

魏本勇, 李晓宇, 文彦君, 等. 2024. 明清时期关中地区地震灾害时空变化特征研究[J]. 地震研究, 47(4): 596–608, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2024.0059.

Wei B Y, Li X Y, Wen Y J, et al. 2024. Study on the characteristics of spatial and temporal changes of earthquake disaster in Guanzhong region during the Ming and the Qing Dynasties[J]. *Journal of Seismological Research*, 47(4): 596–608, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2024.0059.

明清时期关中地区地震灾害时空变化特征研究*

魏本勇¹, 李晓宇^{1,2}, 文彦君², 张腾飞¹

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 宝鸡文理学院 地理与环境学院, 陕西 宝鸡 721013)

摘要: 通过《陕西省志·地震志》《中国地震目录》等汇编性史料提取明清时期(1368—1912年)关中地区地震发生频次、位置、震级和地震灾害影响等信息, 应用指标统计、滑动平均及语义差异分析等方法, 建立关中地区地震灾害时空变化图并分析特征。结果表明: ①明清时期关中地区地震有显著的阶段性、年代际和季节变化特征。1474—1676年是当地地震相对活跃期, 其中1500年代和1480年代地震发生频次最高, 且多发于夏季。②地震震中主要分布于关中地区中东部, 且随时间变化震中逐渐分散, 地震频次及强度也随之减弱。③关中地区历史地震高发期处于汾渭地震带第二活动期中, 且区域空间分布特征为东强西弱。受多灾叠加、社会动荡及经济发展等因素影响, “小震大灾”情景时有发生。

关键词: 地震灾害; 明清时期; 关中地区

中图分类号: P316.03

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2024)04-0596-13

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2024.0059

0 引言

地震是世界上破坏性最强的自然灾害之一, 而我国又是世界上地震活动最强烈的国家之一。随着我国城市化进程的快速推进, 地震灾害及其带来的次生灾害对社会发展和人民生命财产安全的威胁也日益增大。历史上, 中国地震灾害发生十分频繁, 地震震级较高、破坏性较强, 极易造成严重的人员伤亡和经济损失。国务院办公厅于2020年5月31日印发了《关于开展第一次全国自然灾害综合风险普查的通知》(国办发〔2020〕12号), 主要针对地震灾害、地质灾害、气象灾害等六大类灾害开展全面调查(周励, 2021)。其中, 深入研究历史地震灾害发生情况, 了解区域地震

发生规律及分布特征, 是地震灾害风险调查与评估的重要一环。

史料、地方志和汇编资料等是研究历史地震的时空分布与影响范围最基本的参考资料。围绕地震灾害时空特征, 目前已有许多研究。1956年中科院出版了《中国地震资料年表》, 将历史时期地震按年代、地点、出处等汇编至一处(中国科学院地震工作委员会, 1956)。1986年, 我国第一部有关天灾人祸的大型汇编资料《中国历代天灾人祸表》出版, 收集统计了先秦到清代2000多年的自然灾害和人为祸乱(陈高佣, 1986)。1989年, 陕西省地震局编纂了《陕西省志·地震志》, 收集汇编自公元前1180—1986年的陕西辖区内地震, 将其按公元年发生顺序进行排列(陕西省地方志编纂委员会, 1989)。

* 收稿日期: 2023-12-16.

基金项目: 国家自然科学基金项目(42177453, 41601567)资助.

第一作者简介: 魏本勇(1982-), 研究员, 主要从事地震灾害风险评估、灾害响应与灾后恢复研究.

E-mail: bywei1982@ies.ac.cn.

以往历史地震研究也是依据汇编资料中所提供震级为基础进行分析研究,王理等(2003)收集了全国从公元前221年至1998年共5649条地震信息,编制了中国历史地震灾害图谱,得出中国历史强震有3个带状分布中心、总体空间分布特征为西强东弱的结果。郑通彦等(2021)分析了1990—2020年中国大陆地区地震灾害损失的时空特征。也有学者对国内不同地区进行千年以上长时间尺度地震时空分布特征研究(周长山等,2009;江宜,殷娜,2021;万红莲等,2016;裴惠娟等,2015)。从灾害研究的角度出发,地震灾害致灾因子的时空格局研究已基本形成体系(史培军,1996,2002),但针对局部区域的地震时空分布特征研究还比较少见。

关中地区是我国地震多发区,区内新构造运动强烈,活断层发育,地震活动的强度、频度均为陕西省之首,陕西省9次6级以上地震有8次都发生在这里。秦小光(1997)对关中地区第二活动期地震活跃段中1481—1720年地震的时间序列规律进行了研究;仇立慧(2007)研究了关中地区地震灾害与旱灾间关系,对两千多年的历史地震灾害频次进行了统计,但未对关中地区地震的时间演变及空间分布特征进行系统分析。明清时期正处于关中地区地震活动期,地震发生次数频繁,影响深远,且地方志、史料中关于地震灾害的记载较为详细丰富,可为我们了解历史时期地震灾害时空变化特征提供充足的资料基础。

基于以上研究背景,综合考虑地震灾害影响及灾情记录的丰富程度,本文选取明清时期的关中地区为研究区域,以汇编资料中的震级为基础,通过指标统计、滑动平均及语义差异分析等方法,着重对明清时期关中地区地震灾害时间演变和空间分布特征方面进行研究。

1 研究区概况

关中地区位于北山和秦岭之间,西起宝鸡、东至潼关,东西长约360 km,海拔约320~800 m,号称“八百里秦川”。关中地区是在断陷基础上,

由黄土沉积及河流冲积形成的平原,地质构造上属渭河新生代断陷盆地,东部与山西盆地、灵宝盆地和三门峡盆地共同组成汾渭地堑系(周阳等,2020)。关中地区不仅地震频发且地震灾害影响较大,如明代华县发生的8级大地震,不仅对陕西省造成了重大冲击,其地震波甚至影响到了大半个中国,有感范围远至福建、两广等地(原延红,冯希杰,2010)。自公元1000年以来,关中地区地震大致可分为三个活动期,第一活动期为1069—1368年(共299年),其中平静段是1069—1169年(100年),活动段为1170—1368年(198年);第二活动期是1369—1730年(361年),平静段为1369—1453年(84年),活动段是1454—1730年(276年);第三活动期为1731至今,其中平静段为1731—1814年(83年),活动段为1815年至今(谢振乾等,2010)。

由于清代关中地区行政区划仍沿用明代区划范围,基本未做更改,故本文选用清末关中地区行政区划图为底图,地震空间数据信息参照《中国行政区划通史》(明清卷)(周振鹤,2013)、《中国历史地图集》(谭其骧,1982)的内容,并借助中国历史地理信息系统项目(CHGIS)中的内容,统计得出明清时期关中地区所属行政区为3府2州,下辖41县,如图1所示。

2 数据来源及处理

2.1 数据来源

明清时期关中地区地震资料主要来源于《陕西省志·地震志》(陕西省地方志编纂委员会,1989),书中收集了自公元前1189年至公元1986年底陕西省地震活动及发展,并对地震震级及烈度进行了计算与转换。此书空间分辨率最高可达县级,记录翔实、准确度高,本文共从中获取关中地区地震灾害数据132条,为主要数据来源。本文又从《中国地震目录》(顾功叙,1983)、《中国地震历史资料汇编》(谢毓寿,1985)及《中国灾害通史》(明清卷)(邱云飞,2005)中查漏补缺,分别获得地震灾害数据5条、3条和1条。《中国地震目录》主要由强震记录、分省地震记录组成,

夜十日，土窑皆陷”。③震级在6级以上或文字记录中有大量人口伤亡、建筑物倒塌等地震灾害视为重灾。如1555年麟游发生的4¾级地震，虽震级在6级以下，但灾情记录中有人员伤亡：“……地震如雷，压死人畜最众”，故划分为重灾；再如1487年震中临潼发生烈度为Ⅷ级、震级为6¼级地震，划分为重灾。6级以上的地震灾害，均有大量建筑物倒塌及人员伤亡的记录，划分为重灾。

表1 地震灾害记录分级标准
Tab. 1 Grading basis for seismic records

地震灾害影响等级	地震程度描述代表词	意义
1	地震、地震裂、地常小震、地震有声、地大震、房屋皆动、柱础俱动、屋宇摇动	轻灾：有震感，偶尔有雷声、火光等情形出现，人群出现骚动，部分地震带来次生灾害，地震直接影响较小。
2	城垣倾圮、民居倾圮、山崩、城舍倒损、城陷、土窑皆陷、墙垣倒置、山崩屋坏、压伤人口、人畜受伤	中灾：地震直接造成房屋、城墙等建筑物倒塌，有人员受伤，带来一定社会经济损失。
3	倒塌如平地、压死人口、人畜死伤众多、积尸遍野、举城无完室、举室无完人、十室九斃、压毙人畜无数、山倾、压死男妇无数	重灾：地震直接造成严重的社会后果，房屋倒塌，大量人员死亡，经济损失严重，甚至导致社会混乱。

经上述处理后，可得等级为1的轻灾记录共124条，等级为2的中灾记录11条，等级为3的重灾记录6条。由于目前并无关于地震灾情的语义差异研究，故参考饥荒等借助过语义差异的研究成果（文彦君等，2022），按一定的比重系数加权来构建以年代际为分辨率的地震灾害影响指数：

$$EFI = W_1 Fg_1 + W_2 Fg_2 + W_3 Fg_3$$

(1)

式中：EFI为地震灾害影响指数；W₁、W₂、W₃为加权系数，分别赋值0.1、0.3、0.6；Fg₁、Fg₂、Fg₃分别为地震影响等级1、等级2、等级3的频次。通过地震灾害影响指数，可更加直观地看出某次地震灾害对人民生活造成的影响。

3.2 地震灾害时间统计

本文绘制了明清关中地区逐年地震震级、地震频次时间序列曲线图（图2），再以10年为间隔，通过Origin等软件对明清关中地区震级次数和频率、地震灾害影响分级次数与地震灾害影响指数序列绘制为年代际地震时序图（图3）。《陕西省志·地震志》中关于地震具体发生时间进行了公历年月的转换，且大部分数据均有详细年月记录，141条地震数据中仅有14条未记录月份和季节，因此可直接绘制地震频次及震级的月份图；除4条数据明确记载了地震发生季节外，其余数据则按3—5月为春季、6—8月为夏季、9—

11月为秋季、12月至次年2月为冬季的现代月份季节来统计，共得到数据127条。依据以上数据，可绘制出地震频次季节占比图（图4）和地震频次月份图（图5）。通过以上方法，得到了时间演变特征。

3.2.1 阶段性特征

参考地震频次31年滑动均值曲线与545年均值曲线的相对关系，将整个明清时期划分为四个阶段（图2）。

第一阶段：1368—1473年（106年）为区域地震相对平静期。这一阶段内31年滑动均值数据一直低于总均值，仅有1377年和1391年各有1次4½级地震发生，其余104年均无地震发生，地震频次及强度为最低。

第二阶段：1474—1676年（203年）为地震相对活跃期。除1623—1633年（11年）地震频次31年滑动均值低于总均值占第二阶段5%外，其余192年滑动均值皆高于总均值。第二阶段共发生106次地震，其中有感地震92次，中强震为12次、强震有2次、大地震1次、8级以上巨震1次。这一时期地震频发且强度大，也带来较多的次生灾害，多种因素共同导致人员伤亡和经济损失惨重。

第三阶段：1677—1855年（168年），区域地震较为活跃。这一时期地震频次相对较少，强度较为统一。1704年、1679年及1789年发生3次中

强震外，其余 16 次地震均为有感地震，地震强度及影响均较低。

第四阶段：1856—1912 年（68 年）为区域地震相对平静期。共发生 15 次地震，除 1880 年发生 1 次 5 级中强震导致有人员受伤外，其余 15 次均为有感地震。这一阶段地震发震频次低，震级强度也较低，地震灾害影响相对较小。

关中地区地震发生最频繁年份为 1501 年（第二阶段），共发生 9 次地震，是明清时期规模最大的地震群。其中，1501 年 1 月在朝邑发生 1 次 7 级强震，波及陕西、河南、山西及甘肃四省十余县。

此次地震仅对朝邑县就造成“损坏官民庐舍共 5 485 间，压死大小男女 170 名口，压伤 94 名口，压死头畜 391 头只”的严重后果。而关中地区历史地震中震级最高、影响最大的一次地震是 1556 年华县 8¼ 级强震。此次地震极震区烈度为 XI 度，受灾严重地区面积高达 28 万 km²。以华县为中心向外扩散至陕西、山西、河南、甘肃等地区，地震波冲击了大半个中国，地震有感范围甚至远达福建、两广等地。华县大地震总死亡人数约 83 万人，为世界震灾之首（陕西省地方志编纂委员会，1989）。

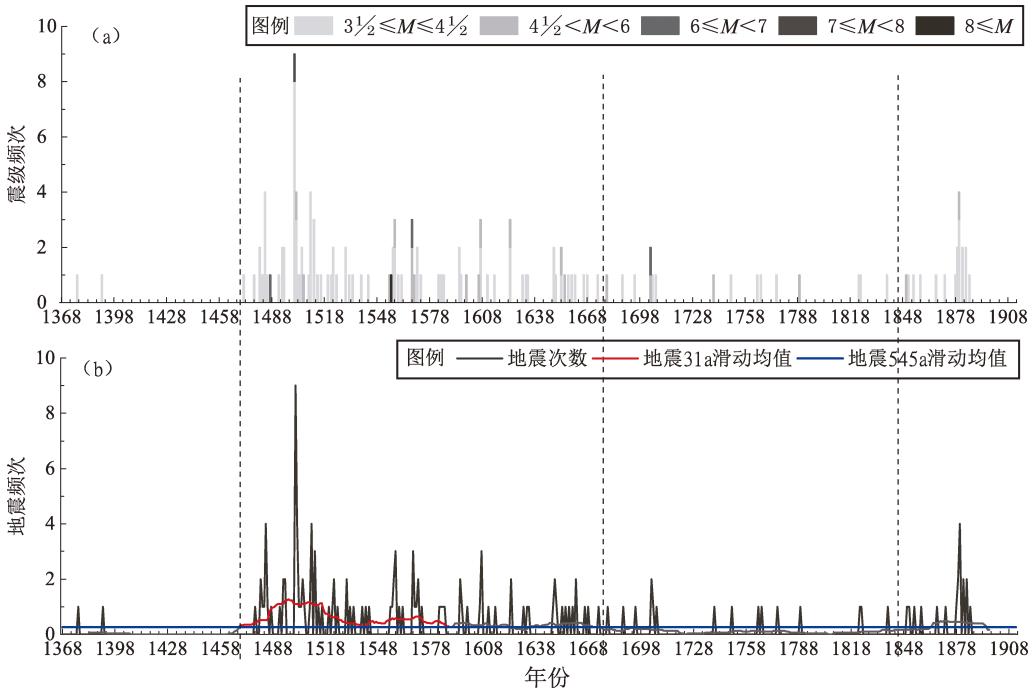


图2 明清时期关中地区不同震级频次 (a)、总发震次数及 31 年滑动均值和 545 年均值曲线 (b)

Fig. 2 Frequency of different magnitudes (a), total earthquake – numbers and their 31 – year, 545 – year moving averages (b) in Guanzhong region in the Ming and the Qing Dynasties

3.2.2 年代际特征

本文通过对比统计地震震级、发生频率及地震灾害影响分析明清关中地区地震的年代际变化特征。将明清时期除 1368—1369 年和 1910—1912 年两个时段外其余时间，均以 10 年间隔进行划分（如 1340 年代即为 1340—1349 年），共得到 56 个时段（图 3）。其中 1500 年代、1480 年代两个时段地震频次相对最高，分别为 19 次及 10 次。这两个时段轻灾次数较多，且均有中灾和重灾的发生，故 1500 年代地震影响指数最高，达到 2.6。而

1550 年代虽地震频次相对较少为 7 次，但有 2 次中灾及 1 次重灾，故 1550 年代影响指数和 1480 年代一样均为 1.6。1510 年代和 1880 年代两个时段地震频次相对较高，均为 9 次，但 1880 年代有中灾发生，灾害影响指数为 1.1，高于 1510 年代的影响指数 0.9。1480 年代、1500 年代、1510 年代和 1880 年代时段地震频率远超均值 1.78%，分别达到 7.09%、13.48%、6.38% 和 6.38%，为明清关中地区地震频率较高的 4 个时段。

1560 年代和 1700 年代时段地震发生频次相对

较少,分别为6次和4次,发震频率仅略高于均值,地震影响指数却较高,分别为1.2和1.4。1560年代中灾发生频次最多,共有3次中灾;与年代际震级图(图3a)相对比,1700年代时段内地震频次较少,仅发生4次地震。2次轻灾震级均

为 $3\frac{1}{2}$ 级的有感地震,2次重灾震级分别为泾阳的 $4\frac{3}{4}$ 级地震和陇县的6级地震。泾阳和陇县地震尽管震级相差较大,但造成的影响均较为恶劣,均造成大量人员伤亡,因此1700年代地震影响指数较高。

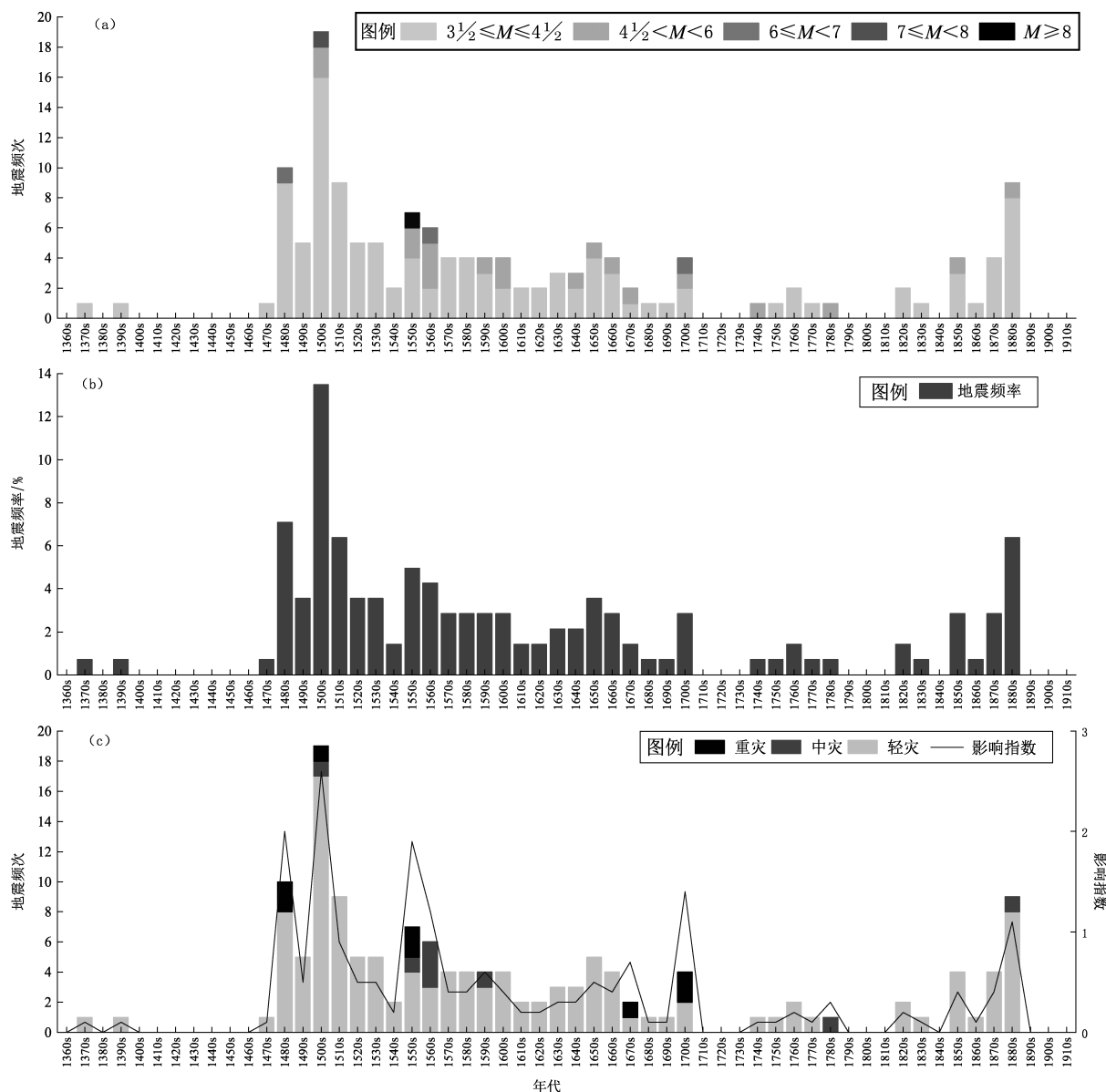


图3 明清时期关中地区年代际地震震级频次(a)、频率(b)及地震灾害等级频次指数序列(c)

Fig. 3 Interdecadal sequence of the frequency of different magnitudes (a), earthquake frequency (b), earthquake - disaster frequency and impact index (c) in Guanzhong region in the Ming and the Qing Dynasties

3.2.3 季节性特征

本文对地震发生的季节和月份进行统计并绘制明清关中地区地震频次季节图和震级月份图

(图4)。从地震频次季节图(图4a)中可看出,夏季是地震发生频率最高的季节,占比28%;其次是春季,占比26%;秋季和冬季发震频率相同,

均为 23%。震级月份图（图 4b）中可知，7 月为关中地区地震频发月，地震发生次数达 16 次。3½级和 4½级地震多发于 5 月，4½~6 级地震多发于 7 月，6~7 级地震多于 10、11 月发生，7 级以上地震爆发于 1 月。整体来看，每个季节地震灾害发生频次相差不大，地震等级有所区别。

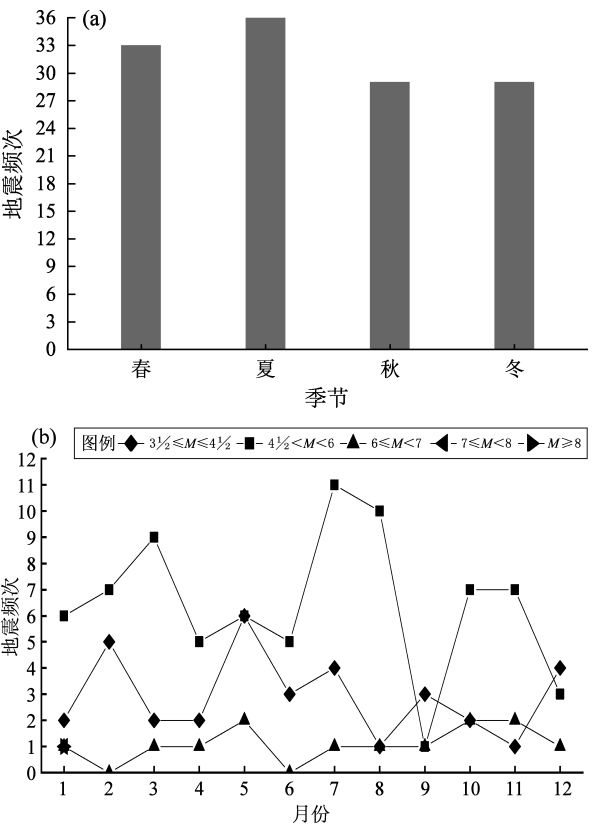


图 4 明清时期关中地区地震频次
季节 (a)、震级月份 (b) 图

Fig.4 Seasonal earthquake frequency (a) and monthly frequency of the magnitude (b) in Guanzhong region in the Ming and the Qing Dynasties

3.3 地震灾害空间和时空统计

地震灾害空间分布及其演变特征主要通过 ArcGIS 及 Matlab 中的 Image 函数进行分析。利用 ArcGIS 对关中地区不同阶段地震震级空间分布进行展示（图 5、6），分析明清关中地区地震频次及震级空间分布的特征；借助 MatLab 中的 Image 函数将关中地区 3 府 2 州的地震频次及年份进行处理，得到明清关中地区地震二维栅格时空序列图（图 7）。

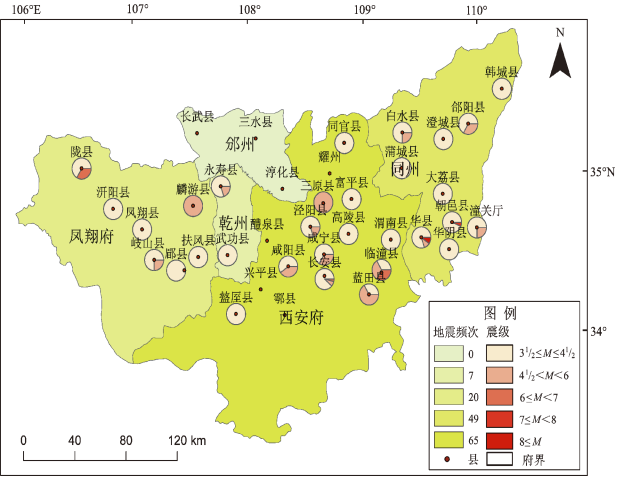


图 5 明清关中地区地震空间分布图

Fig.5 Distribution of the earthquakes in Guanzhong region in the Ming and the Qing Dynasties

3.3.1 关中地区地震灾害空间分布特征

按各县明清时期共发生过地震频次作为底色，再将各县所发生过的地震震级占比以饼图样式呈现，制出明清关中地区地震空间分布图（图 5），从图中可看出，华县 1556 年发生过明清时期关中地区震级最高的 8¼级地震，还发生过其他 4 种震级地震，分别为 3½级、4 级、4½级和 5½级地震。朝邑县发生过最高 7 级地震和 3½级、4½级有感地震。长安县历史上发生过的地震震级种类最多，包括 6 种不同震级，其中最高为 6¾级，最低为 3½级。三原县、醴泉县、兴平县、郿县、咸宁县、耀州、淳化县、长武县和三水县在明清时期未有发震记录。

从明清关中地区震级图来看，地震发生频繁、震级较高区域主要为西安府的中部、同州的南部、凤翔府的北部和乾州的北部；邠州未有历史地震记录，或与邠州无断裂带有关；整个关中地区中东部为历史地震主要分布区域。震级图中中小地震发生频次最多。其中，3½级地震分布最为广泛且数量最多，有 22 个县都曾发生过；其次为 4½级地震，共有 14 个县曾发生。6 级、6½级、6¾级、7 级和 8 级地震，均只在 1 个县发生过 1 次。大震发生频率低，但所带来的破坏较大且空间影响范围广，多波及其他府县甚至外省；小震发震次数虽频繁，但空间影响范围小，大多只对本县有轻微影响。

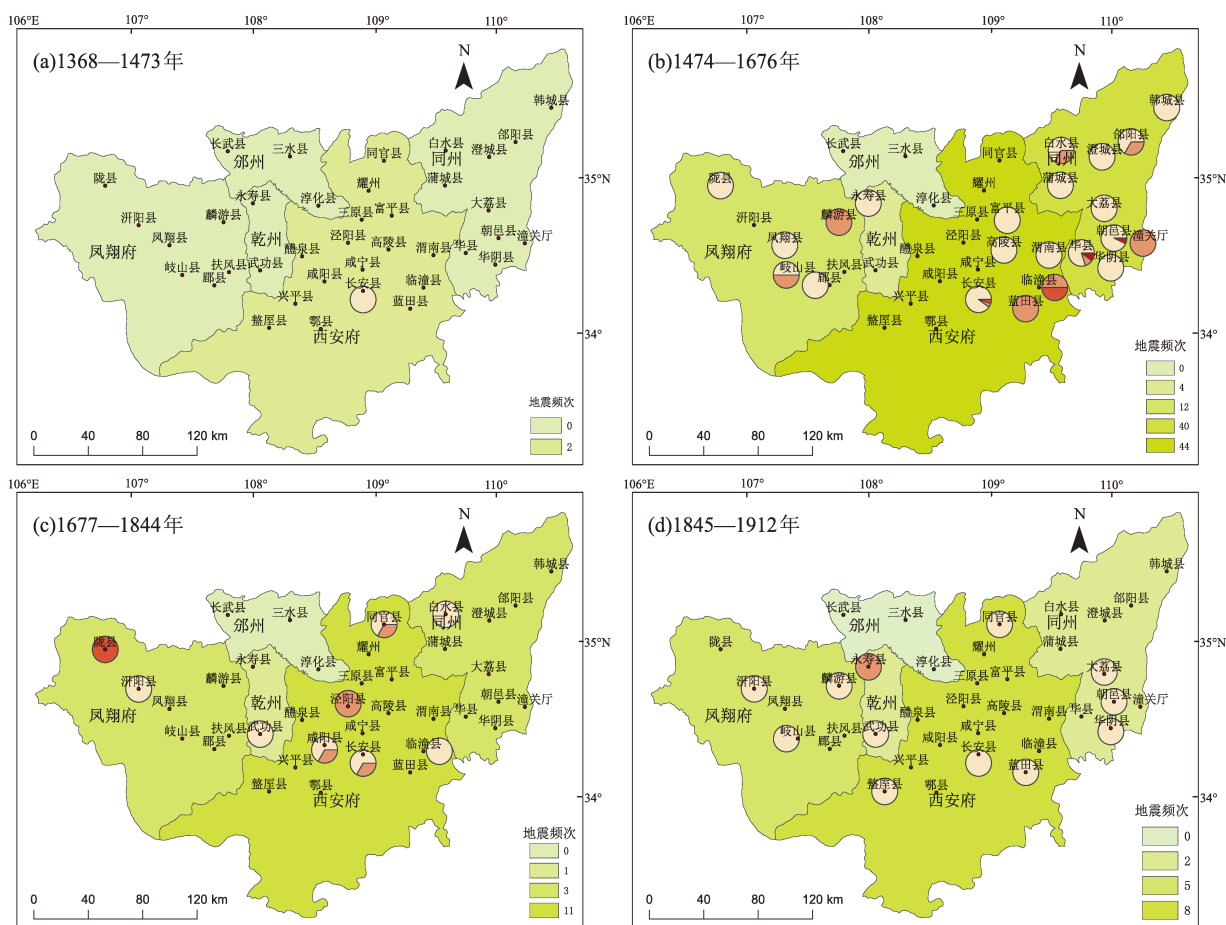


图6 明清时期关中地区地震不同时期空间分布图

Fig. 6 Spatial distribution of the earthquakes in different periods in Guanzhong region in the Ming and the Qing Dynasties

3.3.2 关中地区地震灾害时空格局演化特征

明清时期关中地区的地震灾害时空分布存在显著地域和时间差异,且呈现东强西弱的特征。其中,1368—1473年(106年)这一时期,为地震活动相对平静期。仅长安县发生过2次4½级地震,其他县区无历史地震记录。地震震中位于关中地区中部。

1474—1676年(203年)为地震相对活跃期,这一时期地震发生极为频繁,且除6级地震外其他11个震级均在不同县区有所记载。地震多发于关中地区的中东部,如1556年华县的8¼级地震和1501年朝邑7级地震均发生于这一时期。华县和朝邑均位于华山山前断裂带,而该断裂带是渭河盆地东南缘的重要边界活动断裂带(马冀等,2019)。另外,由于长安县位于骊山北麓断裂带,该断裂带在这一时期较为活跃,故长安县发震较

为频繁且部分地震破坏力较大(陕西省地方志编纂委员会,1989)。

1677—1844年(168年)为地震活跃度减弱期,震级最高为1704年发生于陇县的6级地震。陇县6级地震造成了大量建筑物倒塌和人员伤亡。这一时期,除陇县6级地震位于关中地区西北角外,其余地震多发于关中地区中部,主要集中在西安府长安县附近。

1845—1912年(68年)期间地震发生较少,为地震活动相对平静期,最高震级为永寿县5级地震,此外也有3½级、4级和4½级地震发生。这一时期地震震中分布较为广泛,除邠州外其余九州府均有震中分布。

综上,明清时期关中地区经历了地震活动相对平静—地震活动相对活跃—地震活动较为平静的变化。震中位置先由中部往东部扩散,随即向

西部延伸,最终形成东西皆有分布的空间格局。

而从明清时期关中地区地震时空演变图(图7)可知,1475—1715年为关中地区历史地震高发时期。这一时期地震频次多、强度大,且影响广泛,尤以西安府、同州府和凤翔府为甚。如同州府在1501年发生7级地震,余震连连,还波及相邻州府;1556年又发生8¼级大地震,最终导致83万人死亡。西安府于1568年发生当地6¾级地震,造成部分村镇房屋倒塌,有人员死亡。1704年凤翔府发生6级地震,致使当地相公山发生倒塌,压死不少百姓,未记载具体伤亡人数。

秦小光(1997)研究表明,汾渭地震带大致存在三个活动期。第二活动期为1369—1730年共361年,其中相对平静期共84年为1369—1453年,相对活动期为1454—1730年共276年。关中地区历史地震特征明显表现为东强西弱,与本研究的发现基本一致。进一步分析可以发现,关中地区历史地震频发于NE向地震带中的韩城—长安地震带。西安府位于关中地区中心,临潼—长安断裂、灞河断裂及渭河断裂西安府东部灞桥一带及临潼北部交汇,在西安东部形成三角构造;其北部草滩一带有NW向灞河断裂和近东西向的渭河断裂交汇(杨建军,2006)。

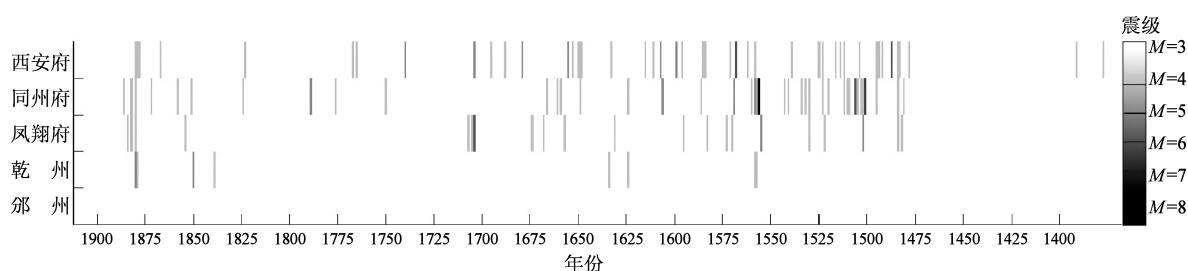


图7 明清时期关中地区地震时空演变图

Fig. 7 Spatial and temporal evolution of the earthquakes in Guanzhong region in the Ming and the Qing Dynasties

4 讨论

1550年代关中地区发生了震级最高的一次地震,为华县的8¼级地震,但该年代际地震影响指数为1.9,低于1480年代的地震影响指数2,这是由于1480年代中共发生了8次轻灾和2次重灾,而1550年代发生了4次轻灾、1次中灾和2次重灾。在1480年代发生的2次重灾中,震级分别为4½级和6¾级,1550年代发生的2次重灾中,震级分别为4¾级和8¼级。整个明清时期共有8次地震灾害造成巨大人员伤亡(表2),按照语义差异法将其划为重灾,致使部分年代际地震影响指数较高。这其中有3次地震震级低于5级。按现代地震标准划分,这3次地震震级十分接近有感地震,但造成了较为严重的灾害影响与损失,产生了“小震大灾”现象。如1704年8月13即康熙四十三年七月十三日,在泾阳发生了一次4¾级的地震。此次地震烈度最高为Ⅵ度,现代中国地震烈度表(GB/T, 17742, 2020)中对Ⅵ度地震描述为“人站立不稳,家畜外逃,器皿翻落,简陋棚舍损

坏,陡坎滑坡”,然而此次地震最终造成了“压毙人畜无数”的惨剧,其原因可能与当时社会生产力低下、百姓房屋建筑材质多为土结构(李儒威, 2020)以及建筑物抗震性能较差等因素有关。

另两次“小震大灾”的地震分别是1484年陇县4½级地震和1555年麟游4¾级地震。《明实录》(黄彰健, 2016)中有记载,1484年陇县4½级地震发生时,“……凤翔、平凉等府地震,有声如雷。百姓流移,父子离散,积尸遍野”,而此时陕西地区正是“连年亢旱,仓廩空虚,人民饥谨……”。连年亢旱又恰逢地震发生,两种灾害影响叠加最终导致了“积尸遍野”的悲剧。1555年麟游4¾级地震也造成了“压死人畜最众”的结果。可能由于当时正处于气候变化剧烈的小冰期,同年旱涝灾害(陕西省气象局气象台, 1976)均有发生,且社会较为动荡不安。正是多种因素的叠加影响,才导致这两次小震大灾的产生。结合地震活跃期发现,3次“小震”均发生于关中地区地震活跃时期。地震频繁发生可能导致人们警惕性下降,危机意识减弱,从而加剧了“小震大灾”现象的发生。

表 2 明清关中地区地震灾害重灾详表

Tab. 2 Details of the severe earthquake disasters in Guanzhong region in the Ming and the Qing Dynasties

年代际	日期	发震地点	震中位置	烈度	震级	地震情况史料记载
1480 年代	1484 - 04 - 15	陇县	35. 1°N, 107. 2°E	V	4½	明宪宗成化二十年三月丁未，巡抚陕西右副都御史郑时奏：……凤翔、平凉等府地震，有声如雷。百姓流移，父子离散，积尸暴野。 ——《成化实录》
	1487 - 08 - 10	临潼	34. 4°N, 109. 2°E	VIII	6¼	明宪宗成化二十三年七月二十二日，关中地震，声如雷，山多崩圯，屋舍坏，男女死者 1, 900 余人。 ——（清）贾汉复《陕西通志》
1500 年代	1501 - 01 - 19	朝邑	34. 8°N, 110. 1°E	IX	7	弘治十四年正月初一日并初二日寅时地震，……本县城楼垛口并各衙门监仓等房及概县军民房屋，震撼倒塌，共 5 485 间，压死大小男女 170 名口，压伤 94 名口，压死头畜 391 头只。 ——（明）马文升《马端肃公奏议》 弘治十四年正月元日，关中地震，朝邑为甚，坏城郭官民庐舍，高原井竭，卑湿地裂，奄忽水深尺许，蒸庶惊惶四出，压死四百余人。至十一月犹震不已。 ——（明）郭实《续朝邑县志》卷八
	1555 - 11	麟游	34. 7°N, 107. 8°E	IV	4¾	嘉靖三十四年十月，地震如雷，压死人畜最众。 ——（清）吴汝为《麟游县志》
1550 年代	1556 - 01 - 28	华县	34½°N, 109. 7°E	XI	8¼	嘉靖三十四年十二月，壬寅，山西、陕西、河南同时地震，声如雷。渭南、华州、朝邑、三原、蒲州等处尤甚，或地裂泉涌，中有鱼物，或城郭房陷入地中，或平地突成山阜，或一日数震，或累日震不止。河渭大泛，华岳终南山鸣，河清数日，官吏军民压死八十三万有奇。 ——《明史·五行志》
	1568 - 05 - 15	西安	34½°N, 109. 0°E	IX	6¾	隆庆二年四月，西安府地震如雷，尘灰蔽天，垣屋欹侧、泾阳、咸阳、高陵城无完室，人畜死伤甚多。咸宁县 地名灞桥、柳巷，泾阳县地名回军、永乐各村镇俱倒塌如平地，压死朱仲良，陈朝元等二百余人。 ——《续文献通考》卷二二一
1670 年代	1679 - 12 - 11	西安	34. 3°N, 108. 9°E	VII	5½	康熙十八年十一月初九日庚子，陕西西安府及兴安州地震，自早及午，震倒房屋，压死人民无算。 ——（清）叶梦珠《阅世编》
	1704 - 08 - 13	泾阳	34. 6°N, 108. 8°E	VI	4¾	康熙四十三年七月十三日，泾阳地震，压毙人畜无数。 ——《清史稿·灾异志》
1700 年代	1704 - 09 - 28	陇县	34. 9°N, 106. 9°E	VIII	6	康熙四十三年八月三十日地震，州治民舍悉倒。相公山倾，压死男妇无数。 ——康熙《陇州志》卷八

因而，从上面 3 次地震可以看出，“小震大灾”现象不仅可能受地震本身的影响，更可能与叠加了其他灾害影响、社会生产力和心理等因素有关。尤其是在社会动荡不安、多灾多难的时代，小震大灾的现象更易发生，且影响程度更深、范围更广。因此，在现代防震减灾政策制定中，不

应只关注地震本身的影响，更应关注地震与其他灾害的叠加影响，同时也要注意提高民众防范意识，制定更有针对性和长远性的地震防范与应对策略。

需要注意的是，历史地震震级的判定具有一定的不确定性。各类汇编性地震资料是依据当时

的历史文献整理获得,受技术发展和科学认识的影响,其震级记录与现代认识可能存有偏差,如《中国历史强震目录》中认定华县 1556 年的地震震级为 $8\frac{1}{4}$ 级,《中国地震目录》中认定此次地震震级为 8 级,而近年有研究则认为华县地震震级可能被高估了 (Feng *et al.*, 2020)。但这不影响对当地总体地震时空演化特征和规律的认识。同时,也反映出了综合考虑地震灾害影响及灾情记录的地震时空演化特征分析的重要性。

5 结论

本文通过《陕西省志·地震志》《中国地震目录》等汇编性史料,提取明清时期关中地区地震的频次、位置、震级和地震灾害影响与灾情等资料,统计明清时期 1368—1912 年共 545 年历史地震灾害信息、地震时间演变和空间分布特征,得出以下结论:

(1) 明清关中地区历史地震有着显著的阶段性、年代际和季节变化特征,可划分为四个阶段:1368—1473 年地震活动相对平静期,1474—1676 年地震相对活跃期,1677—1844 年地震活跃度减弱期,1845—1912 年地震活动相对平静期。以 10 年为间隔进行年代际划分,1500 年和 1480 年是地震频次最高的两个年代。关中地区历史地震多发于夏季,秋冬季发震次数较少。

(2) 关中地区历史地震主要分布于关中地区中东部,多分布于活跃的华山山前断裂带和骊山北麓断裂带上。区域历史地震震中随时间变化逐渐由中部向东部扩散,后又向西部延伸,地震频次及强度也随之减弱。华县与朝邑爆发了明清时期关中地区最大的两次地震,震级分别达 $8\frac{1}{4}$ 级和 7 级;长安县地震发生频次最多。受多灾叠加、社会动荡及经济发展等因素影响,“小震大灾”情景偶有发生,这也可作为现代防震减灾政策制定提供参考。

(3) 关中地区历史地震高发期 (1475—1715 年) 处于汾渭地震带第二活动期中,主要空间分布特征为东强西弱。西安府历史地震频发主要受临潼—长安断裂、灞河断裂及渭河断裂等影响。正史、地方志等史料是研究历史地震的基础数据

资料,然而由于灾害记录难免会受到人为和社会动荡等因素影响,因而可能会有遗漏,但这不会从根本上影响区域历史地震的总体时空演化特点。

参考文献:

- 陈高佣. 1986. 中国历代天灾人祸表 [M]. 上海: 上海书店出版.
- Chen G Y. 1986. Table of natural and man-made disasters in China [M]. Shanghai: Shanghai Bookstore Publishing House. (in Chinese).
- 顾功叙. 1983. 中国地震目录 [M]. 北京: 科学出版社.
- Gu G X. 1983. China earthquake catalogue [M]. Beijing: Science Press. (in Chinese).
- 黄彰健 (校勘). 2016. 明实录 (第六册) [M]. 台北: 中研院历史语言研究所.
- Huang Z J (collation). 2016. Ming records (Volume 6) [M]. Taipei: The Institute of History and Language, Academia Sinica. (in Chinese).
- 江宜, 殷娜. 2021. 北京地区地震时空分布特征研究 [J]. 山西地震, (4): 1-7.
- Jiang Y, Yin N. 2021. Study on temporal and distribution characteristics of earthquakes in Beijing area [J]. Earthquake Research in Shanxi, (4): 1-7. (in Chinese).
- 李儒威. 2020. 西安明城区传统民居保护历程研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学.
- Li R W. 2020. Study on the protection process of traditional dwellings in Xi'an Mingcheng District [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology. (in Chinese).
- 马冀, 冯希杰, 李高阳, 等. 2019. 1568 年陕西高陵地震考证与发震构造 [J]. 地震地质, 41(1): 178-188.
- Ma Ji, Feng X J, Li G Y, *et al.* 2019. Textual research of 1568 M7 Gao-ling earthquake in Shaanxi and analysis of its seismogenic structure [J]. Seismology and Geology, 41(1): 178-188. (in Chinese).
- 裴惠娟, 周中红, 孙艳萍, 等. 2015. 甘肃省地震灾害时空分布特征研究 [J]. 自然灾害学报, 24(3): 67-75.
- Pei H J, Zhou Z H, Sun Y P, *et al.* 2015. Spatiotemporal distribution feature of earthquake disaster in Gansu Province [J]. Journal of Natural Disasters, 24(3): 67-75. (in Chinese).
- 秦小光. 1997. 关中盆地历史地震时序规律研究 [J]. 地壳形变与地震, 17(3): 95-99.
- Qin X G. 1997. Study on the temporal regularities of historical earthquakes in Guanzhong Basin [J]. Crustal Deformation and Earthquake, 17(3): 95-99. (in Chinese).
- 仇立慧. 2007. 历史时期关中地区地震灾害及其对城市影响研究 [J]. 西安文理学院学报 (自然科学版), 14(3): 10-13.
- Qiu L H. 2007. Earthquake and its disaster in the central Shaanxi Plain in the historical period [J]. Journal of Xi'an University (Natural Science Edition), 14(3): 10-13. (in Chinese).
- 邱云飞. 2009. 中国灾害通史 (明清卷) [M]. 郑州: 郑州大学出版社.
- Qiu Y F. 2009. General history of disasters in China (Ming and Qing Dy-

- nasties Volume) [M]. Zhengzhou: Zhengzhou University Press. (in Chinese).
- 陕西省地方志编纂委员会. 1989. 陕西省志·地震志[M]. 北京:地震出版社.
- Shaanxi Provincial Local Chronicles Compilation Committee. 1989. Shaanxi provincial records – earthquake records[M]. Beijing: Seismological Press. (in Chinese).
- 陕西省气象局气象台. 1976. 陕西省自然灾害史料[M]. 西安:陕西省气象局气象台.
- Shaanxi Provincial Meteorological Bureau Meteorological Observatory. 1976. Historical data of natural disasters in Shaanxi Province[M]. Xi'an: Shaanxi Meteorological Bureau Meteorological Observatory. (in Chinese).
- 史培军. 1996. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 5(4): 8–19.
- Shi P J. 1996. Theory and practice of disaster study[J]. Journal of Natural Disasters, 5(4): 8–19. (in Chinese).
- 史培军. 2002. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 11(3): 1–9.
- Shi P J. 2002. Theory on Disaster dynamics[J]. Journal of Natural Disasters, 11(3): 1–9. (in Chinese).
- 谭其骧. 1982. 中国历史地图集(第8册)[M]. 北京:中国地图出版社.
- Tan Q X. 1982. The historical atlas of China (Volume 8) [M]. Beijing: Sinomap Press. (in Chinese).
- 万红莲, 刘东玥, 宋海龙. 2016. 历史时期宝鸡地区地震灾害的时空分布特征[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 36(3): 59–63.
- Wan H L, Liu D Y, Song H L. 2016. Study on the spatial – temporal distribution characteristics of earthquake disasters in the history of Baoji [J]. Journal of Baoji University of Arts and Sciences (Natural Science Edition), 36(3): 59–63. (in Chinese).
- 王理, 徐伟, 王静爱. 2003. 中国历史地震活动时空分异[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 39(4): 544–550.
- Wang L, Xu W, Wang J A. 2003. The spatio – temporal pattern of historical earthquake disaster in China [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 39(4): 544–550. (in Chinese).
- 文彦君, 李晓宇, 万红莲, 等. 2022. 清代关中地区饥荒的时空变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 36(3): 81–91.
- Wen Y J, Li X Y, Wan H L, et al. 2022. Spatial and temporal characteristics of famine in the Guanzhong region during the Qing Dynasty [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 36(3): 81–91. (in Chinese).
- 谢毓寿. 1985. 中国地震历史资料汇编(第二卷、第三卷)[M]. 北京:科学出版社.
- Xie Y S. 1985. Compilation of earthquake historical data of China (Volume 2, Volume 3) [M]. Beijing: Science Press. (in Chinese).
- 谢振乾, 杨建军, 郑宁平. 2010. 论渭河盆地断块运动及地震活动特征[J]. 陕西地质, 28(2): 59–65.
- Xie Z Q, Yang J J, Zheng N P. 2010. Characteristics of fault – block movement and seismicity in the Weihe basin [J]. Geology of Shaanxi, 28(2): 59–65. (in Chinese).
- 杨建军. 2006. 关中地区地震活动规律及其与构造活动的关系研究[D]. 西安:西北大学.
- Yang J J. 2006. Study on the law of seismic activity and its relationship with tectonic activity in Guanzhong area [D]. Xi'an: Northwest University. (in Chinese).
- 原延红, 冯希杰. 2010. 一五五六年华县特大地震[M]. 北京:地震出版社.
- Yuan Y H, Feng X J. 2010. Huaxian earthquake in 1556 [M]. Beijing: Seismological Press. (in Chinese).
- 郑通彦, 文鑫涛, 陈雅慧, 等. 2021. 中国大陆地震灾害时空分布特征及地形影响因素分析[J]. 中国地震, 37(3): 599–609.
- Zheng T Y, Wen X T, Chen Y H, et al. 2021. Analysis of the spatial and temporal distribution characteristics of earthquake hazards and topographic influences in Chinese mainland [J]. Earthquake Research in China, 37(3): 599–609. (in Chinese).
- 中国科学院地震工作委员会. 1956. 中国地震资料年表[M]. 北京:科学出版社.
- Earthquake Working Committee of the Chinese Academy of Sciences. 1956. China earthquake data chronology [M]. Beijing: Science Press. (in Chinese).
- 周长山, 周会娟, 李如友. 2009. 历史时期广西地震的时空分布(288~1949) [J]. 广西师范大学学报(哲学社会科学版), 45(2): 110–115.
- Zhou C S, Zhou H J, Li R Y. 2009. Guangxi earthquake spatial – temporal pattern in history period (from 288 to 1949) [J]. Journal of Guangxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 45(2): 110–115. (in Chinese).
- 周励. 陕西全面展开第一次全国自然灾害综合风险普查[N]. 陕西科技报, 2021–09–10(008).
- Zhou L. The first national comprehensive risk survey of natural disasters was fully launched in Shaanxi province [N]. Shaanxi Science and Technology Views, 2021–09–10(008). (in Chinese).
- 周阳, 洪增林, 张卉, 等. 2020. 关中盆地浅层地热能赋存规律及资源量估算[J]. 中国地质调查, 7(2): 21–29.
- Zhou Y, Hong Z L, Zhang H, et al. 2020. Occurrence rules and resource estimation of shallow geothermal energy in Guanzhong Basin [J]. Geological Survey of China, 7(2): 21–29. (in Chinese).
- 周振鹤. 2013. 中国行政区划通史[M]. 上海:复旦大学出版社.
- Zhou Z H. 2013. General history of administrative divisions of China [M]. Shanghai: Fudan University Press. (in Chinese).
- GB/T 17742—2020, 中国地震烈度表[S].
- GB/T 17742—2020, The Chinese seismic intensity scale [S]. (in Chinese)
- Feng X, Ma J, Zhou Y, et al. 2020. Geomorphology and Paleoseismology of the Weinan fault, Shaanxi, central China, and the source of the 1556 Huaxian earthquake [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125(12): e2019JB017848.

Study on the Characteristics of Spatial and Temporal Changes of Earthquake Disaster in Guanzhong Region during the Ming and the Qing Dynasties

WEI Benyong¹, LI Xiaoyu^{1,2}, WEN Yanjun², ZHANG Tengfei¹

(1. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China)

(2. College of geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, Shaanxi, China)

Abstract

By referring to the *Earthquake Records of the Annals of Shaanxi Province*, the *China Earthquake Catalogue*, and other historical materials, we obtain the earthquake frequency, location, magnitude, and earthquake disasters in Guanzhong region during the Ming and the Qing Dynasties (1368 – 1912). Through index statistics, sliding average and semantic difference analysis, we draw the map of the temporal and spatial variation of the earthquake disasters in Guanzhong region and further analyze the characteristics of the variation. The results show that: ①The earthquakes during the Ming and the Qing Dynasties are significantly characterized as periodic, chronical, and seasonal changes. Earthquakes in this region were relatively active in the period from 1474 to 1676. The earthquakes occurred most frequently in 1480s and 1500s, especially in the Summer of these specific years. ②The earthquake epicenters were mainly distributed in the central and eastern parts of Guanzhong region, then gradually scattered along with time, followed with the weakening of the frequency and intensity. ③In Guanzhong region, the high incidence period of the historical earthquakes fell in the second active period of the Fenhe – Weihe earthquake zone, and the earthquakes distributed dense in the east and sparse in the west. Due to superposition effect of disasters, social unrest and economic situation, the case of “small earthquakes causing major disasters” occur from time to time.

Keywords: earthquake disaster; the Ming Dynasty and the Qing Dynasty; Guanzhong region