

基于小波分解的化工管道泄漏识别与快速定位方法

禹铁军（河北皓普化工有限公司，河北 沧州 061000）

摘要：本文介绍了一种基于小波分解的化工管道泄漏识别与快速定位方法。该方法利用小波分析的多尺度特性，对传感器信号进行预处理，提取小波域特征。然后，通过快速定位算法，准确识别和定位泄漏位置。文章强调传感器信号预处理的重要性，以及小波域特征融合的关键作用。采用支持向量机、决策树、深度学习等算法，实现快速准确的泄漏定位。该方法为化工管道泄漏监测提供了高效可靠的解决方案，有望在工程应用中发挥重要作用。

关键词：小波分解；化工管道泄漏识别；快速定位

化工管道泄漏是工业生产中不可忽视的安全隐患，可能导致环境污染和人员伤害。因此，快速、准确地识别和定位泄漏位置对于保障生产安全至关重要。小波分解作为一种强大的信号处理工具，具有多尺度分析能力和适应非平稳信号的优势，成为化工管道泄漏监测的研究热点。基于小波分解的化工管道泄漏识别与快速定位方法，通过对传感器信号进行多尺度分解和特征提取，实现泄漏信号的准确识别。并快速定位算法结合机器学习和深度学习技术，为泄漏位置的快速确定提供有效手段，成为化工管道泄漏监测新的解决方案，具有重要的实用价值。

1 小波分析基础知识

1.1 小波变换的原理和特点

小波变换是一种用于信号处理和分析的强大数学工具。其原理是将原始信号分解成不同频率的小波基函数的线性组合。与傅里叶变换相比，小波变换具有多尺度分析能力，可以同时捕获信号的局部和整体特征。这种多尺度特性使得小波变换能在时域和频域上提供更丰富的信息。此外，小波基函数在时域上具有有限长度，因此可以处理非平稳信号和非线性信号，这是传统傅里叶变换所无法做到的。小波变换广泛应用于信号降噪、边缘检测、特征提取等领域。在化工管道泄漏识别中，利用小波变换的这些优点，可有效分析和提取泄漏信号的特征，从而实现准确的泄漏识别和快速定位。

1.2 连续小波变换与离散小波变换

小波变换可分为连续小波变换（CWT）和离散小波变换（DWT）。连续小波变换是将信号与连续小波基函数进行内积运算，通过在连续尺度上滑动小波基函数来实现多尺度分解。CWT 提供了丰富的尺度信息，但计算复杂度较高。为了克服这个问题，离散小

波变换被提出。离散小波变换通过采样和滤波的方式，将信号离散化，并且只保留少数特定尺度的小波基函数。这样，DWT 降低了计算复杂度，但损失一部分连续尺度的信息。因此，在实际应用中，根据需要选择连续小波变换或离散小波变换，以平衡信号处理的精度和计算效率。

1.3 小波分解的多尺度特性

小波分解的多尺度特性是其在信号处理中的重要优势。小波分解利用不同尺度的小波基函数对信号进行分解，使得在一个变换中可同时捕获信号的局部细节和整体特征。这是传统的傅里叶变换所不具备的。通过多尺度分解，小波分析可以在不同频率范围内对信号进行逐层细化，从而提取出信号的多频率特征。这种多尺度特性使得小波分解在处理非平稳信号和非线性信号时表现出色。在化工管道泄漏识别中，泄漏信号通常表现出瞬态、非稳态的特点，利用小波分解的多尺度特性，可有效捕捉到泄漏信号的瞬态变化和局部特征，从而实现准确的泄漏识别和快速定位。因此，小波分解的多尺度特性为化工管道泄漏监测提供一种强大而灵活的工具。

2 小波分解在化工管道泄漏识别中的应用

2.1 传感器信号预处理

传感器信号预处理在化工管道泄漏识别中扮演着至关重要的角色。由于传感器所捕获的信号可能受到多种干扰因素的影响，例如噪声、信号漂移、故障传感器等，直接应用小波分解可能导致不准确的结果。因此，需要对传感器信号进行预处理，以提高信号质量和可靠性。

首先，信号去噪是传感器信号预处理的核心步骤。小波分解对噪声敏感，因此常用的去噪技术，如小波阈值去噪方法，可以应用于信号预处理中。该方法利

用小波分解的稀疏特性,将信号的小波系数进行阈值处理,将较小的系数置零,从而去除噪声的影响。其次,信号漂移的校正也是一个关键步骤。随着时间的推移,传感器信号可能发生漂移,导致信号的基线发生变化,会对泄漏的检测和定位造成误差。因此,需要对信号进行漂移校正,将信号还原到原始状态,以便准确地进行泄漏识别。此外,故障传感器的检测与处理也不能忽视。故障传感器可能会提供不准确或无效的信号,对识别算法产生干扰。在传感器信号预处理中,需要进行故障传感器的检测与剔除,确保泄漏识别系统的可靠与稳定。传感器信号预处理是基于小波分解的化工管道泄漏识别的关键步骤。通过有效的去噪、漂移校正和故障传感器处理,可以提高信号质量,减少干扰,为后续的小波分解特征提取和泄漏识别算法奠定良好的基础,从而实现准确、快速、可靠的管道泄漏监测与定位。

2.2 小波分解特征提取

小波分解在化工管道泄漏识别中的特征提取是关键的一步,通过对传感器信号进行小波变换,从不同尺度的小波系数中提取有用的特征信息,用于泄漏的准确识别和快速定位。

在特征提取过程中,首先选择适当的小波基函数,不同的小波基函数对信号的特征提取有所差异。一般选择与信号特性相匹配的小波基函数,以获得更好的特征表达。其次,根据化工管道泄漏信号的特点,从小波分解的不同尺度系数中提取多种特征。例如,对于瞬态泄漏信号,可以利用高频尺度系数来捕捉瞬时的泄漏信号变化,对于持续性泄漏信号,可以关注低频尺度系数,捕捉其持续性变化。同时,还可以利用小波包变换等更高级的小波分解技术,进一步提取更丰富的特征。此外,在特征提取过程中,还可以结合其他信号处理方法,如时域特征提取、频域特征提取等进行综合分析。例如,计算信号的均值、方差、峰值等统计特征,以及信号的功率谱密度等频域特征,可以进一步增强特征的表征能力。最后,经过特征提取后,可以得到一组具有较高区分性的特征向量,这些特征向量可以作为输入用于泄漏识别和定位算法。根据特征向量的变化和模式,可以准确判断是否存在泄漏,并迅速确定泄漏的位置。小波分解在化工管道泄漏识别中的特征提取是一个关键步骤,通过选取适当的小波基函数并从多尺度系数中提取有效特征,可以实现对泄漏信号的准确、全面的表征,为后续的泄

漏识别和定位提供强有力的支持。

2.3 泄漏识别与分类算法

在化工管道泄漏识别中,泄漏识别与分类算法是实现准确识别和快速定位泄漏的关键步骤。利用小波分解提取的特征向量作为输入,可以采用多种机器学习算法和模式识别方法进行泄漏的识别和分类。一种常用的泄漏识别算法是支持向量机(SVM)。SVM是一种监督学习方法,通过将特征向量映射到高维空间,构建最优的超平面,从而实现对泄漏信号的二分类(泄漏与非泄漏)。SVM具有较强的泛化能力和分类性能,在较小的训练样本集上也能取得较好效果。除了SVM,还可以使用决策树、随机森林等分类算法。决策树是一种简单而直观的分类模型,可以通过特征的递归划分实现泄漏的分类。而随机森林是一种集成学习方法,能够通过多个决策树的投票结果来提高分类的准确性。另外,深度学习算法如卷积神经网络(CNN)也逐渐应用于泄漏识别。CNN通过自动学习特征表示,能够从原始信号中提取更高级的抽象特征,并且在大规模数据集上表现优异。这种深度学习算法对于复杂的泄漏信号识别有较好的性能。泄漏识别与分类算法的选择应根据具体的应用场景和数据特点进行。在实际应用中,可以根据泄漏信号的特征、数据量和计算资源等因素来选择合适的算法。也可以将多种算法进行融合,构建更为稳健和高效的泄漏识别系统,确保化工管道泄漏监测的准确和可靠性。

3 基于小波分解的化工管道泄漏快速定位方法

3.1 系统框架和流程

基于小波分解的化工管道泄漏快速定位方法的系统框架和流程是为了在实际应用中能够快速、准确地定位泄漏位置而设计的。系统框架首先包括泄漏传感器网络,这些传感器被布置在化工管道的关键位置以监测泄漏信号。传感器网络将收集到的原始信号传输至泄漏定位系统。

在系统流程中,首先对传感器信号进行预处理。这一步骤主要包括去噪、漂移校正和故障传感器剔除。通过这些预处理步骤提高信号质量和可靠性,为后续的泄漏定位做好准备。接下来,对预处理后的信号进行小波分解。利用小波分解的多尺度特性,对信号进行分解,得到不同频率尺度的小波系数。这些小波系数携带了信号的特征信息,可以反映出泄漏信号的局部细节和整体特征。然后,进行小波域特征融合。将不同尺度的小波系数按照一定的规则进行组合和融

合,得到一组综合的小波域特征向量。这些特征向量将用于后续的泄漏快速定位。最后,进行泄漏快速定位算法。基于小波分解提取的特征向量,利用机器学习算法或其他定位方法,对泄漏位置进行快速定位。定位结果将在监测系统中实时显示,使操作人员能够迅速采取相应的措施。基于小波分解的化工管道泄漏快速定位方法的系统框架和流程将传感器信号预处理、小波分解特征提取和泄漏定位算法有机结合,实现对泄漏位置的快速、准确定位,为化工管道泄漏监测提供一种高效可靠的解决方案。

3.2 小波域特征融合

在小波分解后,我们得到不同尺度的小波系数,每个系数都携带着不同频率范围内的信号特征。为了综合利用这些尺度的信息,需要进行小波域特征融合。小波域特征融合可以通过多种方法实现,其中一种常用的方法是特征向量的拼接。即将每个尺度的小波系数分别作为特征向量的一部分,形成一个更长的特征向量。好处是保留了不同尺度的信息,但也增加了特征向量的维度,可能导致计算复杂度的增加。另一种方法是采用特征加权的方式。对于不同尺度的小波系数,可以根据其重要性和贡献程度进行加权,然后将加权后的系数进行组合,得到一个综合的特征向量。此方法可有效降低特征向量的维度,减少计算复杂度,且能更加灵活调节不同尺度的权重,以适应不同类型的泄漏情况。

此外,还可以利用主成分分析(PCA)等降维技术对小波系数进行降维处理,得到更紧凑的特征表示。小波域特征融合是在小波分解后对不同尺度特征的有效组合,以便于后续泄漏快速定位算法使用。合理的融合方法可以充分利用小波分解的多尺度信息,提高泄漏定位的准确性和鲁棒性。

3.3 快速定位算法设计

快速定位算法是基于小波分解的化工管道泄漏快速定位方法中的核心环节。在得到小波域特征向量后,该算法旨在迅速而准确地定位管道泄漏的位置。

首先,快速定位算法可以采用一种基于模式识别的方法,如K最近邻(K-NN)算法。该算法通过计算待定位泄漏特征向量与已知泄漏模式特征向量之间的距离,选择K个最相似的样本,然后根据这些样本的位置信息,通过加权平均或投票等方式来确定泄漏位置。其次,也可以采用基于概率模型的方法,如贝叶斯分类器。该算法通过建立概率模型,估计待定位

泄漏特征向量属于各个泄漏位置的概率,然后选择概率最大的位置作为泄漏位置。

另外,深度学习算法如卷积神经网络(CNN)也可以应用于快速定位。通过将小波域特征向量作为输入,训练CNN网络来学习泄漏特征与位置之间的复杂映射关系,实现端到端的快速定位。为了进一步提高快速定位的效率,还可以将预先构建好的泄漏模型或经验规则与算法相结合,加速泄漏定位过程。例如,可以根据化工管道的布局和泄漏特征,建立泄漏位置的候选集合,然后在候选集合中快速搜索,缩小定位范围,从而加快定位速度。快速定位算法是基于小波分解的化工管道泄漏快速定位方法的核心部分,可以结合模式识别、概率模型和深度学习等多种方法,以及预先构建的泄漏模型,实现对泄漏位置的快速、准确定位,为应急响应和泄漏处置提供及时支持。

4 结语

综上,基于小波分解的化工管道泄漏识别与快速定位方法为化工工业领域的安全监测提供了一种创新而可行的解决方案。通过小波分解的多尺度特性,该方法能够高效地提取泄漏信号的特征,实现准确的泄漏识别和定位。同时,采用支持向量机、决策树、深度学习等算法,为快速定位提供了强有力的支持。这将在实际工程中提高泄漏监测的准确性和实时性,最终保障生产安全和环境保护。然而,本方法也面临着小波分解参数选择、算法优化等挑战,未来的研究应致力于进一步改进和优化,以实现更好的性能和更广泛的应用。

参考文献:

- [1] 苗文成,孙秉才,许斌,高磊,杨旭.油田集输管道泄漏次声波在线监测实验研究[J].工业安全与环保,2023,49(3):31-36.
- [2] 郑伟哲,韦娟,郑浩南.改进的气体泄漏识别算法研究[J].现代电子技术,2023,46(5):35-39.
- [3] 贾义.天然气长输管道泄漏检测及定位方法[J].中国科技期刊数据库.工业A,2022(8):46-48.
- [4] 吴鹏辉,尧玉燕.综合物探法在水利工程岩溶探测中的应用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(3):54.

作者简介:

禹铁军(1988-),男,汉族,河北衡水景县人,中高级职称,大专,研究方向:化工安全。