

文章编号:1000-582X(2004)03-0097-03

# 周期轧机 CARD 及三维造型的研究与开发\*

吕立华<sup>1</sup>,刘学振<sup>1</sup>,张定潮<sup>2</sup>,胡严政<sup>2</sup>,刘鹏<sup>2</sup>,李赤波<sup>2</sup>,周强安<sup>2</sup>

(1.重庆大学材料科学与工程学院,重庆 400030;2.成都无缝钢管集团公司周期轧管厂,四川成都 610036)

**摘要:**阐述了周期轧管机组孔型设计原理,针对变断面孔型的形状和尺寸都随着轧辊转动而变化的特点,通过对周期轧机孔型的变形原理、设计过程及参数的选取,综合地考虑各种因素,建立了周期轧管机轧辊孔型优化的数学模型;并结合计算机辅助孔型设计(CARD)技术所编制的软件实现了孔型参数优化、孔型数据管理、孔型图形绘制以及孔型打印等功能。同时,还讨论了CARD系统中复杂曲线图形成原理及其实现过程,通过数据传递,实现了基于二维CARD系统的轧辊三维造型,依此为基础,加上相应的控制模块,可形成设计、生产的一体化,进而形成更完善的轧辊加工控制系统。

**关键词:**周期轧管孔型;优化设计;计算机辅助孔型设计;Pro/ENGINEER;VBA

**中图分类号:**TG332;TG333.8

**文献标识码:**A

计算机辅助孔型设计(Computer Aided Roll Design, 简称CARD)自20世纪70年代出现以来,经过近40年的发展,其应用日趋广泛。目前国内开发的许多CARD系统主要是针对型钢孔型,而且主要是基于二维平面问题的解决。而对一些变断面孔型的CARD开发,特别是关于三维造型方面的探讨仍旧呈滞后状态。

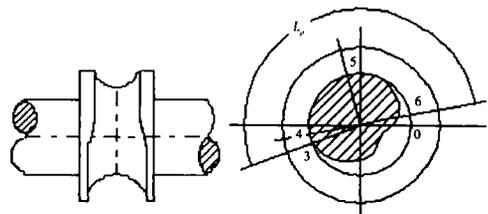
作为变断面孔型的代表,周期轧机孔型设计过程复杂,设计参数繁多。孔型的每个部分的尺寸以及各部分的分配比例对钢管的质量和机组的生产率均有明显的影响。在传统设计中由于受经验、理论和计算量的限制,难以设计出合理可靠的孔型,笔者所开发的CARD系统将理论和经验有机结合起来,实现了孔型优化设计,使设计方法科学化、规范化,提高了孔型设计的可靠性,并提高了产品的质量和成材率。同时利用数据交换,实现了二维CAD系统向三维CAD系统进行数据传递,并完成了轧辊孔型的三维造型,为今后进行基于三维模型的工程分析(诸如有限元分析、热力学分析等)奠定基础。

基于实际应用的考虑,将所开发的系统分为二维CARD模块和三维造型模块。

## 1 二维CARD模块

由于周期轧机孔型的每个断面形状和尺寸都随着轧辊的转动做周期往复变化(参见图1),根据轧件的轧制过程,其孔型沿轧辊圆周方向可以分为工作段和空轧段两部分,而工作段作为轧件变形及成形区段,一般又分为锻轧带、精轧带和终轧带三部分。其中,锻轧带作为钢管延伸的主要变形段,其孔型曲线数学模型

的建立是设计中的主要组成部分。此外,在精轧带主要进行轧平管壁和精整,钢管在终轧带平缓脱出以准备下一个周期的轧制。



(a) 轧辊实物图 (b) 轧辊横断面示意图  
图1 周期轧管机孔型简图

结合周期轧机上述特点,在进行二维CARD模块的开发时,应该从下面几个方面考虑。

### 1.1 孔型优化原则

为保证在轧制生产过程中获得优质的钢管,使开发的孔型设计软件系统合理可靠,需从以下几个方面考虑优化的原则。

#### 1.1.1 孔型的各段比例合理分配

由于周期轧管机变断面轧制的特性,其各段组成部分的作用及空间配合的相互关系,必须合理分配各段比例,才能使轧制过程稳定,减少轧制缺陷的产生,提高轧制速度。同时,结合喂料器的能力及轧辊加工车床的结构,在传统的轧辊加工过程中,孔型工作段可以按下述两种设计原则进行设计,即工作段角度保持不变( $W_p = \text{CONST}$ , CONST代表定值,下同)和工作段长度保持不变( $L_p = \text{CONST}$ )。结合这两种设计的特点,笔者搜集了大量现场数据,使用了一定工作段角度

\* 收稿日期:2003-11-15

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计算机辅助设计的教学和研究。

配合一定工作段长度的方式进行孔型设计。同时,采用补偿喂料器等方式可以避免生产过程中出现的壁厚不均等弊病。

此外,在进行工作段设计时,锻轧带角度( $\theta_1$ )与精轧带角度( $\theta_2$ )比值的选取常常采用  $\theta_1/\theta_2 > 1$ ,即所谓的“缓变形”。这是因为如果变形过程太陡(即  $\theta_1/\theta_2 < 1$ )将增大轧制压力并导致变形程度不均,在轧制薄壁管时,甚至会产生横裂,并增加打头的难度。

### 1.1.2 孔型生产的适应性

由于周期轧机生产的灵活性,每一种孔型可生产不同钢种和不同壁厚规格的荒管,荒管的外径和壁厚均匀与否直接影响到钢管生产的最后工序,因此在孔型设计时必须考虑其可靠性、多样性问题,使设计出的孔型能适合各种规格精度钢管的生产。

### 1.1.3 孔型设计必须考虑的生产条件

由于轧制过程是轧辊与喂料器相互配合的过程,孔型设计时必须考虑喂料器的能力,如导程能否与孔型工作段长度一致、轧辊车床的加工能力可否满足需求等。

## 1.2 数学模型<sup>[1-2]</sup>

### 1.2.1 锻轧带曲线模型

锻轧带是周期轧管机孔型主要的变形区段,它对轧制过程、轧机生产率及产品质量均有着显著的影响。因此,自周期轧管机问世以来,人们做了大量的研究工作,并提出了包括抛物线类型、指数曲线类型、经验类型等数学模型。其中以 Mannesmann 公司提出的包络线(由抛物线类型改进而得)类型尤其具有代表性:

$$Y = C_1(\sqrt{C_2X + 1} - 1)^2$$

$$C_1 = B/b^2$$

$$C_2 = b/A$$

$$A = L - B/\text{tg}\eta$$

$$b = a/\text{tg}\eta - 1$$

$$a = B/A$$

式中, $\eta$ 为孔型起始点的切角(又称为导角),在实际生产中,各生产厂家可根据自己的条件选择不同的 $\eta$ 角,就可以得到陡度不同的孔型曲线。国内一些厂家结合实际经验常取  $\eta = 25^\circ$ 。

### 1.2.2 轧件宽度模型

钢管在进行周期轧制过程中,由于在毛管返回并翻转  $90^\circ$ 的同时又有向前送进的喂入量,因而轧件的宽度除了通常认为因金属锻轧而产生的宽展外,同时在毛管喂入时使轧件的宽度比单从锻轧引起的宽展有所增加,然而这点往往被人们所忽略。结合生产实践,轧件的实际宽度可以按下式计算:

$$B_x = (1 + c) \sqrt{(d_x + A)d_x - A\delta} - cd_x$$

式中: $d_x$ 为对应点的孔型高度;

$c$ 为宽展系数, $c = 0.2 \sim 0.5$ ;

$\delta$ 为芯棒直径;

$A$ 为与毛管直径、喂入量、壁厚压下延伸系数以及变形区长度有关的参数。

### 1.3 程序实现原理及框图<sup>[3]</sup>

文中开发工具选用了 VB6.0,除了考虑到生成三

维模型进行数据交换的需要外,主要是利用了 VB6.0 简单易用、维护方便、功能强大的特点。

基于上述设计原理,在进行程序设计时,首先是根据用户的需求,对不同尺寸轧辊进行优化设计。由于轧辊在工作期间承担主要变形部分的是在工作段,因此工作段参数的选用至关重要,本程序软件中按照相应工作段角度配合合理工作段长度的原则进行设计,结合现场经验数据,以获得最为合理的应用参数。其中,在进行设计时,需对诸如锻轧带、空轧带、终轧带以及孔型开口角和轧辊辊缝等参数进行选择、计算。其次,软件对数据的存储形式进行了选取,采用了目前流行的关系数据库模式,使用户能方便、快速地进行数据管理,并可通过绘图模块进行图形浏览,最后根据需求进行参数打印。再次,在程序运行获得相应参数后,可由绘图模块按照相关参数做出样图,而后由用户根据自己需求再进行参数优化,在优化过程中,由用户来确定数据的取舍与否。最后,程序根据用户的不同需要可以进行相关参数的打印和对比,这其中应用了“OLE 控件”进行输入和输出的控制,这主要是基于该控件强大的功能,通过它可以与外界的应用程序联系起来。运行程序时,就可以通过“OLE 控件”使用该控件所链接的应用程序所有的功能,形成了一个有机的人机对话平台<sup>[4]</sup>。

结合上述程序设计思想,软件编制的程序流程框图如图 2 所示:

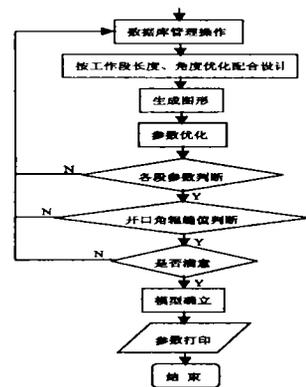


图 2 二维 CARD 程序流程框图

## 2 三维造型模块<sup>[4-5]</sup>

在实现轧辊三维造型时,采用了目前流行的三维造型工具 Pro/ENGINEER。考虑到 Pro/ENGINEER 基于特征、全约束以及数据相关的造型特点,利用 Pro/ENGINEER 中 Program 功能,完成初始轧辊孔型三维模型的建立,其中,孔型的生成控制采用了 Pro/ENGINEER 中的 GRAPH 特征。而后利用已建立的模型,则可根据其各参数的变化情况,通过交互问答方式来获得所需要的模型<sup>[6]</sup>。

在利用 Pro/ENGINEER 的 GRAPH 特征生成孔型模型时,需要获取轧辊孔型的展开图,而孔型展开图是由若干段不规则曲线组成,决定了 GRAPH 特征不可能直接在 Pro/ENGINEER 绘制出来。结合上面所开发的二维 CARD 模块,采用了 IGES 数据交换格式进行数据

传输调用。其中,IGES 文件的生成利用了 AutoCAD 的二次开发语言 VBA 来完成。这主要是考虑到所开发的 CARD 数据库的共享,以保证数据的一致性。

而轧辊孔型展开图曲线的复杂性决定了 IGES 文件的生成不可能采用描点方式进行,采用了 AutoCAD 中的 B 样条曲线来拟合相应的孔型各段曲线。其中,在曲线的交接处,为了保证过渡的平滑,结合 B 样条曲线的生成特点,采用了过渡点斜率等同的方式。

轧辊三维造型的实现流程框图如图 3 所示:

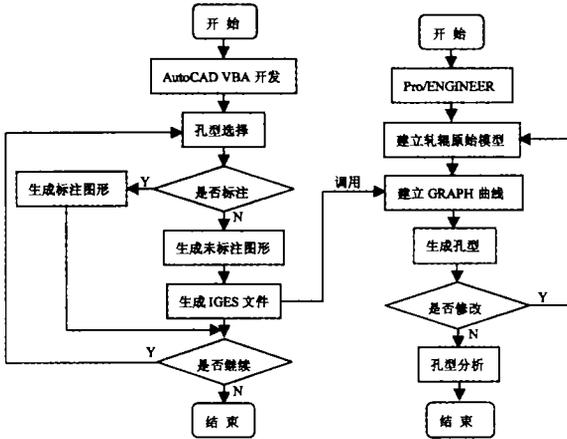


图 3 轧辊孔型三维造型程序流程图

所开发的轧辊孔型三维造型模块所生成的轧辊立体图如图 4 所示



图 4 轧辊孔型三维模型图

### 3 应用及结论

通过现场实际应用后,二维 CARD 模块对孔型设计进行了全面的优化改进,孔型参数较以前有较大变化,生产的各项指标较以前有很大的提高。此外,根据优化后的轧辊孔型对轧辊坯进行优化,将轧辊坯辊径加大,辊坯孔型曲线修改为与轧辊孔型曲线一致。这样使轧辊的重车次数增加,轧辊车削量减少,使轧辊的消耗大幅降低。最后根据优化的轧辊孔型制定了轧辊使用报废标准,使轧辊的使用质量提高,减少了废品的产生,产生了很大的经济效益。另外,该模块也可以作为 CAM 的前期工作,依此为基础,加上相应控制模块,可形成设计、生产的一体化,进而形成更完善的轧辊加工控制系统,为未来的良性发展打下基础。

结合所生成的轧辊三维模型,利用 Pro/ENGINEER 提供的三维分析功能对所生成的孔型三维模型进行曲线、曲面等分析,和实际数据相比较可以发现所建立的三维模型是切合实际,满足三维模型的精确性。此外,结合 Pro/ENGINEER 所提供的诸如有限元分析模块(Pro/Mesh)、NC 加工模块(Pro/Manufacturing)以及二次开发模块(Pro/Toolkit),用户可以进一步开发运用,最终形成真正意义上的计算机辅助。

#### 参考文献:

- [1] 刘松泉. 周期轧管机的孔型设计 [J]. 成都: 钢管技术, 1988, (1): 1-6.
- [2] 卢于述. 热轧钢管生产问答 [M]. 北京: 冶金出版社, 1991. 56-63.
- [3] 鹿守理. 计算机辅助孔型设计 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993. 3-78.
- [4] 周伯荣. Visual Basic (VB) 在工程 CAD 中的应用 [M]. 南京: 南京机械高等专科学校出版社, 1997. 83-90.
- [5] 王亚东. 利用参数化 CAD 技术实现产品的快速与多品种开发 [J]. 金属成型工艺, 2001, (3): 51-53.
- [6] 孙江宏. Pro/ENGINEER 2000i 高级功能应用及二次开发 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002. 145-225.

## The Research and Development of the Pilger's CARD and 3D Modeling

LV Li-hua<sup>1</sup>, LIU Xue-zhen<sup>1</sup>,  
ZHANG Ding-chao<sup>2</sup>, HU Yan-zheng<sup>2</sup>, LIU Peng<sup>2</sup>, LI Chi-bo<sup>2</sup>, ZHOU Qiang-an<sup>2</sup>

(1. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;  
2. Factory of Pilger Mill Roll, Chengdu Seamless Steel Tube Company, Chengdu 610036, China)

**Abstract:** The paper expatiates the principle of the pilger mill roll groove. A math model for optimization is set up based on various factors concerning the roll groove including the deformation theory, design process and selection of the parameters, etc. Meanwhile, the CARD techniques are combined. As a result, a software for the roll groove optimization is developed that provides such functions as groove data management, groove profile plotting and groove data printing, being a basis for relevant technological decision and groove optimization. Meanwhile, the principle and realization of complex curves are discussed. The 3D modeling is achieved by the exchange of data that is based on the CARD system.

**Key words:** pilger mill roll groove; optimization design; CARD; Pro/ENGINEER; VBA

(编辑 李胜春)