

山西地下流体测项异常效能分析

姚林鹏^{1,3} 刘瑞春^{2,3*} 叶阔^{1,3} 李芸^{1,3} 刘国俊^{1,3}

1 山西省地震局运城地震监测中心站

2 山西省地震局

3 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站

DOI:10.32629/gmsm.v8i5.2324

[摘要] 基于震情会商技术方法中的阈值法(原始曲线法)、速率变化法和破年变法等方法,对山西地下流体测项观测资料进行预报效能评估工作,给出其预报效能评估结果。结果表明,(1)太原井水位、运城井水位、静乐井水位、祁县井水位、介休井水位、运城溶解氡、定襄溶解氡和奇村溶解氡共8个测项分项预报效能较好;(2)评估结果较好的测项分项在评估方法、预测范围、预测震级上,表现出相似的特征,而在预测时间、对应震例数量上无明显特征。

[关键词] 地下流体; 异常; 效能分析

中图分类号: G449.7 文献标识码: A

Analysis of Anomaly Effectiveness in Subsurface Fluid Monitoring Items in Shanxi Province

Linpeng Yao^{1,3} Ruichun Liu^{2,3*} Kuo Ye^{1,3} Yun Li^{1,3} Guojun Liu^{1,3}

1 Yuncheng Earthquake Monitoring Central Station, Shanxi Earthquake Agency

2 Shanxi Earthquake Agency

3 Taiyuan Continental Rift Dynamics National Field Scientific Observation and Research Station

[Abstract] Based on methodologies commonly used in seismic consultation, such as the threshold method (original curve method), the rate change method, and the annual variation breakdown method, this study conducts a predictive effectiveness evaluation of the observation data from subsurface fluid monitoring items in Shanxi Province, and presents the corresponding evaluation results. The findings indicate that: (1) Eight monitoring sub-items demonstrate relatively good predictive effectiveness, namely the water level of the Taiyuan well, the Yuncheng well, the Jingle well, the Qixian well, and the Jiexiu well, as well as the dissolved radon concentrations in Yuncheng, Dingxiang, and Qicun. (2) The sub-items with better evaluation results show similar characteristics in terms of the evaluation methods applied, the prediction range, and the predicted magnitude; however, no distinct patterns were observed concerning the prediction time or the number of corresponding earthquake cases.

[Key words] Subsurface Fluid; Anomaly; Effectiveness Analysis

引言

长久以来,山西地下流体测项观测资料中地震前兆异常的提取主要依靠震例分析与经验总结,预报效能分析与异常判定的定量工作有待加强。近些年来,依托中国地震局学科标准化预报评价体系的建立,对这项工作的要求明显增强,运用多种会商技术方法对地球物理测项数据进行预报效能分析工作日益显现出其重要性^{[1][2]},也存在很多经验分析案例^{[3][4]}。在此背景下,笔者使用多种分析方法,对山西地下流体测项观测资料开展效能分析。

1 资料概况与数据选取

山西省地震局地下流体测项观测资料包括水位、水温、水(气)氡、水(气)汞、氢气、CO₂六大类观测手段,共40台项,分布在山西断陷带北部、中部和南部,空间分布较均匀。利用流体力学资料和技术方法,结合1970年以来山西及邻近地区(含晋冀蒙交界)4级以上地震实况,本研究使用11项可用于山西及邻近地区 $M_L \geq 4.0$ 地震预测测项资料进行分析(见表1)。

2 分析方法介绍及结果

2.1 分析方法介绍

(1) 阈值法,又称原始曲线法,直接从原始观测时序数据中识别出异常信息,可给定阈值或基于数据标准差,来定量识别数

据中的异常。(2)速率法,又称差分法,是一种压抑长周期、突出短周期变化的线性滤波。针对原始观测数据的一阶差分序列,使用平稳序列的均方差作为异常控制线,或使用给定的阈值作为异常控制线来判别时间序列中的异常点,突出那些突跳性或离散度较大的异常。(3)破年变法,使用基于S变换时频分析方法的破年变信息分离提取方法,提取测项的ANA信息和ONA信息,给定不同阈值,构建预测指标^[5-7]。(4)综合R值和Molchan图表的预测指标确定和效能评估方法,基于双向非对称阈值策略在不同震级档下,对空间范围、预测时窗等参数进行调整,重复相对最优参数指标的计算过程,对比不同空间范围、预测时窗下其相对最优阈值参数组合所对应的R值^[8-10]。

表1 山西省地震局地下流体测项资料信息

测项名	台站编号	仪器名称	型号	采样率	经度	纬度	资料时间
太原井水位	14001	数字水位仪	SWY-2	分钟值	112.4	37.7	2007年-2024年
运城井水位	14005	数字水位仪	ZKGD3000-NL	分钟值	111.1	35	2008年-2024年
镇川井水位	14021	数字水位仪	SWY-2	分钟值	113.4	40.3	2009年-2024年
静乐井水位	14024	数字水位仪	SWY-2	分钟值	112	38.3	2007年-2024年
祁县井水位	14028	数字水位仪	SWY-2	分钟值	112.2	37.4	2007年-2024年
孝义井水位	14029	数字水位仪	SWY-2	分钟值	111.8	37.2	2008年-2024年
朔州井水位	14034	数字水位仪	SWY-2	分钟值	112.5	39.3	2007年-2024年
介休井水位	14036	数字水位仪	SWY-2	分钟值	111.9	37.2	2007年-2024年
运城溶解氧	14005	氧钒分析仪	FD-125	日值	111.2	35.1	1990年-2024年
定襄溶解氧	14006	氧钒分析仪	FD-125	日值	113	38.4	1984年-2024年
奇村溶解氧	14017	氧钒分析仪	FD-125	日值	112.6	38.5	1990年-2024年

2.2效能分析结果

对山西省地震局地下流体测项观测资料的11个测项应用阈值法、速率法、破年变法后进行预报效能分析,结果显示(表2),11个测项地震预测效能高于随机预测($R>0$),具有预测意义,但其中有3个测项(镇川井水位、孝义井水位和朔州井水位)地震预测效能相对较差,均有2种方法的效能分析结果未通过参数组合地震预测效能置信度97.5%的显著性检验($R\leq R_0$),其余8个测项3种方法地震预测效能分析结果均通过参数组合地震预测效能置信度97.5%的显著性检验($R\geq R_0$)。

针对上述提取出的预报效能较好的测点测项,选择最佳的计算方法结果(表3),可以看出:(1)在方法使用上,破年变技术方法占主导,其次,是阈值法;(2)在震级选择上, $M_L 5.0$ 以上预测结果较多;(3)在预测时间上,无明显规律;(4)在预测范围上,都不小于200km;(5)在对应震例数量上,有2-9个地震。

以运城井水位效能评估R值的判定曲线说明(图1),在其预

报效能判定中,200km范围内 $M_L 4.5$ 级以上地震有4个,均发生于判定异常区内,漏报率0%。R值达到0.8259,必须比 R_0 值大才算通过评价,按照阈值条件,报准率100%情况下,使用破年变法,异常的预报时窗(图中紫色框部分)选择150天时,其占时率17.41%,故计算其R值为 $[R=4/4-0.1741=0.8259]$,大于 R_0 值(0.6024),通过效能检验,且预报效果较好。

表2 山西省地震局地下流体预报效能较好测项信息

序号	测项名称	方法	预测震级/度	预测时间/天	预测范围/km	R	R_0	对应震例信息(M)
1	太原井水位	破年变	5.0	180	250	0.9147	0.8419	20100124 山西河津 5.2 20101024 河南太康 5.0
2	运城井水位	破年变	4.5	150	250	0.8259	0.6024	20091105 陕西高陵 4.8 20100124 山西河津 5.2 20160312 山西运城 4.9 20180209 河南淅川 4.5
3	静乐井水位	破年变	5.0	270	350	0.8321	0.7076	20100124 山西河津 5.2 20100404 山西大同 5.0 20100605 山西阳曲 5.0
4	祁县井水位	破年变	5.0	7	400	0.6688	0.6024	20100124 山西河津 5.2 20100404 山西大同 5.0 20100605 山西阳曲 5.0 20230806 山东平原 5.8
5	介休井水位	破年变	5.0	210	350	0.9246	0.7076	20100124 山西河津 5.2 20100404 山西大同 5.0 20100605 山西阳曲 5.0
6	运城溶解氧	破年变	5.0	7	400	0.6049	0.3362	19910129 山西忻州 5.5 19980105 陕西西安 5.2 19980711 山西水济 5.0 20020422 河北内丘 5.2 20020903 山西太原 5.0 20031125 山西洪洞 5.0 20100124 山西河津 5.2 20100605 山西阳曲 5.0 20101024 河南太康 5.0
7	定襄溶解氧	阈值法	5.5	150	200	0.7129	0.5164	19891018 山西大同 5.7 19891019 山西阳高 5.6 19910129 山西忻州 5.5 19910326 山西阳高 5.8
8	奇村溶解氧	阈值法	5.5	450	200	0.7883	0.7076	19910129 山西忻州 5.5 19910326 山西阳高 5.8 19991101 山西阳高 5.7

对于4.5级以上地震,负向最佳阈值:-0.93526,正向最佳阈值:3.3363,预报时窗:150天,预报范围:0-250km
R值:0.8259, R_0 值:0.6024,实际发生地震数:4,报准率:1.0000,概率增益:5.7438,显著水平:0.00091879

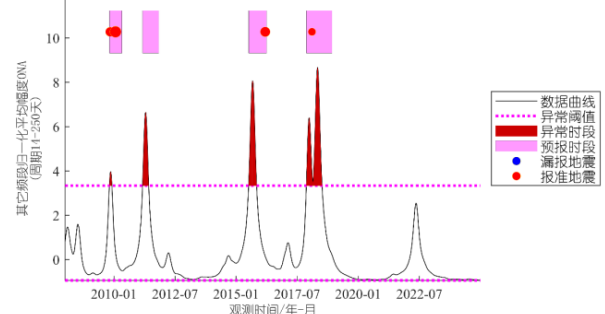


图1 预报效能较好测项效能曲线图(运城井水位)

3 结论与讨论

(1)基于多种分析方法对山西省地震局地下流体测项观测资料的进行效能分析评估,取得了较好的分析结果,太原井水位、运城井水位、静乐井水位、祁县井水位、介休井水位、运城溶解氧、定襄溶解氧和奇村溶解氧共8个测项分项预报效能较好,通过参数组合地震预测效能置信度97.5%的显著性检验($R\geq R_0$)。(2)评估结果较好的测项分项在评估方法、预测范围、预测震级上,表现出相似的特征,而在预测时间、对应震例数量上无明显特征。(3)对山西省地震局地下流体测项观测资料在多方面进行效能分析评估,但是同一测项对不同震级有不同的参数指标,以及对同一地震对应不同测项的不同参数指标,需要进一步的综合分析工作,促进地下流体观测资料在地震分析预报中的应用。

[基金项目]

2025年度震情跟踪定向工作任务(CEA-ZQGZ-202501008)。

[参考文献]

[1]郑海刚,王雪莹,汪小厉.利用多种分析方法评估肥东短水准预报效能[J].地震地磁观测与研究,2022,43(S1):143-145.

[2]梁卉,向阳,颜龙,等.新疆地区地下流体异常特征统计分析及预报效能检验[J].内陆地震,2023,37(02):152-163.

[3]姚林鹏,刘瑞春,刘国俊,等.多方法评估运城站测项预报效能[J].科学技术创新,2025,(10):79-82.

[4]吕芳,向阳,郭文峰,等.基于Molchan方法的山西地区流体资料预测效能检验[J].山西地震,2022,(01):31-35.

[5]Stockwell,R.G,Mansinha,et al.Localization of the complex spectrum: the S transform[J].Signal Processing,IEEE Transactions on,1996,44(4):998-1001.

[6]刘琦,张晶.时序数据年变信息提取及地震预测指标评估方法研究[J].大地测量与地球动力学,2023,43(1):95-99.

[7]姚林鹏,官静芝,成诚,等.基于S变换的临汾水平摆倾斜观

测数据年变信息提取及预测指标确定[J].科学技术创新,2024,(5):45-48.

[8]国家地震局科技监测司.地震学分析预报方法程式指南[M].北京:地震出版社,1990.

[9]Molchan G M.Earthquake prediction as a decision-making problem[J].Pure and Applied Geophysics,1997,149(1):233-247.

[10]蒋长胜,张浪平,韩立波,等.中长期地震危险性概率预测中的统计检验方法 I :Molchan图表法[J].地震,2011,31(2):106-113.

作者简介:

姚林鹏(1992--),男,汉族,山西运城人,本科,工程师,主要从事地震监测与分析工作。

***通讯作者:**

刘瑞春(1982--),男,汉族,山西应县人,博士,研究员,主要从事地壳形变与地球动力学等方面的研究。