

公元 600 年秦陇地震考证与发震构造探讨

史志刚^{1,2,3},袁道阳^{2,3},李廷栋¹,耿树方¹,雷中生²,刘兴旺^{2,3},何文贵^{2,3},金卿^{2,3}

1. 中国地质科学院地质研究所,北京 100037
2. 中国地震局兰州地震研究所,兰州 730000
3. 兰州地球物理国家野外科学观测研究站,兰州 730000

摘要 公元 600 年 12 月 16 日,甘肃天水与陕西陇县一带,发生 1 次强烈地震,造成严重的震害及社会影响。长期以来,对公元 600 年秦陇地震的确切震级、震中位置、震中烈度的认识存在分歧,对该次地震的发震构造不甚明确。秦陇地区位于南北地震带的北段,在构造上处于鄂尔多斯块体西南缘与青藏块体东北部的祁连断褶带之间的过渡地带。对公元 600 年秦陇地震详细考证,对其发震构造进行探讨,对于评定秦陇地区的地震活动性、分析其未来地震危险性有重要意义。本文收集有关公元 600 年秦陇地震的相关史料及研究成果,发现一些新的可能与该次地震有关的佐证资料,通过史料考证及震害分析,推断公元 600 年秦陇地震震中应在天水陇县之间,更靠近陇县的陕西境内,震中烈度达 IX 度,震级 $6\frac{3}{4}$ 级左右,本次地震极震区长轴方位大致与陇县-宝鸡断裂带相吻合。经过野外实地考察,综合分析认为,公元 600 年秦陇 $6\frac{3}{4}$ 级地震的发震构造为固关-县功断裂带的八渡-龙尾段。

关键词 公元 600 年秦陇地震;历史地震考证;发震构造;固关-县功断裂带

中图分类号 P65

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.12.008

Textual Research of A.D. 600 Qin-Long Earthquake and Discussion on Its Seismogenic Structure

SHI Zhigang^{1,2,3}, YUAN Daoyang^{2,3}, LI Tingdong¹, GENG Shufang¹, LEI Zhongsheng²,
LIU Xingwang^{2,3}, HE Wengui^{2,3}, JIN Qing^{2,3}

1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China
2. Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China
3. Lanzhou National Observatory of Geophysics, Lanzhou 730000, China

Abstract A.D. 600 December 16, a strong earthquake occurred in an area including Tianshui, Gansu Province and Longxian, Shaanxi Province, which caused serious damage and social impact. For a long time, there were different understandings of its exact magnitude, epicenter and epicentral intensity, the seismogenic structure was also unclear. The Qin-Long area was a transitional zone between the southwestern margin of the Ordos block and the Qilian fault fold belt of northeastern Qinghai-Tibet block. It was significant to detailedly study A.D. 600 Qin-Long earthquake and discuss its seismogenic structure. The historical datum on A.D. 600 Qin-Long earthquake were collected and the previous works done by other scholars were also consulted. In Addition, A few of supporting information that was possibly related to this earthquake was discovered. Through studying the historical datum and analyzing the damages on this earthquake, the epicenter of A.D. 600 Qin-Long earthquake may located between Tianshui and Longxian, which is closer to the latter. Its epicentral intensity was inferred as IX and magnitude was about $6\frac{3}{4}$. The orientation of the long axis of the meizoseismal area was roughly consistent with Longxian-Baoji fault zone. By conducting the field investigation and comprehensively analyzing datum of this earthquake, the seismogenic structure of A.D. 600 Qin-Long earthquake may be concluded as Badu-Longwei segment of Guguan-Xiangong fault zone.

Keywords A.D. 600 Qin-Long earthquake; textual research of historical earthquake; seismogenic structure; Guguan-Xiangong fault

收稿日期: 2013-03-21;修回日期:2013-04-20

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDB03020201);国家自然科学基金重点项目(41030317)

作者简介: 史志刚,博士研究生,研究方向为活动构造及其应用研究,电子邮箱: cngsszg@126.com

0 引言

据史料记载,公元600年12月16日,在甘肃天水与陕西陇县一带发生1次强烈地震,造成了严重的震害及社会影响。由于历史久远、史料记载不详等原因,对公元600年秦陇地震的确切震中位置、震级及烈度等的认识存在分歧^[1-3],对其发震构造也一直不明确。秦陇地区位于南北地震带的北段,在构造上处于鄂尔多斯块体西南缘与青藏块体东北部的祁连山褶皱带之间的过渡地带。对公元600年秦陇地震进行详细考证,对其发震构造进行探讨,对于评定该区的地震活动性及分析其未来地震危险性有重要意义。

本文通过对公元600年秦陇地震历史资料的重新考证,获得了一些新的资料,并结合野外实地调查的研究结果,对这次地震的相关参数和发震构造有了较明确的认识。

1 主要史料

1.1 公元600年秦陇地震史料

隋文帝开皇二十年十一月戊子(初三夜),即公元600年12月16日晚,在甘肃天水与陕西陇县一带,发生1次强烈地震。记载此次地震的史料主要有4条^[4]:

1)《隋书·五行志》记载:“开皇二十年十一月京都大风,发屋拔树,秦陇压死者千余人。地大震,鼓皆应。净刹寺钟三鸣,佛殿门锁自开,铜像自出户外。”

2)《隋书·炀帝纪》记载:“及太子勇废,立上为皇太子。是月,当受册。高祖曰:‘吾以大兴公成帝业。’令上出舍大兴县。其夜,烈风大雪,地震山崩,民舍多坏,压死者百余口。”

3)《隋书·高祖纪》记载:“开皇二十年十一月戊子,天下地震,京师大风雪。”

4)宋代李昉等的《太平御览》卷八八〇记载:“隋文帝开皇二十年,废太子勇,以晋王广为皇太子。将册之夜,烈风大雪,地震山崩,民舍多坏,杀人。”

1.2 史料研究

由于该次地震发生距今已有1400多年,资料稀少,记载极为笼统,所以前人对本次地震未进行详细考证。

《中国地震目录》^[5]注意到西安“烈风大雪,地震山崩,民舍多坏,压死者百余口”,将本次地震震中定在西安(34.3°N, 108.9°E),震级 $5\frac{1}{2}$,震中烈度VII度。并注有:“舍坏,死人,可能与大风雪有关。”

《陕甘宁青四省(区)强地震目录》^[6]中充分考虑到“天下地震”,“秦陇压死者千余人”的记载,将震中定在陕西陇县与甘肃天水间(34.9°N, 106.9°E),震级 $6\frac{1}{2}$,震中烈度VIII度。并注有:“隋秦州治上邽,今天水市西北,辖境为今会宁、庄浪、张家川、甘谷、天水一带。陇州治千源,今陕西陇县,辖境为今陕西千水流域及宝鸡以西至甘肃界地。”

1995年国家地震局震害防御司编写的《中国历史强震目录》^[7],将震中定在天水、陇县之间(34.5°N, 106.5°E),精度5

类,震级 ≥ 6 级,未给出震中烈度。显然,1995年版《中国历史强震目录》,是将《中国地震目录》、《陕甘宁青四省(区)强地震目录》2个目录进行综合,震级取了两者之间,并将2个目录中的“注”同时收入。

但这3份目录有关该次地震的极震区范围、可能的发震构造等并没有明确的认识。

2 公元600年秦陇地震基本参数讨论

2.1 佐证资料分析

由于该次地震发生在距今1400多年前的隋代,在新资料的补充上遇到很大困难。近年来,本研究组在对天水地区的历史地震进行考证时,发现一些可能与本次地震有关的佐证资料。

2.1.1 清水出土的王氏墓小石刻记载

由清水地方志编纂委员会办公室重印的《乾隆清水县志》记到:“王氏墓,邑东三十里车道沟,口五代渭州刺史张崇妻为盗所迫,不屈而死,家人葬之,后为蜀王承俭防番城,至上邽山下,获一瓦罐,内罐内无屍骨,……有小石刻,篆曰:‘大隋开皇二年,渭州刺史张崇妻王氏,年二十五,适崇三年而妊,为盗所陷,持节而逝。铭曰:车道之北,邽山之阳,深深葬玉,郁郁埋冈。刻斯坚石,焕乎遗芳。地变陵谷,险裂城隍。此时为蜀乾德丙子年,坏者合郎。’此时为蜀乾德丙子年,合郎乃承俭小字,因迁于车道之北。”由于这是一则传说,所以时代、干支有误。这段话表明,隋开皇二年,即该次地震18年前,渭州刺史张崇的妻子,只有25岁,又怀孕在身,当时为强盗所逼迫,宁死不屈而亡。家人就在车道之北,邽山的阳坡,埋葬了她。后由于“地变陵谷,险裂城隍”,王氏墓遭到了破坏。到五代蜀乾德年间,王承俭在这里修筑防番城时,又重新修整了墓地,并留下瓦罐和瓦罐中的小石刻,记载王氏墓遭破坏后重新埋葬的情况。对于“地变陵谷,险裂城隍”,显然指的是地震,而且这次地震造成大规模的山崩地裂,连当时的城隍(应指渭州城垣)也差一点裂开。显然这次地震应发生在开皇二年之后到五代蜀乾德之前,即公元583—910年。在这期间,天水地区只发生过公元600年、公元734年2次大地震。所以,王氏墓的破坏,应与这2次地震有关。

2.1.2 麦积山石窟的破坏与本次地震的关系

麦积山石窟位于天水市北道区麦积乡,《太平广记》卷三百五十七引《玉堂闲话》云:“麦积山者,北跨清渭,南渐两当,五百里岗峦,麦积处其半。崛起一块石,高百万寻,望之团团,如民间麦积之状,故名此山。”麦积山石窟的始创年代,说法不一,但《玉堂闲话》的佚名作者为五代时人,作者引出古人的记云:“六国共修”,则为最早记载。估计在南北朝时期(公元420—589年),就曾对麦积山进行过大规模修整及扩凿。南北朝后的第一个朝代是隋朝。值得注意的是,据现存的麦积山《秦州雄吴军陇城献帝刘保指应侯再葬佛舍利记》残碑记载:“隋文皇仁寿元年再修龛窟,葬舍利,建此宝塔,赐净念

寺”,也就是说,公元 600 年地震后的第 2 年,即开皇二十一年(公元 601 年),又对麦积山进行 1 次大规模整修,尤以七佛阁等为重修重点,同年 6 月 13 日,隋文帝杨坚还下诏将寺院赐名为“净念寺”。一些文史工作者认为公元 600 年地震对麦积山造成了破坏,才促使第 2 年对此进行修整^[5]。

2.2 震中位置的确定

2.2.1 史料分析

据史料记载,公元 600 年地震破坏最重、伤亡最大的应是秦州和陇州。

秦州,今甘肃天水市区。隋文帝开皇三年(公元 583 年),罢郡置秦州。炀帝大业三年(公元 607 年)复为天水郡。唐高祖武德二年(公元 619 年)复为秦州,州治上邽。领县 5:上邽(本汉邽县)、清水、成纪、伏羌、陇城。辖境相当于今静宁及庄浪、张家川以南和甘谷、天水一带。

陇州治汧源,今陕西陇县县城,辖境相当于汧水流域及宝鸡市以西的甘肃境界。

2.2.2 震害分布分析

除秦州、陇州压死者千余人外,本次地震还造成京师屋舍倒塌,压死百余人的破坏和损失。隋开皇二年至三年(公元 582—583 年),隋在汉长安城东南龙首塬南侧筑大兴城。隋开皇三年(公元 583 年),迁都于此。故址相当于今西安城和城南、城东、城西一带。京师的破坏相当于 VII 度。而清水王氏墓石刻记载,当时渭州“险裂城隍”,就是城垣差点裂开,烈度可定为 V~VI 度。渭州本汉襄武县地,曹魏移陇西郡治于此县。北魏于此置渭州,因渭水为名。渭州即今陇西县。陇西县烈度明显低于长安。所以震中应在天水陇县之间,更靠近陇县的陕西境内(34.7°N,106.5°E),陇县西南喇嘛山一带,精度 4 类,误差 50~100km。

2.3 震中烈度及震级的评定

2.3.1 震中烈度的确定

1) 从人员死亡推断,公元 600 年地震震中区压死千余人,隋时,这里没有大的城镇,人口也相对稀少,所以估计震中烈度 IX~X 度。

2) 从长安 VII 度影响推断,京师长安遭到约 VII 度破坏,长安距震中 300km,从西北地区地震影响场的经验推断,震中烈度应在 X 度。

3) 从清水王氏墓推断,如果清水县以东的车道沟王氏墓在该次地震中受到破坏,造成“地变陵谷”,估计烈度在 IX 度。震中烈度可达到 IX~X 度。

4) 从麦积山破坏推断,虽然没有直接记载麦积山因地震而遭破坏的史料,但地震后第 2 年大规模整修麦积山及七佛阁,推断可能与地震有关。2008 年 5 月 12 日,四川汶川 8 级大地震时,虽然震中距麦积山 300 多公里以上,但麦积山仍遭到破坏,而公元 600 年地震震中距麦积山很近,所以遭到破坏是有可能的。如果麦积山遭到 VII~VIII 度破坏,推断震中烈度也应在 IX 度或 IX 度以上。

考虑到部分史料还存在不确定因素,综合评定,公元 600

年地震震中烈度 IX 度。

2.3.2 震级的估算

这次地震虽然没有过多史料记载,但从《隋书·高祖纪》“天下大震”4 个字的描述,可知该次地震波及范围很广,否则不足以描绘成“天下大震”。推断震级应在 7 级左右。

从中国西部震级和烈度的关系式^[3]

$$M_s=0.605I_0+1.376$$

式中, M_s 为震级, I_0 为震中烈度。计算可得: $M_s=6.82$ 级。综合评定,公元 600 年地震震级 $6\frac{3}{4}$ 级,震中烈度 IX 度。

3 公元 600 年秦陇地震发震构造讨论

根据地震历史资料的考证分析,结合天水、陇县、清水、凤翔和西安等的地理位置,本研究组圈定了公元 600 年秦陇地震的重破坏区(VIII~IX 度)(图 1)。该地震的重破坏区长轴方向为北北西向,大致与陇县-宝鸡断裂带走向相吻合,范围基本含盖了陇县-宝鸡断裂带的 4 条分支断裂带。

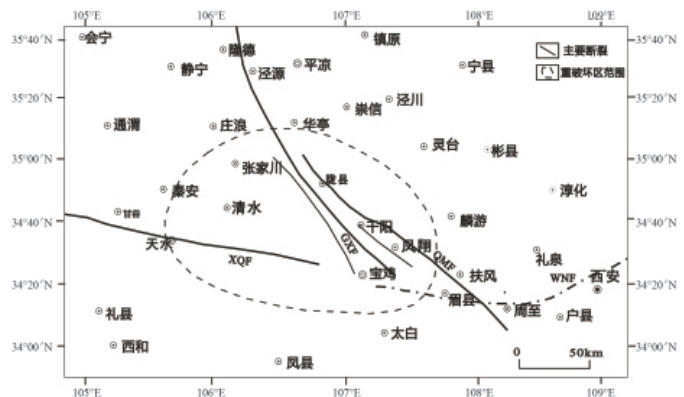


图 1 公元 600 年秦陇地震重破坏区

Fig. 1 Damaged area of AD 600 Qin-Long earthquake

注: XQF, 西秦岭北缘断裂; WNF, 渭河南缘断裂; GXF, 固关-县功断裂; QMF, 岐山-马召断裂。

Notes: XQF, North Margin fault of West Qinling; WNF, South Margin fault of Weihe; GXF, Guguan-Xiangong fault; QMF, Qishan-Mazhao fault.

3.1 陇县-宝鸡断裂带活动特征概述

六盘山断裂南段的陇县-宝鸡断裂带从西往东依次包括 4 条断裂,分别是桃园-龟川寺断裂,固关-县功断裂,千阳-彪角断裂及陇县-岐山-马召断裂。其中固关-县功断裂和陇县-岐山-马召为其主干断裂。这 4 条断裂相向而倾,形成了一隆二凹的构造格局。这 4 条断裂组成的断裂束北窄南宽,由西北向东南呈发散状逐渐散开。整个断裂带延伸长度 120~140km。

前人对固关-县功断裂的初步研究认为,该断裂可能为一条晚更新世断裂或全新世活动断裂^[6]。本研究组在航片、卫片解译的基础上,通过野外调查,对该断裂的运动特性重新进行了追踪研究,对该断裂的活动性有了新认识。图 2、图 3

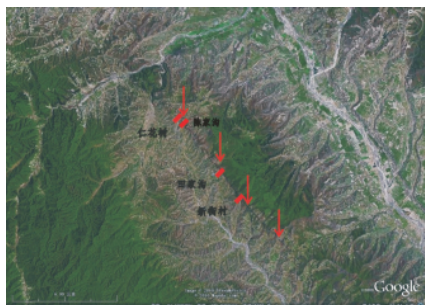


图2 八渡-龙尾段断裂地貌(底图源自 Google Earth)
Fig. 2 Fault geomorphic features of the Badu-Longwei segment

实景照片为本研究组 2010 年 6 月在陕西宝鸡附近野外拍摄。固关-县功断裂的八渡-龙尾段卫星图片显示十分清楚(图 2,断裂北东盘多处可见高 80~100m 的基岩陡崖以及新形成的基岩断层陡坎,几乎每条冲沟跨过断裂时均形成跌水、悬沟等,最新坎高 2~3m。

仁花树附近见断层垭口宽约 50m 及新的基岩断层陡坎

(图 3(a))。在田家沟脑发育断层崖地貌,在断层附近形成跌水(图 3(b))。在史家湾对面郑家沟(图 3(c))内的北支沟可见非常清晰的基岩断层陡坎,坎高 2~3m,断层切错一系列山脊冲沟等,新活动明显。在双场下(图 3(d))断层地貌清晰,可见到断层陡坎和断层陡崖及古滑坡体等。

在仁花树郑家沟脑北支沟内见 1 个天然断层剖面(图 4(a)),断面上有明显的垂向擦痕,显示正断性质,断层产状 $255^{\circ} \angle 60^{\circ}$ (图 4(b))。

断层两盘均为中、晚奥陶纪灰岩①,呈厚层状(图 4(b))。从剖面局部放大图(图 4(c))可看到一个楔状构造体。在楔的底部沉积有少量鲜紫红色砾岩③,从颜色和组份上推断母岩为白垩系岩层。楔体的中部,即楔体的主体是淡土黄色土层、亚黏土等土状沉积物④,成分较纯。在层④顶面和底面各采集了 1 个 ^{14}C 样品,采样位置如图 4(c)所示,测年结果分别为 5.8ka BP 和 3.8ka BP。楔体的上部是土灰色砂土层⑤,含有较多砾石。断层下盘基岩与层⑤顶面之间形成一个陡坎。地层单元③、④和⑤共同构成了两期典型的韵律沉积构造^[7]。

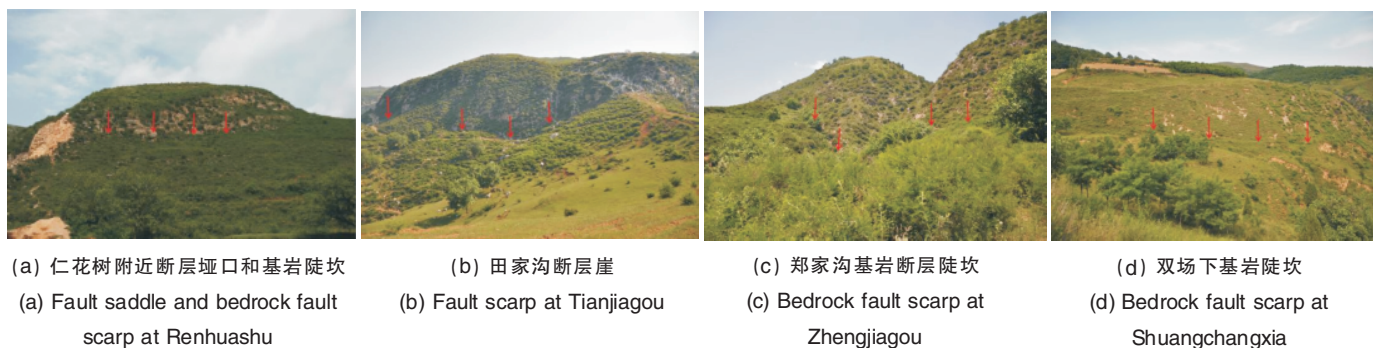
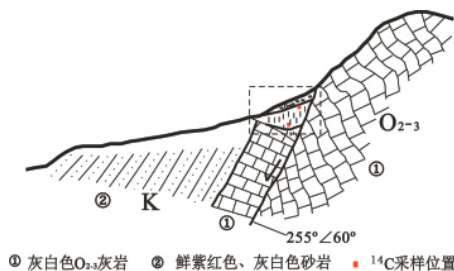


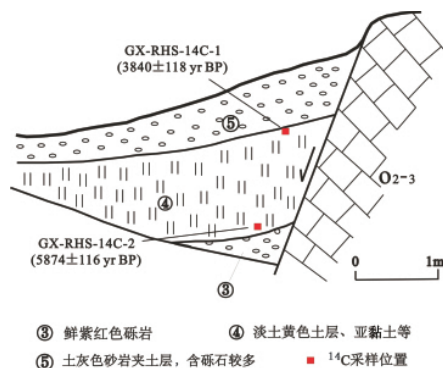
图3 八渡-龙尾段断裂沿线断错地貌
Fig. 3 The offset photos along the fault



(a) 剖面照片
(a) Section photo



(b) 剖面素描图
(b) Sketch of the section



(c) 剖面局部放大图
(c) Enlarged drawing of the section

图4 仁花树断层剖面
Fig. 4 Fault section at Renhuashu

通过该断层剖面综合分析认为:该断层下盘基岩与层⑤顶面之间有新鲜断层陡坎,保持原始自由面,表明该断层的新活动性非常强烈,新鲜断层陡坎应为距今最近的 1 次断层突然活动所致;从层③往上到层④再到层⑤,沉积相至少发

生 2 次突变,代表 2 次突然的断层错动活动。结合年代样品测定结果可以说明在距今约 5.8ka 之前和距今约 3.8ka 之后应各有过 1 次明显的地质事件。

从八渡-龙尾段断裂沿线断错地貌表现、断错地层测年

结果,可以推断固关-县功断裂的八渡-龙尾段全新世以来活动强烈,特别是保存至今的多处新鲜的基岩断层陡坎,说明在近几千年之内此段断裂有过明显的地质事件。

岐山-马召断裂是陇县-宝鸡断裂中另一条规模较大的断裂。岐山-马召断层走向 N50°W,倾向北东,其北段显示为扶风黄土塬上 1 个高大陡崖,西高东低,高差 80m,主要为晚更新世活动段;南段主要隐伏在渭河盆地内,倾向北东,沿断层在水沟寺、古水村等地可见到一些第四纪断层,一般都是正断层,断距不过几米,推断为全新世活动段。

3.2 公元 600 年秦陇地震发震构造分析

根据该次地震历史考证结果,重破坏区范围涉及到的活动断裂主要有 3 条,分别是西秦岭北缘断裂,渭河南缘断裂和陇县-宝鸡断裂带。3 条断裂中西秦岭北缘断裂靠近重破坏区西部,如公元 600 年秦陇地震的发震构造为西秦岭北缘断裂,则震中应位于天水与陇县之间更靠近天水,同时甘肃境内记载的震害应明显强于陕西境内,但事实与此不符,而且该段断裂主要为晚更新世活动断裂,全新世活动证据不足。同样,如果此次地震的发震构造为渭河南缘断裂,震中应位于陇县至西安一带,这也与史料记载不符。因此,由史料推断该次地震震中位置、重破坏区长轴方位,可以认为陇县-宝鸡断裂带为公元 600 年秦陇地震的发震构造是恰当的。

陇县-宝鸡断裂带包括 4 条断裂,其中固关-县功断裂和岐山-马召断裂为其主干活动断裂。比较固关-县功断裂与岐山-马召断裂的最新活动情况、野外调查地貌表现及推断的公元 600 年秦陇地震的震中位置,本研究倾向认为公元 600 年秦陇 $6\frac{3}{4}$ 级地震的发震构造应为固关-县功断裂的八渡-龙尾段。

4 结论

1) 根据历史地震资料的考证结果、其他佐证资料综合分析,对此次地震的相关参数进行了校核和修订。公元 600 年秦陇地震的震中位置应在甘肃天水与陕西陇县之间,更靠近陇县的陕西境内(34.7°N,106.5°E),陇县西南喇嘛山一带,精度 4 类,误差 50~100km;震中烈度 IX 度;参考震级为 $6\frac{3}{4}$ 级。

2) 公元 600 年秦陇地震重破坏区的长轴方位大致与陇县-宝鸡断裂带的固关-县功断裂相吻合。固关-县功断裂的八渡-龙尾段是 1 条全新世中晚期仍在活动的正断层,综合分析倾向认为八渡-龙尾段为公元 600 年秦陇 $M6\frac{3}{4}$ 地震的发震断裂。

由于该次地震发生年代较早,地震史料记载相对较少,能查到的资料有限,对该次地震还有待以后发现新的资料和证据进一步确证。另外,由于受当地地形地貌条件的影响,对陇县-宝鸡断裂带 2 条主干断裂的研究还有待深入,对其发震构造的认识也有待更深入细致的工作证实。

参考文献 (References)

- [1] 顾功叙. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 7-8.
Gu Gongxu. Catalogue of Chinese earthquakes [M]. Beijing: Science Press, 1983: 7-8.
- [2] 国家地震局兰州地震研究所. 陕甘宁青四省(区)强地震目录[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1985: 10.
Lanzhou Institute of Seismology, SSB. Catalogue of strong earthquakes in Shaanxi, Gansu, Ningxia and Qinghai Provinces or region [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1985: 10.
- [3] 国家地震局震害防御司. 中国历史强震目录 [M]. 北京: 地震出版社, 1995: 6-13.
Earthquake Disaster Prevention Department, SSB. Catalogue of Chinese strong historical earthquakes [M]. Beijing: Seismological Press, 1995: 6, 12-13.
- [4] 谢毓寿, 蔡美彪. 中国地震历史资料汇编 [M]. 第 1 卷. 北京: 科学出版社, 1983: 73-74.
Xie Yushou, Cai Meibiao. Compilation of China earthquake historical data[M]. First volume. Beijing: Science Press, 1983: 73-74.
- [5] 闫文儒. 麦积山石窟[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1984.
Yan Wenru. Maijishan grotto[M]. Lanzhou: Gansu People Press, 1984.
- [6] 孙昭民, 邓起东. 六盘山东麓断裂和陇县-宝鸡断裂带基本特征及其相互关系 [C]//中国地震学会地震地质专业委员会. 中国活动断层研究. 北京: 地震出版社, 1994: 114-125.
Sun Zhaomin, Deng Qidong. Basic characteristics and interaction of the eastern Liupanshan piedmont fault and the Longxian-baoji fault zone[C]// Seismogeology Professional Committee, Seismological Society of China. China Active Fault Research. Beijing: Seismological Press. 1994: 114-125.
- [7] 李传友, 张培震, 袁道阳, 等. 活动走滑断裂上断塞塘沉积特征及其构造含义[J]. 地质学报, 2010, 84(1): 90-105.
Li Chuanyou, Zhang Peizhen, Yuan Daoyang, et al. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(1): 90-105.

(责任编辑 陈广仁)

《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件,以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等,撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿,每篇文章约 2000 字,同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿信箱:kjdbbjb@cast.org.cn。