

基于对象的燃煤锅炉对流受热面链式管理模式研究

赵超, 张忠孝, 周托, 滕叶, 蔡海军

(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 将锅炉对流受热面系统内的工质、烟气、受热面作为节点对象, 并将这些节点对象根据各自流程编号划归为对应的工质链、烟气链、受热面链。整个锅炉对流受热面可模拟由这些包含节点对象的链穿插交互而形成的对象集合。探讨了这种管理模式为锅炉对流受热面计算和设计带来的益处。

关键词: 对流受热面; 对象节点; 链式管理模式; UML; 热力计算; 锅炉

中图分类号: TD94; TP399

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2011)01-0041-05

对流受热面的链式管理模式是将整个对流受热面体系内存在的工质、烟气和不同形式的受热面抽象整合为以工质链、烟气链和受热面链为主体的对象模型集合。运用面向对象技术, 结合受热面换热计算方法, 对这些对象模型进行参数修改、流程控制等措施的综合管理方式。过热器、再热器、省煤器和空气预热器等形式的对流受热面在锅炉设计和校核计算过程中占据了相当大的工作量。它们的计算精度对受热面的安全运行以及锅炉运行的经济效率都有很大影响。传统的以热平衡为基础的锅炉设计和校核计算中, 通常需要对烟气以及受热面内工质进出口的参数进行假定, 以确定计算所需的烟气和工质的平均参数。而这种计算方式首先过于依赖计算人员的设计经验; 其次由于假定参数与真实计算结果的误差, 如不能满足设计要求, 则需重新进行参数假定从而导致计算效率不高。当今锅炉无论是在炉型和受热面布置方式上都趋于多样化, 对流受热面通常成多级布置形式, 各级受热面穿插于烟道各个区域, 流程更趋复杂。这些因素都对锅炉对流受热面的设计提出了新的挑战。如果对其进行有效管理, 降低受热面间计算

的耦合程度, 并快速显现对流受热面布置方式对烟道内烟气的传热影响, 将对锅炉设计、改造过程受热面的计算管理起到极大的效率提升作用^[1-3]。

1 对象模型的建立

1.1 链节点对象

锅炉的对流受热面实际上是各种工质与高温烟气进行热交换的串并联换热器网络。因此工质、烟气和受热面即构成该体系内基本的对象。对流受热面链式管理的基础是经过初步封装的各种节点对象, 像链条的单个链环。图1为受热面的节点对象示意。各种节点对象代表了对应工质、烟气或受热面对象在该节点处的状态参数。不同对象对

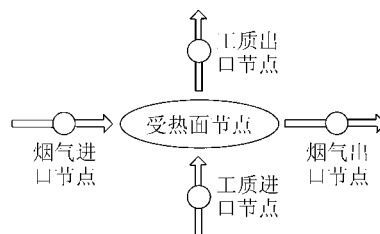


图1 受热面节点对象示意

应不同的参数,这些参数可以是温度、压力等;对受热面而言则可表征结构数据如受热面面积、管排布置方式等。这种节点概念的引入将方便对象间的交互与管理。

1.2 节点对象的数据封装

受热面热力计算涉及的众多参数在没有被归类整理前只是零散的数据,因此需要按它们各自的物理和系统属性进行划归整编,从而达到封装的目的。各种受热面、燃料、工质或者类似热平衡等事件都可在程序内被映射为对象。对象可将这些事物的相关结构和物性等参数作为对象属性加以封装,而各种计算或数据处理过程则作为对象方法来封装。以烟气节点作为一个对象来说明数据封装的过程。烟气节点对象表征的是对流受热面系统内某个节点烟气的参数集合,烟气的温度、过量空气系数等参数作为对象属性加以封装。而烟气的物性参数,如导热系数、粘度系数和普朗特数等由于需要根据烟气的成分和温度计算得来,因此作为对象的操作方法加以封装。

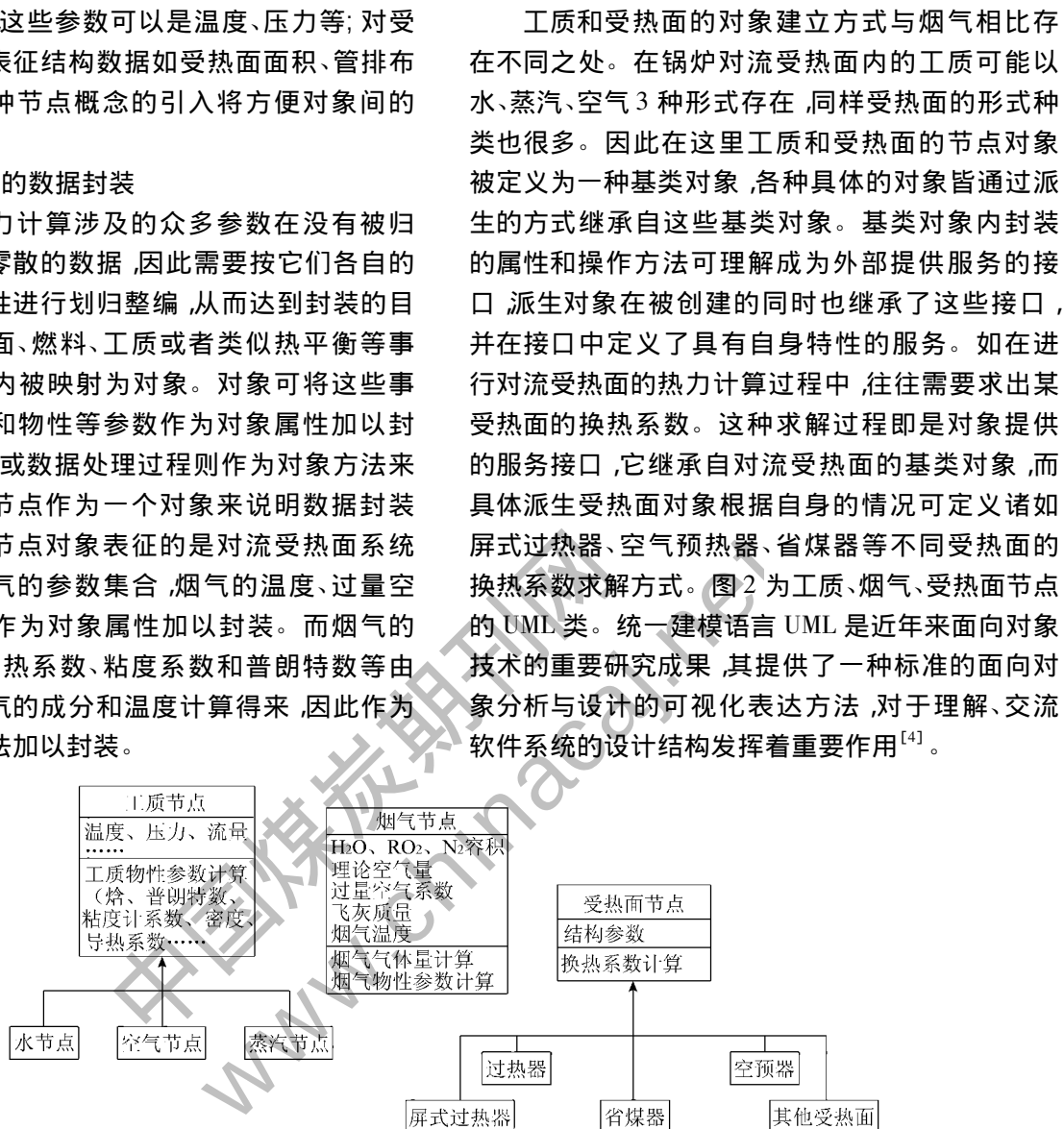


图2 工质、烟气、受热面节点的UML类

1.3 对象链集合的建立

对象链即为节点对象的集合,对象链作为同种类节点对象的收纳装置,将已建立和封装的节点对象统一收纳在一个集合对象内。集合对象会根据对象的先后顺序对工质和烟气以及它们流经的受热面对象节点进行编号,链式管理模式中的烟气、工质和受热面链即是通过对象集合的方式将节点对象集成链的。根据烟气和工质在各自流程起点和终点间所经受热面的数量,可相应确定烟气和工质在此流程中的流程节点数。这样在实际应用中对具体对象的访问将转变为对对象流程顺序码的提取查询。即使受热面的相互位置改变,或者有

工质和受热面的对象建立方式与烟气相比存在不同之处。在锅炉对流受热面内的工质可能以水、蒸汽、空气3种形式存在,同样受热面的形式种类也很多。因此在这里工质和受热面的节点对象被定义为一种基类对象,各种具体的对象皆通过派生的方式继承自这些基类对象。基类对象内封装的属性和操作方法可理解成为外部提供服务的接口,派生对象在被创建的同时也继承了这些接口,并在接口中定义了具有自身特性的服务。如在进行对流受热面的热力计算过程中,往往要求出某受热面的换热系数。这种求解过程即是对象提供的服务接口,它继承自对流受热面的基类对象,而具体派生受热面对象根据自身的情况可定义诸如屏式过热器、空气预热器、省煤器等不同受热面的换热系数求解方式。图2为工质、烟气、受热面节点的UML类。统一建模语言UML是近年来面向对象技术的重要研究成果,其提供了一种标准的面向对象分析与设计的可视化表达方法,对于理解、交流软件系统的设计结构发挥着重要作用^[4]。

受热面增减的情况出现,也只需相应修改或加减其流程顺序码。

2 对象模型的计算方式

2.1 计算域的确定

在对流受热面热力计算中通常按烟气流经受热面的顺序进行。而烟气所流经区域的受热面数量往往存在不确定性,即可能在某一区域内只有一个受热面节点对象,也可能存在2个或多个受热面节点对象。如过热器区域可能包含诸如悬吊管、水冷壁、顶棚过热器等形式的附加受热面。因此在对某级受热面所在节点进行热力计算前必须首先确

定它的计算域。实际上计算域本身也有节点对象的特性,可以认为是一种特殊的节点对象。在计算域中包含的受热面节点、烟气节点以及工质节点对象以聚合的形式添加到计算域中。图3为计算域UML类。每个计算域中一般对应2个烟气节点,即为该区域的进出口烟气参数节点对象。而工质节点对象的个数则根据计算域内的受热面个数确定,一个受热面节点对应进出口2个工质节点对象。这些节点对象的聚合过程实际上是一种更高层次的数据封装。

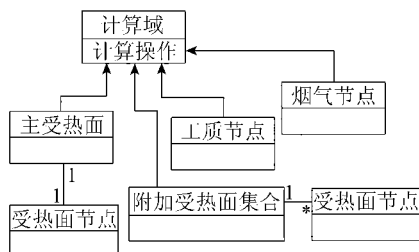


图3 计算域UML类
1—一对一的关系; *—一对多的关系

计算域内的受热面具有2种属性,即一对一的主受热面和一对多的附加受热面。计算域对象只识别一个主受热面,该受热面节点对象直接被计算域对象聚合。而附加受热面则根据实际情况以集合的形式聚合到计算域对象内。值得说明的是,无论是主受热面或是附加受热面事实上必然都是工质流程所流经的受热面节点对象,本身并无主、附之分。只是它们处于相同的计算域对象内且形成并联的受热面布置形式,因而在计算域内区别对待,但受热面节点对象的属性和参数在计算域内不会发生变化。一旦烟气、工质、受热面节点对象在

各个计算域内收纳完成,并根据烟气流程将所有计算域对象也加入相应集合排序编号成链后,对流受热面系统便能完整地以这种包含节点对象链的计算域对象链描述出来。

2.2 算法管理

算法是对流受热面热力计算各个计算步骤的总称。在确定计算域后各种参与对流受热面计算的参数实际上已准备妥当,可以在计算域内对其展开计算求解。在形式种类繁多的受热面中,结构参数、受热面所处系统位置、受热工质种类等各方面的差异都会对应不同的热力计算方法,不同计算方法的选择也必将导致大量逻辑判断的产生。为应对这种复杂性并屏蔽大量逻辑判断,将对流受热面计算过程拆分成若干主要步骤,其计算遵循这样的步骤,同时算法的改变也集中在这些主要步骤中。

图4为受热面计算步骤,由图4可知,对流受热面的热力计算步骤分解为准备计算、经验系数确定、换热计算、总换热系数确定以及热平衡这几个大步骤,并指明了这些步骤所涉及的计算和操作。在这里建立“标准对流受热面”以及“修饰者”2种对象。标准受热面类继承自对流受热面的基类对象,并在继承的类操作中定义了如下具体换热情况的计算方法:

- (1) 受热面结构为对流式受热面;
- (2) 管内工质为过热蒸汽;
- (3) 烟气和工质纯顺流流向;
- (4) 烟气横向冲刷顺列光管管束;
- (5) 受热面前没有额外辐射空间;
- (6) 灰污污染较轻情况。

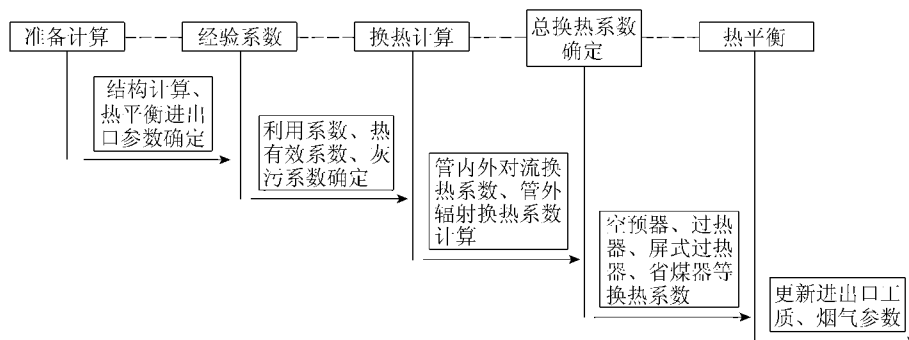


图4 受热面计算步骤

标准对流受热面对象反映了各种受热面可能存在的各种换热情形下的某一种算法搭配。而修饰者对

象与标准受热面一样也继承自对流受热面基类对象,它用于修改各计算步骤中的一种或多种计算方

法。当用某一修饰者类修改标准对流受热面类时,首先将标准受热面类聚合包裹在其内。当修饰者类中某一计算步骤所反映的换热情况与标准对流受热面的情况相同时,其计算步骤以委托的方式交由标准对流受热面完成,需要改变的计算步骤则由修饰者类定义自身的计算方法替代。图5为对流受热面修饰模式UML类。

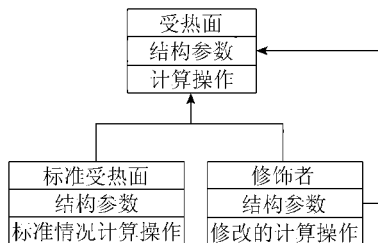


图5 对流受热面修饰模式UML类

这种程序设计模式被称为修饰模式,有效屏蔽了分支语句以及继承滥用带来的程序维护^[5]。通过添加不同的修饰者类,可使程序模拟各种不同的换热情况。由于修饰者类本身也继承自对流受热面接口类,因此可对修饰者进行多层嵌套以模拟更加复杂的情况。当修饰者对象足够多时,便可形成受面对象的修饰库。这种算法与具体对象分离的模式有利于不同算法间的调用和管理。

3 锅炉应用实例

为了对链式管理模式进行有效验证,根据该模式的设计原则适用VB6.0编制了程序。并以SG-2955/27.9-M530超超临界塔式锅炉为例,对其对流受热面进行节点、计算域划分等管理模式应用,并做热力计算分析,将计算结果与设计值进行比较。表1为煤质特性分析。

表1 超超临界锅炉燃煤煤质特性

元素分析					工业分析		$Q_{\text{net ar}} / (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
$\omega(C_{\text{ar}}) / \%$	$\omega(H_{\text{ar}}) / \%$	$\omega(O_{\text{ar}}) / \%$	$\omega(N_{\text{ar}}) / \%$	$\omega(S_{\text{ar}}) / \%$	$M_{\text{ar}} / \%$	$A_{\text{ar}} / \%$	
61.45	3.61	7.8	0.71	0.43	14	12	23420

3.1 流程与计算域划分

水流程: 省煤器

主蒸汽流程: 悬吊管→一级过热器→一级喷水
→二级过热器→二级喷水→三级过热器

再热蒸汽流程: 低温再热器→高温再热器

烟气流程: 一级过热器→三级过热器→二级再热器→二级过热器→一级再热器→省煤器→空气预热器

空气流程: 空气预热器

流程中悬吊管历经多个受热面所在计算域,因此将其分别分割成数段受热面,并在每个计算域内作为附加受热面处理。此外计算对象为塔式锅炉,因此受热面周界处除空预器外都包覆有水冷管壁。自然循环锅炉的水冷壁可作为独立于流程外的附加受热面考虑。而直流锅炉尤其在超临界情况下,水冷壁可自成一个流程。其起点工质温度由炉膛热力计算结果得出。表2为计算域内受热面节点设置。

表2 计算域受内热面节点设置

计算域编号	1	2	3	4	5	6	7
主受热面	第一级过热器	第三级过热器	第二级再热器	第二级过热器	第一级再热器	省煤器	空预器
附加受热面	水冷壁	水冷壁悬吊管	水冷壁悬吊管	水冷壁悬吊管	水冷壁悬吊管	水冷壁悬吊管	无

3.2 计算结果及分析

热力计算的算法控制策略运用了文献[6]提出的全流程迭代概念。因此无需类似传统手工计算或Excel表格半自动计算为工质和烟气节点假设与

实际或设计情况较为接近的参数,大大降低了热力计算中的经验性成分。程序一般在10个迭代步骤以内便可收敛到满足计算精度的值。表3与表4列出了BMCR工况下主要参数的计算结果。

表3 各主要计算节点处烟气温度

项目	设计值/℃	软件计算值/℃
炉膛出口	1232	1236
一级过热器出口	1166	1165
三级过热器出口	1009	995
二级再热器出口	848	842
二级过热器出口	666	672
一级再热器出口	496	498
省煤器出口	381	383

表4 各主要受热面计算节点处汽温

项目	设计值/℃	软件计算值/℃
省煤器进口	297	297
省煤器出口	331	333.62
一级过热器进口	458.4	459.69
一级过热器屏管进口	469.2	470.95
一级过热器屏管出口	499.3	503.44
二级过热器进口	486	489.93
二级过热器出口	557.7	557.88
三级过热器进口	539.6	539.85
三级过热器出口	605	605
一级再热器进口	367	367
一级再热器出口	487.8	490.05
二级再热器进口	487.5	490.05
二级再热器出口	603	603

在对该型号锅炉进行热力计算时灰污系数和热有效性系数参照了现有标准中烟煤的推荐取值,污染程度为轻度。当然程序对于这些经验性系数的修改是开放的,因此用户也可根据自身计算的

点对这些系数进行自定义。热力计算的精度已经满足了工程需要。此外通过对烟气、工质以及受热面链节点在不同计算域内的划归便可轻易适应不同形式对流受热面的设计和计算管理。

4 结 语

通过将锅炉对流受热面系统内的工质、烟气、受热面作为节点对象考虑,并将这些节点对象根据各自流程编号划归成对应的工质链、烟气链、受热面链以达到链式管理的目的。这样的链式管理模式极大地方便了锅炉对流受热面的设计和校核计算,并对复杂的锅炉对流受热面系统进行了有机管理。

参考文献

- [1] 钟巍,傅迎春,童水光. 通用锅炉热力计算软件的系统建模研究[J]. 动力工程 2002 22(2): 1681-1685.
- [2] 韩沐昕,黄波,杜军. 基于COM技术的锅炉热力计算软件研究[J]. 热能与动力工程 2003 18(6): 639-641.
- [3] 许跃敏,侯晓望. 应用框架法的锅炉热力计算系统问题域模型[J]. 浙江大学学报(工学版) 2005 39(6): 765-770.
- [4] 邵维忠,杨荣清. 面向对象的系统设计[M]. 北京:清华大学出版社 2003.
- [5] Eric Freeman, Elisabeth Freeman, Eric et al. Heat First 设计模式(中文版)[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [6] 钟巍,许跃敏,童水光. 动态绑定技术的研究与应用[J]. 计算机工程 2000 26(9): 81-83.

Chain mode management of convection heating surface of coal burning boiler based on node objects

ZHAO Chao, ZHANG Zhong-xiao, ZHOU Tuo, TENG Ye, CAI Hai-jun

(School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Taking working medium, flue gas and heating surface in boiler convection heating surface system as node objects, these node objects are numbered and arranged to their corresponding chains, which could simulate the convection heating surface. And then discuss the benefit for calculation and design of convection heating surface with this management type.

Key words: convection heating surface; object node; chain mode management; UML; heat calculation; boiler