

基于聚类分析与加权模糊逻辑的汽轮机组振动故障诊断方法研究

董晓峰¹, 顾煜炯¹, 邱 影², 杨 昆¹

(1. 华北电力大学 电站设备状态监测与控制教育部重点实验室, 北京 102206

2. 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要: 针对汽轮机组振动故障诊断中故障征兆的使用问题, 提出了一种基于聚类分析与加权模糊逻辑相结合的故障诊断方法。利用振动的频谱特征对振动故障的几种常见故障模式进行分类, 形成故障模式类, 从而可以在故障模式类层次区分开属于不同性质的故障模式, 解决类间的识别问题, 进而缩小故障模式的识别范围。对于同一故障类中的故障模式, 采集不同类型的故障征兆, 利用粗糙集理论建立故障诊断决策表, 提取对故障识别有贡献的故障征兆构建故障诊断规则, 再应用知识依赖度为故障诊断规则的前提条件分配权重, 克服了主观分配权重存在的不足, 减少了故障诊断推理过程中的不确定性影响。再应用加权模糊逻辑对故障诊断规则进行推理, 根据推理结果对故障模式进行识别。该方法既充分利用了振动的频谱特征这一重要故障征兆作为故障诊断的初步判断依据, 又综合利用了反映故障不同方面信息的不同类型的故障征兆, 从而做到更加准确地进行故障识别。

关 键 词: 汽轮机组; 振动; 主元分析; 聚类分析; 粗糙集; 加权模糊逻辑; 故障诊断

中图分类号: TK267 文献标识码: A

引 言

汽轮机组是火电站的关键设备, 汽轮机组的故障停运严重影响火电机组运行的可靠性和经济性, 所以汽轮机组的状态监测和故障诊断一直备受关注, 人们对其进行了大量的研究工作^[1~5]。振动是汽轮机组状态最常见的外部表现形式, 振动信号中包含了丰富的机组状态信息, 当机组发生故障时, 其振动形态也将发生改变。长期以来, 对于汽轮机组的振动故障诊断方法, 主要是采用振动频谱分析的方法, 通过分析转子的振动频谱图或利用提取出来的频率特征, 进行分析和计算来区分判断故障的类型, 现有的故障诊断方法大多数还是基于振动的频

谱特征来实现的。但是振动的频谱特征只是反映了汽轮机组故障的部分信息, 还有些故障仍不能根据振动特征明显区分开, 这就需要引入其它征兆进行判别, 如温度、压力等参数的变化情况及振动信号的各种趋势分析等。因此, 如何既能充分利用振动的频谱特征这一重要故障征兆作为故障诊断的重要证据, 又能综合利用反映故障不同方面信息的不同类型的故障征兆, 从而可以更准确的进行故障识别, 成为本文所要解决的问题。

为此, 本研究提出了一种聚类分析与加权模糊逻辑相结合的振动故障诊断方法。利用振动的频谱特征对振动故障的几种常见故障模式进行分类, 形成故障模式类, 从而可以在故障模式类层次区分开属于不同性质的故障模式, 解决类间的识别问题, 进而缩小故障模式的识别范围。对于同一故障类中的故障模式, 采集不同类型的故障征兆, 利用粗糙集理论建立故障诊断决策表, 提取对故障识别有贡献的故障征兆构建故障诊断规则。在故障诊断推理过程中, 客观的为诊断规则的前提条件分配权重, 克服了主观分配权重带来的不确定性影响, 使权重分配更符合客观实际。应用加权模糊逻辑对故障诊断规则进行推理, 根据推理结果对故障模式进行识别。最后用仿真案例验证了该故障诊断方法的可行性。

1 振动故障聚类分析

1.1 汽轮机组常见振动故障的频谱特征

表 1 是汽轮机组常见振动故障的频谱特征表^[6], 表 1 中的数据表明, 不同的故障对应着不同的频率成分, 频率可以反映故障的性质; 存在着具有相似频谱结构的故障, 因此利用频谱信息进行诊断, 必然不能区分开有相似谱结构的故障。可以对故障频

收稿日期: 2010-06-24 修订日期: 2010-09-16

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划基金资助项目 (NCET08-0769)

作者简介: 董晓峰 (1979-) 男, 吉林长春人, 华北电力大学博士研究生。

谱进行聚类分析, 以确定常见故障的模式类及其模式中心的分布, 从而在故障类层次上进行模式识别。

表 1 汽轮机组常见振动故障的频谱特征

故障模式	0.01~0.39f	0.40~0.49f	0.50f	0.51~0.99f	1.0f	2.0f	3.0~5.0f	>5f
原始质量不平衡	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.05	0.05	0.00
转子部件脱落	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.05	0.05	0.00
转子热弯曲	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.05	0.05	0.00
不对中	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.50	0.10	0.00
动静碰摩	0.10	0.10	0.10	0.10	0.25	0.10	0.15	0.10
油膜振荡	0.00	0.20	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
蒸汽激振	0.00	0.10	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
支承松动	0.05	0.05	0.05	0.05	0.80	0.00	0.00	0.00
轴向振动	0.00	0.00	0.00	0.10	0.90	0.00	0.00	0.00
结构共振	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.20	0.00	0.00

注: f为转子工作频率(50 Hz)。

1.2 采用主元分析方法进行特征提取

对于振动故障频谱特征采用主元分析方法进行二次提取^[7], 这是因为频谱特征参数之间存在着强相关性, 对频谱特征参数使用主元分析方法进行特征提取, 可以剔除变量之间的相关性以及冗余性, 然后再进行聚类分析, 这样不但可以剔除干扰信息影响, 而且可以降低聚类分析时输入变量的维数, 减少聚类分析的计算量。

1.3 采用模糊 C均值聚类方法进行聚类分析

聚类分析就是将研究或处理的对象按照一定的条件或属性进行分类的数学方法^[8]。在故障诊断过程中, 使用聚类分析可以对故障类型进行分类, 找到相似故障之间的某些共同之处。本研究采用模糊 C均值聚类方法进行聚类分析。

对主元分析后的汽轮机组常见振动故障模式进行模糊 C均值聚类分析, 求取故障的模式类及模式中心, 故障模式类划分结果如图 1 所示, 各故障模式类的聚类中心如表 2 所示。

表 2 振动故障模式类主元特征

故障模式类	第一主元	第二主元	第三主元
1	-1.040 5	0.064 9	0.548 0
2	-1.032 9	1.259 3	-2.546 4
3	3.492 9	3.161 0	0.235 5
4	1.891 5	-2.405 0	-0.488 4

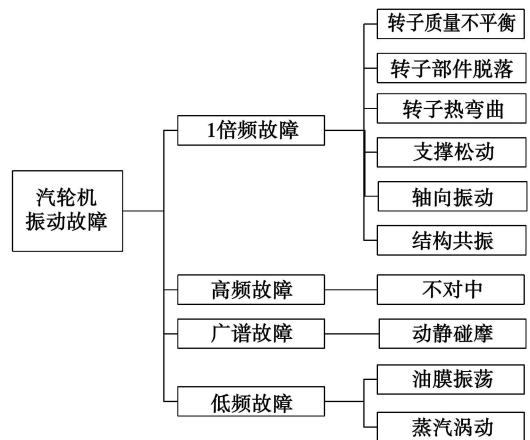


图 1 汽轮机组常见振动故障分类

在进行故障识别时, 将实际故障的主元特征与故障模式类中心进行比较, 确认属于哪一个故障模式类。由于本方法的目的是利用汽轮机组振动故障频谱信息, 所以选用欧式距离作为贴近度, 通过求贴近度进行故障模式类识别。

2 基于加权模糊逻辑的汽轮机组振动故障诊断

2.1 振动故障知识库的建立

表 3 是汽轮机组常见振动故障的故障知识库, 该表表明了振动故障模式与故障征兆之间的关系, 是通过对振动故障机理的研究及前人实验和现场监

测的结论得到的^[9~10], 表中数据表明了当故障发生时各个故障征兆所处的状态。

表 3 汽轮机组常见振动故障知识库

	特征频率 ζ_1	振动稳定性 ζ_2	轴心轨迹 ζ_3	波形 ζ_4	振动与油温变化关系 ζ_5	振动与转速变化关系 ζ_6	振动与负荷变化关系 ζ_7
原始质量不平衡 d_1	1X	稳定	椭圆	正弦波	不明显	明显	不明显
转子部件脱落 d_2	1X	突变后稳定	椭圆	正弦波	不明显	明显	不明显
转子热弯曲 d_3	1X	不稳定	椭圆	正弦波	不明显	明显	明显
不对中 d_4	1X、2X	稳定	香蕉型或外“8”字形	正弦波	明显	明显	明显
动静碰摩 d_5	1/nX、1X nX	不稳定	紊乱	波峰多, 波形毛糙, 不稳定, 有削波现象	不明显	不明显	不明显
油膜振荡 d_6	$\leq 0.5X$	突变后不稳定	紊乱	畸变正弦波	明显	明显	不明显
蒸汽激振 d_7	$\leq 0.5X$	突变后不稳定	紊乱	畸变正弦波	不明显	不明显	明显
支承松动 d_8	1X 1/nX	不稳定	椭圆	正弦波	不明显	明显	不明显
轴向振动 d_9	1X	稳定	椭圆	正弦波	不明显	明显	不明显
结构共振 d_{10}	1X	不稳定	椭圆	正弦波	不明显	明显	不明显

2.2 故障诊断决策表的建立

根据表 3 给出的汽轮机组常见振动故障知识库, 和 1.3 节中对汽轮机组常见振动故障模式划分的结果, 形成故障模式类诊断决策表, 用粗糙集理论对诊断决策表中的故障征兆进行约简^[11], 提取对故障识别有贡献的故障征兆。

1 倍频故障类中的振动故障由于监测信号的测点不同可以进一步分为振动在线监测故障和振动离线监测故障, 将 1 倍频故障类中的故障模式作进一步划分, 如图 2 所示, 并给出了约简后的 1 倍频故障类振动在线监测故障的故障诊断决策, 如表 4 所示。

If“特征频率为 1X” and “振动突变后稳定” and“振动随负荷变化不明显” then“故障为转子部件脱落”。

表 4 化简后的 1 倍频故障类振动在线监测故障诊断决策

U	ζ_1	ζ_2	ζ_7	D
1	1X	稳定	不明显	d_1
2	1X	突变后稳定	不明显	d_2
3	1X	不稳定	明显	d_3
4	1X 1/nX	不稳定	不明显	d_8

2.4 基于知识依赖度的权重分配方法

在基于可信度方法的不确定推理模型中^[12], 当规则的前提条件为多个子条件的组合时, 认为这些子条件之间相互独立, 并且对结论的重要程度也完全相同, 但是现实情况却是子条件之间存在着相互关联, 因此需要在规则的前提条件中引入加权因子, 对各子条件给出相应的权重, 以说明它们对结论的重要程度。子条件权重的赋予, 常常由专家根据经验赋予, 这种赋权方法虽然能在一定程度上反映实际情况, 但其具有一定的主观性, 有时与实际情况有偏差, 从而导致诊断结果与实际情况发生较大偏离, 而基于粗糙集理论中知识依赖度得到的权重分配方法, 克服了主观分配权重存在的不足, 使权重分配结果更符合客观实际。

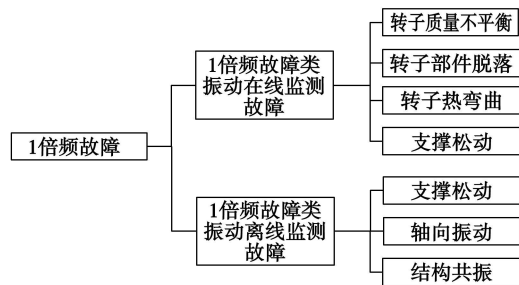


图 2 1 倍频故障类中故障模式的进一步划分

2.3 诊断规则的提取

根据约简后的诊断决策表中包含的故障征兆条件属性集合, 形成诊断规则库中所包含的诊断规则。1 倍频故障类振动在线监测故障诊断规则库中转部件脱落故障诊断规则表示为:

根据粗糙集理论中知识依赖度的定义, 属性 ζ_1

与决策属性 D 之间的依赖程度定义为:

$$\gamma_{a_i}(D) = \frac{|\text{POS}_{a_i}(D)|}{|U|} \quad (1)$$

式中: |POS_{a_i}(D)|—D 的 a_i 正域中对象的个数; |U|—整个集合对象的个数。在诊断规则中每个条件属性的权重被定义为:

$$\omega_i = \frac{\gamma_{a_i}(D)}{\sum \gamma_{a_i}(D)} \quad (2)$$

按式 (1) 和式 (2) 依次计算, 得到 1 倍频故障类振动在线监测故障诊断规则库中的决策知识对条件知识的依赖度分别为: $\gamma_{f_1}(D) = \frac{1}{4}$, $\gamma_{f_2}(D) = \frac{2}{4}$,

$\gamma_{f_3}(D) = \frac{1}{4}$; 条件属性的权重分别为: $\omega_{f_1}(D) = \frac{1}{4}$,

$\omega_{f_2}(D) = \frac{2}{4}$, $\omega_{f_3}(D) = \frac{1}{4}$ 。

表 5 故障案例的频谱特征

故障模式	0.01~0.39f	0.40~0.49f	0.50f	0.51~0.99f	1.0f	2.0f	3.0~5.0f	>5f
案例	0	0	0	0	0.875	0.125	0	0

注: f 为转子工作频率 (50 Hz)。

3 实例分析

选取某电厂的汽轮机组转子部件脱落故障实例来验证本研究所提故障诊断方法的可行性^[14]。诊断过程为:

(1) 实例中已经对振动信号进行了幅频分析, 计算各阶振动频谱幅值形成故障频谱特征集合。各阶振动频谱幅值为: 1 幅值 140 μm, 2 幅值 20 μm。各阶振动频谱值相对于总频谱值的比例如表 5 所示。

(2) 对案例频谱数据采用主元分析方法进行特征提取, 结果如表 6 所示。

表 6 主元分析后的案例故障频谱特征

	第一主元	第二主元	第三主元
案例	-1.525 1	-0.163 2	0.146 2

(3) 计算表 6 中的案例与故障模式类之间的贴 近度, 计算结果如表 7 所示。贴 近度计算结果表明, 案例与故障模式类 V₁ 之间具有最大贴 近度, 案例故 障属于第一故障模式类, 即 1 倍频 (1X) 故障类。

2.5 加权模糊逻辑算法的改进

在故障诊断过程中, 应用加权模糊逻辑推理对 诊断规则库中的每条诊断规则进行推理^[13], 得到每 条诊断规则的结论真度, 然后对所有诊断规则的结 论真度进行排序, 将结论真度最大的规则作为最后 结论, 其中每条规则的前提条件都具有相同的条件 属性, 每条规则的可信度都是相同的, 因此本研究对 加权模糊逻辑推理算法进行了改进, 去掉了规则的 可信度因子, 结论真度 T(R) 为:

$$T(R) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot T(P_i) \quad (3)$$

式中: ω_i—诊断规则前提条件中各子条件的权重; T (P_i)—前提条件中每个子条件的真度。

表 7 案例与故障模式类的贴 近度

	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
案例	0.669 6	3.084 8	6.019 9	4.135 4

(4) 经过贴 近度计算, 己将故障识别为 1 倍频 故障类, 由于振动信号来自于在线监测的轴振信号, 可进一步判断故障属于 1 倍频故障类振动在线监测 故障, 需要进一步作人工故障诊断, 识别故障类中的 故障模式。

(5) 按照 2.3 节中提取的故障诊断规则, 逐一 验证 1 倍频故障类振动在线监测故障中的 4 种故障 模式, 计算每一种故障模式的规则结论真度, 最终 得到真度最大的故障模式。案例故障诊断规则前 提条件真度和规则结论真度计算结果如表 8 所示。

表 8 案例故障诊断规则前提条件真度输入

诊断规则前提条件	原始质量 不平衡	转子部 件脱落	转子热 弯曲	支撑松动
特征频率	0.9	0.9	0.9	0.2
振动稳定性	0.4	0.8	0.4	0.4
振动与负荷变化关系	0.8	0.8	0.2	0.8
规则结论真度	0.625	0.825	0.475	0.45

从表 8 中可以看到,转子部件脱落的诊断结论真度最大,为所求的故障模式。

4 结 论

本研究提出了一种聚类分析与加权模糊逻辑相结合的振动故障诊断方法。利用振动的频谱特征对振动故障的几种常见故障模式进行分类,形成故障模式类,从而可以应用故障频谱特征区分开属于不同性质的故障模式,缩小故障模式的识别范围,在聚类分析过程中,应用了主元分析方法对故障频谱特征进行提取,降低了输入变量的维数,去除了原始数据中的噪声。对于同一故障类中的故障模式,采集不同类型的故障特征,利用粗糙集理论对故障特征进行提取,提取对故障识别有贡献的故障特征构建故障诊断规则库。应用加权模糊逻辑对故障诊断规则进行推理,在推理过程中,应用知识依赖度为故障诊断规则的前提条件分配权重,克服了主观分配权重存在的不足,使权重分配更符合客观实际。最后,用实际案例验证了该故障诊断方法的可行性。

参考文献:

- [1] 叶 军. 基于 Value 集相似度量的汽轮机故障诊断的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2006 26(1): 16—20
- [2] 刘金福, 于达仁, 胡清华, 等. 基于加权粗糙集的代价敏感故障诊断方法 [J]. 中国电机工程学报, 2007 27(23): 93—99

- [3] 刘占生, 龚 唯. 基于旋转机械振动参数图形融合灰度共生矩阵的故障诊断方法 [J]. 中国电机工程学报, 2008 28(2): 88—95
- [4] 蒋东翔, 刁锦辉, 赵 刚, 等. 基于时频等高图的汽轮发电机组振动故障诊断方法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005 25(6): 146—151
- [5] 张 曦, 赵 旭, 刘振亚, 等. 基于核 Fisher 子空间特征提取的汽轮发电机组过程监控与故障诊断 [J]. 中国电机工程学报, 2007 27(20): 1—6
- [6] 卢学军. 汽轮发电机组故障诊断系统中几个关键技术的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- [7] 邱 天, 刘吉臻, 牛玉广. 电站锅炉主元分析建模中的数据选取 [J]. 中国电机工程学报, 2009 29(8): 87—91
- [8] 熊 浩, 陈伟根, 杜 林, 等. 基于 T-S 模型的电力变压器顶层油温预测研究 [J]. 中国电机工程学报, 2007 27(30): 15—19
- [9] 皮 骏. 基于粗糙集理论的旋转机械故障诊断技术 [D]. 西安: 西北工业大学, 2006
- [10] 张 楠. 基于贝叶斯网络的汽轮机振动故障诊断研究 [D]. 华北电力大学, 2007
- [11] 王永强, 律方成, 李和明. 基于粗糙集理论和贝叶斯网络的电力变压器故障诊断方法 [J]. 中国电机工程学报, 2006 26(8): 137—141.
- [12] 王宏生, 孟国艳. 人工智能及其应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009
- [13] 刘大有, 唐海鹰, 陈建中, 等. 加权模糊逻辑 [J]. 计算机研究与发展, 1998 35(11): 961—965.
- [14] 王延博, 何国安, 梁士砮, 等. 珞璜电厂 6 号汽轮发电机组振动故障诊断处理 [J]. 热力发电, 2008 37(8): 47—49

(编辑 伟)

新技术、新工艺

多级涡轮机叶片伴随气动力设计的优化

据《ASME Journal of Turbomachinery》2010 年 4 月号报道,随着 CFD(计算流体动力学)应用和计算能力的提高,现代涡轮机气动力设计几乎完全依靠 CFD 来设计三维叶片截面,同时有许多不同的方法被用来研究涡轮机叶片的三维特性。通常可以把这些方法分成两类:反问题设计法和正问题设计法。

叶片设计优化采用伴随方法,是引入了基于伴随梯度解方法的设计优化系统,其目的是要开发在多级涡轮机环境中实现叶片形状气动力设计优化。

为此,进一步提出了伴随混合平面处理方法。该方法通过梯度结果与直接有限差分法的比较,并利用二维压气机级有限差分法计算结果的比较,验证了方法的正确性。

提出的伴随混合平面应用于一个跨音速压气机级(DLR 压气机级)和 Siemens 工业压气机进口导叶—转子—静子结构的重新设计,使二者的效率都有了一定的提高。

通过把它应用于一台 7 级工业压气机在设计点的重新设计,用实例证明了所提方法和系统的有效性,并使该压气机的效率增加 2.4%。

(吉桂明 摘译)

face heat exchanger genetic algorithm optimized design thermal performance calculation

回流式冷却叶片流热耦合数值分析 = Numerical Simulation of the Fluid/heat Coupling in Return Flow Type Cooling Blades [刊, 汉] YU Kua-hai (College of Planning and Architectural Engineering Henan University of Science and Technology Luoyang China Post Code 471003), WANG Jin-sheng (Beijing Mechanical Equipment Research Institute Beijing China Post Code 100854), YANG Xi YUE Zhu-feng (Department of Engineering Mechanics Northwest Polytechnic University Xi'an China Post Code 710072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2011, 26(3). —271~274

Established was a model for analyzing the fluid/heat coupling in the cooling blades of a return flow type turbine. The P-1 radiation model was used to add the radiant heat flow to the equation as the source item. An analysis was performed of the fluid/heat coupling of the cooling blades having no heat barrier coating with radiations being taken into account and not respectively. It has been found that the cooling air which accounts for 3.76% of the total gas mass flow rate can cause a temperature drop of 200 K to the blades by using the return flow type cooling structures. When the highest inlet temperature is 1 655 and 1 555 K respectively a comparison of the temperature distributions on the blades obtained by using the two calculation models shows that the influence of radiations on the temperature of the blade surfaces is remarkable and this makes it relatively easy to form a highest temperature point at the tip of the trailing edge of return flow type cooling blades. Key words: gas turbine; return flow type cooling structure; fluid/heat coupling; radiation; cooling blade

基于聚类分析与加权模糊逻辑的汽轮机组振动故障诊断方法研究 = Study of the Methods for Diagnosing Vibration Faults of Steam Turbine Units Based on the Clustering Analysis and Weighted Fuzzy Logic [刊, 汉] DONG Xiao-feng GU Yu-jiong YANG Kun (Education Ministry Key Laboratory on Power Plant Equipment Condition Monitoring and Control North China University of Electric Power Beijing China Post Code 102206), QU Ying (CSC Harbin No. 703 Research Institute Harbin China Post Code 150078) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2011, 26(3). —275~279

In the light of the problems in using fault signs to diagnose faults of a steam turbine unit presented was a method for diagnosing faults by a combination of the clustering analysis and the weighted fuzzy logic. The frequency spectrum characteristics of various vibrations were employed to classify commonly seen fault modes and form various categories of the fault modes, thus differentiating the fault modes in various natures according to their categories, solving the problem in identifying their categories and thereby narrowing the scope for identification of fault modes. For the fault modes in a same category the fault signs in various types were collected to establish a fault diagnosis and decision-making table by employing the rough set theory and formulate rules for fault diagnosis by extracting the fault signs contributive to the fault identification. With the degree of dependence on knowledge serving as the pre-

condition for fault diagnosis rules in assigning weights, the demerits existing in subjectively assigning weights were overcome, thereby weakening the influence of uncertainties in the process of fault diagnosis and reasoning. Then the weighted fuzzy logic was used to perform a reasoning of the fault diagnosis rules and identify the fault mode according to the result of the reasoning. The abovementioned method not only fully utilize frequency spectrum characteristics an important fault sign, as a preliminary basis for judging the fault diagnosis but also comprehensively utilize the fault signs in various types which reflect the information of the fault in various aspects, thereby achieving the aim of more accurately identifying a fault. Key words: steam turbine unit, vibration main element analysis, clustering analysis, rough set, weighted fuzzy logic, fault diagnosis

气冷涡轮叶栅流场计算方法及其应用 = Method for Calculating the Flow Field in an Air-cooling Turbine Cascade and Its Applications [刊, 汉] ZHOU Hong-ru, GU Zhong-hua, HAN Wan-jin, et al. College of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001 // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2011, 26(3), —280~283

Based on the solutions to the three-dimensional Navier-Stokes equation, by using the TVD (total variation diminished) format and division algorithm with a three-order precision and in combination with the free type curved surface complex grid generation technique, developed was an effective method for calculating cold-air mixed and diluted flow fields. A numerical simulation was performed of the flow field in an air-cooling turbine with various air jet schemes and the air jet from the leading edge of the blades exercising a relatively small influence on the energy loss of the cascade was pinpointed. The air jet scheme with discrete holes drilled at the top of the blades has a relatively small energy loss and can achieve relatively good air-cooling effectiveness. The calculation method developed by the authors can be applicable for calculating complex flow fields mixed and diluted with cold air. Key words: free type curved surface, multi-block grid, air-cooling turbine, energy loss

一种新型改进阈值函数的第二代小波降噪方法 = Second-generation Wavelet Noise Reduction Method Based on a New Type Improved Threshold Value Function [刊, 汉] ZHAO Peng (College of Energy Source and Power Engineering, North China University of Electric Power, Beijing, China, Post Code: 102206), SUN Bin, LIU Tian-dong (College of Mechanical Engineering, Northeast University of Electric Power, Jilin, China, Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2011, 26(3), —284~289

In order to effectively eliminate the noise contained in mechanical fault signals and extract relevant fault characteristics, on the basis of the noise reduction obtained by wavelet threshold values, presented was a second-generation wavelet noise reduction method based on a new type improved threshold value function. The method in question realized an evaluation of noise reduction effectiveness of complex vibration signals by utilizing the second-generation wavelets to decompose the signals and employing a new type improved threshold value function to perform a thresh-