

模型水轮机 SICI 声像联合空化识别方法的研究

王桂虹 骆彦辰 王智勇 任盼秋 谢强

东方电气集团东方电机有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i12.5929

[摘要] 水轮机空化现象对过流部件产生的危害较大,因此可通过观测模型水轮机在不同工况运行条件下产生的空化现象来进一步研究空化机理,从而采取各种措施以降低空化过程中空蚀对水轮机产生的负面影响。为提高空化识别的准确度和效率,本文研究了一种自动捕捉模型水轮机空化泡音和图像现象的SICI声像联合空化识别的方法。

[关键词] 空化识别; 声像联合; 模型训练

中图分类号: F812.7; F273.1 **文献标识码:** A

Research on SICI Acoustic-Visual Combined Cavitation Identification Method for Model Hydro turbine

Guihong Wang Yanchen Luo Zhiyong Wang Panqiu Ren Qiang Xie

Dongfang Electric Machinery Co.,LTD.

[Abstract] Cavitation phenomena in hydraulic turbines can cause significant damage to the flow passage components, so it is possible to further study the cavitation mechanism by observing the cavitation phenomena that occur in a model hydraulic turbine under different operating conditions. This can help to take various measures to reduce the negative impact of cavitation erosion on the hydraulic turbine. To improve the accuracy and efficiency of cavitation identification, this paper explores a method of automatically capturing the phenomena of cavitation bubbles and images in a model water turbine through a combination of acoustic and visual signals.

[Key words] Cavitation Detection; Audio-Visual Integration; model training

引言

水轮机空化现象是指在水轮机流道中局部压力降低至某一临界压力时,水中气核逐步成长为气泡,气泡将液体中的蒸汽和溶液中析出的气体包裹起来,当进入压力较低区域时,气泡会逐渐长大,当气泡随水流运动到压力较高的区域时,在高压作用下气泡会迅速凝缩溃灭。因此,空化现象不是某一个固定状态,而是气泡从集聚到流动再至分裂溃灭的这一个过程。这一过程所形成的巨大微观水锤压力高达数百千帕,致使水轮机过流部件金属表面遭到严重的机械破坏,从而增加过流部件的糙率使得水头损失加大机组效率降低,更为严重的甚至会致使机组产生异常振动。因此,想要改善空化现象对水轮机运行中的破坏性,需研究人员能准确识别出这一现象从而能进一步更好了解空化机理以达到改善水轮机运行性能的目的^[1]。

当前,主要通过试验人员肉眼观测和听音的人工识别方式进行模型水轮机空化现象的判别。该方式对试验人员的能力要求非常高,需从事相关工作至少十年左右的工程师才能较为准

确地进行观测判断出是否产生空化现象。这种人工判定的方法主观性较强,易受试验人员专业能力和外界环境影响,识别准确率存在波动性和不确定性。

本文在已有的研究基础上,借助我公司现有的具备完备测量和控制系统的火力模型试验台,在不同的水轮机模型试验工况下,通过增加相关传感器及信号处理设备,采用Python和Labview编程平台展开算法研究,构建了SICI(Sound & Image cavitation identification)声像联合空化识别方法,以期获得较高的智能空化识别率。

1 正文

1.1 模型水轮机空化泡音智能识别方法^[2]

模型水轮机空化泡音智能识别方法是一种基于SVCC(Support Vector Cavitation Classifier, SVCC)向量分类的算法^[3],该算法所遵循的路线如下:

(1) 数据预处理: 将获得的原始数据进行清洗,划分 TestData(测试集)与 TrainData(训练集),将其变换成SVCC运算所需要的格式;

- (2) 数据标准化：上述数据集进行归一化变换，我们采用了零均值标准化；
- (3) 数据划分为训练及测试集；
- (4) 选择核函数，我们选用径向基函数 $K(x, y) = e^{-\gamma ||x - y||^2}$ ；
- (5) 交叉验证：确认 C, γ 的取值；
- (6) 训练：用 (5) 中确认的最佳 C, γ 对训练集进行训练；
- (7) 测试：用测试集对 (6) 得到的模型进行测试。



图1 模型水轮机空化泡音智能识别方法工作原理图

1.2 模型水轮机空化图像的梯度特征统计识别及CNN识别方法

模型水轮机空化图像识别采用了卷积神经网络^[4]CNN (Convolutional Neural Networks, CNN), 其实现方法大致可以分为以下几步：

(1) 数据预处理。CNN对数据有一定的限制和要求，因此需要对采集到的数据进行预处理。我们采集到的是视频数据流，首先需要在其中抽出图像，并将图像的像素值缩放到0到1之间，或者使用均值进行归一化处理；其次，对图像进行裁剪或者缩放，以“聚焦”ROI。在这一步中，使用训练集对数据进行处理，并将同样的处理方法应用到测试集和预测数据上。

(2) 构建模型。CNN的模型是由多层卷积层、池化层、全连接层等组成的，需要根据具体问题进行合理的设计。在构建模型的过程中，需要确定网络的深度、卷积核的大小和数量、池化操作的方式、全连接层的数量和神经元的数量等参数^[5]。

模型的构建还包括配置损失函数、优化算法和评估指标等。损失函数根据具体问题选择，例如分类问题一般使用交叉熵损失函数；优化算法可以选Adam、SGD等；评估指标可以使用准确率。

(3) 训练模型。将预处理后的数据输入到通过编译的模型中，对模型进行训练。在训练过程中，需要设置参数 (epoch数、批次大小)，并通过反向传播算法更新权重和偏置。

对硬件资源的需求也是我们在训练中需要考虑的重要内容。模型运算所在的计算机如果资源受限，就需要采用时间换空间的方式，批量“喂”数据，以减少内存的消耗。

(4) 模型评估。训练结束后，需要对模型进行评估。评估可

以在训练过程中进行，也可以在训练结束后进行。评估可以使用测试集等数据集进行，为了避免人工调参所带来的影响，最好采用验证数据集进行评估。评估指标可以选择准确率、损失值等。如果模型效果不理想，需要通过调整模型参数、优化算法和网络结构等方式进行优化。

(5) 模型预测。训练好模型后，把模型保存起来，用于对新的数据进行预测。将新的数据输入到模型中，进行前向传播操作，输出模型的预测结果。

1.3 模型水轮机空化SICI声像联合识别方法

由于在水泵工况下，受制于空间问题，现阶段摄像机无法捕捉到转轮叶片正面的图像，因此，为了提高模型水轮机整体的空化识别概率，我们将上述两种方法联合使用，构建一套SICI声像联合空化识别系统。即通过在模型段装置开孔插入水听器捕捉音谱，从而既可以提高水轮机工况下空化识别率，又可以弥补水泵工况下无法捕捉叶片表面图像的缺点。

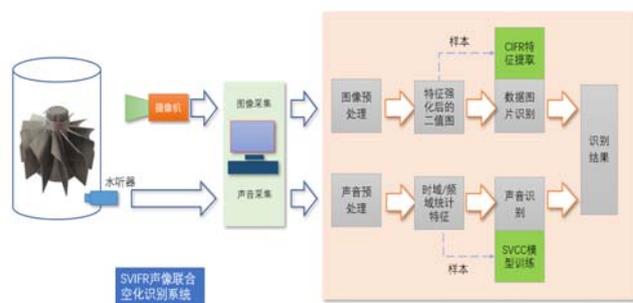


图2 模型水轮机空化SICI声像联合识别方法工作原理图

通过上述判别流程，为避免出现空化现象漏判的情况，采取了将图像识别结果^[3]和声音识别结果互为补充的方式，即两者采取“或”的输出关系，作为最终判定结果。

2 水轮机声像联合空化识别分析系统的实际应用

在水泵水轮机模型试验测量及控制系统搭建完备情况下，基于声像联合空化识别的理论依据，通过增加部分传感器、架设摄像机、安装水听器 and 采集卡，以及信号预处理等硬件设备，并使用LabVIEW和Python等软件平台设计，构建了模型水轮机SICI声像联合空化识别算法，形成一套水轮机模型空化观测的智能分析和识别系统。该系统已在东方电机有限公司的水力模型试验平台得到实际应用。

2.1 系统运用所需的软硬件环境

(1) 识别系统的软件运行环境。操作系统：windows10以上；编程平台：64位LabVIEW(含视觉模块安装包)、64位Python系统计算机硬件：i5, 16GRAM, 1T HDD, 512G SSD。

(2) 配套的试验台硬件设备。模型水轮机空化观测分析系统需建立在水泵水轮机模型试验台硬件基础上运行，应配备水轮机模型试验台及试验台现用测控系统、相配套的水轮机模型试验装置、水听器、前置放大器、AI采集卡、高速摄像机或摄像头、外置图像采集卡(输出至少720P的水轮机模型转轮空化视频或图片)。

(3) 水听器的安装。水听器的安装设计, 需要考虑耐压, 对试验装置流场影响等因素。且针对不同目标试验台, 因试验人员对于水声传输特性的不确定, 则需要对水听器的安装位置进行多次调整。其示例如下图。

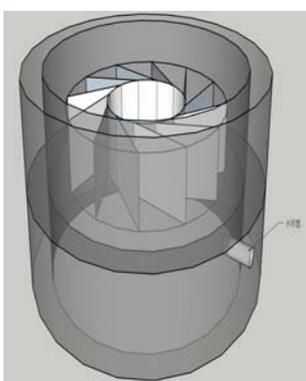


图3 水听器及安装示意

(4) 图像采集设备的接口。①采用高速摄像机的方式:

提供适当的照明条件, 尽量避免反光、高光、暗角, 整幅图片对比度及亮度均匀。

摄像机所提供的视频足够清晰, 特别是模型转轮空化发生时具备明确的可辨识度。

②采用照像机与频仪相结合的方式: 照相机置于三脚架拍摄, 需要提供适当的照明条件, 尽量避免反光、高光、暗角, 整幅图片对比度及亮度均匀。照相机与频仪结合, 能够提供每秒一次的连续曝光能力, 且快门时间小于 $1/2000$ 秒。



图4 图像采集设备示意

2.2 SICI声像联合空化识别系统的应用

空化观测系统分为实时模式和离线模式, 两个模式分别实现了水力试验过程中空化现象的实时观测和复现。

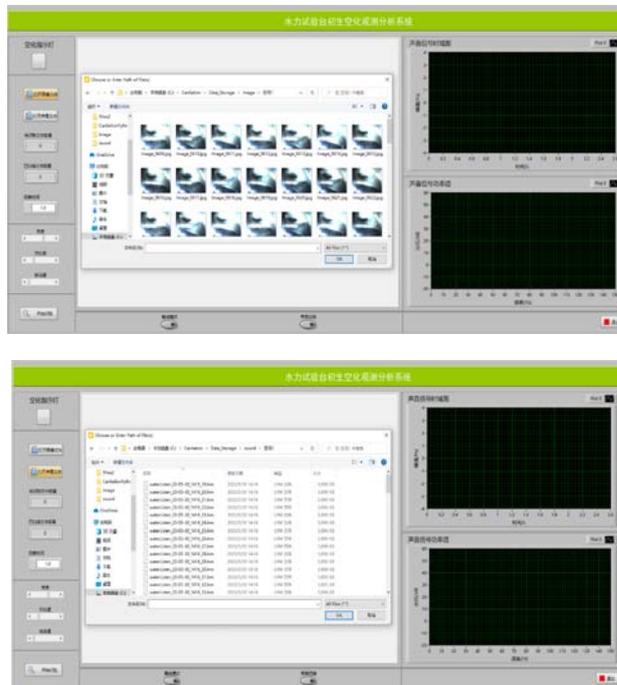


图5 图像和声音文件的选择

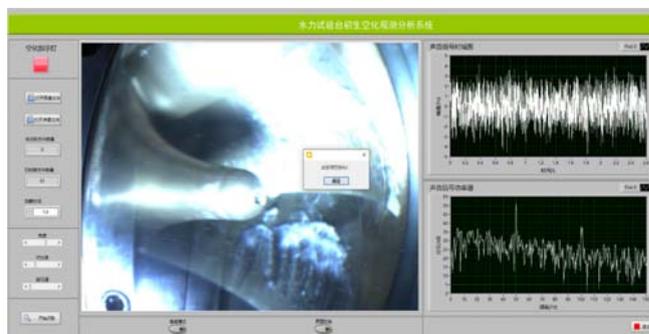


图6 空化识别过程中出现空化状态的提示对话框

软件运行后默认进入离线模式, 该模式可以将已经采集的图像和声音信号进行复现, 并且根据选择的图像文件和声音文

件判断被选时间内是否出现空化现象。而实时模式则可以自动持续观测空化现象的产生和消失,并对其进行反馈。

系统通过对图像和声音数据信息的计算,给出所选工况是否发生空化现象,若发生空化,则亮起空化指示灯并弹出提示对话框。

3 结论

本研究提出了一种基于声像联合方式进行模型水轮机空化现象智能识别的方法,该方法主要是为了进一步提高模型水轮机空化识别的准确度和效率。目前,SICI声像联合空化识别系统已具备对模型水轮机空化现象进行识别的功能,可作为后续模型水轮机空化现象识别的辅助工具,但该系统识别率的提高需经过数年相关试验过程中采集的数据作为模型完善的支撑,即需长期对训练集进行填充完善以达到针对不同模型水轮机均可较为准确高效地判定出空化现象。

[参考文献]

- [1]刘忠,王文豪,邹淑云,等.水轮机空化声发射信号的联合降噪与特征提取[J].水力发电学报,2022,41(12):145-152.
- [2]韩文福,倪晋兵,桂中华,等.模型水轮机初生空化的特征谱提取识别方法[J].水力发电学报,2023,42(8):69-79.
- [3]汪刚,王桂虹,骆彦辰,等.水轮机空化现象智能识别的分类模型训练方法[J].水力发电,2023,49(7):67-72.
- [4]刘忠,李显伟,邹淑云,等.基于混沌理论和CNN-OSVM的水轮机空化状态识别方法[J].动力工程学报.2023,43(11):1454-1460.
- [5]韩文福,桂中华,满哲,等.模型水轮机空化现象智能识别方法[J].水利水电科技进展,2024,44(06):13-19.

作者简介:

王桂虹(1986--),女,汉族,四川省绵阳市人,北京科技大学硕士研究生,研究方向:自动化系统设计及应用。