

刘晶晶, 王海鹰. 美国密歇根州洪水溃坝灾害机制分析及对我国灾害风险防范的启示[J]. 地震科学进展, 2020, 50(12): 28-33. doi:10.3969/j.issn.2096-7780.2020.12.005

Liu Jingjing, Wang Haiying. Analysis of disaster mechanism of flood and dam break in Michigan, US and its enlightenment to disaster risk prevention in China[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2020, 50(12): 28-33. doi:10.3969/j.issn.2096-7780.2020.12.005

美国密歇根州洪水溃坝灾害机制分析 及对我国灾害风险防范的启示*

刘晶晶^{*} 王海鹰

(中国地震应急搜救中心, 北京 100049)

摘要 大坝作为水利水电工程设施发挥效用的同时,其安全性对上下游及周边区域生产生活至关重要。除去恐怖袭击等人为破坏因素,大坝面临气象灾害、地震地质灾害等各类灾害风险。“七下八上”历来是我国南北方主汛期,防御强降雨及其引发的滑坡、泥石流、堰塞湖等次生灾害,对大坝构成的单一、复合、链式灾害风险,是当前刻不容缓的任务。美国洪水大坝应急管理体系建立较早,此次密歇根州洪水溃坝事件发生在美国疫情严峻时期,暴露出诸多问题值得整理与研究,并对当前疫情常态化下我国大坝抵御综合性灾害风险具有良好的启示意义。

关键词 洪水; 溃坝; 灾害; 风险; 灾害链

中图分类号: P315.9 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2020)12-0028-06

doi: 10.3969/j.issn.2096-7780.2020.12.005

Analysis of disaster mechanism of flood and dam break in Michigan, US and its enlightenment to disaster risk prevention in China

Liu Jingjing, Wang Haiying

(National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China)

Abstract The dam functions as a water conservancy and hydropower engineering facility, its safety is very important to the production and living of the upstream, downstream and surrounding areas. Excluding human factors such as terrorist attacks, dams face various disaster risks. such as meteorological disasters, earthquake and geological disasters. “The period in late July and early August” has always been the main flood season in the north and south of China. Preventing the dam’s single, compound and chain disaster risk caused by heavy rainfall and its secondary disasters such as landslide, debris flow and barrier lake, etc. is an urgent task. The emergency management system for flood and dams in the US was established earlier. The Michigan flood and dam break occurred during the severe COVID-19 pandemic in the US. It exposed many problems and are worth sorting out and studying. It has good enlightenment to reduce the disaster risk of dams under the current normalization of COVID-19 epidemic prevention situation in China.

Keywords flood; dam break; disaster; risk; disaster chain

* 收稿日期: 2020-08-05; 采用日期: 2020-09-24。

基金项目: 多灾种救援决策支持团队项目资助。

^{*} 通信作者: 刘晶晶(1982-), 女, 工程师, 主要从事地震应急理论研究。E-mail: ninglu_2005@163.com。

美国密歇根州中部今年 5 月中旬连降大雨, 导致该州米德兰县的伊登维尔及下游桑福德两座大坝先后溃坝, 洪水波及米德兰县并蔓延至萨吉诺县部分地区, 给当地造成巨大损失。当前美国新冠疫情形势严峻, 抗击疫情进入攻坚阶段, 地震、飓风、洪水、溃坝等灾害频发导致灾情疫情叠加, 加重政府应对工作, 引发社会对未来抗疫及灾害防范应对双线作战的担忧。

1 灾害及救援情况

1.1 灾情概况

美国密歇根州中部自 5 月 17 日起连降大雨, 蒂塔巴瓦西河水位迅速上涨, 导致米德兰县伊登维尔及下游桑福德两座大坝于当地时间 19 日傍晚先后溃坝(图 1), 迫使沿岸 1.1 万人紧急疏散撤离, 洪水涌入米德兰县致使当地基础设施损毁严重。20 日下午, 水位达到峰值约 10.6 m, 城区水深达 2.75 m。据气象部门记录, 此次洪水是该地区有记录以来最严重的一次。

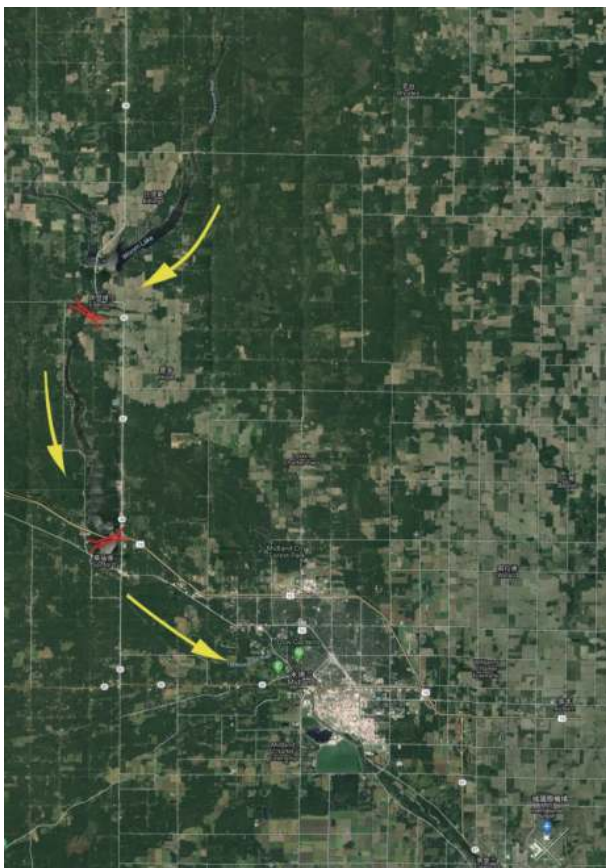


图 1 密歇根州大坝连溃洪水流经图

Fig. 1 The Michigan continuous dam break and flood flow map in the US

1.2 灾害特点分析

1.2.1 突发性强、破坏性大

此次降雨自 17 日开始, 19 日清晨水位超过警戒值。气象部门发布预警, 民众撤离过程中洪水已临近居民地。最后一条预警信息发布约 1 小时左右大坝溃坝。短时短距离大坝连溃, 水流量大, 水势湍急, 米德兰县迅速被洪水围困, 部分低洼地区被淹没, 整个灾害发展过程迅猛, 用时仅 3 天。

1.2.2 波及范围广

降雨范围较大, 多条河流水位猛涨, 临近的印第安纳州、俄亥俄州、伊利诺伊州以及田纳西州多地降雨激增, 形成多地连片形势。印第安纳州西北部部分地区面临洪灾威胁。多地启动应急预案, 密切监测河流水位变化。

1.2.3 灾害链效应显著

灾害由短时大量降雨导致河流水量水位激增, 超出坝体承载荷载, 发生溃坝决口, 泄洪动能又引发第二座大坝漫顶溃决, 进一步加剧洪灾规模, 对下游城市等低洼地区造成瞬时洪水冲击, 引发城市内涝。灾害环环相扣, 相互影响, 具有明显的灾害链效应。

1.3 政府应对情况

1.3.1 监测预警

美国联邦气象局曾于早些时候发布两座大坝下游蒂塔巴瓦西河沿岸及米兰德县洪水预警, 预计水位超过历史最高水平。米德兰县紧急部门分别于 19 日清晨 5 时及晚间 7 时发布警报, 并出动警力逐户上门敦促民众撤离。当地民众于 19 日上午通过手机或警报鸣笛接收预警信息, 提前撤离至安全地带。

1.3.2 应急救援

此次洪水溃坝灾害应对主体起初为米德兰县政府, 预警信息发布后即宣布进入自然灾害紧急状态, 组织警察及消防救援人员前往两座大坝周边及米德兰县逐户通知撤离, 后随着灾情加剧请求州政府增援。密歇根州州长发表紧急声明, 动员该州国民警卫队、军队, 并出动直升机投入救灾活动, 州紧急行动中心(EOC)启动响应协助处置溃坝。灾害次日总统在推特上表示对洪水应对支持, 称政府已启动军方和 FEMA 应急队伍, 前往灾区协助救灾。

1.3.3 撤离安置

米德兰县及周边民众已转移至米德兰县高中体育馆内, 其中 90% 为老年人。鉴于新冠肺炎疫情形势, 考虑避难人员整体年龄较大, 感染及病亡风险较高, 救援人员将住宿床位间距设置为 2 m 左右。5 月 21 日起随着水位逐渐回落, 体育馆内人员开始返回家中。

2 美国洪水及大坝应急管理体系概况

2.1 洪水监测预警

水库大坝溃坝原因诸多,但以降雨洪水诱发为主。美国已形成由联邦政府主导协调部署灾情,州政府管理区域水务,地方机构开展监测、预警、协调和应急援助的洪水应急管理体制^[1]。美国国家气象局和美国地质调查局负责总体监测预警工作,全国布设庞大的洪水监测网络,主要河流设有河流观测中心,掌握数千个控制站、近万个地面雨情监测站的流量和水位数据,可覆盖2万多个洪水多发区域。同时配备以“3S”技术为支撑,卫星、遥感、雷达声纳等多种先进技术结合的预警系统,设立13个流域洪水预警中心,利用传统及互联网媒体,发布洪水灾情信息、防灾避灾知识及气象服务等。实行实时、每日、短期及中长期预报机制。布设国家、州及县级预警系统,全国90%以上地区均可接收预警信息^[2]。

2.2 洪水大坝应急救援体制机制

美国洪水应对主要依靠州和地方政府,联邦政府仅负责协助并提供救灾物资与资金。通常灾害发生后先由地方政府组织各方力量自救,如力量不足,再向州政府求援,州长视情实施应急对策,必要时可动用州警察、国民警卫队或其他力量。当灾情超过州政府处理能力时,由州政府向联邦紧急事务管理局(FEMA)报告,请求总统宣布“重大灾害”或“紧急状态”^[3]。获批后FEMA将根据国家响应框架(NRF)统筹协调各部门救灾。

2.3 美国大坝安全管理体制机制

美国大坝归属权分属联邦政府、州及地方政府、私人机构等。大坝安全责任由与之对应的联邦政府下属大坝管理机构、各州相关机构(含私人机构大坝)承担^[4],同时受《国家大坝安全法案》中“国家大坝安全计划”(NDSP)监管,该计划目的是集中联邦政府和非联邦政府机构团体的专业资源,开展大坝安全风险防范,减少溃坝危害^[5]。该计划以FEMA为总负责,下设国家大坝安全审查委员会(NDSRB)和大坝安全协调委员会(ICODS),提供大坝运行技术指导、安全性评估、政策咨询与编制技术导则等服务。“安全计划”中核心内容为大坝应急行动计划(EAP)旨在帮助大坝业主了解大坝风险,协助采取相应行动减少溃坝或事故对下游的影响^[6]。此外,大坝还受国家大坝安全官员联合会(ASDSO)这一非盈利组织制定的技术要求进行管理。该组织与“安全计划”紧密相连,与联邦政府及州政府、私营部门等

保持密切合作,推动改善和提高大坝安全性。

3 溃坝原因分析

3.1 坝体选址、设计、施工等存在源头安全风险

溃决的两座大坝均为土石坝,存在坝身无法溢流、材料填筑易受气候影响、维护成本高等不利因素。特别是经过长期水流蚀刻,易对坝基及泄洪道产生破坏,使坝体渗流及变形风险加剧。同时土石坝为最易溃决的坝型,漫顶即溃决,漫顶占溃决的比例高达50%以上^[7]。大坝建造期间美国还未建立大坝安全标准,设计施工不统一、不规范。此外,根据数据,上游大坝溃决时,短时洪峰数倍甚至数十倍于平均流量并伴随超高水位,极易引发连溃^[8]。土石坝与其他坝型相比,连溃风险更大。大坝修建区域应与居民区保持安全距离,而伊登维尔大坝距离最近的居民区不足2 km,部分建筑物位于溃坝洪水淹没区。

3.2 暴雨突降,坝体老化,缺少维护成为致灾主因

此次降雨为该地区历史之最,雨量严重超过大坝载荷。两座大坝于20世纪20年代中期建造,至今已服役超过90年,远超50年使用寿命。由于长期蚀刻风化,缺少定期维护,大坝均属于“超龄服役”“病险大坝”。其中伊登维尔大坝自1999年起被联邦政府审查,并持续20年警告。2018年联邦能源监管委员会经过测评发现该坝泄洪能力不足,认定大坝质量不合格,并吊销运营方执照。同年该坝在大坝质量评定高危大坝名单中排名第20位。事故发生前两座大坝已被公开招标重建,但重建工程迟迟未动工。

3.3 大坝所有权复杂,私有化严重,监测预警责任难以落实

美国大坝归属联邦政府、地方政府、企业、私人等。监测预警安全责任无法落实到人,相关运行机制建设、工程维护保养,特别是涉及私有财产和公共资金等矛盾,受利益驱动很难及时开展。如伊登维尔大坝所属博伊斯水力发电公司,自2004年以来,联邦机构一直敦促其对大坝进行升级改造,但该公司认为购买合同中未约定该职责及款项,大坝属私人财产,拒绝改造工程及支付相关费用。据悉该公司仅在蒂塔巴瓦西河上就拥有4座水电站大坝。散落各地的私有大坝游离在管理边缘,成为安全监管盲区与风险隐患。

3.4 体制机制不适应性,执法监督缺位、防灾意识薄弱,成为普遍性、关键性问题

美国联邦制度导致大坝安全难于统一管理,政

府及大坝管理机构两套体系,各层级各机构间无隶属关系,协调困难。各州大坝安全立法进度存在差距,大坝管理与执法权限参差,存在特类大坝无权监管、州地方缺少执法权限,对大坝业主拒不执行安全修复命令的,无法行使追索权等情况^[9]。作为大坝安全管理机构之一的 ASDSO,其本质为教育性慈善组织并不具备执法监督权。此外,资金成为大坝安全管理的桎梏,私人所有者没有能力或不愿承担维护费用,州或地方政府又一再削减压缩经费,如 2006 年密歇根州曾以州预算不足为由大幅削减大坝安全计划资金^[10]。

美国大坝安全问题仍停留在“内部圈子”。缺乏足够的社会及公众关注。主要采取以失事案例促进大坝安全防范的方法,但效果不佳,效力难于持久。例如,2003 年密歇根州发生大坝连溃,但因无人伤亡^[11],警示作用不强。美国土木工程师学会密歇根州分会 2018 年报告指出,该州平均每年发生两次大坝溃决,但规模较小,未对公共安全产生威胁,因此,该州广大民众不以为惧,甚至购买洪水溃坝区房屋地产。

大坝事故信息普遍零散、残缺,或无资料可查,由 ASDSO 维护的全美溃坝事故数据库,其中大量案例缺失。2019 年 3 月 Spencer 大坝漫顶垮塌,事故调查时发现数据库缺少冰凌溃坝案例,且该坝历史上 3 次溃决损毁案例均未收录^[12]。

4 溃坝洪水灾害对我国的借鉴与启示

4.1 加强大坝应急管理综合能力建设

当前我国按照主管部门不同将大坝分为水库大坝和水电站大坝^[13],二者均为重要水利水电工程设施,分属水行政部门及能源局大坝监管部门管理。大坝发生渗流、漫顶,甚至溃坝等灾害虽为小概率事件,但破坏程度及危害较大。当前在国家机构改革大背景下,大坝日常监测预警与事故应急处置归属不同部门,尤其在汛期水情、雨情、工情、险情、灾情等研判会商存在协调配合压力,抢险救灾工作转移至应急管理部门后需重新摸索与磨合。因此,各主管部门在加强监测预警预报水平基础上,应统筹推进大坝应急管理综合能力提升,完善大坝应急指挥体系,设立常设大坝应急指挥机构,充分发挥大坝企业、地方政府、上级监管部门的作用,理顺任务分工,加强协同配合。推进大坝应急管理法治进程,在以《水库大坝安全管理条例》为纲的基础上完善相关法律法规体系。开展大坝险情事故应急处置预案、技

术规范与行动规程编制,形成“一坝一预案”以及行业相关标准。加强应急决策相关技术研究,开展大坝溃坝成灾机理研究、洪水动态分析,洪水风险图编制等,为应急救援抢险做好辅助支撑^[14]。加强对上下游周边学校、居民地、工业园区等防灾教育培训,在入汛前开展预案演练。

4.2 构建多灾种、流域性、灾害链综合监测预警体系

我国幅员辽阔、气候多样,境内共有 7 大流域。各流域均面临强降雨、滑坡、泥石流及地震等多种因素叠加交织、因果互联、渐变突发^[15]的灾害链效应,诱发大坝险情事故。此外,同一流域也因上下游河道流经与工程设施密集导致能量累积与灾情放大等,形成空间上的灾害链条。如堰塞湖形成的天然坝体,截流后对上下游库坝均存在漫顶溃坝威胁。此次密歇根州溃坝事件是在地质环境、大坝性能等致灾环境下,强降雨、洪水激发作用,导致紧邻两座大坝溃决并加重洪灾。因此,要树立多灾种、流域性、灾害链式大坝安全管理理念,在我国现有 7 大流域水委会的基础上,对接水文、地质、生态、气象、地震等多灾种,融合相关部门基础平台、技术系统、队伍力量、数据资源等,建立综合监测预警网络,形成大会商、大研判、大监测、大预警机制。推动上下游基础设施、监测数据、预警预报、应急处置共建共享。开展各流域大坝季节性、区域性、连锁型灾害的孕灾环境与致灾因子分析研究,对灾害链形成条件、形成机理、演进过程进行系统性分析,厘清灾种转化的临界条件,研究适宜灾害链的综合监测预警手段,为全方位防范化解大坝重大风险做好安全兜底。

4.3 推进库坝综合建设与治理

我国拥有的大坝数量居世界首位,截至 2017 年底仅水坝就有近 10 万座^[16]。近年来流域内加大生态资源开发利用,各类水电站纵横林立,截至 2018 年 6 月,长江流域仅江西省水电就达 3 955 座。目前各类库坝中土石坝种类占比最大,虽有经济及建设便利,但后续维护、修复经费无法跟进,增加其成为“病险”库坝风险。此外,国内存在重工程措施轻非工程措施情况,建设不均衡,发展不匹配。大量大坝运行时间较长,受历史条件限制,存在建设标准参差、质量良莠不齐,病害老化日益凸显等。因此,应加大对大坝除险加固专项经费支持力度,体制机制建设应齐头并进,共同发力。同时在全国范围内开展老旧大坝风险排查、质量检测和安全评估工作,逐步构建除险加固、降等运行和退役拆除的监管体系^[16]。

应完善落实库坝主体责任制,建立责任人名单、重大水利工程设施名单、“黑名单”“负面清单”等名单制度。今年防洪形势严峻,中小河流洪涝灾害风险较大,库坝以中小型大坝为主且多为土石坝,复杂气候适应性及抵御多灾种风险能力较弱。应坚持“全天候”“全周期”闭环管理,逐流域开展风险排查,摸清隐患底数、风险系数,开展排险加固。确保行政责任人、技术责任人、巡查责任人、报险责任人“四人”落实到位。制定抢险、转移群众应急预案,相关物资提前筹备到位。

我国另有尾矿库1万座^[17](截至2015年有“头顶库”1425座^[18]),其中不乏“病险库”,尾矿库事故类型多样,其中溃坝事故达56%^[15]。应加大对新增尾矿库坝的审核力度,建立对尾矿库坝的评级评定,责成企业签订责任书,并与经济效益挂钩,倒逼企业重视隐患治理与风险管控。结合“安全生产月”“安全生产万里行”及年度安全生产大排查大整治活动,增强企业安全生产意识,提升员工安全素质,防范重大生产安全事故发生。对隐患重大,不予整改的企业可实行罚款、暂停,以及吊销证照等措施。

4.4 提升灾害预警公共服务能力

广泛利用电视、广播、互联网等媒体,向社会公布库坝灾害风险,破除“内部知情期”约束,以数量、级别、系数替代是非问答,使公众及时、客观、充分了解风险趋势,避免舆论及谣言误导。如2016年邢台“7·19”洪涝灾害,政府预警滞后导致救灾不力,民众误以为水库泄洪未及时通知,导致发生群体事件^[19]。加大预警信息产品产出,提升公共服务能力,通过案例分析、知识宣讲、技能演示,及利用各种视频图表等多种展示手段开展警示教育、防灾减

灾及自救互救知识科普宣传,完善多维立体预警防护机制,使灾害预警更广惠及社会公众。

4.5 强化疫情常态化下大坝灾害风险防范

进入汛期后,自然灾害多发,新冠疫情趋于平稳,但秋冬季可能进入新一轮高发期,未来大坝安全将与多重风险共存。应尽快建立自然灾害和大坝事故应急准备、应急处置、疏散安置与常态化疫情防控相结合的工作机制。充分考虑这一时期防灾减灾救灾工作的特殊性,制定操作性较强的工作方案。建立实行大坝安全员/险情速报员及疫情防控员双岗双责,尽快组织疫情下应急预案修订与编制,充分考虑接触时间约束、人员规模约束、场所环境约束等疫情防控关键环节,讨论并形成疫情常态化下基于线上线下的日常巡查、施工作业、培训演练、应急响应行动守则。建立疫情状态下大坝应急救援队伍启动响应机制,形成队伍全流程防疫及救灾规范管理。开展救援物资装备全要素、全功能、全类别仓储,与相关企业协商建立疫情快速采购消杀绿色通道,极大满足队伍及大坝上下游民众防疫措施需要。

5 结论

美国密歇根州洪水溃坝事件仅是灾害综合风险防范失效的一个缩影,当前我国流域内库坝的抗洪调蓄、水力发电等效益与各类安全风险隐患并存,应把库坝安全提升到一个新的高度。充分运用预防、准备、响应、恢复4阶段的全周期应急管理理论,结合多灾种、跨部门、信息化等应急管理现代化的着力点和出发点,构建全方位、多维度、可持续的风险防控大网,抵御来自各类自然灾害、公共卫生,甚至社会安全的威胁,助力经济社会健康发展和人民安居乐业。

参考文献

- [1] 王思思,王昊玥.国际城市及遗产地洪水风险管理的启示[J].人民黄河,2020,42(5):40-46
- [2] 顾锦龙.美国怎样防洪减灾[J].安全与健康,2011(15):24-25
- [3] 顾锦龙.防洪在美国[J].现代职业安全,2010(8):92-94
- [4] 崔弘毅.相关国别大坝安全监管实践现状概览[J].大坝与安全,2019(6):55-67
- [5] D.贝洛莫,郑环.美国国家大坝安全项目简介[J].水利水电快报,2014,35(5):5-9
- [6] 隆文非,黄金池.美国大坝应急反应计划与我国水库防洪应急预案的比较[J].中国水利,2007(2):49-51
- [7] 郑子祥,张秀丽.土石坝事故与预防[J].大坝与安全,2019(3):1-6
- [8] 关志伟.上游溃坝引发库区土石坝梯级连锁的模拟研究[J].陕西水利,2019(2):24-26
- [9] L. C. 斯普拉根斯,左志安.美国溃坝风险的有关问题[J].水利水电快报,2014,35(7):24-25,30
- [10] L. C. 斯普拉根斯,黄灿璨,黄建和,等.美国大坝安全[J].水利水电快报,2006,27(9):18-22
- [11] 马元珽.密歇根州大洪水引起两座坝溃决[J].水利水电快报,2003,24(20):20
- [12] 美国国家大坝安全委员会(National Dam Safety Review Board).美国Spencer坝溃决调查报告[R].2020

- [13] 谭界雄, 李星, 杨光, 等. 新时期我国水库大坝安全管理若干思考[J]. 水利水电快报, 2020, 41(1): 55-61
- [14] 杨彦龙, 彭之辰, 杜德进, 等. 美国连续溃坝(漫坝)给我们带来怎样的警示[EB/OL]. (2020-05-22) [2020-08-04]. <http://www.dam.com.cn/news/view.jsp?id=6758>
- [15] 周科平, 刘福萍, 胡建华, 等. 尾矿库溃坝灾害链及断链减灾控制技术研究[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 24-29
- [16] 杜效鹄. 中国水坝安全状况分析与研究[J]. 水力发电, 2019, 45(2): 64-69, 73
- [17] 张家荣, 刘建林. 中国尾矿库溃坝与泄露事故统计及成因分析[J]. 中国铝业, 2019, 43(4): 10-14
- [18] 国家安全监管总局. 关于印发《遏制尾矿库“头顶库”重特大事故工作方案》的通知[EB/OL]. (2016-05-25) [2020-08-04]. <http://www.safehoo.com/item/442485.aspx>
- [19] 张成强. 邢台市 7·19 洪涝灾害对农村应急管理工作的几点启示[J]. 中国应急救援, 2017(2): 54-57

=====

(上接第 14 页)

- [8] 杨竹转, 邓志辉, 陶京玲, 等. 北京塔院井数字化观测水温的同震效应研究[J]. 地震学报, 2007, 29(2): 203-213
- [9] 张彬, 刘耀炜, 杨选辉. 中国大陆井水温对汶川 8.0 级、玉树 7.1 级、芦山 7.0 级和岷县 6.6 级地震响应特征的对比研究[J]. 地震工程学报, 2013, 35(3): 535-541
- [10] 李琼, 付虹, 毛慧玲, 等. 云南水温异常与 $M_S \geq 5.0$ 地震关系研究[J]. 地震研究, 2017, 40(2): 233-240
- [11] 王海涛, 贾秀玲, 张彦吉, 等. 通河地震台同井水温、水位破年变趋势异常分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2017, 38(1): 102-106
- [12] 刘水莲, 黎己余, 欧阳群. 初建永安井水温动态大幅度起伏及其原因的调查与分析[J]. 国际地震动态, 2019(3): 7-14
- [13] 李悦, 王熠熙, 姚会琴, 等. 井水位气压响应滞后计算方法比较[J]. 地震工程学报, 2017, 39(增刊): 144-148
- [14] 车用太, 鱼金子. 井水温度观测中有待解决的若干基本问题[J]. 中国地震, 2013, 29(3): 306-315
- [15] 杨竹转. 地震波引起的井水位水温同震变化及其机理研究[J]. 国际地震动态, 2012(11): 42-47