

# 大同 - 阳高地震群的研究现状

陈 杨\*, 王聪浩

河北工程大学地球科学与工程学院, 河北 邯郸

收稿日期: 2026年3月17日; 录用日期: 2026年4月16日; 发布日期: 2026年4月29日

## 摘 要

1989年10月和1991年3月, 在大同与阳高交界的堡村 - 西册田一带发生过两次最大震级超过5的中强地震群, 两次地震群给当地经济和民生造成了巨大的破坏, 直接经济损失约为4.2亿元, 简称大同 - 阳高地震群。现今震区内小震不断, 其活动特征、成因机制等一直是地震学研究的重点领域。本文系统梳理了大同 - 阳高地震群的区域地质背景、地震活动基本特征、地震群的发震构造等方面的研究成果, 分析了当前的研究中存在的不足之处, 并对未来的研究方向进行展望。借此为当地开展防震减灾工作提供有效准确的科学支撑。

## 关键词

大同 - 阳高地震群, 震群特征, 发震构造, 研究现状

# A Review of Research on the Datong-Yanggao Earthquake Swarm of 1989 and 1991

Yang Chen\*, Conghao Wang

School of Earth Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

Received: March 17, 2026; accepted: April 16, 2026; published: April 29, 2026

## Abstract

In October 1989 and March 1991, two moderate-to-strong earthquake swarms with magnitudes exceeding 5 occurred in the area of Baocun-Xice Tian, located at the junction of Datong and Yanggao. These two earthquake swarms caused significant damage to the local economy and people's livelihood, with direct economic losses amounting to approximately 420 million yuan. They are collectively referred to as the Datong-Yanggao earthquake swarm. Currently, small earthquakes continue to occur

\*通讯作者。

within the earthquake zone, and the characteristics of their activity and the underlying mechanisms have always been key areas of seismological research. This article systematically reviews research findings on the regional geological background, basic characteristics of seismic activity, and seismogenic structures of the Datong-Yanggao earthquake swarm. It analyzes the deficiencies in current research and outlines future research directions. This provides effective and accurate scientific support for local efforts in earthquake prevention and disaster mitigation.

## Keywords

Datong-Yanggao Earthquake Swarm, Swarm Characteristics, Seismogenic Structure, Research Status

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

中国地处环太平洋地震带与欧亚地震带的交汇部位,地质构造复杂且新构造运动强烈,是全球范围内地震活动最为频繁、灾害损失最为严重的国家之一。在漫长历史进程中,我国境内曾发生过多次惨重人员伤亡与社会经济重创的强烈地震,如1668年发生在山东郯城的8.5级地震、1830年发生在河北磁县的7½级地震等。这些强震事件不仅在史料中留下了触目惊心的灾害记录,更为认识中国大陆强震孕育机制与地震风险防控提供了重要的历史样本[1][2]。

在华北地区地震活动的时空格局中,晋冀蒙交界地带的大同-阳高地区因其特殊的构造位置,成为区域地震监测与研究的关键区域。1989年10月与1991年3月,该区域堡村-西册田一带先后发生两次显著的中强震群活动,两次事件最大震级均突破5级,其中1989年震群主震达6.1级,1991年震群主震为5.8级,因此称为大同-阳高地震群[3]。该震群具有活动持续周期长、地震序列频次高、震害影响范围广、破坏程度突出等显著特征,其中1989年6.1级地震更是1976年唐山7.8级地震之后,华北地区发生的最大震级地震事件;同时,该地震也是公元1000年以来,大同-阳原盆地内记录到的第4个6级以上强震,充分反映出该区域具备中强地震反复孕育与发生的构造背景,也凸显了针对大同-阳高震群开展深入研究对于认识震区构造断裂的活动特征、评估区域地震危险性的重要科学价值。

大同-阳高震群的发生造成了人员伤亡与经济损失,这次地震使得大同、阳高、浑源、广灵以及阳原、丰镇等市遭到了不同程度的破坏,总经济损失达4.2亿元。多年来,国内外学者围绕该地震群的震群特征、发震构造等开展了大量的研究工作,取得了极其详细的研究成果。本文基于现有的研究数据,对大同-阳高震群的研究现状进行梳理与总结,以期为后续的研究提供一定的参考价值。

## 2. 区域地质背景

晋冀蒙盆岭构造区域位于山西地堑系的北部东侧,北达燕山地块,南部以系舟山北麓断裂为边界[4]。在晋冀蒙盆岭构造区域,存在着大大小小的走向为NE向的断陷盆地,从这些断陷盆地的几何形状来看,多为不对称的半地堑形状。大同盆地、阳原盆地连成一体,且大同-阳高阳原盆地为区域内规模较大的断陷盆地,大同-阳高震区就位于区域内阳原盆地内。区域内存在多组断裂总体,按照断层的走向可大致分为NE向和NW向断层,其中NE向断层是区域内最主要的发展构造。

阳原盆地位于晋冀蒙盆岭构造的中部区域,阳原盆地的形成与发展受盆地南缘断裂六棱山北麓断裂

以及阳原盆地北缘断裂两个主控边界断裂控制。其中六棱山北麓断裂为区域内规模最大的北东向全新世活动断层。徐锡伟等[5] (1996)根据地质调查, 结合断层的几何形态, 将六棱山北麓断裂划分为5段。同时, 程绍平等[6] (1996)根据断层沿线各处的地貌特征, 将该断裂带划分为西南段和东北段。阳原盆地是一个地堑状断陷盆地, 主要在新生代晚期发展起来。上新世时, 盆地南部的六棱山地呈强烈的抬升趋势, 与之相比, 阳原地块呈下降趋势, 进而形成阳原盆地[7]。在第四纪早期, 该区域内发育了较为广阔的湖泊, 被称为泥河湾古湖[8]。到了第四纪中期, 区域内的构造活动过于强烈, 发生了多次火山活动[9]。后续随着构造活动的进一步加剧, 进而导致区域内的湖泊开始消亡。直到晚更新世晚期, 区域内湖泊已彻底消失。

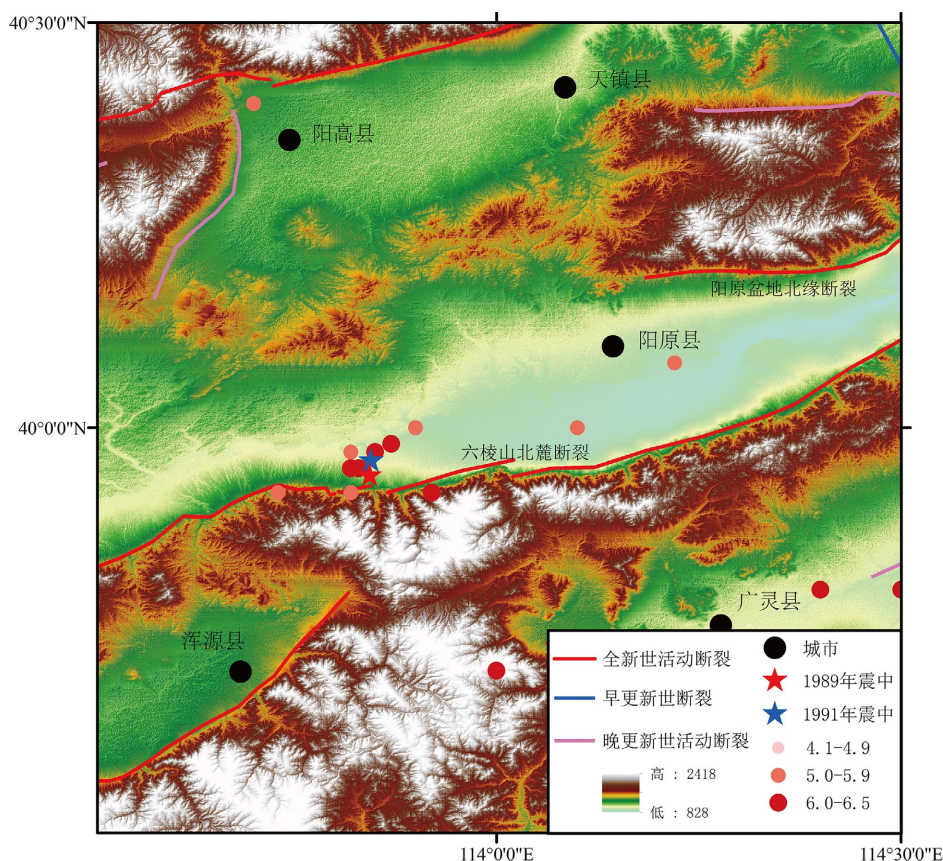


Figure 1. Regional geological background  
图 1. 区域地质背景

### 3. 大同 - 阳高震群基本活动特征

#### 3.1. 地震序列特征

大同 - 阳高地震活动开始于 1989 年 10 月 18 日, 持续了两年有余; 在此期间, 震区内共记录到 4 级以上地震 20 余次, 5 级以上地震 7 次, 序列最大震级为 6.1 级。

从大同 - 阳高地震序列的整体特征来看, 两次中强地震群序列的类型存在明显的差异。1989 年地震群的最大震级为 6.1 级, 此次地震序列表现出地震频率高、地震整体活动强度大、多起震级相近的地震事件在几天内集中发生、后续余震持续时间偏长等特点, 且在强震和余震发生之前也呈现出“密集 - 平静”的特点; 至于 1991 年 3 月发生的地震群, 与 1989 年地震群相比, 表现出典型的“主震 - 余震”型地震

序列, 大震后的余震衰减速度较快, 同时该地震序列晚期时的余震更为突出[10]。

图 2 为两次地震事件 3 级以上地震序列的时空分布对比。可以看出, 6.1 级地震序列中 3 级以上地震活动持续时间长达两个多月, 序列活动强度与频次均表现出明显的起伏变化特征; 相比之下, 5.8 级地震发生后, 3 级以上地震活动仅持续约 7 天, 随后便快速衰减并趋于结束。

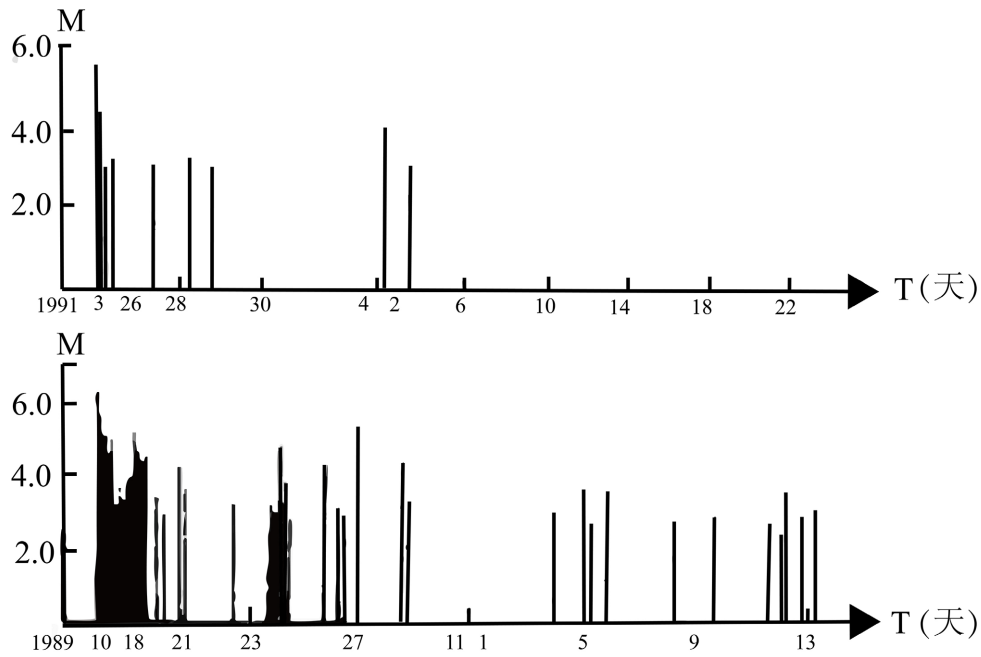


Figure 2. M-T diagram of the two Datong-Yanggao earthquakes [10]  
图 2. 大同 - 阳高地震两次地震的 M-T 图[10]

### 3.2. 烈度分布特征

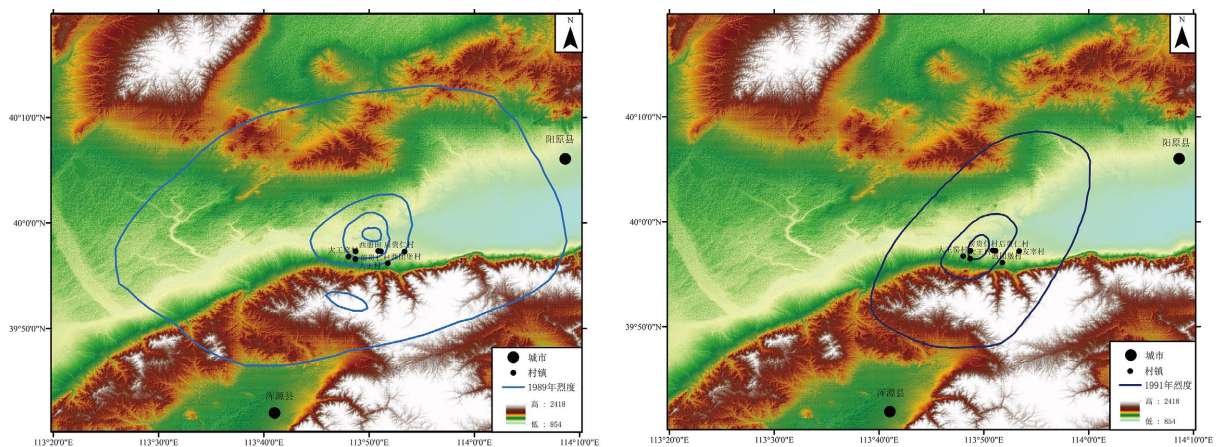


Figure 3. Intensity distribution of two earthquake swarms [11] [12]  
图 3. 两次地震群烈度分布[11] [12]

图 3 展示了两地大同 - 阳高震群的地震烈度分布。1989 年震群的烈度场整体呈 NE 向展布, 极震区烈度达 VIII 度, 涉及徐家堡、大王、册田、贵仁、讲理及桦林背林场等区域。该震群未在地表形成显著的地表破裂, 仅在极震区内发育两组走向各异的地裂缝, 一组为 NNE 至近 EW 向, 另一组为 NW 向[3]。

震中区地处农村, 工业设施相对薄弱, 房屋建筑类型多样, 其中土窑房、木构架房屋抗震性能较差, 破坏程度严重, 而砖混结构房屋震害相对较轻。受 NE 向地裂缝影响, 区域内坐北朝南的房屋南北墙体普遍倒塌, 东西墙体则保存较好; NW 向地裂缝的张开量小于 NE 向地裂缝。

1991 年在震区附近又发生过一次震群, 由于在 1989 年震群后该地区使用水泥砂浆浇筑房屋墙体, 因此这次地震群的震害并不严重, 仅烈度区中的房屋存在一些损坏。此次地震的极震区烈度为 VII 度, 总体呈椭圆形, 其长轴的走向为近 NE, 与 1989 年震群烈度展布方向相同。

### 3.3. 地震相关参数

#### 3.3.1. 地震震源参数

本文主要梳理了两次大同 - 阳高地震群的最大震级的地震的观测数据, 涵盖了信息来源、发震时刻、震源深度以及震级信息, 这些数据来自于多数不同学者的研究成果[3] [13]-[23]。

**Table 1.** Source parameters of two major earthquakes

**表 1.** 两次大震的震源参数

来源	发震时刻	震中位置		震源深度 /km	震级	
		东经	北纬		ML	MS
(韦宝珠等, 1992)	1989-10-18, T17-01-34.1	113.91	39.91	9		5.8
(冯永革等, 2016)	1989-10-18, T17-01-34.0	113.91	39.91	13		5.9
(冯永革等, 2016)	1991-3-25, T18-02-41.0	113.87	39.90	11		5.9
(徐锡伟等, 1991)	1989-10-19					6.1
(徐建德等, 1992)	1989-10-19, T01-01-33.6	113.85	39.94	14		6.1
(赵里等, 1992)	1989-10-19, T01-01	113.85	39.95	14		6.1
(刘巍等, 1993)	1989-10-19	113.8	39.9	14		6.1
(刘巍等, 1993)	1991-3-26	113.7	39.9	11		5.8
(刘瑞丰等, 1995)	1991-3-25, T18-02-40.9	113.87	39.90	10		5.8
(刘瑞丰等, 1995)	1989-10-18, T17-01-34.1	113.91	39.91	9		5.8
(朱艾斓等, 1999)	1989-10-19, T01-01	113.83	39.94	10		5.8
(朱艾斓等, 1999)	1991-3-26, T02-02	113.85	39.96	12		5.8
(王培德等, 2000)	1991-3-26, T02-02-40.9	113.87	39.90	10		5.8
(王霞等, 2022)	1989-10-19, T01-01	113.85	39.93	14		5.9
(仇转等, 2005)	1989-10-19				6.1	
(Dziewonski et al., 1990)	1989-10-19					6.1
(王鸣等, 1992)	1989-10-19					

这些数据从发震时间、震中位置、震源深度以及震级都存在着差异, 这些数据的差异性来源于当时的观测技术、资料处理方法的不同, 反映了震源参数测定的多解性。

#### 3.3.2. 震源机制解

本文同时收集了前人求得的大同 - 阳高地震群两次最大震级地震的震源机制解参数[13] [15]-[19] [21]-[23]。震源机制解是地震学领域的关键研究方法, 通过地震波资料反演震源相关特征, 能够提供断层

类型、滑动方向、震源深度等基础结果, 同时还可揭示区域构造应力场信息。

**Table 2.** Focal mechanism solutions of two major earthquakes  
**表 2.** 两次大震的震源机制解

来源	震级		节面 I			节面 II		
	ML	MS	走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角
(韦宝珠等, 1992)		5.8	201	75	-169	107.5	79	-15.3
(徐建德等, 1992)		6.1	11	80		79.5	85	
(赵里等, 1992)		6.1	186	89	158	276.4	68	1.1
(刘巍等, 1993)		6.1	21	81		109	75	
(刘巍等, 1993)		5.8	34	88		123	85	
(刘瑞丰等, 1995)		5.8	5.2	84.5	170.5	96.1	80.6	5.6
(刘瑞丰等, 1995)		5.8	209.7	83.6	-155.5	116.6	65.7	-7.4
(朱艾斓等, 1999)		5.8	24.9	86.3		115.3	82.9	
(朱艾斓等, 1999)		5.8	31	85		122	83	
(王霞等, 2022)		5.9	198.23	82.19	-177.11	107.83	87.13	-7.82
(仇转等, 2005)	6.1		34	82		123	85	
(Dziewonski et al., 1990)		6.1	200	75	-175	109	85	-15
(王鸣等, 1992)			213	50	-125			

前人求得的震源机制解各节面参数均存在差异, 主要原因是反演所用的台站分布、震相拾取、速度模型与反演方法的不同, 同时也受发震断层几何形态复杂、近场观测约束不足等影响, 导致节面参数存在一定的差异性, 这也反映了震源机制解反演的固有的不确定性。

### 3.3.3. 震源参数结果对比与可靠性分析

由图 2 可知, 1989 年的烈度范围较 1991 年的烈度更广, 1989 年的地震群的极震区烈度为 VIII, 而 1991 年的地震群的极震区烈度为 VII。结合以上结果, 可推测 1989 年地震群的最大震级的深度更深。部分学者直接引用地震发生后发布的临时报告的结果, 主要由于初期观测资料有限, 同时受震相自动拾取误差等因素影响, 进而导致震级与震源深度存在误差, 这些误差可通过后续完善相关资料后修订。因此, 1991 年的震群的最大震级地震的震源深度比 1989 年的震群的最大震级地震的震源深度深的结果可靠性偏低。关于两次震群的最大震级地震的震中位置, 前人求得的结果相差不大, 因此震中位置的可靠性较高。

两次地震群烈度的总体呈 NE 向展布, 与前人收集到的震后的余震走向一致, 与节面 I 的走向参数相吻合, 因此节面 I 可能为发震断层参数。至于前人求得的节面 I 的走向存在差异, 可能的因为震源机制解反应地震破裂处的断层的几何参数, 而断层具有分段性, 同时断层面并不是呈规则平面的, 这些因素叠加造成了这个现象发生, 该原因同样也适应解释节面 I 的倾角和滑动角的差异。

综上所述, 本文认为王霞等[21] (2022) 立足于前人求得的震源机制解, 使用相关方法, 确定的地震的震源机制解更为可靠。

## 4. 发震构造研究

地震发生后, 地震工作者奔赴灾区开展发震构造的相关研究, 旨在为该地区发震减灾工作提供科学

依据。前人主要依据对震区的地质调查结果、求解的两次大震的震源机制、收集并分析震后的余震分布特征、绘制出的烈度分布特征等资料, 试图寻找大同 - 地震群的发震构造。

#### 4.1. 六棱山北麓断裂主控假说及其证据

区域地质调查结果表明六棱山北麓断裂为阳原盆地的南部边界, 为全新世活动断裂, 因此该断裂具备成为发震构造的基础。同时地震群位于阳原盆地南部区域, 5 级以上的地震的震中位置呈近 EW 向展布, 且地震的震源深度与该断裂的延伸深度相吻合, 另外极震区的 NEE 向的地裂缝与该断裂的几何参数相吻合。故而徐锡伟等[3] (1991)依据这些研究结果推断此次地震群受六棱山北麓断裂控制。

#### 4.2. NE 向断裂为发震构造的证据

韦宝珠等[13] (1992)主要根据求解的震源机制、余震分布及地质调查结果, 推断 1989 年地震群的发震构造为一具有右旋走滑分量的正断层; 王鸣等[23] (1992)通过收集余震和求解余震震源机制解, 推断 1989 年地震群的发震构造为一具有右旋走滑的分量的正断层活动; 马瑾等[24] (1992)结合近场和远场数据进行分析, 得出两次地震群的发震构造为一组向 SWW 向扩展的张性正断层。

#### 4.3. 区域共轭断裂为发震构造的证据

通过收集 5 级以上大震后的余震数据, 得知不同大震后的余震分布存在不同, 分别为近 EW 向和 NNE 向, 与求得的震源机制解的两个节面对应。另外, 根据烈度的长轴的展布方向以及极震区的两组走向不同的地裂缝均与近 EW 和 NNE 向相符, 同时前人经过地质调查发现震区存在近 EW、NNE 向次级断裂。综合以上调查结果, 徐建德等[15] (1992)判定 1989 年地震群的发震构造为近 EW 向和 NNE 向的共轭断裂。

#### 4.4. 基于小震重定位数据对既有假说的再评估

以往学者对大同 - 阳高地震发震构造的认识, 多基于地表地质调查数据, 且受限于当时观测技术条件: 区域地震台网密度较低、定位精度有限, 不仅难以准确判定发震断层, 也无法精细刻画其空间几何形态。

地震学上通常将小震作为判断断层存在以及活动性标志, 小震的空间展布位置不仅取决于断层的走向, 同时也与断层的地下几何结构形态相关[25]。然而, 由于地震台网受各种因素影响, 导致地震的定位精度存在误差, 这些地震事件在空间展布上并不能准确地揭示出地区内的构造信息, 使得地震学数据在研究该地区的活动构造中并不能得到充分利用[26]。双差定位法是一种相对地震定位方法, 利用双差定位方法对地震事件进行重定位, 重定位后的地震事件的震源位置与深度都更为精确。因此部分学者通过收集大同 - 阳高震区国家地震台网记录的地震事件进行重定位, 借此更好地认识区域内地震断层的深部结构形态。李春来等[27] (2005)收集震区 1999 年 Ms5.6 地震的部分余震进行重定位, 结果显示地震主要发生在六棱山北麓断裂、大王村断裂及团堡断裂的交汇带上; 张广伟等[25] (2011)对华北地区小震开展重定位, 结果表明六棱山山前断裂倾角较陡; 陈成沟等[26] (2017)对北京及邻区小地震开展重定位, 结果表明大同盆地的小震主要分布在盆地边缘, 呈 NE-SW 向, 盆地内地震分布可能与隐伏断层有关; 许永强等[28] (2024)开展大同火山群及邻区小震重定位, 地震分布结果与前人相同, 同时揭示出 1989 年地震群附近存在仍活动的隐伏共轭断裂。这些地震重定位工作多数仅讨论了地震活动与断裂带之间的关系问题, 并未找出大同 - 阳高地震的发震构造。

### 5. 结论和展望

大同 - 阳高地震群是华北地区典型的震群型地震活动, 其活动具有持续时间长, 地震频次高、震源

构造复杂等特点。综合现有的研究成果,大同-阳高震群型地震的发震构造、震源机制解与破坏特征均已得到揭示。多年来,学者们围绕着现有的地质资料开展大同-阳高地震群发震构造的研究,但受限于早期观测条件、地表数据局限及台网精度制约,使得对于发震构造的研究处于有争议的阶段。

同时,当前的研究对于发震断层的深部几何结构形态、断层的分段特征等存在刻画不足。准确掌握发震断层的几何形态,是研究地震形成和发生机制的核心基础。它既能帮助确定断层的所在位置,揭示出断层的产状和分段特点,这为判定发震断层、反演震源参数等工作提供重要依据,也能帮助分析区域构造应力场特征,为评估地震风险、完善地震理论、指导区域内发震减灾工作提供科学支撑。

因此在后续的研究过程中,可通过结合更加精细的活动断层探测方法,结合区域内现有的资料,使用三维建模软件建立三维断层模型,对断裂带的三维空间形态进行精细约束,寻找大同-阳高震群真正的发震构造。同时三维模型也可与区域内构造进行耦合分析,进一步深化对该地区地震孕育条件的认识。另外现代地震物理模型也可解析此类地震群的孕震机制以及区域间断层的耦合关系创造可能性。其中流体驱动模型认为深部流体的运移过程会升高孔隙间压力数值、降低断层间的摩擦系数,进而引发从集性破裂;慢滑移模型认为深部的慢滑移事件将应力向上传递,应力的积攒作用使得脆性岩石发生错动进而引发地震。二者侧重方向不同,如若将二者组合起来可更好地解释地震群的时空演化地震。值得注意的是,模型需要结合区域内实际的地质背景等相关资料,使得物理模型能够更好地解决当前所遇到的问题。

## 参考文献

- [1] 陈安. 基于历史影像的郟庐断裂安丘-莒县断裂中南段地表变形特征[D]: [硕士学位论文]. 邯郸: 河北工程大学, 2025.
- [2] 沙然. 河北磁县地震(1830年)发震断层研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [3] 徐锡伟, 车用太, 杨主恩, 等. 大同-阳高地震群发震构造模式的讨论[J]. 中国地震, 1991(2): 79-87.
- [4] 孙稳. 六棱山北麓断裂晚第四纪活动性[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2018.
- [5] 徐锡伟, 米仓伸之, 铃太康弘, 等. 山西六棱山北麓晚第四纪不规则断裂作用的地貌学研究[J]. 地震地质, 1996(2): 169-181.
- [6] 程绍平, 杨桂枝. 大同-阳原盆地南缘断裂带的晚第四纪分段和构造地貌变异[J]. 地震地质, 1996(4): 289-300.
- [7] 李润兰, 朱峰, 许清海. 大同-阳原盆地的形成与演变[J]. 古地理学报, 2000(2): 95-99.
- [8] 袁宝印, 同号文, 温锐林, 等. 泥河湾古湖的形成机制及其与早期古人类生存环境的关系[J]. 地质力学学报, 2009, 15(1): 77-87.
- [9] 裴静娴. 大同地区火山岩流烘烤沉积物的热发光年龄测定[J]. 科学通报, 1981(16): 1003-1005.
- [10] 刘巍, 安卫平, 赵新平. 大同-阳高两次地震的对比分析[J]. 地震研究, 1994(1): 24-30.
- [11] 大同-阳高地震烈度宏观考察组. 1989年大同-阳高6.1级地震烈度宏观考察[J]. 山西地震, 1991(3): 18-30.
- [12] 震害评估小组. 1991年大同-阳高5.8级地震震害评估[J]. 山西地震, 1991(3): 31-40.
- [13] 韦宝珠, 王凯, 姚振兴. 1989年大同-阳高地震震源机制及发震模式研究[J]. 中国地震, 1992(1): 53-61.
- [14] 冯永革, 王海洋, 陈永顺, 等. 1989-1999大同地震序列的隐伏断层研究: 库仑应力分析和余震 JHD 重定位[J]. 地球物理学报, 2016, 59(2): 568-577.
- [15] 徐建德. 1989年大同-阳高6.1级震群破裂方向讨论[J]. 华北地震科学, 1992(2): 50-57.
- [16] 赵里, 李志坚, 郑斯华. 1989年10月大同地震的震源机制[J]. 地震学报, 1992(2): 251-254, 259.
- [17] 刘巍, 赵新平, 安卫平, 等. 山西地区的地壳应力场[J]. 山西地震, 1993(3): 3-11, 34.
- [18] 刘瑞丰, 李鸿吉, 陈培善, 等. 大同地震序列的震源机制解[J]. 地震地磁观测与研究, 1995(2): 30-36.
- [19] 朱艾斓, 刁桂琴, 张四昌, 等. 1989年和1991年大同-阳高两次地震震源断层的三维特征[J]. 山西地震, 1999(Z1): 15-20.
- [20] 王培德, S·克劳茨. 1989年10月和1991年3月大同地震的活动断裂[J]. 地震地磁观测与研究, 2000(6): 19-26.

- 
- [21] 王霞, 宋美琴, 郭文峰, 等. 1989年大同-阳高震群的库仑应力相互作用研究[J]. 地震研究, 2022, 45(4): 560-569.
- [22] 仇转, 刘巍. 山西大同-阳高地震的震源机制及发震模式[J]. 山西地震, 2005(4): 10-19, 28.
- [23] 王鸣, 王培德. 1989年10月18日大同-阳高地震的震源机制和发震构造[J]. 地震学报, 1992(4): 407-415, 525.
- [24] 马瑾. 对大同-阳高地震发震构造的讨论[J]. 地震地质, 1992(1): 10-11.
- [25] 张广伟, 雷建设, 谢富仁, 等. 华北地区小震精定位及构造意义[J]. 地震学报, 2011, 33(6): 699-714, 843.
- [26] 陈成沟, 邢成起, 胡乐银, 等. 北京及其邻区小震重定位与活动构造分析[J]. 地震, 2017, 37(3): 84-94.
- [27] 李春来, 王培德. 1999年11月大同地震部分余震的定位及震源机制反演[J]. 地震地磁观测与研究, 2005(2): 48-55.
- [28] 许永强, 雷建设. 大同火山群及邻区中小地震重定位[J]. 地震地质, 2024, 46(2): 336-356.