马秀芳，安卫平，王跃杰，2015．1614 年平遥 6½级地震参数探讨研究．震灾防御技术，**10**（4）：953—960．
doi：10.11899/zzfy20150413

1614 年平遥 6½级地震参数探讨研究[1]

马秀芳[1，2]　安卫平[1，2]　王跃杰[1，2]

1）山西省地震局，太原 030002
2）太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站，太原 030025

摘要　本文收集了 1614 年平遥 6½ 级地震的各版本地震目录的参数、记录此次地震的历史史料、关于该地震的研究文献，对比了山西断陷盆地的 12 次 5.2 级至 6½ 级历史地震和现代地震的破坏情况及有感范围，得出了此次地震的震级偏大，定为 5½ 级更为合适的结论。同时，在前人对该地震震中参数研究的基础上，运用地震参数校订的新方法，重点定量分析了平遥一带仪器记录的小震空间分布、震群分布和地震密集值分布特征，并结合平遥一带断裂分布特征，综合分析讨论了平遥地震的震中参数。

关键词：参数　历史地震　平遥

引言

山西省历史地震资料丰富，研究程度较深，应用广泛。但是，依据地震资料给出的山西省 82 个历史地震的地震参数，有一部分仍有可讨论之处（苏宗正等，1996）。而且，即使相同的史料，不同版本地震目录所确定的同一地震参数可能出现较大差异。比如，1614 年平遥 6½级地震，在各版本地震目录中参数差异较大。苏宗正等（1996）曾论述过此次地震，但直到今天在应用该地震的参数时，仍然使用《中国历史强震目录（公元前 23 世纪—公元 1912 年）》（国家地震局震害防御司，1995）中的参数，即震中位置 37.2°N，112.1°E，震级 6½。近年来，随着历史地震研究的深入，对历史地震参数精度、可信度都有了更高的要求。王健等（2010）系统论述了历史地震参数校订的新思路和新方法。而在苏宗正等（1996）的研究中，主要运用传统的定性研究方法。本文是在前人研究的基础上，结合历史地震定性研究方法与定量研究新方法，进一步探讨了该地震的参数。

1　数据与方法

笔者在地震行业科研专项项目“历史地震资料补遗、可靠性及工程应用研究”课题的支持下，收集了 1614 年平遥 6½级地震的各版本地震目录的参数、记录此次地震的历史史料、

1 基金项目　地震行业科研专项项目“历史地震资料补遗、可靠性及工程应用研究”（200708048）
［**收稿日期**］　2015-02-26
［**作者简介**］　马秀芳，女，生于 1980 年。2007 年广州大学自然地理学专业研究生毕业，工程师。主要从事地震安全性评价和历史地震研究工作。E-mall：584131019@qq.com

关于该地震的研究文献。运用对比分析的方法，分析了山西断陷盆地内 12 次 5.2 级至 6½级历史地震和现代地震的破坏情况及有感范围，探讨了该地震的震级参数。同时，在前人对该地震震中参数定性研究基础上，重点运用地震参数校订的新方法——定量分析方法，分析了平遥一带仪器记录的小震空间分布、震群分布和地震密集值分布特征，并结合平遥一带断裂分布特征，综合分析探讨了平遥地震震中参数。

2 平遥 6½级地震参数探讨

2.1 发震时间

山西省历史地震资料丰富，研究程度较深，应用广泛。但是，有些历史地震参数还有待讨论。即使相同的史料，不同版本地震目录所确定的同一地震参数可能出现较大差异。1614 年平遥地震参数在不同的地震目录中差别就较大（表 1）。尤其是对震中位置的确认，最初将震中定在榆社，后来由榆社变为平遥榆社间，又由平遥榆社间改为平遥一带；震中烈度由Ⅶ+度，改为Ⅶ至Ⅷ度，又改为目前使用的Ⅷ度，相应的震级由 6 级变为 6½级。

表 1 1614 年平遥地震参数一览表

Table 1 Parameters of the 1614 Pingyao earthquake

序号	时间	震中位置	震级	震中烈度	地名	资料来源
1	1614.10.23	37.1°N 113.0°E	6	Ⅶ+	山西榆社	（李善邦等，1960a）
2	1614.10.23	37.2°N 112.5°E	6	Ⅶ至Ⅷ	山西平遥、榆社	（中央地震工作小组办公室，1971）
3	1614.10.23	37.2°N 112.5°E	6½	Ⅶ至Ⅷ	山西平遥、榆社一带	（顾功叙等，1983）
4	1614.10.23	37.2°N 112.1°E	6½	Ⅷ	山西平遥附近	（国家地震局震害防御司，1995）
5	1614.10.23	37.2°N 112.5°E	6½	Ⅶ至Ⅷ	山西平遥、榆社间	（国家地震局震害防御司，1988）

苏宗正等（1996）曾论述过山西平遥、榆社一带地震应该为 1614 年榆社地震和 1615 年平遥地震 2 次地震。其中，列出了记录 1614 年（万历四十二年）榆社地震的 12 个史料；另外，只有 2 个史料时间是万历四十三年，是 1615 年平遥地震的史料（表 2）。笔者同意苏宗正等的观点，而且这样来解释这次地震震中位置：榆社—平遥榆社一带—平遥，这一变化过程也是比较合理的。鉴于地震史料是研究历史地震最基础的材料，在本文的成文过程中，笔者又到山西省图书馆查阅了康熙年间的平遥、榆社县志，同表 2。

表 2 平遥地震史料

Table 2 The historical documents of the Pingyao earthquake

史 料	资 料 来 源
平遥：万历四十三年九月二十日戌时地震，倒塌房屋数百余间。	康熙十二年刊本《平遥县志》、康熙四十六年刊本《平遥县志》
盂县：［万历］四十三年，地震有声。	康熙《新修盂县志》卷 2 页 6；乾隆《平定州志》册 4 页 83

以上所列平遥地震史料，在《中国地震历史资料汇编（第二卷）》（谢毓寿等，1983）中认为，“万历四十三年九月二十日戌时”应是“万历四十二年九月二十一日亥初”的误记，但

未给出应是误记的任何考证材料。而且在时间的记载中，只有月相同（均为九月），而年（前者为万历四十三年，后者为万历四十二年）、日（前者二十日、后者二十一日）、时（前者戌时、后者亥初）都不同。

综合来看，笔者认为此次地震还是应该遵照史料记载，即该地震的发震时间为万历四十三年九月二十日，也就是 1615 年 11 月 11 日。

2.2　震级

笔者选择了发生在山西断陷盆地内 12 次 5.2 级至 6½级历史地震和现代地震，由于这些地震发生的构造环境、场地特征、社会经济特征相似或相近，所以这些地震可以对比研究。另外，还整理了这些地震的参数、破坏情况及有感范围等（表 3）。

上述 12 次历史和近代地震的破坏情况以平遥地震最轻，且平遥无人员伤亡记载。以倒塌房屋计，平遥地震致房屋倒塌可能只有 1979 年介休 5.2 级、1952 年崞阳 5½级地震的大约 10—20%，只及 1989 年大同阳高 6.1 级地震的 1%左右。由表 3 中震中平遥地震的破坏推断，震中烈度最大也就是Ⅶ度，震级 5½级，平遥地震定为 6½级显然偏高。

2.3　震中

根据以上的讨论笔者认为，《中国历史强震目录（公元前 23 世纪—公元 1912 年）》（国家地震局震害防御司，1995）所给出的 1614 年平遥 6½级地震参数应修改为：发震时间 1615 年 11 月 11 日；震级 5½级；震中烈度Ⅶ度。王健等（2010）提出历史地震参数校订应当遵循一定的原则，按照一定的步骤进行，应当包含以下几个方面的工作：①充分收集整理现有参数，应当至少包括四版正式出版的中国地震目录和相关研究论文等；②在充分的室内工作基础上，应特别强调实地考察；③定量分析仪器记录中小地震的活动特征，分析其与历史强震的关系，作为一种佐证。

苏宗正等（1996）曾论述的平遥地震震中位置为 37.2°N，112.2°E。在此文献中，平遥地震的考证运用了较深入的实地考察和历史地震资料考证的传统定性研究方法。本文在讨论平遥地震震中位置时，主要运用历史地震参数校订的新方法，定量分析平遥一带仪器记录的地震时空分布特征，由此来综合分析平遥地震震中的合理性。

2.3.1　平遥一带仪器记录的中小地震分布特征

已有研究表明，历史强震与仪器记录的中小地震密集存在一定关系（王健，2007；Wang 等，2008）。遵循这一思路，本文研究了平遥一带仪器记录的中小地震密集特征及与历史地震震中存在的关系。

选取 111.6°—113.0°E，36.8°—37.6°N 范围（这一范围的确定主要考虑到尽可能涵盖太原断陷盆地，特别是盆地的南面和西面，同时由于平遥地震曾定在榆社一带，所以该范围包含了榆社县境）内 1970—2014 年 12 月有地震台网以来记录的地震，按 M 震级统计。

该范围内共记录到 $M\geqslant0.0$ 级地震 1473 次，其中，$4.9\geqslant M\geqslant4.0$ 级地震 6 次，$3.9\geqslant M\geqslant3.0$ 级地震 27 次，$2.9\geqslant M\geqslant2.0$ 级地震 228 次，$1.9\geqslant M\geqslant1.0$ 级地震 369 次，$M<1.0$ 级地震 843 次，最大地震为 1980 年山西平遥 4.6 级地震（图 1）。所选范围距太原基准地震台距离介于 12—128km 之间，应该说选取范围内的 $M\geqslant0$ 级地震资料是比较完整的。

表 3　平遥 6½级地震与山西其他 5.2 级至 6½级地震对比表

Table 3　The damage comparison between the Pingyao earthquake and other earthquakes in Shanxi

序号	地震时间			震中位置		震级	震中烈度	精度	震中地点	备注（破坏情况）	有感范围	资料来源
	年	月	日	北纬（°）	东经（°）							
1	1022	4	-	39.8	113.1	6½	Ⅷ	4	山西大同、应县间	云（治今大同）、应（治今应县）二州屋摧地陷，嵬白山裂数百步，泉涌成流。		（山西省地震局，1991a）
2	1102	1	22	37.7	112.4	6½	Ⅷ	4	山西太原一带	地震弥旬，昼夜不止，坏城壁屋宇；人畜多死。	波及范围较大，纵长400km皆震。	（李善邦等，1960b）
3	1209	12	13	36.0	111.8	6½	Ⅷ-Ⅸ	2	山西浮山	平阳府（治今临汾）地震，浮山尤剧，城廨居民圮者十之七、八；死者二、三千人。		（山西省地震局，1991b）
4	1291	9	1	36.1	111.5	6½	Ⅷ	3	山西临汾一带	平阳路坏民庐舍10826区；压死150人。		（山西省地震局，1991c）
5	1305	5	11	39.8	113.1	6½	Ⅷ-Ⅸ	3	山西怀仁大同一带	大同路坏庐舍5000余间，怀仁地裂涌黑水；压死2000余人。	大同、寿阳、崞县均震至汾城约450km亦震。	（李善邦等，1960c）
6	1614	10	23	37.2	112.1	6½	Ⅷ	2	山西平遥附近	平遥倒塌房屋数百余间。	破坏纵长约100km。	（李善邦等，1960a）
7	1618	5	20	37.0	111.9	6	Ⅷ	3	山西介休	城垣民舍倾塌；居民多被压死。	遍及山西四十余城，影响最远为永济约300km。	（李善邦等，1960d）
8	1642	6	30	35.0	110.9	6	Ⅷ	2	山西安邑西	官民庐舍俱颓，人有压死者。蒲州、荣河人多死。	陕西潼关、河南渑池、沁阳和武陟等均震。	（李善邦等，1960e）
9	1891	4	17	37.1	111.9	5¾	Ⅶ	2	山西介休南	介休、孝义仓库、监狱、城墙、城垛均有倒塌裂陷，城乡民居墙壁塌裂不少；压死13人，伤65人。		（山西省地震局，1991d）
10	1952	10	8	39.0	112.7	5¾	Ⅷ	-	山西原平县崞阳镇东	倒塌房屋4000余间，窑洞900余孔，震中区有喷砂、冒水现象；死亡48人，伤98人。		（山西省地震局，1991e）
11	1979	6	19	37.1	111.9	5.2	Ⅶ	-	山西介休	极震区内5%以上ⅠⅡ类房屋都有不同程度的倒塌或裂缝。	有感范围长轴720km，短轴520km。	（山西省地震局，1991f）
12	1989	10	19	39.95	113.82	6.1	Ⅷ	1	山西大同、阳高间	造成15人死亡、74人重伤、71人轻伤；房屋整体倒塌10185间。		（赵新平等，1989）

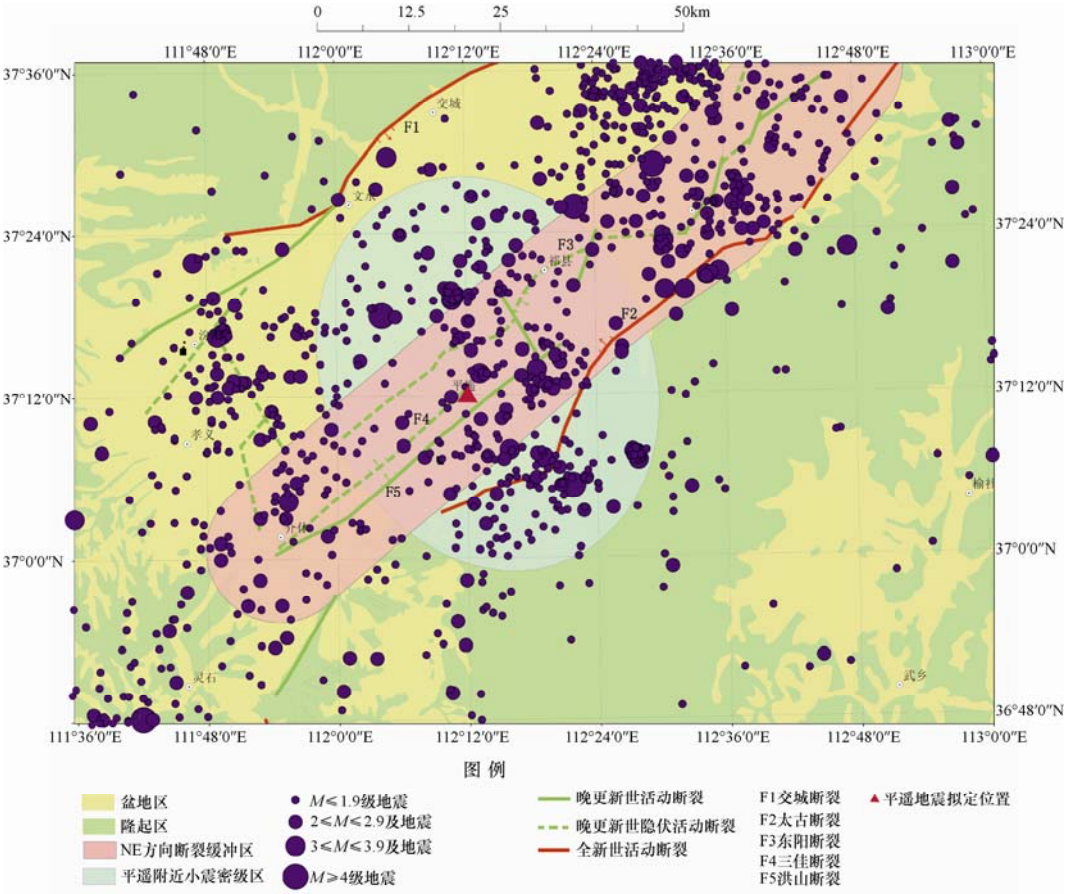

图 1　平遥一带 1970 年以来中小地震震中分布图

Fig. 1　Distribution of small to moderate earthquakes in the Pingyao area since 1970

从图 1 中可以看出，平遥附近确实存在一个小震密集区——图中的青色椭圆范围，太原断陷盆地断裂优势方向为北东向，沿优势断裂方向建立一个缓冲区——途中的粉红色条状区域，太原断陷盆地小震也呈北东向条带状分布特征，缓冲区就是小震条带状分布的最集中部分。前述两个小震集中分布区域的交叉位置应该是地震最集中的地区，地理坐标是 37.2°N，112.2°E，即图中红色三角形的位置。

2.3.2　平遥一带震群分布特征

太原盆地近代地震活动的特点是震群的频繁发生，据统计从 1970—1991 年共发生震群 22 次，其中平遥发生震群 3 次。

第一次平遥震群发生于 1970 年 9 月 4 日—29 日，共发生地震 237 次，最大地震 3.6 级。震群序列的震中分布图象为 NW 走向，长 15km，地震条带中心在平遥城东的南依间一带。

第二次平遥震群发生于 1971 年 12 月 1 日—1972 年 1 月 26 日，共发生地震 514 次，最大地震 4.2 级，震群中心还是在平遥城东南依间一带。

第三次平遥震群发生于 1982 年 4 月 3 日—7 日，最大地震 3.2 级。

2.3.3 平遥一带地震密集值分析

中小地震活动性图像的网格点密集值计算方法，综合考虑了一定时空及震级范围内地震的数量和震级分布两方面的影响因素。经该方法处理的图像是对地震活动性定量分析的基础，在地震趋势分析和防震减灾等方面有很好的应用前景（王健，2001）。

本文网格点密集值为 V_j（简称密集值），概念及计算方法运用王健等（2010）的定义：在研究区内，以一定的空间间隔划网格，以网格的 j 节点为中心，假定在以 R 为半径的范围内的地震数为 n，则该点的密集值 V_j 为：

$$V_j = \sum_{i=1}^{n} \frac{m}{M_{\max} \ln(r_{ij})}$$

式中，r_{ij} 为第 i 个地震距 j 节点的距离。

该式的含义是：以地震到节点距离对数的反比，累计选震范围内所有地震对 j 节点的贡献（王健等，2010）。在研究过程中，研究区范围仍然选取 111.6°—113.0°E，36.8°—37.6°N 的范围。

对 1970 年以来记录到的地震进行密集值计算，结果如图 2 所示。计算时，网格间距取

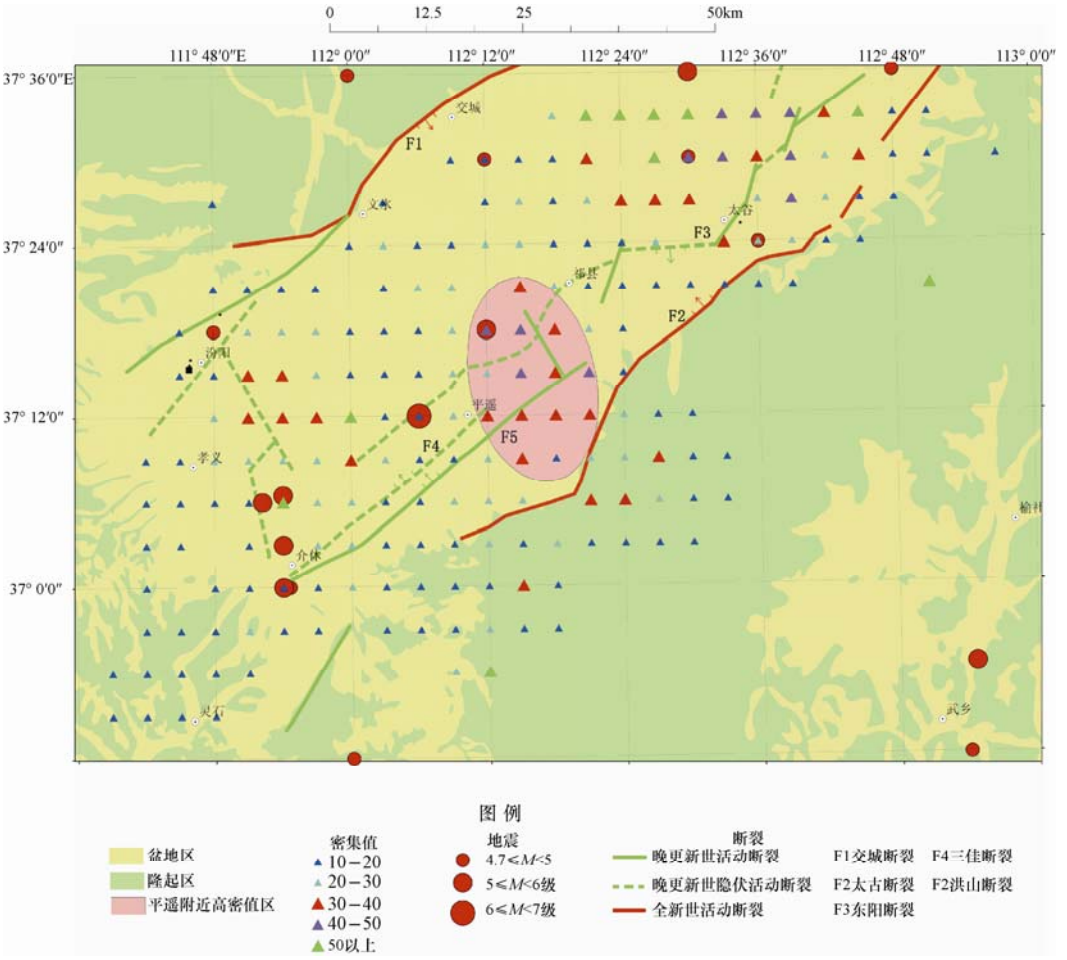

图 2 研究区密集值及历史地震震中分布图

Fig. 2 Distribution of historical earthquake density and epicenters in study area

0.05 经纬度，*R* 值为 10km，即将选取范围分为 27 行 15 列，计算了 405（27×15=405）个网格点的地震密集值。盆地的地震密集值明显高于隆起区，考虑到图面显示的整洁性，未表示隆起区的密集值。从图 2 中可以看出，平遥现定震中的附近密集值都不是很高，而在其右侧存在一个高密集值区——图中粉红色椭圆区域。

而中小地震密集区在一定条件下和一定程度上表明了历史强震所造成的破坏范围。因而，可将历史强震震中确定在密集区内（王健等，2010）。综合以上分析，笔者认为平遥地震的震中定在 37.2°N，112.2°E 是比较合理的。

3　结论

通过广泛查阅 1614 年平遥 6½级地震的历史史料和研究文献，本文认为：平遥地震的发震时间为 1615 年 11 月 11 日；在对比了山西断陷盆地内 12 次 5.2 级至 6½级历史地震和现代地震的破坏情况及有感范围后，得出平遥地震震级偏大，应该定为 5½级；同时，在前人对该地震震中参数研究的基础上，重点运用历史地震参数研究的新方法——定量分析方法，分析了平遥一带仪器记录的小震空间分布、震群分布和地震密集值分布特征，并结合断裂分布特征，综合分析了平遥地震震中位置定在 37.2°N，112.2°E 比较合适。

综上所述，笔者认为 1614 年平遥 6½级地震的参数为：发震时间 1615 年 11 月 11 日，震中地区平遥，震中位置 37.2°N，112.2°E，震中烈度Ⅶ度，震级 5½级。

参考文献

顾功叙，林庭煌，时振梁等，1983．中国地震目录（公元前 1831 年—公元 1969 年）．北京：科学技术出版社，69.

国家地震局震害防御司，1988．中国地震简目．北京：地震出版社．

国家地震局震害防御司，1995．中国历史强震目录（公元前 23 世纪—公元 1912 年）．北京：地震出版社，153．

李善邦，武宦英，郭增建等，1960．中国地震目录．北京：科学出版社，81.

苏宗正，安卫平，1996．1614 年榆社地震与 1615 年平遥地震．地震研究，**19**（3）：292—299.

王健，2001．地震活动性图像处理的网格点密集值计算方法．地震学报，**23**（3）：262.

王健，2007．渤海海域历史地震和地震海啸．地震学报，**29**（5）：549—557.

王健，吴宣，高阿甲等，2010．历史地震参数校订方法探讨——以北京延庆公元 294 年地震为例．地震学报，**32**（1）：108—117.

谢毓寿，蔡美彪，王会安等，1983．中国地震历史资料汇编（第二卷）．北京：科学出版社，719.

中央地震工作小组办公室，1971．中国地震目录．北京：科学出版社，66.

Wang J., Hammerl C.H., 2008. Seismic density and its relationship with mid-strong historical earthquakes in Austria. M31st General Assembly ofthe European Seismological Commission ESC2008. Crete, Greece: 503—510.

Discussion about the Parameters of Pingyao Earthquake in 1614

Ma Xiufang[1,2], An Weiping[1,2] and Wang Yuejie[1,2]

1) Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China

2) National Scientific Field Observatory of Continental Rift Dynamics in Taiyuan, Taiyuan 030002, China

Abstract In this paper, we reviewed the parameters from various versions of the earthquake catalog, and the historical materials of the Pingyao earthquake in 1614.Through comparing the destructions caused by other historical or modern earthquakes with magnitude from 5.2 to 6.5 in the Shanxi basin we believed that it is more reasonable to define the magnitude of this earthquake as 5½. On the basis of previous research on this earthquake, we applied a new method of seismic parameters revision, focusing on quantitative analysis of spatial distribution of small to moderate instrumental record earthquakes, earthquake swarm features, earthquake densely value distribution. Combined with fracture distribution in the Pingyao area, we discussed the epicenter parameters of the Pingyao earthquake comprehensively.

Key words: Parameters; Historical earthquake; Pingyao