

# 电站锅炉安装过程干涉现象的评判方法

芮晓明, 崔彦彬, 马志勇

(华北电力大学能源与动力工程学院 电站设备状态监测与控制教育部重点实验室, 北京 102206)

**摘要:**以自行开发的实用锅炉吊装结构快速建模和数据结构为基础,研究了电站锅炉吊装中干涉现象的计算机评判技术,可对吊装构件与已安装构件的干涉情况进行准确判断。利用此技术可以有效地提高锅炉吊装方案的设计水平,加快安装速度,提高施工效率。

**关键词:** 锅炉安装; 干涉分析; CAD

中图分类号: TK226 文献标识码: B

## 1 前言

大型电站锅炉安装施工前须拟定合理的吊装技术方案,其内容包括锅炉主要构件的吊装方法、锅炉吊装机具的布置和构件安装顺序安排等。这些设计工作中的关键环节之一是依据锅炉的结构、形状和布置特点,对吊装方案进行干涉分析,检查安装流程及锅炉钢架开口等是否合理,以防止安装中机具或锅炉构件间发生碰撞或干涉,确保锅炉安装的安全。

迄今国内锅炉安装部门对吊装方案进行干涉分析方法主要有:经验法——通过分析零部件和施工组织设计所表达的构件形状、尺寸和安装位置等因素,根据经验定性地估算并判断构件的干涉情况;模型法——按一定比例制作锅炉实体结构模型,并以此为依据进行吊装干涉分析。这些方法由于缺乏必要的分析工具支持,难以获得客观、准确的判据,极易造成大型复杂构件安装的不安全隐患。为解决这些关键技术问题,发达国家近年已开展在此领域的计算机技术开发和应用研究,并取得了较好的效果。本文在对 300 MW 电站锅炉吊装方案设计过程分析的基础上,提出了针对典型电站锅炉吊装过程干涉现象的计算机辅助评判方法。图 1 表明了这种新方法在锅炉安装方案拟定过程中的地位和作用。

## 2 自动判断干涉的技术方案

### 2.1 对吊装方案进行干涉评判的一般过程

一般而论,以往进行干涉分析的大体步骤为:

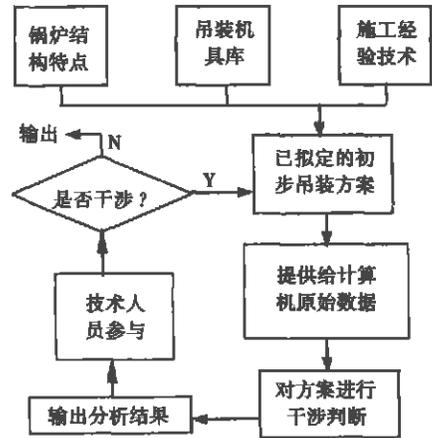


图 1 锅炉吊装方案制定的基本过程

(1)分析锅炉结构和施工图,掌握其结构及各构件的形状和位置信息,建立虚拟的锅炉结构三维空间模型;

(2)分析所作吊装方案,建立对需吊装构件数据和运动路径的认识,并了解相关吊装机具的布置情况,详细记载和考虑已安装锅炉构件对后续安装构件的影响;

(3)利用经验和必要的计算判断吊装方案是否有构件或吊具干涉的情况。

计算机辅助分析和判断干涉情况的过程基本可参照上述步骤,由计算机协助技术人员完成上述“认识锅炉结构”、“认识吊装方案”、“对方案的干涉情况分析”过程的大部分工作。

### 2.2 实现干涉自动判断的技术问题

实现干涉现象自动判断的技术关键是开发一种实用的计算机评判应用软件系统,其功能主要是快速录入锅炉结构数据库和构件的吊装方案,并利用有效的算法,根据吊装路径和构件的运动情况,判断吊装构件与锅炉已安装部分及吊装机具等是否发生

干涉。该系统的设计中有下列问题需要解决。

### 2.2.1 锅炉构件数据结构的重建

为便于将锅炉结构的基本数据快速录入图形支撑系统的内部图形数据库,需要用 CAD 绘图软件绘出锅炉主要构件(本文采用 AutoCAD 系统),这些图形数据与其它软件系统的数据交换可通过 DXF 或其它图形数据交换标准以组码/组值的数据形式表达,再经 ADS(一种 AutoCAD 的开发工具)实现。但此类数据一般以动态链表形式提供,结构庞大且复杂,不利于操作。因此需要重新建立实用的数据结构,这是本文要解决的问题之一。

### 2.2.2 锅炉构件的三维变换

研究构件在吊装过程中处于不同的运动位置时和已安装构件的关系并进行干涉判断,需要利用三维图形变换原理并依据构件初始位置和吊装路径的相关信息,分析构件在各位置的状态。

### 2.3 干涉判断算法

研究对吊装构件与其它构件或设备的干涉情况,分析判断的实用算法主要涉及两个问题:

- (1) 吊装构件在其整个运动路径中是否与吊装设备或其它构件的安装发生干涉;
- (2) 准备安装的构件与已安装的构件是否发生干涉。

下面分别讨论所述问题的解决方案。

## 3 构件数据结构的重建

设已将构件原始数据存贮在 AutoCAD 内部图形数据库中。考虑到从 ADS \_\_C 接口获得的数据是以动态链表形式存储,数据分散且不利于数据的操作(如为得到某长方体型构件的截面长度值,首先要找到组码为 1 040 的节点,再提取数据),同时因各种链表的结构也不尽相同,可能造成数据传输的问题,建立了以下表达基本构件的数据结构:

```
struct ENT {
    struct ENT * next; //指向下一个构件
    char name[ 20]; //构件名称
    int type; //构件形状类型
    ENTDATA data; //构件结构数据
};
union ENTDATA {
    Box b; //长方体型构件数据
    Cylsph c; //圆柱型构件数据
```

```
WALL w; //面型构件数据
};
```

以长方体型构件为例,其数据结构

```
struct Box {
    BoxCSG csg; //长方体型构件的抽象数据
    ads __point point[ 8]; //构件的八个顶点坐标
    SurFACE s[ 6] //构件的六个表面信息
};
struct BoxCSG {
    ads __point bpoint, epoint;
    //长方体轴线的起、终点

    ads __real length, width;
    //截面的长度和宽度
    ads __point ndirect;
    //长度面的法向量
};
```

用上述统一的数据结构表达的锅炉基本构件数据结构紧凑,并可将构件结构数据分为抽象型和具体型数据,方便干涉分析时的数据提取;在统一表达基本构件数据的同时,也以链表形式表达了基本结构的线形组合。

## 4 干涉判断算法设计

### 4.1 干涉判断算法总体方案

分析表明,对运动过程中的被吊装构件与已安装的构件的干涉分析,有两种可采取的策略:

- (1) 吊装路径优先,即对吊装构件在其吊装全路径上与各构件的关系依次进行干涉判断;
- (2) 构件优先,即考虑吊装构件处于某一固定路段时与所有已安装构件进行干涉判断,然后再进行下一路段的分析和判断;

这两种算法的功能相似,但方法(2)要从锅炉数据库中获取构件的数据,涉及多次 ADS \_\_C 接口以及构件数据的转换,因此本文采用了方法(1)来构造算法,以提高计算的效率。

### 4.2 路段中构件间的动态干涉判断算法

对被吊装构件在某路段中与其它构件的干涉判断,实际上是一种动态干涉分析,即对运动中的构件与其它构件的关系作出判断。理想的算法应根据吊装构件形状、结构以及运动路段数据计算构件所扫过的体积,然后将其作为复合构件来考虑,判断与其它构件或设备的关系。这种算法虽然理论可行,但

由于锅炉构件和路径的复杂性, 可能导致算法的复杂化, 不但降低干涉判断的效率, 在工程中也无必要。

本文所设计的算法如图 2 示。大致思路是: 若所考虑路段是直线运动, 则根据路段长度  $l$  和给定的每次移动量  $\Delta l$  确定所需

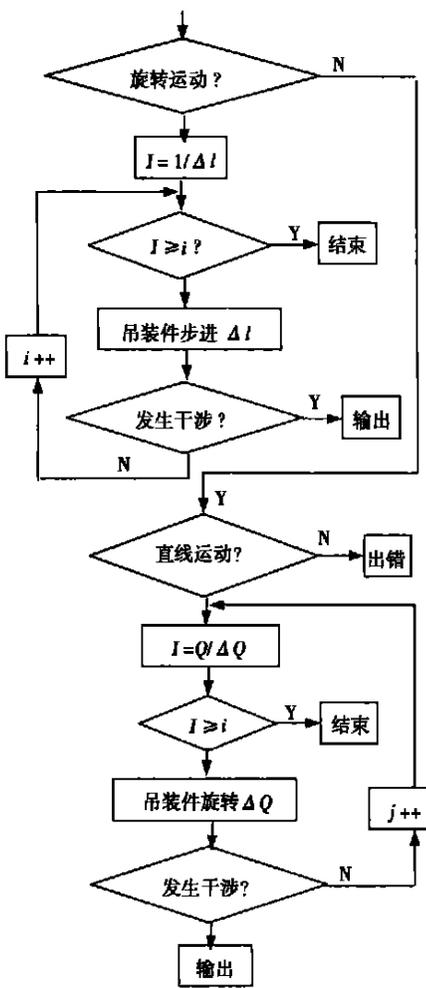


图 2 构件动态干涉判断算法

的最大运动次数  $I$ , 以  $\Delta l$  作为步长, 判断此间构件间干涉情况; 若不发生干涉, 则继续下一  $\Delta l$  的干涉判断, 直至运动次数  $i$  达到  $I$  后, 进入下一个路段。该算法的核心是将某路段上的动态干涉判断问题转化为若干不同位置的静态干涉判断, 可使算法大为简化。与理想的动态干涉判断方法比这种处理方法虽有一定差距, 但如  $\Delta l$  控制合理, 也能达到相当高的精度, 完全可以满足工程需要。

#### 4.3 构件的静态干涉判断算法

由于可将运动构件的干涉判断转化为相关的静态判断的问题, 以下讨论实现两构件间静态干涉判断的算法问题。这种算法主要是实现对基本构件或以链表形式表达的若干基本构件构成的复合构件的统一处理和干涉判断分析。

如图 3 所示, 设  $P_1[i]$  为指向构件  $P_1$  中的第  $i$  个子构件;  $P_2[j]$  为指向构件  $P_2$  中的第  $j$  个子构件。

可以将多数构件干涉判断问题转化为 3 种基本构件的干涉判断。基本构件有 3 种: 长方体型 (B)、圆柱型 (C) 和面型 (W)。其可能的组合有六种, 即 B \_\_ B、B \_\_ C、B \_\_ W、C \_\_ C、C \_\_ W 和 W \_\_ W, 所以相应的干涉判断算法也应有六种。仅以 B \_\_ B 为例阐述算法的实现。

设三维空间中两长方体型构件  $b_1, b_2$ , 并均有各自的结构和位置参数, B-B 算法的功能是根据其结构、位置参数判断两者是否有发生干涉的部分。

B \_\_ B 算法的基本思路:

- (1) 进行干涉预判断: 若两者距离相当远, 一定不会发生干涉; 反之则有可能发生干涉;
- (2) 判断构件  $b_2$  的各顶点是否在构件  $b_1$  内, 若是则发生干涉, 否则进入下一步;
- (3) 判断  $b_1$  的顶点是否有在  $b_2$  内, 若是则发生干涉;
- (4) 对  $b_1$  与  $b_2$  的各表面两两求交, 如相交, 则发生干涉。

若上述 4 步均不能判定, 则  $b_1, b_2$  构件不会发生干涉。

具体算法结构从略。

#### 5 实现干涉判断的过程和应用实例

根据上述干涉判断算法, 开发了对典型锅炉安装中干涉现象的计算机辅助评判系统, 图 4 是该系

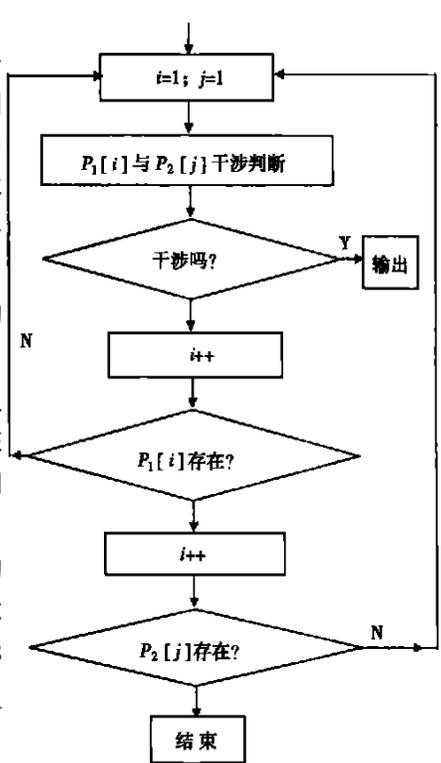


图 3 构件之间的干涉判断

统的功能构成及基本操作流程。

首先根据锅炉设计图纸以及设计院的设计图录入锅炉结构数据,并参照安装部门可选吊具的数据建立锅炉结构数据库以及吊装方法、安装顺序和吊具的平面布置等方案,再对所建立的初步吊装方案

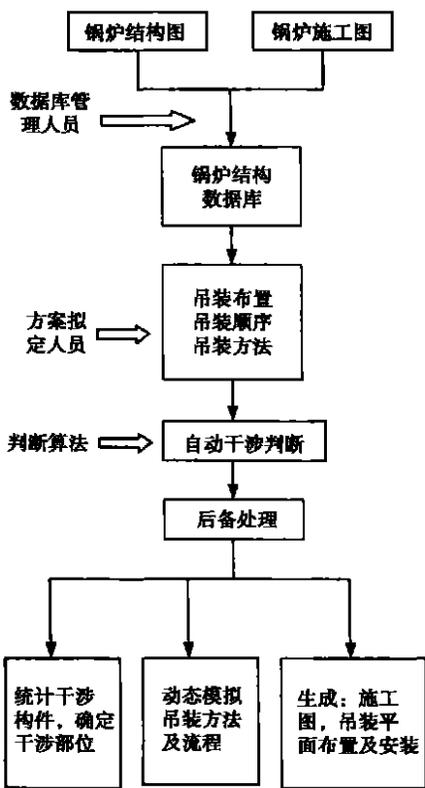


图 4 干涉评判系统的功能结构

利用干涉判断算法库判断是否发生干涉。该软件系统还具有一定的后备处理功能,如统计分析发生干涉的构件;标识干涉部位;输出吊具布置、吊装方案设计;对吊装过程的简单动态模拟等。

为了测试软件功能,笔者对沙岭子电厂 5 号锅炉(300 MW 机组 II 型锅炉)的主要吊装方案进行了干涉分析,仅以锅炉的几种可选吊装方案为例作简要说明。

锅炉是锅炉吊装的主要部件,其吊装方案设计的吊装路径大体分两步:由设备预备地运输到锅炉前部;由锅炉前部向上吊至悬挂位置。一般前者较固定,后者则有若干方案可供选择。

方案 1: 锅炉移至与炉前 Z 柱距离为 3.0 m 处,然后从地面起吊,保持水平,以垂直运动方式到标高 65.0 m 处,到达正式悬挂位置。

方案 2: 锅炉移至炉前距 Z 柱的距离为 1.5 m 处(较方案 1 少 1.5 m),以垂直运动到标高 65.0 m,再向炉后方向运动 1.5 m,到达正式悬挂位置。

方案 3: 锅炉移至炉前距 Z 柱 1.5 m 处,垂直上

标高 65.0 m 处,再进行还原旋转,使锅筒水平,最后向炉后方向水平运动 1.5 m,到达正式悬挂位置。

利用本文的干涉判断方法得到的分析结果为:

(1) 方案 1 与锅筒发生干涉的构件包括炉前支撑锅筒的两立柱(Z11, Z11F), Z1-Z2 间连梁, Z1F-Z2F 间连梁,以及锅炉前部的水平支撑。分析表明,由于立柱 Z11、Z11F 是主要的承载构件,负责支撑燃烧室中的管件和锅筒等,不能缓装,否则炉架不稳定,因此该方案不可行。

(2) 方案 2 与锅筒发生干涉的构件有 Z1-Z2 间连梁、Z1F-Z2F 间连梁和锅炉前部的水平支撑。经分析,此方案中锅筒与炉前部立柱 Z11、Z11F 不会发生干涉,表明该方案是可行的。但因发生干涉需要缓装的构件仍然有相当数量,安装工艺较复杂。

(3) 方案 3 与锅筒发生干涉的构件较前两方案大为减少,只涉及锅炉前部的部分水平支撑构件。在方案 1 和方案 2 中与锅筒发生干涉的立柱、连梁此时均不发生干涉,可按正常顺序对其进行安装。另外,就发生干涉的支撑构件来看,根据其形状、尺寸以及所处的位置分析,在锅筒吊装过程中不管采用何种路径,均是要发生干涉的。

经上述分析,方案 3 因干涉导致的缓装的构件最少,可保证锅炉结构稳定,是最合理的方案。而安装工程中正是采用了方案 3 进行的锅筒吊装。

## 6 结 语

本文提出了锅炉安装过程中的计算机辅助评判方法并开发出相应的支持软件,工程实例分析表明该方法可对已拟定的电站锅炉初步吊装方案进行正确、有效的干涉分析,辅助进行吊装方案的可行性以及优劣评判,具有较好的工程实用价值。该技术的实现,可有效地解决以往采用的人工方法难以全面、快速、准确地对吊装过程的干涉作出判断的问题,对提高锅炉吊装方案的设计水平、加快锅炉安装进度有重大意义。

### 参考文献:

- [1] 李锦峰 芮晓明. 电站锅炉吊装干涉分析模型及其数据结构[J]. 现代电力, 2002(3): 21-27.
- [2] 虞铁铮. 大型锅炉安装[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [3] 何 强. 施工机械设备管理与使用[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [4] 泽居克幸. 火电设备现场施工技术动向[J]. 国际电力, 1998(4): 24-28.

network was adopted for network division. The turbulent flow model is of a SST  $k-\omega$  one. A wall function method has been adopted for the near-wall location. The coupling of speed and pressure was solved by using a SIMPLEC algorithm. Through calculations obtained were for the gas film-cooled flat plate without ribs and with 45° ribs a flow field distribution and the average temperature and average heat exchange factor at the flat plate inner and outer surface. The calculation results indicate that the channel flow-field structure of the gas film-cooled flat plate with 45° ribs is relatively complicated. The surface average temperature of the flat plate is lower than that of the gas film-cooled flat plate without ribs. However, the cold and hot surface average heat exchange factor near the gas-film pore zone is higher than in the case when no ribs are provided. Furthermore, the presence of ribs is favorable for enhancing cold-air outward flow ratio. **Key words:** rib, gas film cooling, temperature, heat exchange factor, numerical simulation, outward flow ratio

行星齿轮啮合刚度对其振动特性的影响 = **Impact of Planetary-gear Meshing Rigidity on Its Vibration Characteristics** [刊, 汉] / WANG Chun-guang, CHANG Shan, LI Ying-sheng (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(4). — 414 ~ 416, 420

A multi-freedom mathematical model was set up for a single-stage straight-tooth planetary gear transmission. Within this system, on the basis of the special features of planetary gear natural frequency and vibration mode, deduced were a formula showing the sensibility of an eigenvalue to meshing rigidity and the relationship between this eigenvalue and meshing strain energy. The results of an analysis indicate that the meshing rigidity has a relatively great influence on the intrinsic characteristics of two rotating modes, two groups of displacement mode and two planetary modes. Through the distribution of meshing strain energy one can clearly detect the influence of meshing rigidity changes on the system intrinsic characteristics. **Key words:** planetary gear, meshing rigidity, vibration characteristics

带监督项的模糊前馈反馈控制在船用锅炉水位控制中应用 = **Fuzzy Feedforward and Feedback Control with a Supervision Item and Its Applications** [刊, 汉] / XIAO Hang, CHEN Bing, NI Ning (Teaching & Research Section of Steam Power, Naval Engineering University, Wuhan, China, Post Code: 430033), TIAN Guang (Military Representative Office Resident at Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(4). — 417 ~ 420

Because of a "false water level" for the boiler drum, a controlled object in a marine steam power plant and of the difficulty of establishing a precise mathematical model the use of an onventional control strategy often fails to ensure the control quality of the drum water level. In case of high frequency of operating regime changes there often occur such failures as "water overflow" or "boiler dry". To cope with the problem, the authors have proposed a fuzzy feedforward and feedback control scheme with a fuzzy supervision item. Under this control scheme the use of fuzzy feedforward compensation makes it possible to measure the influence of interference to the system output and a fuzzy supervisor is utilized to attenuate the impact caused by a non-minimal relative link. The application of the proposed control scheme on an experimental machine unit has demonstrated its satisfactory results.

电站锅炉安装过程干涉现象的评判方法 = **A Method for Appraising Interference Phenomena during the Hoisting of a Utility Boiler** [刊, 汉] / RUI Xiao-ming, CUI Yan-bin, MA Zhi-yong, (School of Energy & Power Engineering, Key Laboratory of Condition Monitoring and Control for Power Plant Equipment of Ministry of Education, North China Electric Power University, Beijing, China, Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(4). — 421 ~ 424

On the basis of a self-developed practical boiler hoisting construction work involving a rapid model building and data structuring a study was undertaken of the computer appraisal technique with regard to the interference phenomena in the hoisting of a utility boiler, making it possible to accurately judge the interference situation of the structural items to be hoisted and already installed items. The utilization of the above technique can be conducive to effectively enhancing the design quality of boiler hoisting scheme, accelerate installation speed and increase construction work cost-effectiveness. **Key words:** boiler erection, interference analysis, CAD