

陕西地震预警站网异常波形特征研究

王月, 王世豪, 丁圆圆, 韩静, 张家瑞

Research on abnormal waveform characteristics of the Shaanxi earthquake early warning network

Wang Yue, Wang Shihao, Ding Yuanyuan, Han Jing, and Zhang Jiarui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2025-111>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

江苏预警站网试运行质量评估

Quality evaluation of trial operation of the Jiangsu early warning network

地震科学进展. 2025, 55(4): 224–231

陕西地震烈度速报与预警系统一般站运行对比分析

Comparative analysis on the operation of general stations of Shaanxi earthquake intensity quick report and early warning system

地震科学进展. 2022, 52(8): 388–395

江西省测震站网地震预警能力评估初步研究

Preliminary discussion on the earthquake early warning network of Jiangxi Province

地震科学进展. 2021, 51(6): 246–251

PRESTo地震预警系统及其在云南地震台网的本地化应用

The earthquake early warning system PRESTo and its localized application in Yunnan seismic network

地震科学进展. 2023, 53(1): 21–27

山西预警台站地震参数测定结果与测震数据对比分析

Comparative analysis of earthquake parameter measurement results and earthquake data of Shanxi early warning station

地震科学进展. 2024, 54(3): 193–196

重庆市地震预警网络IP地址规划设计解析

Analysis on the IP address design and planning of Chongqing early warning network

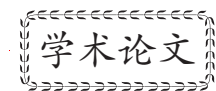
地震科学进展. 2022, 52(11): 524–528



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王月, 王世豪, 丁圆圆, 等. 陕西地震预警站网异常波形特征研究 [J]. 地震科学进展, 2025, 55(12): 684-690. doi:10.19987/j.dzqxjz.2025-111

Wang Y, Wang S H, Ding Y Y, et al. Research on abnormal waveform characteristics of the Shaanxi earthquake early warning network[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(12): 684-690. doi:10.19987/j.dzqxjz.2025-111



陕西地震预警站网异常波形特征研究

王 月 王世豪* 丁圆圆 韩 静 张家瑞

(陕西省地震局, 陕西西安 710068)

摘要 波形大异常是指因非地震事件导致预警处理系统误判而出现的单台误触发现象, 当多个台站出现波形大异常并产生耦合时, 极易导致误报。为提高陕西地震预警站网的运行质量与数据可靠性, 本研究收集了陕西地震预警站网试运行以来所遇到的各种异常波形, 整体归纳分类为 5 种典型异常——零偏型、尖刺型、葫芦型、台阶型与突跳型。通过选取每日凌晨低噪声时段的连续波形数据, 结合频谱分析与噪声特征, 识别了各类异常波形在时域和频域上的典型表现, 并探讨了其可能的成因。在此基础上, 针对不同类型异常提出了具体的现场排查与运维处置建议。通过此项研究, 能够有效提高陕西预警站网的数据质量, 避免预警系统的误触发, 不仅保障了陕西地震预警站网稳定可靠运行, 同时也为进一步研究异常波形的自动化识别提供研究基础。

关键词 地震预警系统; 数据质量; 地震预警站网; 异常波形

中图分类号: P315.78 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2025)12-0684-07

doi: 10.19987/j.dzqxjz.2025-111

Research on abnormal waveform characteristics of the Shaanxi earthquake early warning network

Wang Yue, Wang Shihao, Ding Yuanyuan, Han Jing, Zhang Jiarui

(Shaanxi Earthquake Agency, Shaanxi Xi'an 710068, China)

Abstract Waveform macro-anomalies refer to false single-station triggers caused by non-seismic events that can lead the processing system to misinterpret data. When multiple stations experience coupled waveform macroanomalies, they can easily result in false alarms. To enhance the operational quality and data reliability of the Shaanxi earthquake early warning network, we collected various abnormal waveforms encountered during the trial operation of the network. These anomalies are typically categorized into five types: zero drift, spike, gourd-shaped, step, and jump. By analyzing continuous waveform data from the low-noise period each early morning, combined with spectral analysis and noise characterization, we identified the typical time- and frequency-domain manifestations of each anomaly type and explored their potential causes. Based on these findings, specific recommendations for on-site inspection and operational

收稿日期: 2025-10-16; 采用日期: 2025-11-05。

基金项目: 陕西省地震局启航与创新基金课题(QC202401)资助。

第一作者: 王月(1999-), 女, 助理工程师, 主要从事地震速报预警等研究。E-mail: wwang979899@163.com。

* 通信作者: 王世豪(2000-), 男, 助理工程师, 主要从事地震监测、应急等研究。E-mail: 948086321@qq.com。



maintenance were proposed for different anomaly types. The implementation of this research effectively improves the data quality of the Shaanxi warning network, helps prevent false triggers of the early warning system, ensures its stable and reliable operation, and provides a foundation for further research on the automated identification of abnormal waveforms.

Keywords earthquake warning system; data quality; earthquake early warning network; abnormal waveform

0 引言

随着全球气候变化与地壳运动活跃性增强,地震等自然灾害的频发对人类社会造成了巨大威胁。我国地处环太平洋地震带与欧亚地震带交汇部位,地质构造复杂,地震活动频繁,是世界上遭受地震灾害最严重的国家之一。在此背景下,地震预警系统作为一种行之有效的防灾减灾手段应运而生。它通过实时监测、快速分析与信息发布,为公众争取黄金避险时间,成为保障公共安全的关键防线^[1]。

地震预警并非地震预报,它是一套利用地震波与电磁波之间传播速度的显著差异,从而实现提前预警的综合性技术体系^[2-3]。在强震发生时,破坏性较大的横波和面波传播速度较慢,而几乎无破坏性的电磁波和纵波传播速度较快。系统通过密集地震监测站网,在震中附近首先捕捉到 P 波信号,通过实时分析,快速估算出地震的发震时刻、震中位置、震级大小等关键参数^[4]。随后,系统通过高速通信网络,抢在破坏性 S 波到达预警目标区之前,提前数秒至数十秒发出警报。这一短暂的时间差,即为宝贵的预警时间^[5]。这个过程,本质上是一场与地震波传播的“赛跑”。

地震预警看似只提前了短短的几秒到几十秒,其带来的减灾实效却至为关键。收到地震预警信息后,人们可以迅速采取逃生措施进行紧急避险,减少人员伤亡;高速运行的列车可以采取紧急制动措施,防止脱轨^[6];燃气管道、核电站、大型化工厂等重大生命线工程可以自动采取紧急处置措施,避免次生灾害的发生等^[7]。地震预警系统可实现从传统的“震后救灾”向现代化的“震前预警”与“风险防控”的模式转变,可以说,地震预警系统是现代防震减灾体系中的“第一道防线”。预警系统依托于一个庞大的预警站网系统,站网内实时波形数据的质量直接影响了预警结果的可靠性和准确性^[8]。因此,对数据质量进行系统性研究,不仅能够提升预警的准确性和可靠性,还能最大化其减灾效益,具有重要的理论价值和现实意义^[9]。本研究将结合陕西实际,对陕西地震预警站网的异常波形进行分析研究,对地震灾害的应对提供有力支持。

1 陕西地震预警站网概述

陕西省的地貌格局呈现显著的南北分异,自北向南跨越陕北黄土高原、关中断陷盆地(渭河平原)和陕南秦巴山地 3 大构造-地貌单元。主要山脉包括横亘中部的秦岭——中国重要的南北地理界线,以及南部的大巴山。地质构造上,省域内发育多条活动断裂带,尤以控制关中盆地边界的渭河断裂带和秦岭北缘断裂带最为活跃,构造活动性强。使得陕西位于华北地震区与南北地震带北段的交汇部位,地震活动具有强度大、频度高的特征,其中关中平原为高风险的强震预警区,历史上 1556 年华县 8 级大地震即发生于此^[10]。因此,陕西省被列为国家地震重点监视防御区,对其活动构造与地震风险的研究与监测具有重要的科学和防灾意义。

国家地震烈度速报与预警工程是国家“十三五”期间的重大工程项目,陕西子项目于 2018 年起正式投入建设。通过陕西省地震烈度速报与预警系统项目的补充,陕西地震预警系统正式建成,于 2024 年 6 月底完成项目试运行。主要建设内容包括台站观测系统、通信网络系统、数据处理系统、紧急地震信息服务系统和技术支持与保障系统等 5 大部分。目前,陕西预警系统建设工程项目建设了基准站 76 个、基本一类站 134 个、基本二类站 1000 个,站点比例为 1:1.77:13.16,重点区三类站点台间距达到了 12 km,实现了全省的地震预警和烈度速报能力^[11]。陕西地震预警站网站点分布如图 1 所示。

在陕西地震预警系统的实际运行中,波形大异常现象频发。而波形大异常现象对预警系统的准确、可靠运行具有极大影响,如何避免异常波形台站耦合导致的误触发事件亟待研究^[12]。本研究收集了陕西预警站网试运行以来遇到的各种异常波形,对其进行归纳分类,提取各类波形特征^[13-14],总结异常原因,并分析处理应对方法,为陕西地震预警系统的稳定运行提供坚实保障。

2 异常波形数据分析

在台站观测系统中,地震计与加速度计作为两种核心的观测设备,其数据质量直接决定了整个系

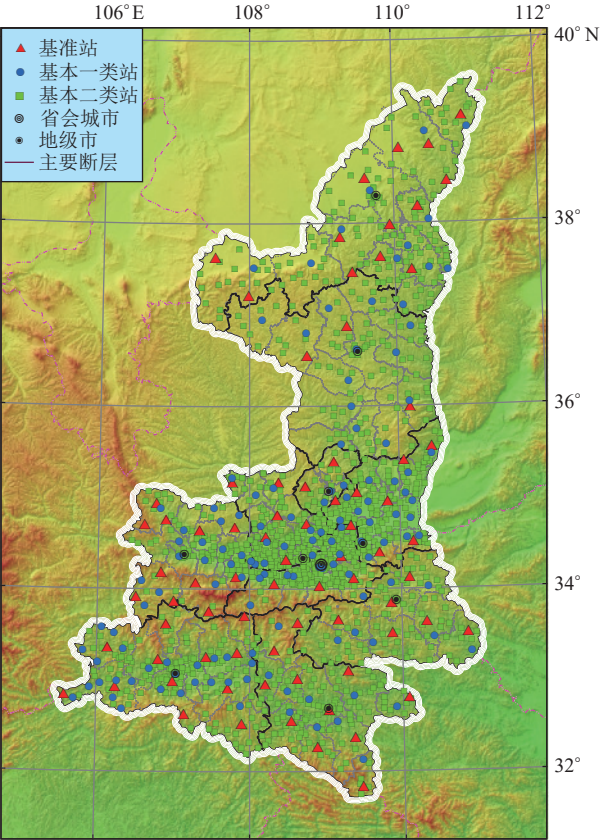


图 1 陕西地震预警站网站点分布图

Fig. 1 Distribution map of Shaanxi earthquake early warning stations

统的可靠性。在实际运行中，我们发现两种仪器的表现存在显著差异。地震计，特别是宽频带地震计，其内部通常集成了精密的反馈控制电路，具备自动调

零与动态范围调整等功能。这些设计使其在长期连续运行中表现出较强的稳定性，在日常监测中，由仪器自身原因导致的异常情况相对较少。相比之下，加速度计在测量加速度变化时，由于自身灵敏度较高，容易受到外界多种因素的干扰，从而导致异常波形的产生，因此本文的研究主要针对于加速度计。

考虑到白天人类活动、交通运输等产生的环境噪声对仪器数据的影响，选取每日凌晨 1—2 点这一时段的连续波形数据作为分析样本。此时段内，社会活动降至最低，地脉动背景噪声最为微弱，可确保获取到的波形数据能够最大程度地真实反映加速度计的工作状态。本文选取 2024 年 8 月 1 日—2025 年 8 月 31 日每日凌晨 1—2 点，陕西地震预警站网中基本一类站的加速度型记录连续波形中的全部异常数据进行分析，基本一类站技术系统如图 2 所示。使用 EDAS-ICHECK 软件直接将原始波形图进行傅里叶变换，将时域振动信号转换为频域幅度谱，结合采样率和信号时长，并依据其幅度、频率和持续时间等特点，最终将它们归纳为 5 种异常类型：零偏型、尖刺型、葫芦型、台阶型与突跳型。

2.1 零偏型异常

选取一个典型站点的零偏型异常的原始波形进行频谱分析及噪声分析(图 3a)。从原始波形来看，波形数据在单分向出现较大的零点偏移量。频谱图显示其核心特征是 1.2 Hz 的超低频优势频率以及仅为 0.764 counts 的微弱幅值；在 0~10 Hz 区间内，峰值幅度普遍较高，尤其在接近 0 Hz 处达到最大值，随

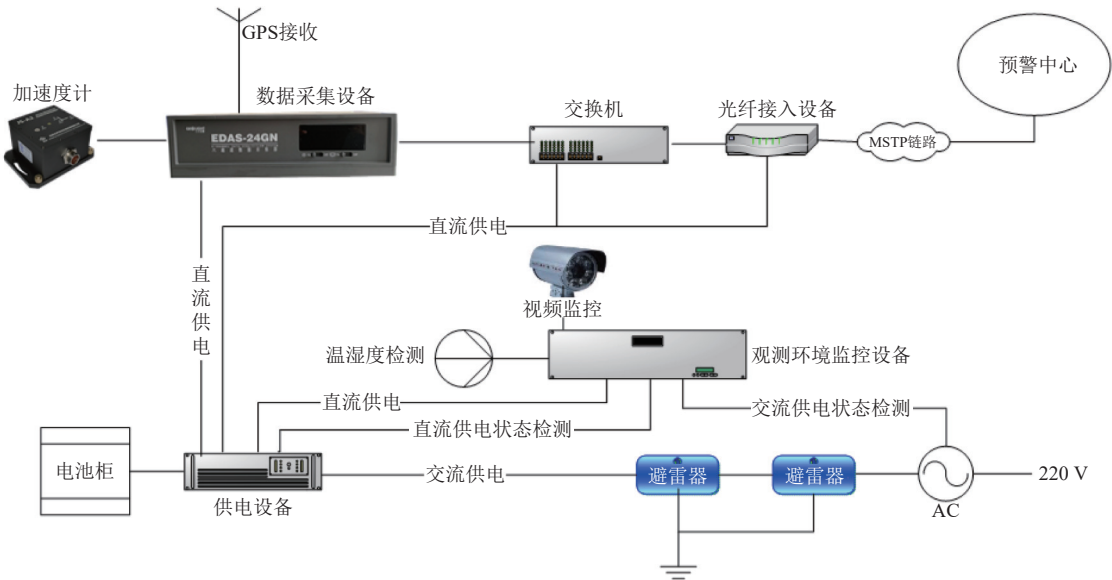


图 2 基本一类站技术系统

Fig. 2 Technical system of the type I basic station

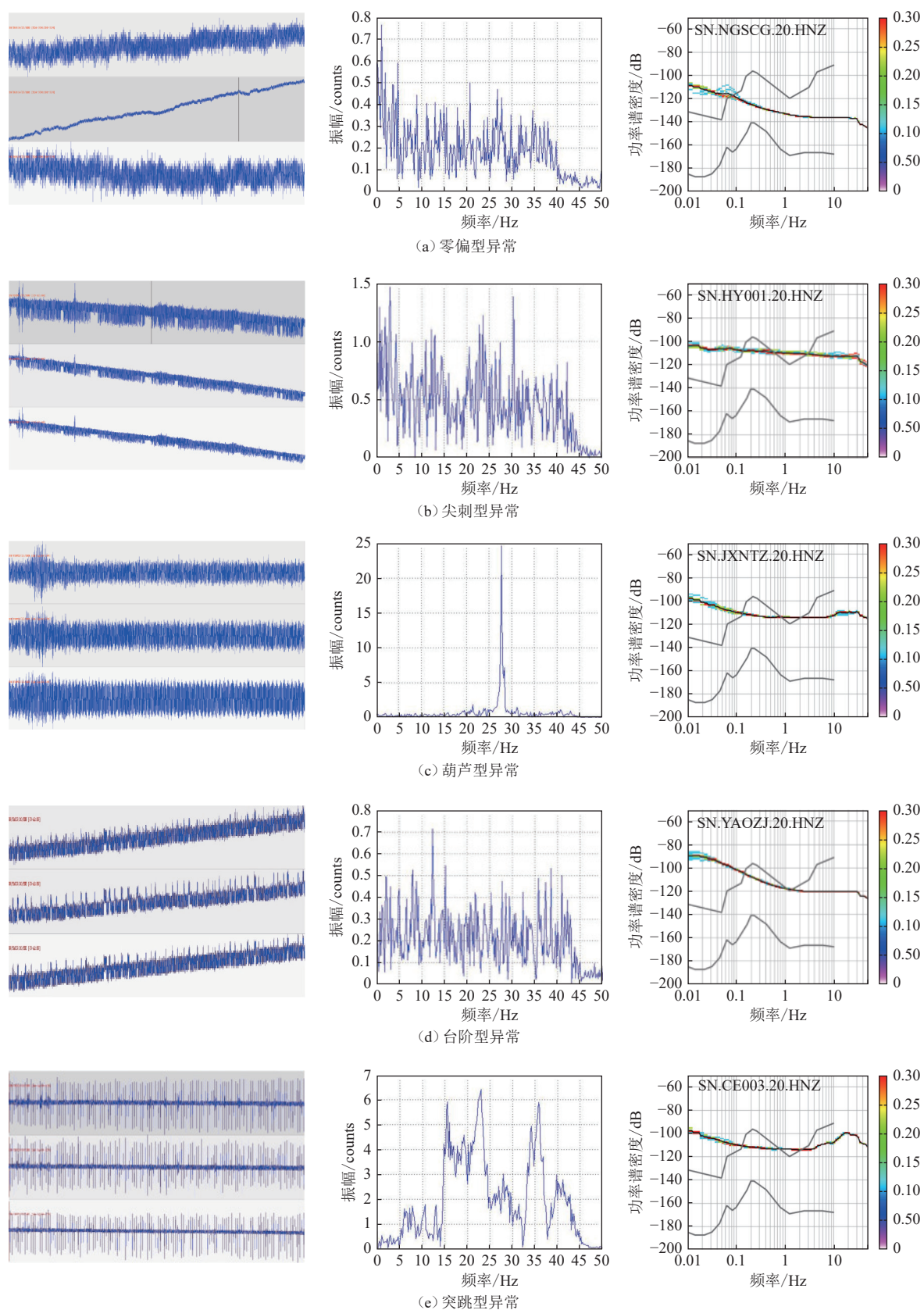


图 3 5 种异常类型的原始波形、频谱图及噪声功率谱密度图

Fig. 3 Original waveforms, spectrograms, and noise power spectral density plots of five types of anomalies

频率升高呈递减趋势,中高频段的不规则起伏实际上是由环境噪声主导,高频成分的能量极其微弱。根

据噪声功率谱密度图及计算得到的噪声有效值(RMS)(表 1),此异常类型在背景噪声方面并无明显体现。

表 1 异常站点噪声有效值(RMS)
Table 1 Effective noise value of the abnormal sites

异常类型	台站代码	时间	噪声有效值(RMS)/(m•s ⁻²)		
			20/HNE	20/HNN	20/HNZ
零偏型	NGSCG	2025-09-30	7.76×10 ⁻⁷	8.55×10 ⁻⁷	9.50×10 ⁻⁷
尖刺型	HY001	2025-09-02	1.57×10 ⁻⁵	1.44×10 ⁻⁵	1.41×10 ⁻⁵
葫芦型	JXNTZ	2025-09-02	1.65×10 ⁻⁵	1.61×10 ⁻⁵	1.59×10 ⁻⁵
台阶型	YAOZJ	2025-10-06	6.07×10 ⁻⁶	5.91×10 ⁻⁶	5.93×10 ⁻⁶
突跳型	CE003	2025-09-13	3.77×10 ⁻⁵	5.58×10 ⁻⁵	3.97×10 ⁻⁵

2.2 尖刺型异常

选取一个站点的尖刺型异常的原始波形进行频谱分析及噪声分析(图 3b)。从原始波形来看,波形数据三分向均存在单方向尖刺干扰。频谱图显示优势频率位于 3.0 Hz,峰值幅值为 1.465 counts,属于典型的低频稳态振动;并伴有 10 Hz、15 Hz 及 30 Hz 等谐波分量,形成典型的离散线谱结构,这种谐波分布特征与自然地震信号的连续频谱特性存在根本性差异;高频段分量衰减显著。根据计算得到的噪声有效值(RMS)(表 1)可以看出,此异常类型背景噪声较大。

2.3 葫芦型异常

选取一个站点的葫芦型异常的原始波形进行频谱分析及噪声分析(图 3c)。从原始波形来看,波形数据三分向均存在高频干扰,形似“糖葫芦”。通道频谱表现出异常的窄带高幅值特征,主峰位于 27.8 Hz,峰值高达 24.55 counts,频谱能量高度集中在 25~30 Hz 的极窄频带内,这种极端的频谱分布异常可以看出该数据存在严重的仪器故障,其时域波形必然表现为伴随非线性失真的强周期性冲击,波形可能因幅值饱和而出现削顶现象,信号主体由该故障频率及其谐波主导。从计算出的噪声均方根(表 1)可以看出,该异常类型背景噪声较大。

2.4 台阶型异常

选取一个站点的台阶型异常的原始波形进行频谱分析及噪声分析(图 3d)。从原始波形可以看出,波形数据三分向均存在多次明显台阶状跳跃。频谱图标识出 12.4 Hz 的中频稳态振动,其峰值幅值为 0.714 counts,整体信号强度显著偏低,无明显主导频率,表明该通道可能存在信号采集异常等问题;低频

段幅值过低,表明该通道存在传感器灵敏度下降。从噪声功率谱密度图来看,该站点噪声值较大,无其他明显异常。

2.5 突跳型异常

选取一个站点的突跳型异常的原始波形进行频谱分析及噪声分析(图 3e)。从原始波形可以看出,波形数据三分向均存在规律性突跳。频谱图呈现典型的宽带分布特征,其优势频率明确集中于 23.0 Hz,峰值幅值高达 6.416 counts,表明系统在此频点存在强烈的周期性激励,频谱能量主要集中在 15~40 Hz 范围内;信号表现出明显的多频率分量特征,表明该通道记录了较为复杂的振动信号。从噪声特征来看(表 1),噪声 RMS 值较大,其余无明显异常。

3 运维建议

波形大异常对预警系统影响较大,不仅影响预警产出的准确度,甚至可能导致预警系统的误触发,所以遇到仪器故障时应及时处置。根据不同的异常波形,建议运维人员做出相应的处置:

(1)零偏型异常一般是由于加速度计零点偏移量较大造成的。建议优先对加速度计执行调零操作,然后待输出稳定后再次观察波形变化,以此确保数据分析的可用性。

(2)尖刺型异常一般由供电系统异常、摆线故障(松动、接触不良等)或加速度计自身故障引发。建议进行现场排查处置,首先检查设备的供电情况,其次检查摆线连接状态与机械完整性,再对加速度计开展功能测试,必要时更换故障摆线或加速度计。

(3)葫芦型异常通常存在高频供电或工频干扰。建议重点检查设备供电电源的稳定性(如电压波动、

谐波含量等), 并排查周边是否存在大型用电设备(如电机、变频器等)或高压输电线路等潜在干扰源, 做好信号屏蔽, 同时确认设备接地系统是否良好, 保障监测数据的可靠性与准确性。

(4) 台阶型异常通常由供电系统波动或电磁干扰引发。需依次排查: ①检查设备接地系统是否完好; ②确认仪器安装固定是否牢固, 避免因机械振动或位移导致信号失真; ③查看站点及周边是否存在大功率用电设备(如工业电机、变频装置)。

(5) 突跳型异常通常由电磁干扰或环境噪声耦合引发。需严格核查设备接地系统是否符合防雷与电磁兼容规范, 重点排查站点周边是否存在施工机械、大型用电设备等人为干扰源, 同时检测供电回路是否存在异常脉冲信号, 定位干扰源, 保障监测数据的有效性。

4 总结

本文系统归纳并分析了陕西地震预警站网中出现的 5 种典型异常波形——零偏型、尖刺型、葫芦型、台阶型与突跳型。通过对各类异常波形在频域上的特征分析, 同时结合站点数据的噪声水平进行综合研究, 明确了各类异常的可能成因, 并针对每种异常类型提出了具体、可操作的运维处置建议。本研究能够有效提升陕西地震预警站网的运行质量, 避免因异常波形数据导致地震速报、地震预警、地震烈度速报等系统产出误差, 节约了社会人力及物力资源。未来, 可将不同类别的异常波形特征与人工智能算法相结合, 探索异常波形的自动识别与分类, 从而提高运维效率、提升站网运行率、避免误报带来的不良影响, 促进地震预警系统为公众生命安全与社会稳定提供更优质、更可靠的服务。

参考文献

- [1] 金星, 张红才, 李军, 等. 地震预警连续定位方法研究[J]. 地球物理学报, 2012, 55(3): 925-936
Jin X, Zhang H C, Li J, et al. Research on continuous location method used in earthquake early warning system[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(3): 925-936
- [2] 张恩会, 赵韬, 张永奇, 等. 渭河盆地高陵震群的发震构造[J]. 地球科学, 2024, 49(7): 2662-2674
Zhang E H, Zhao T, Zhang Y Q, et al. Seismogenic structure of Gaoling seismic swarm in Weihe Basin[J]. Earth Science, 2024, 49(7): 2662-2674
- [3] 张晁军, 陈会忠, 沈萍, 等. 地震预警实质的探讨[J]. 地震科学进展, 2022, 52(4): 154-160
Zhang C J, Chen H Z, Shen P, et al. Discussion on the essence of earthquake early warning[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2022, 52(4): 154-160
- [4] Allen R M M D. Earthquake early warning: Advances, scientific challenges, and societal needs[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2019, 47: 361-388
- [5] 王俊, 刘红桂, 周昱辰. 地震预警技术的应用与展望[J]. 防灾减灾工程学报, 2021, 41(4): 874-882
Wang J, Liu H G, Zhou Y C. Application and prospect of earthquake early warning technology[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2021, 41(4): 874-882
- [6] 张格明, 江汶乡, 冯嘉辉, 等. 基于中国地震台网的高速铁路地震预警方案研究[J]. 中国铁路, 2025(9): 1-9
Zhang G M, Jiang W X, Feng J H, et al. High speed railway earthquake early warning system based on the China Earthquake Networks Center[J]. China Railway, 2025(9): 1-9
- [7] 曾露, 田兵伟, 王墩. 地震预警服务进展及其国际比较[J]. 灾害学, 2022, 37(2): 138-144
Zeng L, Tian B W, Wang T. The progress international comparison of earthquake early warning service[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(2): 138-144
- [8] 游秀珍, 林彬华, 李军, 等. 福建地震预警台网观测数据质量评估[J]. 地球物理学进展, 2024, 39(4): 1330-1342
You X Z, Lin B H, Li J, et al. Evaluation of observation data quality of Fujian earthquake early warning network[J]. Progress in Geophysics, 2024, 39(4): 1330-1342
- [9] 郑周, 林彬华, 金星, 等. 基于卷积神经网络的地震波形智能识别研究[J]. 世界地震工程, 2023, 39(2): 148-157
Zheng Z, Lin B H, Jin X, et al. Intelligent recognition of seismic waveform based on convolutional neural network[J]. World Earthquake Engineering, 2023, 39(2): 148-157
- [10] 惠少兴, 金昭娣, 宋秀青. 陕西地区地壳速度模型研究[J]. 震灾防御技术, 2018, 13(2): 363-372
Hui S X, Jin Z D, Song X Q. Crustal velocity model of the Shaanxi region[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2018,

13(2): 363-372

- [11] 王卫平, 赵韬, 古云鹤, 等. 陕西地震烈度速报与预警系统一般站运行对比分析[J]. 地震科学进展, 2022, 52(8): 388-395
Wang W P, Zhao T, Gu Y H, et al. Comparative analysis on the operation of general stations of Shaanxi earthquake intensity quick report and early warning system[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2022, 52(8): 388-395
- [12] André M, van der Schaar M, Zaugg S, et al. Sea observatories and acoustic events: Towards a global monitoring of ocean noise[C]//2011 IEEE Symposium on Underwater Technology and Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies. IEEE, 2011: 1-3
- [13] 孙常青, 朱振家, 潘章容, 等. 甘肃地震预警测站典型异常波形的频谱分析[J]. 地震工程学报, 2023, 45(3): 614-624
Sun C Q, Zhu Z J, Pan Z R, et al. Spectrum analysis of the typical abnormal waveforms of earthquake early warning stations in Gansu Province[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2023, 45(3): 614-624
- [14] 韩璐, 陶正如. 基于异常检测与结构性态的加速度脉冲识别方法[J]. 工程力学. doi: 10.6052/j.issn.1000-4750.2023.07.0540
Han L, Tao Z R. Anomaly detection and structural performance-based identification method for acceleration pulse[J]. Engineering Mechanics. doi: 10.6052/j.issn.1000-4750.2023.07.0540

=====

(上接第 683 页)

- [5] 李富. 珙春 7.0 级深震地下流体前兆的动态特征研究[J]. 华北地震科学, 2004, 22(3): 9-14
Li F. Study on the dynamic features of subsurface fluid precursor before Huichun $M_{7.0}$ deep earthquake[J]. North China Earthquake Sciences, 2004, 22(3): 9-14
- [6] 晏锐, 蒋长胜, 张浪平. 汶川 8.0 级地震前水氡浓度的临界慢化现象研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(7): 1817-1826
Yan R, Jiang C S, Zhang L P. Study on critical slowing down phenomenon of radon concentrations in water before the Wenchuan $M_{8.0}$ earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(7): 1817-1826
- [7] 范秀丽, 张宝民, 郝书琴. 张北 6.2 级地震前廊坊地区地下流体异常特征[J]. 华北地震科学, 2004, 22(1): 51-54
Fan X L, Zhang B M, Hao S Q. The characteristics of subsurface fluid anomalies in Langfang region before Zhangbei $M_{6.2}$ earthquake[J]. North China Earthquake Sciences, 2004, 22(1): 51-54
- [8] 杜学彬, 张新基, 张慧. 中国大陆地震水氡短临异常的空间特征研究[J]. 地震学报, 1996, 18(3): 358-364
Du X B, Zhang X J, Zhang H. Study on spatial characteristics of short-impending anomaly of radon in Chinese mainland earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 1996, 18(3): 358-364