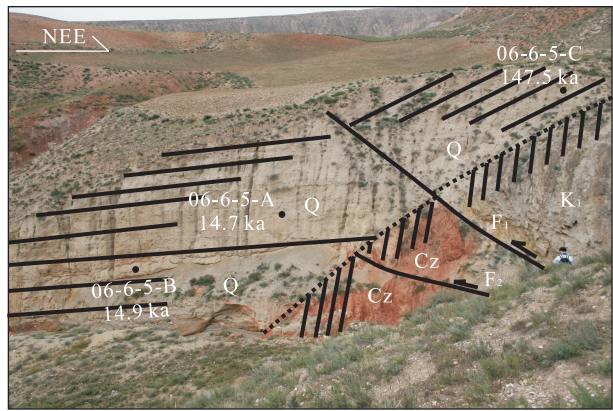


图 3 寺口子剖面逆冲断层野外露头、构造解释及光释光采样位置

Fig. 3 Outcrop of the thrust faults, their structural interpretation and OSL sampling locations of Sikouzi section

山西北的车家湾地区,露头 GPS 为 36. 52542°N, 105. 50835°E. 剖面切过海原断裂带,剖面所处位置如图 1 所示,野外露头照片如图 4 所示.

露头中发育一条逆冲断层,断面产状 80°∠20°. 断层上盘由新生代红色砂岩及不整合覆盖于其上的第四纪砂砾岩组成,不整合面卷入变形并呈近直立产出. 第四纪砂砾岩和新生代红色砂岩均被更新的第四纪沉积物所覆盖. 断层下盘为近水平产出的第四纪砂岩和上覆第四纪砾岩构成.

2.3 小洪沟剖面

小洪沟剖面位于同心县城西北约 35 km 的香山东南麓(图 1),剖面西端 GPS 为 37. 181195°N, 105. 676216°E; 东端 GPS 为 37. 182580°N, 105. 683010°E. 剖面被发源于香山的水系切割而出露,切过香山—天景山断裂带,结构如图 5 所示.

小洪沟剖面为前中生代地层及上覆新生界共同形变构成,包括 5 个断层、1 个低幅背斜和 1 个倾角

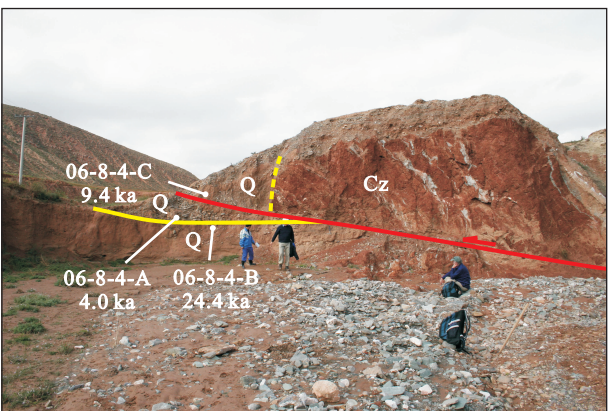


图 4 车家湾剖面野外露头、构造解释及光释光采样位置

Fig. 4 Outcrop, its structural interpretation and OSL sampling locations of Chejiawan section

较陡的单斜. 其中,剖面底部 2 个断层,分别倾向 SSE 和 NNE,倾角均大于 70°,断层具走滑性质,从断层擦痕来看,为左旋走滑. 走滑断层之上为新生代河流相沉积物构成的单斜,单斜产状由下往上变缓,下部产状为 40°∠68°,至上部变为 80°∠53°. 由于该部分新生代河流相沉积地层的产出与上覆第四纪砂砾岩不协调,河流相沉积地层倾向东,而上覆第四纪砂砾岩倾向 NWW,推测两者间存在 1 个隐伏逆冲断层,将河流相沉积地层逆冲至第四纪层序之上,该逆冲断层倾向西. 该隐伏逆冲断层被第四纪重沉积黄土所覆盖. 往上为由第四纪砂砾岩组成的低幅背斜,背斜西翼产状 308°∠14°,东翼产状 93°∠19°,背斜核部近水平. 在背斜东翼第四纪层序中发育 2 条小规模的正断层,产状分别为 10°∠68°和 18°∠59°,2 个断层的滑距均不足 2 m.

3 光释光采样及测年结果

从前述变形特征可见,第四纪层序均卷入了各剖面的变形. 为了限定变形时间,取各剖面第四纪层序中的细粒沉积物进行光释光测年. 光释光测年样品为在野外用长约 25 cm、直径约 8 cm 的不锈钢管在避光的条件下插入剖面中取得.

各剖面的采样方法不同. 寺口子剖面中,为了限定第四纪层序与下伏新生界之间的夷平面和角度不整合的发育时间,在未变形的第四纪层序中从下到上采集了 3 个样品,样号分别为 06-7-2-A、06-7-2-B 和 06-7-2-C,采样位置如图 6. 为了限定逆冲断层的活动时间,分别在逆冲断层 F₁ 上盘经过变形的第四纪砂砾岩采集样品 1 个和下盘近水平产出的第四纪

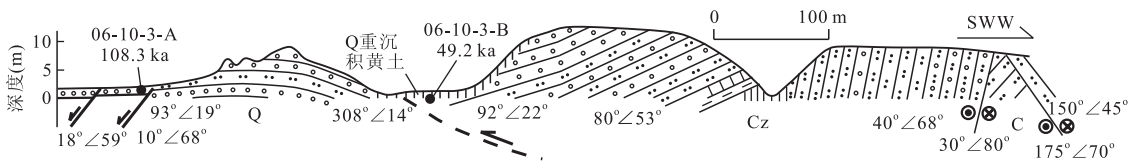


图 5 小洪沟剖面构造剖面及光释光采样位置(林秀斌等,2009)

Fig. 5 Structural section and OSL sampling locations of Xiaohonggou section

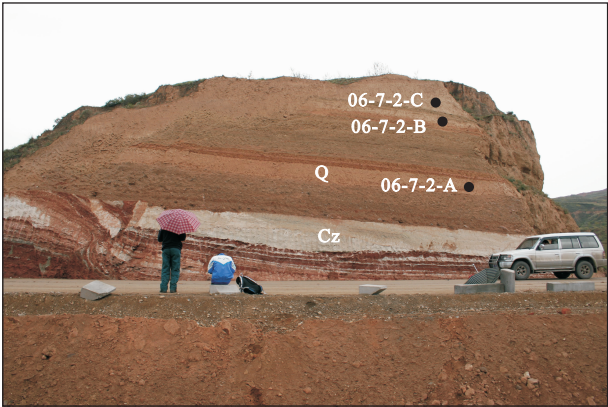


图 6 寺口子剖面光释光采样位置

Fig. 6 OSL sampling locations of Sikouzi section

层序中采集样品 2 个,样号分别为 06-6-5-C 和 06-6-5-A、06-6-5-B,采样位置如图 3. 车家湾剖面中,分别在断层上盘卷入变形的第四纪砾岩和下盘近水平产出的第四纪砂砾岩中采集细粒沉积物样品,样号分别为 06-8-4-A 和 06-8-4-B、06-8-4-C(图 4). 小洪沟剖面中,为了限定引起第四纪层序变形的隐伏逆冲断层、低幅背斜和小规模正断层的活动时间,分别在低幅背斜的东翼第四纪砂砾岩和覆盖隐伏逆冲断层的第四纪重沉积黄土中采集样品,样号分别为 06-10-3-A 和 06-10-3-B,采样位置如图 5.

采集的样品在中科院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室进行处理和测试,测试采用校正感量变化的多片再生法,样品处理和测试过程参见 Lu *et al.* (2007),测试结果列于表 1. 光释光测年结果显示沉积物的沉积年龄绝大部分在晚更新世以后,部分样品显示出全新世的年龄. 在连续沉积的沉积物中,上覆沉积物的年龄明显小于下伏沉积物的年龄,表明光释光测年结果可靠.

4 讨论

野外剖面变形特征的地质调查与光释光测年相结合为揭示构造活动时间提供了可能.

寺口子剖面中,第四纪层序角度不整合于新生

界之上,对不整合面(夷平面)以上的沉积物(样品 06-7-2-A、06-7-2-B 和 06-7-2-C)的光释光定年显示出 26.4~38.7 ka 的年龄,且年龄值从下伏层序往上减小,表明测试所得的年龄值合理可信. 这 3 个样品的定年结果表明,寺口子剖面新生界与上覆第四纪层序之间不整合面(夷平面)的发育时间应该早于 38.7 ka,而新生界的褶皱变形时间应该更早. 对于寺口子剖面控制新生界褶皱变形和露头处第四纪层序变形的逆冲断层,其早期活动应该早于新生界与第四纪层序之间不整合面(夷平面)的发育时间,该断层最新一次活动,应该晚于断层下盘第四纪层序的年龄,即晚于 14.7 ka.

车家湾剖面中,逆冲断层上、下盘的第四纪砂砾岩的年龄可以限定该剖面中断层及其上、下盘 2 个不整合面的发育时间. 逆冲断层上盘不整合面之上的第四纪砂砾岩(样品 06-8-4-C)的光释光年龄为 9.4 ka,显示断层上盘不整合面的发育时间应早于 9.4 ka. 断层下盘不整合面上、下两套第四纪砂砾岩(分别为样品 06-8-4-A 和 06-8-4-B)的光释光年龄分别为 4.0 和 24.4 ka,表明该不整合面发育时间介于 24.4~4.0 ka 之间,且剖面中出露的逆冲断层的最新活动时间应晚于 4.0 ka.

小洪沟剖面中,经历变形的第四纪层序(样品 06-10-3-A)和隐伏逆冲断层之上覆盖的未变形第四纪重沉积黄土(样品 06-10-3-B)的光释光定年可以限定隐伏逆冲断层、低幅度背斜和 2 个小规模正断层的活动时间. 隐伏逆冲断层和低幅度背斜的活动时间应该介于样品 06-10-3-A 和 06-10-3-B 的年龄之间;而 2 个小规模正断层的活动时间则应晚于样品 06-10-3-A 的年龄,其上限暂不能确定. 样品 06-10-3-A 的年龄为 108.3 ka,样品 06-10-3-B 的年龄为 49.2 ka,表明小洪沟剖面隐伏逆冲断层、低幅度背斜活动时间为 108.3~49.2 ka 之间;而小规模正断层的活动时间晚于 108.3 ka.

按照邓起东等(2004)对活动构造所下的定义,即活动构造是指晚第四纪 100~120 ka 以来发生过活动、现在正在活动、未来一定时期内仍可能发生活

表 1 光释光样品测年结果
Table 1 OSL dating results

剖面	样号	U(10 ⁻⁶)	Th(10 ⁻⁶)	K(%)	含水量(%)	环境剂量(Gy/ka)	等效剂量(Gy)	年龄(ka)
寺口子	06-6-5-A	5.93±0.17	11.55±0.25	2.54	20±3	4.82±0.23	70.7±6.8	14.7±1.6
寺口子	06-6-5-B	6.01±0.17	11.76±0.26	2.50	20±3	4.83±0.24	72.1±6.7	14.9±1.6
寺口子	06-6-5-C	4.72±0.15	12.50±0.28	2.26	20±3	4.33±0.21	638.2±23.9	147.5±9.0
寺口子	06-7-2-A	2.79±0.11	11.06±0.24	1.96	20±3	3.41±0.16	90.1±2.4	26.4±1.4
寺口子	06-7-2-B	2.76±0.11	10.95±0.24	1.87	20±3	3.32±0.15	97.3±2.4	29.3±1.5
寺口子	06-7-2-C	2.70±0.11	10.15±0.22	1.93	20±3	3.29±0.15	127.4±1.8	38.7±1.8
车家湾	06-8-4-A	1.91±0.11	11.25±0.25	2.00	20±3	3.21±0.14	12.8±0.7	4.0±0.3
车家湾	06-8-4-B	2.44±0.11	11.72±0.26	2.34	20±3	3.68±0.16	89.8±1.4	24.4±1.1
车家湾	06-8-4-C	3.33±0.13	15.71±0.33	1.97	20±3	3.95±0.19	37.3±4.1	9.4±1.1
小洪沟	06-10-3-A	2.72±0.11	10.54±0.23	1.34	20±3	2.97±0.15	321.5±14.1	108.3±7.3
小洪沟	06-10-3-B	3.17±0.10	9.95±0.22	1.69	20±3	3.08±0.14	151.6±5.9	49.2±3.0

动的构造,本文所研究的寺口子剖面新生界与第四系间的不整合、逆冲断层,车家湾剖面逆冲断层、断层下盘的不整合面以及小洪沟剖面的隐伏逆冲断层、低幅度背斜和小规模正断层,均符合活动构造 100~120 ka 以来发生过活动的条件.因此,在地震安全性评价过程中,这 3 个剖面所切过的海原—六盘山断裂带和香山—天景山断裂带值得重点关注.活动构造同时也能反映现代地球动力学作用(邓起东等,2003),本文所研究的地区位于现今青藏高原的东北边缘,研究结果表明,晚第四纪时,高原在东北边缘地区经历了重要的扩展,造成了如角度不整合、褶皱及断层等变形痕迹,并造就了海原—六盘山地区现今的构造地貌格局.

5 结论

对现今青藏高原东北部海原—六盘山地区典型剖面的地质调查结合光释光测年结果表明:(1)研究区的海原—六盘山断裂和香山—天景山断裂在晚第四纪存在剧烈活动,产生了如角度不整合、褶皱和断层构造;(2)精确的定年结果表明,这些构造的活动时间符合活动构造的定义中关于 100~120 ka 以来发生过活动的条件,是地震安全评价中值得重视的地区;(3)研究区晚第四纪的构造活动表明青藏高原持续向东北部扩展的过程.

致谢:对卢演侑研究员在研究过程中的指导深表谢意;感谢澳大利亚西澳大学 Bryan Krapez 博士(现澳大利亚科廷科技大学)一起参加野外工作;感谢长庆油田付金华教授级高工为野外工作提供的帮助;感谢浙江大学“汤永谦学科建设发展基金”和国家留学基金委“国家建设高水平大学公派研究生项

目”为研究的国际合作提供资助.

References

Burchfiel, B. C., Zhang, P. Z., Wang, Y. P., et al., 1991. Geology of the Haiyuan fault zone, Ningxia-Hui autonomous region, China, and its relation to the evolution of the northeastern margin of the Tibetan plateau. *Tectonics*, 10(6): 1091—1110. doi:10.1029/90TC02685

Cui, D. X., Hu, Y. X., Wang, W. P., et al., 2009. Coulomb stress accumulation along Haiyuan fault zone. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(4): 641—650 (in Chinese with English abstract).

Deng, Q. D., Chen, L. C., Ran, Y. K., 2004. Quantitative studies and applications of active tectonics. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 383—392 (in Chinese with English abstract).

Deng, Q. D., Zhang, P. Z., Ran, Y. K., et al., 2003. Active tectonics and earthquake activities in China. *Earth Science Frontiers*, 10 (Suppl.): 66—73 (in Chinese with English abstract).

Ding, G. Y., Chen, J., Tian, Q. J., et al., 2004. Active faults and magnitudes of left-lateral displacement along the northern margin of the Tibetan Plateau. *Tectonophysics*, 380(3—4): 243—260. doi:10.1016/j.tecto.2003.09.022

Institute of Geology, State Seismological Bureau and Seismological Bureau of Ningxia Autonomous Region, 1990. Haiyuan active fault belt. Seismological Press, Beijing (in Chinese).

Lei, X. Y., 2006. Models of loess stratigraphical structure on the terraces in the Loess plateau of China. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 26(2): 113—122 (in Chinese with English abstract).

Lin, X. B., Chen, H. L., Karl-Heinz, W., et al., 2010. Com-

- mencing uplift of the Liupan Shan since 9.5 Ma; evidences from the Sikouzi section at its east side. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37(4): 350—360. doi: 10.1016/j.jseas.2009.09.005
- Lin, X. B., Chen, H. L., Karl-Heinz, W., et al., 2009. Uplift of the northeastern Tibetan plateau; evidences from the Xiaohonggou Section in Tongxin, Ningxia. *Acta Geologica Sinica*, 83(4): 455—467 (in Chinese with English abstract).
- Lu, Y. C., Wang, X. L., Wintle, A. G., 2007. A new OSL chronology for dust accumulation in the last 130,000 years for the Chinese Loess plateau. *Quaternary Res.*, 67(1): 152—160. doi: 10.1016/j.yqres.2006.08.003
- Song, Y. G., Fang, X. M., Li, J. J., et al., 2001. The Late Cenozoic uplift of the Liupan Shan, China. *Sci. China (Ser. D)*, 44 (Suppl.): 176—184. doi: 10.1007/BF02911985
- Xiang, H. F., Guo, S. M., Zhang, B. L., et al., 1998a. Research on the active structure of the eastern foot of Liupanshan Mountain. *Recent Developments in World Seismology*, 7: 24—27 (in Chinese with English abstract).
- Xiang, H. F., Guo, S. M., Zhang, B. L., et al., 1998b. Active features of the eastern Liupanshan piedmont reverse fault zone since Late Quaternary. *Seismology and Geology*, 20(4): 321—327 (in Chinese with English abstract).
- Xie, F. R., Shu, S. B., Dou, S. Q., et al., 2000. Quaternary tectonic stress field in the region of Haiyuan-Liupanshan fault zone to Yinchuan fault-depression. *Seismology and Geology*, 22(2): 139—146 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, B. L., Xiang, H. F., Guo, S. M., et al., 2000. The fabric of fault gouge from the eastern Liupanshan piedmont fault zone and their implication. *Seismology and Geology*, 22(1): 47—52 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, P. Z., Burchfiel, B. C., Peter, M., et al., 1991. Amount and style of late Cenozoic deformation in the Liupan Shan area, Ningxia Autonomous region, China. *Tectonics*, 10(6): 1111—1129. doi: 10.1029/90TC02686
- Zhang, P. Z., Zheng, D. W., Yin, G. M., et al., 2006. Discussion on Late Cenozoic growth and rise of northeastern margin of the Tibetan plateau. *Quaternary Sciences*, 26(1): 5—13 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. Y., Yu, Q. W., Zhang, K. X., et al., 2003. Geomorphological evolution of Quaternary river from Upper Yellow river and geomorphological evolution investigation for 1 : 250,000 scale geological mapping in Qinghai-Tibet plateau. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(6): 621—626 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, D. W., Zhang, P. Z., Wan, J. L., et al., 2006. Rapid exhumation at ~8 Ma on the Liupan Shan thrust fault from apatite fission-track thermochronology: implications for growth of the northeastern Tibetan plateau margin. *Earth and Planetary Science Letters*, 248(1—2): 198—208. doi: 10.1016/j.epsl.2006.05.023

附中文参考文献

- 崔笃信, 胡亚轩, 王文萍, 等, 2009. 海原断裂带库仑应力积累. *地球科学——中国地质大学学报*, 34(4): 641—650.
- 邓超东, 陈立春, 冉勇康, 2004. 活动构造定量研究与应用. *地学前缘*, 11(4): 383—392.
- 邓超东, 张培震, 冉勇康, 等, 2003. 中国活动构造与地震活动. *地学前缘*, 10(增刊): 66—73.
- 国家地震局地质所, 宁夏回族自治区地震局, 1990. 海原活动断裂带. 北京: 地震出版社.
- 雷祥义, 2006. 黄土高原河谷阶地黄土地层结构模式. *海洋地质与第四纪地质*, 26(2): 113—122.
- 林秀斌, 陈汉林, Karl-Heinz, W., 等, 2009. 青藏高原东北部隆升: 来自宁夏同心小洪沟剖面的证据. *地质学报*, 83(4): 455—467.
- 向宏发, 魏顺民, 张秉良, 等, 1998a. 六盘山东麓地区活动构造研究. *国际地震动态*, 7: 24—27.
- 向宏发, 魏顺民, 张秉良, 等, 1998b. 六盘山东麓活动逆断裂构造带晚第四纪以来的活动特征. *地震地质*, 20(4): 321—327.
- 谢富仁, 舒塞兵, 窦素芹, 等, 2000. 海原、六盘山断裂带至银川断陷第四纪构造应力场分析. *地震地质*, 22(2): 139—146.
- 张秉良, 向宏发, 魏顺民, 等, 2000. 六盘山东麓断裂断层泥的组构特征及其意义. *地震地质*, 22(1): 47—52.
- 张培震, 郑德文, 尹功明, 等, 2006. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论. *第四纪研究*, 26(1): 5—13.
- 张智勇, 于庆文, 张克信, 等, 2003. 黄河上游第四纪河流地貌演化——兼论青藏高原 1 : 25 万新生代地质填图地貌演化调查. *地球科学——中国地质大学学报*, 28(6): 621—626.