

黄玲珠, 林彬华, 王士成. 测震台网实时波形数据质量自动监控 [J]. 华南地震, 2017, 37 (4): 20–25. [HUANG Lingzhu, LIN Binhua, WANG Shicheng. Automatic Monitoring of Real-time Waveform Data Quality of Seismic Network [J]. South China journal of seismology, 2017, 37(4): 20–25.]

## 测震台网实时波形数据质量自动监控

黄玲珠<sup>1</sup>, 林彬华<sup>1, 2</sup>, 王士成<sup>1</sup>

(1. 福建省地震局, 福州 350003; 2. 福州大学, 福州 350002)

**摘要:** 测震台网实时波形数据质量的好坏直接影响到地震预警与烈度速报系统的可靠性和准确性。如何确保测震台网波形异常能及时被检出是本文研究的目标。将历史高低噪声参照线作为异常判定标准, 研发直观科学的台网运行自动监控系统, 可为工作人员快速发现波形异常提供极大的便利。目前该系统已在福建台网中心进行在线测试运行。选取 2015 年 9 月台网实时运行情况进行统计, 结果表明: 85 个台站波形异常自动检测正确率达到 95.5%, 能够满足目前台网运行维护的绝大部分需求, 系统自动产出结果可为地震预警与烈度速报系统服务。

**关键词:** 测震台网; 波形质量; 自动监控

**中图分类号:** P315.78

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-8662 (2017) 04-0020-06

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2017.04.004

## Automatic Monitoring of Real-time Waveform Data Quality of Seismic Network

HUANG Lingzhu<sup>1</sup>, LIN Binhua<sup>1,2</sup>, WANG Shicheng<sup>1</sup>

(1. *Fujian Earthquake Agency, Fuzhou 350003, China*; 2. *Fuzhou University, Fuzhou 350002, China*)

**Abstract:** The quality of real-time waveform data of seismic network directly affects the reliability and accuracy of earthquake early warning and rapid intensity system. The goal of this paper is to ensure that the anomaly of the seismic network stations can be detected in time. The paper uses the high and low noise reference line as an anomaly judgment standard to develop the automatic monitoring system of Fujian seismic network, which can provide a great convenience for the staff to quickly find station anomalies. At present, the system has been tested and run on the network center of Fujian province. The statistics result of the network real-time monitoring in September 2015 shows that the correct rate of automatic detection in 85 stations' abnormal reached 95.5%, can

收稿日期: 2017-02-20

基金项目: 中国地震局测震台网青年骨干培养专项 (20150413) 资助

作者简介: 黄玲珠 (1982-), 女, 工程师, 主要从事地震观测与地震预警研究。

E-mail: 75045617@qq.com.

meet the vast majority demand of the current network operation and maintenance, the system automatically output results can be provided to earthquake early warning and rapid intensity system.

**Keywords:** Seismic network; Waveform quality; Automatic monitoring

## 0 引言

福建省地震预警与烈度速报系统已进入在线示范运行阶段,在日常运行中,发现实时波形数据质量的好坏直接影响到地震预警与烈度速报系统的可靠性和准确性,因此迫切需要研究出对实时波形数据异常的自动化检测。目前,福建测震台网台站有85个,共255个通道,采用人工判断波形异常方法不仅工作量巨大,而且容易造成疏漏。为了研究实时波形数据质量的自动检测方法,地震工作者们主要集中在对台基噪声的研究上,通过研究台基噪声是否发生异常来判断波形质量和台站仪器状态。

1993年Peterson及其研究小组通过对全球正常背景噪声的研究<sup>[1]</sup>,确定了全球高噪声新模型NHNM和全球低噪声新模型NLNM,该模型可以很好的评估台站的场地噪声水平。2005年McNamara等人提出的地震噪声概率密度函数(PDF)方法可用于台站噪声水平和波形质量的测定<sup>[2]</sup>,相应研发的分析软件可以将实时接收的波形数据在指定的时间段内自动生成PDF图,然后通过该图评定地震噪声水平和仪器系统是否正常。2007年Sleeman等在Orfeus数据中心通过监测实时波形数据地震噪声加速度功率谱密度(PSD)值的变化<sup>[3]</sup>,实现了对宽频带地震台网波形数据质量的自动检测。2010年廖诗荣、徐嘉隽等人研发的福建省测震台网观测数据质量检测软件<sup>[4]</sup>,将McNamara提出的地震噪声概率密度函数(PDF)方法应用于日常地震观测系统数据质量的检测,所生成的任意时段各个通道的PSD值、PDF图、RMS值可以直观反映地震噪声水平变化,日常维护人员利用该软件可以较快发现台站故障。本文在这些研究的基础上,结合林彬华的地震噪声异常实时监测方法<sup>[5]</sup>,通过利用台站的历史高低噪声参照线作为异常判定标准,研发直观科学的台网运行自动监控系统,可为工作人员快速发现波形质量异常提供极大的便利,达到为地震预警与烈度速报系统服务的目的。

## 1 波形异常自动检测方法

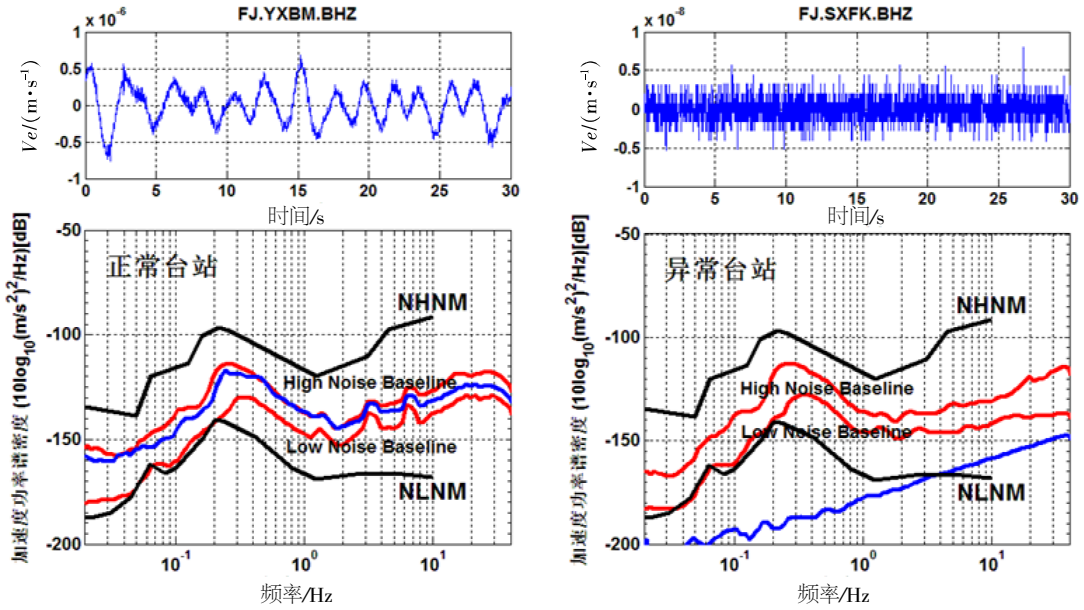
本文采用功率谱概率密度函数(PDF)方法计算

得到台站噪声模型,然后用网格概率的方法确定台站的高低噪声参照线。在线运行时,对实时波形数据进行计算并生成噪声功率谱密度(PSD),以台站高低噪声参照线为标准,自动判定波形质量和台站状态

前期工作是先收集福建省测震台网85个台站255个通道1年的波形记录作为台站噪声资料,并对记录资料作基线校正等初步处理,然后将噪声记录按照一定的时间间隔(如5 min)进行分段,采用傅里叶变换计算噪声功率谱,并对计算结果进行平滑处理<sup>[6]</sup>。确定每个中心频率的PSD概率密度函数后,得到功率谱概率密度函数(PDF)分布图,参考全球高低噪声新模型(NHNM、NLNM),根据各个台站的功率谱概率密度分布,应用网格概率方法就可以得到台站的高低噪声参照线。具体算法过程请参考林彬华研究的地震噪声异常实时监测方法<sup>[5]</sup>。

在线运行时,台站波形数据实时接收,按每5 min进行分段截取,计算并生成噪声功率谱密度(PSD),并与相应的台站高低噪声参照线做对比。当超出参照线范围达到一定阈值时,可以判断台站波形为异常状态。正常与异常台站的检测结果如图1所示,图中红色的线是台站高低噪声参照线;黑色的线是全球高低噪声新模型(NHNM、NLNM);蓝色的线是台站实时计算得到的噪声功率谱密度(PSD)。图中正常台站的PSD值基本都落在高低噪声参照线内,异常台站的PSD值大大超出了高低噪声参照线。

为了便于异常的自动化判断,根据异常类型及特征将台站异常进行分类。目前将台站状态初步分为正常、断记、瞬时异常和严重异常。其中瞬时异常为可自动恢复的台站异常,无需进行处理。严重异常包括了低噪处异常、中噪处异常和其他高噪处异常,如图2所示。低噪处异常一般是由于台站地震计无输出或某个分向卡摆,只接收到数据采集器等仪器的自振噪声;中噪处异常一般是由于仪器自身温控变化或不稳定突跳;其他高噪处异常一般是由于地震计故障,发生大位移自振所引起。

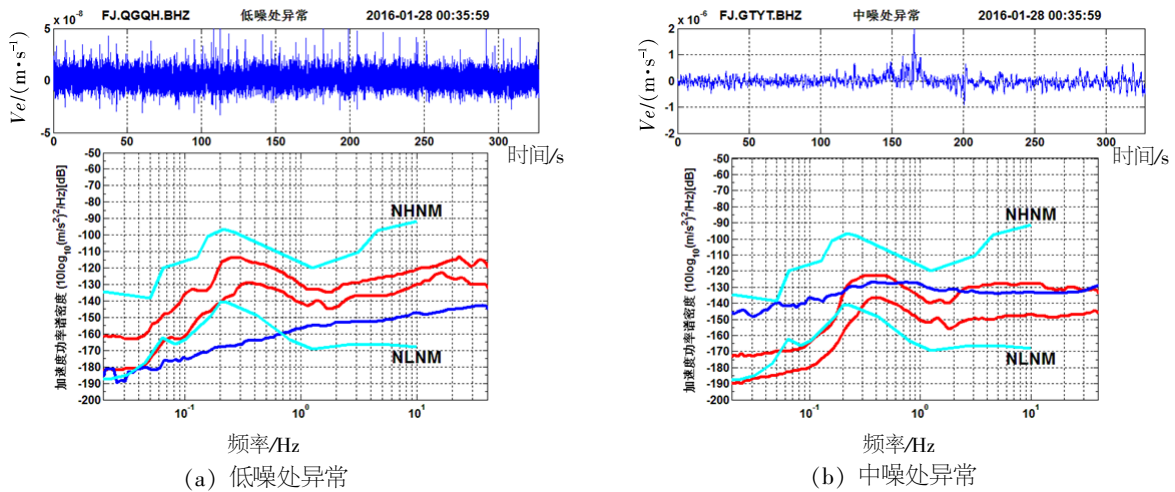


(a) 正常台站的检测结果

(b) 异常台站的检测结果

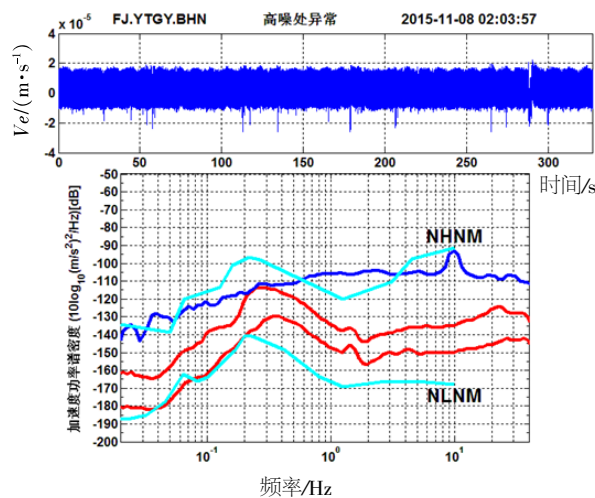
图 1 正常与异常台站检测比较

Fig.1 Comparison of the detection results of normal and abnormal station



(a) 低噪处异常

(b) 中噪处异常



(c) 其他高噪处异常

图 2 严重异常分类

Fig.2 Serious anomaly classify

这三类严重异常发生时,接收到的实时波形数据会直接影响到各地震监测系统尤其是地震速报、地震预警、地震烈度速报等系统的在线运行,可能会导致地震速报、地震预警、烈度速报等系统所计算产出的地震震中、震级、烈度等结果误差较大,给后续救灾决策、地震研究等带来误导,影响到相关决策和研究的客观性与科学性。因此,迫切需要研发具有自动监控波形数据质量的系统软件,以确保台站波形数据正常并及时修复故障台站。

## 2 台网运行自动监控系统

基于以上的波形异常自动检测方法,开发福

建测震台网运行自动监控系统软件。系统功能结构如图3所示。整个系统分为5大模块,分别是实时波形显示模块、地震噪声异常识别模块、台站状态分布图显示模块、台站状态统计记录模块和检测结果输出与存储模块。各个模块又细分成几个子模块。其中实时波形显示模块包括实时数据流接入和波形数据处理与显示;地震噪声异常识别模块包括PSD计算及绘图和异常检测算法;台站状态分布图显示模块包括在地图上显示台站分布图、采用不同颜色显示台站状态和台站信息显示;台站状态统计记录模块包括台站状态累计图、异常台站统计表和原始波形与PSD图的查看;检测结果输出与存储模块包括检测结果输出显示和检测结果存储。

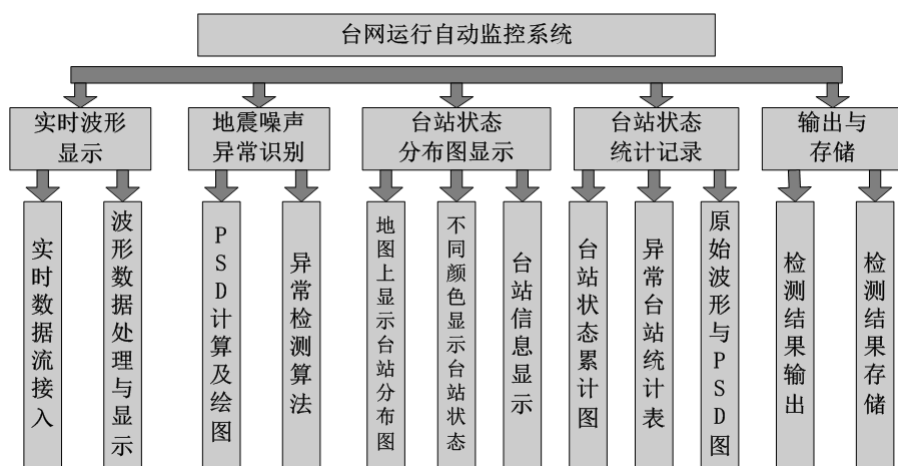


图3 福建测震台网运行自动监控系统功能结构图

Fig.3 Function structure of automatic monitoring system of Fujian seismic network

目前自动监控系统已完成软件开发并在线试运行,系统界面如图4所示。右边窗口是福建省测震台网85个测震台站的实时波形显示图;左边窗口是台站的地理位置分布图、台站仪器型号和当前台站状态,其中台站状态使用不同颜色进行标识,正常是蓝色;断记是红色;严重异常是橘红色;瞬时异常是黄色。地震计有三个通道,采用三分球的形式巧妙的表示,使每个通道的状态都能得到直观展现。当台站波形处于断记状态时提供断记时间;台站波形处于异常状态时提供原始波形图和PSD图(如图5)。界面上方使用滚动条方式高亮显示断记台站和异常台站的名称;工具栏还提供了断记统计和具有日期查询功能的波形质量监控(如图6),用户可以非常直观便捷的查看波形连续率和波形质量情况,便于台站异常追

溯,统计台站的运行状况。

## 3 在线运行情况

福建测震台网运行自动监控系统将历史高低噪声参照线作为异常判定标准,当台站波形发生异常时,对应的功率谱密度PSD值也是异常的,系统在异常发生时就能及时检测到,并自动判定异常类型。通过查看标记为异常台站的原始波形图和PSD图,工作人员就能在异常发生时对异常有个初步判断,做出快速响应,进而排除异常和修复故障。目前该系统已在福建省台网中心进行在线试运行。选取2015年9月福建省测震台网85个台站的实时运行情况进行统计。统计结果如表1所示:系统自动筛选出的异常数有6 611个,人工

进行核对后判断正确的异常数有 6 316 个, 系统的自动识别正确率达到 95.5%, 说明异常检测效果很

好, 可用于测震台网运行自动监控, 产出的结果可为地震预警与烈度速报系统服务(表 1)。

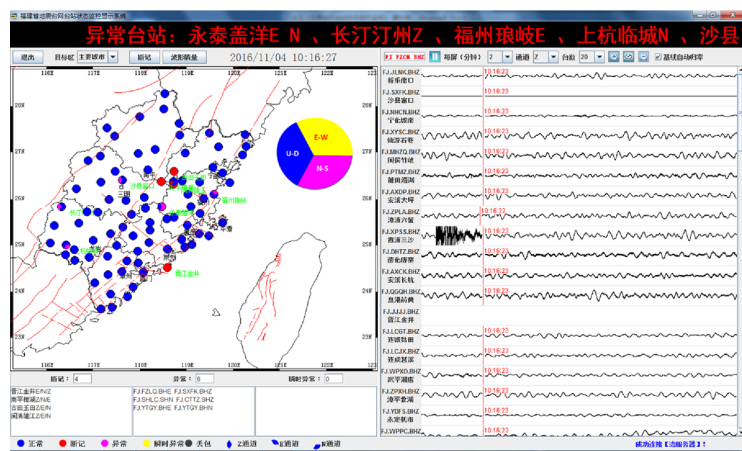


图 4 福建测震台网运行自动监控系统界面显示

Fig.4 The interface of automatic monitoring system for the operation of Fujian seismic network

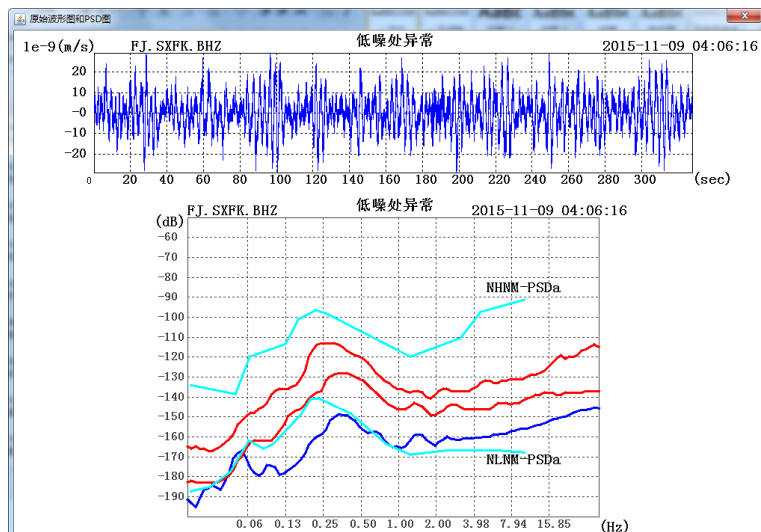


图 5 异常台站的原始波形图和 PSD 图

Fig.5 The original waveform and PSD diagram of abnormal station

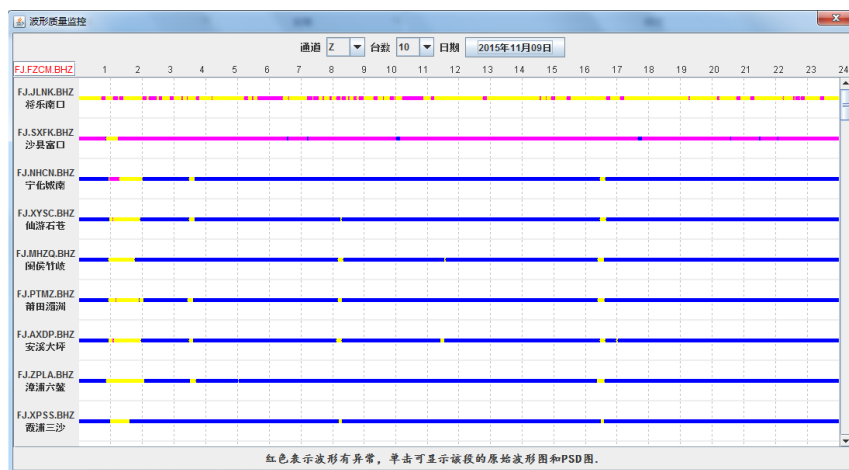


图 6 具有日期查询功能的波形质量监控

Fig.6 Waveform quality monitoring with date query

表 1 2015 年 9 月福建省测震台网 85 个台站的实时运行情况统计

Table 1 Statistical analysis of the real-time operation of 85 stations in fujian, province in september 2015

系统自动筛选出的异常数	人工判断正确的异常数	系统识别正确率
6 611	6 316	95.5%

举两个福建测震台网运行自动监控系统帮人工发现波形异常的例子。

例子一：福建台网中心实时波形数据有慢流和快流两种，慢流是满包打包的数据流；快流是 1 秒打包的数据流。地震速报系统和日常值班都是用慢流数据；地震预警和烈度速报系统对数据时效性要求高，接入的是快流数据。使用台网运行自动监控系统可以实时监控用于地震预警和烈度速报系统的快流数据。2015 年 7 月 17 日发现监控系统显示断记台站数量较多，逐个核对后有 3 个台(将乐南口、泉港前黄、永定抚市)快流没有数据，但慢流有数据，查找原因后，发现是仪器维修人员对这 3 个台的地震计进行了调校，调校后没有重启数据接收服务，导致快流断记，告知工作人员处理后，异常得到解决。这种慢流有数据而快流没有数据的异常情况在日常值班中较难被发现，自动监控系统通过配置快流台站参数就能很灵活的起到辅助监控作用。

例子二：在日常值班工作中对波形质量检查是采取查看前一日一个小时的连续波形数据质量和所有台站的台基噪声功率谱密度，对台基噪声功率谱密度表现异常的台站再调取台站连续波形数据进行仔细核查，判断是设备故障还是其他问题。这种人工判断异常的方法工作量巨大且较为繁琐，还会因人而异，造成疏漏。采用本文研发的系统进行实时监控，当波形异常情况发生时，系统自动检测并判定异常类型，同时在前端界面上标识，用户只要点击异常台站图标，就可以查看该台的原始波形图和 PSD 图，大大简化了波形质量检查过程，还能提供异常起始时间的快速查询，便于工作人员查找原因。2015 年 6 月 3 日发现泉港前黄台数据恢复，因为前一日断记，人工无法查看连续波形和 PDF 图，需要等到第二日才能检测波形质量情况，而实时监控系统在泉港前黄台数据一恢复马上就检测到 E 通道和 N 通道异常，并立即提供给工作人员。在线试运行结果表明该系统能够很好的帮助人工发现绝大部分波形异常，系统的自动产出可提供给地震预警与烈度速报系统等。

4 结语

本文研发的福建测震台网运行自动监控系统实现了对本省 85 个台站波形的实时接收和处理，通过自动监测判断数据质量异常类型，达到实时监控波形质量和地震仪器工作状态的目的。所研发的实时监控软件，可以使台站异常信息得到直观的展现，为台网维护人员快速发现波形质量异常提供了极大的便利，有利于确保众多台站运行状态正常、波形连续、记录质量良好以及故障台站及时发现与修复，避免因台站异常等原因导致地震速报、地震预警、地震烈度速报等系统的产出误差。在线试运行结果表明能够满足目前台站运行维护的绝大部分需求，系统自动产出结果可为地震预警与烈度速报系统服务。下一步工作是继续研究强震台网和简易烈度计台网的实时波形质量自动监控，实现三网融合，达到更好的为地震预警与烈度速报系统服务。

参考文献：

[1] Peterson J.Observations and modeling of seismic back-ground noise [J]. USGS Open File Report,1993,18(12): 93-322.

[2] McNamara D E,Buland R P, Benz H M,et al. An assessment of seismic noise levels for the advanced national seismic system backbone network and selected regional broadband stations[J]. USGS Open File Report, 2005,10(77):27-43.

[3] Sleeman R. Towards an automated quality control manager for the virtual european broadband seismograph network[J]. Orfeus Newsletter,2007,7(1):5-16.

[4] 徐嘉隽,廖诗荣,张红才. 福建测震台网观测数据质量检测软件研究[J]. 华南地震,2010,30(4):97-104.

[5] 林彬华,金星,廖诗荣. 地震噪声异常实时监测[J]. 中国地震,2015,31(2):281-289.

[6] 李军,金星,鲍挺. 利用噪声记录估计福建地区中小地壳体波速度结构[J]. 中国地震,2011,27(3):226-234.