

文章编号:1000-582X(2005)10-0027-04

计算机辅助螺纹钢孔型设计系统的开发及应用*

吕立华¹,马新江¹,唐辉²,林军¹,刘维广¹,张勇伟¹

(1.重庆大学材料科学与工程学院,重庆 400030;2.攀钢集团钢城企业总公司,四川攀枝花 617000)

摘要:型钢孔型设计是制定型钢轧制工艺的重要内容之一.传统孔型设计过程以人工经验为主,其计算繁琐,原材料消耗大.为提高生产效率,通过对螺纹钢延伸孔型系统、精轧孔型系统及成品孔型的构成和设计方法的分析,结合螺纹钢孔型系统的基本设计理论和实际生产经验,对以往孔型设计过程中所使用的数学模型、经验公式等进行了修正,并以结构化程序设计方法为基础,采用可视化编程工具 Visual Basic 6.0 建立了计算机辅助螺纹钢孔型设计系统.试用效果表明,缩短了新产品的的设计周期,降低了轧机能耗和生产成本.

关键词:螺纹钢孔型;优化设计;Visual Basic 语言;计算机辅助孔型设计

中图分类号:TG332.2; TP391.72

文献标识码:A

从20世纪60年代后期至今,国内外对计算机辅助孔型设计(Computer Aided Roll Design,简称CARD)的研究都有了很大的发展,CARD系统从最初的只能计算或画图到现在的能进行优化设计与数据管理,无不体现了计算机在现代化轧钢车间的重要辅助作用.CARD系统的发展存在以下2个方面:系统功能的发展和计算模型的发展^[1].系统功能从仅能完成个别孔型的个别设计环节发展到完成整个系统的包括计算各种设计参数、优化和画图等在内的全部设计工作,进而发展到CAD/CAM一体化和把专家系统引入CARD.孔型设计中用到的计算模型(如描述金属变形、轧制过程运动学和力能参数的模型等)随着塑性加工理论和计算方法的发展,实现其理论精确性和数值算法准确性已成为可能,因而其具有更强的科学依据性和考虑问题的全面性.

1 计算机辅助孔型设计的基本方法

CARD技术主要是利用计算机系统的存储记忆、分析计算、推理判断及绘图打印等功能辅助工程技术人员进行各种钢材生产中轧辊孔型设计的各项工作.首先,CARD系统应该采用较为精确的计算模型,可以把产品质量、最小能耗、最大轧机产量、轧机负荷均匀等作为目标函数,通过采用最优化计算方法得到所追求的最优孔型;其次,CARD系统能将得到的孔型数据

绘制成孔型图并输出,同时进行数据存储管理;另外,CARD系统应该具有较好的适时修正性^[2].根据孔型设计的特点和计算机的功能,CARD系统应该由一系列具有各种功能的模块和界面组成.根据功能不同,可以将模块分成设计计算、人机交互和输入输出3部分.设计计算包括孔型选择、尺寸计算、轧制工艺计算、力能参数计算和设备校核、优化等模块.

一般的,一个实用的CARD系统的使用过程如下:输入原始参数(坯料、成品尺寸和轧机参数)→选择孔型→优化计算得到轧制道次、延伸系数、孔型参数和轧制工艺参数→(数据管理)→绘制孔型图→打印输出.在编制CARD系统的过程中,计算模型和优化方法的选择至关重要,它直接关系到计算结果的准确性.

2 螺纹钢CARD系统的开发

攀钢集团钢城企业总公司轧钢厂螺纹钢产品主要规格为 $\Phi 16 \sim \Phi 25$,孔型设计完全依靠人工经验,经初步设计后试轧、修改,方可得到一套合理的孔型图,其过程繁琐、计算量大、原材料消耗严重,一定程度上影响了企业的生产和经济效率.因此,将工程技术人员的实际生产经验与螺纹钢孔型设计基本理论结合起来,建立起通过人机对话界面就能够完成孔型设计的优化系统,这对于改善目前新产品的开发方式、减少现有产

* 收稿日期:2005-06-07

作者简介:吕立华(1946-),女,陕西华县人,重庆大学副教授,从事轧制理论基础、轧制工艺控轧控冷及加工过程计算机模拟的教学和研究.

品的原料消耗与轧机能耗、提高经济效益有较大的实际意义。

2.1 孔型系统的选择

结合攀钢轧钢厂实际生产情况,延伸孔型系统均采用箱型孔型系统与六角-方孔型系统相接的混合孔型系统。该孔型系统综合考虑了箱型和六角-方孔型系统的优缺点,在粗轧的前两道次采用箱型孔型系统以使轧件顺利咬入,并剥除坯料表面的氧化铁皮,同时适当减小轧件的断面面积^[3]。在延伸孔型系统的中轧阶段采用了六角-方形孔型系统,其轧件咬入和轧制过程稳定,并采用较大的延伸系数获得高的变形率,很大程度地压缩轧件的断面,以高的变形速率和较少的变形道次为螺纹钢精轧阶段提供良好的坯料。精轧孔型系统采用圆-椭-螺,方便于调整孔型,生产多种规格的螺纹钢产品,同时轧件缺陷较少,螺纹钢的成材率高,产品尺寸精度和机械性能都符合要求。成品孔型采用标准通用螺纹钢孔型。在编制 CARD 系统时考虑到以上情况,孔型选择模块中的孔型类型按照上述孔型设置,便于选择的孔型与目前实际生产相近或相同。

2.2 主要计算模型的选择

孔型设计所用到的计算模型包括延伸系数分配模型、孔型计算公式、宽展模型、轧制力和总力矩模型、温降模型、能耗模型等,考虑到计算机强大的计算功能,应选取较为精确且计算结果与工厂现有数据较为吻合或者经实际数据修正过的数学模型^[4]。

2.3 优化模型的选择

螺纹钢的孔型设计是根据各道次的延伸系数和宽展系数确定出各个道次的轧件断面面积,然后根据孔型尺寸与面积的关系公式,计算出孔型各部分的尺寸,从而得到孔型系统。笔者建立的优化模型如下:

1) 设计变量(自变量)选择平均延伸系数 λ_m 。 λ_m 通常是在一定的范围内(1.25~1.38)按照人工经验来选择,其大小对整个孔型系统起着决定性作用。在确定 λ_m 的初值之后,可以确定出轧制道次,再按照延伸系数分配模型确定出各道次初步延伸系数。改变 λ_m 的大小就可改变各道次的延伸系数值和宽展系数值,从而改变总轧制能耗的值^[5]。

2) 目标函数选择总轧制能耗最小。总轧制能耗计算公式为:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n a M_{Zi} v_i t_i / D_{Ki}, \quad (1)$$

式中: M_{Zi} 为第 i 道轧制力矩; v_i 为第 i 道的轧制速度; t_i 为第 i 道的轧制时间; D_{Ki} 为第 i 道的轧辊工作直径; a 为系数; q_i 为第 i 道的轧制能耗; n 为轧制道次。

根据前述内容,在轧机各机架工作辊径、坯料和成

品尺寸、末机架轧辊转速给定的情况下,轧制力矩 M_{Zi} 、道次轧制时间 t_i 、道次轧件出口速度 v_i 均可以用各道次压下系数 η 和宽展系数 β 来表示,而压下系数和宽展系数又可以表示成与各道次延伸系数 λ_i 相关的函数式。因此轧制能耗最小模型可以近似写为:

$$\min N = \min \sum_{i=1}^n q_i = \min \sum_{i=1}^n q_i(\lambda_i), \quad (2)$$

其中各道次延伸系数 λ_i 可以用初步估计的 λ_{m0} 来计算出来。给定 λ_m 一个变化步长 δ , 比如每计算一次轧制能耗 λ_m 增加或减小 0.001, 使 λ_i 不断变化, 这样就可以对目标函数进行优化计算。

3) 螺纹钢 CARD 系统优化模型的限制条件: 咬入条件、轧辊强度条件、电机能力、轧件稳定性条件。

2.4 参数化绘图的实现

为在螺纹钢 CARD 系统中实现参数化绘图功能,首先要对螺纹钢孔型图纸进行分析。显然,孔型图都是由直线和圆弧组成的,每个道次的孔型图都可以表示成直线和圆弧的有序排列^[6]。例如箱型孔(见图1)。

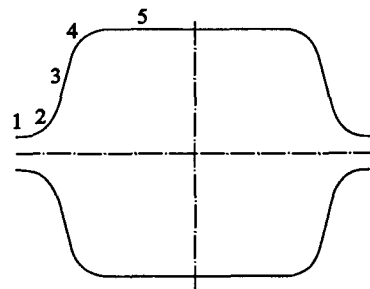


图1 箱型孔的参数化绘图

箱型孔是轴对称图形,因此可以只绘出其图形的1/4即可,然后采用镜像法绘出其余部分。图中的1/4段都是由直线与圆弧组成,其中1、3、5为直线,2、4为圆弧,并且直线与圆弧之间的连接关系是固定的。因此可以采用一个一维数组 $\text{Graph}()$ 来描述。数组的元素取值为直线或圆弧,这样图中的1/4段可以表示为

$\text{Graph}(1, \dots, 5)$ 。

其具体取值为:

$\text{Graph}(1) = \text{直线}; \text{Graph}(2) = \text{圆弧}; \text{Graph}(3) = \text{直线};$

$\text{Graph}(4) = \text{圆弧}; \text{Graph}(5) = \text{直线}。$

同样,其它各种孔型均可以采用这种方法表示。对于一个有 n 个轧制道次的螺纹钢孔型系统方案,可以用一个二维数组来描述。

$\text{Graph}(1, \dots, m; 1, \dots, n)$

式中: m 为孔型图中的最多图元个数,对于螺纹钢孔型图取 $m = 40$; n 为轧制道次数。

这样可以通过定义一个数据类型完整描述孔型拓扑关系,再加上相应的与 AutoCAD 接口的绘图语言即可实现参数化绘图。

2.5 螺纹钢 CARD 系统的编制

本螺纹钢 CARD 系统采用的编程软件为 Microsoft Visual Basic 6.0, 绘图软件为 AutoDesk AutoCAD2004, 开发时的操作系统为 Windows XP. 系统软件编制的主要程序流程图如图 2 所示, 点击“孔型设计”菜单之后的部分系统界面如图 3 所示.

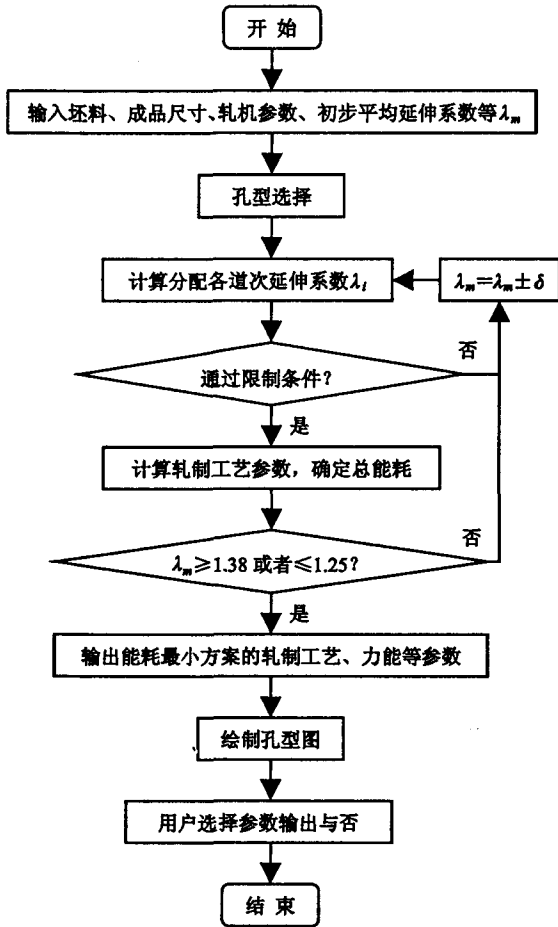


图 2 程序流程图



图 3 部分系统界面

Φ22 4 种规格的螺纹钢孔型系统进行设计, 并与轧钢厂目前设计方案进行比较. 将 4 种规格产品经螺纹钢 CARD 系统优化设计后得到的各道次延伸系数值绘成曲线图, 并与实际生产中的各道次延伸系数变化曲线图作比较 (如图 4-7 所示). 由曲线对比图可以看出, 本螺纹钢 CARD 系统设计的延伸系数分配方案与实际生产中的延伸系数分配方案相比基本吻合. 再将优化后的总轧制能耗与根据实际生产方案计算得到的轧制能耗对比, 节约了 10% 左右的能耗. 经试用, 设计周期明显缩短, 原材料损耗和电能消耗与以前相比也有明显减少.

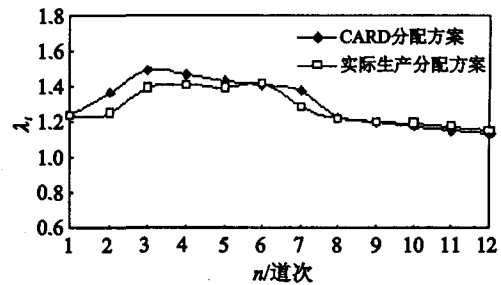


图 4 Φ16 各道次延伸系数变化曲线

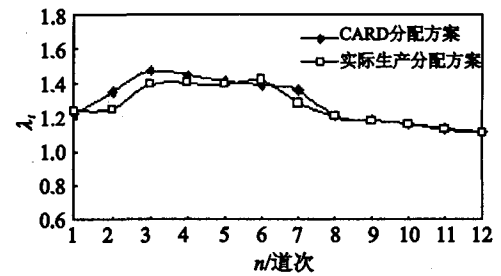


图 5 Φ18 各道次延伸系数变化曲线

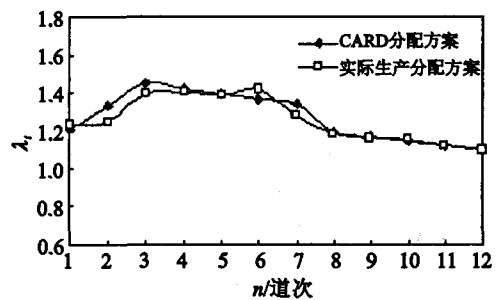


图 6 Φ20 各道次延伸系数变化曲线

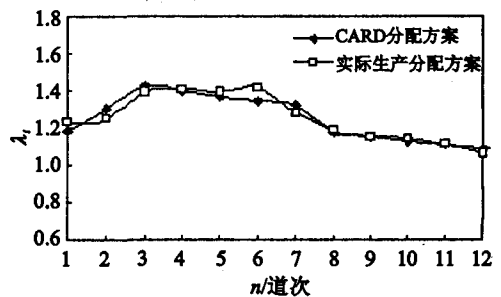


图 7 Φ22 各道次延伸系数变化曲线

3 系统的实际运行情况

采用本螺纹钢 CARD 系统对 Φ16、Φ18、Φ20 和

4 结 论

1) 本螺纹钢 CARD 系统可以在坯料尺寸、成品螺纹钢尺寸以及轧机技术参数给定的情况下,确定出各个道次延伸系数、轧制速度、轧制直径、轧制力等相关参数,并能优化计算出在满足咬入条件、轧辊强度、电机负荷及轧件稳定性等条件下的轧制能耗最小的孔型设计方案.系统采用了参数化绘图,实现了 CARD 系统与工程绘图软件 AutoCAD 的接口,能够将孔型设计结果绘制成带有尺寸标注的孔型图,并输出到 AutoCAD 软件中得到标准化孔型图,用户还可以对孔型图参数进行修改.

2) 在任何形状型钢的计算机辅助孔型设计过程中,对孔型图拓扑结构的分析是十分重要的,这是实现参数化绘图的首要前提.

3) 本软件的开发和试用取得明显成效,较大地缩短了螺纹钢孔型设计的周期,设计出的孔型方案符合实际生产要求,对降低轧机消耗、节约生产成本和提高生产效率具有重要意义.

参考文献:

- [1] 鹿守理. 计算机辅助孔型设计[M]. 北京:冶金工业出版社,1993. 6-7.
- [2] 赵俊萍,鹿守理,曲扬. 计算机辅助孔型设计(CARD)技术及应用的发展[J]. 轧钢,1998,(1): 59-62.
- [3] 薛莉,李隆旭,李生智. 混合孔型系统在复二式轧机上合理应用[A]. 全国轧钢孔型设计技术交流会孔型设计论文集(综合部分)[C]. 成都:成都华冶信息研究所,267.
- [4] 赵松筠,唐文林. 型钢孔型设计[M]. 第2版. 北京:冶金工业出版社,2000. 272-273.
- [5] 唐文林,顾卓,韩静涛,等. 简单断面型钢计算机辅助优化孔型设计的研究[A]. 全国轧钢孔型设计技术交流会孔型设计论文集(综合部分)[C]. 成都:成都华冶信息研究所,194.
- [6] CHEN TIANBAO, WANG XIANJIN. Section Profile Disassembly Reasoning Strategy in Computer Aided Cold Roll Form Designing[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 1994, 1(1-2): 59-63.

Development and Application of Computer Aided Roll Design System for Thread-steel-bar

LV Li-hua¹, MA Jin-jiang¹, TANG Hui², LIN Jun¹, LIU Wei-guang¹, ZHANG Yong-wei¹

(1. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Steel City Parent Company, Pan-steel Group, Panzhihua 617000, China)

Abstract: Roll pass design is one of the important content of making the rolling technology of section steel. The traditional pass design relies mainly on artificial experience, which brings some tedious calculation and great consumption of raw materials. In order to improve production efficiency, the constitute and the design methods of the roll system for thread-steel-bar are analyzed during stretching, further rolling and finished rolling. The mathematical models and the experience formulas used for the roll design in the past are revised. The computer aided roll design system is developed for thread-steel-bar based on the structural means of compiling program. The authors adopt Visual Basic6.0 as a visual program tool, and combine the basic design theory of the thread-steel-bar's roll and the practical experience. The system can shorten the design cycle of the new product development, and reduce the energy consumption of the rolling mill and the distribution of production.

Key words: thread-steel-bar roll groove; optimization design; Visual Basic; computer aided roll design

(编辑 李胜春)