

# 张家口地震台形变数字化与 模拟资料应用的对比分析

池海江<sup>1</sup>, 王曰风<sup>2</sup>, 张秀萍<sup>2</sup>

(1. 河北省地震局张家口地震中心台, 河北 张家口 075000;

2. 河北省地震局怀来地震台, 河北 怀来 075400)

**摘要:**介绍了张家口地震台的地质构造和形变观测数字化改造情况,对2002年数字化和模拟资料的一致性、观测精度进行对比,分析产生差别的原因,探讨辅助观测和观测值的相关性,得出张家口台的数字化改造是成功的,资料连续率高,质量高,数字化资料完全能替代模拟资料,同时注意数字化观测系统应从数据处理、分析方法及精度评定上逐步完善,才能提取真实的前兆异常,更好地应用于地震预报。

**关键词:**数字化; 调和分析; 相关分析

中图分类号: P315.72 文献标识码: A

## 0 引言

2001年按照首都圈防震减灾示范区工程建设要求,张家口地震台形变观测进行了数字化改造,包括基础环境、供电、避雷、通信系统和前兆仪器改造。陆续改造安装了DSQ型水管倾斜仪、SS-Y型伸缩仪、TJ-IC体应变仪、VS型垂直摆倾斜仪和辅助观测TCM-3型洞温测量仪、PTH/R-II气象参数测量仪。2001年10月1日进入试运行,年底通过中国地震局工程管理中心的质量验收,2002年进入正式观测。为更好地使用该台的数字化资料,及时对数字化和模拟资料质量一致性、观测精度进行对比,分析产生差别的原因,探讨辅助观测与观测值的相关性,对搞好地震监测,提高分析预报水平是很有用的。

## 1 台站概况

张家口地震台是国家基本台,形变山洞位于张家口市陵园路东500m处的山脚下,地理坐标为 $E114^{\circ}53'58''$ , $N40^{\circ}49'24''$ ,海拔高程为850m,系阴山东西向构造带与山西地震带北段、张渤地震带西北段的交汇部位。洞体坐落在太古界桑干群火山岩体上,岩体完整无破碎,覆盖厚度大于40m,山洞面积为 $500\text{m}^2$ ,进深85m,引洞长40m,洞内有多道门相隔,洞室至洞口高差5m,洞室低于洞口,避免了洞室气流对观测仪器的影响。山洞于1983年设计施工,1985年建成,依据不同仪器的要求,分别施工了互相独立的重力、水平

摆、垂直摆、水管仪、伸缩仪洞室,洞室条件优越,形变固体潮观测精度高,模拟资料在全国资料评比中多次获奖,是监测首都圈地震活动的骨干前兆台站之一(图1)。

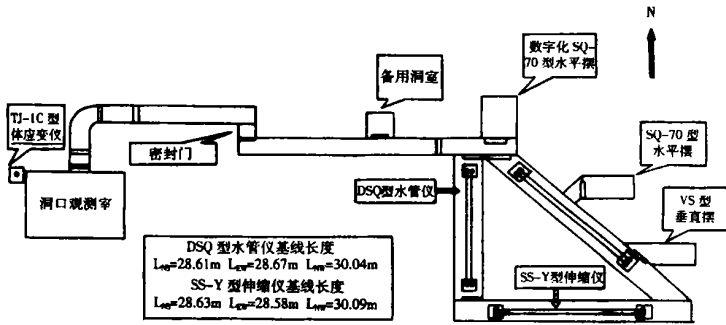


图1 张家口地震台形变山洞仪器布设图

## 2 数字化改造主要内容

**水管仪:** 更换主体玻璃管;更换 DSQ 扩展测微仪与前置盒;把 SONY 磁传感器更换为变压式传感器;更换 BY 标定仪。

**伸缩仪:** 将原来的 SSY-II 型石英伸缩仪更换为 SS-Y 型钢制伸缩仪;采用电涡流位移传感器;具有自动标定装置,取代胀盒标定,解决水银污染问题。

**体应变:** 地面主机箱由 TJ-1A 型更换为 TJ-1C 型。

新上 NS、EW 两分向 VS 型垂直摆倾斜仪和辅助观测 TCM-3 型洞温仪、PTH/R-III 型气象三要素测量仪。

采用有线无人职守子台模式,前兆信号通过现场总线与 DQS-4 型公共数据采集器相连,实现与台网分中心的准实时通信。每天使用地壳所《地震前兆通讯控制软件》、武汉所《形变台站数据处理软件》、河北局《PDBS 数据库访问软件》进行数据调收、资料处理和报送。

## 3 数字化与模拟资料的一致性

数字化和模拟资料的一致性,按文献从以下三方面来看<sup>[1]</sup>: (1)资料连续率; (2)年零漂—衡量观测仪器及其墩基稳定程度或地壳继承性新构造运动; (3)年变幅—检视洞体受热弹性变形影响的程度。数字化与模拟观测资料均来自于同一观测系统,观测的物理量相同。一年运行当中,造成资料缺记均是电源或前端仪器等原因,数采器未发生任何故障,故二者的连续率完全一致。张家口台形变资料质量的一致性对比见表1。

由表1,在置信水平为0.05信度下,检验临界值为0.113,数字化和模拟资料的一致性很好,均通过了一致性检验,表明数字化资料和模拟资料一样,可一同应用于地震分析预报中。

引起数字化和模拟资料一致性差异主要有以下原因:

表 1 2002 年张家口地震台形变观测数字化与模拟资料一致性对比表

观测手段	观测方向 单位	连续率% (数模一致)	零 漂		年 变 幅		数模相关 系数(日均值)
			数字化	模拟	数字化	模拟	
水管仪	NS( $10^{-3}$ )"	99.83	54.7	50.9	86.5	86.8	0.982
	EW( $10^{-3}$ )"	99.60	238.7	233.4	239.2	265.1	0.978
	NW( $10^{-3}$ )"	99.92	25.8	23.7	81.9	75.1	0.989
伸缩仪	NS( $10^{-10}$ )	99.62	1654	1087	2311	2304	0.978
	EW( $10^{-10}$ )	99.62	3089	2602	3336	2832	0.999
	NW( $10^{-10}$ )	99.62	2712	2103	2679	2127	0.997
体应变	( $10^{-10}$ )	99.67	3288	4679	3816	5157	0.986

(1)格值的误差。从一开始我们没有按模拟格值来推算数采格值,而是严格按照数字化观测规范对各仪器进行标定,根据公式计算出数采格值,由于不是同时标定,这样同期工作使用的模拟和数采格值略有差异。再者,从计算公式可以看出,标定所涉及的物理量并不相同,如水管仪模拟标定测量磁传感测微仪的“输出”电压,计算公式为: $\eta=0.206265 \frac{1}{50} \frac{AB}{nL}$ ,  $n$  为仪器安装时所调定的电灵敏度;而数字化标定直接测量测微仪的“输入”端信

号,计算公式为: $\eta_1=0.206265 \frac{1}{RIL}$ ,  $n_1$  为数采所得灵敏度,  $n_1 \approx 10n$ ; 体应变数字标定是测量“数采输出”口电压变化最大值,模拟标定则测量经过主机箱后在记录图纸上的格数变化,经过不同的路径,“格数”与“电压”也不存在简单的量程推算,必须单独测量。

(2)记录方式不同。模拟资料信号是由前端仪器输出后,再进入测微仪等电路放大大部分,最后进行模拟记录。放大器的衰减档位、记录器的量程选择实际与面板表示并不完全一致以及记录笔的摩擦系数都要传递误差,而数字化信号由前端仪器输出后进入数采器,数值变化直接反映前端仪器的输出电压,减少了中间环节和误差传递。

(3)时钟误差。模拟观测一般采用石英钟,钟差为分钟级;数字化可以通过 GPS 随时校准时钟,钟差控制在几十毫秒以内。

(4)读数误差。模拟观测在人工读数时产生读数误差和读数位置差,数字化较模拟更真实可靠。

(5)资料处理上人为差异。由刮风、雷电、停电、调仪器、进洞等引起曲线掉格,模拟和数字在处理资料时都有“台阶”改正问题,目前所用软件还不能做到“定量”的最佳选择,因资料处理人员的经验、熟练程度不同而产生人为差异。

#### 4 数字化和模拟资料的精度对比

本台所安装仪器均能记录到清晰、稳定的固体潮变化。笔者根据 Venedikov 方法对 2002 年数字化和模拟资料进行月系列调和计算,如表 2、表 3、表 4。

(1)从表 2 和表 4 中 M2 波潮幅因子均方差来看,水管倾斜仪、体应变仪数字化精度明显优于模拟观测。其中水管仪的结果令人鼓舞,对照全国定点形变台网管理组《观测资料精度评定》<sup>[2]</sup>,水管仪 M<sub>2</sub> 的年均值较改造前的 2000 年有很大提高,NS、EW、NW 向分

别提高 52.2%、85.3%、68.9%，在全国处于先进行列。

表 2 2002 年张家口地震台水管仪 M2 波潮幅因子  $\gamma$  均方差计算结果对比表

测项	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
数字 NS	0.0028	0.0025	0.0030	0.0050	0.0027	0.0035	0.0033	0.0040	0.0024	0.0042	0.0033	0.0029
模拟 NS	0.0170	0.0026	0.0037	0.0053	0.0031	0.0044	0.0033	0.0046	0.0029	0.0037	0.0034	0.0029
数字 EW	0.0017	0.0012	0.0011	0.0017	0.0011	0.0015	0.0018	0.0029	0.0016	0.0021	0.0015	0.0011
模拟 EW	0.0155	0.0026	0.0013	0.0016	0.0015	0.0018	0.0020	0.0030	0.0025	0.0016	0.0020	0.0016
数字 NW	0.0022	0.0016	0.0016	0.0047	0.0016	0.0020	0.0019	0.0025	0.0024	0.0023	0.0024	0.0028
模拟 NW	0.0133	0.0027	0.0020	0.0051	0.0021	0.0024	0.0020	0.0024	0.0019	0.0030	0.0032	0.0023

表 3 2002 年张家口地震台伸缩仪 M2 波潮幅因子相对中误差  $\sigma/\alpha$  计算结果对比表

测项	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
数字 NS	0.0174	0.0260	0.0287	0.0382	0.0181	0.0405	0.0176	0.0218	0.0396	0.0279	0.0244	0.0239
模拟 NS	0.0269	0.0250	0.0238	0.0358	0.0190	0.0368	0.0215	0.0185	0.0223	0.0295	0.0240	0.0243
数字 EW	0.0254	0.0267	0.0312	0.0417	0.0209	0.0528	0.0352	0.0239	0.0473	0.0180	0.0179	0.0227
模拟 EW	0.0275	0.0272	0.0474	0.0430	0.0266	0.0452	0.0345	0.0261	0.0251	0.0193	0.0176	0.0227
数字 NW	0.0143	0.0147	0.0192	0.0383	0.0163	0.0262	0.0256	0.0184	0.0411	0.0234	0.0199	0.0179
模拟 NW	0.0155	0.0167	0.0208	0.0353	0.0154	0.0283	0.0277	0.0210	0.0208	0.0225	0.0220	0.0176

表 4 2002 年张家口地震台体应变仪 M2 波潮幅因子均方差计算结果对比表

测项	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
数字	0.0096	0.0110	0.0139	0.0212	0.0092	0.0210	0.0094	0.0125	0.0109	0.0151	0.0147	0.0111
模拟	0.0137	0.0107	0.0171	0.0274	0.0112	0.0229	0.0356	0.0378	0.0266	0.0147	0.0144	0.0119

(2)从表 3 可见,伸缩仪数字化和模拟的精度相近,有的月或低于模拟,这主要是资料处理的原因。首先,按照模拟观测规范要求,“对受干扰打点离散的,是取中点读数”<sup>[3]</sup>,每天上报的整时值实际是已经过人为平滑处理后的测值,相当于进行了高频滤波,这样模拟的整时值曲线要比数字的“平滑些”。其次,对于改正值的计算这一形变观测中“较棘手的问题”,模拟进行处理时是“考虑记录曲线的正常变化,参考前一天及后一天的曲线趋势,进行比较而确定”<sup>[3]</sup>,数字化资料应用软件可对曲线“反复比较,使误差最小”<sup>[4]</sup>,但缺乏一个“定量”的标准,尚没有一个微机操作过程中的质量监督规定。再次,固体潮插补公式:  $y_t = y_{t-24} + y_{t-25} - y_{t-49}$ <sup>[4]</sup> 并不很理想,不如模拟的“曲线向前、向后错动 24h50min,进行曲线拟合”<sup>[3]</sup> 效果好。

## 5 相关分析

数字化资料以分钟值为采样率,能记录更丰富的地下信息。在实际工作中发现,数字化地形变、应变类观测同样受降水、温度、气压等因素的影响。本台洞室保温性能好,日变幅为 0.005℃,年变幅为 0.5℃,温度变化对测值影响较小,主要是气压影响。遇阴雨或沙尘暴天气,气压变化较大时,伸缩仪和体应变曲线常出现明显的“固体潮畸变”,尤其是体应变,仪器探头位于井下,受外界环境的干扰影响很大,笔者编程对 2002 年体应变日均值进行消除零漂处理(图 2),体应变观测值(压为正)和气压变化趋势近于“完全一致”,利用

通用的一元线性回归分析法, 以气压日均值为自变量, 消除零漂的体应变日均值为因变量, 求得常数项  $a=921.0$ ,  $b=0.021$ . 相关系数  $0.923$ . 置信水平为  $1\%$  时临界检验值为  $0.148$ .

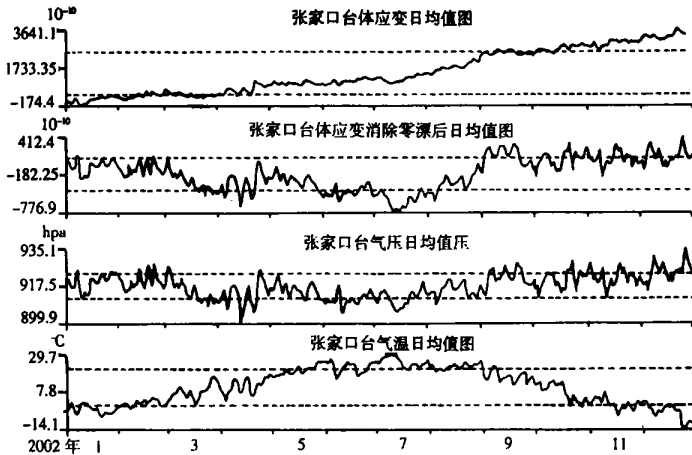


图 2 张家口地震台体应变与气压、气温相关对比图

## 6 结语与讨论

(1) 张家口台的数字改造是成功的, 仪器运行稳定可靠, 资料连续率高, 质量高, 和模拟观测一致性好, 可正式应用于今后的地震分析预报中。

(2) 通过 Venidikov 调和分析结果表明, 张家口台洞体应变伸缩仪 M2 波潮幅因子精度  $\sigma/\alpha$  数字化与模拟相近; 水管倾斜仪、体积应变仪 M2 波潮幅因子均方差数字化明显优于模拟, 其中水管仪较改造前有很大提高, 在全国处于先进行列。

(3) 通过相关分析看出, 对洞室条件一流的台站, 气压是影响测值的主要因素。今后应努力创造条件消除气压的影响, 分析资料时必须做相关分析, 剔除测值中的干扰因素, 才能提取真实的地震前兆信息。

(4) 数字化资料具有大容量、高频率的数据产出, 能观测到更多新的地下信息, 如果仅仅延用原分析模拟资料的方法是不够的, 在数据处理方法和资料精度评定上需进一步完善, 制定量化规则。

### 参考文献:

- [1] 国家地震局科技监测司. 地震地形变观测技术[M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- [2] 中国地震局地震研究所. 观测资料精度评定形变学科通讯[J]. 武汉, 2001.
- [3] 中国地震局. 地倾斜台站观测规范[S]. 北京: 地震出版社, 1986.
- [4] 中国地震局地震研究所和山东省地震局. 形变前兆台站(网)数据处理系统[R]. 武汉, 2001.

## Contrastive analysis to the digital and analogue data of crustal deformation in Zhangjiakou Seismostation

CHI Hai-jiang<sup>1</sup>, WANG Yue-feng<sup>2</sup>, ZHANG Xiu-ping<sup>2</sup>

(1. Zhangjiakou Seismostation, HSB, Zhangjiakou 075000 China;

2. Huailai Seismostation, HSB, Huailai 075400 China)

**Abstract:** the geological structure of Zhangjiakou Seismostation and its digital reconstruction in crustal deformation observation are introduced. The accuracy of the digital and analogue data observed in 2002 is contrasted. The cause of difference and the dependence of observation data with auxiliary observation data are analysed. The results show that the digital data is good in continuity and quality, can replace the analogue data.

**Key words:** digitization; harmonic analysis; correlation analysis

## 《华北地震科学》征稿简则

一、《华北地震科学》是河北省地震局主办的地震科学综合性学术季刊, 每季季末出版。主要刊登地震学方面具有创新性的研究成果, 也登载一些与地震有关的地球物理、地震地质、地震工程等方面的学术论文及与地震科学有关的实验、观测、考察、问题讨论等方面的论文。

### 二、来稿要求及注意事项

1 来稿要求选题新颖、论点明确、论据可靠、数据准确、文字简练。每篇论文(包括图、表、参考文献和300字以内的摘要)一般要求不超过8000字, 其中插图以不超过6幅为宜; 其它短文(含图、表和参考文献)一般不超过3000字, 其中插图以不超过3幅为宜。来稿需提供激光打印样, 字号不小于5号字。另附英文题目及200字左右的英文摘要。

2 来稿包括: 摘要、关键词(5~8条)、引言、正文、结语和参考文献, 以及何种基金资助、作者简介等内容。文中外文字母、符号必须分清大小写、正斜体; 上下角的字母、数字和符号, 其位置高低应区分明显。对易混淆的外文字母、符号及字母的大小写需标清。文中计量单位一律采用中华人民共和国国家标准《量和单位》中颁布的法定计量单位, 非许用单位, 务请换算成许用单位。

3 文中插图需提供清绘图或激光打印图, 线条要均匀; 照片层次、反差要分明。图中内容、文字及符号须清晰, 并与正文一致。插图如涉及国界, 可尽量避免; 如必须保留, 则须把图中内容直接绘在地图出版社最新出版的带有国界的地理图上。插图不要直接绘在或贴在文内, 应把插图单独放在一起, 在文中相应处画出图框(占3行), 写出相应图序、图题和图注。

4 表格一律采用“三线表”, 即每个表基本上由三条组成, 去掉竖线(必要时可加少量辅助线)。

5 参考文献应列全, 而且应是已公开发表的; 未公开发表的资料请勿列入, 但可做为脚注处理。文中所引文献必须与文末所列文献一一对应。文末参考文献的著录格式, 每条文献内各项的排序是:

专著—作者. 书名[M]. 出版地: 出版者, 出版年. 页码.

期刊—作者. 文章名称[J]. 刊物名称, 出版年, 卷(期): 页码.

论文集—作者. 文章名称[C]. 文集名. 出版地: 出版者, 出版年. 页码.

译著—作者. (或中译姓名). 中译书名. 译者. 出版地: 原著出版者, 出版年. 页码.

学位论文—作者. 题名[D]. 学位授予地: 学位授予单位, 发表年. 页码.

6 文稿中引用他人研究成果时, 务请按《著作权法》有关规定指明原作者姓名、文题及来源, 并在参考文献中列出。否则由此引发的责任由投稿人自负。

7 凡经本刊录用的文章, 除本刊负责出版、发行外, 将一律由本刊编辑部统一纳入万方数据—数字化期刊群, 进入因特网提供信息服务, 并同时参加中国学术期刊(光盘版)的出版发行, 不同意者, 请另投它刊。

8 投稿请注明第一作者或联系人的姓名、工作单位、详细通讯地址、邮政编码和联系电话, 以及E-mail地址。

三、编委会有权对来稿作适当修改或退请作者自行修改, 来稿请勿一稿两投。收稿后3个月内如未得到采用通知(或修改稿件通知), 作者可自行处理。

来稿请寄: 石家庄市槐中路262号河北省地震局《华北地震科学》编辑部, 邮政编码: 050021, 联系电话: (0311)5814313, E-mail: he3g@eq.he.ac.cn.