

刘春国、孔令昌、杨竹转等, 2015, 我国地震前兆观测井水位观测网监测效能评估分析, 中国地震, 31(2), 329 ~ 337。

# 我国地震井水位观测网监测效能评估

刘春国<sup>1)</sup> 孔令昌<sup>1)</sup> 杨竹转<sup>2)</sup> 樊春燕<sup>1)</sup> 陈华静<sup>1)</sup>

1) 中国地震台网中心, 北京市西城区三里河南横街 5 号 100045

2) 中国地震局地质研究所, 北京 1000029

**摘要** “十五”数字化网络项目完成后, 我国地震井水位观测网已颇具规模。为了摸清其监测现状, 为未来台网优化改造、仪器更新提供依据, 开展了观测网的清理和监测效能评估。评估结果显示, 总体上, 观测网中有 61.8% 的水位观测站监测效能良好。有 73.5% 的观测站的观测环境符合地震井水位观测要求; 观测网的运维状态总体趋好, 有 75% 的观测仪器的运行率在 95% 以上; 大部分的水位观测站监测地壳应力变化、地震活动的的能力较强。但仍然有些观测站, 因观测井先天不足、环境干扰、仪器老化、运维水平低等问题, 亟待通过观测环境改造、仪器更新、运维管理培训等措施来提高监测效能。大约有 6.5% 的观测站因观测环境不合格需要停测。

**关键词:** 井水位观测网 观测环境 观测仪器 监测效能

[文章编号] 1001-4683 (2015) 02-0329-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

我国地震井水位观测网(以下简称为井水位观测网)创建于 1968 年, 经过 40 多年的建设, 已经发展成为以数字化观测为主、模拟观测为辅, 观测站超过 500 多个的监测台网(刘耀炜, 2006; 车用太等, 2006)。由于井水位观测网具有较强的地震前兆监测能力, 其监测状态一直引人关注, 几乎在观测网发展的每个重要阶段, 都会开展类似效能评估的调查、分析和总结工作。如汪成民等 1990 年对我国地震地下水动态观测网的调查总结(汪成民等, 1990), 车用太、高小其、谷元珠等在“九五”数字化改造完成后对我国数字化水位观测网的调查分析(车用太等, 2006; 高小其等, 2004; 谷元珠等, 2001)。为了摸清“十五”数字化网络项目完成后我国井水位观测网的监测现状, 为未来台网优化改造、仪器更新工作奠定基础, 于 2010 年启动了监测效能评估工作。历时两年, 完成了对井水位观测网的全面清理和监测效能评估。

## 1 井水位观测网基本情况

### 1.1 井水位观测网分布

据最新统计, 用于地震前兆监测的井水位观测站共计 508 个, 其中国家级和区域级观测站仅占 33.9%, 市县级观测站高达 66.1%, 由于大部分地方观测站并未纳入区域级台网管

[收稿日期] 2014-06-22; [修定日期] 2015-03-25

[项目类别] 2013 年度国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2013CB733205)资助

[作者简介] 刘春国, 女, 1968 年生, 副研究员, 主要从事地震地下流体研究。E-mail: liuchguo@126.com

理,其观测资料也不向省级、国家级台网报送,故市县级观测站的数量很难摸清,实际数量可能远远超过统计数字。这并不奇怪,井水位观测原理清楚、资料分析简单、对短临异常信息有较好的响应能力,一直是市县地震前兆监测手段的首选。

本文中的井水位观测网,是指在中国大陆,纳入区域前兆台网及国家前兆台网管理、给区域前兆台网及国家前兆台网报送数据的所有正在运行的井水位观测站(不包括2010年前停测的观测站)组成的观测网,包括了所有国家级、区域级水位观测站和部分市县级水位观测站,共计354个观测站(如图1所示),其中动水位观测站84个,占比为23.7%。这些水位观测站已经覆盖我国各省、市、自治区(表1),其中以地震多发的云南省最多,有50个观测站,其次是福建27个、河北23个,贵州、西藏最少,各只有1个观测站。观测站总体上沿主要地震活动带分布,呈现东密西疏的分布特点。

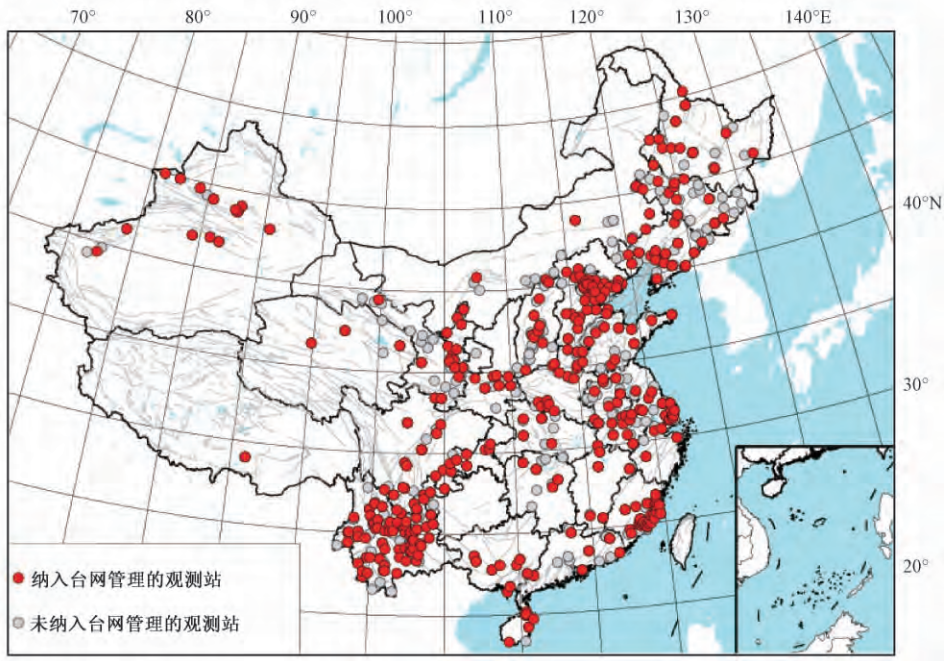


图1 中国地震井水位观测站分布

## 1.2 观测仪器布设

在参与评估的354个观测站中共计布设了372套水位观测仪器,其中,云南(7个)、辽宁(5个)、河北(2个)、海南(1个)共计15个观测站模拟和数字化水位仪并行观测井水位,天津有1口井2套数字化水位仪并行观测,湖北有1口井1套模拟和2套数字观测仪器并行观测。

水位观测仪器型号有17种之多,可分为模拟和数字两大类。模拟仪器占比为18.8%,数字仪器占比为81.2%。模拟仪器有三种型号,主要型号为SW40-1,占模拟仪器的81.4%。数字化仪器共计有13种型号,主要型号为LN-3(“九五”主流仪器)和LN-3A(“十五”主流仪器),这两类仪器占数字化仪器的84.8%;中科光大和泰德公司仪器占比均为4%,其他数字化仪器较少。各类仪器主要指标及所占比例如表2所示。

表 1 各省、市、自治区水位观测站及其观测仪器分布

序号	区域	水位观测站	仪器套数	序号	区域	水位观测站	仪器套数
1	云南	50	57	17	上海	8	8
2	福建	27	27	18	甘肃	7	7
3	河北	23	25	19	陕西	7	7
4	安徽	18	18	20	天津	7	8
5	北京	16	16	21	重庆	7	7
6	辽宁	16	21	22	内蒙	7	7
7	四川	15	15	23	海南	7	8
8	新疆	15	15	24	广东	6	6
9	黑龙江	15	15	25	江西	5	5
10	河南	15	15	26	湖北	5	7
11	山东	14	14	27	浙江	4	4
12	吉林	13	13	28	湖南	4	4
13	宁夏	10	10	29	青海	3	3
14	江苏	10	10	30	西藏	1	1
15	山西	9	9	31	贵州	1	1
16	广西	9	9		小计	354	372

其中北京区域内的观测站和仪器包括北京市地震局(8个)、中国地震局地震预测研究所(4个)、中国地震局地质研究所(1个)和中国地震局地壳应力研究所(1个)所管辖的观测站和观测仪器。

表 2 各类水位仪器基本情况

仪器类型	仪器型号	生产厂商	启用年份	数量	占比/%	主要技术指标
模拟 (机械式)水位仪	红旗-1	上海地质仪器厂	20世纪80年代	4	1.1	分辨力:3.7mm 走时日误差:4.5min 跟踪速度:>4.4mm/s 水位变幅:2m
	SW20-1	重庆水文地质仪器厂	20世纪80年代	3	0.8	分辨力:1mm 走时日误差:<3min 跟踪速度:>4.4mm/s 水位变幅:10m
	SW40		20世纪80年代	6	1.6	
	SW40-1		1980~1990年	57	15.3	
数字水位仪	LN-3	中国地震局地震预测研究所	2001年	94	25.3	分辨力≤1mm 观测精度:±0.2% FoS 量程:0~10m; 响应速度:>1m/s
	LN-3A		2007年	162	43.5	
	SW-5	北京康地电子公司	2001年	9	2.4	
	ZKGD3000	中科光大公司	2009年	12	3.2	
	DLZ-1	中国地震局地壳应力研究所	2008年	1	0.3	
	DRSW-1/2		2007年	8	2.2	
	PTX1730	珠海市泰德公司	2005年	2	0.5	
	HM21F-C1-1-A1		2006年	8	2.2	
	TDGL-25		2007年	2	0.5	
	SWY-1	中国地震局地壳应力研究所	2001年	1	0.3	
	DX120	北京宇世通控制公司	2006年	1	0.3	
	GS-2000(-SW)	郑州晶微公司	2008年	1	0.3	
水动态监测仪		2005年	1	0.3		

## 2 监测效能评估分析

### 2.1 评估概况

此次监测效能评估内容包括观测环境、观测仪器、观测质量和预测应用 4 个方面。为了能够客观、公正地开展评估,在评估工作启动前,制定了流体学科监测效能评价标准。该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。

依据评价标准,首先由区域前兆台网中心自评,在此基础上,地下流体学科技术管理组,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,逐一对水位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。

### 2.2 观测环境

水位观测站观测环境的评价标准主要依据地震行业标准 DB/T 20.1-2006 和 DB/T 38-2010(中国地震局,2006;中国地震局,2010)。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。

根据评估结果统计,观测环境为优秀者占比为 19.5%,合格者占比为 54.0%,基本合格者占比为 20.0%,不合格的观测站有 23 个,占 6.5%,合格以上的观测站 260 个,占比为 73.5%。

从各区域台网评估情况来看,观测站观测环境合格以上最多的区域台网为云南(40 个),其次为福建(26 个),此外观测环境合格的观测站超过 10 个以上的区域台网有河北、辽宁、北京、安徽、山东、黑龙江、吉林、河南等,西藏和贵州无合格的水位观测站。重庆、广西、上海、内蒙、四川、宁夏、天津等总体水位观测环境欠佳,合格以上的观测站占比未达 60%。

未达到合格标准的观测站比较突出的问题为观测井孔自身问题和环境干扰。

#### (1) 观测井孔

非地震专用观测井存在的问题突出。此次评估的观测深井基本上为地质、石油部门的勘探井或废弃井,这些井大部分井孔结构不符合地震水位观测的要求,成井资料缺失,止水不明、油漂、气泡多。有 5 口水位观测井原为废弃的形变钻孔,这类井井深较浅,通常没有止水,常受到地表水、降雨的强烈干扰,个别观测井与观测含水层联通性差,不符合水位观测的基本要求。

观测井孔老化问题亦比较严重。初步统计,约 30% 的观测井启用时间超过 20 年,有些甚至近 40 年,如湖北襄樊万山、荆州纪南、黄梅独山、秭归 4 口井,虽然这些观测站经过“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,严重影响了水位观测。

#### (2) 环境干扰

环境干扰主要来自于降水、地下水开采、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。不同区域,主要干扰因素亦不同。

南方地区受降雨影响较为普遍,特别是江西的一些观测井,其观测含水层埋深较浅,封闭性较差,受降雨干扰显著。

地下水开采影响主要集中在大华北和人口密度较大、工业较发达地区。北京、河北、天津均处于地下水超采区,受地下水开采影响最为普遍和显著。如天津张道口井因水位逐年下降,水位埋深已超过 100m,多个台站水位年下降速率超过 5m,河北永清井水位下降 7m/年,河北雄县井水位下降速率高达 10m/年。

宁夏多口处于黄河灌区的水位观测井(包括平罗 136、银川胜利、灵武大泉、中卫倪滩等)均不同程度受到灌溉和机井抽水影响,大大降低了观测资料的应用价值。

此外,动水位观测站还存在以下主要问题:

(1) 动水位观测井泄流孔堵塞问题较为突出。初步统计有 6 口动水位观测井泄流口经常堵塞,导致观测数据出现突升、突降,严重影响了数据质量和数据应用。

(2) 大多数动水位观测井同时开展多项化学量观测,水位观测易受到化学量取水样、脱气-集气装置故障或变化等因素的影响,如四川盐源、云南元谋等。

(3) 大部分数字化动水位观测未同步配套流量观测,降低了动水位观资料的使用价值。

### 2.3 观测仪器

观测仪器主要根据仪器的运行率来评价。运行率达到 99% 以上为优秀;运行率 95 ~ 99% 为合格;运行率 90 ~ 95% 为基本合格;运行率低于 90% 为不合格。

根据评估结果统计,水位观测仪器优秀者占比 35.8%、合格者占比 39.2%、基本合格者占比 14.8%、不合格者占比 10.2%,合格以上者占比为 75%。

主流模拟仪器 SW40-1 合格以上占比 84.2%;数字化主流仪器 LN-3 与 LN-3A 合格以上占比分别为 64.9%、78.4%。非主流仪器中,中科光大的数字水位仪所获评价均在合格以上;合格率较低的仪器有模拟的红旗-1、SW40,数字化仪器 DLZ-1、DRSW-1/2 和 TDGL-25。

水位观测仪器问题主要包括仪器老化、故障率较高、维修时间较长等。用于模拟观测的水位仪(以 SW40-1 为主)的运行年限长达 20 年以上,而“九五”建设的数字化仪器(以 LN-3 为主)也有 10 年的观测历史,这些仪器都不同程度的存在老化、故障率偏高、零配件缺乏、维修困难等问题。一些“十五”数字化仪器(以 LN-3A 为主)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。

### 2.4 观测质量

观测质量主要依据 2009 ~ 2011 年年度全国或省级观测资料质量评比结果而评定。根据现有的地下流体年度观测资料评比办法,水位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。

评价结果显示,观测质量优秀者占比为 24.5%,合格者占比为 47.8%,基本合格者占比为 18.0%,不合格者占比为 9.7%,合格以上者占比为 72.3%。

下面以 2009 ~ 2011 年全国评比结果为依据,对观测网的观测数据质量水平进行分析。

#### 2.4.1 数据的完整率

观测数据完整率是台站运行状况的综合指标,其高低取决于仪器设备的故障率、仪器设

备运行环境的优劣及台网管理水平(中国地震局监测预报司,2002)。

我们对 2009~2011 年参加全国评比的水位观测数据的完整率进行统计,结果显示数据完整率 $\geq 95\%$ 的观测仪器占比为 78.8%,只有 10%的观测仪器产出数据的完整率低于 90%。这一结论与观测仪器评估结果基本一致。

#### 2.4.2 数据内在质量

井水位固体潮记录能力是衡量观测井对地壳应力应变响应能力的重要指标。考虑到我国地震监测台网绝大多数都分布在中纬度地区,而中纬度地区的  $M_2$  波振幅最大,具有最大的信噪比(陈华静,2002),目前我国水位观测数据的内在质量主要采用  $M_2$  波潮汐因子及其观测精度指标进行评价。

井水位的  $M_2$  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,将观测精度分为好、一般和较差三个等级,分别对应水位记录固体潮观测精度  $< 10\%$ 、 $10\% \sim 20\%$ 、 $> 20\%$ 。统计结果(表 4)显示,水位记录固体潮观测精度属中上水平的井孔占 80.5%,较差的井孔占 19.5%(表 3)。

水位的  $M_2$  波潮汐因子是水位  $M_2$  波振幅与体应变理论固体潮  $M_2$  波振幅的比值,反映了水位固体潮响应幅度的大小。一口井的水位  $M_2$  年潮汐因子相对来说比较稳定。以 2010 年为例,对  $M_2$  观测精度较好的观测井进行统计(如表 4),结果显示,潮汐因子大于  $1 \text{ mm}/10^{-9}$  的观测井占 37.4%,大于  $0.5 \text{ mm}/10^{-9}$  的占 57%。东部地区如福建、上海、辽宁、天津等地的观测井水位潮汐因子较大,西北地区一些井水位  $M_2$  潮汐因子偏小。东部地区福建永春地震台观测井水位年  $M_2$  潮汐因子最大,达到  $15.932 \text{ mm}/10^{-9}$ (2010 年 9 月最大日潮差达到 1.19m,年平均日潮差 0.76m), $M_2$  观测精度 1.2%,观测精度高。

表 3 对 2009~2011 年水位观测网  $M_2$  观测精度的统计结果

$M_2$ 观测精度各等级所占百分比(%)	优( $< 10\%$ )	一般( $10\% \sim 20\%$ )	较差( $> 20\%$ )
2009 年	67.5	10.4	22.1
2010 年	70.5	11.5	18.0
2011 年	74.2	7.6	18.2
平均	70.7	9.8	19.5

表 4 对 2010 年水位观测网  $M_2$  潮汐因子的结果统计

$M_2$ 潮汐因子( $\text{mm}/10^{-9}$ )	$> 1.0$	$1.0 \sim 0.5$	$0.5 \sim 0.1$	$< 0.1$
观测站比例(%)	37.4	19.6	33.6	9.4

#### 2.4.3 观测站运行管理

观测站的运行管理包括仪器日常维护、校测检查、数据预处理等方面。评估中发现,大约有 80%的观测站能够按照规范要求开展校测检查工作,20%的观测站校测检查不规范或没有做。大多数观测站都能对观测系统进行定期检查,特别是对供电电源检查,13.8%的观测站没有定期巡检。2009~2011 年间,观测数据预处理问题逐年减少,只有少数观测站存在错误数据、故障数据不做预处理等问题。总体来说,市县台在台站运行管理方面问题较多。

## 2.5 预测应用

预测应用评价是依据水位观测资料在地震预测会商中的应用程度和记震能力来评定的,评价结果主要参考各省地震局地震分析预测人员的意见。

根据评估结果统计,观测资料被评为优秀者占 12.4%,合格者占 51.6%,基本合格者占 27.4%,不合格者占 8.6%,合格以上者占 64%。井水位观测资料预测应用较好的单位主要有山东、北京、海南、福建、黑龙江、江苏、辽宁等,合格以上水位观测站占 85% 以上。

从近年来积累的震例总结资料和地下流体学科中心地震事件分析资料来看,对于 8 级以上强震,我国大部分观测井水位均能记录到同震和震后效应,如 2008 年汶川 8.0 级地震,有 58% 的数字化观测井水位记录到同震效应(中国地震局监测预报司,2009),2011 年日本 9.0 级地震有 80% 的数字化观测井水位记录到同震效应。除了 2010 年玉树 7.3 地震由于周边水位观测井很少未能记录到明显的前兆异常外,在 2008 年汶川 8.0 级地震、2009 年姚安 6.0 级地震(曹晓丽等,2012)、2011 年盈江 5.8 级地震、新疆尼勒克 6.0 级地震以及 2013 年的芦山 7.0 级地震等中强地震、强震之前,均有数量不等的观测井水位记录到趋势性异常和短临前兆异常。但由于地震前兆异常本身就很难识别,而水位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,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 评估结论与建议

综合观测环境、观测仪器、观测质量和预测应用的评估结果,我国地震井水位观测网监测效能的现状与存在问题已基本清楚,评估结论如下:

(1) 有 61.8% 的水位观测站监测效能为合格,21% 为基本合格,17.2% 为不合格。共计有 12 个观测站需要进行井孔改造、井口改造和井房改造;建议搬迁、撤销和停测的观测站共计 23 个,其余 319 个观测站可继续保留观测。

(2) 需要数字化改造的观测站共计 16 个,以安徽和河南的模拟观测站为主。68 套仪器需更换(新),包括 16 套模拟仪器和 52 套数字仪器(主要为“九五”期间架设的 LN-3),有 10 套“十五”观测仪器因故障频发需配备备用仪器。

针对存在的主要问题,建议如下:

(1) 在新钻井或选择其它用途的水井做观测井之前应严格按照规范要求进行遴选,尽可能采用专用深井开展流体观测,减少干扰;对于老化严重的井孔尽快进行更换套管、洗井、清淤等改造;在开展动水位观测时,应选择那些常年流量比较稳定的观测井,动水位的泄流装置应具有简便的排污功能;动水位观测应配置流量观测,流量数字化观测亟待提上日程。

(2) 尽快对严重老化的模拟观测仪器和“九五”数字化水位仪器进行仪器更新和数字化改造。针对“十五”仪器故障较多、维修时间过长的现状,建议各区域台网配备一定数量的备用仪器,建立仪器维修中心,加强对仪器日常维护的培训,建议对综合效能评估较好的观测站优先解决备用仪器。加强竞争机制,引进优秀品牌,整体提高水位观测仪器的性能,确保观测仪器能够长时间持续产出稳定、可靠的观测数据。

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

(4) 进一步优化水位观测网布局,根据监测效能评估结果,分级分类对观测网进行管理,实现数据共享,推进观测资料在地震预测中的应用。

## 4 结束语

监测效能评估结果已作为中国地震局未来三年仪器更新改造计划的依据。考虑到观测站的观测环境、观测仪器状态随时间的不断变化,有必要将监测效能评估与观测资料评比相结合,实现效能评估常态化,以便及时了解观测网运行状态,为台网优化改造、仪器更新计划提供不断更新的动态信息。

井水位观测网监测效能评估是地震前兆观测网监测效能评估的重要组成部分,由中国地震局监测预报司组织发起,国家地震前兆台网中心牵头协调,在各省、市、自治区地震局有关人员的参加和大力支持下才得以完成。在此对为本次评估工作付出辛勤劳动的所有人员表示感谢!

## 参考文献

- 曹晓丽、毛德培,2012,云南姚安 6.0 级地震前异常特征,地震地磁观测与研究,33(5/6),55~61。
- 车用太、赵文忠、鱼金子等,2006a,京津冀地区井水位的数字化观测及其地震前兆监测效能评估,地震,26(4),103~111。
- 车用太、鱼金子等,2006b,地震地下流体学,气象出版社。
- 陈华静,2002,京津冀晋地区水位潮汐响应函数动态特征研究,地震,(4),9~16。
- 高小其、邓志辉、车用太,2004,我国地震地下流体数字化观测的现状,内陆地震,18(4),317~323。
- 谷元珠、刘春国、刘成龙等,2001,我国地震地下流体前兆台网现状的调查与分析,国际地震动态,(11),19~28。
- 刘耀炜,2006,我国地震地下流体科学 40 年探索历程回顾,中国地震,22(3),222~235。
- 汪成民主编,1990,中国地震地下水动态观测网,地震出版社。
- 中国地震局,2010《地震台网设计技术要求地下流体观测网》(DB/T 38-2010)。
- 中国地震局,2006《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)。
- 中国地震局监测预报司,2002,地下流体数字观测技术,北京:地震出版社。
- 中国地震局监测预报司,2009,汶川 8.0 级地震科学研究报告,北京:地震出版社。



## Monitoring efficiency evaluation of well-water-level observation network in China

*Liu Chunguo*<sup>1)</sup> *Kong Lingchang*<sup>1)</sup> *Yang Zhuzhuan*<sup>2)</sup> *Fan Chunyan*<sup>1)</sup> *Chen Huajing*<sup>1)</sup>

1) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

2) Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China

**Abstract** In order to understand monitoring efficiency status of well-water-level observation network in China after the completion of the digital seismic network project for the tenth “Five-year Plan”, and to Provide a basis for the future network optimization and equipment updating, well-water-level observation network was evaluated. On the whole, 61.8% observing stations with good monitoring effectiveness. Observation environment of 73.5% observing stations meets the monitoring requirements of well-water-level. The operation state of the observation network is getting better, operation rates of 75% observing instruments are upwards of 95%. Most well water levels can monitor crustal stress changes and seismic activities. But, there are some observation stations with well its problem, environmental disturbance, instrument aging, and operation and maintenance of low level, which need to improve monitoring efficiency level by taking the observation environment improvement, equipment update, management training and other measures. About 6.5% of the observation stations for observational environment unqualified needs to stop stop observing stop observing observingobserving.

**Key words:** Well-water-level observation network    Observation environment    Observation instrument    Monitoring efficiency