



鄂尔多斯活动地块及边界带1:50万地震构造图编制

雷启云, 郑文俊, 王 银, 余思汗, 沈旭章, 郝 明

The compilation of 1 seismotectonic map of the Ordos active block and boundary zone

Lei Qiyun, Zheng Wenjun, Wang Yin, Yu Sihan, Shen Xuzhang, and Hao Ming

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzksxjz.2023-059>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

鄂尔多斯活动地块边界带地震动力学模型与强震危险性研究项目及进展

Project plan and research progress on geodynamic models of earthquakes and strong seismic hazards in boundary zone of the Ordos active block

地震科学进展. 2020(4): 1–21

鄂尔多斯西南缘活动构造几何图像、运动特征及构造变形模式

Deformation pattern based on geometry and kinematics of active tectonics in the Southwestern Ordos block

地震科学进展. 2018(5): 43–45

吴忠—灵武地区地震活动性与强震危险性分析

The earthquake activity and strong earthquake risk analysis of Wuzhong–Lingwu region

地震科学进展. 2020(10): 1–12

鄂尔多斯地块西南缘中小地震震源参数测定及其意义

Determination of focal parameters of medium–small earthquakes in the southwestern margin of the Ordos block and its significance

地震科学进展. 2019(8): 82–83

鄂尔多斯西缘CH₄和CO₂浓度的构造响应

Tectonic controls on variations of CH₄ and CO₂ concentrations near the surface in the vicinity of the northwestern margin of the Ordos Block, China

地震科学进展. 2019(8): 117–117

鄂尔多斯块体西南缘震源机制解与构造应力场特征

Characteristics of focal mechanism solution and tectonic stress field in southwest edge of Ordos block

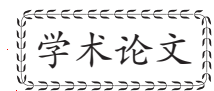
地震科学进展. 2018(8): 55–56



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

雷启云, 郑文俊, 王银, 等. 鄂尔多斯活动地块及边界带 1 : 50 万地震构造图编制 [J]. 地震科学进展, 2024, 54(1): 65-74. doi: 10.19987/j.dzcxjz.2023-059

Lei Q Y, Zheng W J, Wang Y, et al. The compilation of 1 : 500 000 seismotectonic map of the Ordos active block and boundary zone[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2024, 54(1): 65-74. doi:10.19987/j.dzcxjz.2023-059



鄂尔多斯活动地块及边界带 1 : 50 万 地震构造图编制*

雷启云^{1)*} 郑文俊²⁾ 王 银¹⁾ 余思汗¹⁾ 沈旭章²⁾ 郝 明³⁾

1) 宁夏回族自治区地震局, 宁夏银川 750001

2) 中山大学地球科学与工程学院, 广东珠海 519082

3) 中国地震局第二监测中心, 陕西西安 710054

摘要 地震构造图是综合反映特定地区地震构造环境和地震活动水平的基础性图件, 鄂尔多斯活动地块及边界带 1 : 50 万地震构造图是国家重点研发计划“鄂尔多斯活动地块边界带动力学模型与强震危险性研究”项目的一个专题成果。该图以鄂尔多斯活动地块及边界带为编图范围, 参照地震行业有关地震构造图编制标准和数据库标准, 在系统收集和整理区域地理信息、地质、活动构造、地震、地球物理等资料的基础上, 开展高分辨卫星影像解译, 吸收项目最新研究成果, 建设了编图所需的基础数据库; 通过资料矢量化、地层界线修改、断层修改、图面修饰、图件复核等环节, 编制成鄂尔多斯活动地块及边界带 1 : 50 万地震构造图。该图反映了由银川盆地—贺兰山、弧形构造束、渭河盆地、山西地堑系、河套盆地等活动构造单元组成的鄂尔多斯活动地块边界带, 以及相邻地块有关地震构造的最新资料, 完善了鄂尔多斯地块及边界带活动构造几何学和运动学图像, 建成了区域地震构造基础数据库。

关键词 鄂尔多斯; 活动地块; 地块边界带; 地震构造图

中图分类号: P315.2 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2024)01-0065-10

doi: 10.19987/j.dzcxjz.2023-059

The compilation of 1 : 500 000 seismotectonic map of the Ordos active block and boundary zone

Lei Qiyun¹⁾, Zheng Wenjun²⁾, Wang Yin¹⁾, Yu Sihan¹⁾, Shen Xuzhang²⁾, Hao Ming³⁾

1) Earthquake Agency of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Yinchuan 750001, China

2) School of Earth Sciences and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangdong Zhuhai 519082, China

3) The Second Monitoring and Application Center, China Earthquake Administration, Shaanxi Xi'an 710054, China

Abstract The 1 : 500 000 seismotectonic map of the Ordos active block and boundary zone is a special

* 收稿日期: 2023-05-05; 采用日期: 2023-10-24。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1500100)和宁夏自然科学基金项目(2022AAC03688)联合资助。

* 通信作者: 雷启云(1981-), 男, 正高级工程师, 主要从事活动构造、地震构造方面的研究。E-mail: lei-qy624@163.com。



achievement of the national key research and development project “Research on dynamic model and strong earthquake risk of Ordos active block boundary zone”. Taking the Ordos active block and boundary zone as the mapping scope, this map refers to the compilation standards and database standards of seismotectonic map in the seismic industry, and carries out high-resolution image interpretation on the basis of systematically collecting and collating geographic information, geology, active tectonics, earthquake, geophysics and other data. It absorbs the latest research results of the project and builds the basic database required for mapping. Through data vectorization, stratigraphic boundary modification, fault modification, map modification, the 1 : 500 000 seismotectonic map of the Ordos active block and boundary zone was compiled. This map reflects the boundary zone of Ordos active blocks such as Yinchuan Basin Helan Mountains, arc structure bundle, Weihe Basin, Shanxi graben system, Hetao Basin and the seismic structure of adjacent blocks, the geometric and kinematic images of active tectonics in the Ordos block and boundary zone were improved.

Keywords Ordos; active block; block boundary zones; seismotectonic map

0 引言

地震是群灾之首,特别是发生在城市附近的破坏性地震更能造成巨大的灾害损失和惨重的人员伤亡,严重威胁人类社会经济的正常运行^[1]。中国是世界上地震灾害最严重的国家之一,地震造成的经济损失和人员伤亡一直位居世界前列,历史上曾遭遇过强烈的地震袭击,造成惨重的人员伤亡和巨大的经济损失^[2]。如何最大限度地减轻地震灾害损失,保障人民生命和财产安全,是一个亟待解决的重大问题^[3]。

强震预测是减轻地震灾害的重要途径^[4-5]。近年来,由我国科学家提出的中国大陆强震受控于活动地块的科学假说在地震机理和预测研究中得到了广泛应用^[6-10]。但是就活动地块的概念和假说而言,还存在诸多问题需要我们进一步去回答和解释^[11-13]。因此,有必要选择典型的活动地块进行综合研究。

鄂尔多斯地块是中国大陆最典型的活动地块,鄂尔多斯地块及周边的现今构造变形和强震活动十分强烈,历史上就曾发生过5次8级以上地震^[9,14]。同时也是国家“一带一路”倡议之“丝绸之路经济带”的东端,是我国中西部联接的重要纽带。未来该地区一旦发生7级以上强震,将造成极其巨大的人员伤亡和经济损失,给国家安全、社会稳定带来重大影响。因此,鄂尔多斯活动地块及边界带是开展基于活动地块理论强震预测研究的理想场所。

中山大学联合多家单位组织实施了国家重点研发“重大自然灾害监测预警与防范”专项“鄂尔多斯活动地块边界带地震动力学模型与强震危险性研究”项目。该项目以鄂尔多斯活动地块及边界带为研究对象,构建活动地块及边界带三维深浅结构和构造变形模式,建立适用于板块内部的强震孕育动

力学模型,完善大陆强震孕育和发生的活动地块理论,研发具有物理意义的时间相关强震预测理论模型,提出地震危险性理论预测技术规程^[15]。该项目下设4个课题,在课题1下设“鄂尔多斯活动地块及边界带1 : 50万地震构造图编制”的专题任务。

区域地震构造图是开展地震危险性研究的基础性图件,是反映特定地区地震构造环境和地震活动水平的综合性图件^[16]。自20世纪70—80年代以来,针对鄂尔多斯地块边界带的主要断裂,很多学者都开展了大量研究工作,积累了丰富的资料。近年来,在鄂尔多斯活动地块及边界带附近,开展的城市活断层探测和重大工程地震安全性评价均专门编制了区域地震构造图^[17]。城市活断层探测标准要求在以目标区为中心,边长不小于150 km范围内编制1 : 25万区域地震构造图^[18],重大工程地震安全评价标准要求工程场地为中心外延不小于150 km范围内编制1 : 100万区域地震构造图^[19]。另外,相邻省份以省行政界线为范围,编制了省域的1 : 25万地震构造图。在全国尺度范围,还有1 : 400万活动构造图、1 : 400万地震构造图和1 : 500万活动断裂分布图^[20-22]。这些图件针对特定的探测目标区或者特定的工程场地,或者特定的行政区划界线,比例尺在1 : 25万、1 : 100万、1 : 400万、1 : 500万,或多或少涉及鄂尔多斯活动地块及边界带,但基于不同的研究目标,图件比例尺各异、范围大小不同,反映了对特定局部地区地震构造环境在不同时期的认知水平。

以上图件对认识鄂尔多斯活动地块及边界带的地震构造奠定了重要基础,但不足以系统、全面地反映鄂尔多斯活动地块及边界带全部范围内的地震构造环境特征,以及与相邻地块之间的相互关系。因

此,专门编制一幅比例尺适中,既能展示鄂尔多斯活动地块及边界带活动构造几何和运动学图像,又能反映鄂尔多斯活动地块和相邻地块间关系的地震构造图显得尤为必要。

1 编图范围及资料来源

参照地震行业1:25万地震构造图编制和数据库相关标准^[23-24],结合项目研究实际需要进行区域地震构造图编制和数据库建设。

1.1 编图范围

本次编图范围包括了鄂尔多斯活动地块及边界带(含其周缘地区),同时为了显示与相邻地块之间的关系,图面尽可能的包括或涉及到鄂尔多斯活动地块周缘的所有次级地块,南以渭河盆地与华南地块相隔,东以山西地堑系与华北平原地块相分,北以河套断陷盆地和燕山地块相望,西北侧以银川—乌兰泰盆地与阿拉善地块相邻,西南侧则以弧形构造带与青藏地块相接(图1)。

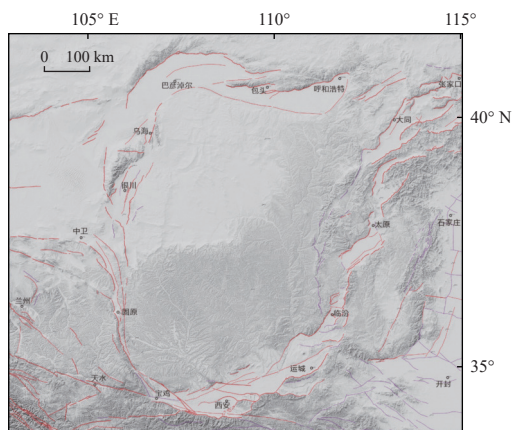


图1 鄂尔多斯活动地块及边界带地震构造图编图范围

Fig. 1 Seismotectonic map compilation range of the Ordos active block and boundary zone

据此确定编图的坐标范围为(33.743°N~41.704°N、103.291°E~114.778°E),东西长约1008 km,南北长约890 km,包括了约90万 km²国土范围。图件不分幅,整幅编制,比例尺为1:500000。

1.2 资料来源

根据编图方案的技术要求,收集了编图区域内基础地理信息、地质、地球物理、地震、地壳形变和活动构造等方面的资料,还进行了必要的卫星影像遥感解译。

本图的基础地理数据来源于国家基础地理信息中心的1:25万和1:100万基础数据,基础地质资

料来源于全国地质资料馆的1:50万区域地质图数据。地震资料截止到2021年底,分别取自中国地震目录^[25]、中国历史强震目录^[26]、中国地震台网中心全国地震目录。吸收了项目对现代地震进行重新定位的成果,并根据最新研究成果及发表结果对所有强地震进行位置校准。活动断层资料以中国地震局地质研究所活动断层探测数据汇交与共享管理中心的1:250万活断层数据为基础,吸收中国活动构造图(1:400万)和中国及邻区地震构造图(1:400万)的相关研究成果,还收集整理20世纪80年代以来的相关活动断层研究成果,充分吸纳了近年来地块周缘主要城市活断层探测、1:5万活动断层填图、地震灾害风险普查、重大工程地震安全性评价及其他一些专题研究等项目取得的新资料和新进展。

另外,根据高分辨率卫星影像图对定位精度差的断层进行了遥感解译,对重点区域断层位置主要依据本项目研究的新成果和新进展,还利用中国大陆构造环境网络监测项目GNSS数据,计算获得了区域GNSS速率运动场(参照欧亚板块)。

总之,收集和整理了编图范围(897120 km²)的基础地理信息(12870条要素)、1:20万地质图(20幅)、1:50万地质图(25幅)、1:250万全国活断层分布图、城市活断层探测地震构造图(12个)、活断层填图(23条)、省级1:25万地震构造图(宁夏、甘肃、陕西、山西、河南5个省份)、历史地震、现代地震(1970年以来3.0级及以上)、高分辨率卫星影像等数据资料,还包括大量公开发表的期刊文献、硕博学位论文(152条断裂)。

2 地震构造图标注内容

国内关于1:50万地震构造图尚无编制标准,我们参照地震行业标准《活断层探察1:250000地震构造图编制》(DB/T 73—2018)进行1:50万地震构造图编制^[23],并进行了适当简化,图面表达和技术要求仍然按已有标准的要求,编写了《鄂尔多斯活动地块及边界带1:50万地震构造图编制方案》。本次编图主图标注内容包括了地质单元、断层、盆地、地震、地理要素、GNSS速度场、辅助图层等7个方面。

2.1 地质单元

为简化图面,突出重点,对前新生代地层,编图地质单元划分到界,并将古生代以前地层全部合并为一个单元,前新生代岩浆岩全部合并为一个单元。古近系、新近系划分到系,第四系划分为下更新统、

中更新统、上更新统和全新统。新生代岩浆岩全部合并为一个单元。

2.2 断层

根据断层的活动时代,划分为活动断层(全新世断层、晚更新世断层)、早一中更新世断层、前第四纪断层。区分正断层、逆断层、走滑断层,并标示断层的产状。标示活动断层的活动速率,单位为毫米每年(mm/a)。标绘历史地震、现代地震的地表破裂带以及位移参数。

2.3 盆地

标绘盆地内第四纪地层等厚线,单位为米(m)。

2.4 地震

使用绿色实心圆标示 1970 年以前 $M_S \geq 4\frac{3}{4}$ 的历史地震。使用红色实心圆标示 1970 年(包含 1970 年)以来仪器记录的 $M_S \geq 3.0$ 的地震。标示大于等于 7 级地震的震级和时间。

2.5 地理要素

只标示县级以上居民点和主要河流、湖泊等水系。交通道路只标注了主要铁路和高铁线路。

2.6 GNSS 速度场

为了显示地块的运动趋势,用箭头标示了项目组解算的参照对欧亚板块的 GNSS 运动速率矢量,该 GNSS 数据源自中国大陆构造环境网络监测项目。

2.7 辅助图层

用于存储制图过程中一些无法使用软件自动表达的符号,例如:断层编号、地层符号、标记线、责任表等。

3 编图基础数据库建设

参考有关标准,建立基于 ArcGIS 地理空间的数据库基本框架,采用国家 2000 坐标系,基础地理数据直接使用国家基础地理信息标准。

地震构造图编制基于 ArcGIS9.2 平台的地理空间数据库模型,编图前需要完成基础数据库建设。根据编图方案,对收集到的数据资料进行矢量化、基础信息录入、数据格式转化、坐标系转换、数据筛选合并、数据属性标准化、地层符号标准化等数据批量处理,形成了编图所需基础数据库,完成了编图前的数据存储准备。

综合收集到的不同时期的各类资料,对资料的可靠性进行评估,逐次对编图区的 152 条断裂的位置、活动时代、产状、滑动速率、同震位移及资料来源等信息逐一进行完善,大大提高了编图基础数据

库的完整性。根据完善的信息,在图面对断层的活动时代进行调整,绘制了断层的产状标示和倾角,标注了断层编号、滑动速率和同震位移等信息。

基础数据库(鄂尔多斯地块边界带 1:500000 区域地震构造图.gdb)包含了地理、地震、地质及辅助信息 4 大类的数据要素。根据数据内容属性又分为 15 个单项要素(面要素 3 个、线要素 7 个、点要素 5 个),共包含了约 60000 个数据要素(表 1)。

表 1 编图基础数据库工作量表

Table 1 The basic database workload table of drawing compilation

要素类名称	要素类型	数据量
工作区范围(897120 km ²)	面	1个
山脉名称、居民点	点	8870个
水系	线、面	约4000个
1:50万地层	面	约1.9万个
1:50万地层线	线	约4万个
1:50万岩体	面	约4000个
1:50万岩体线	线	约400个
1:50万断裂	线	约980条
1:50万断层产状	点	276个
1:50万地震地表破裂带	线	约30条
1:50万第四系等厚线	线	约230条
1970年以来地震目录点	点	120个
1970年以前 $M_S \geq 4\frac{3}{4}$ 强震目录点	点	438个
制图辅助注记	点	约1万个
制图辅助线	线	1100

4 地震构造图编制成图

在编图基础数据的基础上,结合项目最新调查结果和室内高分辨率遥感影像解译,通过地层界线修改、断层修改、图面修饰及图件复核 4 个重要环节,进行了多个轮次反复修改,通过平移、删除、平滑及补充绘制等操作,先后对 1088 处地层单元边界和断裂交切关系进行了修改,对 937 条断层线段进行平移调整,对近 6000 个地层单元界线和 1204 条断层线段进行了平滑处理,涉及修改的地层数据占原稿的 25%,断层线的属性和线型修改达 80% 以上。

4.1 地层界线修改

地层界线修改是编图的主要工作。本次制图范

围大,整幅编制,成图比例大,覆盖面积达90万 km^2 ,图幅长2.08 m、宽1.89 m,涉及地层单元多。虽然对前新时代地层已进行了合并简化处理,但因删除了大量1:50万地质图中的大量断层数据,导致图面地层界线多呈现复杂的锐角状、折线状、锯齿状,尽管在编制中根据纸介质图幅已经进行了多个轮次的针对性修改和平滑,但鉴于图幅面积大,初稿中仍然存在此类问题。先后反复对地层新界线进行调整、平滑,老断层删减及零星地层单元合并等处理。

4.2 断层位置校正

断层位置校正是制图的重点内容。根据收集到的城市活断层1:25万地震构造图、活断层大比例尺填图(1:5万),结合卫星影像解译,对制图范围内的活动断层的位置、几何结构、活动时代、运动性质等逐一进行复核和校正;吸收项目组获得的一些活断层的最新研究结果,及时进行修改;对研究薄弱的断层及没有更大比例分布图件约束位置的断层,根据期刊文献资料,开展高分辨率遥感影像解译,完善断层的几何图像、运动性质等。

4.3 图面修饰

图面修饰在制图中必不可少。在完成前两项大量基础工作后,进行图面修饰,调整界线的粗细,参照地质图标准配色充填底色,绘制附表信息和图例,检查图面各要素的合理性,调整各要素标注字体大小和位置等。以达到规范的1:50万地震构造图图面要求。

4.4 图件复核

图件复核是提高制图质量的重要一环。因图幅面积大,电脑中显示和实际成图效果之间难免存在差别,需要按图件比例尺打印纸介质图件草稿,开展图面要素复核和专业复核两个层次的复核。图面要素复核检查图面的效果和错误,如颜色、线条、图例等。专业复核着重检查图面各地质要素、断层要素的合理性,同时结合卫星影像解译复核断裂位置的准确性。根据复核结果和专家咨询意见开展下一轮的修改制图,如此不断反复完善,经过百余次的修改完善,最终完成1:50万地震构造图的编制(图2)。

5 边界带及相邻地块地震构造特征

编图涉及范围广,跨越了不同构造区域,活动断层数目众多。为了便于总结和论述,将地震构造图区域内划分成5个区域,并对主要活动断裂带的基本

特征进行简要介绍。

5.1 西北边界带及邻区

该区位于鄂尔多斯地块的西北角,在构造位置上位于青藏、阿拉善和鄂尔多斯3个活动地块的交汇处,区内活动构造发育,断裂运动性质复杂,历史上有强烈地震发生。

区内活动断裂围绕盆地和山脉边界发育,如在银川盆地两侧,贺兰山、巴彦乌拉山、雅布赖山等的山麓位置,断裂总体以北东向为主,部分段落近东西向,中部发育近南北向和北西向断裂。

银川盆地和贺兰山周边的断裂带形成了鄂尔多斯地块和阿拉善地块间的边界带。银川盆地内发育了4条北东走向的全新世正断层,贺兰山东麓断裂为银川断陷盆地的西边界,垂直滑动速率为1.3 mm/a,黄河断裂是银川盆地的东边界断裂,垂直滑动速率为0.24 mm/a,盆地内还发育芦花台隐伏断裂和银川隐伏断裂,垂直滑动速率分别为0.18 mm/a和0.14 mm/a。贺兰山东麓断裂上发生了1739年平罗8级地震。

贺兰山周边地区发育3条性质不同的全新世活动断裂:三关口—牛首山断裂的北段斜切贺兰山山体,南段是银川盆地的西南边界,断裂走向北西向,具右旋走滑运动性质,水平滑动速率为0.35 mm/a;贺兰山西麓断裂发育在贺兰山西麓洪积扇上,走向近南北,也具右旋走滑兼逆冲,水平滑动速率为0.28 mm/a;正谊关断裂横贯贺兰山北部山区,走向近东西,断面向南倾斜,逆冲兼左旋走滑性质,粗略估计其水平滑动速率为1.1~1.5 mm/a。

阿拉善地块内发育3条全新世活动断裂。巴彦乌拉山断裂和雅布赖山前断裂控制了雅布赖和吉兰泰盆地的北西边界,两条断裂走向北东向,和银川盆地断裂系统走向相近,大部分段落表现为正断层,但在局部存在左旋水平运动和逆冲运动,呈现了复杂的构造应力环境,两条断裂的垂直滑动速率分别为0.33 mm/a和0.11 mm/a。另外,地块内还发育近东西向的河西堡—四道山断裂,表现为逆冲兼左旋走滑性质,垂直滑动速率为0.04 mm/a,其上发生了1970年民勤7.0级地震。

5.2 西南边界带及邻区

鄂尔多斯活动地块的西南和青藏高原东北缘相邻,弧形构造带和罗山—六盘山—马召边界断裂带是地块间的主要边界。同时,编图也包括了邻近的陇西地块和西秦岭地块。

弧形构造带的活动断裂明显受控于青藏高原的

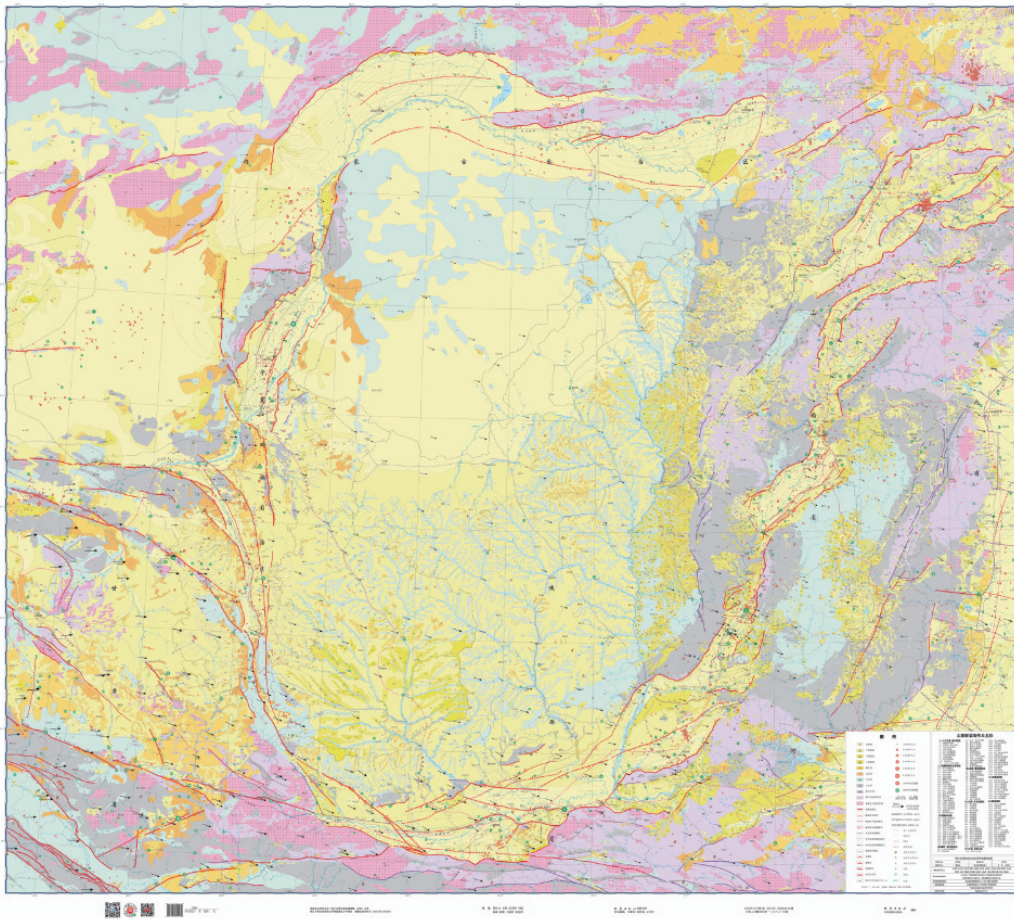


图2 鄂尔多斯活动地块及边界带 1:50 万地震构造图样图^[27-28]

Fig. 2 1:500 000 seismotectonic map of the Ordos active block and boundary zone^[27-28]

扩展和相邻地块的相互作用,其北部是青藏高原和阿拉善地块的分界,东部是青藏高原和鄂尔多斯活动地块的边界。主要由海原断裂、中卫—同心断裂、烟筒山断裂组成。构造带的西部断裂走向呈北西—东西向,向东转变为近南北向,断裂运动性质也由左旋走滑为主转变为逆冲为主;从南向北,断裂活动相对减弱,反映了高原向北依次扩展的过程。海原断裂水平滑动速率为 4.6 mm/a,其上发生了 1920 年海原 8.5 级地震;中卫—同心断裂东段和西段的水平滑动速率分别为 1.5 mm/a 和 1.1 mm/a,东段发生了 1709 年中卫 7 $\frac{1}{4}$ 级地震;烟筒山断裂活动性相对较弱,晚更新世活动。

罗山—六盘山—马召边界断裂带主要由罗山东麓断裂、六盘山东麓断裂和岐山—马召断裂等 3 条性质不同的全新世断裂组成,走向近南北向的边界带,形成了鄂尔多斯活动地块的西南边界的控制断裂带,也是鄂尔多斯活动地块西边界带的主要组成部分。因两侧地块相对运动方向不同,3 条断裂呈现了

完全不同的运动性质。中段六盘山东麓断裂为左旋走滑兼逆冲,水平和垂直滑动速率分别为 0.83 mm/a 和 0.31 mm/a,其上发生了 1219 年固原 6 $\frac{1}{2}$ 级地震;南段的岐山—马召断裂为左旋走滑,水平滑动速率为 0.85 mm/a,其上发生了公元前 780 年岐山 7 级地震和 600 年陇县 6 级地震;而北段罗山东麓断裂为右旋走滑,水平滑动速率为 1.4 mm/a,其上发生了 1561 年中宁 7 $\frac{1}{4}$ 级地震。该带内还发育一些次一级的断裂,均为晚更新世活动。

陇西地块内部的活动断裂总体走向北西向,以左旋走滑运动为主,兼有逆冲,活动较强的有马街山北缘断裂、会宁—义岗断裂和通渭断裂,其上分别发生了 1125 年兰州 7 级地震、1352 年会宁 7 级地震和 1718 年通渭 7 $\frac{1}{4}$ 级地震。

西秦岭地块是由北西西、北东东、北西走向的 3 组断裂带组成的三角形区域。北西西向的西秦岭北缘断裂为北边界,其上发生了 143 年甘谷 7 级、734 年天水 7 级和 1936 年康乐 6 $\frac{1}{4}$ 级地震;北西向的临潭

一宕昌断裂和迭部—白龙江断裂带形成较宽广的西边界,其上发生了1837年临潭6.0级和1573年岷县6¼级地震;而北东东向的两当—江洛断裂和凤县—桃川断裂组成南边界,区域内部还发育了北东走向的礼县—罗家堡断裂,附近发生了1654年礼县8.0级地震。边界断裂均具有左旋走滑运动性质,北边界表现为较强的左旋走滑运动,东边界逆冲分量增加,而南边界的水平运动和逆冲运动相对减弱,反应了区域整体相对向东南运动的趋势及地块旋转的特征。

5.3 南边界带及邻区

岐山—马召断裂以东的渭河盆地与秦岭地区,是鄂尔多斯地块南边界带的主要构造单元。该区域的活动断裂多发育在渭河盆地内,以正断层为主要特征。渭河盆地除了边界发育活动断裂外,内部还发育多条断裂,呈现复杂的网格状。另外,在秦岭内部也发育少数具有走滑性质的断裂。

渭河盆地内发育两组活动断裂,第一组北西西或东西向,第二组北东或北东东向,两组断裂多处相交,呈现网格状。第一组断裂的规模大、活动性强,多为裸露断裂,全新世活动,例如华山山前断裂、渭南塬前断裂、骊山山前断裂和秦岭北缘断裂,均为正断层,垂直滑动速率分别为1.48 mm/a、0.58 mm/a、0.25 mm/a和0.45 mm/a,其中,华山山前断裂和渭南塬前断裂之上发生了1556年华县8½级地震;第二组断裂的规模小、活动性弱,多为隐伏断裂,多为晚更新世活动,个别全新世活动,例如渭河断裂、临潼—长安断裂、桃川户县断裂等。另外,在秦岭内发育两条规模较大的断裂,为铁炉子断裂和商丹断裂,前者具有左旋走滑性质,晚更新世活动。

5.4 东边界带及邻区

鄂尔多斯活动地块的东边界为山西地堑系,由一系列断陷盆地组成,与华北地块相邻。由南向北分别为运城—临汾盆地、太原—忻定盆地、大同—张家口盆地。

运城—临汾盆地包括了运城盆地和临汾盆地,两盆地被峨眉台地隔开,总体走向为北东向,主要活动断裂发育在盆地的边界上,主要包括中条山山前断裂、韩城断裂、罗云山山前断裂和霍山山前断裂。中条山山前断裂是运城盆地东侧和南侧边界断裂,垂直滑动速率为0.75 mm/a;韩城断裂是运城盆地的西北边界,其北端与罗云山山前断裂相连,垂直滑动速率为0.53 mm/a;罗云山山前断裂是临汾盆地的东

部边界,垂直滑动速率为0.36 mm/a;霍山山前断裂为临汾盆地东北部的边界断裂,垂直滑动速率为1.2 mm/a,其上发生了1303年洪洞8级地震。运城盆地内还发育多条北东东走向的隐伏断裂,临汾盆地北北东向的隐伏断裂也控制着盆地形态。两盆地之间的峨眉台地北缘发育一条北东东走向的正断裂,垂直滑动速率为0.36 mm/a。

太原—忻定盆地包括了太原盆地和忻定盆地,两盆地以北东向展布,左阶斜列,均为正断层控制的断陷盆地,主要活动断裂发育在盆地边界,均为全新世活动断层。太原盆地发育2条边界断裂,以正断为主,兼有右旋走滑;太谷断裂展布在太原盆地东侧,垂直滑动速率为0.12 mm/a;交城断裂是太原盆地西边界的主控断裂,垂直滑动速率为1.9 mm/a。忻定盆地发育3条边界断裂:系舟山北麓断裂为忻定盆地控制定襄凹陷东南的边界断裂,垂直滑动速率为1.5 mm/a;云中山山前断裂为忻定盆地原平凹陷的主控边界断裂,垂直滑动速率为0.33 mm/a,其上发生了1683年原平7级地震;五台山山前断裂也是一条控盆边界断裂,垂直滑动速率为0.64~0.68 mm/a,其上发生了512年原平—代县7¼级地震。

大同—张家口盆地包括晋西北的大同盆地、阳原盆地、蔚广盆地、怀安盆地和岱海盆地等,是晋冀蒙盆地构造区的主要组成部分,均为正断层控制的地堑和半地堑断陷盆地,其中大同盆地规模最大,蔚广盆地和怀安盆地在东北端和大同盆地相连接,而岱海盆地大同盆地北西平行展布。区内的主要活动断裂发育在盆山边界,例如:恒山北麓断裂、六棱山北麓断裂、口泉断裂、蔚广盆地南缘断裂、阳原盆地北缘断裂、阳高—天镇断裂、怀安盆地南缘断裂、怀安盆地北缘断裂、岱海盆地南缘断裂、岱海盆地北缘断裂等,垂直滑动速率依次为1.31 mm/a、0.3 mm/a、0.53 mm/a、0.42 mm/a、0.14 mm/a、0.34 mm/a、0.37 mm/a、0.1 mm/a、0.25 mm/a和0.37 mm/a。

邻近的华北地块区发育3组断裂,优势方向为北东向,其次为北西向断裂,再次为东西向断裂。北东向断裂规模最大。区内断裂多为隐伏断裂,大多为中更新世活动断裂,只有晋获断裂、盘古寺—新乡断裂、汤东断裂、汤西断裂等为晚更新世断裂。断裂活动规模和强度远弱于鄂尔多斯活动地块周缘断裂体系。

5.5 北边界带及邻区

河套盆地构成鄂尔多斯地块的北边界带,相邻燕山地块内无活动断裂发育。河套盆地主要活动断

裂在盆山分界处发育。大青山山前断裂位于河套盆地北缘大青山南侧,总体北东东方向展布,垂直滑动速率为 1.5 mm/a,其上发生了 849 年河套 7¼ 级地震;乌拉山山前断裂位于乌拉山南麓山前,总体走向近东西,垂直滑动速率为 0.66 mm/a,二者控制了河套断陷带的东北边界。色尔腾山山前断裂位于色尔腾山南麓山前,与狼山山前断裂一起控制河套断陷带的西北边界,东段呈近东西向,西段转为北西西,两条断裂的垂直滑动速率分别为 0.22 mm/a 和 0.86 mm/a。桌子山西缘断裂总体走向北北东向,是河套盆地西段乌海断陷的东边界,垂直滑动速率为 0.15 mm/a。盆地南部发育鄂尔多斯北缘断裂,控制了河套盆地的南边界,垂直滑动速率为 0.3 mm/a。北东向的和林格尔断裂为河套盆地的东边界控制断裂,但活动性相对较弱。

6 新进展与新认识

(1) 鄂尔多斯活动地块及边界带 1:50 万区域地震构造图编图范围涉及近 90 万 km² 国土面积,图幅涉及甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、河北、内蒙等 7 个省、自治区,图件充分吸收了鄂尔多斯活动地块周边城市活断层探测 1:25 万地震构造图、活断层填图 1:5 万地质图、省级 1:25 万地震构造图等前人最新资料,同时充分吸收了项目组最新调查和研究成果,图面标绘了地质单元、断层、盆地、地震、GNSS 速率、地理要素 6 个方面的内容,并附有说明书。该图以整幅的形式反映鄂尔多斯活动地块及边界带的地震构造环境和地震活动性水平,展示了鄂尔多斯活动地块及边界带的活动构造几何和运动学图像,也反映了鄂尔多斯活动地块和相邻所有次级地块间的关系,是一幅反映鄂尔多斯活动地块及边界带的地震构造环境和地震活动性水平的综合性、基础性成果图件。

(2) 鄂尔多斯活动地块内部不发育活动断裂,周缘被一系列活动断裂所围限,形成了鄂尔多斯活动地块和相邻地块间的边界带。鄂尔多斯活动地块的东、南、北 3 个边界带由以正断层控制的断陷盆地组成,水平运动并不显著,表明与相邻地块间以伸展作

用为主。而西边界受青藏高原推挤的影响,构造较为复杂,以一条右旋走滑断裂带为界又分为性质不同的南北两段。其北段为银川断陷盆地和贺兰山周边断裂系组成的盆山构造边界,反映了阿拉善地块和鄂尔多斯地块间的右旋剪切作用;其南段为数条左旋走滑断裂组成的弧形构造束,反映了青藏高原和鄂尔多斯地块间的挤压左旋剪切作用。与鄂尔多斯活动地块相邻的陇西地块、西秦岭地块、华北地块中发育一定数量和规模的活动断裂,阿拉善地块和秦岭地块内发育个别活动断裂,而燕山地块内不发育活动断裂。

(3) 鄂尔多斯活动地块的边界带是由多个相对独立的构造单元组成的复杂活动构造体系,历史上 6 级以上地震均发生在其内,是一个强震带。边界带中的每个构造单元又由多条活动断裂组成,并存在明显分级的特征。一级活动断裂为各构造单元的边界,同时也是与相邻地块的边界,断裂规模大,活动性强,控制 7.5 级以上大地震的发生;二级活动断裂为各构造单元的边界,断裂规模次之,具有较强的活动性,控制了 7.0~7.5 级地震;三级活动断裂发育在各构造单元内部,规模小,活动性弱,控制了 6.0~7.0 级地震的发生。由此表明,不但中国大陆活动地块的边界存在分级,而且活动地块边界带内也存在分级特征。

致谢

中国地震局地质研究所活动断层探测数据汇交与共享管理中心、国家基础地理信息中心、全国地质资料馆、中国地震台网中心为编图提供了基础数据支持;张培震院士、冉勇康研究员、田勤俭研究员、冯希杰研究员、柴炽章研究员、袁道阳教授、李自红研究员、李传友研究员、陈立春研究员、龙锋高级工程师等专家在编图方案论证、图件编制、图件审查等环节给出了许多宝贵意见和建议;20 世纪 80 年代以来有关单位和学者开展的活动断裂专题研究、城市活断层探测、1:5 万活动断层填图、地震灾害风险普查、重大工程地震安全性评价、期刊论文及学位论文等成果资料是本次编图的重要工作基础。在此,对有关单位和专家致以诚挚的感谢!

参考文献

[1] 张培震. 中国大陆岩石圈最新构造变动与地震灾害[J]. 第四纪研究, 1999, 13(5): 404-413

Zhang P Z. Late Quaternary tectonic deformation and earthquake hazard in continental China[J]. Quaternary Sciences, 1999, 13(5): 404-413

- [2] 张培震, 邓起东, 张竹琪, 等. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43(10): 1607-1620
Zhang P Z, Deng Q D, Zhang Z Q, et al. Active faults, earthquake hazards and associated geodynamic processes in continental China[J]. *Scientia Sinica Terrae*, 2013, 43(10): 1607-1620
- [3] 张培震. 中国地震灾害与防震减灾 [J]. *地震地质*, 2008, 30(3): 577-583
Zhang P Z. Earthquake disaster and its reduction in China[J]. *Seismology and Geology*, 2008, 30(3): 577-583
- [4] 张国民, 张培震. 近年来大陆强震机理与预测研究的主要进展 [J]. *中国基础科学*, 1999, 1(增刊1): 47-58
Zhang G M, Zhang P Z. Recent research progress on the mechanism and forecast for continental strong earthquakes[J]. *China Basic Science*, 1999, 1(S1): 47-58
- [5] 陈运泰. 地震预测: 回顾与展望 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2009, 30(12): 1633-1658
Chen Y T. Earthquake prediction: Retrospect and prospect[J]. *Science in China: Earth Science*, 2009, 30(12): 1633-1658
- [6] 马杏垣. 中国岩石圈动力学图 [M]. 北京: 地图出版社, 1989
Ma X Y. Dynamics diagram of lithosphere in China[M]. Beijing: Map Publishing House, 1989
- [7] 丁国瑜. 中国岩石圈动力学概论 [M]. 北京: 地震出版社, 1991: 142-153
Ding G Y. Introduction to Chinese lithospheric dynamics[M]. Beijing: Seismological Press, 1991: 142-153
- [8] 马瑾. 从断层中心论向块体中心论转变——论活动块体在地震活动中的作用 [J]. *地学前缘*, 1999, 6(4): 363-370
Ma J. Changing viewpoint from fault to block: A discussion about the role of active block in seismicity[J]. *Geoscience Frontiers*, 1999, 6(4): 363-370
- [9] 张培震, 邓起东, 张国民, 等. 中国大陆的强震活动与活动地块 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2003, 33(增刊1): 12-20
Zhang P Z, Deng Q D, Zhang G M, et al. Active tectonics blocks and strong earthquakes in the continent of China[J]. *Science in China: Earth Science*, 2003, 33(S1): 12-20
- [10] 邵志刚, 武艳强, 季灵运, 等. 中国大陆活动地块边界带主要断层的强震震间晚期综合判定 [J]. *地球物理学报*, 2022, 65(12): 4643-4658
Shao Z G, Wu Y Q, Ji L Y, et al. Comprehensive determination for the late stage of the interseismic period of major faults in the boundary zone of active tectonic blocks in Chinese mainland[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2022, 65(12): 4643-4658
- [11] 郑文俊, 王庆良, 袁道阳, 等. 活动地块假说理论框架的提出、发展及未来需关注的科学问题 [J]. *地震地质*, 2020, 42(2): 245-270
Zheng W J, Wang Q L, Yuan D Y, et al. The concept, review and new insights of the active-tectonic block hypothesis[J]. *Seismology and Geology*, 2020, 42(2): 245-270
- [12] 郑文俊, 张竹琪, 郝明, 等. 强震孕育发生的大陆活动地块理论未来发展与强震预测探索 [J]. *科学通报*, 2022, 67(13): 1352-1361
Zheng W J, Zhang Z Q, Hao M, et al. Physical basis for prediction of continental strong earthquakes: Development and prospect of active tectonic block theory[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2022, 67(13): 1352-1361
- [13] 邵志刚, 王武星, 刘琦, 等. 活动地块理论框架下的地震物理预报展望 [J]. *科学通报*, 2022, 67(13): 1362-1377
Shao Z G, Wang W X, Liu Q, et al. Prospects of earthquake physical forecasting under the framework of active-tectonic block theory[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2022, 67(13): 1362-1377
- [14] 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, 1988
The Research Group of *Peripheral Active Fault System Around the Ordos* by State Seismological Bureau. *Peripheral active fault system around the Ordos*[M]. Beijing: Seismological Press, 1988
- [15] 郑文俊, 王庆良, 陈九辉, 等. 鄂尔多斯活动地块边界带地震动力学模型与强震危险性研究项目及进展 [J]. *地震科学进展*, 2020, 50(4): 1-21
Zheng W J, Wang Q L, Chen J H, et al. Project plan and research progress on geodynamic models of earthquakes and strong seismic hazards in boundary zone of the Ordos active block[J]. *Progress in Earthquake Sciences*, 2020, 50(4): 1-21
- [16] 胡聿贤. 地震安全性评价技术教程 [M]. 北京: 地震出版社, 1999
Hu Y X. Technical tutorial on seismic safety evaluation[M]. Beijing: Seismological Press, 1999
- [17] 黎益仕, 于贵华. 地震活动断层探测标准化探索与实践 [J]. *城市与减灾*, 2018(1): 14-17
Li Y S, Yu G H. Standardization research and practice on surveying and prospecting of Seismically active faults[J]. *City and Disaster Reduction*, 2018(1): 14-17

- [18] 中国地震局. 活动断层探测: GB/T 36072—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018
China Earthquake Administration. Surveying and prospecting of active fault: GB/T 36072—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018
- [19] 中国地震局. 工程场地地震安全性评价: GB 17741—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005
China Earthquake Administration. Evaluation of seismic safety for engineering sites: GB 17741—2005[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005
- [20] 邓起东, 冉勇康, 杨晓平, 等. 中国活动构造图(1:400万)[M]. 北京: 地震出版社, 2007
Deng Q D, Ran Y K, Yang X P, et al. Active tectonic map of China (1:4000000)[M]. Beijing: Seismological Press, 2007
- [21] 徐锡伟, 韩竹军, 杨晓平, 等. 中国及邻近地区地震构造图(1:400万)[M]. 北京: 地震出版社, 2016
Xu X W, Han Z J, Yang X P, et al. Seismic tectonic map of China and its neighboring areas (1:4000000)[M]. Beijing: Seismological Press, 2016
- [22] 吴中海, 周春景. 中国及毗邻海区活动断裂分布图(1:500万)[M]. 北京: 地质出版社, 2018
Wu Z H, Zhou C J. Distribution map of active faults in China and its adjacent sea area (1:5000000)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016
- [23] 中国地震局. 活动断层探索 1:250000 地震构造图编制: DB/T 73—2018[S]. 北京: 中国质检出版社, 2018
China Earthquake Administration. Active fault survey: Compilation of 1:250000 seismic structure map: DB/T 73—2018[S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2018
- [24] 中国地震局. 1:50000 活动断层填图数据库规范: DB/T 65—2016[S]. 北京: 地震出版社, 2016
China Earthquake Administration. Code of 1:50000 active fault mapping database: DB/T 65—2016[S]. Beijing: Seismological Press, 2016
- [25] 顾功叙. 中国地震目录(公元前 1831—公元 1969 年)[M]. 北京: 科学出版社, 1983
Gu G X. Earthquakes catalogue of China (1831 BC—1969 AD)[M]. Beijing: Science Press, 1983
- [26] 国家地震局震害防御司. 中国历史强震目录: 公元前 23 世纪—公元 1911 年 [M]. 北京: 地震出版社, 1995
Earthquake Disaster Prevention of State Seismological Bureau. Catalogue of historical strong earthquakes in China: 23 century BC—1911 AD[M]. Beijing: Seismological Press, 1995
- [27] 郑文俊, 雷启云, 王银, 等. 鄂尔多斯活动地块及边界带地震构造图(1:50万)[M]. 北京: 地震出版社, 2023
Zheng W J, Lei Q Y, Wang Y, et al. Seismotectonic map of Ordos active block and boundary zone (1:500000)[M]. Beijing: Seismological Press, 2023
- [28] 郑文俊, 雷启云, 王银, 等. 鄂尔多斯活动地块及边界带地震构造图(1:50万)说明书 [M]. 北京: 地震出版社, 2023
Zheng W J, Lei Q Y, Wang Y, et al. Instructions for seismic structural maps of Ordos active blocks and boundary zones (1:500000)[M]. Beijing: Seismological Press, 2023