第 33 卷　第 1 期(172~179)　　中 国 地 震　　Vol. 33　No. 1
2017 年 3 月　　EARTHQUAKE RESEARCH IN CHINA　　Mar. 2017

张晋辉、龙海云,2017,国际地震预警研究现状与研究热点的可视化分析,中国地震,**33**(1),172~179。

国际地震预警研究现状与研究热点的可视化分析

张晋辉　龙海云

中国地震台网中心,北京市西城区三里河南横街 5 号　100045

摘要　检索 Web of Science 数据库中有关地震预警的文献数据,使用 Web of Science 的数据分析功能和 Cite Space 可视化分析工具,对地震预警领域的文献数据进行统计分析,探究地震预警领域的研究现状和研究热点,以期为相关机构和研究人员提供参考。

关键词:　**地震预警**　**可视化分析**　**研究现状**　**研究热点**　**Cite Space**

[**文章编号**] 1001-4683(2017)01-0172-08　　[**中图分类号**] P315　　[**文献标识码**] A

0　引言

地震预警(Earthquake Early Warning,EEW)是近年发展起来的地震减灾技术。它是指地震发生后距震中最近的地震台利用最先到达的持续数秒的地震首波,快速确定地震参数,发出发生地震的警报,利用电磁波与地震波间、地震纵波与横波间的速度差,使远处可能受地震影响的地区,在破坏性地震波到达时能够提前获得几秒至十几秒的避险、应急处置时间,以减轻地震灾害和人员伤亡(赵纪东等,2009;袁志祥等,2007)。国外一些国家,如日本、墨西哥等已经建立了地震预警系统(Allen et al,2009),并且取得了一定的成效。我国从 20 世纪末开始进行地震预警技术的先期研究,近几年也开展了一些地震预警实验研究,并在一些地区进行了预警示范工程,均取得了一定的成效。2016 年中国地震局启动了“国家地震烈度速报与预警工程项目”,因此,了解国际上关于地震预警的研究现状和研究热点,借鉴国外的建设经验和教训,可为我国地震预警技术的研发和系统建设提供参考。

信息可视化技术首次由 Robertson 等(1989)于 1989 年提出,它是对非空间的非数值型的高维信息进行交互式视觉表现的理论、技术与方法,其目的是发现海量数据背后的相互关系以及发展趋势,以使人们能够更好地掌握和利用飞速增长的“大数据”。信息可视化技术已被广泛应用于各学科领域的情报研究工作中。信息可视化分析工具种类繁多,包括 Cite Space、Hist Cite、Pajek、Ref Viz(田军,2014)和 Sci 2 等等,目前使用较多的是 Cite Space。Cite Space 由美国德雷克塞尔大学陈超美团队开发,是一款在科学文献中识别与可视化新趋势与

[**收稿日期**] 2015-11-18;[**修定日期**] 2017-01-03
[**项目类别**] 中国地震台网中心青年科技基金项目“基于 Citespace 的国际地震预警研究”资助
[**作者简介**] 张晋辉,男,1981 年生,情报学在读博士研究生,工程师,研究方向为情报研究方法与技术。
E-mail:zhangjhseis@126.com

新动态的 Java 应用程序，已成为信息分析领域中影响力较大的信息可视化软件（Chen，2006）。因此，本文拟利用 Web of Science 自带的数据分析功能和 Cite Space Ⅲ软件，从文献的角度探究地震预警技术的研究现状和技术热点。

1　数据与方法

Web of Science 是美国科学信息研究所（ISI）创立的国际权威引文索引数据库，共包括 8000 多种世界范围内最有影响力的经过同行专家评审的高质量期刊。目前，Web of Science 数据库是评价科研水平和科研成果的重要指标数据，该数据库的收录和引用情况是论文质量评价的一项量化标准和参数依据（马费成等，2008）。

本文选取 Web of Science 检索平台中与地震预警领域相关的文献作为检索对象，检索式：TS =（earthquak * or seismic * or seismologic * ）NEAR（warn * or alert * or pre-alarm * ）AND 文献类型：（Article OR Proceedings Paper OR Review），数据库：Science Citation Index Expanded（SCI-EXPANDED）和 Conference Proceedings Citation Index-Science（CPCI-S），检索时间跨度为 1900~2015 年，样本采集时间为 2015 年 10 月 15 日。共检出文献记录 872 条，然后选择这些记录的所有字段，将其下载并保存为纯文本格式作为我们后续研究的数据样本。

2　结果与分析

2.1　地震预警研究文献的数量变化

文献的数量随时间的变化趋势，可以直观地反映某领域发展的概况。根据检索结果，地震预警领域最早的文献是 1978 年由 Rikitake 发表在 Interdisciplinary Science Reviews 上的文章“Earthquake prediction and warning”。利用 Web of Science 数据库自带的数据分析功能对 872 条数据记录按年份进行统计，得到国际地震预警领域文献量变化趋势图（图 1）。由图 1 可见，国际地震预警领域的文献量呈逐年上升趋势，并在 2013 年达到峰值，共发文 113 篇，随后开始进入稳定增长态势。

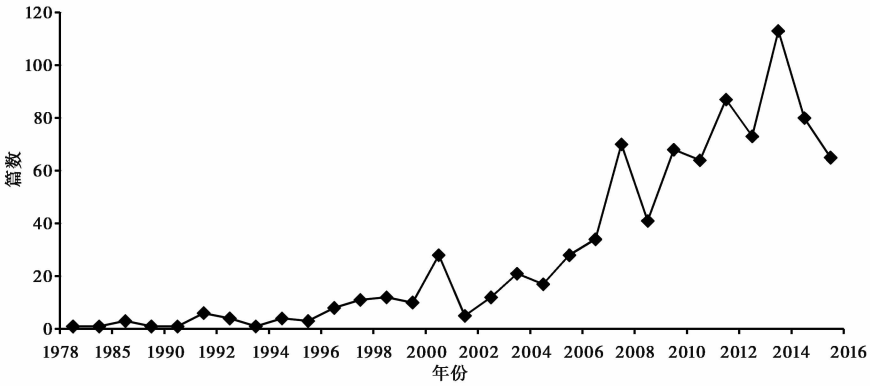

图 1　1978~2015 年国际地震预警领域文献量变化趋势

2.2　发表地震预警研究文献的国家和地区

检出文献的作者共涉及 64 个国家和地区。在地震预警领域中,美国在发文量上优势明显,居世界首位;其后是日本、意大利、中国、印度、德国等国家。我国大陆发文量为 94 篇,居世界第 4 位,中国台湾是唯一一个在地震预警领域发文量名列世界前 10 的地区,其发文量为 64 篇(表 1)。中国台湾的早期警报系统(EWS)是因 1986 年花莲地震而开始推动建设的,经过二十几年的建设,至 2009 年底,据中国台湾气象部门称,已完成“地震实时预警系统”,地震发生时,防灾单位、台铁、捷运、医院、高科技产业等将有“黄金 20s”的应变时间[①]。

表 1　地震预警领域发文前 10 位的国家/地区分布

序号	国家/地区	发文篇数	比例/%
1	美国	234	26.835
2	日本	114	13.073
3	意大利	104	11.927
4	中国大陆	94	10.78
5	印度	79	9.06
6	德国	75	8.601
7	中国台湾	64	7.339
8	俄罗斯	35	4.014
9	法国	27	3.096
10	土耳其	26	2.982

随后,我们运行 Cite Space Ⅲ,时间跨度为 1978 ~ 2015 年,时间切片(Time Slice)设置为每 2 年,得到地震预警研究文献的国家合作网络(图 2),图 2 中节点(绿色)表示分析对象,被引频次以年轮环的形式呈现,其颜色频谱反映了被引用的时间范围。节点越大,表示该对象在整个时间跨度内被引用次数越多,单圈年轮环直径越大,表示该单位时间段内被引用次数越多。2 个节点之间的连线表示两者存在共被引关系,连线的长短和粗细表示 2 个节点之间连结的强度。引用频次及中心性反映了节点的重要程度,被引频次越多,说明该对象对某领域越具有学术影响力,而中心性越高,说明该对象与其他对象形成的共被引关系越紧密。由图 2 还可见,虽然我国的发文量位于世界前列,被引频次也不少,但是中心度却小于 0.10(中心度数值可由 Cite SpaceⅢ软件计算结果中得出),表明我国地震预警研究文献的国际合作程度还不够,(表 2)列出了中心度大于 0.10 的国家和地区。

2.3　地震预警研究文献的来源期刊

利用 Web of Science 数据库自带的数据分析功能对 872 条文献记录按期刊进行统计,共

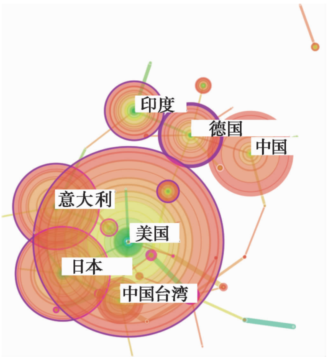

图 2　地震预警研究文献的国家合作网络

① 郑东阳,台湾防震经验:耐震建筑预警速报[EB/OL],http://blog.ifeng.com/article/26054742.html.[2015-12-10]。

涉及 375 种期刊，其中，刊载地震预警领域文献 10 篇以上的期刊有 15 种，我们列出了前 10 种（表 3），它们主要涉及地球物理、自然灾害、地震学和地震工程等学科，这些期刊有关地震预警研究的载文量占 872 条总文献量的近 50%（47.8%），是地震预警领域的核心期刊。这些期刊中以 Geophysical Research Letters 的载文量最多，达 59 篇，占总文献量的 6.766%。该刊 2014 年的影响因子为 4.196，堪称地震预警领域的权威期刊。

表 2　地震预警领域研究文献中心度大于 0.10 的国家/地区

序号	国家/地区	中心度	被引频次
1	英国	0.31	19
2	德国	0.25	66
3	加拿大	0.20	14
4	美国	0.17	203
5	智利	0.17	4
6	澳大利亚	0.17	12
7	俄罗斯	0.16	29
8	意大利	0.15	93
9	法国	0.15	20
10	日本	0.14	107
11	以色列	0.12	8
12	印度	0.11	69

表 3　国际地震预警领域发文量前 10 位的期刊

序号	期刊名称	发文量	比例/%
1	Geophysical Research Letters	59	6.766
2	Geophysical Journal International	54	6.193
3	Bulletin of the Seismological Society of America	54	6.193
4	Natural Hazards	34	3.899
5	Pure and Applied Geophysics	32	3.67
6	Natural Hazards and Earth System Sciences	26	2.982
7	Soil Dynamics and Earthquake Engineering	22	2.523
8	Seismological Research Letters	22	2.523
9	Journal of Geophysical Research Solid Earth	21	2.408
10	Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction	19	2.179

运行 Cite SpaceⅢ，选择 Cited Journal，数据抽取对象选择 Top 30，可得到地震预警研究文献的期刊共被引网络（图 3），中心度位于世界前 10 位的期刊如表 4 所示。

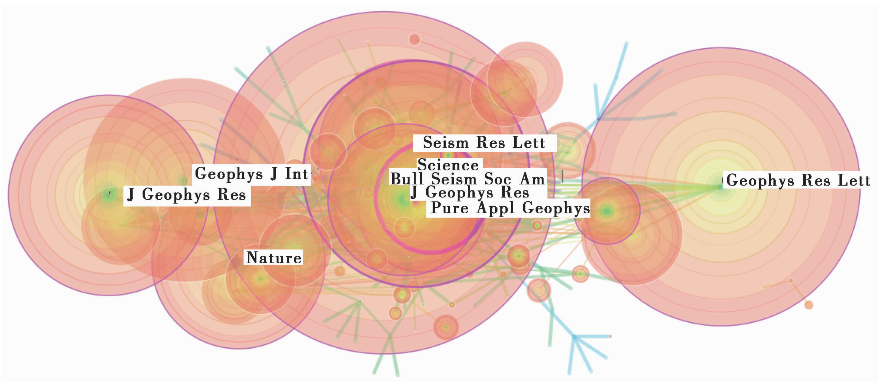

图 3　地震预警领域研究文献的期刊共被引网络

2.4　关键词共现

关键词是对文献研究内容的高度浓缩和概括。高频关键词可在一定程度上反映某个时间段内被研究人员普遍关注的学术话题或者迫切需要解决的热点问题。通过对地震预警研究领域文献中高频关键词的分析，可对该领域的研究热点有一个总体的了解，运行 Cite

SpaceⅢ得到关键词共现图谱(图4),共有200个关键词节点和271条连线,网络密度0.0025。通过辨认和清除少数没有分析价值的关键词,如表述地震(earthquake、earthquakes)和地震预警(earthquake warning、earthquake early warning、early warning)的关键词,可迅速定位地震预警研究领域中的研究热点。表5为地震预警研究领域文献中的10个高频关键词。在这些关键词节点中,magnitude(震级)的节点最大,被引用频次最多,而rupture(断裂)的中心度最大,表明国际地震预警研究向准确地获取地震震级和烈度数据的方面发展,这也是地震预警研究的重点和核心内容。这些关键词中有一些地理位置关键词,如Japan、California、Taiwan等,揭示了地震预警研究的热点地区;此外,我们还应关注一些隐含了当前研究热点信息的关键词,如system(系统)、tsunami(海啸)、model(模型)、invertion(反演)等。重点研读产生这些关键词的文献,可在一定程度上有助于把握地震预警领域的研究热点。

表4 国际地震预警领域中心度前10位的期刊

序号	期刊名称	中心度	被引频次
1	Tectonophysics	0.60	174
2	Earthquake Predictio	0.31	18
3	Physics Earth Planet International	0.29	165
4	Science	0.26	352
5	Pure and Applied Geophysics	0.23	203
6	US Geol Surv	0.21	1
7	Bulletin of the Seismological Society of America	0.17	526
8	Eos T Am Geophys Un	0.16	76
9	Journal of Geophysical Research Solid Earth	0.16	240
10	Socioeconomic Impact	0.16	2

2.5 关键节点文献分析

将网络节点的类型(Node Types)设定为参考文献(Cited Reference),再次运行Cite SpaceⅢ,生成国际地震预警研究的文献共引网络(图5),共有548个文献节点和642条连线。图5中每个绿色节点表示1篇被引文献,节点外侧所环绕的圆圈表示该篇文献在不同年份

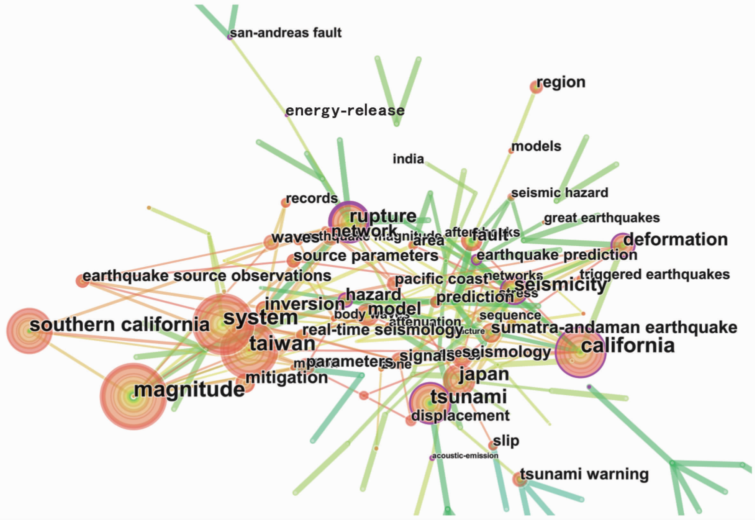

图4 地震预警研究领域文献的关键词共现网络

节点、中心度等相关概念同图2

的被引数量，不同深度的颜色表示不同年份，选择阈值为70（被引频次≥70的文献），图5中可见，有4篇被引频次超过70的文献，我们称之为关键节点文献，即地震预警研究领域较有影响力的文献：① 美国威斯康星大学 Allen 于 2003 年发表在 Science 第300卷上的文章“The potential for earthquake early warning in southern California”，该文讨论了在美国南加州建立地震预警系统的可行性，并介绍了美国南加州地震预警系统的基本原理和效果；② 美国加州理工学院 Kanamori 于 2005 年发表在 Annual Review of Earth and Planetary Sciences 第33卷上的文章“Real-time seismology and earthquake damage mitigation”，该文基于地震断裂理论讨论了一种进行现场预警的有效方法；③中国台湾气象局的 Yih-Min Wu 于 2002、2005 年在 Bulletin of the Seismological Society of America 的第92、95卷上发表的2篇文献，“A virtual sub network approach to earthquake early warning”和“Experiment on an onsite early warning method for the Taiwan early warning system”，讨论了虚拟子网在中国台湾地震预警系统中的成功应用。如果将图5按时间显示，即可得到国际地震预警研究文献共引网络的时间序列图（图6），由图6可见，关键节点文献主要发表于21世纪初，表明地震预警研究

表 5　国际地震预警领域排名前 10 位的关键词

序号	关键词	频次
1	magnitude（震级）	105
2	system（系统）	62
3	Taiwan（中国台湾）	59
4	California（美国加利福尼亚州）	55
5	southern California（美国加利福尼亚州南部）	49
6	tsunami（海啸）	42
7	Japan（日本）	40
8	rupture（断裂）	40
9	model（模型）	31
10	invertion（反演）	29

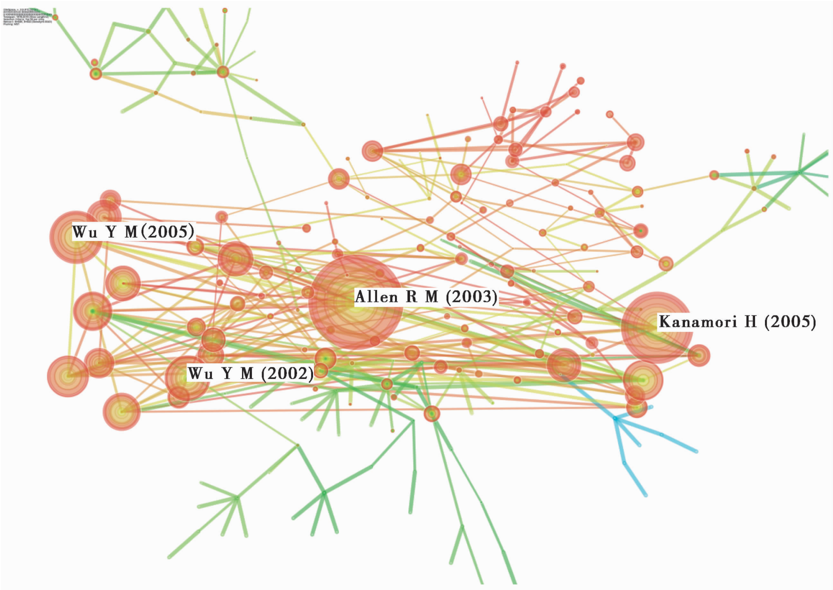

图 5　国际地震预警研究的文献共引网络

节点、中心度等相关概念同图 2

在这一阶段取得了重要进展,产生了很多有重大影响力的关键文献,并以这些文献为中心掀起了对地震预警的研究热潮。

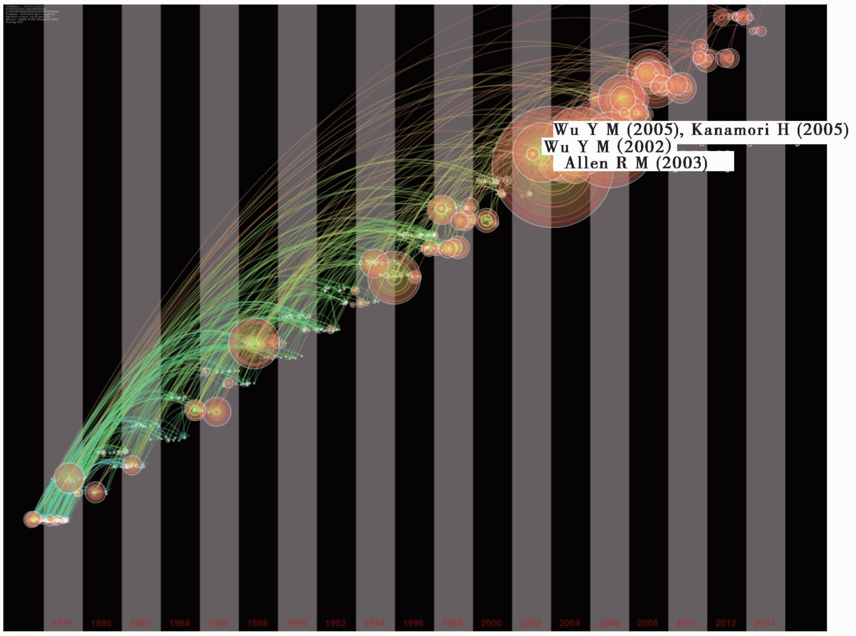

图 6 国际地震预警研究的文献共引网络(时间序列图)

节点、中心度等相关概念同图 2

3 结语

本文使用 Web of Science 的数据分析功能和 Cite Space 可视化分析工具,对来自 Web of Science 数据库中有关地震预警研究的文献数据进行了统计分析,在一定程度上显示了地震预警技术在世界上研究和发展的现状和热点。但是由于地震预警(Earthquake Early Warning)在英文、日文、中文和其他语种中的称呼不一致,造成检索式无法足够准确,从而无法得到全量数据,这使得本文的分析难免存在一定误差。尽管如此,本研究还是尽可能地将数据检全、检准,以期为研究人员和管理人员提供一些有价值的信息。

地震预警研究文献量自 1978 年以来一直呈增长趋势,地震预警研究文献的产出国家和来源期刊呈现高度集中态势,这正是情报学布拉德福经典定律在地震学领域中的高度体现。通过以上对国际地震预警研究文献的计量分析和可视化分析,我们发现 21 世纪初是地震预警研究领域取得重大进展的关键时期。该阶段产出了具有重大影响的经典文献和代表作者,地震预警研究的热点问题不断涌现,地震预警系统、地震震级的计算、预警模型的构建和海啸地震预警等是国际地震预警的热点研究方向,代表了国际地震预警研究界的关注重点和研究热点。

参考文献

马费成、刘记,2008,Web2.0 环境下的信息构建——对信息构建基本原理的再认识,情报学报,(10),683~690。

田军,2014,信息可视化分析工具的比较分析——以 Cite Space、Hist Cite 和 Ref Viz 为例,图书馆学研究,(14),90~95。
袁志祥、单修政、徐世芳等,2007,地震预警技术综述,自然灾害学报,**16**(6),216~223。
赵纪东、张志强,2009,地震预警系统的发展、应用及启示,地质通报,**28**(4),456~462。
Allen R M, Gasparini P, Kamigaichi O, et al, 2009, The status of earthquake early warning around the world: An introductory overview, Seism Res Lett, **80**(5), 65~72.
Chen C, 2006, CiteSpace Ⅱ: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature, Journal of the American Society for Information Science and Technology, **57**(3), 359~377.
Robertson G, Card S K, Mackinlay J D, 1989, The cognitive coprocessor for interactive user interfaces//Proceedings of the ACM SIGGRAPH symposium on user interface software and technology, 10~18.

Visualized analysis of the research status and hotspots of international earthquake early warning

Zhang Jinhui　Long Haiyun
China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract　Earthquake early warning is a scientific frontier of human disaster prevention. In this paper, we retrieve the literature data in Web of Science database, use the analysis functions of Web of Science and the visualized analysis tool-Cite Space, count and analyze the literature data of Earthquake early warning. We sum up the research status and hotspots of International earthquake early warning, in order to provide some reference for related institutions and researchers.

Key words: Earthquake early warning; Research status; Research hotspots; Visualized analysis; Cite Space