

关于地震科学实验场的几个基本问题

张 琰, 蒋长胜, 韩立波

Some basic questions into seismic experimental site

Zhang Yan, Jiang Changsheng, and Han Libo

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2021-094>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[中国地震科学实验场博士后科研工作站2019年面向全球招收博士后研究人员*](#)

Postdoctoral programme of China Seismic Experimental Site in 2019 recruits postdoctoral researchers worldwide
地震科学进展. 2019(4): 48–48

[中国地震学会第十七次学术大会暨中国地震科学实验场第三届学术年会胜利召开](#)

The 17th academic conference of Seismological Society of China and the 3rd annual academic conference of China Seismic Experimental Site were successfully held
地震科学进展. 2021(10): 477–480

[京沪高铁干扰地电场观测的实验研究](#)

Experimental study on interference of Beijing—Shanghai high-speed railway in geoelectric field observation
地震科学进展. 2019(12): 36–42

[大别山试验场次声台阵建设](#)

The construction of infrasonic array in Dabie Mountain experimental site
地震科学进展. 2018(6): 28–32

[美国地震预警系统ShakeAlert测试与评估](#)

Instruction of earthquake early warning ShakeAlert testing platform
地震科学进展. 2019(5): 17–25

[中国地震预报论坛2021年度学术交流暨中国地震学会地震预报专业委员会委员换届大会在云南大理召开](#)

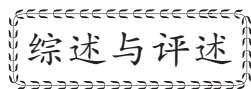
The 9th annual meeting of China Earthquake Prediction Forum and the 10th general election conference on Prediction Committee of Seismological Society of China held on Sept. 13—17, 2021 in Dali City, Yunnan Province
地震科学进展. 2021(12): 569–573



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张琰, 蒋长胜, 韩立波. 关于地震科学实验场的几个基本问题 [J]. 地震科学进展, 2022, 52(8): 345-354. doi:10.19987/j.dzcxjz.2021-094

Zhang Y, Jiang C S, Han L B. Some basic questions into seismic experimental site[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2022, 52(8): 345-354. doi:10.19987/j.dzcxjz.2021-094



关于地震科学实验场的几个基本问题*

张琰 蒋长胜* 韩立波

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要 “实验”和“试验”之间,“实验场”和“试验场”之间,“中国地震科学实验场”与其他“地震科学实验场”,以及“科研项目部署在实验场”和“实验场的科研项目”之间,字面意思上的不同可能会直接导致背后指代的含义也不同,这一点通常不会被注意到。本文通过对以上几组词(组)的讨论与对比,期望能够加深对中国地震科学实验场的一些基本但重要问题的科学认识。

关键词 实验; 试验; 试验场; 中国地震科学实验场

中图分类号: P315 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2022)08-0345-10

doi: 10.19987/j.dzcxjz.2021-094

Some basic questions into seismic experimental site

Zhang Yan, Jiang Changsheng, Han Libo

(Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

Abstract Expressions such as “experiment” and “test”, “experimental site” and “testing site”, “China Seismic Experimental Site” and others “experimental site”, “scientific projects deployed in experimental site” and “experimental site’s scientific projects” might be confused at first glance, although they actually have different meanings. This paper aims to differentiate them and thus to deepen our scientific understanding of China Seismic Experimental Site.

Keywords experiment; test; testing site; China Seismic Experimental Site

引言

中国的地震科学实验场/试验场最早起源于 20 世纪 70 年代初期的新疆地震预测预报实验场(1974—1975), 并先后经历了山西地震预测预报实验场(1971—1974)、京津唐张地震预报试验场(1980—

1984)、华北地区地震预报研究试验场(1982—1986)、滇西地震预报实验场(1980—2013)、以及川滇国家地震监测预报实验场(2014—2017)^[1]。2018 年, 中国地震科学实验场成立(<http://www.cses.ac.cn/sycgk/lsgy/index.shtml>)。从各个阶段的名称可以发现, 实验场和

* 收稿日期: 2021-12-27; 采用日期: 2022-01-29。

基金项目: 国家自然科学基金地震科学联合基金(U2039204)资助。

第一作者: 张琰(1993-), 男, 博士研究生, 主要从事地震危险性分析和地震预警理论研究。E-mail: zhangyan@cea-igp.ac.cn。

* 通信作者: 蒋长胜(1979-), 男, 研究员, 主要从事地震监测技术和地震预测理论。E-mail: jiangcs@cea-igp.ac.cn。



试验场交替出现。

事实上,实验场与试验场并不是地震科学的专属名称,在地震科学以外的其他领域,也存在类似的实验场与试验场。例如用于测试新式武器性能的武器试验场^[2]、用于海浪发电研究的海浪试验场^[3]、微波综合实验场^[4]、水环境治理综合实验场^[5]。从各个领域中的名称也可以发现,实验场和试验场之间似乎并不存在明显区别。而在英文的语言环境中,同样也是如此,例如 experimental site 和 testing site。一方面,由于语言文化的差异,不同的文化背景下对同一对象的解释会有不同的含义,例如汉字“龙”和英文单词“dragon”,龙是神圣的化身,而 dragon 代表着邪恶,再例如“地震预测”和“地震预报”与英文中的“earthquake forecast”和“earthquake prediction”,文化背景和语言环境的不同使得它们具有不同的含义^[6];另一方面,即使是在同一语言环境下,读音相近的名词也会有着完全不同的含义,前面提到的“实验”和“试验”即是其中一个典型代表。关于“实验”和“试验”,第七版现代汉语词典分别给出了定义:为了检验某种科学理论或假设而进行某种操作或从事某种活动,称为实验;为了察看某事的结果或某物的性能而从事某种活动称为试验。从这一角度看,“实验”不等同于“试验”。关于地震科学中“实验”和“试验”的区别,张国民等^[7]在世纪之初已有间接的相关讨论,认为:①实验研究是地震预报试验场中的工作内容,例如帕克菲尔德地震预报试验场(1985—1994,在1994年结束工作之后,加州南部地区在南加州地震中心的管理下作为一个独立的地震科学实验场运行至今)的钻孔地震计划、密集地震台网和岩石滑动摩擦实验;②地震预报试验场在实验区内展开工作等,将“实验”与“试验”用在了不同的语义环境下。

本文从讨论“实验”与“试验”的区别作为切入点,试图就地震科学实验场的几个简单基本问题展开讨论,包括①实验场和地震科学实验场;②“地震科学实验场”与“其他学科领域的实验场”;③“科研项目部署在实验场”与“实验场的科研项目”。

1 文献计量

截止到目前,能够被文献计量学以外的非专业人士使用的文献计量分析工具可以分为两类:引文空间 CiteSpace^[8](<http://cluster.cis.drexel.edu/~cchen/citespace/>)和文献计量在线分析平台(<https://biblio->

metric.com/)。相比于功能多样化的专业分析工具 CiteSpace,文献在线分析平台目前具备的功能尽管相对局限,但其已然包括的文献总量、合作关系(国家之间,机构之间以及作者之间)、影响力(机构、期刊及作者)、关键词及引用关系等分析对于实际需要已经足够。另外,对于文献计量学以外的研究人员而言,文献在线分析平台具备操作简单,实用性强等优点。

前面提到,实验场/试验场并不是地震科学的一个专有名词,在其他领域同样存在,因此,即使是不同学科领域之间,也可能存在着某种共识性。下面,分别以实验场/试验场以及地震实验场/试验场为研究对象,使用文献计量的分析方法分别展开讨论。

1.1 实验场/试验场

在第一组检索中,以实验场/试验场作为检索目标,使用 in situ experiment、natural laboratory、experimental site、experimental field、test*site、test*ground、test*field、proving ground、proving field、以及 calibration field 之间的并集(以 or 连接)组成以下检索式:

TS=(“in situ experiment” or “natural laboratory” or “experimental site” or “experimental field” or “test*site” or “test*ground” or “test*field” or “proving ground” or “proving field” or “calibration field”)

检索 Web Of Science^[9]核心合集中收录于 SCI-E 数据库且出版年在 2015—2020 年期间的所有英文文献,一共获得约 4900 条记录(由于 WOS 文献库本身的更新延迟导致部分 2020 年出版的文章在 2021 年才更新到数据库中,在文中不做讨论)。文献类型包括 Article、Proceeding paper、Review、Editorial material、Early access、Meeting abstract、Book chapter、Letter 等。图 1 中用不同颜色标出了不同国家有关实验场/试验场的年度发文量变化情况,存在以下特征:①美国、中国和德国的年度发文量稳居前三;②自 2015 年以来,中国和美国之间在文章数量上的差距逐步减小,并在 2018 年超过美国;③相比于 2015—2018 年,2019 和 2020 年的文章数量大幅减少。图 2 表示了检索到的约 3300 条记录中不同国家间作者的合著情况,显而易见的是,中国、美国、德国、法国、日本和意大利等国有着较强的对外合作特征,合作的关系强度(连线的密集程度)较为离散,说明实验场/试验场可能并不是一个国际合作的热点领域。图 3 表示了历年关键词的数量变化,其中主要的领域关键词包括原位实验(in situ experiment)、遥感(remote sens-

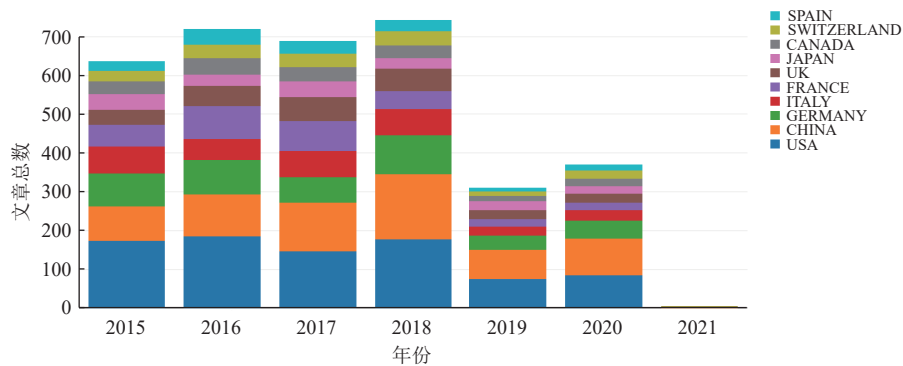


图 1 (各类实验场/试验场) 年度文章出版量(区分国别)

Fig. 1 The number of publications related to various experimental sites and testing sites in different countries

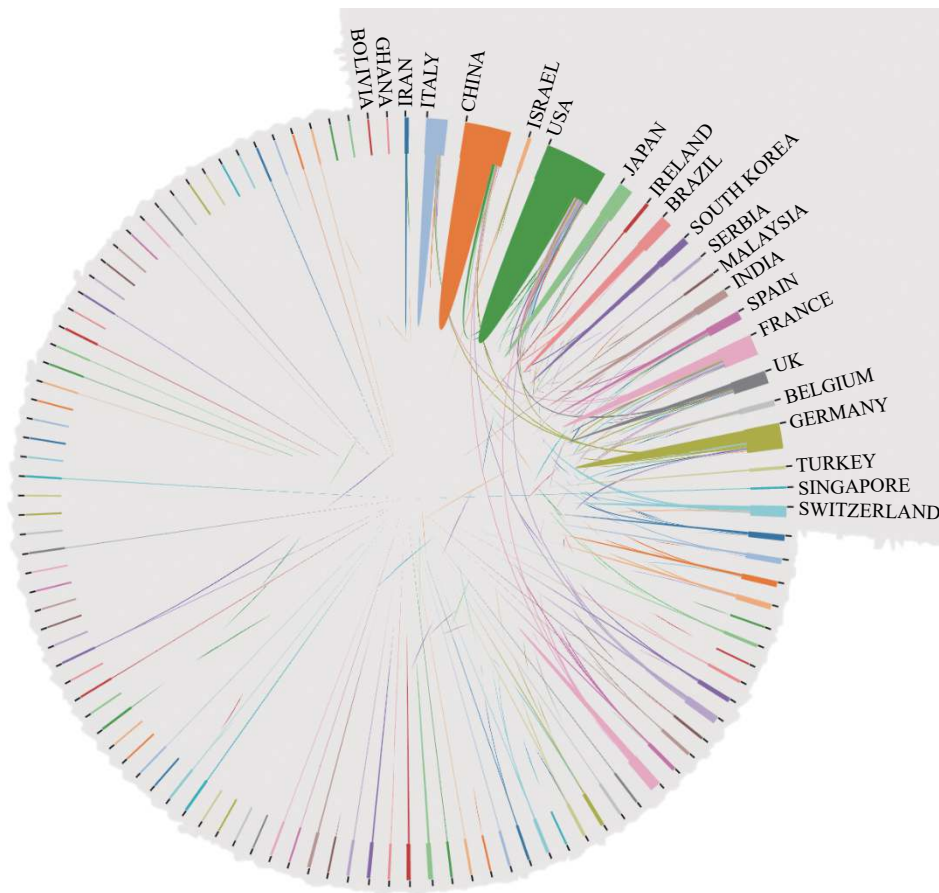


图 2 (各类实验场/试验场) 国际合作网络(仅标出部分国家)

Fig. 2 The international cooperation involved in various experimental sites and testing sites in different countries. Only parts of them are marked

ing)、气候变化(climate change)、土壤(soil moisture)、生态(biomass)、机器学习(machine learning)等,而共性关键词则有监测(monitring)、数值模拟(numerical simulation)和验证(validation)等。

1.2 地震科学实验场

在第二组检索中,以地震实验场/地震试验场为检索目标,使用 seismic 和 earthquake 之间的并集与

第一组的检索式做交集(使用 and 连接),即:

TS = ((“earthquake” or “seismic”) and (“in situ experiment” or “natural laboratory” or “experimental site” or “experimental field” or “test*site” or “test*ground” or “test*field” or “proving ground” or “proving field” or “calibration field”))

检索同一数据库中在 2015—2020 年期间的文

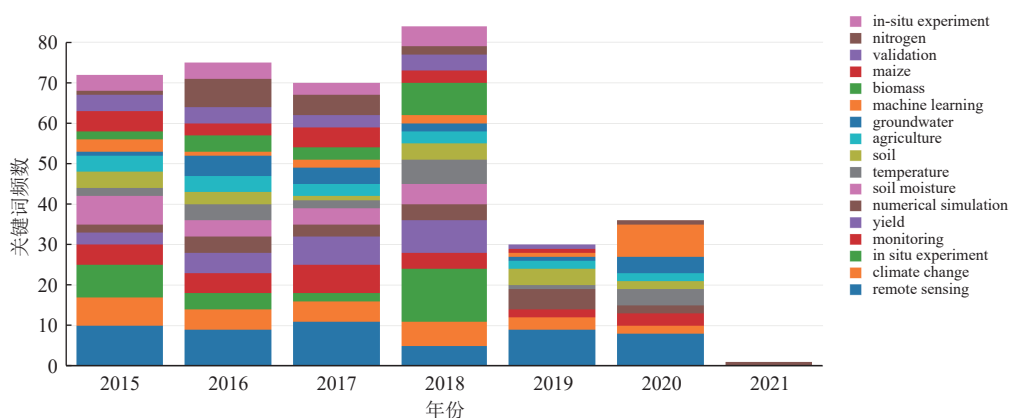


图3 (各类实验场/试验场) 历年关键词变化

Fig. 3 Frequencies of keywords related to various experimental site and testing site versus years since 2015

献,共获得240条记录。各个国家之间的发文量年度变化情况(图4),具有如下特点:①排名前5位的国家分别是美国、中国、德国、法国和意大利;②美国在该领域的发文数量持续领先;③该领域的热度或关注度处在不断的变化中,例如2018年文章总数为60篇,2019年文章总数降至40篇,2020年则超过了70篇;④自2018年以后,中国贡献的地震实验场文献数量大幅增加且维持在一个较高水平,并在2020年首次超过美国排名第一。从合作网络(图5)上看,中国在国际上的合作大部分是与美国和法国之间的合作,而美国的对外合作显然更为广泛。尽管合作的比例相对于整个研究体量而言并不高,说明距离真正开放合作实验场还有一定差距。

从关键词的分布(图6)来看,具备以下多种特征:①每年的关键词均有变化,表明地震实验场的科学研究领域处在持续的动态变化中,例如,2018年地震实验场的关键词主要是诱发地震(induced seismicity)或地震监测(seismic monitoring),然而到了2019年,主流关键词就发生了较大变化;②新涌

现的关键词可能反映出当前的关注热点,例如在2019—2020年,地震监测和禁核试验条约验证(earthquake monitoring and test-ban treaty verification)的关键词数量增加了约2倍;③持续或间歇性出现的关键词可能反映本领域内的持续关注重点,例如滑坡(landslide)、台站阵列(array processing)、油气开采(gas hydrates)、地震波场的传播(wave propagation)、诱发地震(induced seismicity)等。从机构的合作网络(图7)上看,还没有出现真正的“核心”,或者说地震实验场还不是美国、欧洲等研究机构的主要方向,这为中国研究机构发挥进一步的作用提供了发展空间。从作者的合作网络(图8)上看,地震实验场目前只是少数团队的封闭式研究,明显缺乏具有广泛共识和统一科学计划的国际组织。

2 对地震科学实验场几个问题的理解

2.1 “实验”与“试验”

关于“实验”和“试验”在第七版现代汉语词典中的解释分别为,“实验”是以检验为目的,而“试

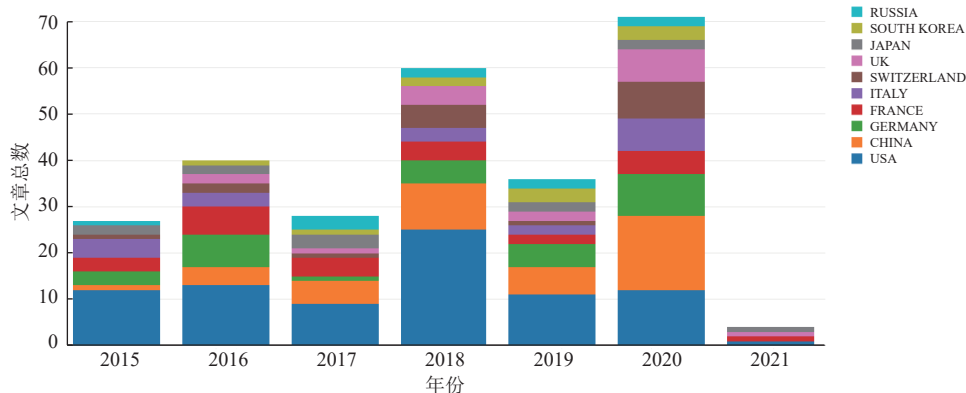


图4 (地震实验场/试验场) 年度文章出版量(区分国别)

Fig. 4 The number of publications related to various seismic experimental sites and testing sites in different countries

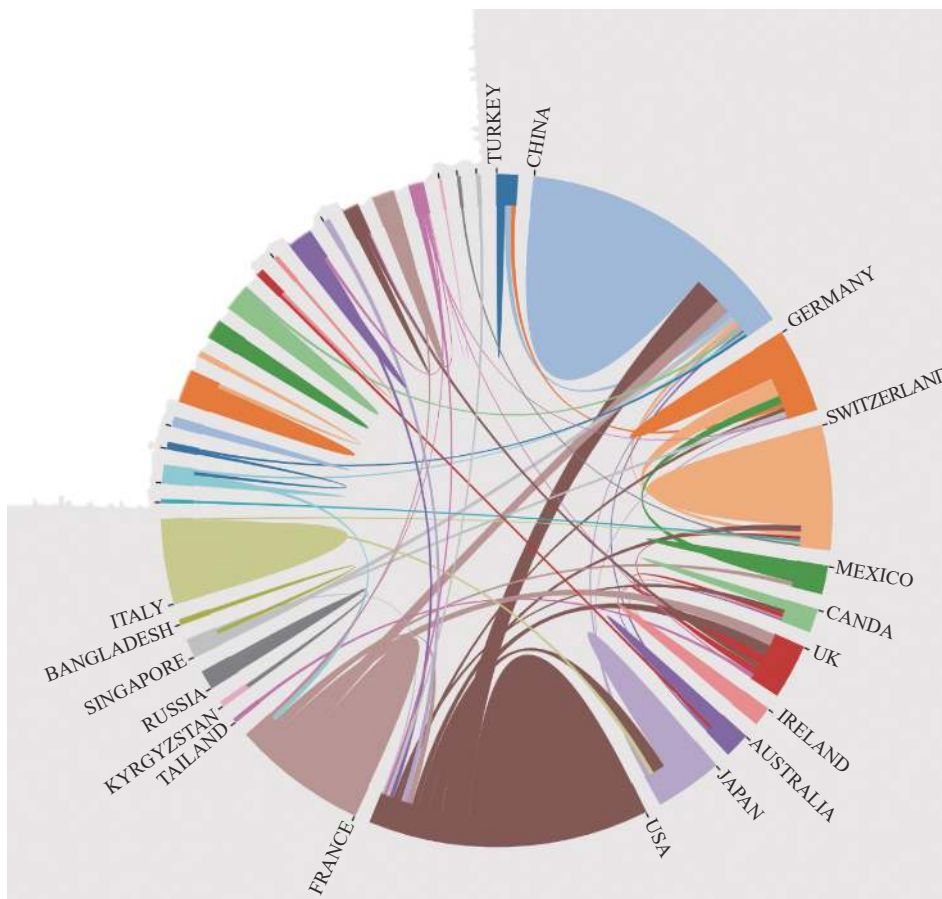


图 5 (地震实验场/试验场) 国际合作网络(仅标出部分国家)

Fig. 5 The international cooperation involved in various seismic experimental sites and testing sites in different countries. Only parts of them are marked

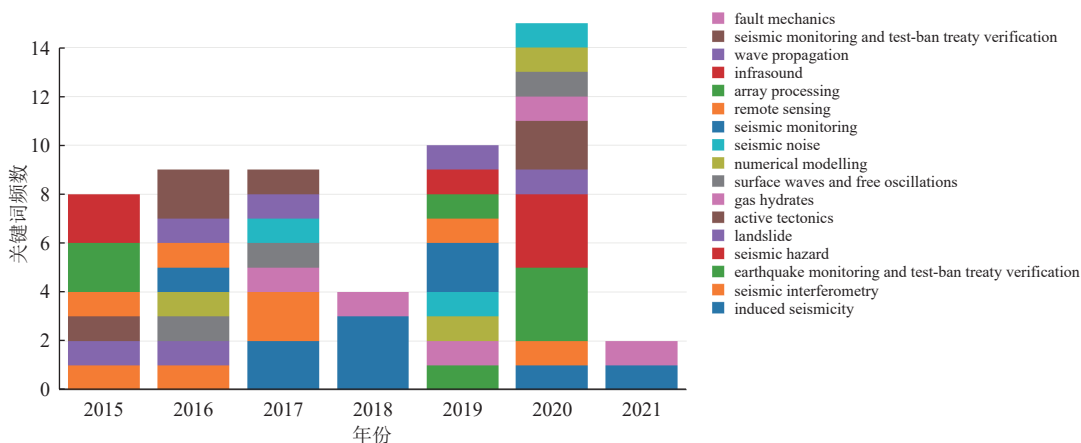


图 6 (地震实验场/试验场) 历年关键词变化

Fig. 6 Frequencies of keywords related to various seismic experimental sites and testing sites versus years since 2015

验”则是以测试为目的。具体的说,“实验”和“试验”的区别包括对象、目的、形式、方案与结果等 5 个方面来理解(图 9)。从研究对象上来看,“实验”是验证某种假说或者理论,而“试验”则是考察研究对象某一具体属性或者影响;从目的上来看,

“实验”是为了找出新事物或已存在的旧事物之间的因果关系,而“试验”则是为了量化对象的物理属性;从形式上来看,“实验”应是统一前提条件下的可重复过程,而“试验”则是不断改变前提条件的尝试和测试;从方案上来看,“实验”的方案方式灵活



图7 (地震实验场/试验场) 机构合作网络

Fig. 7 Cooperation network of institutions in the field of seismic experimental site and testing site

可调整,具有广泛的空间,而“试验”的方案则因为结果的高度不可预期性,需要强调标准的量化、数据测量的准确性;从结果上来看,“实验”作为假说或理论的验证,能在一定程度上获得预期成果,而“试验”则重在弄清结果的好坏。由上述分析可见,“实验”可由一系列的尝试性的“试验”组成和实现。

2009年,国家标准委员会发布了科学技术研究项目评价通则^[10],其中包括用于衡量特定技术发展成熟度的技术就绪水平(Technology Readiness Level,简称TRL)。在技术就绪水平中规定了九级发展阶段^[11]:第一级,新想法的产生并形成概念报告;第二级,获得同行的认可,成为一个值得探索的方向;第三级,获得部门的认可,成为一个值得探索的目标;第四级,在实验室环境下顺利实现仿真;第五级,在实验

室中顺利实现半实物(模型)半系统仿真;第六级,在实验室环境下形成具备预定功能的独立实物(模型);第七级,独立实物(模型)在脱离实验室环境后可以正常工作;第八级,独立实物(模型)通过测试并具备嵌入现行的技术或系统框架中;第九级,独立实物(模型)获得专利认可。在技术就绪水平的框架下,“实验”与“试验”属于不同的分级,服务于不同的对象和目标。例如第四级中在实验室环境下仿真实现概念模型,属于实验的过程;而在第七级、第八级与第九级的过程中则是对模型属性的测试、验证、加工和完善,属于试验的过程。

2.2 “地震实验场”与“其他学科领域的实验场”

科学规律的发现是一个经历提出假说、理论模型的搭建、试验观测、检测验证与应用验证的复杂过

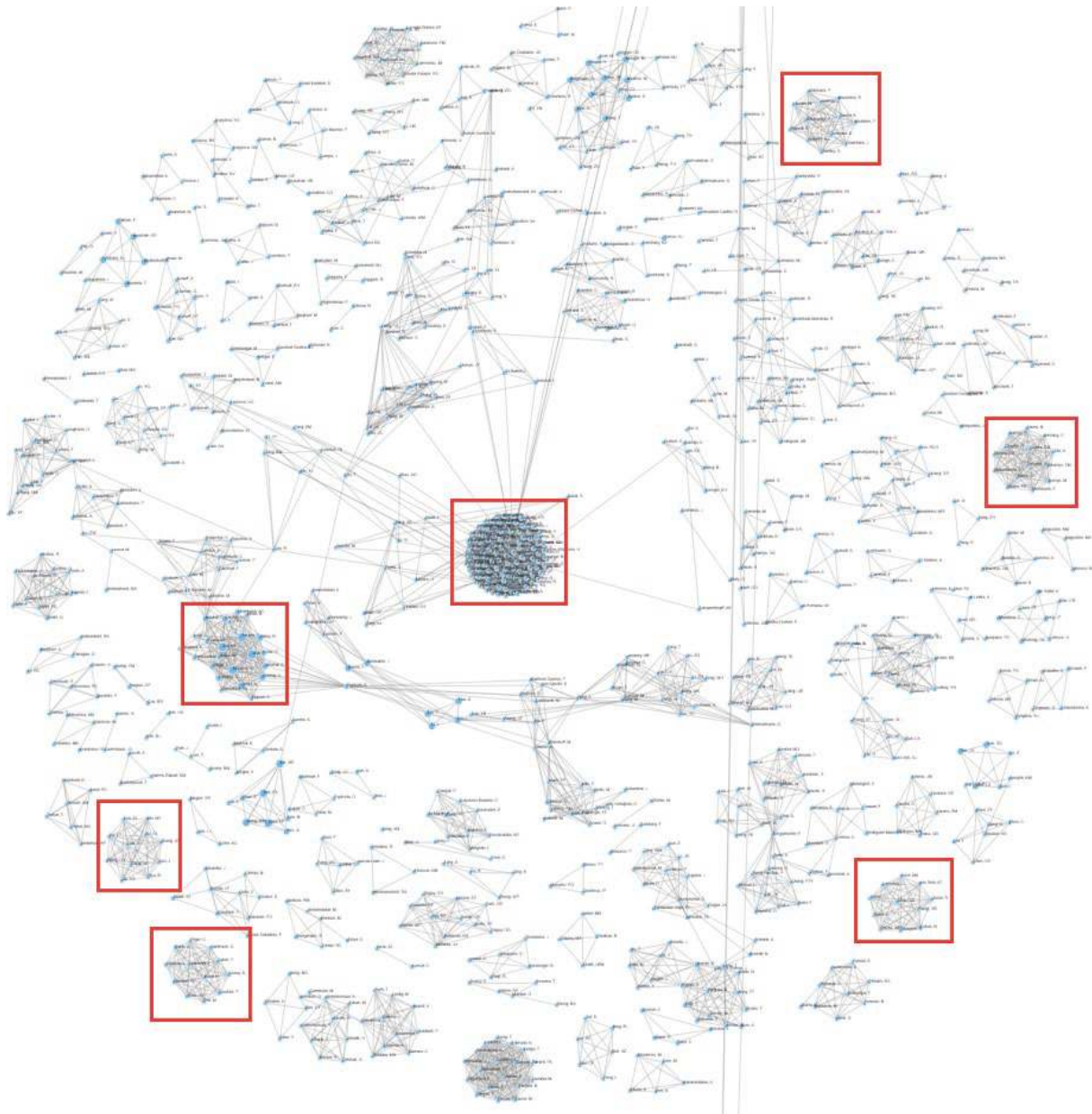


图 8 (地震实验场/试验场) 作者合作网络, 红色矩形标注了部分“独立成团”的作者团体

Fig. 8 Cooperation network of authors in the field of seismic experimental site and testing site. The red rectangles mark the groups of independent authors

	实验	试验
对象	验证假说、理论	考察属性、影响
目的	找出新事物、因果关系	量化属性
形式	统一条件下, 可重复、普适	尝试和测试
方案	方式灵活可调整、广泛空间	量化标准、测量准确、系统数据
结果	一定获得预期结果	弄清结果好坏



图 9 “实验”与“试验”的对比

Fig. 9 Comparison between “experiment” and “test”

程(例如 2.1 节中的 TRL 评价体系), 这也使得不同学科将“实验场”作为重要的科学规律发现方式。但对于不同学科领域实验场或同一学科领域的不同实验场, 设计目的不同直接决定了实验场本身的科学功能明显不同。例如, 武器试验场和海浪(发电)试验场的目的是检测验证和应用验证; 生态协同分布实验场和地震科学实验场则涵盖了从提出假说到检测验证的全部过程, 其中, 生态协同分布实验场和地震科学实验场更是具备应用验证的功能。

关于中国地震科学实验场的科学目标, 实验场

的科学设计给出的定义是“深化地震孕育发生规律和成灾机理的科学认识,提升地震风险的抗御能力”^[12]。而区别于板间地震(inter-plate earthquake)和板内地震(intra-plate earthquake)的是,实验场内的地震是混合了两类地震的混合型大陆地震(continental earthquakes)^[6],具有震间周期长、震源过程复杂多样等特点。对于短临与中长期时间尺度的减灾行动而言,同时又会面临危险源不确定,缺乏普适性规律等巨大困难。因此,相比于其他领域内的实验场,以大陆板内性地震的孕育发生和成灾演化过程研究为主题的 中国地震科学实验场显然面临更大的困难,除了长期坚持以外,还需要大量的实验与试验,例如空间分布式实验^[13]、深井观测试验^[14]等。

2.3 “科研项目部署在实验场”与“实验场的科研项目”

科研项目的具体组织方式,在操作层面上,“科研项目部署在实验场”与“实验场的科研项目”之间的区别同样需要区分开来。在“科研项目部署在实验场”的情景中,例如部署在实验场的数值预测预报实验^[15]、地球化学流动监测在实验场的部署^[16],仅考虑到了实验场的活动构造、孕震环境、地震活动与成灾演化等区域性特点^[17],并服务科研项目本身目标。而“实验场的科研项目”则将科研项目的科学目标定位于围绕实验场长期将实现的系统性的科学目的,例如中国地震科学实验场 2019 年 5 月在研项目近 60 个^[18],中国地震科学实验场 2021 年度项目申报指南^[19],实验场深部结构探测项目^[20]等等。实验场作为地震科学研究的“野外实验室”^[21-23],进行“科研项目部署在实验场”与“实验场的科研项目”之间的区分,有利于长期坚持、聚焦中国地震科学实验场的科学目标实现,在科技资源配置、科研项目规划等决策部署中保持定力。

3 讨论与建议

本文立足服务中国地震科学实验场的设计、建设和运行需求,利用文献计量学方法总结“实验场”与“试验场”、地震实验场的国内外研究现状,同时探讨了“实验”与“试验”、“地震实验场”与“其他学科领域的实验场”、“科研项目部署在实验场”与“实验场的科研项目”等描述性表达之间的区别,阐明了不同表达之间的共性与个性,并揭示出作为科学规律重要探索方式的实验场的科学定义与本质属性。这一方面有助于正在建设实施的中国地震

科学实验场科研活动的规范化组织运行、实验场建设的合理规划与部署,另一方面也有利于中国地震科学实验场在实现长期和艰巨的科学目标上行稳致远。

在操作层面上,区分“实验”与“试验”、“地震实验场”与“其他学科领域的实验场”、“科研项目部署在实验场”与“实验场的科研项目”等基本概念,有利于中国地震科学实验场采取建设性的科学措施。例如为了更为吻合“实验”的可验证性,可建立数据同化中心和模型验证检验中心。再例如对于中国地震科学实验场设置的需要强调普适性的、一定要达到科学目标的“实验”项目,可通过配置多种地震孕育发生和成灾演化特征的场地开展分布式的同步研究,以及通过主动源观测实验来降低危险源的位置不确定性。

事实上除了上述基本概念的区分外,还可通过对比“中国地震科学实验场”与“其他国家的地震科学实验场”之间的区别等不同角度,获得更为深刻的科学决策认识、探索符合中国特殊国情与震情、灾情的科学实验道路。而跨越具象化的实验场概念,历史上的一些非传统意义上的科学实验场也同样具有重要的借鉴意义。例如采用分布式实验方式的虚拟地震科学实验场——地震可预测性合作研究(Co-laboratory for the Study of Earthquake Predictability,简称 CSEP)^[24]科学计划,其具有的空间分布式部署“空间换时间”、采用相同检验规则和统一数据来源的实验方式,对中国地震科学实验场未来的规划发展具有重要的启发意义。

最后需要指出的是,本文存在的明显局限性。实验场的科技产出中的大部分内容并不是以科学出版物的形式体现的,这一现象在中国和前苏联尤为突出。例如,中国地震科学实验场于 2019 年发布的流变、形变、断层、重定位地震目录、震源机制解目录以及上地壳剪切波速度模型等均不是以科学出版物的形式出版,而是以科技产品的形式作为实验场科技产出的一部分。这一现象所带来的局限是,目前现有的与实验场有关的科学出版物并不能完整的表征实验场的所有相关科技成果。

致谢

感谢期刊主编、北京工业大学李小军教授的约稿。文稿内容来自学术交流活动中,天津大学刘静教授等提出的有益建议,对作者启发很大。在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 孙其政, 吴书贵. 中国地震监测预报 40 年(1966—2006)[M]. 北京: 地震出版社, 2007
Sun Q Z, Wu S G. Development of the earthquake monitoring and prediction in China during 1966—2006[M]. Beijing: Seismological Press, 2007
- [2] 叶鹏. 盘点美军武器试验场[EB/OL]. (2013-12-03)[2021-11-21]. <http://scitech.people.com.cn/n/2013/1203/c1057-23721346.html>
Ye P. Inventory of U.S. military weapon testing sites[EB/OL]. (2013-12-03)[2021-11-21]. <http://scitech.people.com.cn/n/2013/1203/c1057-23721346.html>
- [3] 欧深海洋开发. 中国首个“国字号”浅海海洋综合试验场[EB/OL]. (2021-11-02)[2021-11-21]. <https://www.163.com/dy/article/GNPNECES0552F10C.html>
Ocean Development. The first national shallow sea marine comprehensive testing site[EB/OL]. (2021-11-02)[2021-11-21]. <https://www.163.com/dy/article/GNPNECES0552F10C.html>
- [4] 杨晓燕, 倪忆雪. 建设世界领先的微波综合实验场![EB/OL]. (2020-11-10)[2021-11-21]. https://www.sohu.com/a/430948604_167974
Yang X Y, Ni Y X. Build a world leading microwave comprehensive experimental site[EB/OL]. (2020-11-10)[2021-11-21]. https://www.sohu.com/a/430948604_167974
- [5] 李海华. 校长刘文锴到水环境治理综合实验场调研指导工作![EB/OL]. (2021-11-19)[2021-11-21]. <https://news.ncwu.edu.cn/info/1002/11834.htm>
Li H H. President Liu Wenkai went to the comprehensive experimental field of water environment treatment to investigate and guide the work[EB/OL]. (2021-11-19)[2021-11-21]. <https://news.ncwu.edu.cn/info/1002/11834.htm>
- [6] Wu Z L, Ma T F, Jiang H, et al. Multi-scale seismic hazard and risk in the China mainland with implication for the preparedness, mitigation, and management of earthquake disasters: An overview[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2013, 4: 21-33
- [7] 张国民, 张晓东, 吴荣辉, 等. 地震预报回顾与展望[J]. 国际地震动态, 2005(5): 39-53
Zhang G M, Zhang X D, Wu R H, et al. Retrospect of earthquake forecast and prospect[J]. Recent Developments in World Seismology, 2005(5): 39-53
- [8] Chen C M. Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(S1): 5303-5310
- [9] Clarivate. Web of Science[EB/OL]. [2021-11-21]. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>
- [10] 科学技术研究项目评价通则: GB/T 22900—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
General rules of science and technology research projects evaluation: GB/T 22900—2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009
- [11] Irene T. Technology readiness level[EB/OL]. (2012-10-29)[2021-11-21]. https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level
- [12] 中国地震科学实验场科学设计编写组. 中国地震科学实验场科学设计[M]. 北京: 中国标准出版社, 2019
Designing Writing Team of China Seismic Experimental Site: Scientific Challenges. China Seismic Experimental Site: Scientific challenges[M]. Beijing: Standards Press of China, 2019
- [13] Wu Z L, Zhang Y, Li J W. Coordinated distributed experiments (CDES) applied to earthquake forecast test sites[M]//Li Y G. Earthquake and disaster risk: Decade retrospective of the Wenchuan Earthquake. Singapore: Higher Education Press and Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2019: 107-115
- [14] 中国地震科学实验场. 澎湃新闻: 中国地震科学实验场建设一周年, 将开展数千米深井观测试验[EB/OL]. (2019-05-24)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/334.shtml>
China Seismic Experimental Site. The Paper: The first anniversary of the construction of China Seismic Experimental Site will carry out several kilometers of deep well observation tests[EB/OL]. (2019-05-24)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/334.shtml>
- [15] 中国地震科学实验场. 中国地震科学实验场支撑我国地震数值预报探索[EB/OL]. (2019-09-18)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/kyxm/2021/219.shtml>
China Seismic Experimental Site. China Seismic Experimental Site supports exploration of earthquake numerical prediction[EB/OL]. (2019-09-18)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/kyxm/2021/219.shtml>

- [16] 中国地震科学实验场. 中国地震科学实验场温泉流体地球化学观测项目进展 [EB/OL]. (2019-09-18)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/170.shtml>
China Seismic Experimental Site. Progress of hot spring fluid geochemical observation project of China Seismic Experimental Site[EB/OL]. (2019-09-18)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/170.shtml>
- [17] 中国地震科学实验场. 中国地震科学实验场——断层模型 [EB/OL]. (2020-01-10)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sjcp/ggmx/2021/133.shtml>
China Seismic Experimental Site. China Seismic Experimental Site: Fault model[EB/OL]. (2020-01-10)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sjcp/ggmx/2021/133.shtml>
- [18] 中国地震科学实验场. 央广网: 中国地震科学实验场在研项目近 60 个, 未来三年将建多口井下观测台 [EB/OL]. (2019-05-24)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/335.shtml>
China Seismic Experimental Site. CNR News: There are nearly 60 research projects of China Seismic Experimental Site, and many underground observation stations will be built in the next three years[EB/OL]. (2019-05-24)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/335.shtml>
- [19] 中国地震科学实验场. 中国地震科学实验场专项 2021 年度项目申报指南 [EB/OL]. (2021-01-28)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/200.shtml>
China Seismic Experimental Site. Guidelines for application of special 2021 projects of China Seismic Experimental Site[EB/OL]. (2021-01-28)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/200.shtml>
- [20] 中国地震科学实验场. 实验场深部结构探测系统项目最新进展 [EB/OL]. (2019-08-26)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/167.shtml>
China Seismic Experimental Site. The latest progress of the deep structure detection system project of China Seismic Experimental Site[EB/OL]. (2019-08-26)[2021-11-21]. <http://www.cses.ac.cn/sycdt/xwkb/2021/167.shtml>
- [21] 吴忠良, 李茜, 张晓东, 等. 中国地震科学实验场: 起步与尝试 [J]. 地球与行星物理论评, 2021, 52(6): 675-678
Wu Z L, Li Q, Zhang X D, et al. China Seismic Experimental Site (CSES): Start and trial[J]. Reviews of Geophysics and Planetary Physics, 2021, 52(6): 675-678
- [22] 吴忠良, 王龙, 车时, 等. 中国地震科学实验场: 认识与实践 [J]. 地球与行星物理论评, 2021, 52(3): 348-352
Wu Z L, Wang L, Che S, et al. China Seismic Experimental Site (CSES): Planning and test[J]. Reviews of Geophysics and Planetary Physics, 2021, 52(3): 348-352
- [23] 吴忠良, 丁志峰, 张晓东, 等. 中国地震科学实验场: 历史与未来 [J]. 地球与行星物理论评, 2021, 52(2): 234-238
Wu Z L, Ding Z F, Zhang X D, et al. China Seismic Experimental Site (CSES): Retrospective and prospective[J]. Reviews of Geophysics and Planetary Physics, 2021, 52(2): 234-238
- [24] Southern California Earthquake Center. Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability (CSEP)[EB/OL]. [2021-11-21]. <https://www.scec.org/research/csep>