

陈贵美, 谭争光, 刘锦. 广东地震地下流体监测网质量与效能分析[J]. 华南地震, 2024, 44(3): 23-32. [CHEN Guimei, TAN Zhengguang, LIU Jin. Quality and Efficiency of the Guangdong Seismic Underground Fluid Monitoring Network [J]. South China journal of seismology, 2024, 44(3): 23-32]

广东地震地下流体监测网质量与效能分析

陈贵美, 谭争光, 刘锦

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要: 依据流体学科相关评价标准, 从广东地下流体观测网观测环境、观测仪器、观测质量和预测应用方面着手, 结合地下流体学科台网中心提供的台站网运行监控和质量监控情况, 对地下流体观测网每个观测站的观测环境、仪器的运行情况、观测仪器产出的数据的质量及其预测应用情况进行了评估。结果显示, 观测站观测环境满足二类台站居多; 观测数据运行率为优秀者占比: 水位、水温和氡各为 77.8%、63.6% 和 100.0%; 流体仪器数据完整率全部为优秀; 预测应用效能井水位和氡均为良好, 水温有 88.9% 为良好。通过评估, 较全面地分析了广东地下流体观测网存在的问题, 并针对存在的不足提出改进措施及建议。

关键字: 地下流体观测网; 观测仪器; 观测环境; 监测效能

中图分类号: P315.723

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)03-0023-10

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.03.03

Quality and Efficiency of the Guangdong Seismic Underground Fluid Monitoring Network

CHEN Guimei, TAN Zhengguang, LIU Jin

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

Abstract: According to the relevant evaluation standards of fluid science, the underground fluid observation network in Guangdong was studied in terms of observation environment, observation instrument, observation quality, and predicted application. Combined with the operation monitoring and quality monitoring data of the station network provided by the China Earthquake Network Center, the observation environment, instrument operation, the quality of the data produced by the monitoring instruments, and the predicted application of each observation station in the underground fluid observation network were evaluated. The results show that the majority of stations satisfy the second-class station requirements for the observation environment. The proportion of excellent observation data operation rates is as follows: water level, water temperature, and radon are 77.8%, 63.6%, and 100.0%, respectively. The data completeness of all fluid instruments is rated as excellent. The predicted application efficacy for well water level and radon are both good, with 88.9% of water temperatures being rated as good. Through the evaluation, a comprehensive analysis of the issues existing in the Guangdong underground fluid

收稿日期: 2023-10-22

基金项目: 广东省地震局青年地震科学基金(GDDZZ202404)

作者简介: 陈贵美(1969-), 女, 高级工程师, 主要从事地震监测、数据处理及分析工作。

E-mail: 417540683@qq.com

monitoring network is conducted, and improvements along with suggestions are proposed for these shortcomings.

Keywords: Underground fluid observation network; Observation instruments; Observation environment; Monitoring efficiency

0 引言

地震地下流体观测一直是地震地球物理观测的重要监测手段,在地震监测预报中发挥了重要作用。广东省地震地下流体的观测已有几十多年的历史,许多研究者在井水位、水化学正常与异常动态变化分析,固体潮加御载响应比分析,水位、水温同震响应及其机理研究等方面开展了大量研究工作,得到一些研究成果^[1]。而以往的研究触及观测质量与监测效能分析评估的工作较罕见。本文选取2019—2021年纳入区域台网库的流体观测资料(主要是水位、水温、氩),从观测环境、观测仪器、观测质量和预测应用等方面进行统计与分析,在此基础上对广东地下流体观测网监测效能进行分析及评价。

广东省地下流体观测工作最早开始于1970年底的地下水氩观测,于此同时,也进行了群众性的地下水位、水温的观测(而较连续、专业性的观测始于1978年5月),地下流体的数字化观测始于1999年^[2]。经过40余年的建设、改造,广东地震地下流体观测逐步形成了现有的地下流体地震前兆观测系统。在几十年连续观测中,广东省地震地下流体前兆观测台网为地震预报与科学研究提供准确、可靠、连续、及时的资料,也为流体各测项异常的核查和落实以及干扰异常的排除和地震异常的提取提供基础数据支撑。

1 地下流体观测网概况

广东省地震地下流体观测网包括水位、水温、氩、离子等多个观测项目,目前用于日常分析预报与科研共16个观测站。截至2021年12月,给中国地震前兆台网报数、纳入地下流体学科管理的台站共12个;人工和数字化观测仪器有42套,其中人工观测19套,数字观测23套;16套人工仪器有30多年观测资料;10套数字化仪器有10多年观测资料,13套未够10年观测资料(有些仪器是由于在记录过程中换新仪如阳江、阳西的2套)。广东省流体观测点基本情况见表1。流体观测项目有46

个测项,其中水位16个、水温12个、氩4个、离子14个,见表2。据2023年全省地震监测资源普查资料结果显示,市县级观测站尚有28个站点82套观测仪器未纳入中国地震前兆台网数据管理系统或区域级台网管理,其观测资料也不向省级台网报送。本文要评价的广东省流体观测台网观测项目主要为水位、水温和氩。观测站大多位于河源—邵武断裂、潮安—普宁、钱东—惠城断裂与古港—澄海、榕江断裂交切的菱形块体西南部、深圳五华断裂构造带上、乳源—寻乌地震带、吴川—四会、恩平—新丰、阳江—平冈断裂、茶山—闸坡断裂以及遂溪大断裂带上,站点各分布情况见图1。可见广东地下流体网的台站布设主要集中在粤东、粤西和珠江三角洲地区,西北部较稀少。

2 观测资料评估分析

本文依据学科组制定的流体学科监测效能评价标准。分别对观测环境、观测仪器、观测质量和预测应用给出了优秀、合格、基本合格和不合格的具体评价指标。结合地下流体学科台网中心的台网运行监控和质量监控情况,逐一对流体观测网的每个观测站的观测环境、每套仪器的运行情况、观测仪器产出数据的质量及其预测应用情况进行了评估。

2.1 观测环境

根据地震台站观测环境技术要求 DB/T 19531.4-2004、地震行业标准 DB/T 20.1-2006 和 DB/T 38-2010。流体观测站观测环境的评价标准为:满足一类台站建设标准为优秀;满足二类台站建设标准为合格;基本符合标准要求,观测干扰不显著为基本合格;不符合标准要求或观测干扰显著为不合格^[3-5]。

从广东省各站点评估情况来看,观测站观测环境均为合格以上,其中满足二类台站占多数,满足一类台站占比较少。汕头台东山湖井的水化,为全国水化基本台网一类台。信宜台1号井的水氩观测属国家Ⅱ类水化基本台网。

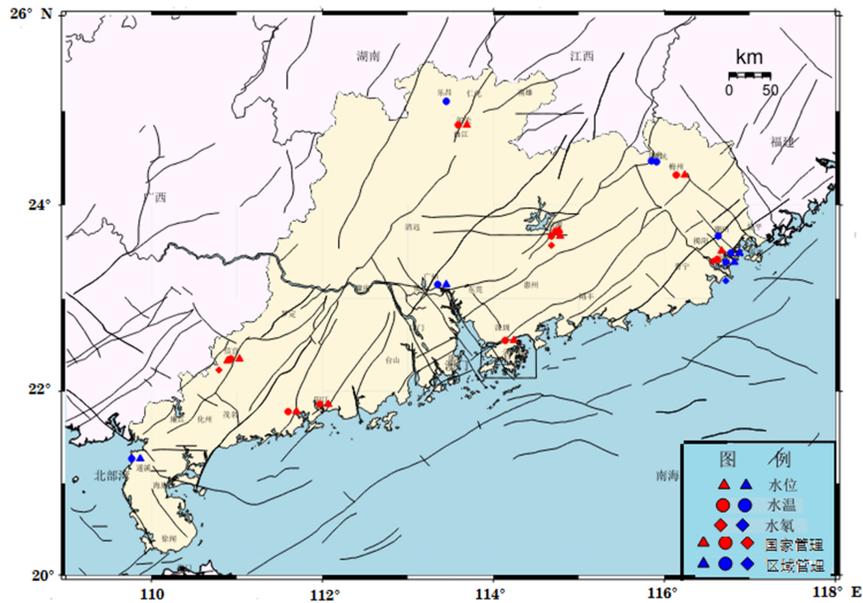


图1 广东地下流体观测点分布图

Fig.1 Distribution of underground fluid observation points in Guangdong

表1 各类流体设备基本情况

Table 1 Basic information of various fluid instruments

台站名称	观测项目	观测设备	观测类型	启用时间/年-月	设备套数
汕头台	水位	SWY-2 水位仪	数字	2014-02	6
	水温	SWL1-1 温度计	人工	1986-01	
	氡	FD-125	人工	1986-01	
	水质	DDS-11A 电导率仪	人工	1986-01	
	水质	PHS-2 酸度计	人工	1986-01	
	水质	SL-01 滴定管	人工	1986-01	
潮州台	水质	DDS-11A 电导率仪	人工	1980-04	2
	水质	SL-01 滴定管	人工	1981-01	
新丰江台	水位	SWY-2	数字	2007-06	4
	水温	SZW-2	数字	2007-04	
	水温	SWL1-1 温度计	人工	1970-01	
	氡	FD-125	人工	1997-01	
和平台	水位	ZKGD3000-NL	数字	2017-12	1
深圳台	水位	ZKGD3000-NL	数字	2014-10	3
	水温	ZKGD3000-NL	数字	2014-10	
	水温	SZW-1	数字	1999-05	
信宜台	水位	SWY-2	数字	2007-05	6
	水温	SZW-2	数字	2007-05	
	水温	SWL1-1 温度计	人工	1986-01	
	氡	FD-125	人工	1995-10	
	气体	BFS7510 气相色谱	人工	2015-10	
	辅助水温	XSF-40 流量	人工	1986-01	

(转下表)

(接表1)

台站名称	观测项目	观测设备	观测类型	启用时间/年-月	设备套数
梅州台	水位	SWY-2	数字	2007-03	2
	水温	SZW-2	数字	2007-03	
韶关台	水位	SWY-2	数字	2007-05	2
	水温	SZW-2	数字	2007-06	
广州台	水位	ZKGD3000-N	数字	2017-02	1
	水温		数字	2017-02	
汕头局	水位	ZKGD3000	数字	2017-06	7
	水温	ZKGD3000	数字	2017-06	
	氡	SD-3A	数字	2020-07	
	水位	SWY-2	数字	2014-10	
	水温	SZW-1A(2套)	数字	2014-10	
	气体	RG-BQZ智能测汞仪	数字	2014-10	
阳江局	水位	DSC- II (2套)	数字	2018-04	2
	水温		数字	2018-05	
湛江局	水位	SW40	人工	1983-09	4
	水温	SWL1-1 温度计(2套)	人工	1981-04	
	水质	SL-01 滴定管	人工	1981-04	
梅州局	水位	SW40-1	人工	1987-03	2
韶关局	水位	SW40-1	人工	1985-11	1

表2 流体测项情况

Table 2 Fluid measurement items

观测项目	台站数	台项数		台项总数
		模拟	数字化	
水位	16	4	12	16
水温	12	2	10	12
氡	4	4	0	4
水质	4	14	0	14
合计	16	24	22	46

2.1.1 观测井孔

存在非地震观测专业改造井的问题。广东省的现有的纳入本次评估的观测井有22口,其中观测井深多数为100~500 m的中深井,共有16口,占评估井总是72.7%;小于100 m的浅井有4口,占18.2%;仅信宜1号井和韶关局仁化井(成井初的深度,现不详)2口为500 m以上。14口为省直属管辖井,8口属市县管辖井;以上井中,有19口为专业井,占86.4%,3口为地质队进行煤田、石油的勘探井(梅州局的驻坑、龙虎2口)或废弃的地质部门的工作钻孔井(韶关局仁化)改造。这些非专业井

大多井孔结构不符合地震流体观测的要求,成井资料缺失。这类井成井之初井深尚可,后被泥或其他杂物淤塞,造成井深变浅。如驻坑、龙虎完钻井深为497.44 m、628.04 m,现井深分别为381.11 m、338.86 m;仁化井套管接触基岩,隔位表土层,未灌水泥止水。

观测井孔老化问题亦比较严重。据统计,有50%以上的观测井启用时间超过30年,有些甚至超过40年。有些观测站如新丰江、阳江、阳西、梅州等,这些观测站虽然经过“九五”、“十五”数字化改造,但观测井孔基本没有进行必要的维护和

改造,老化严重,套管生锈、井壁破损、止水不良、井下淤泥堆积、井中杂物多,一些井孔实际井深大幅缩小,如上述的驻坑、龙虎井,影响了流体观测。

2.1.2 环境干扰

环境干扰主要来自于降水、地下水开采、地表水补给、灌溉、附近江河水位涨落等。浅井与深井的主要干扰因素不同,降雨成为浅井的主要干扰源,中深井主要受到农业灌溉和地下水开采影响等。

广东地下流体观测点因南方降雨量大,水位观测受降雨影响较多,尤其是新丰江、和平观测井,其观测含水层埋深较浅,封闭性较差,受降雨干扰

显著;地下水开采、地表水补给影响如梅州井水位自2018年底至2019年初在低位徘徊时间过长,2019年10月以后本该下降而未降反而高值加速上升。对比分析梅州井水位发现2017、2018年在4~8月雨季水位呈现的是下降的形态,水位的年最高点多在3~6月,并不在降雨最多的7~8月,而该井水位在2018年年底至2019年年初水位应该回升,至2019年3~6月间最高值后应下降,但2019年变形态完全打破,实际此时仍处于高值见图2。信宜因台站附近建筑工地施工干扰等影响,2018年底开始水位常出现急剧下降一回升情况,下降最大幅度有时达2.8 m(见图3),严重影响水位的观测质量,大大降低了观测资料的应用价值。

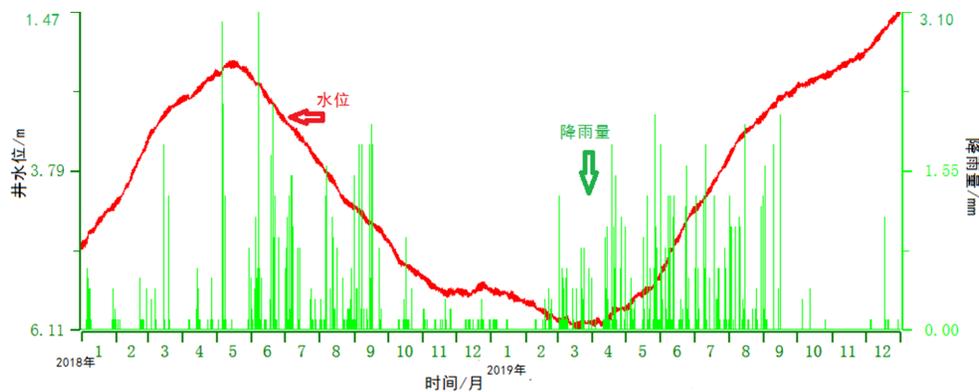


图2 梅州井水位与降雨曲线

Fig.2 Well water level and rainfall curve of Meizhou

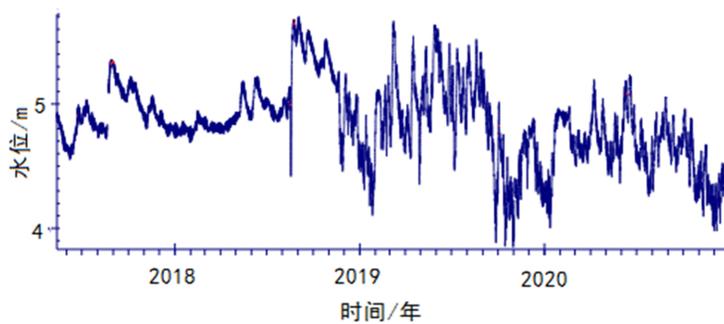


图3 信宜井水位2017—2020年时值曲线

Fig.3 Well water level curve of Xinyi from 2017 to 2020

2.2 观测仪器

评价观测仪器的依据主要是仪器的运行率。运行率达到99%以上为优秀;95%~99%为合格;90%~95%为基本合格;低于90%为不合格。统计2019—2021年的结果:水位、水温、水氡观测仪器优秀者占比分别为77.8%、63.6%、100.0%;合格者为22.2%、36.4%、100.0%,合格以上均为100%。

流体观测仪器问题主要为仪器老化、雷击等,导致故障率较高、维修时间较长。广东省人工观测的流体设备有些运行时间较长如:FD-125氡始于1986年;龙虎、驻坑SW40-1水位1987年开始观测。有些存在不同程度的老化、故障率偏高、零配件缺乏、维修困难等问题。一些“九五”“十五”数字化仪器如深圳井水温、阳江阳西井水位水温等经常受到雷击或稳定性较差,经常出现高频毛刺和

大幅度的脉冲变化、数据阶变等现象，给日常观测、资料分析和地震预测带来了一定的困难，而且故障维修时间较长，影响了运行率，建议对于经常出现故障的仪器配置备机、备件，保障台网的正常运行。

2.3 数据质量

地下流体的观测质量水平是观测数据的完整性、观测数据内在质量和台站运行管理水平的综合体现。根据地下流体观测资料质量评比办法(中震测函[2015]127号)，在2019—2021年年度全国或省级观测资料质量评比结果的基础上，再进行细化和量化。

据统计与分析，广东省大多数数据质量良好。部分观测站数据质量不佳的主要原因为观测井孔不符合要求、观测仪器故障及观测系统运行不稳定，受地表水体涨落、抽水、灌溉、降雨、施工等影响，其中降雨、施工是主要干扰因素。如新丰江、和平台的水位因观测井孔条件较差，常受降雨影响导致观测数据质量较差；信宜台水位自2018年底至今受台站附近工地施工影响，造成观测曲线不正常；汕头、深圳、阳江、阳西几个近海台站经常受强台风带来的强降雨影响，导致水位和水温数据质量下降。

2.3.1 数据的完整率

观测数据完整率是评价台站运行状况的综合

指标之一，其高低反映了仪器设备的故障率、仪器设备运行环境的优劣及台网管理的水平^[6](而台站观测人员的高度责任心和认真负责的态度也十分关键)。

统计2019—2021年的流体观测数据的完整率，结果显示数据完整率 $\geq 95\%$ 的观测仪器：水位占77.8%、水温90.9%；90~95%的观测仪器：水位占比为22.2%、水温占9.1%；水氢完整率均 $\geq 95\%$ ；无观测仪器产出数据的完整率低于90%”。

2.3.2 数据内在质量

观测资料的内在质量是评价观测资料使用价值的重要标志，所以要求观测站不仅能产出连续完整的资料，而且要产出真实可靠并包含有丰富地壳活动信息的数据序列^[7-8]。

(1)水位。采用M2波潮汐因子及其观测精度指标进行评价水位观测数据的内在质量。井水位的M2观测精度反映了井水位潮汐与体应变理论固体潮的相对误差，将观测精度分为优、合格和不合格三个等级，分别对应水位记录固体潮观测精度 $M2 < 10\%$ 、 $10\% \sim 20\%$ 、 $> 20\%$ ^[9](据学科评比)。对广东省纳入中国地震前兆台网数据管理系统的9套数字化水位仪进行统计分析，结果见图4，水位资料观测精度为优者有6个台站，为74.1%；合格者有新丰江井和韶关井2个，占14.8%，合格以上的观测井为88.9%；不合格观测井有和平井1个，占11.1%。

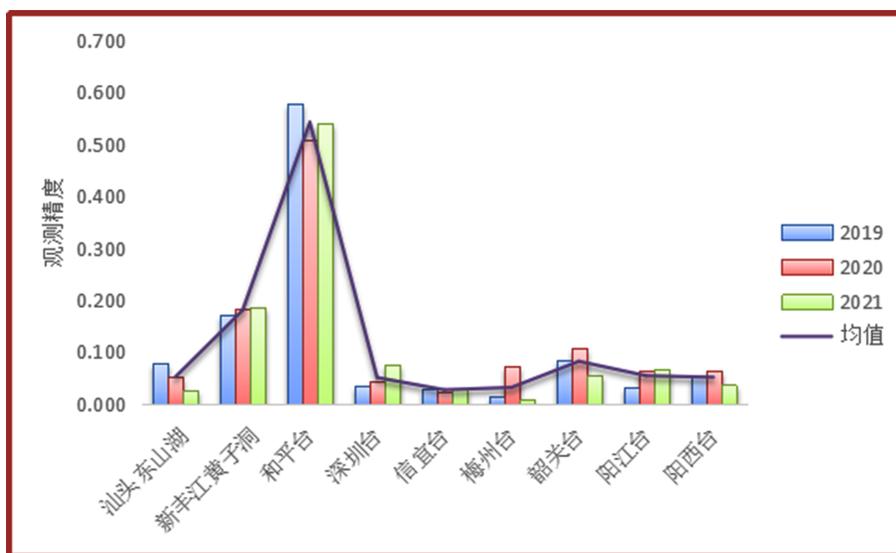


图4 水位观测精度图

Fig.4 Accuracy of water level observation

水位 M2 年潮汐因子相对来说比较稳定。以 2020 年为例进行统计分析。结果如图 5 显示,潮汐因子 M2 大于 1 的台站有 3 个:为汕头东湖井、信宜西江温泉 1 井、梅州井; $0.5 < M2 \leq 1$ 的有阳江、阳西 2 个;新丰江、深圳、韶关井小于 0.5。粤东地区汕头东湖井水位年 M2 潮汐因子最大,为 $2.0384 \text{ mm}/10^{-9}$;最小的是新丰江台,只有 0.0097。

(2)水温。依据水温一阶差分均方差 δ 和一阶差分序列超过 3 倍均方差的个数评价观测数据的动态稳定性和内在质量。按地下流体学科评比要求,水温一阶差分均方差应 ≤ 0.02 ,一阶差分序列超过 3 倍均方差的个数应 $\leq 1\%$ 。统计分析广东省 8 套数字

化水温仪,结果表明,一阶差分均方差 δ 均 < 0.005 ,其中新丰江黄子洞、韶关、阳江台 3 口井为 0,最高是深圳台 9 测点为 $0.004 \text{ } ^\circ\text{C}$,见图 6。得知广东省数字水温仪均高于学科要求,说明水温仪器动态稳定性较好,数据背景噪声的水平较小。以 2020 年为例统计分析一阶差分序列超过 3 倍均方差的个数得出,超过 3 倍均方差的个数在 0.5% 之内,均符合学科要求,其中最低的是黄子洞为 0.011%,其次是阳江台 0.012%,最高深圳台 9 测点是 0.468%。其结果见图 7。可得知水温数据突跳、阶变较少,数据内在质量较好。

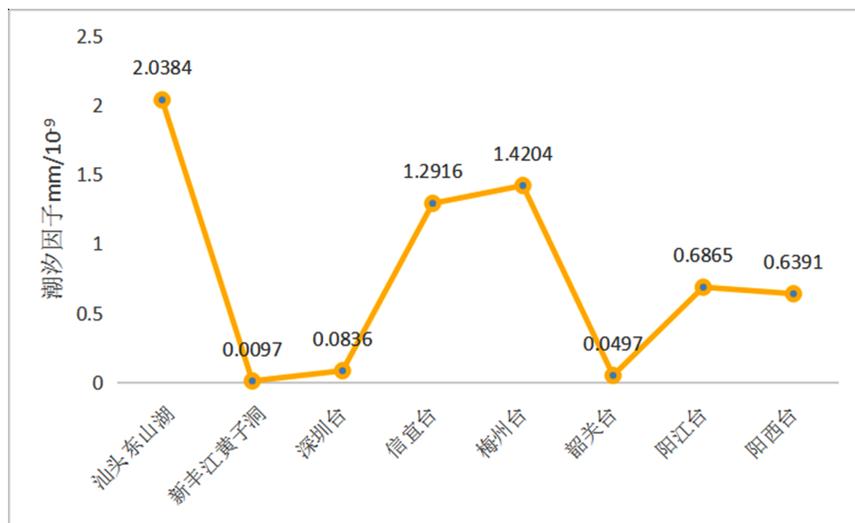


图5 水位潮汐因子图

Fig.5 Tidal factor of water level

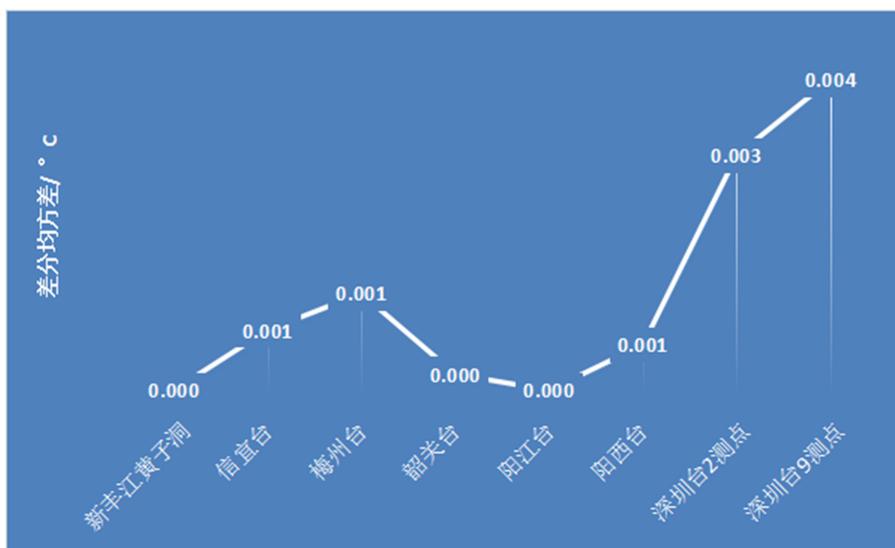


图6 水温差分均方差

Fig.6 Mean square error of water temperature difference

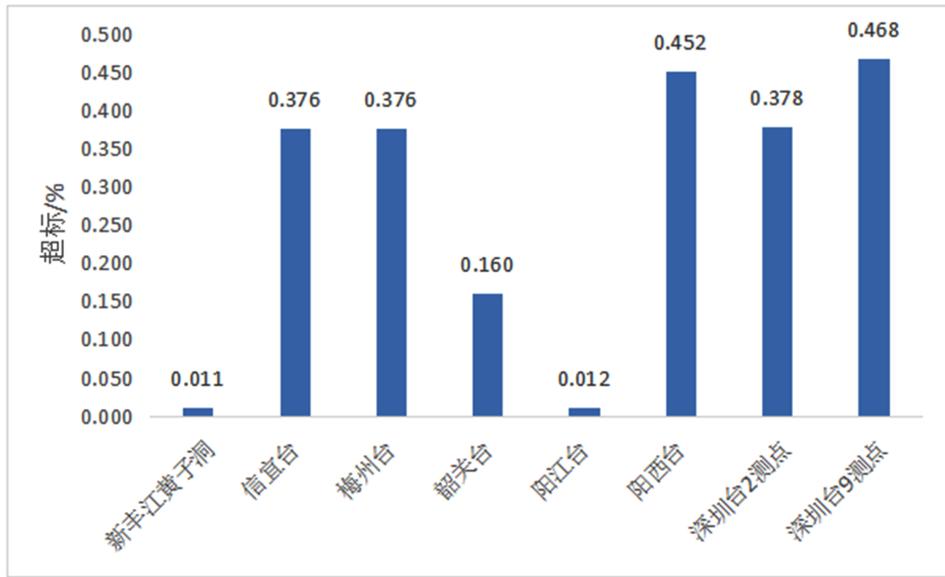


图7 水温一阶差分均方差超标百分比

Fig.7 Percentage of mean square error of first-order difference of water temperature exceeding standard

(3)氡。广东省氡观测主要评测汕头、新丰江和信宜3个模拟观测台站。观测精度按相对均方差 $\delta \leq 0.2$ 且动态较稳定,超标百分比 $P \leq 4$ 者为优秀。计算得出以上3台2019—2021年的平均相对均方差 δ 分别是0.074、0.051和0.014,全部 $\delta < 0.2$;从图8溶解气氡浓度日值观测曲线及表4列出的3台每年

的观测背景值,可得知变化不大,变化率在0.2%~3.6%之间,说明动态较稳定;3年超出3倍均方差总个数为9、11和9即 $P=0.8$ 、1.0和0.8,超标百分比 P 均小于4,具体见表3。表明汕头、新丰江和信宜3台氡质量均达到优秀以上。

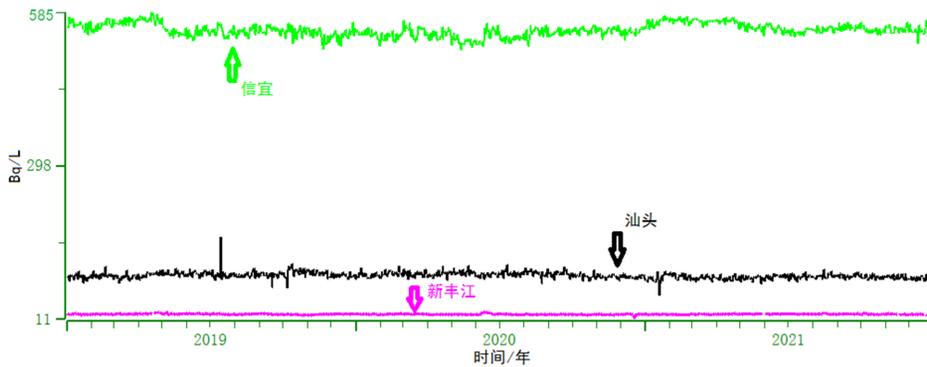


图8 信宜、汕头、新丰江3台2019—2021年溶解气氡浓度日值曲线

Fig.8 Daily value curves of dissolved radon concentration at Xinyi, Shantou, and Xinfengjiang stations from 2019 to 2021

表3 2019—2021年氡相对均方差 δ 和超出3倍均方差百分比 P

Table 3 Relative mean square error δ of radon and percentage P exceeding three times mean square error of radon from 2019 to 2021

台站	2019		2020		2021	
	相对均方差 δ	超标百分比 P	相对均方差 δ	超标百分比 P	相对均方差 δ	超标百分比 P
汕头	0.094	1.1	0.064	0.8	0.064	0.5
新丰江	0.055	0.8	0.054	0.5	0.045	1.6
信宜	0.016	0.8	0.015	0.5	0.012	1.1

表4 2019—2021年氡观测背景值

Table 4 Background value of Radon observation from 2019 to 2021

台站	观测背景值			平均
	2019	2020	2021	
汕头	93.46	94.036	88.72	92.07
新丰江	19.85	19.51	19.74	19.70
信宜	552.84	543.95	558.13	551.64

2.3.3 地下流体观测站运维管理

地下流体观测站运维管理:包括仪器日常运行监控与维护、计量标校、日常质量监控、数据预处理、数据上传、观测日志、数据跟踪分析等方面。经评估发现,观测站大多能够按照规范要求开展以上各项工作:大约有23.1%的观测站校测检查不规范或没有做。25%的观测站没有定期巡检。30.8%未按时做预处理或数据处理工作存在问题。87.5%的观测站能够做好数据跟踪分析和故障响应,仅有12.5%的观测站在数据分析和故障响应工作中存在问题。总体上讲,省直属台站数据运维管理做得较好,市县台在台站运行管理方面问题较多。

2.4 数据产品产出

观测站每日产出运行监控日报,每月4日前提交跟踪分析事件记录,5日前产出流体台站月报,每年1月10日前产出年度数据跟踪事件和数据跟踪年报,1月31日前产出台站运行年报。据统计,全省有7个观测站每日提交运行监控报告,9个站点每月提交跟踪分析事件记录,8个站点每月产出流体台站月报,每年有7个站提交数据跟踪年报和运行年报。有些观测站因人员分配不够,或对以上工作不熟悉,也有个别站点工作人员经过多次指导或培训仍不会做(或不愿意做)的现象。故存在一些未能及时或者不提交以上各项报告的情况。

2.5 预测应用效能

预测应用评价标准是依据《观测资料预报效能评估细则》,按流体学科的基础资料、资料质量、影响因素和震例评估四类来评定。据评估结果得知:观测资料被评为A类(优秀)者水位占18.2%,水温11.1%,水氡50%;B类(良好)水位占81.8%,水温87.5%,水氡50%;C类(一般)水温11.1%,水位和水氡0;水位、水温和水氡均无D类(差)。井水位观测资料预测应用较好的观测站是信宜和新丰江台为优秀,其余为良好,良好以上100%。水温观测资料较好的是信宜1号井为优秀,信宜2号井为一般,其余均为良好,全省水温

100%合格。全省水氡优秀和良好各为50%。

从以往的震例总结和对地下流体学科地震事件分析资料来看,对于中强地震、强震,广东省流体学科部分观测并能记录到同震和震后效应。如梅州井水位对于国内6.5级以上、国外8级以上地震,均能记到同震和震后效应。2011年日本9.0级地震所有数字化井水位,如新丰江、信宜、梅州、韶关、阳江和阳西均记录到不同程度同震和震后效应;2015年尼泊尔8.1级地震有梅州、信宜、阳江和阳西井水位记录到同震效应(记录形态见图9)。信宜1、2号井水温资料在汶川8级、日本9级和尼泊尔8.1级地震时出现了较为显著的同震响应;汕头氡在大震前有响应。但由于地震前兆异常很难识别,加上近年来流体观测网中部分观测站存在观测环境干扰和观测系统的不稳定因素,主要是因为数字化仪器稳定性差,经常出现突升、突降、损坏,造成缺数或异常难以识别的现象。更增加了对地震前兆异常判断的难度,影响了观测资料在地震预测中的应用。

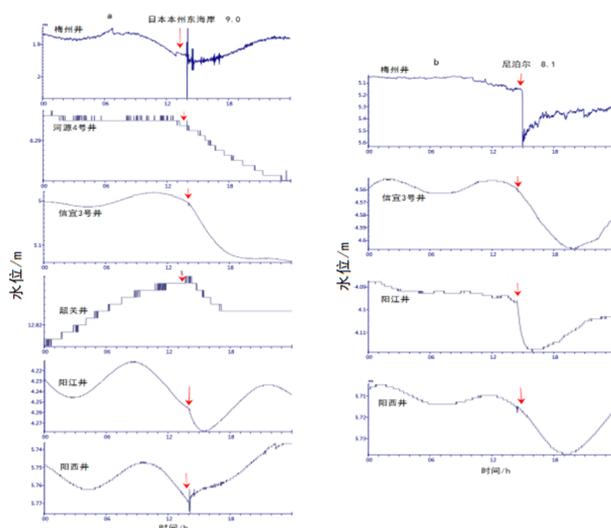
3 存在问题及改进建议

通过对广东地下流体观测网现有站点的观测环境、观测仪器、观测质量和预测应用等的综合分析评估,大致得出以下结论:

(1)广东的地下流体观测网空间分布上不均匀,北部、西部稀少,主要集中粤东、粤西和珠江三角洲地区,西北部稀少,整体观测密度不够。

(2)数字化仪器稳定性差,经常出现突升、突降、损坏等现象,造成缺数或异常难以识别。统计观测资料完整率优秀者占比为:水位77.8%、水温90.9%、水氡100.0%;内在质量水位优秀占比为74.1%,水温、氡均为优;预测应用效能评测优秀率水位占18.2%,水温11.1%,氡50%。水位完整率、内在质量略偏低,预测应用效能优秀率较低。

(3)水位普遍受到降雨影响严重,且这种干扰难以定量排除;部分观测井由于城市化和工业化的发展,受附近工地或矿区施工影响,水位的升



a.2011年3月11日日本本州东海岸 $M_s9.0$ 地震效应 b.2015年4月25日尼泊尔 $M_s8.1$ 地震效应

图9 广东地区不同井水位受远大震影响产生的水震波图

Fig.9 Water-seismic wave of different well water levels in Guangdong affected by far and strong earthquakes

降变化并不是区域应力环境变化的真实体现，这种干扰的存在短时还难以克服；

(4)数字化水温观测探头未选择好合适的观测层位，有呈现长趋势的漂移，难以判断是仪器的零漂还是观测层水温的真实变化；数字化水温观测基本无同震响应，无固体潮，无年变，难以检验其真实的预报效能^[10]。

(5)人工观测设备如水氡仪老化问题严重，未能及时更新；标定、更换 K 值或更换闪烁室时，存在测值突变现象。

针对存在的问题，提出以下改进建议和措施：

(1)进一步优化台网布局，在粤东、粤西及主要活动断裂适当增加流体观测点，减少空白区域，总体提高广东流体台网的监测密度；观测点的布设要遵循构造带密集、非构造带稀疏的建设原则，在最有可能成为未来震中的地区要加密布点；新上测点尽可能采用地震专用深井开展流体观测，减少干扰^[11]。

(2)提高数字化仪器的稳定性，进行有效的标定；逐步更换老化氡观测仪器；保护观测环境，出现异常及时调查、及时排除；对数字化水温观测进行不同水层温度探测实验，寻找合适的观测水层。

(3)断层气被认为是具有较好短临预报效能的手段，寻找合适的测点如某些活动断层适当增加气体等化学量的观测，将有助于提高地震短期、短临预测的可信度^[12]。

(4)提高观测人员的责任心，加强其基本操作技能的培训，这对于提高观测结果的可靠性、稳定性及数据分析能力和异常识别能力将有极大的帮助。

(5)针对市县观测站运维问题较多、技术较薄弱的现状，建议进一步规范市县台的运维工作，通过技术指导、技术培训等措施，尽快提高市县台的运维管理水平。

参考文献：

- [1] 广东省地方志编纂委员会. 广东省志.地震志[M].广州: 广东人民出版社,2003.
- [2] 广东省地震局. 广东省地震监测志——中国地震监测志系列[M].北京:地震出版社,2005.
- [3] 中国地震局.地震及前兆数字观测技术规范——地下流体观测[M].北京:地震出版社,2001.
- [4] 中国地震局.地震台站建设规范 地下流体台站(第1部分:水位和水温台站):DB/T 20.1-2006[S].北京:地震出版社,2006.
- [5] 中国地震局监测预报司.地下流体数字观测技术[M].北京:地震出版社,2002.
- [6] 中国地震局监测预报司.地震地下流体理论基础与观测技术(试用本)[M].北京:地震出版社,2007.
- [7] 陈贵美,谭争光,刘锦,等.广东数字化形变观测资料质量评价[J].华南地震,2022,42(1):7-14.
- [8] 吴富春,方炜,潘存英,等.中国地震台网各类前兆手段地震监测能力的评价[J].华南地震,2007,27(2):11-17.
- [9] 刘春国,孔令昌,杨竹转,等.我国地震井水位观测网监测效能评估[J].中国地震,2015,31(2):329-337.
- [10] 陶志刚,刘春国.地下流体井水温数据质量评价指标探讨[J].地震研究,2022,45(2):340-344.
- [11] 车用太,王广才,鱼金子.试论“十五”期间我国地震地下流体前兆观测台网的优化与建设问题[J].国际地震动态,2001,275(11):1-8.
- [12] 车用太,鱼金子.地下流体的源兆、场兆、远兆及其在地震预报中的意义[J].地震,1997,17(3):283-288.