黄仁桂,肖健,李雨泽,等.地震氡观测仪检测平台的设计初探[J].地震工程学报,2018,40(增刊):163-169.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.163

Huang Rengui,Xiao Jian,Mao Hua,et al.A Preliminary Study of the Design of Emanometer Measurement Platform in Earthquake Monitoring[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(Supp):163-169.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.163

地震氡观测仪检测平台的设计初探

黄仁桂[1,2], 肖 健[1,2], 李雨泽[1,2], 赵 影[1,2], 陶 鑫[1,2],
周红艳[1,2], 刘耀炜[3], 黄 凡[4]

(1. 江西省地震局, 江苏 南昌 330039; 2. 地震氡观测仪器检测平台,江苏 南昌 330039
3. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085; 4 东华理工大学, 江苏 南昌 330013)

摘要: 地震氡观测仪检测平台是"十三五"地震地下流体学科观测仪器检测平台的重要组成部分,是地震流体学科第一个检测平台。本文对其设计理念、建设内容进行介绍。平台校准单元设计符合《测氡仪检定规程 JJG825-2013》技术要求,氡浓度的测量范围达到 800～15 000 Bq/m^3,扩展不确定度达到 8%(k=2),72 h 稳定性优于 5%,检测单元设计将承担新研发仪器和复检仪器的性能检测与质量评估工作。整个平台建成后,将满足全国正在运行的地震氡观测台网 300 多项氡观测仪的校准需求,为每年 30～50 套氡观测仪提供更新或新建氡观测台站的仪器提供性能检测服务,保证地震行业氡观测质量。

关键词: 氡观测仪; 检测平台; 校准单元; 检测单元

中图分类号: P315.72 **文献标志码**:A **文章编号**: 1000-0844(2018)增刊-0163-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.163

A Preliminary Study of the Design of Emanometer Measurement Platform in Earthquake Monitoring

HUANG Rengui[1,2], XIAO Jian[1,2], LI Yuze[1,2], ZHAO Ying[1,2],
TAO Xin[1,2], ZHOU Hongyan[1,2], LIU Yaowei[3], HUANG Fan[4]

(1.*Earthquake Agency of Jiangxi Province, Nanchang* 330039, *Jiangxi*, *China*;
2.*Seismic Radon Observation Instrument Testing Platform, Nanchang* 330039, *Jiangxi*, *China*;
3.*Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing* 100085, *China*;
4.*East China Institute of Technology, Nanchang* 330013, *Jiangxi*, *China*)

Abstract: The design concept and construction content of a seismic emanometer measurement platform, the first testing platform for a seismological fluid subject, are introduced in the paper. The design of the platform calibration unit agrees with the technical requirements of JJG825-2013

收稿日期:2017-09-19

基金项目:地震科技星火计划项目(XH18025Y);中国地震局监测、预测、科研三结合课题(CEA-JC/3JH-161501);江西省地震局新世纪优秀人才项目(JXDZ-YXRC20163);东华理工大学核技术应用教育部工程研究中心开放基金(HJSJYB2015-8)

第一作者简介:黄仁桂(1986-),男,江西高安人,硕士,工程师,主要从事地震监测预报工作。E-mail:511419387@qq.com。

Verification Regulation of the Radon Measuring Instruments. The measurement range of radon concentration is 800～15 000 Bq/m^3, and the expanded uncertainty reaches 8% (k=2). The detection unit can test the performance and evaluate the quality of the new R & D instruments and the reinspection instruments. When of the whole platform is designed, it will meet the calibration requirements of more than 300 radon observatories in the earthquake radon observation network, and will be used for performance testing in 30～50 sets of radon observatories per year to ensure the quality of radon observation in the earthquake industry.

Keywords: emanometer; detecting platform; calibration unit; detection unit

0 引言

地震多、分布广、灾情重、影响大是我国的基本国情。随着经济社会发展,地震灾害风险不断升高。2016 年,习近平总书记在河北唐山调研时提出的“两个坚持”“三个转变”的新思想新理念新战略,为新时期做好防灾减灾救灾工作指明了方向[1]。随后,中共中央国务院印发《关于推进防灾减灾救灾体制机制改革的意见》,提出“要加强基础理论研究和关键技术研发,着力揭示重大自然灾害及灾害链的孕育、发生、发展、演变规律,分析致灾成因机理。”这些都对我国地震科学研究提出了新的更高要求,需要进一步提高地震监测数据的可靠性,夯实监测预报工作基础,强化震情监视跟踪工作[2]。因此国家“十三五”防震减灾规划中将监测技术基础平台建设作为重要内容之一,以提高监测预报基础能力。

目前,地震系统氡观测仪主要采用固体氡气源进行校准,但固体氡源存在运输不便、操作复杂等问题,造成氡观测仪无法实现全国统一校准[3],对观测资料质量产生了严重影响。我国环保部门、国土资源部门、核工业、教育系统等建有自己行业需求的氡观测技术检测平台及相关标准氡室[4],主要服务于大气、环境、地表水或铀矿探测等非连续氡观测设备的检测与校准,而地震系统氡仪器主要是对深层地下水(或温泉)、断裂带气体等氡浓度进行连续观测,具有浓度高、量值变化范围宽、样品湿度大等特点,系统外氡室难以满足地震氡观测台网高精度氡仪器的校准需要[5-7]。

氡观测是国际上公认的地震监测手段之一,也是我国地震观测台网中最重要的测项之一。图1为

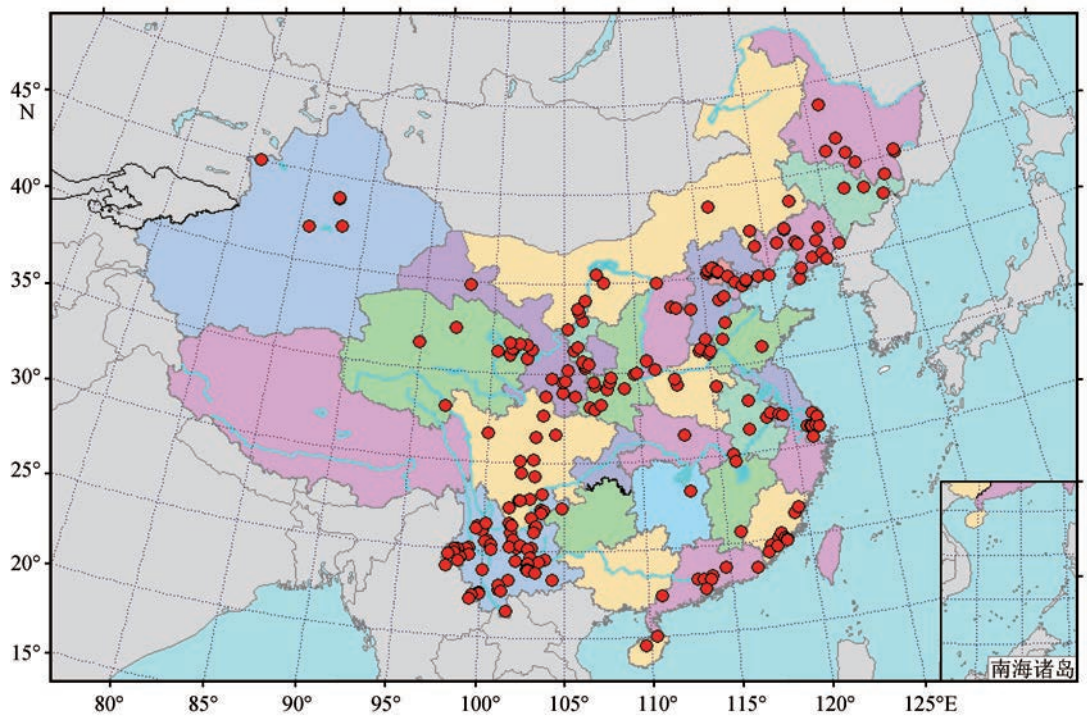

图 1 全国地震氡观测台网分布图

全国地震氡观测台网分布图，它们在地震趋势分析与短临震情研判中发挥着重要作用[3]。地震氡观测作为一个完整的观测系统，由观测仪器、恒流、脱气集气装置等构成，任何一个环节都会对观测数据的稳定性、可靠性产生影响[8]。因此地震系统有必要开展各种类型测氡仪器的中试、入网性能检测、脱气装置效能检验等工作，实现从恒流、脱气、集气到仪器比测、入网的全方位检测，以保证氡观测数据的稳定性、可靠性，从而推动地下流体观测技术的发展[9-10]。

地震监测氡观测仪检测平台的设计可以保障氡观测仪的观测数据准确、可靠和仪器长期稳定，带动我国氡观测新技术的发展，提升地震监测基础能力，因此建设地震氡观测仪检测平台对于提高地震监测预报基础非常必要。

1　平台目标

建设一个既满足仪器性能检测需求，又兼顾监测能力提升和监测方法探索，开放式的地下流体及氡观测仪器检测平台，为仪器研发、地震监测预报与科学研究提供服务与支持。设计目标具体包括：(1)承担地震行业氡观测仪器校准工作；(2)承担新型氡观测仪器的实验与测试任务，为建立氡观测仪器检测体系提供实验测试；(3)开展氡观测仪器入网运行前的性能检测与质量评估，针对全国观测台网不同的观测条件，开展实验研究并提出解决方案；(4)建成地下流体学科各类观测技术创新研究、人才培养与学术交流基地。其中建设实施目标为：

(1) 在南昌市江西省防震减灾应急指挥中心二楼，建设面积 71 m^2 氡观测仪校准单元，配置相关仪器设备与技术系统，可同时进行 3 台主动式和 4～6 台被动式测氡仪的校准；

(2) 在九江地震台观测楼一楼建设面积 185 m^2 氡观测仪检测单元，配置相关仪器设备与技术系统，可同时进行不超过 10 台测氡仪连续在线实时检测。

2　平台设计方案

地震监测氡观测仪检测平台的工作应紧密结合平台长期发展目标，氡计量标准溯源至国家氡计量一级标准。同时分片区建立三级计量站，通过仪器传递方式溯源至本校准单元氡室，最终实现地震行业氡观测仪器计量统一。在野外台站环境下，配置标准氡观测仪和脱气-集气装置，针对氡观测系统的稳定性、适应性和一致性开展性能检测与试验工作，野外检测平台可进行地下流体研究。整个平台的功能框架如图 2 所示。同时以检测工作为基础，分析观测资料的变化，开展基于室内校准与野外台站检测相结合的氡观测技术方法的创新实验研究工作，为深化地震前兆异常信息认识，加强地震前兆信息判别，创新地震监测方法提供支撑。

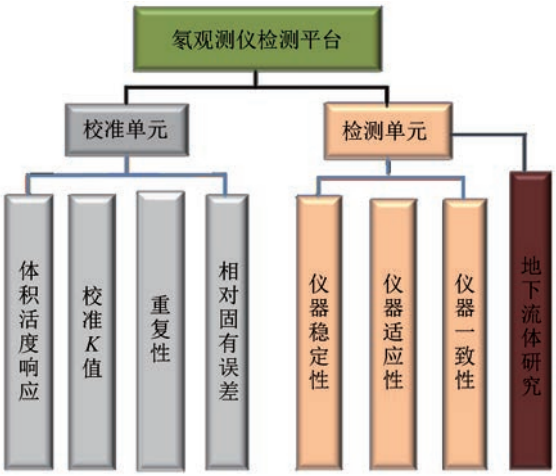

图 2　地震监测氡观测仪检测平台功能架构图

校准单元计量性能要求：

(1) 重复性：测氡仪重复性不大于 15%；

(2) 体积活度响应：测氡仪的体积活度响应达到仪器使用说明书规定的指标，年偏移量不超过±20%；

(3) 相对固有误差：测氡仪的相对固有误差应不超过±20%。

检测单元检测性能要求：

(1) 稳定性：待入网测氡仪、复检新入网测氡仪在温度、湿度变化下，仪器的标准偏差不大于 20%；

(2) 适应性：待入网测氡仪、复检新入网测氡仪在野外检测环境工作 3 个月，体积活度响应变化不超过 10%；

(3) 一致性：待入网测氡仪、复检新入网测氡仪与标准测氡仪进行串联检测，一致性偏差不超过 15%。

检测仪器在连续 3 个月的台站实验观测中未出现因雷电、交直流切换变、振动等环境因素引起的明显异常变化，则认定具有一定的抗干扰能力。

地震监测氡观测仪检测平台由氡观测仪校准单元和氡观测仪检测单元两部分组成。主要检测内容有仪器校准、仪器检测、地下流体观测、水氡观测等。地震监测氡观测仪检测平台建设框架如图 3 所示。平台校准单元、检测单元统一配置吊顶、抽排气和空调等设施，各检测室之间采用玻璃墙进行分割。实

验室必须具有较好的密封性，以保证空气流动、相对恒温恒湿等条件，检测环境需满足有关实验室标准技术要求。

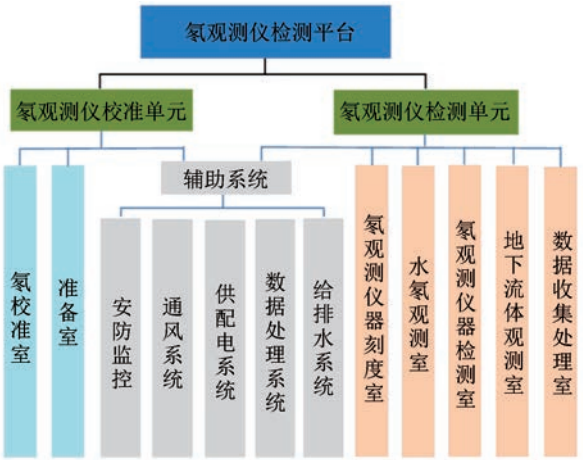

图 3 地震监测氡观测仪检测平台建设框架图

平台业务运行将采用地震氡观测检测平台软件系统。该系统实现功能主要包括多台测氡仪的数据采集、存储、显示、分析及上传等，软件系统能够自动接收仪器采集的数据并存入数据库，能够监测仪器工作状态，做到数据准确接收并存储、仪器状态实时监控及仪器出错及时汇报，最后统计分析仪器工作的稳定性指标。

2.1 校准单元设计方案

本单元建设地点为江西省防震减灾指挥中心二楼。建设4 m^3 标准氡室，使用P2000Pro作为氡计量标准定值设备，配置氡发生器、废气处理系统、数据收集处理系统、通风系统、给排水系统等。针对规划目标及中心布局特点，将整个氡观测仪校准单元规划为“校准室”和“准备室”两个房间，中间设置玻璃观察窗。除氡室箱体和温湿度控制主机箱外，还配置了通风厨、化学实验台、干燥箱、检测工作台等附属设施，以保证仪器校准与系统日常维护工作的顺利进行。其布局如图 4 所示。其具有以下特性：

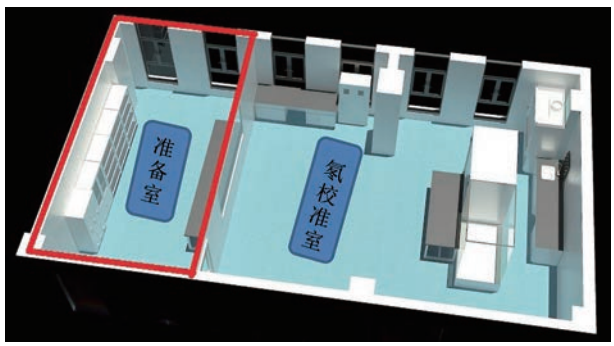

图 4 氡观测仪校准平台效果设计图

(1) 氡观测仪校准单元(氡室)计量标准溯源至中国计量院测氡仪检定装置，通过便携式测氡仪校准器(微型氡室)传递到各观测台站，最终实现地震行业氡观测仪器量值统一，形成地球化学氡观测数据区域成网的观测和数据对比分析。对氡观测仪进行离网校准，为仪器提供定期的计量准确性保障，建成后力争与国家标准进行衔接传递。氡观测仪校准方案设计如图 5 所示。

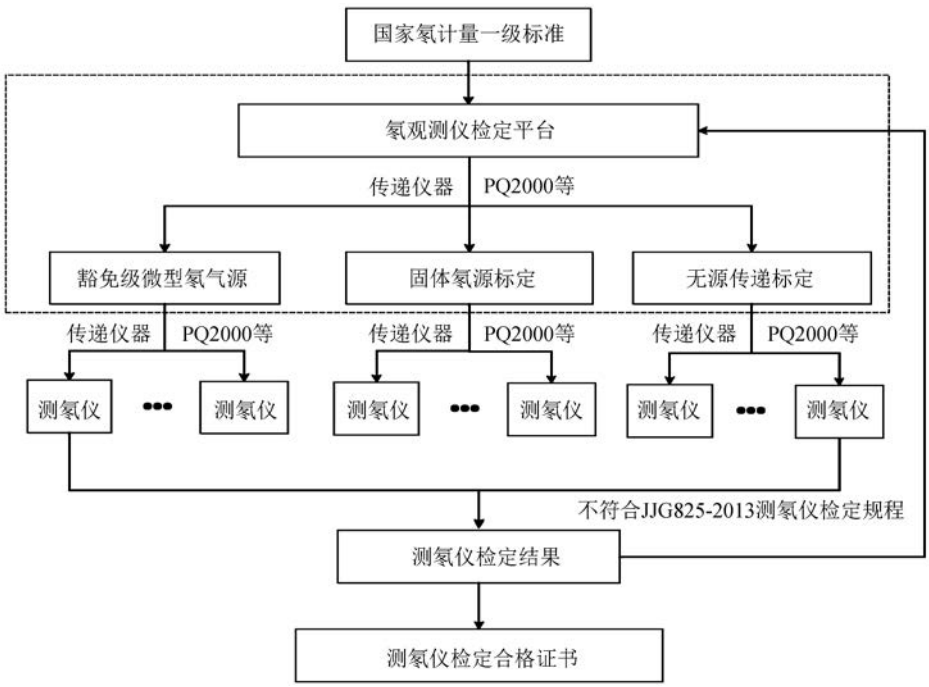

图 5 氡观测仪校准方案设计图

（2）氡室可在密闭空间里产生稳定浓度的氡气，为测氡仪器提供校准所需的标准。氡室由 4 m^3 的密闭箱体、固体氡发生器、降氡排放系统、输补氡气路装置、氡室控制及软件系统及电源等组成，形成基于氡室的测氡仪校准单元。本校准单元满足国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范 GB50325-2001》和《室内空气质量标准 GB/T18883-2002》中对室内空气氡浓度检测仪器、设备、装置进行校准的要求，可同时进行 3 台主动式和 4～6 台被动式测氡仪的校准。

（3）测氡仪校准单元整体设计合理，具有吸附氡少、抗压、可视、防静电等特点；氡浓度采用动态稳定方式，以微控制器为核心，能连续自动进行氡浓度调节，具有误差小、稳定性好等特点；控制软件采用计算机软件自动控制全过程，操作简单，且扩展性好。

（4）满足《测氡仪检定规程 JJG825-2013》技术要求。氡浓度的测量范围达到 800 ～ 15 000 Bq/m^3，扩展不确定度达到 8%（k＝2），72 h 稳定性优于 5%。

2.2　检测单元设计方案

该单元从九江台 2# 井引流至江西省九江地震台监测楼一楼开展氡观测仪检测任务，采用 P2000F 作为对比仪器，使用温湿度控制箱来模拟不同工作环境，并配备微型氡室，形成氡观测仪器检测体系。在标准仪器、微型氡室等设施的辅助下，通过模拟不同的观测环境，开展氡观测仪器稳定性的检测。氡观测仪检测单元，经设计改造为包含氡观测仪测试室、氡观测仪刻度室、水氡观测室、地下流体观测室、数据分析处理室和温湿度环境实验室在内的完整流体观测与仪器检测平台。其布局如图 6 所示。其具有以下特性：

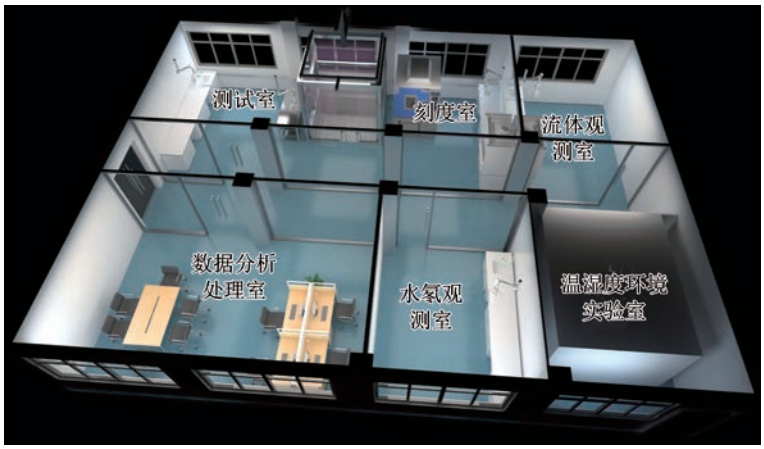

图 6　氡观测设备野外检测单元设计效果图

（1）检测单元以建成地震行业氡观测系统检测平台和观测技术创新、交流中心为目的，承担新型氡观测仪的检测、实验任务，为建立氡观测仪检测体系提供技术指标；开展氡观测仪入网运行前的性能检测与质量评估，针对全国观测台网不同的观测条件开展实验研究。建成后可开展氡观系统稳定性和可靠性检测以及各类氡观测仪比测（中试）工作，同时也可开展氡观测技术的相关实验研究与交流工作，寻找不同仪器的差异以及差异来源，针对不同仪器提出适宜的观测环境，给仪器采购部门提供真实客观的参考意见。氡观测设备野外性能检测单元构成图与氡观测设备检测方案设计分别见图 7、图 8。

（2）氡观测仪测试室：氡观测仪入网前进行长时间试验，以检验仪器稳定性、准确性等重要指标，保证入网仪器的高可靠性。大型自流水槽提供稳定水源，满足 3 套脱气装置用水需求；稳流装置和多路

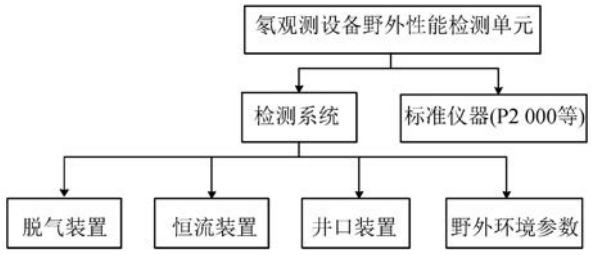

图 7　氡观测设备野外性能检测单元构成图

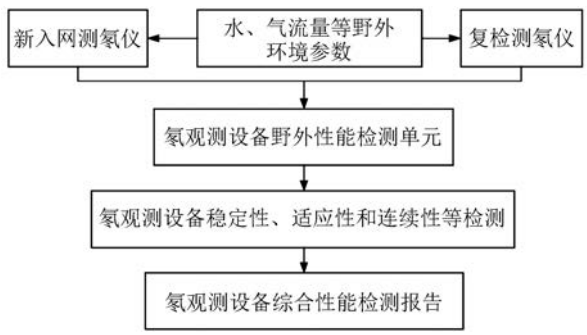

图 8　氡观测设备性能检测方案设计图

脱气装置进行水气分离,气流量达到 1 L/min,可供多台(10 台以内)测氡仪器进行稳定性、适应性、一致性测试;PQ2000PRO 测氡仪提供标准实验数据参考;高低温湿热箱能构造仪器在多种工作条件下(水气比参数、温度、湿度等)的测试,以对待入网和复检仪器进行性能检测,其效果如图 9 所示。

图 9 检测单元氡观测仪测试室效果图

(3) 氡观测仪校准室:配备了豁免级微型氡气源和标准测氡仪器,可进行氡观测仪的现场校准,用于氡观测仪准确性的日常检验(仪器的计量校准仍需送到校准单元完成),在精密空调环境进行作业,构成仪器刻度系统。

(4) 水氡观测室:从九江 2# 井水氡进行日常取样和观测,同时配合氡仪器检测单元开展传递标定、水氡自动化观测等相关氡观测技术实验研究工作。

(5) 地下流体观测室:提供稳定监测环境,使用现有的三套水化学观测仪(SD-3A 测氡仪器、RJ-BQZ 测汞器、ATG-6138M 测汞器)为井水变化提供辅助观测,同时开展地下流体日常观测。

(6) 数据分析处理室:配备办公设备、数据收集处理系统(其中台式机放置于数据分析处理室,机柜、服务器、核心路由器放置于二楼机房)、大屏显示系统和综合管理软件,用于收集、存储、处理、显示检测仪器数据和日常工作处理。可对所有被测仪器的数据进行统一的实时采集,经存储和处理后采用图表形式或动态显示在大屏系统上,供检测人员分析研究。

温湿度环境实验室满足对仪器环境温度和湿度实验的要求,检测单元能够承担新研发仪器和复检仪器的性能检测与质量评估工作,平台具备开展新方法的实验研究,获得的观测数据和分析结果为制定相关标准、规程提供了重要的科学依据。

3 运行与管理

依据中国地震局相关管理办法的规定,结合地震行业氡观测检测工作实际,制定地震氡观测检测平台管理办法,对日常管理、操作规程、技术要求、对外服务、中试管理、运维保障等进行规范,以切实保障氡观测仪校准单元、氡观测仪检测单元的技术系统和各类仪器设备运行规范有序。

(1) 平台由江西省地震局直属事业单位(中心)负责管理、运行、维护。平台具体实行由江西省地震局党组领导下的中心主任负责制,参照省级重点实验室管理的有关规定,积极贯彻“开放、流动、联合、竞争”的运行管理方针,为国内地下流体的专家学者及工程技术人员提供氡仪器检测实验、地下流体相关环境试验及学术交流等。平台在运行管理与开放合作机制方面积极探索,通过边建设、边研究、边开放的方式,凝聚一批高水平的专家与学者,取得若干重要的成果,培养一批高素质的地下流体观测人员。

(2) 平台日常运行管理。平台管理实行主任负责制(平台设主任 1 名,副主任 2 名),其负责组织协调氡观测仪学科校准和检测任务、流体学术交流研究、申报科研课题,负责客座研究人员的管理,运行经费的使用管理,设备的更新、引进以及协调各研究方向的合作,负责平台用房调配,为科研以及办公提供良好的环境;2 名副主任分别负责校准单元和检测单元日常管理,各个单元检测任务和流体学术研究、申报科研课题,运行经费的使用管理,设备的更新、引进以及协调各研究方向的合作,负责各单元科研以及为办公提供良好的环境。平台另设主任助理 1 名,协助主任处理学术方面的日常管理工作。

(3) 建立和落实平台的各项规章制度。平台需建立相对完善的规章制度,对人、财、物、科研及服务等进行全面管理。平台在筹建阶段制定有相应的“平台管理暂行办法”“平台专项费用暂行管理办法”“平台行政暂行管理条例”“平台流动人员暂行管理办法”“平台仪器设备暂行管理办法”等。平台设专职人员 11 名(校准单元 6 名、检测单元 5 名,含主任和副主任等),承担平台的日常运行管理、校准和检测工作、文件档案管理、仪器设备管理等。

(4) 构建和谐进取的平台文化。平台的兴旺与发展与其是否具有良好的文化氛围有着密切的关系,在保证各项规章制度落实的前提下,平台注重人性化的管理,提倡团结进取、合作共享的团队精神,通过学术研讨、合作攻关以及各种文体活动吸引人,培养人。

(5) 人员聘用及流动。江西省地震局将通过台站选拔优秀地下流体观测技术人员和对外招聘核技

术研究方向的研究生等组成平台固定人员。平台将注意稳定一支高水平的技术队伍，注重引进高级人才，以国内流体专家为顾问，充实各研究方向或新创相关研究领域。建立相应的工作人员岗位业绩考核制度，考核结果与科研津贴挂钩，连续三次考核不合格者，平台将名单上交局党组作流动待聘人员处理。“竞争与合作”相结合的考核制度将有利于保持平台人员的先进性与活力。

(6)仪器设备管理与使用。实验仪器的管理与维护是平台的基础工作，平台的副主任负责对仪器设备的日常管理，技术人员负责设备的维护。对于所有 10 万元以上的设备均分配到专人管理，以负责设备的保养以及对使用人的培训等。每个大型设备均有独立的设备档案，来记录设备的状态以及使用情况。平台将制定详尽的“平台仪器设备管理办法”，以保证设备的完好、共享和对外开放。

4　平台发展展望

平台建成后，可改变当前固体氡气源严格受管制、不便运输的现状；可与“非氡气源(或称无源)”标定有机结合，建立地震行业氡观测仪校准体系，满足地震行业氡观测不同浓度校准的需求；可开展地震系统氡观测仪的统一校准工作、对氡观测设备工作性能(可靠性、稳定性)进行入网观测前的统一检测(中试)、入网观测后的统一维护工作，以实现氡观测仪校准、新进网仪器检测与中试的规范化、标准化。同时开展氡观测仪校准、检测、维护等工作，可促进相关观测技术的学习交流和人才培养，提升行业氡观测的技术水平。平台建成后可为地震行业氡观测标准的制定提供观测实验结果，推动地下流体氡观测技术的发展，为监测预报和科技创新提供技术支撑平台。

平台展望如下：

(1) 局、校合作发展。充分发挥东华理工大学在核技术应用领域的优势，通过多种手段加强局、校相关学科的合作，同时加强与其他院校合作机制，联合建立实验室等。建立局内的紧密型或松散型的合作团队，实现学科交叉与融合。

(2) 局、所合作发展。为保证平台在国内的先进性，加强与国内有关研究院所和平台的合作研究和交流，包括合作研究、成果、资料与资源共享等。平台欢迎国内学者自带课题入平台研究。平台建设初期与中国地震局地壳应力研究所有紧密的合作关系，建成之后将加强与相关研究院所的科研合作，为促进我国地震事业的发展贡献力量。

(3) 科研项目引领发展。平台实行开放流动的机制，开放课题分成定向公布及自由申请两类，第一类为平台当前的攻关方向，在开放课题指南中明确规定；第二类为自由申请课题，主要鼓励研究人员在与平台研究内容相关方向自由探索、创新。除开放课题外，平台还积极探索仪器设备，尤其是实验平台的对外开放，利用设备优势吸引国内外相关领域的优秀学者自带课题到平台，以平台资助仪器使用费的方式进行合作研究，促进学术思想和研究项目的交流。

致谢：文章撰写过程中得到中国地震局地壳应力研究所刘耀炜研究员、高小其研究员和东华理工大学王仁波教授、黄凡教授的悉心指导和帮助，在此表示感谢！

参考文献

[1] http://politics.people.com.cn/n1/2016/0728/c1024-28593193.html.

[2] http://www.docin.com/p-58235338.html?_t_t_t=0.748378015588969.

[3] 任宏微，姚玉霞，黄仁桂，等.地震监测氡观测仪器校准新方法研究[J].地震，2016，36(3)：46-54.

[4] 曹勇，唐桢，肖曙光，等.《空气中氡的标准测量方法》修订[J].中国辐射卫生，2014，23(4)：303-305.

[5] 任宏微，刘耀炜，孙小龙，等.单孔同位素稀释示踪法测定地下水渗流速度、流向的技术发展[J].国际地震动态，2013(2)：5-14.

[6] 刘耀炜，任宏微，张磊，等.鲁甸 6.5 级地震地下流体典型异常与前兆机理分析[J].地震地质，2015，37(1)：307-318.

[7] 张磊，刘耀炜，任宏微，等.氢氧稳定同位素在地下水异常核实中的应用[J].地震地质，2016，38(3)：721-729.

[8] 黄仁桂，肖健，赵影，等.新气氡观测方法实验研究[J].现代科学仪器，2016(1)，103-107.

[9] 任宏微，姚玉霞，周红艳.测氡仪标准仪器校准法的条件研究[J].地震，2017，37(3)：148-155.

[10] 张磊，高小其，包创，等.呼图壁地下储气库构造气体地球化学特征[J].地震地质，2018，40(5)：1059-1071.