

1303 年洪洞 8 级地震 GIS 系统与 震害分布特征分析^{*}

高孟潭¹⁾ 金学申²⁾ 安卫平³⁾ 吕晓健⁴⁾

1) 中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所

2) 中国石家庄 050021 河北省地震局

3) 中国太原 030002 山西省地震局

4) 中国北京 100036 中国地震局分析预报中心

摘要 采用 GIS 技术,建立了 1303 年洪洞地震的地理信息系统.应用 GIS 平台空间分析功能研究了 1303 年洪洞地震的震害空间分布特征和地震等震线的特点.通过与标准地震烈度衰减关系的对比,分析了地震烈度异常分布的空间特征及其与构造、场地条件、盆地之间的关系.研究了震源与近源地下结构对地表地面运动的影响,探讨了这种烈度分布特征对区域地震区划、抗震设防、震害预测以及地震应急响应等方面的影响.

关键词 洪洞地震 震害分布 地理信息系统 近源强地面运动

中图分类号: P315.9 **文献标识码:** A

引言

1303 年洪洞地震是发生在我国东部地区的一次重要地震,历史上曾留下大量的记载和丰富的信息.在山西南部许多地点都有这次地震震害的遗迹.许多学者从不同角度对这次地震进行了分析研究.这些工作主要局限于等震线的确定和地震三要素的确定.由于分析技术手段的限制,仍有许多有用的震害信息没有得到充分的应用.地理信息系统(GIS)用到地学研究已经多年,起到了非常好的作用.历史地震信息具有显著的空间分布特征.而历史地震的震害又与场地条件、盆地、震源机制等许多具有空间分布特征的地学基本参数相关.将地理信息系统引入历史地震震害分析,充分利用历史文献、文物中的地震震害等资料,将为震害防御工作提供更多、更有用的信息.因为,震害可以反映地表地面运动的特性,所以可以通过历史地震震害资料分析,探求地震震源特征和近源地下三维结构(如盆地结构)对地表强地面运动的影响.本研究以 1303 年洪洞地震为例,进行了初步地尝试.

1 1303 年洪洞 8 级地震 GIS 系统的建立

利用 MAPINFO 软件,开发了 1303 年洪洞 8 级地震 GIS 系统.该系统对于 1303 年洪

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目“灾害环境下重大工程安全性的基础研究(2002CB412703/06)”和中国地震局“十五”重点项目“地震安全性评价研究和结构抗震研究”联合资助.中国地震局地球物理研究所论著 04AC1019. 2003-10-14 收到初稿,2004-01-05 收到修改稿,2004-03-12 决定采用.

洞 8 级地震资料的研究和应用都具有重要的作用。

1.1 基础数据来源

GIS 系统的主要数据包括:基础地理信息,地震断层与构造信息(盆地分布),地震等震线,以及地震震害资料。

基础地理信息数据包括:中华人民共和国行政区划数据,元朝时期行政区划数据,城镇(包括明朝时期),河流,湖泊。历史地图采用谭其骧(1982)主编的中国历史地图集(元·明时期)。

震害、地震断层与构造数据包括:断层数据,地震构造数据和第四纪盆地数据,以及地震震中分布图。

1.2 GIS 平台的主要图层

主要图层包括:基础图层,行政区划图层,地震构造与断层分布图层,地震基本参数图层,震害分布图层,以及实际等震线和理论等震线分布图层。

1.3 GIS 平台的主要功能

信息查阅功能:GIS 平台中可以显示震害记录的地点,相关信息可以显示历史文献、碑文和史料关于地震的记载。可以查询每个乡镇的影响地震烈度、理论模型烈度、抗倒塌设计加速度值及其相关的地理信息。

灾害空间分析功能:可以对灾害进行空间统计分析,可以将灾害的空间分布与地理要素进行相关统计分析,可以将地震灾害资料与地震地质构造等资料进行相关分析。

2 震害空间分布与地震等震线

2.1 震害及其总体分布特征

震害资料主要根据《中国地震历史资料汇编》(谢毓寿,蔡美彪,1983)、《山西省地震历史资料汇编》(山西省地震局,1991)和顾功叙(1983)主编的中国地震目录(公元前 1831 年~公元 1969 年)。

1303 年洪洞地震是从中国历史资料中整理的第一次 8 级地震。其震中位于山西省洪洞—赵城一带。受灾范围包括山西省中南部地区和河南与陕西交界地区。赵城以北的霍县、灵石、介休、孝义、平遥、汾阳、祁县、徐沟和以南的洪洞、临汾、浮山、襄汾、曲沃等地震灾害十分严重,毁坏房屋 10 万间,寺观倾倒 1 400 余座,死伤十分惨重,死亡人数 20 万(另外一种说法为 47.58 万)。震害严重地区呈明显狭长分布的“棒骨”形状。位于汾渭地堑内部临近发震断层的地区是地震灾害最为严重的地区。

地震还造成了大规模的滑坡灾害、地震液化和黄土震陷灾害。据史料记载:“平阳赵城县范宣义郇堡徙十余里”——《元史》卷五〇《五行志》(谢毓寿,蔡美彪,1983)。这一资料表明地震伴随了滑坡现象。

史料中对地震液化的记载也比较多,如:“太原徐沟、祁县及汾州平遥、介休、西河、孝义等县地震成渠,泉涌黑沙”——《元史》卷五〇《五行志》(谢毓寿,蔡美彪,1983)。

史料和碑文等关于此次地震震害记载达 100 多条。这些资料已全部纳入 GIS 系统,可以方便地进行分析研究。

2.2 地震等震线

等震线资料采用国家地震局地球物理研究所和复旦大学中国历史地理研究所主编

(1983)的《中国历史地震图集(远古—元时期)》。经数字化采样后,在 1:25 万电子地理地图上进行了核对。该数字化等震线资料对县城是准确的,对于乡镇具有推测的性质。利用 GIS 系统的面积统计功能,得到各个烈度分区的面积如表 1 所示。

2.3 各烈度区主要城镇分布

利用 GIS 的分析功能,分别给各个烈度区的县城和乡镇赋予 1303 年洪洞地震影响烈度属性,作为进一步分析计算的基础。表 2 给出了各烈度分区县城和乡镇个数。

应该指出,乡镇数据为 1991 年的数据,与元代可能有一定的误差。但考虑到,山西地区是我国历史最为悠久的地区,乡镇数量差距不会很大。用这些数据描述灾害的空间分布应该是可以的。

表 1 各个烈度分区的面积

烈度分区	面积/km ²
X 度	3 402
IX 度	5 948
VIII 度	26 249
VII 度	65 530
VI 度	372 100

表 2 各个烈度分区的县城和乡镇个数

烈度分区	县城/个	乡镇/个
X 度	7	47
IX 度	7	56
VIII 度	20	216
VII 度	51	520
VI 度	286	3 351

3 影响震害分布特征的主要因素分析

3.1 理论等震线模型

地震烈度衰减关系选用汪素云等在编制“中国地震动参数区划图”工作中给出的结果^①:

$$I_{短} = 2.240 + 1.446M - 3.070lg(R + 9) \quad \sigma_I = 0.517 4 \tag{1}$$

$$I_{长} = 5.019 + 1.446M - 4.136lg(R + 24) \quad \sigma_I = 0.517 4 \tag{2}$$

根据上述衰减关系,取椭圆长轴方向为洪洞地震的断层走向:NE20°,计算得到各个等震线的空间位置,经转换得到 GIS 系统的 TAB 文件。

根据中国地震烈度区划编图组研究的中国东部地区不同等级地震烈度长轴和短轴分布资料(中国地震局,1981),得到了不同大小地震的等震线半长轴和半短轴。对于 8~8¼ 级地震,各烈度区半长轴和半短轴如表 3 所示。

依据表 3 建立了理论等震线模型,并建立了相应的 TAB 文件。通过对上述两组数据的分析,对于 8 级左右地震表 3 给出的长、短轴比用衰减公式得到的更长。基于保守的估计,我们认为根据表 3 建立的等震线更符合历史大地震。因此,本研究下面的分析均以表 3 建立的理论等震线模型为准。根据理论等震线的 TAB 文件,分别给各个乡镇赋予“理论影响烈度”值 I_c 。图 1 给出了实际等震线与理论等震线分布。

图 1 给出了实际等震线与理论等震线分布。

3.2 烈度残差空间分布

根据上述结果,利用每个乡镇的实际影响烈度值 I_a 和“理论影响烈度值” I_c 得到每个

表 3 中国东部地区各烈度分区半长、短轴
(8~8¼ 级地震)

烈度分区	X	IX	VIII	VII	VI
半长轴/km	37	64	109	182	296
半短轴/km	14	28	57	118	253

① 汪素云,高阿甲,俞言祥. 1999. 中国分区地震动衰减关系的确定. 中国地震局“九五”重点项目子专题报告(95-05-03-04-04).

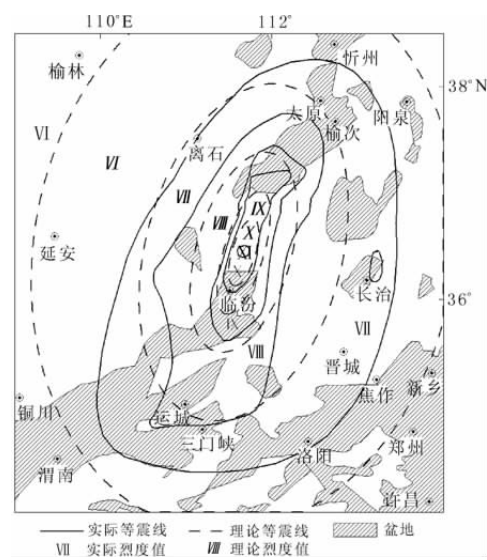


图 1 实际等震线与理论等震线分布图

近年来全球震害资料和强震记录表明,盆地构造与震害分布有着非常密切的关系.美国科学家对洛杉矶地区、日本科学家对一些盆地地区进行过大量的研究工作(Wald, Graves, 1998; Satoh *et al*, 2001).笔者与俞言祥博士合作,用有限差分方法模拟了三河-平谷 8 级地震对北京盆地的影响,盆地对地震波的放大效应是非常明显的(高孟潭,俞言祥, 2002).由烈度残差分布图(图 2)可以看出,本次地震的Ⅹ度、Ⅸ度和Ⅷ度区南北两端明显偏大,比东部地区平均衰减大几十千米.将烈度残差分布图层与盆地分布叠加后发现,烈度偏大地区恰好是临汾盆地北端和太原盆地的南端.在太原盆地内,Ⅹ度区的影响范围向北延伸了约 60 km,Ⅸ度区的影响范围向北延伸了约 50 km,Ⅷ度区的影响范围向北延伸了约 50 km.实际烈度与理论模型烈度相差 2 度的区域主要集中在这一地区.很明显是盆地效应加大了这些地区的震害.

山西临汾地区地震区划与防震减灾工作组^①对临汾盆地进行了详细地研究.临汾凹陷是盆地的主体构造单元,断陷幅度较大,是一个沿凹陷的轴向为北北东走向的地堑式深槽,最大新生界厚度达 2.2 km,最大第四系厚度达 0.8 km.这种构造具有强烈的地震地面运动放大效应.

乡镇烈度残差值 ΔI ,且作为一个属性赋给每一个乡镇,并单独形成一个 TAB 文件,以便于与其它因素进行对比分析.

3.3 震害分布特征的综合分析

近震源强震观测与地面运动数值模拟结果表明,强地面运动的空间分布与震源破裂传播的方向性因子密切相关.极震区等震线南北不对称,北半轴远大于南半轴,可能与地震的破裂方式有关.类比 1994 年 1 月 17 日美国北岭地震、1999 年 8 月 19 日土耳其伊兹米特地震与 2001 年印度古吉拉特地震的地震破裂的传播方向与震害分布的关系,1303 年 9 月 17 日洪洞 8 级地震很可能是向南北北东方向传播的.其震害的空间分布可能受到破裂传播方向性的控制.

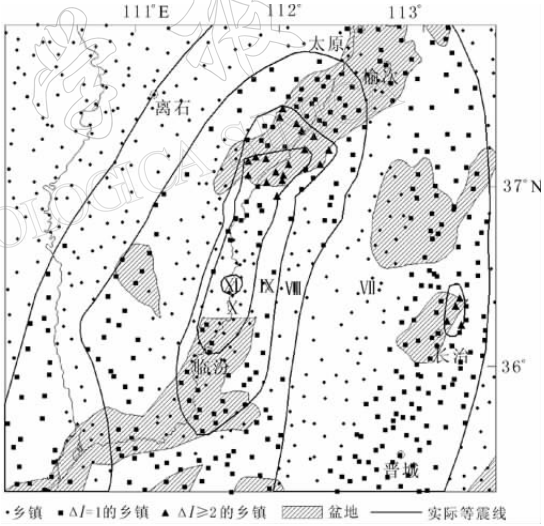


图 2 烈度残差空间分布示意图

① 山西省人民政府,国家地震局山西临汾地区地震区划与防震减灾规划科学技术组. 1993. 山西临汾地区地震区划与防震减灾规划, 342~344.

长治附近的烈度异常区位于潞城盆地. 这个烈度异常区可能与盆地响应有关. 考虑山西南部地区地震灾害时, 盆地效应是一个非常重要的因素.

历史震害表明, 地表土层差异可能会造成震害差异. 图 2 表明此次地震高烈度区烈度异常点主要沿汾河流域和其它河流流域分布. 沙土液化等地基震害加重了整体震害.

4 1303 年洪洞地震对震害防御的若干启示

我国的震害防御工作仍然遵循预防为主的原则. 抗震设防工作主要依据国家地震区划图和行业抗震设计规范. 抗震设防的基本原则是“三级”设防, 即小震不坏、中震可修、大震不倒. 控制人员伤亡的重要措施是控制大震不倒(中华人民共和国建设部, 2001). 在山西南部地区, 设防基本加速度值为 0.15 g 和 0.20 g. 按建筑抗震设计规范(GB50011-2001)的规定, 大震设防加速度值为设防基本加速度值的 2 倍. 洪洞地震所产生的地表加速度在许多地区都将会超过抗倒塌水平的设防. 况且广大农村地区对抗震设防国家标准执行的很不理想. 如果 1303 年洪洞地震重演, 仍将有大量的房屋倒塌.

4.1 山西南部地区建筑物抗倒塌情况分析

根据 GB18306-2001《中国地震动参数区划图》的资料(胡聿贤, 等. 2001), 确定洪洞地震Ⅷ度影响区内的所有乡镇、县城的抗倒塌加速度值 a (区划图表示加速度值的 2.0 倍), 并作为一个属性赋给这些乡镇、县城. 通过 GIS 系统, 比较每个数据点的 a 值和 I_e 值 (I_e 对应加速度值根据建筑抗震规范确定). 将 $a(I_e) \geq a$ 的数据点由图 3 给出.

如果 1303 年洪洞地震同样大小的地震重演, 即使图 3 所示地区的房屋建筑全部按抗震建筑规范设计, 仍有许多地区不能保证抗倒塌的要求, 即总的乡镇数达到 493 个(总乡镇数目为 4 190), 占乡镇数目 10% 左右.

4.2 震害防御工作的若干启示

根据上述资料分析, 山西省南部地区地震等震线大于理论模型等震线. 其主要原因可能是盆地构造和地表土层的特殊空间展布造成的. 采用东部地区衰减关系可能使地震危险性评估结果偏于不安全, 从而导致设防不足. 如果有可能, 应针对太原盆地和临汾盆地进行更为详尽的地震学研究, 进行区域范围的地震区划. 该区域范围的地震区划图, 应从抗倒塌的要求出发, 对抗倒塌水平的设计地震动参数给出更加科学合理的估计.

山西南部的许多乡镇的建筑物目前还达不到抗倒塌的水平, 一旦大的地震事件重演, 有可能造成巨大的人员伤亡. 应该尽快对山西南部主要地区进行震害预测工作, 制定切实可行的地震综合防御方案.

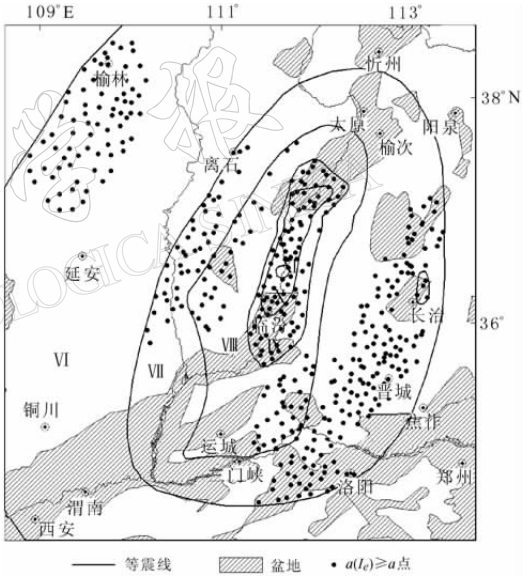


图 3 抗倒塌能力低于 1303 年地震的乡镇分布图

考虑到山西地堑强烈地震的复发周期(300 年左右),搞好该区域的大震应急工作是完全必要的。同时需要搞好山西南部地区的城市群联防工作。

本文介绍的工作表明,采用 GIS 系统对历史地震震害进行深入分析,对分析强震近源地面运动特征,分析震源和近地下三维结构对地面运动的影响,进而进行有针对性的防御是非常有意义的,值得进一步推广。

参 考 文 献

- 高孟潭,俞言祥. 2002. 北京地区地震动的三维有限差分模拟[J]. 中国地震, **18**(4): 356~364
- 顾功叙主编. 1983. 中国地震目录(公元前 1831 年—公元 1969 年)[M]. 北京: 科学出版社, 16~18
- 国家地震局地球物理研究所, 复旦大学中国历史地理研究所主编. 1983. 中国历史地震图集(远古—元时期)[M]. 北京: 中国地图出版社, 152~156
- 胡聿贤, 高孟潭, 杜纬, 等. 2001. GB18306-2001《中国地震动参数区划图》宣贯教材[M]. 北京: 中国标准出版社, 22~60
- 山西省地震局. 1991. 山西省地震历史资料汇编[M]. 北京: 地震出版社, 55, 85
- 谭其骧主编. 1982. 中国历史地图集(元·明时期)[M]. 上海: 地图出版社, 9~10
- 谢毓寿, 蔡美彪主编. 1983. 中国历史地震资料汇编[M]. 北京: 科学出版社, 165~185
- 中国地震局. 1981. 中国地震烈度区划工作报告[M]. 北京: 地震出版社, 79~83
- 中华人民共和国建设部. 2001. 建筑抗震设计规范[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1~2
- Sato T, Kawase H, Sato T, *et al.* 2001. Three-dimensional finite-difference waveform modeling of strong ground motion observed in the Sendai basin, Japan[J]. *Bull Seism Soc Amer*, **91** (4): 812~825
- Wald D J, Graves R W. 1998. The seismic response of the Los Angeles Basin, California[J]. *Bull Seism Soc Amer*, **88** (2): 337~356

THE GIS AND ANALYSIS OF EARTHQUAKE DAMAGE DISTRIBUTION OF THE 1303 HONGTONG M=8 EARTHQUAKE

Gao Mengtan¹⁾ Jin Xueshen²⁾ An Weiping³⁾ Lü Xiaojian⁴⁾

1) *Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China*

2) *Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China*

3) *Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China*

4) *Center for Analysis and Prediction, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China*

Abstract: The geography information system of the 1303 Hongtong $M=8$ earthquake has been established. Using the spatial analysis function of GIS, the spatial distribution characteristics of damage and isoseismal of the earthquake are studied. By comparing with the standard earthquake intensity attenuation relationship, the abnormal damage distribution of the earthquake is found, so the relationship of the abnormal distribution with tectonics, site condition and basin are analyzed. In this paper, the influence on the ground motion generated by earthquake source and the underground structures near source also are studied. The influence on seismic zonation, anti-earthquake design, earthquake prediction and earthquake emergency responding produced by the abnormal density distribution are discussed.

Key words: the 1303 Hongtong $M=8$ earthquake; damage distribution; Geography Information System; strong ground motion near source