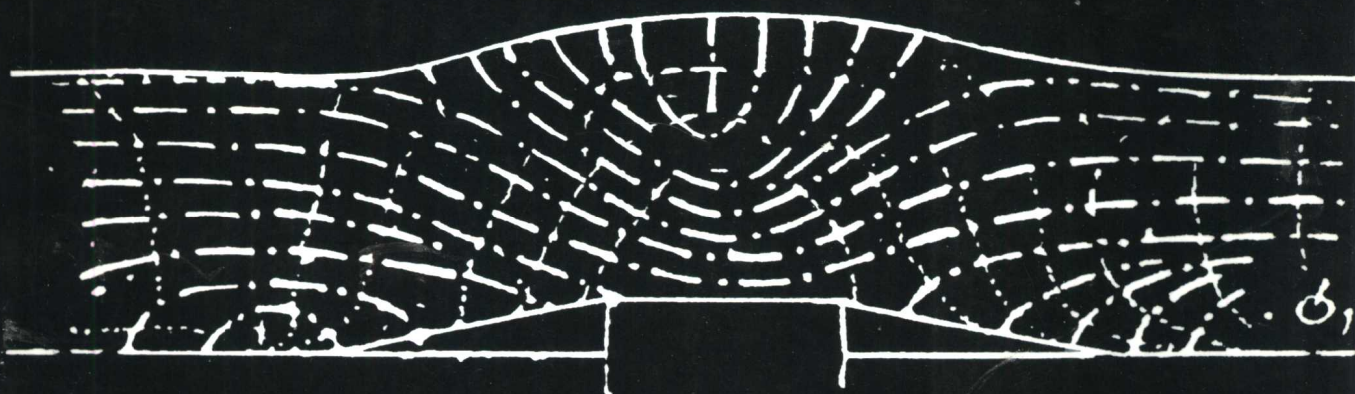


地壳构造与地壳应力文集

中国地震局地壳应力研究所 编



地震出版社



地壳构造与地壳应力文集

(11)

中国地震局地壳应力研究所 编

地震出版社

1998

内 容 提 要

本书介绍了近几年在地震地质、地震监测、预报、地应力观测及应用等实验和理论研究方面的部分成果,共计论文 25 篇,涉及的主要内容有地质构造的活动特征、地震活动性、地震前兆分析、地震危险性预测、地壳应力测量研究及地应力测量在工程领域中的应用等。

本书可供从事地质、地震、减灾、工程地质工作的人员以及有关大专院校的师生参考应用。

地壳构造与地壳应力文集

(11)

中国地震局地壳应力研究所 编

责任编辑 张晓波

特邀编辑 王文清 郭世凤

*

地震出版社 出版

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经销

*

787×1092 1/16 11 625 印张 298 千字

1998 年 12 月第一版 1998 年 12 月第一次印刷

印数: 001—500

ISBN 7-5028-1629-1/P·990

(2079) 定价: 20.00 元

《地壳构造与地壳应力文集》编委会

主 编：赵国光

副主编：傅子忠 唐荣余 谢富仁

编 委：(按姓氏笔划排列)

丁建民	于慎鄂	王文清	王恩福	卞兆银
勾 波	江娃利	刘光勋	杜振民	李 克
李方全	李 宏	苏恺之	张伯崇	张宝红
欧阳祖熙	陈 虹	陈学波	陈宏德	陈永德
赵国光	唐荣余	陆远忠	郭启良	郭世凤
黄福明	黄忠贤	傅子忠	游丽兰	谢富仁

编 辑：王文清 郭世凤

目 录

山西断陷带历史强震及全新世古地震地表破裂特征	肖振敏 江娃利 (1)
山西交城断裂带第四纪活动习性及其分段特征	许桂林 马保起 江娃利 (13)
乌拉山山前断裂晚第四纪活动研究	马保起 盛小青 张守仁 李玉萍 (22)
中国东部箕状断陷构造的初步分析	杨承先 王文清 (28)
曲靖—昭通断裂带北段晚第四纪活动特征	侯治华 韩德润 李发祥 (37)
青藏高原北东边界活动断裂带断层的摩擦强度	李宏 谢富仁 (44)
八达岭—居庸关地区隧道开挖围岩稳定性分类与评价	韩德润 张连城 侯治华 陈鹏 (49)
中国大陆未来三年 (1998~2000 年) 地震大形势研究	陈虹 龚复华 易志刚 戴梁焕 (55)
东亚大陆今后 50 年大震趋势动力学预测	王文清 安欧 (64)
用地震量子模型分析大震前 b 值变化特征	杨树新 吕悦军 (71)
利用跨断层位移速率的时空演化特征进行中短期地震 预测的尝试	焦青 周俊萍 (76)
三马坊地温测点映震能力及特征分析	陈沅俊 姚宝树 (84)
1995 年 7 月 22 日甘肃永登 5.8 级地震断层形变前兆分析	戴梁焕 焦青 周俊萍 (89)
张北—尚义 6.2 级地震跨断层形变资料异常特征分析	龚复华 王刚军 (96)
用体应变潮汐因子变化开展地震预报研究	刘冬英 (102)
1989 年 10 月 18 日大同—阳高 6.1 级地震前昌平平台应变 观测资料分析	王勇 张国红 刘福生 (109)
伽师地区地震活动与中国大陆其它地区地震活动的 相关性研究	龚复华 陈虹 (113)
三峡工程永久船闸二期开挖岩体松弛范围的绝对应力测量	吕悦军 杨树新 朱传云 卢文波 (118)
山东新汶煤矿压磁法全应力测量	吕悦军 杨增学 康红普 (125)
利用地震波研究地壳内部应力状态的方法 (综述)	陈虹 (132)
X 射线法测量石英方解石的轴面异性及其在岩体应力 测量中的应用	安欧 李占元 (140)
山西地堑系新生代共轭破裂与应力场、应变能密度分布	谢新生 (148)
地震减灾中 INSAR 技术应用前景及关键技术	张景发 施先忠 (154)
浅析 DYL 型地应力探测仪工作原理及应用效果	王文祥 唐方头 杨武洋 王凤贤 李波 王玉先 (160)
体积式钻孔应变仪中的讯号电路	李秀环 张生 (172)

CONTENTS

Characteristics of Surface Rupture Belts Formed by Historical and Paleo—Earthquakes along the Shanxi Fault Depression Zone	Xiao Zhenming and Jiang Wali (1)
The Behavior and Segmentation of the Shanxi Jiaocheng Active Fault	Xu Guilin, Ma Baoqi and Jiang Wali (13)
Late Quaternary Activities of the Wulashan Piedmont Fault	Ma Baoqi, Sheng Xiaoqing, Zhang Shouren and Li Yuping (22)
Dustpan—like Fault Depression Structures in East China	Yang Chengxian and Wang Wenqing (28)
Characteristics of the Late Quaternary Activities of the Northern Section of the Qujing—Zhaotong Active Fault Zone, Yunnan Province	Hou Zhihua, Han Derun and Li Faxiang (37)
Fault Friction Strength of an Active Fault Zone in the NE Boundary of the Qinghai—Tibet Plateau: Triaxial Friction Experiment and Field Studies	Li Hong and Xie Furen (44)
Wall Rock Stability Classification and Evaluation for Tunnels in the Badaling—Juyongguan Area, Beijing	Han Derun, Zhang Liancheng, Hou Zhihua and Chen peng (49)
A Study on the Seismic Tendency in Chinese Continent in the Coming Three Years	Chen Hong, Gong Fuhua, Yi Zhigang and Dai Lianghuan (55)
Dynamic for Crst for Active Trend of Large Earthquakes in East Asian ContinentO in the Coming Fifty Years	Wang Wenqing and An Ou (64)
Characteristics of b—value Variation Prior to Large Earthquakes Analyzed by Earthquake Quanta Model	Yang Shuxin and Lu Yuejun (71)
An Approach on the Mid—Short—Term Earthquake Prediction by Using the Fault Displacement Rate Variation in Time and Space	Jiao Qing and Zhou Junping (76)
Earthquake—response Capacity of the Sanmafang Geo—temperature Station	Chen Yuanjun and Yao Baoshu (84)
Analysis on the Fault Deformation Anomalies before the Yongdeng Earthquake ($M = 5.8$) Occurred in Gansu Province in July 22, 1995	Dai Lianghuan, Jiao Qing and Zhou Junping (89)

- Analyses of Anomalies of Geodetic Data Measured Across Fault Prior
to the Zhangbei-Shangyi $M = 6.2$ Earthquake
..... Gong Fuhua and Wang Gangjun (96)
- Earthquake Prediction Research by Using the Tide Factor of Bulk Strain
Variation Observed in Beijing Area
..... Liu Dongying (102)
- Strain Variation Anomalies Observed in the Changping Station prior
to the Yanggao Earthquake ($M = 6.1$) occurred in Oct. 18, 1989
..... Wang Yong, Zhang Guohong and Liu Fusheng (109)
- A Study on the Correlation of Seismic Activities in the Jiashi Area
and in the Other Areas of Chinese Continent
..... Gong Fuhua and Chen Hong (113)
- In-Situ Stress Measurements in Relaxed Rock Mass of Second-Phase
Excavation at the Permanent Lock of Three Gorges Project
..... Lu Yuejun, Yang Shuxin, Zhu Chuanyun and Lu Wenbo (118)
- 3D In-Situ Stress Measurement Using Pieso-Magnetic Method in the
Xinwen Coal Mine Area, Shandong Province
..... Lu Yuejun, Yang Zengxue and Gong Hongpu (125)
- A Review on Methodology of the Crustal Stress Estimation by Using
Seismic Data Chen Hong (132)
- Heterogeneity of Axial Surface of Quartz and Calcite Measured
by X-ray Diffraction Technique and Its Application to Rock Stress Test
..... An Ou and Li Zhanyuan (140)
- Cenozoic Conjugate Fractures, Regional Stress Field and Distribution of
the Strain Energy Density of the Shanxi Graben System
..... Xie Xinsheng (148)
- The Application of INSAR Technology in Reducing Seismic
Disaster Zhang Jingfa and Si Xianzhong (154)
- A Short Discussion on the DYL-Type Crustal Stress State Explorer,
Its Principle and Application
..... Wang Wenxiang, Tang Fangtou and Yang Wuyang et al. (160)
- Improvement of the Borehole Volume-Strainmeter
..... Li Xiuhuan and Zhang Sheng (172)

山西断陷带历史强震及全新世古地震地表破裂特征^①

肖振敏 江娃利

(中国地震局地壳应力研究所 北京 100085)

一、引言

强震的孕育和发生,与区域构造活动的强度和方式密切相关,不同地区各自特点不同。本文综合近年活断层填图等方面研究成果,对山西断陷带7级以上历史强震的地表破裂带及全新世古地震进行分析对比,讨论该区7级以上强震地表破裂特征。

强震发生时,依据当地的地形地物条件,破坏区的地表出现多样地面破坏现象,例如山崩、滑坡、地裂缝、地表陡坎、喷砂冒水等。在松散沉积物地区,许多地表破坏现象常反映震时的应力场特征。本文着重讨论的是震时出现的反映震源发震构造特征的地表破坏现象——地表破裂带、地表地震断层或地震形变带。

二、历史强震的地表破裂带

山西境内自有文字记载以来,共发生六次7级以上强震^[1],许多地震学者从不同角度对其进行过深入的研究^[2-7]。这六次强震,有两次发生在山西断陷带南部的临汾盆地,有三次发生在北部的忻定盆地,一次发生在忻定盆地东侧的灵丘盆地(图1)。

1303年在临汾盆地发生了洪洞地震,这是历史记载中山西断陷带的最大地震,震级8级,震中烈度Ⅺ度。经前人及徐锡伟等人近年研究^[8,9],该地震的发震构造是临汾盆地东北侧的霍山山前断裂。该地震的地表破裂带长45km,破裂以右旋走滑为主,最大右旋位移7.2~8.6m,个别点达到10.4m,断裂南段地震陡坎显示最大垂直位移3~5m。

1695年临汾7 $\frac{1}{2}$ 级地震,是在临汾盆地发生的另一次强震。对于该次地震,中国地震目录(1960,1971,1983)曾定为8级,武烈(1988)在重新圈定烈度线后把震级降为7.6级,后经第三代地震烈度区划工作,将该次地震震级定为7 $\frac{1}{2}$ 级,震中不变,震中烈度Ⅹ度^[10]。有关这次地震的发震构造,因资料所限,未形成统一的看法。曾有文献报道,临汾盆地西界罗云山山前断裂带中的古城全新世活动断裂,错断含距今400a的瓦片的地层,断距0.8m。该断裂走向北北东,长20km,与1695年地震的Ⅹ度区西界长轴吻合^[11,12]。王挺梅近年的研究认为^[10],该极震区北西西向的临汾—浮山断裂是该次地震的地表地震断层,断裂长18km,断错了临汾古城墙及含距今600a的瓦片的古地面,断距0.8m。该北西西向地表地震断层与极震区长轴方向一致。

1038年定襄7 $\frac{1}{4}$ 级地震发生在忻定盆地南部。据近年忻定盆地活动断裂填图资料,忻

^①地震科学联合基金资助, 9507423。

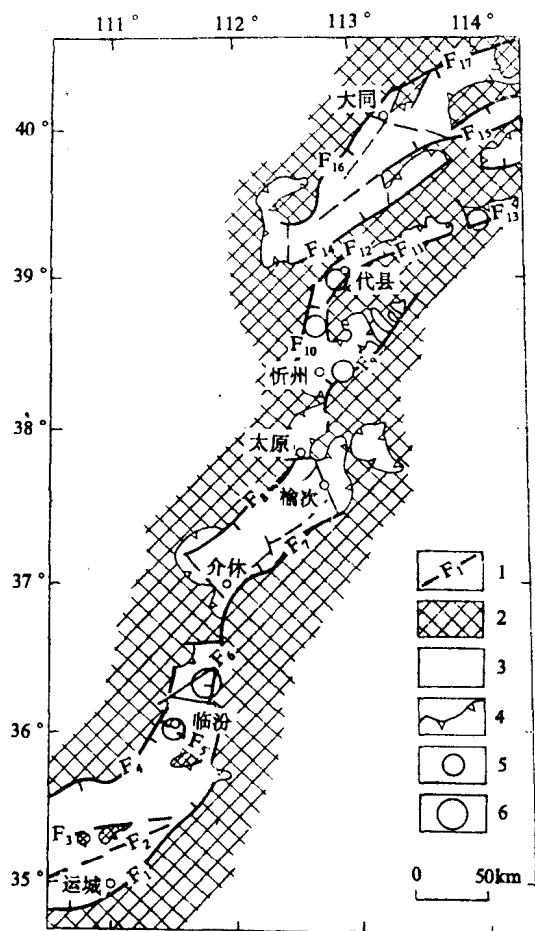


图1 山西断陷带活动构造与历史强震分布

1.活动断层及编号; 2.新生代隆起区; 3.新生代断陷区; 4.断陷区边界; 5. $5.0 \leq M \leq 7.9$ 级历史地震; 6. $M \geq 8$ 级历史地震; F_1 : 中条山北麓山前断裂; F_2 : 临漪断裂; F_3 : 峨嵋台地北缘断裂; F_4 : 罗云山山前断裂; F_5 : 临汾—浮山断裂; F_6 : 霍山山前断裂; F_7 : 太谷断裂; F_8 : 交城断裂; F_9 : 系舟山山前断裂; F_{10} : 云中山山前断裂; F_{11} : 五台山北麓断裂; F_{12} : 恒山南麓断裂; F_{13} : 太白维山山前断裂; F_{14} : 恒山北麓断裂; F_{15} : 六棱山北麓断裂; F_{16} : 口泉断裂; F_{17} : 云门山山前断裂

2m。如果考虑到近 2500a 来, 该地区仅记载了 512 年代县地震, 也有理由推断 512 年地震的地表地震断层将包括断裂东段和西段的晚全新世破裂区, 长度达 65km, 其中包括了约 15km 的地表破裂空区。同时, 如果距今 2000a 前的历史记载不完全, 也不能排除东西

定盆地定襄凹陷南界的系舟山山前断裂中段错断距今 1800a 以后至 755a 前的地层 [13], 是该次地震的地表断层。据填图资料, 其地表破裂长 26km, 断裂以正倾滑活动为主, 最大垂直位移 2.4m [13]。填图资料还表明, 该断裂带东段的甲子湾、毛家村及松林, 长约 30km 的地段, 亦断错了距今 2500a 的地层。如果该区 2500a 以来只发生过 1038 年地震, 则该次地震的地表破裂长度有可能包括了该断裂带的中段及东段, 达 80km, 其间有 20km 的地表破裂空区。同时, 也不排除这两段晚全新世的地表破裂是两次独立活动事件的可能。

发生在忻定盆地的另一次地震是 1683 年原平 7 级地震。据忻定盆地活动断层填图资料①, 1683 年原平 7 级地震的发震构造为忻定盆地西界的云中山山前断裂。该断裂错断含汉代瓦片的地层, 垂直断距 0.65m, 断面有平均约 48° 侧伏角的擦痕, 表明断层除正倾滑活动外兼具右旋走滑活动。根据沿断裂带的地表滑坡体复盖在冲沟一级阶地上推断, 其地表地震破裂带长 35km。

512 年代县 $7\frac{1}{2}$ 级地震发生在忻定盆地北部代县凹陷。据刘光勋等人研究 (1991) [14], 代县凹陷南缘的五台山北麓断裂是该次地震的地震断层。该断裂错断了上全新统复盖的一级阶地及第二级洪积扇, 断层以正倾滑活动为主, 最大垂直断距 3.1m。其中断裂东段长 47km 的地段, 断层陡坎连续, 被认为是 512 年地震的地表破裂。调查资料还表明 [14], 断裂西段也断错了距今 2500a 地层的断层, 断距 1~

①中国地震局地壳应力研究所忻定课题组, 1995, 忻定盆地活动断裂与强震危险性。

两段是两次独立事件的可能。

1626年灵丘7级地震发生在灵丘盆地。据申旭辉研究(1995)^[15],灵丘盆地南界的太白维山山前断裂东段形成了该次地震的地表断层陡坎,长35km,以正倾滑活动为主,地表可见断错中全新世一级阶地的2m陡坎。据古地震研究,中全新世以来除1626年灵丘地震,还发生了一次古地震,这2m陡坎是否可作为1626年地震同震位移尚有疑问。据申旭辉调查资料,探槽剖面反映古地震事件的垂直落差达1.4m。考虑到太白维山山前断裂的地震属特征地震,取1626年灵丘地震的同震位移为1.4m。

上述历史地震的地表地震断层主要要素列入表1。

表1 山西断陷带历史强震地表地震断层简表

发震时间	地点	震级	发震断层	构造部位	断裂 长度/km	断层产状	地震断层 长度/km	最大同震 位移/m
512.5.12	代县	7 $\frac{1}{2}$	五台山北麓 活动断裂	代县凹 陷南界	85	N60°E/NW ∠60°~70°	47 (65)	垂向3.1
1038.1.9	定襄	7 $\frac{1}{4}$	系舟山山前 活动断裂	定襄凹 陷南界	100	N41°E/NW ∠70°	26 (80)	垂向2.4
1303.9.17	洪洞	8	霍山山前 活动断裂	临汾盆地 东北界	60	NNE/NW ∠75°	45	左旋走滑10.4 垂向3~5
1626.6.28	灵丘	7	太白维山山 前活动断裂	灵丘盆地 南界	40	NEE/NW ∠70°	35	垂向1.4
1683.11.22	原平	7	云中山山前 活动断裂	忻定盆地 西界	50	NNE/SE ∠75°	35	垂向0.65 有右旋 走滑分量
1695.5.18	临汾	7 $\frac{1}{4}$	临汾—浮山 隐伏活动 断裂	临汾盆地 南面	27	N50°W/NE ∠70°	18	垂向0.8 有左旋 走滑分量

注:表中括号内的数据为本文作者分析前人资料所得到的另一种可能,其余数据出处请查文内,下同。

综合上述可以看到,山西断陷带这六次7级以上历史强震都产生了地表地震断层。其中北北东向断裂以右旋走滑为主,而北东东向断裂主要以正倾滑活动为主,北西西向断裂为具左旋走滑的正倾滑活动。其中仅1695年临汾地震的发震断裂为隐伏断裂,其余5次强震都发生在盆地边缘活动断裂带上。

三、全新世古地震事件

山西地堑系全新世以来的古地震事件,随活动构造研究的深入而陆续有所发现。这些古地震研究延长了该区地震活动的历史,不仅对了解该区强震复发类型提供了依据,而且对认识未有强震记载地区的强震活动给予了帮助。在讨论全新世古地震时,全新世地层中出现的粘滑位错、断错全新世地貌面的陡坎及沿全新世断裂出现的崩塌与滑坡,均作为判定古地震事件的依据。

位移 3m。据中霍村探槽揭示,晚更新世后期断层粘滑错动,错断距今 $3980 \pm 350a$ 的坡洪积砂砾石层,且在下降盘靠断面处堆积有崩积楔。这后期古地震的标志是在中霍村西南冲沟沟口,有剧烈摇动形成的崩塌巨砾,覆盖在全新世中晚期形成的二级阶地之上,其崩落时间在二级阶地形成后、一级阶地形成前。上述资料表明,该期古地震的极震区可能位于霍村—南王一带,破裂长度 30km 左右。极震区地震遗迹表现为地层断错、地表断层陡坎及地震崩塌。

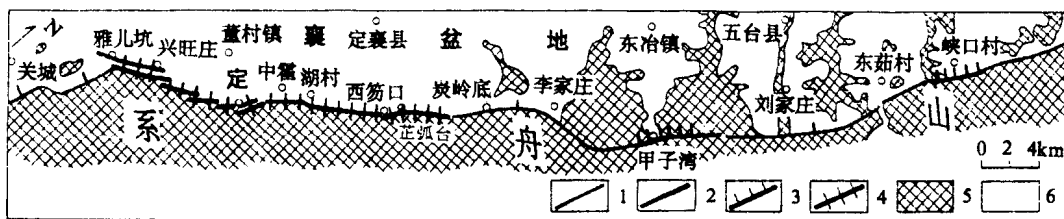


图3 系舟山山前断裂地表地震断层展布

(据地壳应力研究所忻定填图组 1995 年资料改编)

1.第四纪活动断层; 2.地震断层; 3.1038a 地震地表断层; 4.距今 3000~2500a 地震地表断层; 5.新生代隆起区; 6.新生代沉降区

分析前人活断层填图资料,该次古地震与 1038 年地震的地表破裂现象在许多地段不易区分,这两期破裂是否有可能是同期的,还有待考证。

包括 1038 年的 $7\frac{1}{4}$ 级强震,全新世时期系舟山山前断裂带发生过三次强震事件,其复发间隔大致为 1500~2500a。

3. 五台山北麓断裂古地震事件

五台山北麓断裂是忻定盆地中繁代凹陷南部的边界断裂。据刘光勋等^[15]的调查,断裂活动错断了二级阶地下部距今 5000~7000a 的古土壤层。从位移分布及断距分析,此期断裂活动主要集中在东段,垂直位移 6.28m,其中可能包括 512 年的地震位移。西段也有少量垂直位移,平均 1.7m。此期断层活动在二级洪积扇面上形成一系列高达 6~9m 的断层陡坎,慰为壮观 (图 4)。

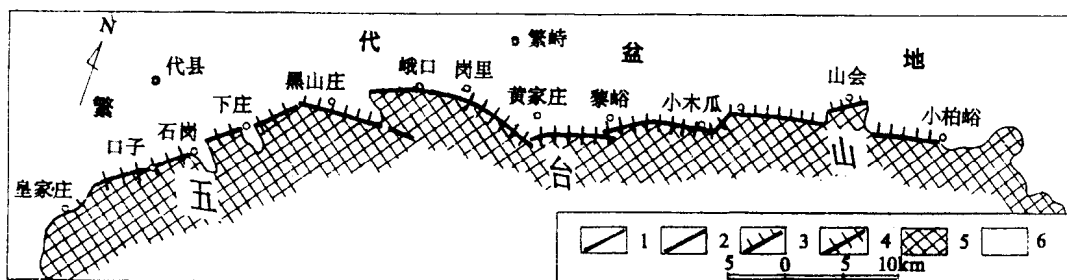


图4 五台山北麓断裂地表地震断层展布(据刘光勋等人 1991 年资料改编)

1.第四纪活动层; 2.地震断层; 3.512 年地震地表断层; 4.距今 7000~5000a 地震地表断层; 5.新生代隆起区; 6.新生代沉降区

据前人研究资料^[15],此期古地震形变带主要集中在该断裂的东段,岗里至小木瓜一

带, 长度约 30km 范围内。同时断裂西段南庙一带及断裂东段天岩一带也有断错中全新统的断点, 为此, 该期古地震的地表形变带也有可能包括了该断裂的东段和西段, 达到 75km。该地震断层的破裂方式为上盘下掉的正倾滑型, 岗里一小木瓜一带破坏最严重, 可能为极震区。

4. 交城断裂全新世活动

交城断裂位于山西断陷带中部太原盆地西界, 是太原盆地的主控断裂。太原盆地新生界厚 3800m, 与大同盆地新生界厚度 (3500m) 大体相当, 明显大于忻定盆地 (2400m) 及临汾盆地 (2200m) (苏宗正, 1988)。历史上没有太原盆地强震的记载, 90 年代初曾有过交城断裂全新世活动的报道^[16]。近年许桂林 (1998) 对交城断裂的第四纪活动做了详细调查^[17]。据许桂林研究, 交城第四纪活动断裂长 125km, 据活动时期又分为五段(图 5)。晚更新世活动段的长度为 67km, 全新世活动段位于断裂带的中部, 从清徐至交城, 长 34km。根据山前地貌面研究, 清徐—交城断裂段多处错断了形成于距今 5000~9000a 的中期洪积扇及 I 级河流阶地, 由此形成的断层陡坎地形十分明显。在市儿口沟及大峪沟见到距今 $(5.18 \pm 1.63) \times 10^3$ a 及 $(5.44 \pm 0.46) \times 10^3$ a 的冲洪积地层被错断, 在西镇北及都沟沟口见到距今 $(5.77 \pm 0.49) \times 10^3$ a 及 $(5.11 \pm 0.43) \times 10^3$ a 的洪积扇被错断, 以及距今 $(3.86 \pm 0.33) \times 10^3$ a 的晚期洪积扇覆盖其上。由此推测交城断裂在距今 3860~5110a 期间曾发生断层粘滑活动事件。依据同层位错, 最大垂直断距位于大峪沟口, 累计达 2.3m。而洪积扇前缘陡坎的高度还要大, 因人工影响, 原始地貌形态已被变动。在野外还见到断裂错断距今 $(9.26 \pm 0.79) \times 10^3$ a 的地层, 其上被中全新统所覆盖, 断距 1.2m, 认为这是早一期古地震事件的活动。

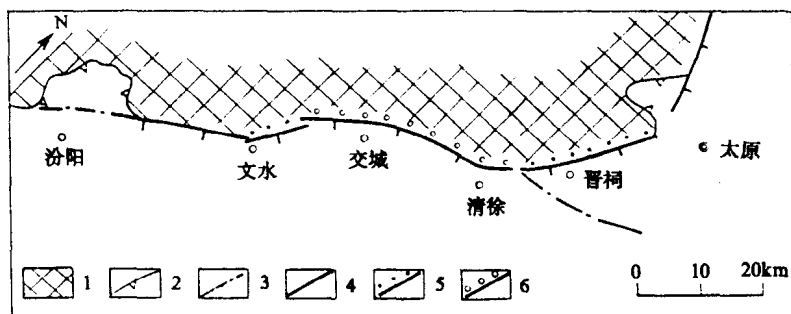


图 5 交城断裂全新世断层展布(据许桂林等人 1998 资料编)

1.基岩山区; 2.盆地及界限; 3.隐伏断裂; 4.中更新世活动断裂; 5.晚更新世活动断裂; 6.全新世活动断裂

5. 口泉断裂全新世活动

口泉断裂位于大同盆地西侧, 是大同盆地西界的主控断裂。历史上大同盆地没有大于 7 级强震的记载。近年阎凤忠(1994)^{①②}等人对口泉断裂开展工作, 取得一些新认识。根据阎凤忠等人的调查, 口泉第四纪活动断裂长 168km, 分为三段。北段老虎沟—镇川堡, 长 10km, 在中更新世及晚更新世早期活动, 中段从三里桥至大峪口沟, 长 100 km, 其

①阎凤忠等, 口泉断裂古地震研究, 1994。

②中国地震局地壳应力研究所, 山西搭山煤矿口泉断裂活动习性研究报告, 1994。

中 85 km 为全新世活动。南段从燕庄至峙峪, 长 58km, 为中更新世早期活动。在 85 km 的全新世活动段, 口泉断裂的古地震形变遗迹集中分布在南北两个 30km 地段, 其间相距约 20km (图 6)。根据调查资料分析, 全新世时期, 口泉断裂发生过 3~4 期古地震事件, 最新事件发生在距今 $(5.1 \pm 0.2) \times 10^3$ a 以后及 $(1.54 \pm 0.19) \times 10^3$ a 以前。杨家窑剖面的垂直位移为 1m, 断错距今 $(2.51 \pm 0.2) \times 10^3$ a 的地层。据石井村北剖面分析, 最新断距为 2m, 断错距今 $(3.811 \pm 0.28) \times 10^3$ a 的地层。

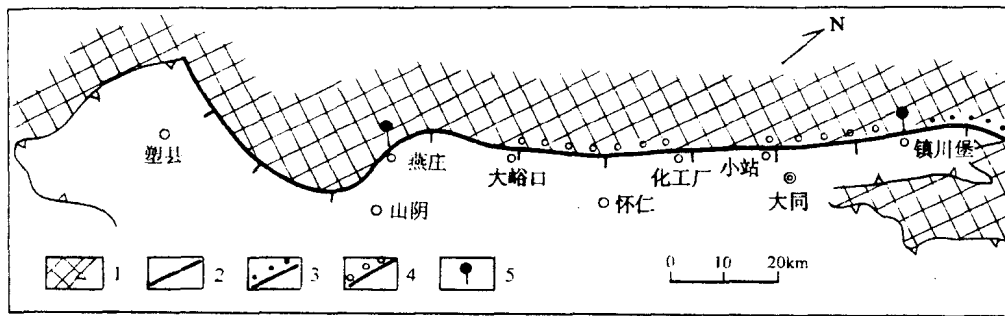


图 6 口泉断裂带全新世断层展布(据阎凤忠 1994 年资料编)

1.基岩山地与盆地界限; 2.中更新世活动断裂; 3.晚更新世活动断裂; 4.全新世活动断裂; 5.分段界限

6. 六棱山北麓断裂全新世活动

六棱山北麓断裂展布于大同盆地东部桑干河以南的六棱山山前, 是控制该盆地阳原凹陷的边界断裂, 长 130km。近年不少文章对该断裂的全新世活动、地貌学及分段特征进行了讨论^[18~21]。

不同学者依据不同方法、不同调查剖面对六棱山北麓断裂全新世活动的分段有不同划法, 从两分法到六分法均有。同时这些研究成果又有许多共性。据徐锡伟等人研究, 六棱山北麓断裂全新世活动段长约 100km, 又分六段, 各段长 17~25km 不等, 其中三段为早全新世活动, 两段为中全新世活动 (图 7), 秋林一段有第四纪玄武岩。如果将图 7 中

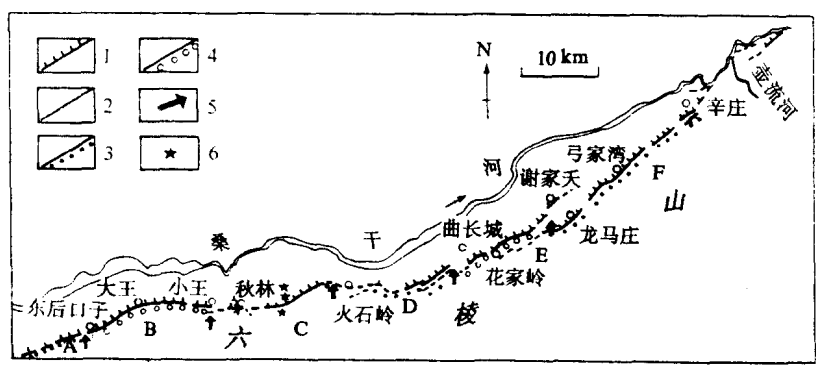


图 7 六棱山北麓活动断裂分段 (综合徐锡伟等人 1996 资料)

1.活动断层, A-F 代表分段代号(徐锡伟等,1996); 2.晚更新世活动段;
3.早全新世活动段; 4.中全新世活动段; 5.段落边界; 6.火山口

所显示的两段中全新世破裂段连接起来,其长度达 75km。中全新世的断裂活动表现在断错 T1—T4 级阶地地貌面,其被断错的最新地层的测年为距今 $(0.76 \pm 0.06) \times 10^4$ a。野外调查表明,这次最新活动的地表最大垂直位移为 3.5m。该断裂断错距今 1 万余年台地面形成的断层陡坎高度为 4~10m,表明全新世时期沿断裂带发生不只一次古地震事件^[21]。

以上全新世古地震事件的研究结果,展示在表 2。

表 2 山西断陷带全新世古地震地表破裂参数

断裂带名称	古地震距今 时间 / a	已知地表破裂 长度 / km	同震位移 / m	资料来源 (参考文献)
霍山山前断裂	3475~2555 5455~4620	15 (60) 20 (60)	右旋 20.1 右旋 41.5	[8][9]
系舟山山前断裂	3000~2500 5000	30 33	3.0 3.8 7.0*	[13]
五台山北麓断裂	7000~5000	30 (75)	东段 6.28(3.18) 西段 1.77 8°	[14]
交城断裂	5440~3860 9260~	34	2.3	[17]
口泉断裂	2510~1540 6300~5478 7199~ 9428~	85 85	2.0	1)
六棱山北麓断裂	7400~ 10300~	(75) (100)	3.5° 4~10	[20]

注: 括号内数字为本文作者分析前人资料所得的另一种可能的分段或同震位移。* 为已知的最大同震位移。资料来源: 1) 阎凤忠等, 口泉断裂古地震研究, 1994。

四、地表破裂参数与震级关系讨论

有关地表地震破裂参数与地震震级关系的讨论,前人作过许多工作^[22,23]。据邓起东等人的研究,华北地区正断层的地表破裂长度与震级的关系不明显,而同震位移与震级有较好的对应。下面对山西地堑系历史地震地表破裂带参数与震级的关系进行讨论。

在讨论其关系时,有下面两点因素影响了两者的相关性。一是本文讨论的山西断陷带这六次强震的地表地震破裂,不是震后考察所得,而是通过地表活动断裂及古地震遗迹调查确定的,可以想见,它们与实际情况必然存在误差。一般来说,古地震的地表破裂长度小于地震的实际破裂长度。根据古地震调查得到各地震地表破裂带的误差有大有小。在进行统计分析时,这种误差将会被带入,形成统计数据的离散。二是这些地表地震破裂中,多数以正倾滑为主,但霍山山前断裂以右旋走滑为主,云中山山前断裂及口泉断裂也具一

定右旋走滑分量。考虑到目前的统计样品数目并不多,再分类样品数目更少。为此在计算时,未进行分类。

前人对地震地表破裂参数与震级的关系,通常取对数后的统计结果。本文为寻找较好的相关性,分别进行了经对数变换和未经对数变换的两种拟合。依据表1数据, L 为地震地表破裂长度, D 为同震位移,统计的结果如下。

$$M = 7.247 + 0.0344 \lg L \quad R = 0.0023 \quad (1)$$

$$M = 7.334 + 0.00086 L \quad R = 0.00277 \quad (2)$$

$$M = 7.1796 + 0.2907 \lg D \quad R = 0.608 \quad (3)$$

$$M = 7.103 + 0.0871 D \quad R = 0.717 \quad (4)$$

$$M = 6.6567 + 0.16326 \lg(L \times D) \quad R = 0.352 \quad (5)$$

(1)、(2)式为地表地震破裂长度同震级统计关系,相关系数表明其相关性很差。(3)、(4)式为地表地震破裂的最大同震位移与震级的统计关系,有一定相关性,相关系数为0.6~0.7,表明在山西断陷带范围内应用这两个公式时,相对来说具一定可信度。(5)式为地表地震破裂长度及最大同震位移乘积的对数与震级的统计关系,由于地表破裂长度的误差被带入,相关系数仅0.352。

为此,当获取山西断陷带古地震的最大地表位移而又不知其震级时,可应用公式(3)、(4)反推其震级,得到相应震级的参考数值,反映的仅是量级。由表3可以看到,取其两个公式计算的均值,其结果为霍山山前断裂的古地震超过8级,其余5条活动断裂带上的古地震为7级多。

表3 山西断陷带古地震同震位移与震级

断裂带名称	古地震最大位移	古地震震级 (据公式(3))	古地震震级 (据公式(4))	古地震震级 (均值)
霍山山前断裂	9.7 *	7.47	8.7	8.1
系舟山山前断裂	3.0	7.31	7.5	7.4
五台山北麓断裂	3.18 * *	7.32	7.58	7.5
交城断裂	2.3	7.28	7.4	7.3
口泉断裂	2.0	7.27	7.38	7.3
六棱山北麓断裂	3.5	7.33	7.6	7.5

* 原数据为20.1m,此处为减去1303年地震最大位移10.4m后的剩余值。

* * 原数据为6.28m,此处为减去512年地震最大位移3.1m后的剩余值。

五、结 论

综上所述,可得到以下结论。

(1) 强震的孕育和发生与大范围的块体运动有关。在历史记载中山西断陷带只有临汾盆地、忻定盆地和灵丘盆地发生过7级以上强震,古地震研究弥补了历史记载不足。从历史地震记载及古地震研究结果来看,山西断陷带的主要断陷盆地,北自大同盆地、忻定盆

地,中部有太原盆地,南至临汾盆地,在距今几千年内,均发生过强震。由此表明,这些断陷盆地虽各自独立,但作为一个构造整体与现今地壳活动及强震关系密切。

(2) 历史地震记载及古地震研究表明,在全新世时期山西断陷带内各主要断裂带有强震原地复发历史,即具有特征型地震特点^[24]。

(3) 从历史地震记载来看,山西断陷带发生 8 级强震的地点,位于北北东方向以走滑活动为主的断裂上。而北东东方向以正倾滑活动为主的断裂,往往发生大于 7 级小于 8 级的强震。这是否是规律,或受历史记载的局限,有待研究。

(4) 在历史强震中,512 年代县 7 $\frac{1}{2}$ 级地震地表破裂带及大同盆地口泉断裂及六棱山北麓断裂的全新世古地震地表破裂带均可能存在地表破裂带不连续现象,其间断可达 15~25km,占地表破裂带总长度的 15%~30%。

(5) 从历史地震地表破裂参数与震级关系探讨可以看出,历史地震的地表地震断层破裂长度与震级之间不具正比例关系,其相关性较弱。而地表地震断层的同震位移与震级之间遵循一定正比关系,其相关系数达到 0.7。这对潜在震源区划分有实际应用价值。同时也表明,在研究地表地震破裂参数时,地表地震断层长度比地表同震位移具有更多的不确定性。这种不确定性可能源自历史年代的久远,也可能源自调查范围、调查方法的局限。

(6) 从上述研究也可看到,历史记载了忻定盆地三次 7 级以上强震,分别为 512 年代县地震、1038 年定襄地震及 1683 年原平地震。这三次地震发生在不同断裂带上,相互之间的时间相距为 526 和 645 年。在临汾盆地,1303 年洪洞地震与 1695 年临汾地震,两次地震发生在不同断裂带上,时间相距 392 年。这些同一断陷盆地内发生在不同断裂上强震之间的间隔,远远小于同一条断裂的强震重现间隔。古地震研究资料也有这种现象。这可能反映了同一构造单元内一条断裂发震后,其它活动断裂的受力状况将受到影响,存在几百年尺度的强震连续发生现象。

参 考 文 献

- [1] 《中国地震简目》汇编组,中国地震简目,北京:地震出版社,1988。
- [2] 邓起东等,山西隆起区断陷地震带地表地质条件及地震发展趋势概述,地质科学, No.1, 1973。
- [3] 刘光勋等,山西洪洞郇堡村古地震遗迹及有关问题的讨论,中国活动断裂,北京:地震出版社, 1982。
- [4] 刘光勋等,山西地堑系及其地震构造特征,全国第二届构造地质学术会议文集, Vol.3, 北京:科学出版社, 1982 年。
- [5] 齐书勤,试论 1303 年山西 8 级地震的几个问题,华北地震科学, Vol.1, No.1, 1983。
- [6] 孟宪梁等,山西洪洞 8 级地震形变遗迹研究,地震地质, Vol.7, No.4, 1985。
- [7] 武烈等,山西境内七次强震及有关几个问题的讨论,华北地震科学, Vol.4, No.2, 1986。
- [8] 徐锡伟等,山西霍山前断裂晚第四纪活动特征和 1303 年洪洞 8 级地震,地震地质, Vol.12, No.1, 1990。
- [9] 徐锡伟等,霍山山前断裂晚第四纪活动和古地震研究,山西临汾地震研究与系统减灾,北京:地震出版社, 1993。
- [10] 王挺梅等,1695 年临汾 7 $\frac{1}{2}$ 级地震的地震构造研究,山西临汾地震研究与系统减灾,北京:地震出版