

刘春国,晏锐,樊春燕,等. 2022. 我国地震地下流体监测现状分析及展望[J]. 地震研究, 45(2): 161–172, doi: 10. 20015/j. cnki. ISSN1000–0666. 2022. 0032.

Liu C G, Yan R, Fan C Y, et al. 2022. Analysis and prospect of seismic subsurface fluid monitoring in China[J]. *Journal of Seismological Research*, 45(2): 161–172, doi: 10. 20015/j. cnki. ISSN1000–0666. 2022. 0032.

我国地震地下流体监测现状分析及展望*

刘春国¹, 晏锐¹, 樊春燕¹, 陈志², 陶志刚¹

(1. 中国地震台网中心, 北京 100045; 2. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036)

摘要: 总结和分析了我国地震地下流体监测站网布局、观测技术、检测技术、台网管理等方面的现状与存在的问题, 介绍和讨论了地热观测和数字化地下气体观测新技术新方法探索研究工作进展情况。针对存在的主要问题, 结合发展趋势与前沿性的探索工作, 以满足未来十年我国地震重点监视防御区震情监视跟踪需求为目标, 提出了未来我国地震地下流体监测发展方向与工作重点。

关键词: 地下流体; 地震监测; 现状分析; 未来展望

中图分类号: P315. 723 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–0666(2022)02–0161–12

doi: 10. 20015/j. cnki. ISSN1000–0666. 2022. 0032

0 引言

地下流体直接参与地壳中的各种动力作用过程, 被认为是最有效的中短临地震预测手段之一(刘耀炜等, 2006)。我国自1966年邢台地震后, 以服务于地震预测预报及科学研究为目标, 开展了以水文地质学、地球化学和地热学为基础学科的地震地下流体监测研究与实践。经过五十多年的不懈努力, 我国建成了覆盖中国大陆主要地震构造带的地下水动态、地热和地球化学参量观测的地下流体站网, 获得了揭示地球物理和地球化学动态过程形成与演化的地下流体长期观测资料, 取得了一些新的科学认识, 在我国地震监测预报中发挥了重要作用。根据1966年以来中强地震震例统计, 地下流体异常的数量约占整个地震前兆异常的一半, 显示出监测能力强、取得震例多、预报作用大的特点(岳明生, 2005; 车用太, 金鱼缸, 2006)。

我国地下流体监测工作虽然取得长足进步, 在地震预测预报实践和科学研究中发挥着重要作用, 但与我国自然灾害防治需求相比, 还有诸多

差距, 现有的监测水平远不能满足地震孕育过程的中短临阶段地下流体动态异常监测的需求。为此, 本文对现有的监测现状进行系统分析与问题梳理, 提出未来我国地震地下流体监测发展方向, 进一步提升地震地下流体监测站网对强震的中短期前兆的监测能力。

1 监测现状

1.1 监测发展历程

我国地震地下流体监测始于1966年邢台地震, 历经创建阶段、发展阶段和提高阶段, 我国地震地下流体监测网由局部性、临时观测网逐步发展为全国性、专业化、固定观测网; 观测井由浅井为主逐步过渡到以中深井为主; 观测技术由人工观测向模拟观测、数字化观测转变。目前正处于现代化新阶段。

创建阶段(1966—1978年)是地下流体监测的起步阶段。1966年邢台地震后, 为了监测余震, 首先开展了地下水动态观测, 并建立余震区临时观测网。随着京津冀震情形势的严峻, 1969年在

* 收稿日期: 2022–03–07.

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划项目(XH20002)资助.

第一作者简介: 刘春国(1968–), 正高级工程师, 主要从事地下流体监测工作. E-mail: liuchguo@126.com.

京津冀地区建立地下水动态观测网和水文地球化学观测网。此后,随着一系列强震的发生,地下流体监测在全国范围内广泛开展,为 1975 年海城 $M_s7.3$ 、1976 年龙陵 $M_s7.3$ 及松潘 $M_s7.2$ 地震的成功预测作出了贡献,正式被认为是重要的地震监测预报手段之一(王广才等, 2003)。此阶段地下流体观测井浅井多,且以民用井及机井为主;观测方式以人工定期观测为主。

发展阶段(1979—1989 年),地下流体正式作为三大前兆观测的重点之一得到大力发展,地下流体监测开始向台网化、专业化和规范化发展。明确提出布局思路与建网方案,在全面清理评估与调整、优化已有观测点的基础上,建立了专业化的全国地震地下水动态观测网(255 个观测点)、全国地震水文地球化学观测网(330 个观测点)和全国地震水温观测网(114 个观测点)。观测井以中、深井为主。观测技术上,水位观测全部实现自动化模拟观测,水温观测采用高精度温度自动化观测技术,汞观测作为新技术新方法开始应用;各测项的观测技术规范相继编写与发布(王广才等, 2003)。

提高阶段(1991—2000 年),我国地震地下流体观测技术取得了突破性的进展。随着水温、水位、氦、汞、氡等数字化观测技术相继研制成功,1996—2000 年,全国 114 个台站开展了数字化技术改造,104 个台站的水位与水温观测、61 个台站的氦观测和 21 个台站的汞观测改造为数字化观测,4 个台站新增了数字化氡气观测(中国地震局监测预报司, 2007)。

2000 年以后,我国地震地下流体监测进入现代化新阶段,全面推广应用数字化观测技术和信息技术。

“十五”期间(2001—2007 年)数字化观测技术进一步升级为网络化观测技术,支持观测设备的远程监控与自动采集,实现了观测数据向中心节点台站、区域台网中心和国家级中心的自动汇集。据国家前兆台网中心前兆数据库统计,到“十一五”末期,我国地下流体观测网中实现数字化观测的台站总数已达到 400 个左右。实现数字化观测的台站数量占地下流体台站总数的 85%;实现数字化观测测项总数为 960 个左右,约占地下流体测项总数的 86%。全部的国家台与大部分区域

台完成数字化改造,此外还有相当多的市、县级台也进行了数字化改造。

“十一五”结束后,地下流体观测网进入平稳运行期。为确保平稳运行,“十二五”期间,开展了仪器维修与保障体系的建设。建立了仪器定期更新机制,建成 8 个片区维修中心并投入运行,地下流体观测网的观测设备初步实现了快速修复和定期更新(刘高川等, 2016, 2021)。为了控制入网仪器质量,“十三五”期间,开展计量检测系统建设。相继在江西省地震局、中国地震局地壳应力研究所(现应急管理部国家自然灾害防治研究院)和中国地震第一监测中心建立了测氦仪、测汞仪、压力式水位仪和测温仪的计量检测实验室,在江西九江地震台、安徽庐江地震台分别建立了测氦仪、测汞仪的比测场地。到 2019 年,地下流体主要观测项目的计量检测系统已初步建立,改变了我国地震地下流体观测仪器计量检测长期依赖社会计量机构的历史。此外,为了保障地下流体监测可持续性发展,继续推动新技术新方法研究,其中氦观测技术在“十二五”期间取得突破,新型数字痕量氦仪器研制成功,并作为新技术新方法应用于温泉逸出氢气和断层土壤氢气的自动化连续观测(车用太等, 2015; 范雪芳等, 2016)。

1.2 监测网概况

根据场地条件和观测周期的不同,我国地震地下流体站网可分为固定站网和流动观测网。

地下流体监测固定站网以井、泉及断层带中地下水、地热和地下气作为观测对象,观测项目主要包括水位、地热(水温)、流量、氦、汞、水质和气体组分(H_2 、 He 、 CO_2 、 N_2 、 CH_4 、 Ar 、 O_2 等),其中水位、水温、氦和汞为主要观测项目。据最新统计,地下流体监测网中有 548 个观测点(观测井 439 个、观测泉 78 个和断层气观测孔 31 个)已接入国家台网管理,其中水位观测站 370 个,水温 394 个、氦 171 个、汞 54 个、水质 23 个、气体组分 51 个。

与其它行业的地下水监测网相比,地震地下流体监测网采用的仪器具有观测精度和分辨力较高、采样频率较快等特点(Liu *et al.*, 2016),用于观测的井以承压井为主,观测泉以上升泉为主,观测井、泉和土壤气观测孔大都布设在活动构造

带上,避开地下水开采等干扰影响区域,空间分布上主要位于华北、东北、东南沿海、南北地震带和天山地震带中段,总体呈现东密西疏的特点。

流动观测网作为固定站网的补充,主要对地震多发区域和地震潜在危险区温泉水质、气体及同位素组成和断层带土壤气体进行定期或不定期观测,为判定断层的活动状态、捕捉地壳深部信息提供基础观测资料。据最新统计,用于震情会商的温泉点约为615个,断层土壤气剖面有200多条。温泉点主要分布在川滇、新疆、华北及东南沿海地区。断层土壤气剖面观测主要在华北、西北和天山地区的潜在地震危险区开展,剖面测线的间距为50~100 m,每条测线点间距为5~20 m。一般观测周期为1次/季度、1次/半年或1次/年。

鉴于流动观测长期以任务和项目的形式来开展,流动观测网运行未能常态化、业务化,下面的分析讨论只针对固定站网展开。

1.3 观测技术

观测技术以数字化观测技术为主,数字化观测站点在全国地下流体站网中所占比例约86%。但仍有部分台站部分观测项目采用了人工观测技术。

(1) 数字化观测技术

水位、水温、氦、汞数字化观测技术已在全国广泛应用,氢、氦和流量数字化观测技术亦在少数台站推广应用。据最新统计,纳入国家台网的观测站,水位和水温观测站已全部实现数字化、自动化观测;氢、汞观测站的数字化占比分别约

为44%、72%;数字化氢观测站7个,数字化氦观测站8个,数字化流量观测站14个。采用的主要数字化观测仪器基本信息(中国地震监测预报司,2002;刘春国等,2015a, b;张彬等,2015;郭丽爽等,2016)见表1。

水位和水温数字化观测均采用投放传感器至水面以下来观测的方法。水位传感器的投放深度一般为水面以下3~5 m;水温传感器的投放深度一般通过温度梯度测量来确定,选择水温梯度较大、背景噪声较小的区段(地震地下流体观测方法 井水和泉水温度观测, DB/T 49—2012),大都放置在水面以下100~500 m。多年的观测实践结果表明不同置深的水温传感器记录到的水温动态特征存在差异,水温动态形成机理非常复杂,水温传感器最佳置深这一科学问题还存在争议(汪成国等,2012;张慧等,2013;车用太等,2013, 2014)。为了满足异常核实与动态形成机理分析研究的需要,初步统计至少有52个观测站采取了多层观测,即同井在不同深度分别放置水温传感器的方法。流量主要采用在泄流管路上安装数字化电磁流量计来观测,电磁流量计是一种无阻式流量计,与涡轮流量计相比,更适合地震行业高矿化度等水质的流量观测(许秋龙,2016)。

与水位、水温、流量等物理量观测方法不同,氢、汞、氢和氦气化学量数字化观测除了需要有数字化观测仪器外,还需要有自动获取气体的装置,即脱气-集气装置,如图1a所示。我国地震系统在“九五”和“十五”期间自主研发了鼓泡式

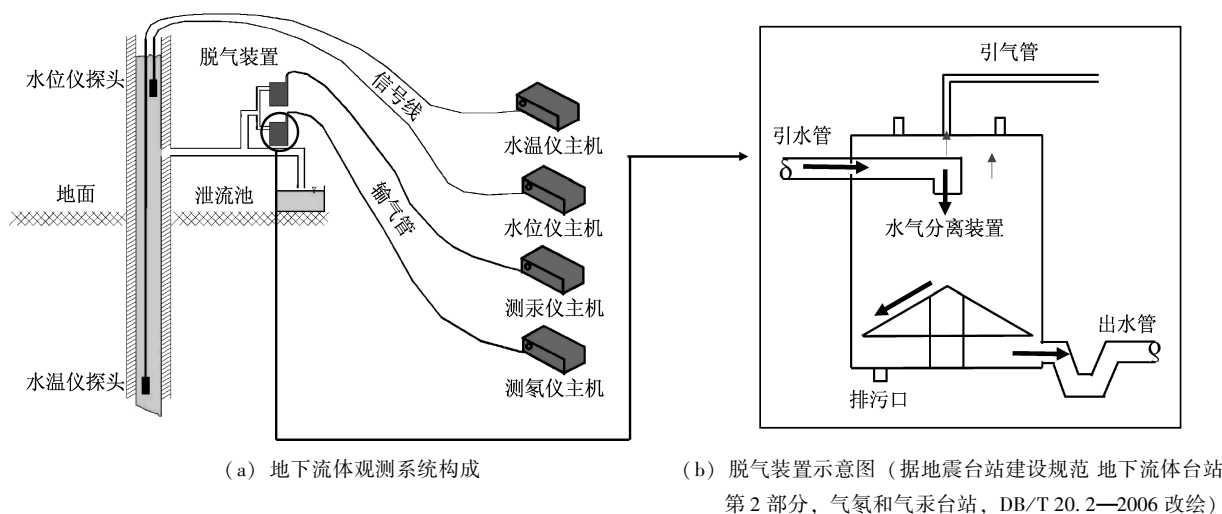


图1 地下水气体数字化观测系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of groundwater gas digital observation system

脱气装置、溅落式脱气装置、卧式脱气装置和浮动罩式集气装置 4 大基本类型,其中以溅落式脱气装置应用最广。以溅落式脱气装置为例,脱气装置包括水气分离装置、水路(引水管、出水管)和气路(含引气管、冷凝装置等),如图 1b 所示。为了客观测量地下水中气体的瞬时含量,要求脱

气装置具有较高且稳定的脱气率和换气率,但由于大多数观测井泉流量变化大、水质条件较差,水路流量难以控制,水路与气路容易堵塞以及水气分离装置结构缺陷等问题较为突出,脱气装置技术尚不能满足地下水中气体连续稳定观测的需要。

表 1 地下流体监测网主要数字化观测仪器基本信息

Tab. 1 Basic information of main digital instruments of underground fluid monitoring network

观测仪器	观测仪器型号	测量原理	主要技术指标	生产厂家
水位仪	LN-3 (A)	压力传感器法	分辨率: $\leq 1 \text{ mm}$	北京陆洋公司 灾研院(原地壳所) 中科光大公司
	SWY-II	压力传感器法	观测精度: $\pm 0.2\% F \cdot S$	
	ZKGD3000 (NL、N)	压力传感器法	量程: $0 \sim 10 \text{ m}$ 采样率: $\geq 1 \text{ 次/分}$	
测温仪	SZW-1A/SZW-II	石英温度传感器法	分辨率: $\leq 0.0001 \text{ }^{\circ}\text{C}$	灾研院(原地壳所) 中科光大公司
	ZKGD3000 (NT)	铂电阻温度传感器法	观测精度: $0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 量程: $0 \sim 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 采样率: 1 次/分	
流量仪	DLZ-1	电磁流量计法	精确度: $0.5\% R$ 测量范围: $0.002 \sim 10 \text{ L/S}$ 采样率: 1 次/分	灾研院(原地壳所)
测氡仪	SD-3 (A)	闪烁法	灵敏度: $\geq 150 \text{ cpm/Bq/L}$ 重复测量误差: $\leq 5\%$ 采样率: 1 次/时	北京陆洋公司 郑州晶微公司 贝谷科技公司
	DDL-1	电离法	探测下限: 0.1 Bq/L 重复测量误差: $\leq 10\%$ 采样率: $\geq 1 \text{ 次/时}$	
	BC2015R	闪烁法	灵敏度: $\geq 70 \text{ cpm/Bq/L}$ 重复测量误差: $\leq 10\%$ 采样率: $\geq 1 \text{ 次/时}$	
测汞仪	DFG-B/RG-BQZ	冷原子吸收光谱法	检出限: 0.008 ng (汞) 精确度: $\leq 3\%$ 采样率: 1 次/时	北京陆洋公司 杭州超距公司
	ATG-6138M	金膜传感器测定法	检出限: $5 \times 10^{-4} \text{ ng (汞)}$ 标准偏差: $\leq 5\%$ 采样率: 1 次/时	
测氡仪	ATG-6118H	半导体气敏传感器法	精密度(重复性): 相对误差 $\leq 5\%$ 采样率: 1 次/时	杭州超距公司
测氡仪	WCK-1	石英膜渗透法	检出限: 8×10^{-6} 相对标准偏差(RSD): $\leq 2\%$ 采样率: 1 次/时	北京汇海公司

(2) 人工观测技术

部分氦、汞、氢及氡观测站和大部分流量观测站采用人工观测技术进行观测。受观测技术所限，水质和其它大部分气体观测没有数字化观测技术，亦均采用人工观测技术观测。目前，采用的主要人工观测仪器基本信息见表 2。

井或泉流量观测：目前普遍采用的是现场容积式或称重式人工观测方法观测。

氡观测：观测点取水样或气样，观测室测试。水样在测量前还需要鼓泡、脱气。观测仪器主要包括 FD-125、SD-3B、BG2015D、DDL-2 测氡仪。

汞观测：观测点取水样，现场加保护剂，观测室脱汞、富集、测试；或直接在观测点通过大

气采样器将土壤气中的汞（零价汞）富集到捕汞管带回到观测室测试。观测仪器有 XG-4、RG-BS、ATL-2000 和 XGY-1011a 测汞仪。

水质观测：观测地下水中电导率、pH 值、Eh 值、常量离子浓度和微量元素含量的变化。观测方式为观测点取水样，观测室采用滴定管法或离子色谱仪（主要为 CIC-200 型离子色谱仪）进行分析测试。

气体观测：观测地下水中 H₂、He、CO₂、N₂、CH₄、Ar、O₂ 含量变化。观测方式为观测点取水样，在观测室脱气后，利用气相色谱仪分析测试气体含量，常用仪器有 SP-2304、SP-2305 和 SP-3400 型气相色谱仪。

表 2 地下流体监测网主要人工观测仪器基本信息

Tab. 2 Basic information of main manual instruments of underground fluid monitoring network

观测仪器	观测仪器型号	测量原理	主要技术指标	生产厂家
测氡仪	FD-125	闪烁法	固有无底：≤10 脉冲/100 s 重复测量误差：≤10%	北京国营 261 厂/ 北京宏信核诚仪公司
	SD-3B	闪烁法	灵敏度：≥150（计数/min）/（Bq/L） 固有无底：≤20 计数/min 稳定性：≤±5%	北京陆洋公司
	BG2015D	闪烁法	固有无底：≤10 cpm 灵敏度：≥90 cpm/（Bq/L） 重复性：≤10%	贝谷科技公司
	DDL-2	电离法	固有无底：≤0.05 Bq/L 探测下限：≤0.1 Bq/L 重复性：≤10%	郑州晶微公司
测汞仪	XG-4	冷原子吸收光谱法	检出限：≤0.02 ng（汞） 标准偏差系数（RSD）：≤5%	北京地质仪器厂
	RG-BS	冷原子吸收光谱法	检出限：0.008 ng（汞） 精确度：≤3%	北京陆洋公司
	ATL-2000	金膜吸收法	检出限：5×10 ⁻⁴ ng（汞） 标准偏差：≤5%	杭州超距公司
	XGY-1011a	冷原子荧光光谱法	检出限：<0.01 ng/mL 相对标准偏差（RSD）：<1.8%	中国地质科学院物化探所
离子色谱仪 （水质观测）	CIC-200	离子色谱法	分析重现性：≤1.0%（以 SO ₄ ²⁻ 、Na ⁺ 计） 最小检出浓度：≤0.5 ppb（以 Cl ⁻ 计） ≤5 ppb（以 Na ⁺ 计）	青岛盛瀚色谱公司
气相色谱仪 （气体观测）	SP-2304/ SP-2305	气相色谱法	以氢气做载气，热导池桥路电流 220 mA， 温度 100℃ 时，灵敏度 S 值（对苯）： 优于 800 mV·mL/mg	北京分析仪器厂
	SP-3400	气相色谱法	热导检测器（TCD）灵敏度： ≥12 000 mV·mL/mg，内置放大装置	北京北分瑞利公司

1.4 仪器检测技术

定期对地下流体观测仪器进行检测,是保障入网观测仪器的质量与运行仪器产出数据的可靠性、准确性和一致性的主要手段。仪器检测技术包括现场检测技术和实验室计量检测技术。

(1) 现场检测技术

地下流体主要观测项目的观测仪器基本上都有现场检测方法,只有水温仪一直缺乏有效的现场检测技术。水温仪难以现场检测的主要原因有两个:一是用于地震监测的水温仪器本身具有很高的分辨力和较高的观测精度,是观测点“点温”的测试,难以找到参考标准仪器。另外一个重要原因是水温传感器大都放置在一个温度梯度较大而噪声较小的区段,再投放一个参考传感器将破坏现有的水温平衡状态,很难根据短时间的测量偏差来判断仪器是否正常。

水位仪现场检测主要采用校测的方式。早期采用带测量尺的测钟,现在测钟大部分被便携式电子水位计代替。以电子水位计作为参考,通过对比电子水位计与水位观测仪器的测量偏差来判断仪器是否工作正常。

测氦仪主要采用固体氦气源法来进行检测与校准。近年来,考虑到固体氦气源作为放射性源存在安全隐患,科研人员开始寻找替代方法,其中采用氦标准计量参考仪器(AlphaGUARD P2000 测氦仪)的校准方法经大量实验研究已基本成熟,目前正在推广应用(任宏微等,2017;姚玉霞,2017)。研制移动的微型氦室用于台站测氦仪的校准亦取得了一定的进展(黄仁桂等,2020)。

测汞仪的校准方法为饱和汞蒸气法,利用汞在不同温度下具有固定的蒸汽压的特性来获取已知浓度的汞气作为标准物质。早期台站需要制作饱和汞蒸气瓶用于校准,存在汞泄露、温度波动、标准汞气量体积难以控制等问题。近年来,科研人员以饱和汞蒸气瓶为原型,研制成功标准汞发生与控制装置并推广应用,校准工作较为简便和准确。

(2) 实验室计量检测技术

地下流体观测仪器的计量检测长期存在检测方法不成熟、不完备,缺少计量检定与检测平台等问题。尽管计量科学研究院、测试技术研究院等具有计量资质的社会计量机构可以为测氦仪、测汞仪、水温仪、水位等主流流体仪器提供量值溯源服务,但检测项目、指标要求与地震监测业

务的需求还有一定的差异,不能满足地震监测仪器设备的检定与入网检测要求。

为了改变这种现状,自“十一五”开始,科研人员开展了地下流体计量检测技术研究。经过多年的试验与检测实践研究,提出了利用模拟井孔法和压力输入法相结合来检测水位仪的观测误差,利用微自流模拟井孔装置测试水位仪长期稳定性(刘春国等,2018;地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪第1部分:压力式水位仪, DB/T 32.1—2020),利用相对温度变化可控的恒温箱来测试水温仪器的分辨力与稳定性等新的测试方法(张光顺等,2018)。针对压力式水位仪、测温仪、测氦仪(含人工和数字)、测汞仪(含人工和数字),建立了一套相对完备和成熟的包含观测仪器的分辨力或灵敏度、准确度、稳定性等性能指标,供电、温湿度等环境适应性指标和仪器控制、数据产出、通信等功能性指标在内的检定与检测方法。

基于以上的检定与检测方法,购置压力控制器、恒温槽、固体氦发生器、汞标准物质发生装置及其标准仪器等国内外先进的计量检测设备,研究建设适合于地震系统水位仪、测温仪、测氦仪和测汞仪检测的计量检测实验室与比测平台,2019年完成建设并投入运行。自此,我国地震系统已经具备压力式水位仪、测温仪、测氦仪和测汞仪计量检定与入网检测能力。

1.5 台网管理

在“十五”以前,台网管理主要依靠台站定期报送观测资料、学科组年度资料评比来管理。随着数字化观测技术的发展、数字化观测站的不断增加,这种传统的管理模式不再适用。

自“十五”开始,中国地震局启动适应数字化台网的台网技术系统建设。升级数字化观测仪器为网络化观测仪器,建立地震行业专网,改造台站为行业网络信息节点,实现“网络到台站,IP到仪器”。建设区域前兆台网中心技术系统和国家前兆台网中心技术系统。研究数据汇集、数据处理、质量评估和产品加工处理模型(周克昌等,2011;李正媛等,2018),基于模型,研制开发了数据汇集管理、数据处理与分析、质量监控与评估、产品产出与服务等相关业务的专业软件,分别部署在台站、区域前兆台网中心、国家前兆台网中心和学科台网中心(表3)。

表 3 地下流体台网各级节点部署业务软件一览表

Tab. 3 List of professional softwares deployed at various nodes of underground fluid networks

业务软件	部署			业务相关功能
	台站	省级台网中心	国家级中心	
中国地震前兆台网数据管理系统	√	√	√	数据的定时采集、自动汇集
地震前兆台网数据处理系统	√	√	√	数据预处理、产品数据计算
前兆台网（站）观测数据跟踪分析	√	√	√	数据跟踪分析
地下流体数据质量评价系统		√	√	台网数据质量评价
地下流体台网质量监控与产出系统			√	学科台网质量监控、专业产品产出
地下流体站网运行质量管理与产品服务			√	在线站网技术管理、学科产品服务

伴随着技术系统建设，规制标准体系的建设也逐步完善。中国地震局陆续组织制定了包括台网设计、环境技术要求、台站建设、仪器入网技术要求、台网运行管理规定、观测技术与方法等一系列运行管理技术规范。台站、省级前兆台网中心和国家级前兆台网中心（学科中心）依托运行管理技术系统和技术规范对监测网实施分级管理。台站承担观测系统运维、数据采集和预处理，省级前兆台网中心主要承担所辖台网的数据汇集与运行监控，国家级前兆台网中心承担全国台网数据的汇集与分发、运行监控与产品产出工作。

到“十一五”末，现代化的地下流体监测业务运行管理体系已初步形成，台网运行管理水平进入到一个全新阶段。地下流体台网数据实现了统一规范化的管理与存储，制定了地震前兆数据库规范行业标准，对观测数据、场地信息、观测仪器信息、日志信息的数据库存储结构进行了规范（周克昌等，2010），在节点台站、省级中心、国家级中心建立了数据库结构相同的地下流体数据库，通过部署的管理系统软件实现了仪器观测数据的自动采集入库，数据从台站、省级中心、国家级中心的自动汇集与分发。

地下流体台网实现了日、月、年 3 个时间尺度的全网、主要测项的质量监控。台网质量监控工作以国家地下流体学科台网中心为主，省级台网中心协同、台站响应来完成。质量监控内容主要包括数据汇集、数据预处理、数据质量、观测运维、产品产出等，依据监控内容的时效性开展不同尺度的监控。

地下流体台网产出实现了单一的观测数据产品向多元化、信息化产品的发展。目前，台网定期产出观测背景信息、观测日志、事件分析记录

等基础性信息产品，观测数据内涵更加丰富，一定程度上提升了观测数据的应用价值；定期产出观测报告、图像专业产品、地震分析研究报告等专业化产品，从监测视角给出观测分析结果与说明，对于分析预报与科研具有一定的参考价值（刘春国等，2015b）。

1.6 存在的主要问题

经过几十年的发展，我国地震地下流体监测取得了长足进步，在地震预测预报实践和科学研究中发挥了重要的作用，但与我国防震减灾需求相比，还有诸多差距。主要问题有：

（1）站网布局有待完善。理论基础薄弱，缺乏科学布局的指导思想；站点分布明显东密西疏，在地震多发的西部地区数量严重不足；现有观测项目的区域针对性不强；有 21% 的观测站只有单一观测项目，缺少相互印证的多参量综合观测。缺少基于物理模型布设的密集地下流体观测台阵。

（2）观测场地基础条件有待改善。部分观测站的观测条件、场址和井孔不完全符合地震地下流体观测的技术要求，抗干扰能力较差，降雨和开采干扰较为普遍。初步统计，大约 43.3% 的观测点受到降雨的影响，有 39.8% 受到地下水开采的影响。

（3）观测技术仍不成熟。水氦、水汞、水质和气体组分等是具有较高地震预测效能的观测项目，目前仍主要延续三十年前的人工观测方式。数字化观测系统的长期稳定性较差，特别是化学量的数字化观测技术，受不成熟的气体获取技术的限制，数字化氦和汞的观测效能明显偏低。此外，部分观测仪器的现场检测技术尚未取得突破性进展。

（4）运行管理面临挑战。自 2018 年起，地震

系统启动了业务体系改革,建立了以中心站、省级台、国家级业务中心为站网管理运行主体的新业务体系架构,各业务主体的职责与职能发生变化,业务链条更加细分与完整,现有运行管理体系已经不能满足新业务改革的需求,运行规范与技术要求亟待更新、完善与补充。此外,在“十五”期间建立的运行管理技术系统,其技术水平明显落后于当今信息技术的发展水平。

2 新技术新方法探索

为了进一步提升地下流体站网的监测效能,充分发挥地下流体监测在地震预测中的作用,近十多年来,围绕地下流体的观测技术和观测方法,科技工作者开展了大量的研究和探索工作,其中以地热观测和数字化地下气体观测的新技术新方法探索较为突出,并取得了一定的进展。

2.1 地热观测

地震地下流体通过深井水温、泉水温和地温观测来监测地热动态变化,其中深井水温观测已经发展成为地震地下流体台网的主要观测项目之一,实现了成网观测。而泉温观测点只占地热观测网的5%,地温观测自建点更少,基本上采用的是为气象观测服务的地温观测点,观测孔深不超过320 cm,易受气象因素和浅层地下水活动的影响。

温泉作为地下深部热流的天然通道,具有良好的映震效能,而地温观测具有反映短临地震前兆的潜力,长期的地温观测对于地球科学研究具有重要意义(黄少鹏,安芷生,2010)。近年来,在国家工程项目与科研项目的支持下,开展了温泉水温观测网与地温观测网建设实践与研究,所采取的观测思路、观测技术与观测方法及其实践经验对未来温泉观测网和地温观测网的建设具有一定的借鉴意义。

(1) 温泉水温观测

“十一五”期间,在云南的龙陵地区和四川的甘孜理塘地区建立了自动化温泉水温台阵,选择在同一个构造活动单元和相同水文地质条件的地区建立温泉观测台阵对于地下流体台网来说尚属首次。

龙陵温泉台阵地处邦腊掌温泉景区,由20个出露泉点组成,这些泉点大都沿香柏河(推测存

在一条张性的香柏河断裂)一侧呈条带状展布,为深循环温泉,泉温大都在50℃以上,最高在90℃以上,富含腐蚀性气体。水温观测设备采用低精度的温度采集器(观测精度为 ± 0.5 ℃、分辨力为0.1℃),将水温探头直接固定于泉点出水眼底部,双探头设计。理塘温泉台阵位于理塘断裂带的主断裂NE侧的分支小断裂上,由毛垭温泉群中密集分布的10口泉点组成,泉点为中-深循环温泉,泉温大都在30℃~60℃。观测仪器为高精度测温仪(观测精度为 ± 0.05 ℃、分辨力为0.000 1℃)。温度探头放置在温泉自然出露处,对于流量较小或温泉出露口较浅的泉钻孔10 m,将探头放置在钻孔底部。

温泉台阵在盈江 $M_s 5.6$ 及 $M_s 6.1$ 地震、景谷 $M_s 6.6$ 和九寨沟 $M_s 7.0$ 地震前监测到较为明显的水温异常变化(卫青等,2017;国家地下流体台网中心,2017)。密集的测点与较高的时间分辨率为泉点温度的时空演化规律研究提供了丰富的观测数据。但也存在观测仪器故障率偏高、运维困难等问题,采用的观测仪器尚不能满足高温、富含腐蚀性气体的温泉水温长期稳定观测需求,亟待升级改造。

(2) 地温观测

2009—2020年,中国地震局地质研究所研究团队在川滇和新疆等地区建立了多个基岩地温观测网,通过基岩地温观测来获取地壳应力的动态变化(陈顺云等,2009;Chen *et al.*, 2016)。观测方法是:沿断裂带及附近基岩区钻20~50 m不等的孔,每个孔多个深度安装有传感器,仪器安装完成后用水泥灌封整个钻孔。为了探测地震前或地震时的0.01 MPa到几MPa量级的应力变化(相当于0.000 01℃~0.001℃量级的温度变化),该团队研发了分辨力达到0.000 01℃~0.000 003℃的高精度温度测量系统用于观测(张智河等,2018, 2021)。陈顺云等(2020)将康定 $M_s 6.3$ 地震鲜水河断裂带观测网地温同震获得的应力变化量级及空间分布特征与测震学方法的结果对比,结果一致,证实了基岩地温探测地壳应力变化的有效性。而通过基岩观测网获得的地震前兆异常却很少,基岩地温观测机理模型尚需继续研究与完善,仪器的性能与长期稳定性有待提升(陈顺云等,2021)。

2017年,天津市地震局建立了一个服务于大

震短临跟踪的地温连续监测网，这也是地震系统建设的第一个专业化数字化地温观测网。地温监测网由30个测点组成，测点均布设在主要断裂带附近，每个测点均钻孔32.0 m，2个温度传感器捆绑在一起放置在钻孔31 m处，灌注2 m石英砂，再灌注粘土球封孔。钻孔所揭露地层岩性以粉质黏土、粉土和粉砂为主。与基岩地温观测不同，该观测网采用了低精度测温仪器（分辨力0.01℃、绝对精度0.05℃）。目前测网运行正常，观测数据已经接入国家地下流体台网投入运行。

从以上地温观测资料分析结果来看，采用深度不小于20 m的钻孔及其钻孔灌封技术可以减少气象因素的影响，降低浅层地下水活动的干扰，而这两类因素正是传统地温观测的主要干扰源；双探头并行或同钻孔多层多探头观测可以互相印证，观测方法与观测技术有所突破。

2.2 数字化地下气体观测

数字化地下气体观测技术近二十年来一直是地下流体学科新技术新方法的探索重点。

一些新型CO₂、CH₄、H₂、He、Rn数字化仪器陆续被研制与引入来开展地下流体相关测项的观测试验研究（朱旭等，2011；任佳等，2013；张晓刚等，2016），主要包括河北省地震局研发的RZW-1A型数字化二氧化碳测量仪，杭州超距公司研制的ATG-C600二氧化碳在线分析仪、ATG-CH₄甲烷在线分析仪、ATG-H800氦气在线分析仪，智能（厦门）传感器有限公司研制的HDZA02测氢仪和赛睿环仪（北京）NRSM-D01型埋式土壤氦在线监测仪等。这些设备目前主要安装在省局及地方自筹建设和科学实验场等科研项目建设的观测点上运行，仪器性能与监测效能有待评估。

除了新型数字化仪器外，与数字化气体连续观测配套的气体自动化收集技术（即脱气-集气装置技术）是研究探索的另一个热点（陈华静等，2002；许秋龙，崔勇，2005；邱鹏成等，2007；孔令昌等，2011；邱永平，2014）。许秋龙（2019）在溅落式脱气装置的基础上研制了自吸气式脱气装置，这种装置适用于大流量、低矿化度冷水井泉，已经应用在全国约30个观测点改造中。高小其等（2021）对自吸气式脱气装置、鼓泡式脱气装置和浮动罩式集气装置进行了进一步的优化改造，并新提出了引入高频振动的适应高矿化度的

脱气-集气装置和适合观测单次测量所需气量较小的测项（如H₂、CO₂、CH₄、He等）的真空脱气-集气装置，这些装置一定程度上提升了脱气效率和稳定性，但由于这些新的脱气装置大都需要配套电子控制装置，增加了技术环节和系统的复杂性，带来一些新的干扰因素，应用效果还有待实践检验。

目前，脱气-集气装置问题大都集中在复杂的水、气管路上，一种新的研究思路是简化或去除脱气-集气装置的管路设计。针对氢、氦气体质量轻、难溶于水的特点，基于排水法的简易脱气-集气装置（Zhou *et al.*, 2021）在井泉氦和氢自动化连续观测中被采用，这种装置去除了水管路，设计简单，应用效果较好。此外，从仪器端进行改进，探头与主机分离，将探头直接放置在气体收集腔内，去除气路设计部分，达到简化脱气-集气装置的效果，新型HDZA02测氢仪和NRSM-D01型测氦仪的探头设计就是采取这种思路（Wang *et al.*, 2021）。最新的研究方向是不用脱气-集气装置，而是直接测量，目前，地下水中氦浓度直接自动连续测量技术已经取得一定进展。

3 发展趋势与展望

3.1 国际发展趋势

国际上多震国家对地下流体的观测和研究极为重视，日本、美国、中亚各国、俄罗斯、意大利、土耳其等国家在地震多发区、火山区或地震预报实验场建有地下流体观测网。与我国相比，这些国家的观测网在布局方式、观测场地、观测手段等方面具有自己的特点，呈现出新的发展趋势。

观测网主要以密集台阵方式布设，并具有较高的科学性和目的性。美国在圣安德烈斯断裂及其附近布设了密集的地下流体观测手段，建立了具有潜在预报能力的动力学模型。为了研究地下流体前兆场与活动断裂的关系，中亚各国观测井（泉）总体上沿主要活动断裂带布设，并在若干地段布设多条与主要活动断裂垂直的剖面（车用太等，2006）。

观测场地方面，为尽可能避开环境干扰，注重对可能反映地壳深部物质活动的深井、温泉和断层土壤气等的观测。近年来，研究人员通过在

日本野岛断层 (Nojima)、圣安德列斯断裂 (SAFOD)、日本海沟 (JFAST) 和新西兰深部断层 (DFDP) 等区域钻探深井开展采样分析与温度、地下水位、孔隙压力和应变等监测, 获得断层活动区域的地下介质热动力条件、断层活动热效能转换和物质活动特征的有效信息 (刘耀炜, 2005; 李海兵等, 2019)。美国、日本、土耳其和意大利等国家在主要活动断裂带及火山地区开展温泉流体观测和土壤气体观测用于地震监测与研究 (Caracausi *et al*, 2005; Kulongoski *et al*, 2013; Italiano *et al*, 2009; Kop *et al*, 2014; Camarda *et al*, 2019)。

观测手段方面, 注重深、浅流体的对比观测和多手段的联合观测研究。如日本建设的部分流体台站, 深、浅井配套, 水位及水温与测震、钻孔应变、GNSS 等其他学科观测手段联合观测; 美国在帕克菲尔德台网开展了地下流体中深井、泉与断层带气体联合观测。地下水位、电导率、地热、地下气体观测大都为自动化连续观测, 大部分水化学组分采用现场直接快速测量或取样观测 (车用太等, 2006; Matsumoto, Koizumi, 2013)。

3.2 监测工作展望

我国地震地下流体监测的首要任务是为地震预测预报服务。为全面提升地震地下流体站网的监测能力, 2021 年中国地震局正式启动《中国地球物理站网 (地下流体) 规划》(2021—2030 年) 的编制工作。以满足未来十年我国地震重点监视防御区震情监视跟踪需求为目标, 基于我国地震地下流体监测现状和国际发展趋势, 本文提出地下流体监测发展方向与未来工作重点:

(1) 开展现有观测网的技术清理与站点效能评估, 加强地下流体观测机理与布局技术研究, 科学规划、分类标准化设计地下流体监测网; 加强以前兆机理探索为目的的流体观测台阵建设与研究。

(2) 广泛应用国内外先进的观测技术, 提升地下流体观测仪器的性能与长期稳定性; 应用化学量观测新技术, 继续发展气体自动化连续观测技术, 加快提升现有化学量人工观测的智能化、自动化水平; 加强地下流体新技术新方法研究, 提升地下流体观测项目的监测能力与抗干扰能力。

(3) 依托国家重大项目、地方投资项目、共建项目, 优化改造现有观测井泉条件, 提升其观

测资料的信噪比。在我国大陆主要活动地块边界和首都圈、川滇、新疆等地震重点监视防御区加密布设, 新建深井观测站, 因地制宜发展有可能获得深部物质活动信息的温泉流体观测和断层气体观测, 满足重点监视区近震源区应变及深部活动监视需求。

(4) 清理、完善现有标准规制体系, 建设协同、高效的一体化运行管理平台, 打造新型运行管理体系。加强数据融合处理技术, 建立跨行业地下流体虚拟观测网, 推进地震地下流体观测资料与外行业流体观测资料互连互通、共享服务。

本文是在编制《中国地球物理站网 (地下流体) 规划》(2021—2030 年) 的背景下撰写的, 编制工作得到了周晓成、孙小龙、张彬、赵刚、周志华、王博、何案华、张光顺等工作组成员的大力支持和帮助, 车用太、刘耀炜、孔令昌和高小其研究员为未来地下流体监测发展方向提出了宝贵的意见和建议, 在此表示衷心感谢!

参考文献:

- 车用太, 何案华, 鱼金子. 2014. 水温微动态形成的水热动力学与地
热动力学机制[J]. 地震学报, 36(1): 106-117.
- 车用太, 刘耀炜, 何镛. 2015. 断层带土壤中 H_2 观测——探索地震
短临预报的新途径[J]. 地震, 35(4): 1-10.
- 车用太, 鱼金子. 2006. 地震地下流体学[M]. 北京: 气象出版社.
- 车用太, 鱼金子. 2013. 井水温度观测中有待解决的若干基本问题
[J]. 中国地震, 29(3): 306-315.
- 陈华静, 张朝明, 朱方保, 等. 2002. 气体数字化观测气水分离装置研
究[J]. 地震, 22(1): 104-110.
- 陈顺云, 刘力强, 刘培润, 等. 2009. 应力应变与温度响应关系的理论
与实验研究[J]. 中国科学: 地球科学, 39(10): 1446-1455.
- 陈顺云, 刘培润, 陈立春, 等. 2020. 热测应力: 测震学证据[J]. 科学
通报, 65(22): 2395-2405.
- 陈顺云, 宋春燕, 闫玮, 等. 2021. 2020 年 1 月 19 日伽师 $M_s 6.4$ 地震
前后的基岩温度变化[J]. 地震地质, 43(2): 447-458.
- 范雪芳, 张磊, 李自红, 等. 2016. 断层带土壤气高精度氢异常分析
[J]. 地震地质, 38(2): 303-315.
- 高小其, 何镛, 刘佳琪, 等. 2021. 地下流体台网数字化气体观测新型
脱气-集气装置的研制与应用[J]. 地震研究, 44(4): 550-563.
- 郭丽爽, 刘耀炜, 张磊, 等. 2016. 地震地下流体汞前兆监测现状与发
展方向[J]. 地震工程学报, 38(2): 303-308.
- 国家地下流体台网中心. 2017. 2017 年 8 月 8 日四川九寨沟 7.0 级
地震地下流体台网简报[EB/OL]. <http://qzweb.seis.ac.cn/DZQZ/>.
- 黄仁桂, 罗齐彬, 姚玉霞, 等. 2020. 微型氢室应用于地震测氢仪校准

- 实验[J]. 大地测量与地球动力学, 40(8): 865–869.
- 黄少鹏, 安芷生. 2010. 长期地温监测在地球科学研究中的重要意义[J]. 地球环境学报, 1(1): 1–7.
- 孔令昌, 王桂清, 王志敏. 2011. 用于数字化气体观测的脱气–集气装置研制与应用[J]. 地震地磁观测与研究, 32(2): 63–66.
- 李海兵, 王焕, 李春锐, 等. 2019. 地震研究进展与趋势——全球地震科学钻探研究综述[J]. 地球学报, 40(1): 117–134.
- 李正媛, 刘春国, 王军, 等. 2018. 地震地球物理台网背景场图像处理模型、软件系统及实例[M]. 北京: 地震出版社.
- 刘春国, 孔令昌, 杨竹转, 等. 2015a. 我国地震前兆观测井水位观测网监测效能评估分析[J]. 中国地震, 31(2): 329–337.
- 刘春国, 李正媛, 王军, 等. 2015b. 地震前兆台网产出与服务进展[J]. 地震研究, 38(2): 128–133.
- 刘春国, 赵刚, 孔令昌, 等. 2018. 数字压力式水位仪观测误差与测试方法[J]. 大地测量与地球动力学, 38(1): 97–101.
- 刘高川, 李正媛, 王莉森, 等. 2016. 地震前兆台网观测仪器维修保障体系[J]. 地震地磁观测与研究, 37(4): 142–148.
- 刘高川, 滕云田, 庞晶源, 等. 2021. 地球物理台网仪器维修信息管理的研究与实现[J]. 地震研究, 44(1): 121–128.
- 刘耀炜, 陈华静, 车用太. 2006. 我国地震地下流体观测研究40年发展与展望[J]. 国际地震动态, (7): 3–12.
- 刘耀炜. 2005. 面向21世纪的地震地下流体科学问题与发展[J]. 国际地震动态, 5: 145–150.
- 邱鹏成, 白占孝, 常振广, 等. 2007. 对气氢脱气装置改造的几点认识[J]. 地震地磁观测与研究, 28(3): 85–88.
- 邱永平. 2014. 气氢观测中的恒流鼓泡式脱气–集气装置研制与应用[J]. 内陆地震, 28(4): 335–340.
- 任宏微, 姚玉霞, 周红艳. 2017. 测氢仪标准仪器校准法的条件研究[J]. 地震, 37(3): 148–156.
- 任佳, 张晓刚, 王长江, 等. 2013. 数字化二氧化碳观测仪的研制和观测[J]. 地震研究, 36(4): 536–539.
- 汪成国, 赵刚, 高守权, 等. 2012. 新30井不同深度下的水温观测试验及其结果[J]. 地震, 32(3): 37–46.
- 王广才, 车用太, 刘成龙, 等. 2003. 我国地震地下流体观测的现状和趋势[J]. 水文地质工程地质, (6): 89–96.
- 卫清, 张光顺, 邓卫平, 等. 2017. 云南龙陵邦腊掌热区低精度水温观测实验研究[C]. 地壳构造与地壳应力文集, (1): 163–169.
- 许秋龙, 崔勇. 2005. 浮动式集气装置[J]. 内陆地震, 19(2): 185–187.
- 许秋龙. 2016. 地震地下水物理动态观测方法[M]. 北京: 地震出版社.
- 许秋龙. 2019. 地震地下流体化学动态观测方法[M]. 北京: 地震出版社.
- 姚玉霞. 2017. AlphaGUARD测氢仪应用于地震监测氢观测仪器校准实验及注意问题分析[J]. 国际地震动态, (8): 72–73.
- 岳明生. 2005. 地震预测研究发展战略几点思考[J]. 国际地震动态, (5): 7–21.
- 张彬, 赵刚, 杨选辉, 等. 2015. 地热观测台网监测效能评估综合分析[J]. 震灾防御技术, 10(S1): 770–776.
- 张光顺, 何案华, 邓卫平. 2018. SZW石英温度传感器分辨率指标测试方法探讨[J]. 中国科技成果, 12: 21–24.
- 张慧, 顾申渲, 李志雄, 等. 2013. 单井多层位水温微动态初步研究[J]. 地震, 33(1): 101–110.
- 张晓刚, 任佳, 王江, 等. 2016. RZW–1A型数字化CO₂测量仪研发及试验观测[J]. 国际地震动态, (5): 29–33.
- 张智河, 陈顺云, 刘培洵, 等. 2021. 恒流桥式高精度温度测量系统及其在热测应力中的意义[J]. 地震地质, 43(2): 459–469.
- 张智河, 陈顺云, 刘培洵. 2018. 热测应力的技术基础: 高精度多通道低功耗温度测量系统[J]. 地震地质, 40(2): 499–510.
- 中国地震局监测预报司. 2002. 地下流体数字观测技术[M]. 北京: 地震出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2007. 地震地下流体理论基础与观测技术[M]. 北京: 地震出版社.
- 周克昌, 蒋春花, 纪寿文, 等. 2010. 地震前兆数据库系统设计[J]. 地震, 30(2): 143–151.
- 周克昌, 李辉, 杨冬梅, 等. 2011. 前兆台网数据处理与评价方法理论模型[M]. 北京: 地震出版社.
- 朱旭, 王子影, 张宇. 2011. 红外传感器用于断层气体测量[J]. 大地测量与地球动力学, 31(5): 156–159.
- Kop A, Ezer M, Bodur M N. 2014. Geochemical monitoring along the Türkoglu (Kahramanmaraş) – Gölbasi (Adıyaman) segments of the East Anatolian Fault system [J]. Arab J Sci Eng, 39 (7): 5521–5536.
- Caracausi A, Italiano F, Martinelli G, et al. 2005. Long-term geochemical monitoring and extensive/compressive phenomena: case study of the Umbria Region (Central Apennines, Italy) [J]. Annals of geophysics, 48(1): 43–53.
- Chen S, Liu P, Liu L, et al. 2016. Bedrock temperature as a potential method for monitoring change in crustal stress: Theory, in situ measurement, and a case history [J]. J Asian Earth Sci, 123 (1): 22–33.
- Italiano F, Martinelli G, Bonfanti P, et al. 2009. Long-term (1997–2007) geochemical monitoring of gases from the Umbria–Marche region [J]. Tectonophysics, 476(1–2): 282–296.
- Kulongsoski J T, Hilton D R, Barry P H, et al. 2013. Volatile fluxes through the Big Bend section of the San Andreas Fault, California: Helium and carbon–dioxide systematics [J]. Chemical Geology, 339: 92–102.
- Liu C G, Chen X L, Fan J Y, et al. 2016. Data application of China earthquake monitoring networks in landslide field [C]. Proceedings of the 4th academic conference of geology resource management and sustainable development, China. Aussino Academic publishing house, 836–841.
- Camarda M, Gregorio S D, Capasso G, et al. 2019. The monitoring of natural soil CO₂ emissions: Issues and perspectives [J]. Earth – Science Reviews, 198(5): 102928.
- Matsumoto N, Koizumi N. 2013. Recent hydrological and geochemical research for earthquake prediction in Japan [J]. Natural Hazards, 69 (2): 1247–1260.
- Wang H, Zhang L, Wang Y X, et al. 2021. New-designed in-situ measurement system for radon concentration in soil air and its application in vertical profile observation [J]. Journal of Nuclear Science and

- Technology, 59(2):222–229.
- Zhou X C, Yan Y C, Fang W Y, *et al.* 2021. Short-term seismic precursor anomalies of Hydrogen concentration in Luojishan Hot Spring Bubbling Gas, Eastern Tibetan Plateau[J]. *Frontiers in Earth Science*, 8:1–12.
- DB/T 20.2—2006, 地震台站建设规范 地下流体台站 第2部分: 气氦和气汞台站[S].
- DB/T 32.1—2020, 地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第1部分: 压力式水位仪[S].
- DB/T 49—2012, 地震地下流体观测方法 井水和泉水温度观测[S].

Analysis and Prospect of Seismic Subsurface Fluid Monitoring in China

LIU Chunguo¹, YAN Rui¹, FAN Chunyan¹, CHEN Zhi², TAO Zhigang¹

(1. *China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China*)

(2. *Institute of Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China*)

Abstract

The development and existing problems of seismic subsurface fluid monitoring network layout, observation technology, detection technology and network management in China are summarized and analyzed, and the progress of new technologies and methods for geothermal observation and digital underground gas observation are introduced and discussed. In view of the main problems, combined with the development trend and the frontier exploration work, in order to meet the needs of seismic monitoring and tracking in the key earthquake monitoring and preparedness areas in China in the next ten years, the development direction and priorities of subsurface seismic fluid monitoring in China in the future are put forward.

Keywords: subsurface fluid; earthquake monitoring; analysis of current situation; prospects