

纸机干燥部用能网络拓扑结构及其管理 Agent 的划分*

——纸机干燥部网络协作用能方法研究之一

张鼎华^{1,2} 刘焕彬¹ 李玉刚¹ 周艳明¹ 李继庚¹ 陶劲松¹

(1. 华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 华南理工大学公共管理学院, 广东 广州 510640)

摘 要:本文基于纸机干燥部自身能流特点划分干燥部用能网络,应用 Agent 作为网络中用能节点的代理,提出一种适用于纸机干燥部用能网络协作的扩展合同网协议,应用多级协商协议解决纸机干燥部能量利用中存在的能源分配和利用分配冲突。该协议在传统合同网协议中引入了信任度、阈值和优先级等策略,通过中心控制 Agent 与节点 Agent 之间的招投标以及博弈解决干燥部网络的用能分配冲突。

关键词:纸机干燥部; 能源网络; 协作; 合同网

中图分类号:TK01*8;TS755

文献标识码:A

文章编号:1671-4571(2010)06-0013-06

1 引言

纸机干燥部的蒸汽消耗占整个脱墨造纸企业蒸汽消耗的 90% 以上。在造纸企业以蒸汽平衡的供能方式下,纸机干燥部的用能决定了造纸能量转换环节产汽、产电以及外供和外购电的方式和数量,而且能量回收环节里冷凝水回收、造纸干燥热能回收、废气回收都是在纸机干燥部完成,纸张质量和造纸机的故障检测也是在干燥部完成。因此在造纸过程“三环节”能量综合优化模型里,纸机干燥部的用能量和用能效率是能量利用环节用能的核心^[1],所以需要纸机干燥部的用能进行重点的优化研究。

现代大型造纸厂一般都采用分段通汽的干燥方式,按照功能主要划分为:烘缸和汽罩、蒸汽冷凝热回收和空气预热三个大的子系统,子系统里可以分解更多的用能节点。

传统的控制和优化方法已经很难合理的配置和优化其能量的使用,需要根据干燥部能源的流转特点,将纸机划分成一个能源网络,在网络的各节点之间协调能量(蒸汽和水)的使用,来合理分配各节点的用能。

多 Agent(多智能体)的理论和技术的,为分布开放系统的分析、设计和实现复杂系统的分解建模和协同优化提供了一个崭新的途径。MAS 是由多个 Agent 组成的 Agent 系统,具有自治性、并发性、分布性、协调性和自适应性,并具有自组织能力、学习能力和推理能力,可将干燥部每个用能物理节点和逻辑管理功能模块视为一个具有自治性的 Agent 节点,利用 MAS 的协作方法研究节点之间的协作用能问题^[2]。

2 干燥部的结构及其能量相关参数的关联

目前现代大型造纸厂一般都采用分段通汽的干燥方式。分段通汽依靠各段烘缸之间的压力差,或者借助于最后一组烘缸连接的真空泵产生的负压通蒸汽。多段纸页的干燥是一个过程复杂的传质传热过程,干燥部按通汽顺序可分为 3~5 段,按照功能划分主要有烘缸和汽罩子系统、蒸汽冷凝子系统、热回收和空气预热子系统。大致结构如图 1 所示^[3]。

作者简介:张鼎华,男,在职博士研究生,讲师/工程师,主要研究方向:造纸过程信息化技术、制浆造纸过程节能减排集成与优化技术。

* 基金项目: 粤港关键领域重点突破招标项目(20070109-2),广东省科技计划项目(2007B050200010)和华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室开放基金资助课题(200634)。

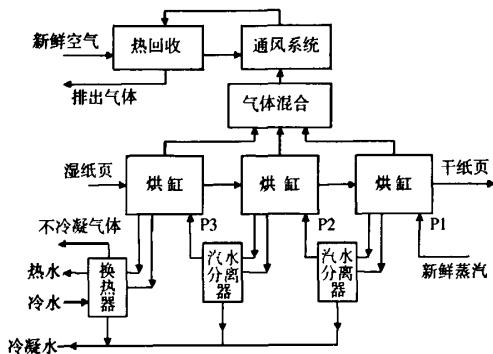


图1 造纸机干燥部整体结构

干燥部三个系统不是孤立的三个部分,而是通过各种不同的物料和能量联系在一起的。

以某大型新闻纸机为例,阐述其能量相关参数的关联:

(1) 烘缸子网:在保证干度的情况下,通过协商控制烘缸组通入新鲜蒸汽来优化设计烘缸表面的干燥曲线,以及减少各组烘缸特别是末端烘缸组的进汽冗余。

(2) 调整新鲜蒸汽通入三段烘缸、末端烘缸组至一段汽水分离器、一段汽水分离器至二段烘缸组、二段烘缸组至二段汽水分离器、二段烘缸组至三段汽水分离器、三段汽水分离器至三段烘缸组之间的压力控制,使二次蒸汽能够充分利用和减少新鲜蒸汽的通入量。

(3) 通过协同进风量以及烘缸进汽量来保证稳定的纸幅温度曲线。

(4) 协同稳纸送风系统1与排风系统之间的用能冲突:稳纸送风系统1送风量的50%来自汽罩排风,送风量大送入汽罩的能量大,但同时排风量也增大,带走更多能量。需要让送风和排风协商,实现送风量与排风量的均衡。

(5) 通过协同控制进风与排风量来控制合理的零位:零位过高,大量冷空气通过提升门进入汽罩引起纸幅抖动;而零位过低,汽罩内大量湿热空气散失到厂房内,会影响工作环境及浪费能源。零位一般控制在纸机二楼以上1.5~2 m;

(6) 控制汽罩温度:①为了保证纸幅的正常运转,必须保证汽罩的排风系统控制在露点温度。露

点的控制主要是通过通过在密闭汽罩内的排风系统实现,但送风系统同样也可以影响露点的温度,所以在通过排风控制露点温度的同时必须考虑进风对空气的影响。②理想的袋通风是排风干球温度等于其露点温度,此时相对湿度为100%,已没有吸湿能力,能源得到充分利用。但为避免水蒸气冷凝,优化的排风干球温度在其露点温度以上20~25℃,但如果通过排风与进风的优化协同,尽量减少汽罩温度的冗余,通过温度调节,合理设计控制排风以及送风量,实现节能优化^[5-6]。

以上的7点节能空间环环相扣、相互影响,脱离其中任何一环的单独优化都不能达到理想的效果,必须研究设计一种体系,将以上优化点整合成一种优化体系,各种节能点之间协同优化,解决用能冲突。

3 干燥部能源节点的 Agent 化

基于多 Agent 的干燥部能源网络是用 Agent 来表示干燥部热能流过程的各种能源物理节点和逻辑管理节点,并根据纸机干燥部能源流转的特点,通过网络及 Agent 间通讯协议将它们连接成一个虚拟的能源网络,在该网络中,复杂的蒸汽优化梯级使用由多个 Agent 协作完成。

在干燥部能量系统中存在湿空气、水分、纤维和蒸汽四种形式的物流和热能流载体,四种形态载体含有的热能流在复杂的干燥部的流过程中相互转换、相互影响;而多智能体系统研究的是一组在逻辑上或物理上分离的智能体通过彼此间协商完成复杂的任务。本文借鉴多项目调度方法^[7],通过四种物流的共有状态参量——热能量作为主线贯穿整个干燥部,把各种状态的各种状态量通过平衡换算联系起来,取消各个参量的独立性,这样便可利用解决单目标优化问题的方法去解决多目标优化问题。

3.1 干燥部能量节点 Agent 粒度的划分

本文以热能在纸机干燥部流转为主线,蒸汽的梯级回收优化利用为目标,结合 Agent 的功能粒度划分原则以及多处理机系统或计算机网络系统的结构和性能来确定合理的 Agent 功能粒度。其能量节点 Agent 划分结果如表1所示。

表1 纸机干燥部能量节点 Agent 分类

所属环节	Agent 类型	节点属性	说明
新鲜蒸汽的供给	干燥部蒸汽总协调 Agent (DMCA)	全局逻辑管理	1. 调度整个干燥部新鲜蒸汽的供给,并协同各组管理 Agent 的用能 2. 与纸机压榨部能量管理 Agent 协同用能
	汽罩及烘缸组管理协同用能 Agent (DHMA)	一级组管理	1. 管理各烘缸组用能并优化调度各烘缸组之间的协同用能。 2. 负责汽罩与热回收系统的热交换
	纸页带出总能量计算 Agent (PCA)	逻辑节点	1. 计算各段纸页带入汽罩总的能量; 2. 与湿热空气模块 Agent (WAA) 在保证汽罩露点温度的情况下协同用能; 3. 与相对应的进风 Agent、烘缸组能量管理 Agent 协同用能。
	分段纸张能量管理 Agent (SPEMA)	逻辑节点	1. 计算该段纸张的能量平衡 2. 与相关的烘缸组进行能量协调
烘缸与纸页子系统	末端烘缸组子网能量协同节点 Agent (LDMA)	二级组管理	1. 新鲜蒸汽直接通入此烘缸,剩余蒸汽汽水分离后通入下段烘缸,并将剩余蒸汽通入一段汽水分离器; 2. 管理该组烘缸节点的排列组合
	二段烘缸组子网能量协同 Agent (SDMA)	二级组管理	1. 接受上段烘缸汽水分离的二级蒸汽,并根据压差控制阀门接受新鲜蒸汽,并将剩余蒸汽通入二段汽水分离器; 2. 管理该子网下的各烘缸能量节点。
	一段烘缸组子网能量协同 Agent (FDMA)	二级组管理	1. 接受上段汽水分离出的三级蒸汽,并根据压差控制阀门接受新鲜蒸汽,并将剩余蒸汽通入最终的气水分离单元。 2. 管理该子网下的各烘缸能量节点。
	烘缸节点能量节点 Agent (DA)	物理节点	1. 负责单个烘缸内部的蒸汽优化使用 2. 与该组其他 DA 的协同用能
烘缸组与汽水分离器的能量接口子系统	汽水分离器组能量协同 Agent (SWA)	组管理节点	1. 负责协调烘缸组与汽水分离器之间的用能协调; 2. 汽水分离器之间的能量的优化调度和协同使用。
	第一段汽水分离器 (FSWA)	物理节点	1. 回收第一段烘缸组剩余汽水混合物 2. 通过控制压力等参数产生二次蒸汽通入二段烘缸,分离出的冷凝水通入。
	第二段汽水分离器 (SSWA)	物理节点	1. 回收第二段烘缸组剩余汽水混合物 2. 通过控制压力等参数产生二次蒸汽通入三段烘缸,将分离出冷凝水通入气水分离节点。
	第三段汽水分离器 (TSWA)	物理节点	1. 回收第三段烘缸组剩余蒸汽混合物 2. 将回收冷凝水总量通入造纸过程的能量转换环节,与该环节相关 Agent 协同用能。
	气水分离节点 Agent (AWA)	物理节点	回收整个干燥过程的剩余蒸汽,通过真空泵将剩余蒸汽相变成冷凝水与空气分离后送入能量转换环节,即自备电厂
抽排风子系统	湿热空气模块 Agent (WAA)	逻辑单元节点	1. 协同烘缸组与汽罩内以及纸页带出总能量; 2. 通过协同控制汽罩内的进风与抽风来控制合理露点温度以及零位。
	排风能量管理 Agent (VAA)	物理节点	1. 抽出汽罩内湿热空气; 2. 部分回收后送入引纸送风能量管理 Agent。
	稳纸送风能量管理 Agent (STAGA)	逻辑物理节点	1. 管理改组送风节点的送风量分配; 2. 与相应纸页,烘缸组协同控制纸幅温度,解决用能冲突 3. 送风组之间与排风能量管理 Agent 协同控制零位与露点 4. 与湿热空气管理 Agent 协商该组新鲜蒸汽的用量

(续上表)

所属环节	Agent 类型	节点属性	说明
热回收和空气 预热子系统	引纸送风能量管理 Agent (STAA)	逻辑物理节点	1. 取自车间内的新风; 2. 接受热回收装置的预热,加热到所需温度; 3. 将新风送入引纸吹风箱和纸幅出口吹风箱。
	稳纸送风节点 Agent (BA)	物理节点	引入干燥空气进入烘缸的汽袋
	热回收 Agent(HRA)	逻辑物理节点	1. 回收汽罩余热、加热新鲜空气并通往干燥部空气混合模块; 2. 加热通汽罩。 3. 排废气以及冷凝水。
	空气混合模块 Agent (MAA)	逻辑物理节点	1. 混合新鲜蒸汽、汽罩废气预热空气和回收蒸汽混和升温为高品质 气体; 2. 将高品质蒸汽通入汽罩为汽罩升温; 3. 与新鲜蒸汽通入 Agent、热回收 Agent 以及通新鲜蒸汽 Agent 协同 用能。

3.2 纸机干燥部能源网络的总体拓扑结构

复杂系统网络拓扑结构的划分是为了对系统进行优化,能源网络是根据发生于网络中的热动力学过程来设计网络的拓扑结构,并在确定的网络拓扑结构下控制热动力学过程对系统进行优化,所以需要在考虑信息流的同时对该网络内能量流特点有深入的了解。纸机干燥部具有复杂的传热机理,分两步划分对纸机干燥部能源网络结构:首先根据干燥部的干燥功能和三段通汽的特点对整体热动力学过程进行模块划分,其次针对主要蒸汽消耗模块——三段烘缸系统进行子网的划分,分别如图 2 和图 3 所示。



图 2 干燥部能量多 Agent 系统的整体拓扑结构

在干燥部的所有能量体系中,纸页模块含有大量的纤维物量、能量以及水分,并通过其建立起与烘缸能量的横向联系,所以在能量分析和进行物料和能量平衡时必须将其作为独立模块,但其纤维物料、能量以及水分的值只能被动的接受纸机压榨部和烘缸模块的作用改变其能量的值,其本身并不能主动根据目标或者环境变化主动的改变其能量,所以在 Agent 设计时需将分段纸张能量管理 Agent (SPE-MA) 按简单的反应式智能体进行建模,或者只是将其封装成对象直接作为烘缸 Agent 一个属性。

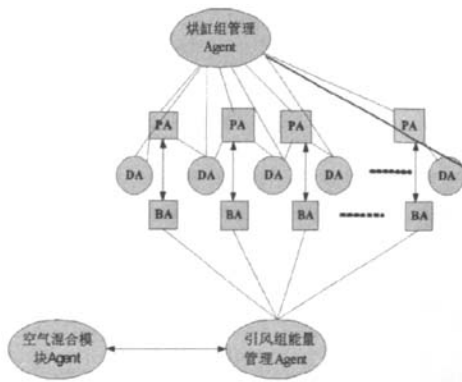


图 3 烘缸组子网的拓扑结构

4 一种扩展合同网协议的提出

Genesereth (1988) 等用对策论和博弈论方法研

究无通信情况下的多 Agent 协作。Corny (1991) 等对传统合同网加以扩充, 提出多级协商协议解决分布式约束满足问题中的任务分配和资源分配冲突^[7]。干燥部的能量流转复杂, 不同的系统之间存在着能量分配, 用能冲突的矛盾, 单独使用一种优化方法不能解决矛盾, 需要根据子系统不同的优化空间和用能冲突, 应用不同用能协商方法去解决。为了满足纸机干燥部用能优化的需要, 本文在传统合同网协议中引入信任度、权值和优先级等策略, 为研究一种解决纸机干燥部用能分配和冲突的扩展合同网协议, 做前提准备^[8-9]。

4.1 信任度

信任度的基础是 Agent 的能力描述。比如当一个新升温任务 c 在烘缸 Agent 个体 A 输入系统时, 如果 $Capable\{A_i, c\}$, 即 $c \in C_i$, 那么该任务在 A_i 的能力范围内, 可以被 A_i 接受, A_i 的状态集便做相应的更新, 同时表明 A_i 已经被任务 c 占用, 在任务完成返回之前不再接受新的任务。相反的, 若 $c \notin C_i$, 则说明 C 不在 A_i 的能力集内, 任务被正式拒绝, 重新返回任务队列中等待分配给其他 Agent a 。

4.2 权值

在干燥部关系型能量合同网中, 每两个能量节点 Agent 之间都存在一个权值来描述它们之间的关系和相互影响程度。如果用 $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$ ($\{-$ 负大, 负小, 零, 正小, 正大 $\}$) 来表示模糊集合, 则正值表示 Agent 之间为合作关系, 且权值越大则相互之间关系越紧密。负数权值表示 Agent 之间的关系是对立的, 而零权值则表示相互之间没有影响关系。

4.3 优先级

在多 Agent 系统中解决用能冲突的主要方法是动态协商, 协商策略包括优先级策略、双方协商以及仲裁等。如果赋予 Agent 不同的优先级别, 那么高优先级的 Agent 就具有资源分享的优先权, 当 Agent 之间发生目标冲突的时候, 优先保证高优先级 Agent 的运行, 其它 Agent 采取等待或排队策略。如果 Agent 没有优先级别或者两者的优先级别相同的话, 可以通过双方通讯协商解决冲突, 或者该子网的节点组管理 Agent 负责处理冲突 Agent 的协调。

纸机干燥部多智能体的多级能量协同优化将烘干子网的多智能体协同新鲜蒸汽和通排风量的合理分配, 由于研究还处于进行之中, 具体的能量管理 Agent 的实现以及协同算法将在后续论文介绍。

5 结论

本文针对纸机干燥部用能存在着: (1) 烘缸组新鲜蒸汽合理分配; (2) 烘缸组之间、烘缸组与汽水分离器之间通入蒸汽压力差的设定控制; (3) 纸页温度、袋区送风量、烘缸表面温度之间协同优化; (4) 送风和排风的协同优化控制零位和汽罩内温度等节能优化空间。研究设计一种适用于纸机干燥部用能网络协作的扩展合同网协议, 结合纸机干燥部的能量流转特点和多 Agent 的功能粒度划分原则, 对纸机干燥部的能量单元进行 Agent 划分和定义, 并以解决多 Agent 之间存在能量分配和能源使用冲突为指导引入信任度、权值和优先级等策略划分干燥部能源网络的拓扑结构, 为下一步研究用能 Agent 的具体设计和协调用能模型作了前提准备。

参考文献

- [1] 张鼎华, 李继庚, 刘焕彬, 等. 造纸过程“三环节”能量结构优化 MAS 模型的设计[J]. 中国造纸, 2009, 28(10): 5-9
- [2] Jennings N R, Sycara K, Wooldridge M J. A roadmap of agent research and development [J]. Autonomous Agent and Multi-Agent Systems (SI387-2532), 1998, 1(1): 7-38
- [3] 柯晓军, 梁博, 杨建桥. 纸机干燥部的最优化方案[J]. 中国造纸, 2007, 26(2): 39-43
- [4] 孟德志, 汤伟. 基于模糊控制的纸机干燥部控制系统[J]. 中华纸业, 2009, 30(14): 71-73
- [5] 张小云. 纸机工艺通风设计简介[J]. 中国造纸, 2010, 29(2): 39-43
- [6] 姚新跃, 张辉. 大型纸机干燥部温湿参数动态特征及热能节约原理的研究[J]. 中国造纸学报, 2009, 24(4): 81-86
- [7] Izack Cohen. MultiProject Scheduling and Control. Project Management Journal. 2004, 35: 39-50
- [8] 于振华, 刘宇, 蔡远利. 基于扩展合同网协议的无线传感器网络协作方法研究[J]. 控制与决策, 2009, (1): 61-65
- [9] 刘大有, 杨鲲, 陈建中. Agent 研究现状与发展趋势[J]. 软件学报, 2000, 11(3): 315-321

Research on an Energy Collaboration Approach of Drying Section Energy Networks of Paper Machine Based on an Extended Contract Net Protocol I

——Division of Network Topology and Energy Management Agent

Zhang Dinghua^{1,2} Liu Huanbin¹ Li Yugang¹ Zhou Yanming¹ Li Jigeng¹ Tao Jinsong¹

(1. State Key Lab of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, China;

2. School of Public Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract: Based on energy flow characteristics, the paper machine drying section can be divided into network. The Agents are applied for the proxy of energy network node. A collaboration approach based on an extended contract net protocol for drying section energy networks of paper machine was presented, and applied for multi-level negotiation protocol to solve distribution of energy allocation and use of conflict that existed in energy used in the section, in which the trust degree, threshold, and priority were introduced into the classical contract net protocol. This approach resolved energy distribution conflict in the drying section network through bidding, game between the central control Agents and node Agents.

Key words: dryer section of paper machine; energy network; collaboration; contract net

(上接第 7 页)

Risk Factors for Paper Industry and Management Measures

Tang Yuemin¹ Wang Xiaohong² Wu Gang³

(1. Liaocheng Senior Financial Vocational School, Liaocheng 252000, Shandong, China; 2. Liaocheng Electrical and Mechanical Engineering School, Liaocheng 252000, Shandong, China; 3. Shandong Zhengxin Safety Evaluation Co., Ltd. Liaocheng 252000, Shandong, China)

Abstract: This paper analyzes the dangerous and harmful factors existed in China's paper production equipment, facilities and auxiliary equipment, and puts forward the countermeasures and suggestions of risk management so as to achieve the purpose of safety.

Key words: paper-making enterprises; dangerous and harmful factors; analysis; management countermeasures

(上接第 12 页)

information for the energy scheduling, reducing energy consumption. As the platform is an integrated system which contains all aspects including management and production, it is needed to consider and design synthetically the platform software architecture. The paper divides the platform into five parts as interface layer module, the logic function module, the model container layer module, the data acquisition and storage module, the interface and information integration module. The modules are designed with the appropriate software technologies according the correspondent demands, integrated and optimized to meet the needs of the platform running.

Key words: MEOP; software architecture; operational real-time systems; MTS; JMX