

1-2-2019

Apriori-Based Association Rule Algorithm and Its Application in Power Plant

Wencheng Huang

1.School of Mechatronical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China; ;

Jia Li

1.School of Mechatronical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China; ;

Daogang Peng

2.College of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;

Li Wang

1.School of Mechatronical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China; ;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Apriori-Based Association Rule Algorithm and Its Application in Power Plant

Abstract

Abstract: The data mining technology for historical data of power plant has the problem of low efficiency as the data dimension is high and data size is large. Some parameters are set without theoretical guidance and the objective parameter value is not reasonably determined in the corresponding algorithm of data mining. A mining algorithm with improved quantitative association rule based on Apriori is proposed. *Aiming at the economical operation of power plant, target guidance is used to constrain the dimension and compress the quantity in sample space, which improves the mining efficiency and determines the parameter's target value reasonably.* The operation data of a 300MW unit is analyzed and its results show that the improved quantitative association rule algorithm can improve the efficiency of data mining and determine the parameter value more accurately.

Keywords

quantitative association rule, optimal parameter value, economic index, metarule-guided

Recommended Citation

Huang Wencheng, Jia Li, Peng Daogang, Li Wang. Apriori-Based Association Rule Algorithm and Its Application in Power Plant[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(1): 266-271.

基于 Apriori 的关联规则算法及其在电厂中的应用

黄文成¹, 贾立¹, 彭道刚², 李望¹

(1. 上海大学机电与自动化工程学院, 上海 200072; 2. 上海电力学院自动化工程学院, 上海 200090)

摘要: 针对目前电厂历史运行数据的挖掘技术对于高维度, 存量大的样本数据存在挖掘效率低下, 算法运行过程中部分参数设置无理论指导以及目标参数值确定不合理等问题, 提出一种基于 Apriori 算法框架的改进量化关联规则挖掘算法。它以电厂运行经济性为目标, 利用目标制导对样本空间进行样本维约束和数量压缩, 进一步提高解决该类问题算法的挖掘效率和参数目标值确定的合理性。通过对某 300MW 机组运行数据的分析表明: 改进量化关联规则算法能够提高数据挖掘效率并完成电厂参数目标值的合理确定。

关键词: 量化关联规则; 参数目标值; 经济性指标; 目标制导

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 01-0266-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201801034

Apriori-Based Association Rule Algorithm and Its Application in Power Plant

Huang Wencheng¹, Jia Li¹, Peng Daogang², Li Wang¹

(1. School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. College of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: The data mining technology for historical data of power plant has the problem of low efficiency as the data dimension is high and data size is large. Some parameters are set without theoretical guidance and the objective parameter value is not reasonably determined in the corresponding algorithm of data mining. A mining algorithm with improved quantitative association rule based on Apriori is proposed. Aiming at the economical operation of power plant, target guidance is used to constrain the dimension and compress the quantity in sample space, which improves the mining efficiency and determines the parameter's target value reasonably. The operation data of a 300MW unit is analyzed and its results show that the improved quantitative association rule algorithm can improve the efficiency of data mining and determine the parameter value more accurately.

Keywords: quantitative association rule; optimal parameter value; economic index; metarule-guided

引言

为提高电厂运行效益, 基于电厂历史数据的数据挖掘技术一直是近些年研究的热点问题。王秋平

等^[1]对近年来电站数据常用挖掘算法进行了总结和对比, 指出了目前基于数据挖掘的电站运行参数目标值确定的研究进展和其中存在的一些问题, 涉及了数据离散化, 运行工况划分和粗糙集知识约简等方面; 刘宝玲等^[2]在电站工况分析中提出了基于维约束和兴趣度约束的嵌套式挖掘技术, 对于电厂历史数据挖掘中对大样本高维度数据挖掘存在的挖掘效率低, 挖掘结果庞大冗余等问题, 该算法在



收稿日期: 2015-09-10 修回日期: 2015-11-09;
基金项目: 国家自然科学基金(61374044, 61773251),
上海市科委国际合作项目(15510722100), 上海市科委
创新行动计划(16111106300, 17511109400);
作者简介: 黄文成(1991-), 男, 福建三明, 硕士生,
研究方向为电站数据挖掘及运行优化。

<http://www.china-simulation.com>

• 266 •

高效准确挖掘目标参数值过程中有一定借鉴意义; 李建强等^[3]提出了语言值关联规则挖掘算法将模糊 C-均值(FCM)算法应用于数据离散化, 但由于 FCM 算法本身存在缺陷, 其相对于量化关联规则的优越性无法体现; 牛成林^[4]在模糊量化关联规则的基础上提出了改进的增量式模糊数值型关联规则挖掘算法, 能够根据机组实时运行数据动态确定参数最优值。

由于电厂实际运行数据其分布基本都存在偏倚, 即数据的偏度为非零值, 从而导致挖掘的目标参数值不准确, 同时关联规则挖掘算法中最小支持度以及置信度的初始值的确定方法尚无理论指导。本文利用基于目标制导的样本空间的维约束和样本量压缩对电厂稳态运行工况下的数据进行处理, 并给出挖掘过程中相关参数给定值的指导公式, 置信度值不再作为挖掘过程的限制条件, 而是通过该值来确定挖掘的频繁模式的可靠程度, 同时选取区间平均值或者中位数值为等宽度离散化区间代表值, 与传统方法相比更加合理, 挖掘结果更符合参数实际分布特点。

1 基于目标制导的量化关联规则算法

1.1 Apriori 算法原理

Apriori 算法是一种最有影响的挖掘布尔关联规则频繁项集的算法。它使用一种称作逐层搜索的迭代方法, k -项集用于探索 $(k+1)$ -项集。首先, 找出频繁 1-项集的集合。该集合记作 $LL1$ 。 $LL1$ 用于找频繁 2-项集的集合 $LL2$, 而 $LL2$ 用于找 $LL3$, 如此下去, 直到不能找到频繁 k -项集。每个 LLk 需要一次数据库扫描^[5]。

规则的支持度和置信度是两个规则兴趣度量, 它们分别反映发现规则的有用性和确定性。关联规则挖掘寻找给定数据集中项之间的有趣联系。

$$\text{support}(A \Rightarrow B) = P(A \cup B) \quad (1)$$

$$\text{confidence}(A \Rightarrow B) = P(B | A) \quad (2)$$

同时满足最小支持度阈值(min_sup)和最小置信度阈值(min_conf)的规则称作强关联规则, 最小

支持度的计算方法见式(1), 置信度见式(2)。

Apriori 算法事先给定最小支持度和最小置信度来进行挖掘, 但是通过人为的给定会给挖掘过程带来不可预知的问题, 甚至得到错误的挖掘结果。在实际的实验中需要反复修改这两个参数, 或者通过一定的先验知识来确定一个较优良的初始值。

1.2 基于 K-means 的工况区分及参数等宽度划分离散化过程

本文采用 k-means 算法对表征设备运行状态的大量机组运行数据在特定外部约束条件, 如机组实时负荷, 相应的煤质参数, 以及外部环境条件, 具体算法参考文献[6]。k-means 聚类算法, 它以 k 为参数, 把 n 个对象分为 k 个簇, 以使簇内具有较高的相似度, 而簇间的相似度较低。然后在聚类形成的各典型工况中抽取一定量的数据构成具有广泛代表性和伸缩特性的样本空间 A , 并对于样本空间 A 的每一个属性做一次离散化操作^[1]。由于机组运行工况的影响因素众多, 而且彼此耦合高度非线性, 严格说来, 除了热力试验和设计工况运行可能保持或重现某种工况外, 几乎没有重复性。此算法具有可伸缩性, 算法的时间复杂度低, 输入数据顺序对分类结果的影响小^[2]。

量化关联规则简单易于理解应用, 能够将电站中的连续运行参数通过简单的区间划分转换为一个个离散的类别型数据, 再利用成熟的 Apriori 算法, 实现对连续型参数的数据挖掘。量化关联规则中的数据离散化直接将属于某一个区间内的数据完全划分到该区间内, 得到的离散化数据有两个缺点: (1)划分区间的边界过硬; (2)处理具有较高偏度的数据时很难体现出数据的实际分布状况, 在划分边界处得到的关联规则不够准确^[1]。模糊关联规则中的模糊聚类算法在一定程度上可以解决这两个问题, 但是其在处理离群点时又显得束手无策, 而且该算法也需要一些先验知识来确定初始的聚类数目和随机产生聚类中心, 整个算法显得较复杂。本文将继续采用等宽度划分的数据离散化手段, 实现机组运行参数的量化。对于实际运行参数

分布通常会存在一定偏倚,所以作者建议选择区间参数的均值或者中位数值来替代通常以区间中点作为区间代表值,中位数值可以在一定程度上反映数据分布形态,同时该值为机组实际运行可达值,更具有实际运行指导意义。而平均值则能较准确的反映数据的特点。

1.3 基于目标制导的样本空间的维约束和样本压缩

电厂的实际运行过程中需要对数量庞大的测点进行监测和记录,面对如此庞大的数据量和超高的数据维度,如果直接进行挖掘会得到大量的冗余的挖掘结果,为了达到约减电厂稳态运行工况数据样本集 Ω 以提高算法的挖掘效率,本文采用了基于目标制导的样本空间的维约束和样本压缩方法。在数据挖掘中,首先明确挖掘目标指数 L ,采用式(3),其中 L_1 为经济性指数 L_2 ,为环保性指数, L_3 为稳定运行性指数。

$$L = p_1 \times L_1 + p_2 \times L_2 + p_3 \times L_3 \quad (3)$$

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1 \quad (4)$$

本文采用以经济性为主的评价标准,即 p_1 为1, p_2 , p_3 为0计算挖掘目标指数 L 。其中 L_1 主要参考电厂两个主要消耗品原煤和空气流量,并以供电煤耗为主要因子进行计算。在机组所有运行属性中选择负荷、主汽压力、经济性指标、A空预器入口烟气含氧量、B空预器入口烟气含氧量、烟气出口温度6个主要属性实现样本空间的维约束,以目标指数 L 为优良的目标制导实现样本数量的压缩以得到待挖掘的样本集。鉴于样本数量的压缩,在使用Apriori算法进行挖掘时,仅以该样本空间的支持度作为挖掘的限制条件。作者通过大量实验给出确定该算法支持度的一个经验公式,计算方法见式(5)。

$$\min_sup = 1 / (\text{参数量化区间数} \times k) \quad (5)$$

1.4 挖掘流程

机组运行历史数据库中记录覆盖面广,记录时间长,里面存储了大量的历史知识,通过分类和挖

掘操作得到历史知识库,依据机组当前运行状态将它与历史知识库进行归类 and 对比,若找到类似的历史工况簇,就利用最优参数目标值来指导机组运行,假如最新的运行参数优于历史最优参数值,就对历史知识库进行更新。若出现了一种新的工况簇,那么可以通过一段时间的记录重新挖掘该工况簇并将新知识加入历史数据库。具体流程如图1所示。

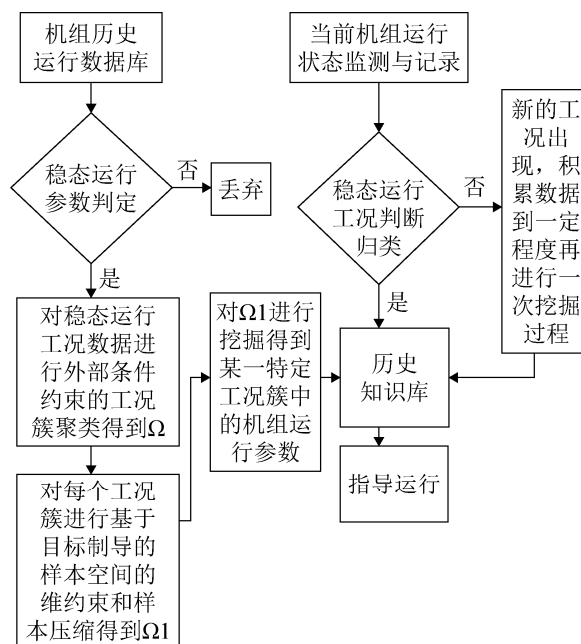


图1 算法流程图

Fig.1 Algorithm flowchart

2 电厂参数运行目标值的确定

假设机组的稳定运行工况由一组状态参数表征,这组参数就构成了机组稳定运行工况的模式空间,机组每个可能的稳定运行工况都对应该模式空间中的一个点。在这组参数中包含环境特性、燃料特性和负荷特性等运行不可控因素,从运行优化角度可以视为外部约束条件。外部约束条件是表征机组运行工况的一组状态参数的子集,在相同的外部约束条件下,由于运行人员调整操作措施的差别,机组可能稳定运行在不同的工况下^[7]。

利用基于目标制导的样本空间的样本维约束和数量压缩对稳态运行工况下大量样本数据进行压缩,通过实验和理论分析给出了挖掘过程中最小

支持度的指导公式, 放开最小置信度值的条件限制, 但是通过置信度值来验证得到的频繁项集的可信度, 选取更能符合各工况簇中参数分布情况的平均值或者中位数值作为该量化区间代表值。本文采用参数的实际可达值作为机组实际的目标最优值, 该值虽然与理论上的运行最优工况可能存在一定差距, 但是它代表了该工况簇中实际出现过的机组最佳稳定运行水平, 对运行人员具有现实指导意义^[8]。

3 应用实例

3.1 实例介绍

赖晨捷等^[9-16]分别从厂级信息系统等角度出发对火电厂运行参数目标值进行了研究, 本文在次基础上针对安徽某电厂 300 MW 机组某月 10 天的 2 880 组稳态运行工况数^[2]采用基于 Apriori 的改进的关联规则技术进行挖掘分析, 考虑到煤质参数, 环境条件, 负荷等三个主要外部条件的影响, 首先利用 K-means 算法对煤质参数和环境条件因素进行聚类得到稳态运行工况簇。本文选取某一特定外界条件约束下的工况簇, 内含 576 组数据够成总体样本空间, 基于本文设计的从电厂运行几个监测

点中选取机组负荷, 主蒸汽温度, 主蒸汽压力, 烟气含氧量, 烟气出口温度以及经济性评价指标, 且经济性指标为优良构成挖掘样本空间, 计算方法按式(3)。样本数量为 91 个, 即大幅度的实现了样本空间的压缩, 使得需要分析的数据的空间复杂度大幅度减小。将每个属性数据进行极差标准化后五段分区, 数据区间见表 1。

本文基于 JAVA 环境下开源的机器学习以及数据挖掘软件 Weka 平台, 利用 Apriori 算法对样本空间进行挖掘, 最小支持度设定为 0.03。为进一步验证挖掘结果的可信程度, 作者对挖掘得到的频繁模式进行置信度检验, 得到的结果如表 2~3。

对表 2 的挖掘结果进行分析。首先从负荷区间可以看出, 机组低负荷运行水平不如高负荷运行水平时经济性高, 这符合机组在较低负荷处, 即负荷值在 1~3 区间时, 通过限定的挖掘算法得到最好的经济性指数为良好, 为使机组工作在良好的运行状态下, 该结论指导运行操作人员当机组负荷在 200~220 MW 区间时, 可以通过多机组间的出力管理优化将该机组负荷调整至负荷 4 或者 5 区间运行。

表 1 参数量化区间划分表

Tab. 1 Parameter quantification interval division table

区间序号	1	2	3	4	5
负荷 P_{ow}/MW	(200, 204]	(204, 208]	(208, 212]	(212, 216]	(216, 220]
主汽压力 m_{pre}/MPa	14.8~14.98	14.98~15.16	15.16~15.36	15.36~15.52	15.52~15.7
烟气温度 $o_{temp}/^{\circ}C$	105~109.82	109.82~114.64	114.64~119.46	119.46~124.28	124.28~129.10
A 口 $O_2/\%$	2.5~3.02	3.02~3.54	3.54~4.06	4.06~4.58	4.58~5.1
B 口 $O_2/\%$	1.95~2.41	2.41~2.87	2.87~3.33	3.33~3.79	3.79~4.25
经济性系数 L	0.41~0.47	0.47~0.5244	0.52~0.58	0.58~0.64	0.64~0.70

表 2 基于 Apriori 的改进量化关联规则部分挖掘结果

Tab. 2 Partial results based on the new association rule mining algorithm

序号	频繁模式	出现频次	经济性评价	置信度%
1	$Pow=1, m_{pre}=3, o_{temp}=1 \Rightarrow L=2$	4	良好	80
2	$Pow=2, m_{pre}=1, o_{temp}=2 \Rightarrow L=2$	18	良好	100
3	$Pow=2, AO_2=4, o_{temp}=2 \Rightarrow L=2$	36	良好	100
4	$Pow=3, m_{pre}=2, o_{temp}=1, AO_2=3, BO_2=3 \Rightarrow L=2$	17	良好	100
5	$Pow=3, AO_2=3, o_{temp}=1 \Rightarrow L=2$	23	优	92
6	$Pow=4, o_{temp}=1, AO_2=5, BO_2=5 \Rightarrow L=1$	27	优	100
7	$Pow=5, o_{temp}=1, AO_2=5, BO_2=5 \Rightarrow L=1$	10	优	100

表3 基于量化区间数据分布的参数目标值分析部分结果

Tab. 3 Partial results of the parameter target value analysis based on quantization interval data distribution

频繁模式	基于量化区间中位数的 参数目标值	基于量化区间平均值的 参数目标值	基于区间中点的 参数目标值
$Pow=4, otemp=1, AO_2=5, BO_2=5 \Rightarrow L=1$	{215.23, [14.92, 15.35], 106.04, 4.82, 4.02, 0.43}	{215.24, [14.92, 15.35], 106.41, 4.86, 4.07, 0.43}	{214, [14.80, 15.70], 107.41, 4.84, 4.02, 0.44}
$Pow=5, otemp=1, AO_2=5, BO_2=5 \Rightarrow L=1$	{219.49, [15.12, 15.314], 105.42, 4.89, 4.20, 0.41}	{219.00, [15.12, 15.314], 105.45, 4.90, 4.15, 0.42}	{218, [14.80, 15.70], 107.41, 4.84, 4.02, 0.44}

(参数目标值以负荷, 主汽压力, 烟气温度, 空预器氧气含量, 空预器氧气含量, 经济性系数为顺序)

当机组运行至负荷4或者5区间时, 挖掘结果显示机组运行人员可以将操作重点放在空预器出口烟气温度值以及A, B空预器入口烟气含氧量值的调整, 以提高机组运行经济性。某工况的运行频次最高, 其在实际运行中出现的时间相对较长, 是机组能够更加稳定运行的工况状态。

该300 MW机组在70%负荷下的烟气含氧量的设计值是4.16%, 分析表3的结果可以看出, 如果仅仅从B空预器入口烟气含氧量值来确定参数目标值, 基于平均值和中位数的参数目标值已经十分接近该设计值。分析可知, 在机组负荷数据呈现一定的偏态分布时, 基于区间的平均值或中位数值值的提取方法相比于采用区间中点的方法来做参数目标值的给定, 更能反映机组参数的实际分布状态。

3.2 结果分析

该算法继续采用等宽度量化区间的离散化方法, 摒弃之前用区间中值做参数目标值的做法, 采用更符合数据分布的均值或者中位数值来作为参数目标值, 与机组设计值对比得到较理想的结果。能将庞大的样本数据进行基于目标制导的样本空间的维约束和样本压缩, 空间维度由 m 维缩减至6维, 甚至更低, 相比于对原始电厂数据直接进行挖掘得到的大量冗余繁杂的挖掘结果, 该算法能够得到有趣的强关联规则, 时间复杂度也大幅度降低。为了验证挖掘结果的正确性, 本文对挖掘结果进行了可信度检测, 结果表明得到的关联规则的置信度都在80%以上, 大部分的关联规则为100%, 说明挖掘结果具有非常高的可信度。此外, B空预器入

口烟气含氧量挖掘目标值接近机组设计值, 也进一步证明了本文所提出方法的可靠性和正确性。

4 结论

本文提出了基于制导的改进量化关联规则算法, 基于某电厂的实际运行历史数据, 利用目标制导挖掘技术对样本空间进行样本维约束和数量压缩, 进一步提高解决该类问题算法的挖掘效率和参数目标值确定的合理性。由于机组在非满负荷运行的情况下存在一定的非稳定运行因素, 因此, 如果将机组稳定运行状态纳入经济性评价指标 L 的计算会更加合理, 此问题作者将在之后的工作中继续研究。

参考文献:

- [1] 王秋平, 陈志强, 魏浩. 基于数据挖掘的电站运行参数目标值优化[J]. 电力科学与工程, 2015, 31(7): 19-24. Wang Qiuping, Chen Zhiqiang, Wei Hao. The summary of optimal operation parameters in power station based on the Data Mining[J]. Electric Power Science and Engineering, 2015, 31(7): 19-24.
- [2] 刘宝玲, 何钧, 曾喧. 嵌套式数据挖掘技术在电站工况分析中的应用[J]. 电站系统工程, 2014, 30(5): 13-17, 22. Liu Baoling, He Jun, Zeng Xuan. The Application of Nested Data Mining in Power Plant Operating Condition Analysis[J]. Power System Engineering, 2014, 30(5): 13-17, 22.
- [3] 李建强. 基于数据挖掘的电站运行优化理论研究与应用[D]. 保定: 华北电力大学, 2006. LI Jian-qiang. The research and application of data mining in power plant operation optimization[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2006.
- [4] 牛成林. 增量数据挖掘及其在电站运行中的理论研究

- 及应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2010.
- Niu Chenglin. The research and application of incremental updating data mining in power plant operation optimization[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2010.
- [5] Jiawei Han, Micheline Kamber. Data Mining: Concepts and Techniques [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [6] Liu Baoling, He Jun, Liu Guangming. A Study of Working Conditions Based on Cluster Analysis [C]. APPEEC, 2010.
- [7] 冉鹏. 基于动态数据挖掘的电站热力系统运行优化方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- Ran Peng. Research on operation optimization of power plant thermal system by dynamic data mining approaches[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [8] 洪军, 崔彦锋, 毕小龙, 等. 机组在线运行优化系统及实时目标工况的确定[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(6): 86-90.
- Hong Jun, Cui Yanfeng, Bi Xiaolong, et al. A unit on-line operation optimization system and determination of real-time optimum operation mode[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(6): 86-90.
- [9] 赖晨捷. 数据挖掘技术在电厂厂级监控信息系统中的应用实施[D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
- Lai Chenjie. The application of data mining technology in power plant supervisory information system[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2014.
- [10] 任浩仁, 李蔚, 盛德仁, 等. 火电机组变工况下运行指标应达值的分析[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(9): 50-52, 56.
- Ren haoRen, Li Wei, Sheng Deren, et al. The analyze of operation index for the power unit under different loads[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(9): 50-52, 56.
- [11] 陈丹丹. 基于粗糙集的电站运行数据分析与运行优化[D]. 保定: 华北电力大学, 2013.
- Chen Dandan. Data analysis and operation optimization in power plant based on rough set theory [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.
- [12] 李娟, 张春发. 主蒸汽参数对机组热经济性影响的计算模型研究[J]. 电力科学与工程, 2007, 23(4): 7-10.
- Li Juan, Zhang Chunfa. Study on calculation model for unit heat economy on the impact of main steam parameter[J]. Electric Power Science and Engineering, 2007, 23(4): 7-10.
- [13] 翟少磊, 黄孝彬, 刘吉臻. 基于工况划分的电厂经济性指标挖掘[J]. 中国电力, 2009, 42(7): 68-71.
- Zhai Shaolei, Huang Xiaobin, Liu Jizhen. Data mining to economic norms of power plant based on condition division[J]. Electric Power, 2009, 42 (7): 68-71.
- [14] 李蔚, 刘长东, 盛德仁, 等. 国内火电厂运行优化系统的现状和发展方向[J]. 电站系统工程, 2004, 20(1): 59-61.
- Li Wei, Liu Changdong, Sheng Deren, et al. Status and development trend of economic operation and optimization system in domestic coal-fired power plant[J]. Power System Engineering, 2004, 20(1): 59-61.
- [15] 贾立, 柴宗君. 火电机组主蒸汽温度神经模糊-PID 串级控制[J]. 控制工程, 2013, 20(5): 877-881.
- JIA Li, CHAI Zhong-jun. Neuro-fuzzy Based PID Cascade Control of Main Steam Temperature of Fire Electrical Engineering Set[J]. Control Engineering of China, 2013, 20(5): 877-881.
- [16] 李建强, 牛成林, 谷俊杰, 等. 数据挖掘在火电厂运行参数优化目标值确定中的应用[J]. 华北电力大学学报, 2008, 35(4): 53-56.
- LI Jianqiang, NIU Chenglin, GU Junjie, LIU Jizhen. Application of data mining in optimal parameters value of power plant[J]. Journal of North China Electric Power University, 2008, 35(4): 53-56.