

摘要

随着计算机技术的不断发展,计算机在各行各业中的应用越来越普遍,为了跟上信息时代的步伐,传统的基础行业也不断融入这个信息化的洪流,计算机辅助设计(Computer Aided Design,简称CAD)也就应运而生。本课题就是周期轧管工艺中应用CAD的具体实践。

周期轧机孔型设计是轧管生产中的关键问题之一,其轧辊孔型作为一变断面孔型,其设计过程复杂,设计参数多。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,随着计算机技术的发展,人们利用计算机辅助设计的功能,将理论和经验有机结合起来,可实现孔型优化设计,使设计方法科学化、规范化,提高了孔型设计的可靠性,并提高了钢管的质量和成材率,同时也使工艺设计人员从繁琐的计算工作中能解脱出来,使周期轧机孔型设计水平走上了一个新台阶。

本文阐述了计算机辅助孔型设计的作用,综述了CARD系统的发展概况;并对周期轧管机这一特殊复杂的孔型进行了深入研究和探讨,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,并使用Visual Basic(VB)作为开发工具进行计算机辅助孔型设计,编制出的孔型优化CARD软件具有孔型数据管理、孔型图形绘制,孔型参数打印等一系列功能,并以人机对话的方式对孔型参数进行交流判断。为正确的工艺决策和孔型优化提供了依据,使孔型设计达到最优化效果。

在设计过程中,本文将软件工程的概念引入计算机辅助孔型设计系统中,严格按照结构化程序设计方法,开发完成了程序软件。

此外,本系统采用人机对话方式可将设计人员的经验引入设计过程,随时修改设计结果。该系统具有较强的通用性,可以在Windows95以上版本运行。并且具有设计迅速,计算精度高,使用及维护方便的特点,为周期轧辊孔型设计提供了科学的方法。

本文所做的孔型优化及软件编制工作为实现轧辊加工的计算机辅助制造(Computer Aided Manufacture,简称CAM)奠定了基础。

本课题是综合生产具体工艺采用现代CARD技术进行孔型优化处理的具体应用。

关键词:周期轧管孔型、优化设计、Visual Basic、CARD。

Abstract

Along with the continuously development of the computer technology , the usage of computer in every walk of life is becoming more and more popular. To catch up with the march of the information era , traditional key industries are joining the tide of information technology, and as a result there comes the Computer Aid Design or CAD technique.

Roll groove design of the pilger pipe mill plays a critical role in operation thereof. With an alterable cross-section, the said groove needs to be designed in a rather complex way, involving a great number of design parameters. Bound with limitation of relevant experience, theory and computation, etc., it is hard to get proper and reliable roll groove with the conventional design way. Thanks to the development of the computer technology, engineers can take the advantages of the CAD technique and combine the theory with the experiences to materialize optimum roll groove design and get the design method standardized and more logic, thus further enhance consistency of the roll groove which in turn, improves the product quality and yield of the pipe mill, saves the technological engineers from heavy work load of calculation, and develops the design of pilger pipe mill roll groove to a higher level.

The article details the CAD function and the overall development of the CAD system. Also described here in the article are in-deep research and discussion on the pilger mill roll groove that is deemed as rather special and complicated. A math model for optimization of pilger mill roll groove is set up based on various factors concerning the roll groove including the deformation theory, design process and selection of the parameters, etc., and Visual Basic (VB) is used as a developing tool for the CAD. As a result, a CAD 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.

In the process of design, the concept of the software engineering is introduced into the roll groove CAD system, and relevant program software is successfully developed in line with the design process for structuralized program.

Furthermore, the designer's experience can be introduced into the designing course and the designing result can be modified at any time, because of the graphical user interface. This software is an all-purpose one, being capable of running in Windows95

operating system. The said CAD system also provides such advantages as quick designing, high accuracy and easy maintenance, providing a scientific method in the pass design of pilger roll

The roll groove optimization and the said soft ware development described here in the article lays a foundation for future Computer Aided Manufacture or CAM) of roll machining.

This research project features combining relevant manufacturing process with modern CAD technology to materialize the optimization of the roll groove design.

Key words: Pilger pipe mill roll groove; Design optimization; Visual Basic; CARD

1. 绪论

1.1 计算机辅助设计的意义

当今轧钢技术正由以经验和知识为依据,以试错(trial and error)为基本方法的工艺技术阶段向以模型化(modeling)、最优化(optimization)、柔性化(flexibility)为特征的工程科学阶段过渡。计算机的应用对这一过渡具有决定性的意义。回顾轧钢生产技术发展的过程可以看出:在最初阶段,轧钢生产完全是一门手艺,全靠个人经验和生产技艺;后来工业化导致形成了独立的轧钢工业部门。虽然轧制理论有了一定的发展,但主要是以现场或实验室研究的经验为依据,以试验法为基本方法;当前由于计算机在轧钢中的应用,使轧钢技术正在向一个崭新的工程科学(Engineering Science)阶段过渡,这一阶段是以计算机为工具对生产进行过程模拟、系统优化、自动控制与监测,取代传统的试验法,在生产和制造之前使用计算机对生产过程、工艺参数以及结果进行模拟并对整个系统进行优化,实现超前规划和设计,并在生产过程中由计算机进行准确控制和严格监测,这样就使轧钢生产技术向前跨了一大步,并带来巨大的经济和社会效益。

可以看出,计算机不仅仅是一个计算工具,更重要的是它的应用改变了人们在解决技术问题中的传统思维和方法。

今天各行各业的技术进步都离不开计算机应用,轧钢生产的技术进步则更加如此,因为轧钢生产是以其多阶段和多因素交互影响为特征的。这样的复杂过程的产品结构优化、工艺优化和设备优化都要求有可靠的、定量的依据。而对轧钢这样的多阶段、多交叉影响因素的复杂过程来说,靠手工进行优化计算是不可能的,这种可靠的定量依据只有应用计算机模拟和优化才能获得。

随着近十年来 PC 机技术的飞速发展,计算机辅助设计^[1](CAD)和计算机辅助制造(CAM)技术也飞快地成熟起来。CAD/CAM^[4]技术在基础加工行业中无可比拟的优越性越来越明显,可以说 CAD/CAM 技术也是计算机技术在轧钢生产中又一个重要的应用。越来越多的钢铁行业已经或者正在尝试着将 CAD/CAM 技术更多地应用到自己的生产中,努力提高生产效率,降低生产成本,提高自己的产品在市场上的竞争力。

CAD/CAM 技术的实施已经成为加工行业实现再次飞跃的必由之路。

1.2 计算机辅助设计的发展概况

随着计算机研制过程中局部地采用 CAD 技术,人们开始思考并试验把几个部分的

设计工作联接成一个统一的系统，于是出现了早期的 CAD 系统。60 年代前期第三代集成电路计算机的研制更多地使用了 CAD 技术，大大发展了逻辑模拟、印刷板布线、测试码生成等数字系统 CAD 技术的理论和实践，如李氏的迷宫布线算法（1962 年发表）到现在还是一种经典的、有很大实用价值的方法。到 60 年代中期，国外各大计算机公司都建立了自己早期的 CAD 系统，大大推动了第三代计算机的研制，同时也促进了 CAD 技术自身的发展。

与此同时，CAD/CAM 技术在飞机、造船、汽车、机械制造、建筑等行业也开始得到了越来越广泛的应用，显示了它的威力和光明的发展前途。

但是，计算机在工程设计方面的应用，在相当大的程度上依赖于人和计算机的通讯方法。设计图纸是工程设计的主要语言，常规的电传打字机和行式印刷机难以有效地输入、输出图形，所以在较长时期内，由于硬件的原因限制了 CAD 技术的发展。此外，由于当时的计算机硬件价格极贵，系统软件也不发达，所以直到 60 年代中期，CAD 技术没有也不可能普及。

纵观 CAD 技术的发展历史，我们看到，60 年代至 70 年代前期是众多 CAD 科技工作者先驱开展大量研究工作的一个时期，那时的许多理论研究和 CAD 系统的设计方法奠定了我们今天所知的 CAD 技术基础。航空工业、计算机工业在 60 年代至 70 年代前期建立了一批大型 CAD 系统，著名的土建工程计算机辅助设计系统建成于 1974 年，随后出现了一批以 CAD 方法库概念为基础的 CAD 系统。印刷板和集成电路的工程设计（布局、布线等），逻辑模拟，用途极广的有限元理论和实用等技术都诞生在那个年代。与此同时，三维图形的生成，以及产生逼真的三维图形（消除隐藏线和隐藏面等）的探索也都取得了很大的成就。

70 年代中后期，CAD 已经从科学研究和少数应用领域过渡到在众多领域的实用阶段，并产生了越来越明显的经济效益和社会效益，对许多工业来说，它已经成为必不可少的工具。

进入 80 年代以后，人们看到了一个新兴的 CAD 工业^[48]，它的产品正以空前的规模迅速占领市场。无论在发达国家或发展中国家，它将成为所有设计单位的一种常规工具，不管在主观上是否已有明确的认识，这些情况一定会发生，只不过是时间迟早的问题罢了！

在我们国内的相关领域，计算机辅助孔型设计（简称 CARD）的研究开始于 60 年代后期，现已有了大量研究结果。特别是最近几年来随着 CARD 的研究和开发的深入，其中不少已经在工厂中使用，并得到很好的效果。如北京科技大学开发的型钢轧制过程仿真方法库，与江西钢厂、天津第三轧钢厂、承德钢铁厂合作开发的计算机辅助孔型设计系统，与武汉钢铁公司合作开发的工字钢计算机辅助孔型设计系统；西安冶金建筑学院与太原钢铁公司合作开发的简单断面型钢计算机辅助优化孔型设计；东北工学院与马鞍

山钢铁公司合作开发的 H 型钢和工字钢孔型设计系统等等^[44]。

近年来,随着计算机应用技术和塑性加工理论的发展,计算机辅助孔型设计(CARD)技术已逐步引进轧辊孔型设计(CARD),使孔型设计技术发展到一个新水平。而 CARD 的发展主要有以下几个方面:(1)系统功能的发展: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到 CARD。(2)程序系统的发展:目前绝大部分 CARD 系统都是以软件包或程序库的形式完成的,。软件包和程序库中的程序都是孤立的、互相不能合成,软件包和程序库本身也没有生成功能,它们的用户接口格式固定、死板,引用软件包中任何一个功能时,每次都要将整个软件包整体装载运行,信息冗余量很大。变更软件包中任何程序时相应的用户应用程序也要修改,整个软件包也要重新编译、连接,耗量大,不灵活。程序库中子程序被不同用户调用时每次都要进行编译、连接。而方法库是将能完成预定功能的程序单位作为“方法”,将众多“方法”集中起来存入计算机中,给予集中有效的管理,能实现由基础方法合成高级虚拟方法及方法的插入和删除等功能。这样就可以克服软件包和程序库的缺点。(3)模型的发展:在孔型设计中要用到大量计算模型,特别重要的是描述金属变形、轧制过程运动学和力能参数的模型。在早期的 CARD 系统中大量使用经验模型或半经验模型,这就使得开发出的 CARD 系统只能在一定条件(即符合得出模型的条件)下可用,当轧制条件不同时,设计结果不可靠。过去的理论模型由于塑性加工理论和计算方法的限制,在建立时不得不对变形条件做大量简化,因而计算结果也不可靠,往往只符合简化了的情况。近年来随着塑性加工理论的发展和计算方法的发展,使用精确的理论模型和数值算法已成为可能,因此使用的模型有了很大发展,建立了具有科学依据、更全面地考虑各种因素的模型。

1.3 计算机辅助孔型设计原理

计算机辅助孔型设计^[25](Computer Aided Roll Design, 简称 CARD)技术是计算机辅助设计在孔型设计中的应用,它具有设计速度快、精度高、可优化等一系列优点,CARD 技术的应用是孔型设计建立在更科学的基础上,从而摆脱了主要靠设计者经验的原始状态。

一般人工设计周期轧辊孔型,首先是根据坯料和成品尺寸规格来分配变断面孔型各部分位置参数等,而其中的许多参数作为经验系数,通常都是在一个范围内,没有一个精确固定的值,因此决定了这一人工孔型设计关键的一步,往往要反复多次才能确定。怎样来衡量孔型设计的质量呢?采用人工设计只能让生产实践来鉴定,通过重复的修改孔型、试轧。一般一套成熟的孔型系统往往要经过若干次的修改才能定型,从而导致浪费大量的人力、物力和时间。因此,传统的孔型设计周期长,可靠性差,一次性成功率

小、试轧次数多、成本高，对设计者和现场实践人员的经验和素质要求高。

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、绘图打印等功能辅助工程技术人员进行钢材产品生产中轧辊孔型设计的各项工作。因此，CARD 系统应该解决孔型设计中存在的以下几个问题：

1). 孔型设计的可靠性高；传统的孔型设计往往受到经验、理论、计算量的限制，对各种方案不能进行充分的研究、比较。设计者本身也不能论证设计的合理性、可行性和最优性。采用计算机辅助设计后，可以利用计算机强大的存储和计算能力，采用比较复杂、精确的模型，进行大量的计算，从众多方案中选出较优甚至最优的方案。事实上，只要模型足够精确，理论上是完全可以通过 CARD 软件得到最优方案的。

2). 提高孔型设计效率，缩短孔型设计周期，减少试轧次数。对于给定的产品规格、坯料尺寸，可以有多种设计方案，哪一种较好必须经过多次的试轧才能进行判断。利用 CARD 软件就可以免去上述试轧，只需把各个方案输入 CARD 系统，系统就能够计算出相应的优化参数等，这对于方案的优选有很好的参考和指导作用。

3). 采用最优化方法，可以把产品质量等作为追求的目标函数，通过 CARD 系统得到所追求的最优孔型，这是传统手工设计不能企及的。

所以，根据孔型设计的特点和计算机的功能，CARD 系统应有一系列具有各种功能的模块和界面组成。在设计过程中需要不断调用它们以便完成确定的设计任务。根据功能不同，可将所有模块分成三大部分，设计计算部分、人机交互部分和输入输出部分。

1.4 课题意义及其特点

进入二十一世纪以来，技术的发展及市场的竞争，将沿着 20 世纪 90 年代展开的道路前进，危机与机遇共存。一方面，随着技术的发展速度加快和生活水平的提高，社会对新产品的不断追求，二者的结合将给企业提供空前的机遇；另一方面，随着技术装备及工具软件的日新月异，新产品开发周期越来越短，有同样加工能力的企业越来越多，竞争将更加激烈。对于轧钢企业来说，过去计划经济下的刚性生产线越来越不适应新的形势。对于钢管企业来说，往往是根据用户提出的具体订货要求后，才进行产品设计、工艺设计、计划安排和生产制造等工作。生产出的产品在品种规格、数量和交货期限等方面是各不相同的，并且按照客户合同规定的时间向用户交货，其成品库存很少，因此轧钢企业应该将传统的刚性生产线改造为柔性生产线，以便于对市场变化作出敏捷地反应。这是 1991 年美国 Iacocca 研究所主持的 21 世纪发展战略研讨会历时半年形成的一份著名报告中提出来的敏捷制造企业的基本概念。敏捷制造企业强调柔性的、先进的、适用的生产制造技术必然是当今时代的企业发展模式。

反观目前我国钢材生产企业生产现状和工厂实际的生产情况，距离对市场作出快速反应还有很大的距离。孔型设计还主要是以依靠设计人员的实践经验，采用人工设计、

刻辊、试轧、修改、再试轧、再修改的方法。其原因一方面是孔型设计理论还很不成熟，另一方面则是计算机应用技术在我国钢铁企业还远未普遍应用。采用人工设计弊端非常明显，首先是设计周期长，一套较为复杂的孔型设计系统的设计周期往往长达几个月甚至半年以上，不但试轧钢材消耗严重，更为重要的是丧失了对市场作出快速反应的时机。这在客观上要求有新的孔型设计方法以提高新产品上市的速度。计算机辅助孔型设计恰恰满足了这一要求，运用计算机辅助孔型设计不仅能大大缩短设计周期，而且由于目前计算机强大的计算能力，使得 CARD 系统可以选择一些复杂但精度较高的数学模型，从而使设计结果更能精确地反映现场的实际情况，减少试轧次数。采用具有优化功能的 CARD 软件更是能够设计出以前手工设计是不可能得到的最优设计方案。由此可以得出，计算机辅助孔型设计系统是钢铁企业从传统制造向现代敏捷制造企业转型的一个必要条件。因此，进行计算机辅助孔型设计的课题研究意义十分重大的。

从早期的 CARD 系统研制的事实证明，想设计出一种完全通用的 CARD 系统是不实际的。因为建造一个普遍适用的系统需要对各种复杂情况下金属的塑性变形作一个精确地描述。但是由于轧钢理论发展还不成熟，在现今条件下要找出这样精确的数学模型是不可能的。因此为了使 CARD 软件实用化，应从实际生产中采集数据，建立数据库模型，这样一来，针对目前周期轧辊孔型的数学模型是比较充足的。所需工作是针对现场情况改进模型中的参数，以提高模型的准确性，并采用相应的优化手段，从大量的设计方案中选取最优的方案以在一定程度上弥补模型精度不足的缺陷。总之一功能强大的专用孔型 CARD 系统才是先进 CARD 技术发展的主流。

周期轧管机（皮尔格轧机）的孔型与其它纵轧轧辊孔型完全不同。周期轧管机孔型的特点是孔型的每个断面形状和尺寸都随着轧辊的转动在变化（后面将有详细的介绍与分析）。

深入了解周期轧管机的工作原理，查阅相关的资料，收集皮尔格轧机不同孔型的参数数据，结合实际生产情况，对孔型的断面周边曲线进行分析、优化，为之选择合适的曲线方程，也就是建立优化了的孔型曲线数学模型。再根据数学模型设计 CARD 软件，该软件要能够管理所有孔型的已知参数数据，然后根据这些数据计算出孔型的其它参数，绘出孔型示意图，还要能打印出某个孔型的主要参数表供生产人员参考，还可以打印出某一具体孔型（一个具体的孔型由一个孔型标号和一个轧辊加工后的尺寸值唯一确定）的靠模参数——所谓靠模参数就是指表征加工轧辊时的加工量的一些特定的参数项目，根据这些参数就可以在轧辊加工车床上加工出对应的孔型。其中计算并打印靠模参数是软件的主要功能之一。

上述的所有工作中，优化孔型、建立适合实际生产情况的数学模型是一切工作的基础与重点。孔型的优化与生产实际密切相关，必须考虑到理论与实际的方方面面的东西，很多老工程技术人员的经验数据也是极其重要的信息，当优化过的孔型的数学模型确定

之后,就可以进行变断面的周期式轧管机轧辊孔型的计算机辅助孔型设计了。

本课题的研究最终是整合了所有的已有资料,为生产实际提供了一个约定的唯一的参照模型,改变了长期以来,轧辊设计在很大程度上依赖于人工设计和个人经验的情况,消除了依靠经验进行生产操作的许多不确定因素,降低了试模次数,甚至可以一次设计成型,减少了材料消耗,提高了轧辊设计、加工的可靠性。同时,由于现在的市场竞争越来越激烈,产品的尺寸范围也变得很大,这要求轧辊孔型的设计与加工周期也相应地缩短,本课题中编制的软件正好可以适应这个形势,能及时地设计出所需的孔型,极大的缩短了设计周期,提高了设计可靠性,从而提高了生产效率,直接经济效益非常明显。

本课题的目的是建立周期轧管机轧辊孔型的可靠的数学模型;编制可行的 CARD 软件,该软件要求具有友好的人机对话平台,能管理一系列的孔型参数,根据给定的条件绘制孔型预览图,并能打印孔型的主要参数表以及轧辊孔型加工的靠模参数。

现在流行的软件开发工具及语言有 VC、VB、PB、DELPHI、ASP、JSP 等,其中 VC 适用于较底层(与硬件控制比较接近)的开发,PB 适用于大型的数据库应用的开发,ASP、JSP 都适用于 WEB 网应用的开发,DELPHI 是一个新兴的开发工具,功能很强大,但比较难掌握,只有 VB 是有着悠久的历史,功能全面,且很容易掌握的一种开发工具,所以本课题中选用了 VB 作为开发工具^[2]。

开发环境的配置为:586 及以上配置的多媒体计算机一台,预装 Microsoft Windows98 操作系统,安装 Visual Basic 6.0 开发工具^[4]。

这次设计所采用的流程为先收集整理资料,然后选择孔型曲线方程,接着进行孔型优化,之后就确定将要采用的数学模型,最后就是编制计算机辅助孔型设计软件。流程图如图 1.1 所示:

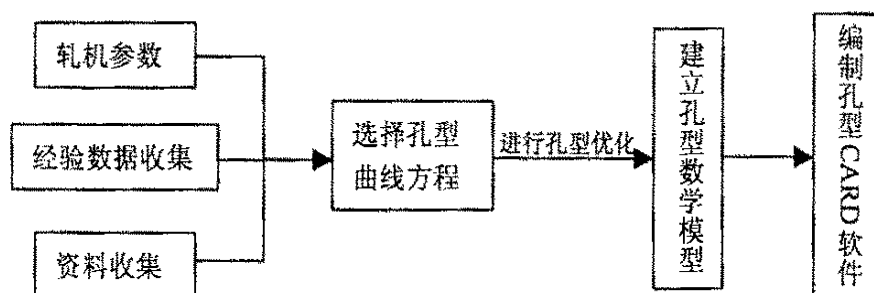


图 1.1 本课题设计流程图

Fig. 1.1 Flow chart of the paper's design

本课题所建立的周期断面孔型设计 CARD 系统具有以下特点:

首先,本软件系统是基于 Windows 操作系统开发的图形用户界面的孔型计算机辅助设计系统。具有容易使用,操作简便的特点。整个操作过程都是通过人机对话完成,数据集生成图形都是通过文本和用户界面显示,快捷直观;

其次,借助于计算机的强大的计算、设计功能,完全把设计人员从繁杂的设计计算

中解脱出来，系统能迅速计算出孔型的相关参数，并且模型所采用的数学模型都经过实际生产实践检验，抛弃了以往设计人员为了简化计算而进行简化的模型，使所得参数结果更加贴近实际生产；

再次，实现了全方位的人机交互功能，用户可根据需要修改孔形参数，以在设计方案中体现用户的意志。同时，用户既能够在整个设计过程中让 CARD 系统自动生成孔型，也可以通过对部分参数进行控制以获得所需的孔型；

最后，本软件系统采用了结构化的系统分析和设计方法，因此程序各模块间具有非常好的模块独立性，因而也就具有相当程度的可移植性，更加有利于系统的维护和功能的扩充。

2. 周期轧管机孔型及数学模型

2.1 钢管生产工艺过程简介

攀钢集团成都钢铁有限责任公司所属周期轧管厂是生产无缝钢管的主力分厂，年产量 23 万吨。该厂建于 1958 年，其装备比较陈旧，技术落后，作为周期式轧管机组，其生产工艺流程如下：

钢锭——→环形炉加热——→水压冲孔机冲孔——→盘式炉保温——→延伸机延伸——→周期式轧机轧制——→热锯——→步进炉加热——→十二架定径机定径——→冷床冷却——→七辊矫直机矫直——→精整处理包装入库。

以上工艺流程中的主要变形机组有水压冲孔机、延伸机、周期式轧机、十二架定径机。现对轧机操作过程描述如下：毛管在辊道输送下到轧机，芯棒插入毛管中，在喂料器的带动下，进入周期式轧机孔型开始轧制。在轧制时轧辊是反向转动的，喂料器带动毛管前进在孔型内轧制，金属在纵向顺芯棒向前延伸，同时喂料器由于轧辊的反向作用，退回并在棘轮作用下翻转 90 度，然后再前进入孔型内轧制，轧辊的孔型分工作段和空轧段，工作段主要起变形作用，而空轧段主要作用是让轧件离开轧辊并让喂料器返回。

轧制完了并从芯棒上脱下来的钢管从轧管机后的输出辊道送到热锯处，同时切去皮尔格头和钢管破头，也可将钢管切成所需要的长度。

从以上工艺过程可知，周期轧管机（皮尔格轧机）是钢管延伸最主要的变形工具，经过延伸机延伸后，坯料就变成了初步的钢管，称为毛管，而经过周期轧制后，毛管就基本上变形为与最终产品最接近的钢管，称为荒管。再经过十二架定径机后成为成品管。最后经精整处理包装入库。

周期轧管机主要参数：

主电机：额定功率：1300 千瓦；电压：800 伏

过载系数：2.5

转速：200-360 转/分

轧辊：辊身直径：560-685 毫米

辊身长度：470 毫米

轧辊转速：60-108 转/分

轧辊孔型：136-252 毫米

喂料器：前进力：50 吨

返回力：100 吨

喂料器导程：3200 毫米

轧制毛管的延伸系数：2~15

2.2 孔型工作原理

前面已经提到过，周期轧管机的孔型特点是，孔型的每个断面形状和尺寸都随着轧辊的转动在变化（见图 2.1）。孔型的每个部分的尺寸及它们之间的比例对产品的质量和机组的生产率均有明显的影响，因此寻求合理的孔型形状已是多年来一直研究的课题。此节主要是描述该孔型的组成，以建立对周期轧管机孔型的初步认识。

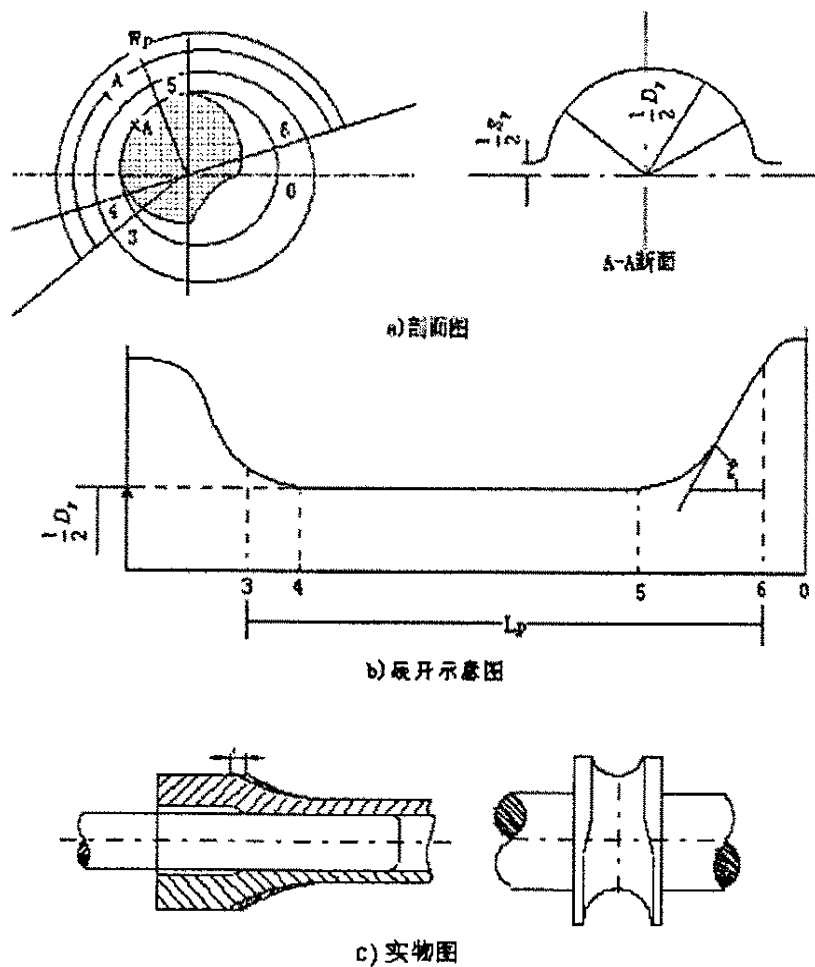


图 2.1 周期轧管机孔型简图

Fig.1.2 Diagram of the pilger pipe mill roll

按轧件的轧制过程，周期轧管机轧辊的孔型沿轧辊圆周方向可以分为工作段（ L_p ）和空轧段两部分（参看图 2.1）。工作段是轧件的变形及成形区段，一般又分为锻轧带、精轧带和终轧带三部分，在锻轧带钢管被轧长延伸，是主要变形段；在精轧带钢管表面被轧光滑并被均壁；在终轧带钢管平缓地脱出孔型准备下一周期的轧制。根据生产实际情况的需要，上述三段所采用的曲线都是不同的。实际上，虽然空轧段钢管并没有接触

轧辊进行变形，但实际生产中，仍然把空轧带分为几个部分，每部分采用的曲线形式也不同。

一般来说，轧辊横断面的大致形状就如图 2.1 所示，其曲线变化的一般规律就是：沿逆时针方向，锻轧带轧辊直径逐渐变大，孔型直径逐渐变小；精轧带轧辊直径和孔型直径都保持不变，但孔型直径达到最小值；接着终轧带轧辊直径逐渐变小，孔型直径逐渐变大；进入空轧带后孔型的直径总是比钢管外径大。如何具体地定下这些区段的曲线方程就是后面孔型优化的任务了。

结合上述的孔型曲线描述，其工作原理可以概括为：每一个轧制周期（轧辊转动一周）里，利用轧辊孔型直径在轧辊转动时的不断变化（先逐渐变小，后逐渐变大），将钢管轧细延长，然后脱离与轧辊的接触并回转 90° 准备下一周期的轧制。

具体的轧制过程描述如下：参见图 2.1 剖面图，轧辊顺时针转动，以 6 点所在的原始位置作为参考位置，毛管从 6 点上方被咬入，在轧辊 5 点转到 6 点位置的过程中，孔型直径逐渐变小，毛管被轧细，当 5 点转到 6 点时，孔型的直径达到最小值，其它点的位置相应地改变；接着在 4 点转到 6 点位置的过程中，孔型的直径保持不变，钢管表面被轧光滑；然后是 3 点转到 6 点位置的过程，此过程中，孔型直径逐渐变大，孔型的直径大于钢管的外径，钢管平缓地脱离与轧辊的接触；接下来钢管均处于孔型的空轧带，直到 6 点又转回到其原始位置的过程中，孔型的直径均大于钢管的外径，趁此期间，钢管被回转 90° ，再次被送入轧辊间咬入，再次从 6 点原始位置开始新一周期的轧制。如此反复，毛管不断被减径减壁轧长，直到最终整根钢管的外径都一致，一根钢管就完成了它在周期轧管机中的变形过程。

2.3 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和方法：

2.3.1 孔型的各段比例合理分配

因为孔型由工作段及空轧段组成，而工作段又有锻轧带、精轧带和空轧带组成。各段的作用上面已经说明，由于轧制过程是一个连续、周期性的过程，根据各段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。

2.3.2 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应各种规格精度钢管的生产。

2.3.3 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,如导程是否能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。

2.4 孔型设计优化

必须明确的是,周期轧管机的孔型曲线的选择并不是一个很随便的过程,需要考虑许多实际生产因素,以多种相关的理论研究为基础,以生产实际需要为指导,博采众家之长,进行孔型的优化之后,才应该最终确定适合自身需要的孔型曲线^[33]。

2.4.1 孔型的分段与设计原则^[3]

前面已经提到过,按轧件的轧制过程,周期轧管机的孔型可以分成工作段(L_p)和空轧段两部分。由于空轧段轧辊并不与轧件接触,因此,工作段才是优化的重点。

根据喂料器的结构型式及孔型加工车床的结构,在轧辊加工过程中,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($W_p=CONST$)和工作段长度保持不变($L_p=CONST$),两种设计方式各有特点,但最佳的孔型是合理的工作段角度和合理的工作段长度的配合。

2.4.1.1 工作段角度保持不变($W_p=CONST$)

按此种方式设计,当轧辊重车辊径减小时,工作段长度(L_p)将随之减少,并因此造成喂料转角的变化(一般限制在 $82^\circ \sim 100^\circ$ 之间)及钢管壁厚不均恶化,此时若采用可补偿转角的喂料器,则可以避免上述弊病,同时,因保持工作段角度不变及缩短了喂料冲程,从而提高了轧机转速。

2.4.1.2 工作段长度保持不变($L_p=CONST$)

采用此方式设计,当轧辊重车辊径减小时,由于保持 L_p 不变,势必增大工作段角度(W_p)及减少空轧段角度。

保持工作段长度不变意味着当轧辊直径减小时,仍保持轧件变形区长度不变(因此可保持喂入量)及不更换喂料器螺杆的导程情况下仍保持毛管翻转角不变,但是由于空轧段角度的减小,亦意味着轧件返回(并翻转 90°)时间的缩短及降低轧辊转速,因而空轧段角度不应小于 140° 。

孔型的工作段按轧件变形过程又可分为三部分:

- (1) 锻轧带(θ_1)——轧件主要变形(减径、减壁)部分;

(2) 精轧带 (θ_2) —— 均匀壁厚并轧光表面;

(3) 终轧带 (θ_3) —— 轧件缓滑出变形区并使轧件光滑。 θ_3 一般选取 $15\sim 30^\circ$

对 θ_1 与 θ_2 数值的选取, 目前存在两种不同的观点及方法。一种是苏联学者推荐采用的“陡变形”, 即 $\theta_1/\theta_2 < 1$; 另一种是西欧国家(以 Mannesmann 为代表)主张采用的“缓变形”, 即 $\theta_1/\theta_2 > 1$ (详见表 2.1)。应当指出, 变形过程太陡, 将增大轧制压力及发生变形程度不均匀。在轧制薄壁管时, 甚至会产生横裂, 并增加打头的难度。因此, 各生产厂应根据各自的生产条件选择合理的变形方式。

表 2.1 周期轧管机孔型各段角度参数

Table.2.1 Angle parameter of pilger pipe mill roll groove

厂名	孔型尺寸(mm)	θ_1		θ_2		θ_3		θ_p	θ_x	
		Q_1/Q_F	Q_2/Q_F	Q_3/Q_F	$Q_x/360$					
车里雅宾斯克钢管厂(苏联)	203-305	75°	41%	90°	50%	15°	8.5%	180°	180°	50%
日丹诺夫伊里奇冶金工厂(苏联)	254-305	65°	33.3%	115°	59%	15°	7.7%	195°	165°	45.8%
维特科维奇钢铁公司(捷克)	187-333	90°	44%	80°	39%	34°	17%	204°	156°	43.3%
达尔明公司(意大利)	258	79°	42.5%	75°	40%	32°	17.5%	186°	174°	48.3%
布罗姆福德厂(美国)	333	103°	46.7%	79.5°	36%	38.5°	17.4%	221°	139°	38.6%
曼内斯曼钢管公司(联邦德国)	338	94.5°	48%	70.9°	36%	31.6°	16%	197°	164°	45.5%
曼内斯曼钢管公司(联邦德国)	292	97.4°	48%	73°	36%	32.5°	16%	203°	157°	43.6%
瓦卢勒克公司(法国)	158-209	90°	47.9%	68°	36.2%	30°	15.9%	188°	172°	—

2.4.2 锻轧带孔型参数的计算

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。如 D·Grah1、P·Gruner、П·Т·Емельянеко、О·А·Лляпковский、К·П·Тетерин 等都根据不同的假说推导各自的数学模型。综合起来, 可以归纳为三种形式:

2.4.2.1 抛物线类型

D·Grah1 根据孔型槽系的线速度与轧件相应各点的速度为线性关系的假说, 提出锻轧带孔型曲线的数学模型为抛物线(参见图 2.2):

$$Y=B \left(Z - \frac{X}{L} \right) - 2B \sqrt{\frac{X}{L}} \quad (2.1)$$

式中 B——开口深度;

L——变形区长度;

X——变形点游动位置。

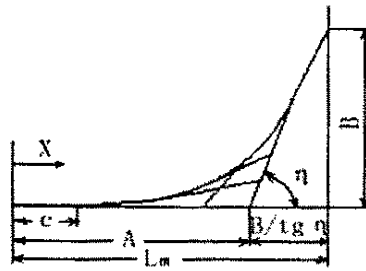


图 2.2 包络线孔型

Fig.2.2 The envelope curved groove

后来发现，这一假说本身并不成立，而且由于这种孔型的起始点太陡而不能顺利完成轧制过程，为此 Mannesmann 公司建议采用包络线方程：

$$Y=C_1(\sqrt{C_2X+1} - 1)^2 \quad (2.2)$$

$$C_1=B/b^2$$

$$C_2=b/A$$

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

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

$$a=B/A$$

η ——孔型起始点的切角（又称导角），若取 $\eta=90^\circ$ ，代入(2.2)式后，其形式与(2.1)式完全相同。

这样，各生产厂家可根据自己的条件选择不同的 η 角，就可以得到陡度不同的孔型曲线。对生产一般钢管而言， $\eta=25^\circ$ 比较合适。

2.4.2.2 指数曲线类型

P·Gruner 根据变形区断面缩减率不变的原则，提出锻轧带孔型曲线应力为指数曲线（参见图 2.3）：

$$Y_n=Y_0e^{-bx} \quad (2.3)$$

式中： Y_0 ——孔型开口深度（毛管厚度）；

Y_n ——成品厚度；

L ——变形区长度。

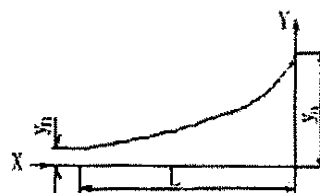


图 2.3 指数曲线孔型

Fig. 2.3 Exponential curve groove

П·Т·Емельянеко 为了能改变孔型曲线的陡度，提出类似的曲线模型^[1]。

$$Y = Y_0 e^{(1+K)b(\frac{X}{L}) - K \cdot b(\frac{X}{L})^2}$$

式中：K——陡度系数。K=0.95-0.1 $\frac{Y_0}{Y_n}$ 或 K=0.035Y_n+0.05 (2.4)

2.4.2.3 经验类型

意大利达尔明公司根据多年的生产经验采用下述方法设计锻轧带孔型曲线（参见表 2.2）。

表 2.2 意大利达尔明公司周期轧机锻轧曲线计算表

Table.2.2 Forging-rolling Curve calculational table of pilger pipe mill (Darming Company, Italy)

A	B	C	D	E	F	G
	ΠCi	Ci	(100+7)	(D-7)	Ei%	59Ei
0	1.26	1.26	107	100	100	59
1	1.60	1.27	85.2	78.2	78.2	46.1
2	2.03	1.27	67	60	60	35.4
3	2.64	1.30	53	46	46	27.0
4	3.27	1.24	40.6	33.6	33.6	19.8
5	4.12	1.26	32.8	25.8	25.8	15.2
6	5.19	1.26	26	19	19	11.2
7	6.48	1.25	20.6	13.6	13.6	6.02
8	7.97	1.23	16.4	9.4	9.4	5.55
9	9.8	1.23	13.3	6.3	6.3	3.72
10	11.56	1.18	10.97	3.97	3.97	2.34
11	13.06	1.13	9.25	2.25	2.25	1.33
12	14.43	1.11	8.15	1.15	1.15	0.67
13	15.15	1.05	7.34	0.34	0.34	0.20
14			7.0	0	0	

- a) 将锻轧变形区划分 14 等份（A 列）。
- b) 设定壁厚的总延伸率为 15.15~15.30（B 列）。
- c) 分配每等份的延伸率（C 列）。
- d) 假设成品管壁厚为 7 及总减壁量为 100，计算每等份处的壁厚（D 列）。
- e) 计算每等份的减壁量及减壁率（E、F 列）。
- f) 按照实际孔型的减壁量与设定减壁量的比例，计算出实际孔型各点的尺寸（G 列），然后将各点联结成圆滑的曲线。

按照上述三种方法计算并画成曲线（参见图 2.4）进行比较，其中式（2.1）抛物线最陡，而式（2.2）指数曲线最平缓，但在实际生产中采用的孔型往往都在两者之间。

应该指出的是，即使采用相同的孔型曲线（直角坐标系，如图 2.1-a），但由于选用的辊身直径不同，它们在轧辊上形成的实际孔型曲线也不同（极坐标系，如图 2.1-b），即随着辊身直径的增大，轧辊上实际孔型曲线的曲率半径也随着增大，从而带来延伸和宽展规律的变化。实际生产证明，每种孔型都存在一个最佳延伸的辊径值，而无论辊径过大还是过小都会引起延伸值的降低（参见图 2.5）。

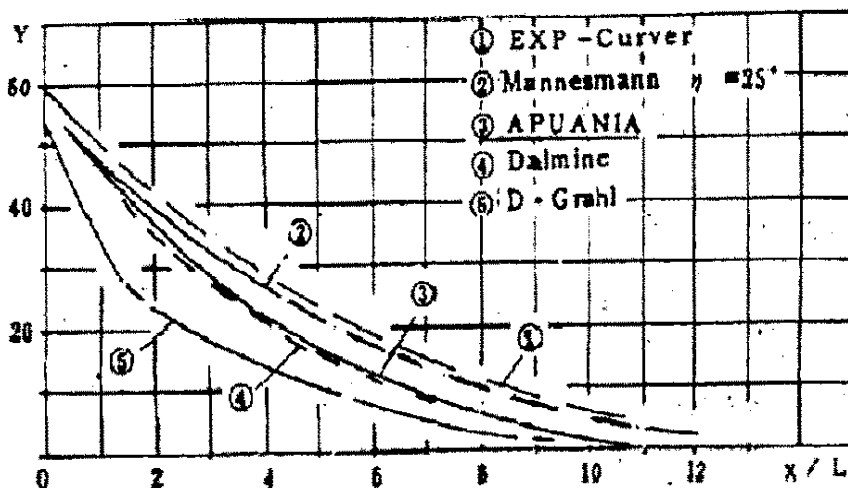


图 2.4 各种类型曲线的孔型对比

(其中①指数曲线；②Mannesmann 公司包络线， $\eta=25^\circ$ ；
③Dalmine 经验型；④D·Grahl 抛物线)

Fig. 2.4 Comparison of all kinds of roll groove curves

但是辊径值又因为与很多其它因素有关（如设备、轧辊强度、消耗、生产率等），而且较大的辊径能够相应地增加工作段长度、喂入量等，因此在实际生产中总是尽可能地采用较大的原始辊径。现将某些工程师的推荐值及工厂实际采用的辊径值列于表 2.3、2.4 中，可供参照对比。

表 2.3 推荐原始辊径值

Table.2.3 Original diameter recommended of roll

工程师	轧辊尺寸	轧辊的名义直径 (mm)
Емельянеко	大型	$1.35d_{max}+550$
	中型	$1.25d_{max}+450$
	小型	$2.0d_{max}+150$
Матвеев、 Ваткин	大型	$1.25d_{max}+600$
	中型	$1.25d_{max}+550$

注：上表中 d_{max} 为轧出的钢管的最大直径

表 2.4 152~305mm 周期轧管机轧辊直径

Table.2.4 Roll diameter of Pilger pipe mill roll in 152-305mm

厂名	152		203		254		305	
	min	max	min	max	min	max	min	Max
日丹诺夫伊里奇冶金工厂 (苏联)		740		780		820		860
卡尔·李卜克内西轧管厂 (苏联)	600	740	700	790	700	830	750	860
维特科维奇钢铁公司 (捷克)	520	600	580	700	615	730	670	780
			830	850	875	900	925	950
西沙克钢铁公司 (南斯拉夫)	529	649	573	693	622	742	668	788
切佩尔钢和钢管厂 (匈牙利)	610	660	630	740	640	780	660	850
车里雅宾斯克钢管厂 (苏联)				830		875		925
曼内斯曼钢管公司 (联邦德国)	630	650	703	725	775	800	825	850

2.4.2.4 孔型的断面形状及开口角的选择

周期轧管机孔型的断面形状一般都采用带直线开口的单圆弧孔型 (见图 2.1. -a 的 A-A 断面), 在精轧带 (4~5) 的开口角 (即侧壁角, 记为 α) 通常保持不变, 而为了便于毛管返回, 空轧段则选取更大的开口角。在两区段之间为过渡段, 则在锻轧带 (5~6) 开口角由大变小, 在终轧带 (3~4) 开口角则由小变大。

a) 孔型开口角的选择

由于轧件变形过程中不可避免地存在宽展, 故必须采用增加孔型宽度的办法 (即采用带开口角的圆弧孔型) 防止变形金属被挤入辊缝而产生耳子。但是过大的开口角 (孔型宽度) 又会导致钢管尺寸精度的降低及纵向延伸的下降 (宽展增加), 参见图 2.6。

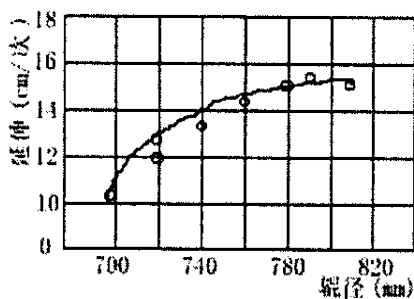


图 2.5 辊径与延伸值的关系
Fig.2.5 Relationship between diameter of roll and extend value

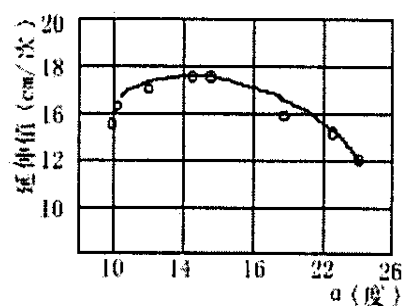


图 2.6 开口角与延伸值的关系
Fig.2.6 Relationship between uncork angle and extend value

因此，孔型的开口角如下选取：

- 1) 精轧带的开口角通常保持不变，一般在 $18\sim 25^\circ$ 之间；
- 2) 空轧段的开口角比精轧带大 $10\sim 12^\circ$ ；
- 3) 锻轧带的开口角由大到小（呈线性变化）；
- 4) 终轧带的开口角由小迅速变大，以防止削钢（参见图 2.7）。

但是，上述的设计原则仅仅从表面上使孔型的宽度与轧件的变形（宽展）相适应，实际上周期轧管机在毛管返回并翻转 90° 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。此时，轧件的实际宽度可以按式 (2.5) 计算：

$$B_x = (1+c)\sqrt{(d_x+A)d_x - A\delta} - cd_x \quad (2.5)$$

式中： d_x ——X 处（图 2.3）孔型高度（直径）

c ——宽展系数， $c=0.2\sim 0.5$

$$A = 2d_0 \cdot m \cdot \beta$$

d_0 ——毛管直径

m ——喂入量

β —— $\ln \lambda / L$

λ —— y_0/y_n ，壁厚压下延伸系数

δ ——芯棒直径

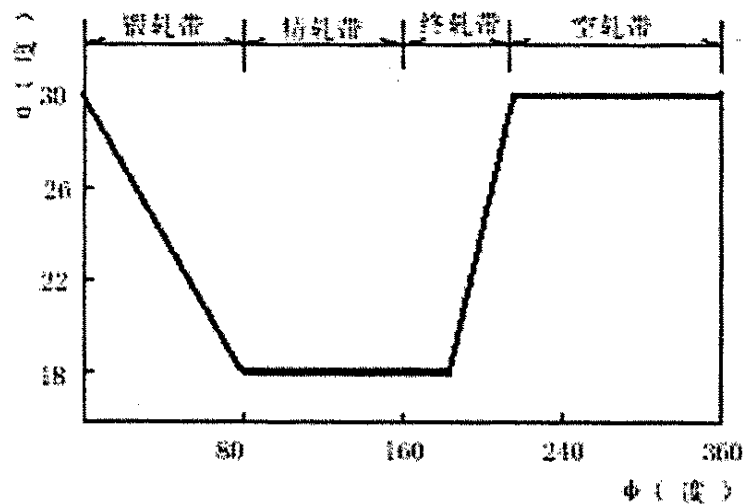


图 2.7 孔型开口角变化图

Fig.2.7 Variety graph of uncork angle

从(2.5)式可以看出,在较陡的孔型曲线或在喂入量增大时,轧件宽度附加增量尤为明显,因而精轧带开口角保持不变的设计原则往往无法保证轧制的正常进行,特别是在精轧带的开始点(图2.1-a中5点)常常因开口角太小而造成大量的耳子,并导致钢管报废。为此,国内外学者都建议采用“在精轧带之前选用较大的开口角,使恒定的开口角开始向后移动一段距离”的设计(参见图2.8,其中实线所表示的为建议采用开口角变化线,虚线为理论开口角变化线)。经过生产实践证明,采用这种设计,有时可以使外折废品减少10%。

b) 辊缝的选择

孔型的辊缝值不但对轧件的延伸(或宽展)有较大的影响,而且对轧辊直径的充分利用也有较大的经济意义。辊缝大,意味着参与轧件变形的孔型周长缩短,使金属宽展的阻力减小、宽展增加或延伸下降(参见图2.9)。辊缝值越大,轧槽的底部直径也越大,这不仅增加了轧辊的强度和工作段长度(当工作段角度不变时)及增加了轧辊的重车次数,从而提高了轧辊的利用率。

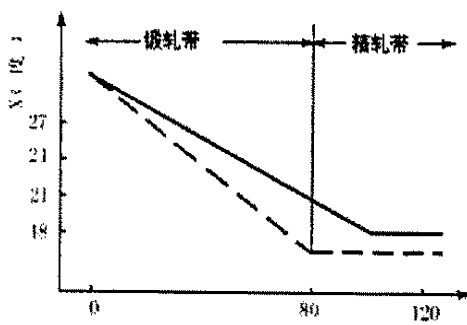


图 2.8 锻轧带开口角变化图
Fig.2.8 Variety graph of uncork angle in the forge-rolling zone

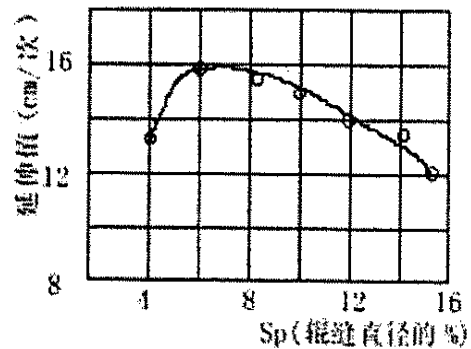


图 2.9 辊缝与延伸值的关系
Fig.2.9 Relationship between roll gap and extend value

表 2.5 辊缝值选择参考表

Table.2.5 Selective gap referenced table

工 厂	1 5 2	2 0 3	2 5 4	3 0 5
日丹诺夫伊里奇冶金工厂(苏联)	2 0	2 2	2 5	2 5
西沙克钢铁公司(南斯拉夫)	1 5	1 5	2 0	2 4
切佩尔钢和钢管厂(匈牙利)	1 6	1 6	2 5	3 0
曼内斯曼钢管公司(联邦德国)				4 0
布罗姆福德厂(美国)				3 0

辊缝值的选取可以参见表 2.5, 在生产中综合考虑然后选取适中的数值。

2.4.3 孔型设计优化的目标参数

优化孔型设计可以提高轧制产品的质量和产量，减少轧制缺陷，使变形过程合理，轧制过程顺利。

周期轧管机孔型的设计对钢管生产的产量、质量起着极为明显的影响作用，而孔型设计的本身又受到生产条件（轧制钢管的壁厚、外径等）、喂料器结构及轧辊车床的限制，因此，正确的孔型设计必须结合自己的条件，根据上述原则选取合理的参数，方能达到理想的效果。结合本孔型的工作原理及各段参数对质量的影响，选取工作段长度（角度），确定工作段的各段比例以及开口角作为孔型设计优化的目标参数。

2.5 数学模型的确定

结合上面的孔型优化，参照现在的成都无缝钢管厂周轧分厂的实际情况，特别是生产的规格品种，喂料器的能力，主电机的功率，设备状况等最终为该机组的周期式轧管机的孔型建立了优化过的数学模型。详细的模型阐述如下：

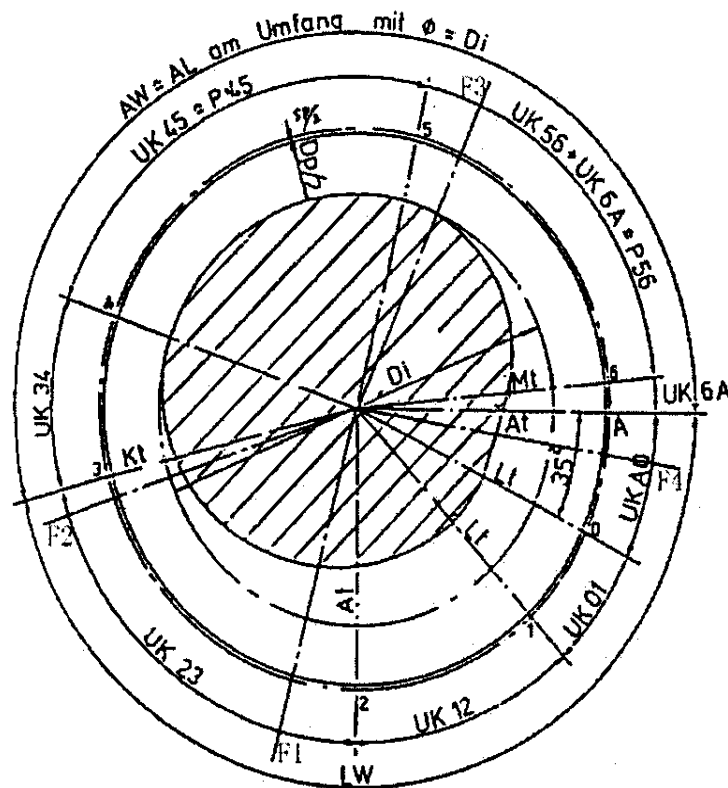


图 2.10 轧辊横断面图(设计用详图)

Fig.2.10 Roll's transect graph (particular graph in designing)

将图 2.10 中的主曲线分段如下：

A: 工作带角度 $A_w = UK34 + UK45 + UK56 + UK6A$

其中 UK34 为图 2.10 中终轧带[34]段的角度, 其它的以此类推。

工作带中锻轧带 UK56 是金属主要的变形区(减径、减壁), 是多年来人们研究的重点, 亦是本次设计的重点。

精轧带 UK45 是均匀壁厚的变形带, 此区段轧辊(孔型)半径一般保持不变。

终轧带 UK34 此处孔型半径逐渐增大(从 4 到 3), 以缓慢地过渡到终止金属变形过程, 从而防止钢管表面恶化。

B: 空轧带角度 $L_w = UK23 + UK12 + UK01 + UKA0$

其中 UK23 为图 2.10 中[23]段的角度, 其它以此类推。

在该区段孔型直径均大于毛管外径, 藉此轧件返回并回转 90° 。

知道了皮尔格轧机的轧辊圆周曲线形状与工作原理, 也给孔型曲线合理地分了段, 现在就可以根据实际情况, 按照上面的孔型优化过程及结论, 为每一段曲线确定其方程了。依然叙述两种设计原则。

2.5.1 工作带角度不变模型 ($A_w = \text{Const}$)

此模型的设计基础是保持工作带角度 A_w 不变。

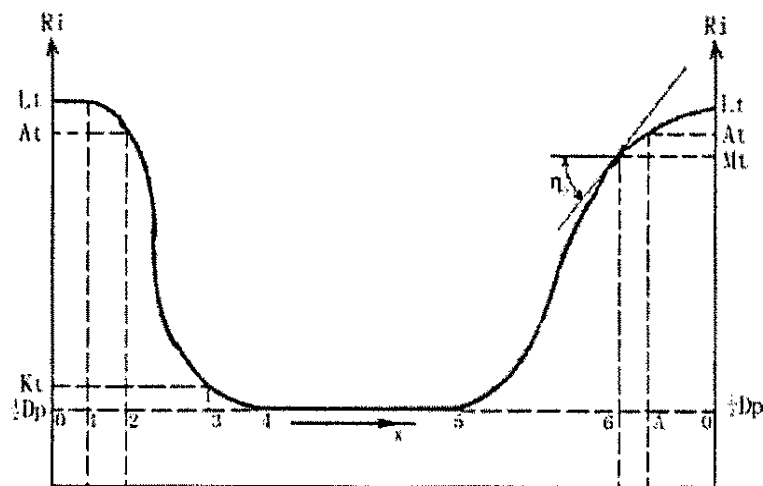


图 2.11 孔型展开图(设计用详图)

Fig.2.11 Roll groove's outspread graph (particular graph in designing)

若将孔型(横断面)展开并转换成直角坐标(以轧辊中心横断面的孔型为基准), 就是图 2.11 所示的图形。

这种原则下的各段曲线方程具体确定如下：

(1) 锻轧带 UK56 的孔型半径: 这里采用的是一条包络线。

$$R56=D_p/2+FN56$$

其中： D_p ——精轧带孔型直径

$$\text{通用包络线方程：} FN=C_1 (\sqrt{C_2 x+1} - 1)^2 \quad (2.6)$$

对于锻轧带 FN56 相关代换参数如下：

$$C_1=B/b^2 \quad (2.7)$$

$$C_2=b/A \quad (2.8)$$

$$A=L56-B/\text{tg } \eta \quad (2.9)$$

$$B=Mt \quad (2.10)$$

$$b=a/\text{tg } \eta - 1 \quad (2.11)$$

$$a=B/A \quad (2.12)$$

其中： η ——轧辊加工后 6 点的切向角（导角）——直角坐标

Mt ——锻轧带开口深度。

$$\text{锻轧带长度：} L56=UK56 \times \pi Di/360 \quad (2.13)$$

$$\text{tg } \eta = \text{tg } \eta_1 \times \frac{Di-2Mt}{Di} \quad (2.14)$$

其中： η_1 ——轧辊加工前 6 点的切向角（导角）——极坐标

Di ——加工后轧辊的理想直径。

$$\eta_1 = \text{arc} \left[\text{tg } \eta_0 \times \frac{Di_0}{Di_0-2Mt} \right] \quad (2.15)$$

其中： η_0 ——轧辊加工前 6 点的切向角（导角）——直角坐标

Di_0 ——加工前轧辊（新辊）的理想直径。

(2) 空轧带孔型半径：这里要分成几段进行设计

①. [60]段：这里采用的是一条包络线

$$\text{孔型半径为 } R60=D_p/2+Lt-FN60$$

FN60 表达式参见式(2.6)

其中 $B=Lt-Mt$

Lt ——空轧带最大深度

$$[60]\text{段长度：} L60=UK60 \times \pi Di/360$$

其它参数的确定参照上面的式(2.6)~(2.9)、(2.11)、(2.12)、(2.14)、(2.15)

等。

②. [01]段：这里采用的是一段圆弧（孔型半径不变）

孔型半径为 $R0=R1=Dp/2+Lt$

其中：Lt 为空轧带最大深度，也是轧辊孔型的最大深度（相当于加工轧辊时刀具的最大冲程）。

[01]段的长度为： $L01=UK01 \times \pi Di/360$

$$UK01=15^\circ$$

③. [12]段：这里采用的是一段包络线

孔型半径为 $R12=Dp/2+Lt-FN12$

这一段曲线与其它包络线渐进的方向不同，故其方程的中间参数与其它包络线稍有不同，如下

对于 FN12： $B=Lt-At$

其中：At——[12]段的终点 2 点的孔型深度

$$L12=UK12 \times \pi Di/360$$

$$UK12=40^\circ$$

$$At=Lt-FN60$$

At 需要通过另一段包络线（[60]段）才能求出。

$$-tga_2 = -[2(Kt-At)/L23 - tga_3] = tga_3 - [2(Kt-At)/L23]$$

这里的 $-tga_2$ 就对应于通用渐进线方程的中间参数 tga_3

$$tga_3 = -Kt/L34$$

对于 FN60： $B=Lt-Mt$

$$LA0=UKA0 \times \pi Di/360$$

$$UKA0=35^\circ$$

其它参数确定方法与前面的渐进线确定方法是一样的。

④. [23]段：这是一段抛物线

孔型半径 $R23=Dp/2+FNp23$

通用抛物线方程为 $FNp23 = (C \times x + B) \times x + A$

其中 $A=At$

$$B=2(Kt-At)/L23 - tga_3$$

Kt——终轧带孔型最大深度

$$C=[tga_3 - (Kt-At)/L23]/L23$$

$$tga_3 = -Kt/L34$$

$$L23=UK23 \times \pi Di/360$$

$$UK23=UK03-UK12-UK01$$

$$L_{34}=UK_{34} \times \pi D_i/360$$

$$K_t=4$$

x 为 2 到 3 点的游动坐标

(3) 终轧带[34]的孔型半径

$$R_{34}=R_3-K_t \times \frac{x}{L_{34}}$$

这里采用的是一条斜线（展开到直角坐标里时）。

其中 R_3 是精轧带孔型半径

$$L_{34}=UK_{34} \times \pi D_i/360$$

x 为由 3 到 4 点的游动坐标

(4) 精轧带：这里采用了一段圆弧（孔型半径不变）

$$R_4=R_5=D_p/2$$

2.5.2 工作带长度不变模型 ($A_w \times \pi D_i/360=Const$)

此模型的设计基础就是保持工作带的长度不变。为了保持工作带的长度不变，当轧辊重车使辊径变小时，势必要增加工作带的角度。因此引入一个重车系数 F_a 。

2.5.2.1 工作带

引入重车系数 F_a

重车系数为： $F_a=D_{i0}/D_i$

终轧带 $UK_{34}=UK_{S34} \times F_a$ ($UK_{S34}=30^\circ$)

精轧带 $UK_{45}=UK_{S45} \times F_a$

锻轧带 $UK_{56}=(UK_{S56}+UK_{6A}) \times F_a-UK_{6A}$ (该式表示在重车过程中 UK_{6A} 不作相应变化)

其中 UK_{S34} 、 UK_{S45} 、 UK_{S56} 均为重车前的角度

另外有 $A_w=A_{ws} \times F_a$

其中 A_w 为重车后的工作带角度， A_{ws} 为重车前的工作带角度

① 锻轧带 UK_{56} 的孔型半径：这是一段渐进线

$$R_{56}=D_p/2+FN_{56}$$

其中： D_p ——精轧带孔型直径

$$\text{渐进线方程：} FN=C_1(\sqrt{C_2x+1}-1)^2 \quad (2.16)$$

对于锻轧带 FN_{56} 相关代换参数如下：

$$C_1=B/b^2 \quad (2.17)$$

$$C_2=b/A \quad (2.18)$$

$$A=L56-B/\operatorname{tg} \eta \quad (2.19)$$

$$B=Mt \quad (2.20)$$

$$b=a/\operatorname{tg} \eta -1 \quad (2.21)$$

$$a=B/A \quad (2.22)$$

其中: η ——轧辊加工后 6 点的切向角 (导角) ——直角坐标

Mt ——锻轧带开口深度。

锻轧带长度 L56:

$$L56=UK56 \times \pi D_i/360 \quad (UK56=(UKS56+UK6A) \times Fa-UK6A) \quad (2.23)$$

$$\operatorname{tg} \eta = \operatorname{tg} \eta_1 \times \frac{D_i - 2Mt}{D_i} \quad (2.24)$$

其中: η_1 ——轧辊加工前 6 点的切向角 (导角) ——极坐标

D_i ——加工后轧辊的理想直径。

$$\eta_1 = \operatorname{arc} \left[\operatorname{tg} \eta_0 \times \frac{D_{i_0}}{D_{i_0} - 2Mt} \right] \quad (2.25)$$

其中: η_0 ——轧辊加工前 6 点的切向角 (导角) ——直角坐标

D_{i_0} ——加工前轧辊 (新辊) 的理想直径。

② 精轧带 UK45 的孔型半径: 这是一段圆弧 (孔型半径不变)

$$R4=R5=D_p/2$$

③ 终轧带 UK34 的孔型半径

$$R34=R3-Kt \times \frac{x}{L34}$$

这是一条直线与一条斜线之差

其中 R3 是精轧带孔型半径

$$L34=UK34 \times \pi D_i/360 \quad (UK34=UKS34 \times Fa)$$

x 为由 3 到 4 点的游动坐标

2.5.2.2 空轧带

$$\text{重车后空轧带角度 } L_w=360-A_w \quad (A_w=A_{ws} \times Fa)$$

由于工作带角度要增加, 则空轧带角度自然要缩小, 这里引入一个缩小系数 F_1 , 则

$$F_1=L_w/L_{ws}$$

其中 L_{ws} 为重车前空轧带角度值, 比重车后的 L_w 大。

$$Uk01=Uks01 \times F_1 \quad (Uks01=15^\circ)$$

$$Uk12=Uks12 \times F_1 \quad (Uks12=40^\circ)$$

$$Uk23=Uks23 \times F_1$$

$$UkA0=UksA0 \times F_1 \quad (UksA0=35^\circ)$$

$$Uk60=Uks60 \times F_1$$

其中 $Uks01$ 为重车前 [01] 段的角度值, 其它以此类推。

① [60]段：这是一段渐进线

孔型半径为 $R_{60}=D_p/2+L_t-FN_{60}$

FN_{60} 表达式参见式(2.6)

其中 $B=L_t-M_t$

L_t ——空轧带最大深度

[60]段长度： $L_{60}=UK_{60} \times \pi D_i/360$ ($UK_{60}=UK_{s60} \times F_1$)

其它参数的确定参照上面的式(2.16)~(2.19)、(2.21)、(2.22)、(2.24)、(2.25)等。

② [01]段：这里采用的是一段圆弧（孔型半径不变）

孔型半径为 $R_0=R_1=D_p/2+L_t$

其中： L_t 为空轧带最大深度，也是轧辊孔型的最大深度（相当于加工轧辊时刀具的最大冲程）。

[01]段的长度为： $L_{01}=UK_{01} \times \pi D_i/360$ ($UK_{01}=UK_{s01} \times F_1$)

$$UK_{s01}=15^\circ$$

③ [12]段：这是一段渐进线

孔型半径为 $R_{12}=D_p/2+L_t-FN_{12}$

这一段曲线与其它包络线渐进的方向不同，故其方程的中间参数与其它包络线稍有不同，如下：

对于 FN_{12} ： $B=L_t-A_t$

其中： A_t ——[12]段的终点 2 点的孔型深度

$L_{12}=UK_{12} \times \pi D_i/360$ ($UK_{12}=UK_{s12} \times F_1$)

$$UK_{s12}=40^\circ$$

$$A_t=L_t-FN_{60}$$

A_t 需要通过另一段包络线（[60]段）才能求出。

$$-tga_2=-[2(Kt-A_t)/L_{23}-tga_3]=tga_3-[2(Kt-A_t)/L_{23}]$$

这里的 $-tga_2$ 就对应于通用渐进线方程的中间参数 $tg \eta$

$$tga_3=-Kt/L_{34}$$

对于 FN_{60} ： $B=L_t-M_t$

$L_{A0}=UK_{A0} \times \pi D_i/360$ ($UK_{A0}=UK_{sA0} \times F_1$)

$$UK_{sA0}=35^\circ$$

其它参数确定方法与前面的渐进线确定方法是一样的。

④ [23]段：这是一段抛物线

孔型半径 $R_{23}=D_p/2+FN_{P23}$

通用抛物线方程为 $FN_{P23}=(C \times x+B) \times x+A$

其中 $A=At$

$$B=2(Kt-At)/L23-tga_3$$

Kt ——终轧带孔型最大深度

$$C=[tga_3-(Kt-At)/L23]/L23$$

$$tga_3=-Kt/L34$$

$$L23=UK23 \times \pi Di/360 \quad (Uk23=Uks23 \times F_1)$$

$$UK23=UK03-UK12-UK01$$

$$L34=UK34 \times \pi Di/360 \quad (UK34=UKS34 \times Fa)$$

$$Kt=4$$

x 为 2 到 3 的游动坐标

2.5.2.3 孔型开口角（侧壁角）的确定

对于 Uf_1 、 Uf_2 、 Uf_3 （统一记为 $Uf(1-3)$ ）：

若 $Ufs(1-3) < Uks03$

$$\text{则 } Uf(1-3)=[UksA0+Ufs(1-3)] \times F_1-UkA0$$

$$\text{否则 } Uf(1-3)=[Ufs(1-3)-Uks03] \times Fa+Uw3$$

其中 Uf_1 为加工后 F_1 点的位置（相对于 0 点）， Ufs_1 为加工后 F_1 点的位置，其它以此类推；

Uw_3 为从 0 点到 3 点的角度数。

同理：对于 $Uf(4)$

若 $Ufs03 \leq Ufs(4) < Uks03+Aws$,

$$\text{则 } Uf(4)=[Ufs(4)-Uks03] \times Fa+Uw3;$$

若 $Uks03+Aws \leq Ufs(4) < 360$,

$$\text{则 } Uf(4)=[Ufs(4)-(Uks03+Aws)] \times F_1+Uw3+Aw;$$

若 $0 \leq Ufs(4) < Uks01$,

$$\text{则 } Uf(4)=[Ufs(4)+UksA0] \times F_1-UkA0;$$

若 $Uks01 \leq Ufs(4) \leq Uks12$,

$$\text{则 } Uf(4)=[Ufs(4)+UksA0] \times F_1-UkA0。$$

2.5.2.4 各段曲线的数学模型

各段曲线的数学模型与“工作带角度不变模型”中的一样，方程式的确定均相同，唯一的改动之处就是要把长度不变模型下的长度换算成角度，再使用角度不变模型中的方程式确定方法。

3. 计算机程序软件编制

3.1 程序设计原理及框图

3.1.1 程序设计原理

基于上面所叙述本课题的设计原理, 在进行程序设计时, 首先是对数据的存储形式进行选取; 由于本课题所存储数据的长度基本为定长, 因此采取了平面文件数据库模型, 这主要是采用了文件数据库存储速度快及格式简便的特点, 同时由于本课题数据的一致性较好, 应用平面文件数据库已能很好的满足程序设计的需求。用户可进入数据库进行现有数据的选取, 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。其次, 若用户需要对不同尺寸轧辊进行优化设计, 本程序软件中包括了按工作段长度不变进行设计以及按工作段角度不变进行设计的两个模块。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, 而按工作段长度不变以及按工作段角度不变进行设计则是从两个方面对轧辊加工的参数优化, 以达到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。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作出样图, 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^{[4][35][36]}。

3.1.2 程序框图

结合上述程序设计思想, 软件编制的程序流程框图如图 3.1 所示, 程序软件的部分程序模块参见附录 A。

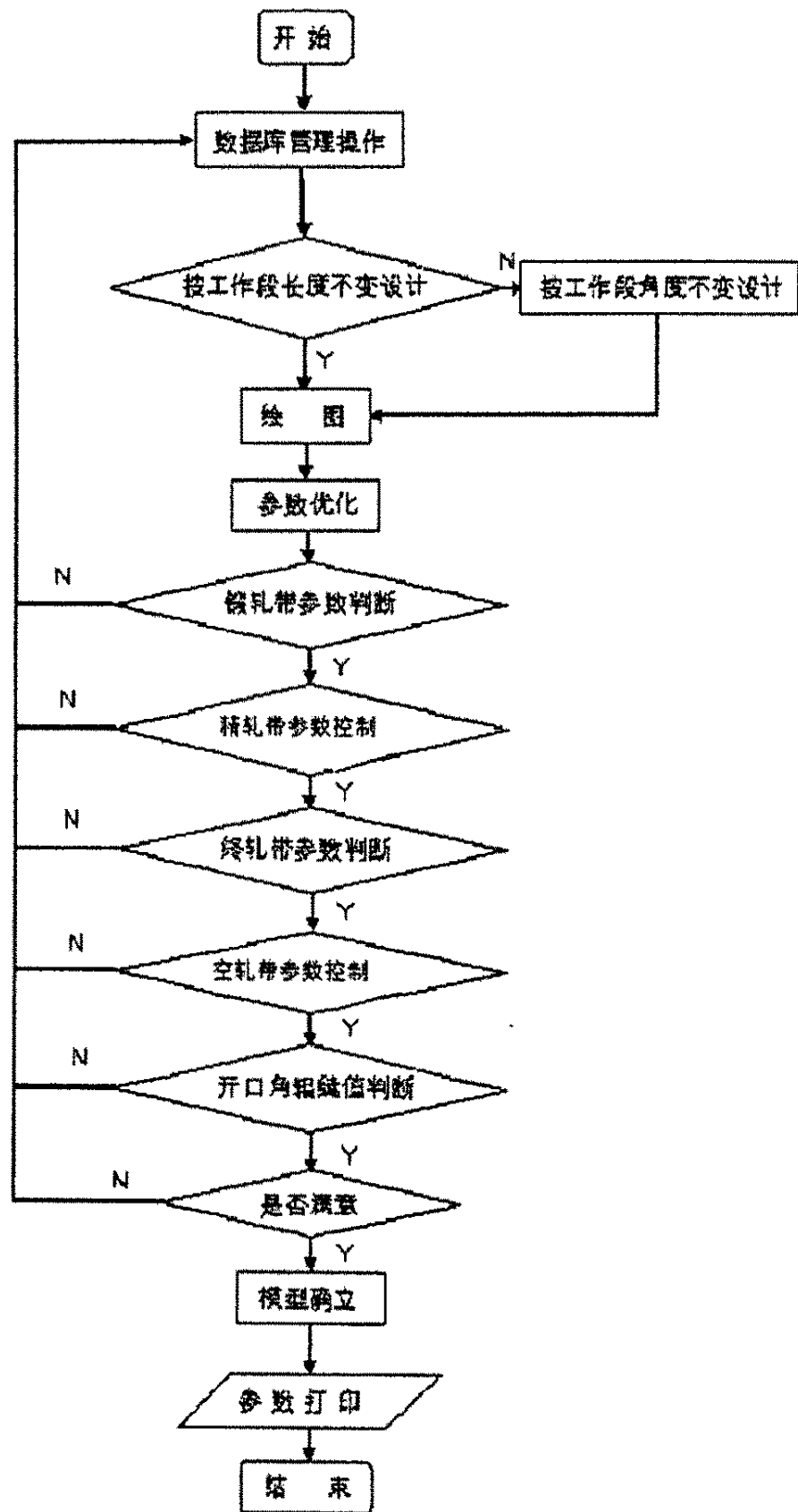


图 3.1 程序流程框图

Fig.3.1 Flow chart of program

其中，以工作段长度不变设计模块为例，其设计的原理流程图如图 3.2 所示：

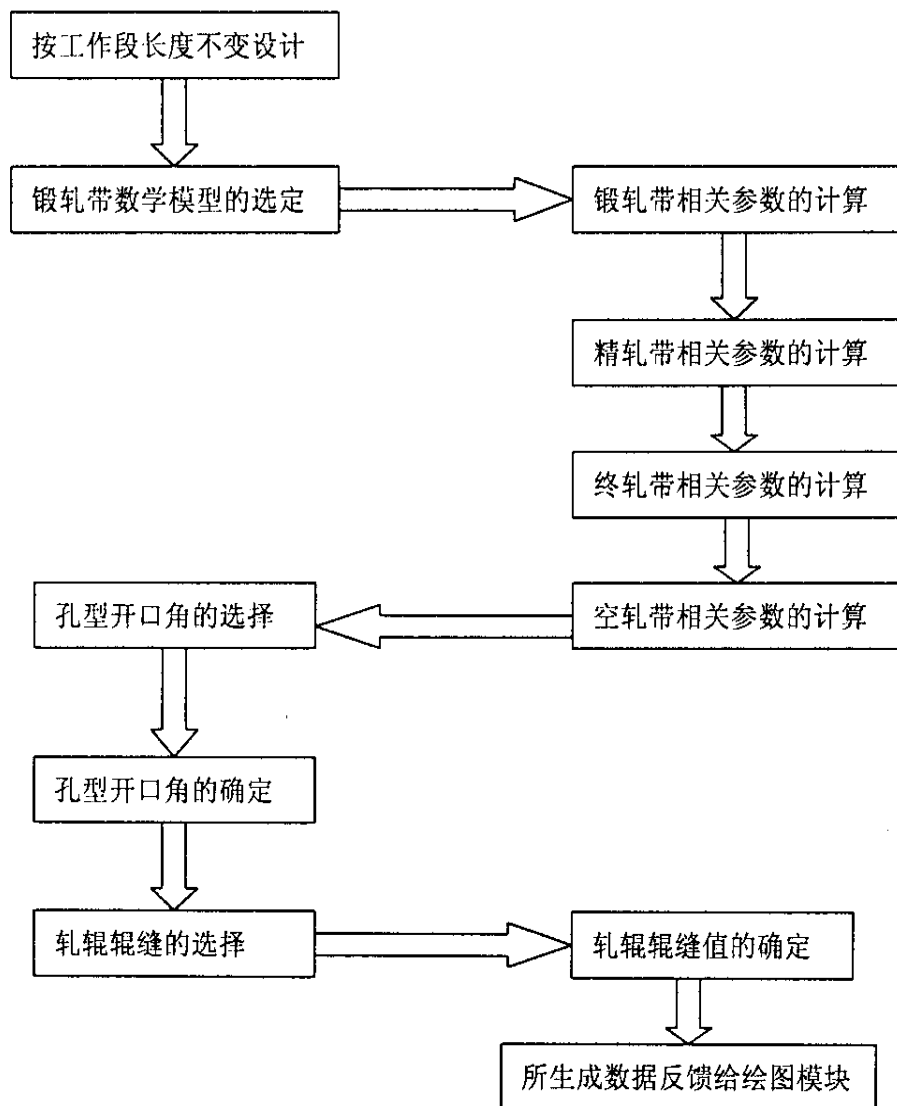


图 3.2 按工作段长度不变进行设计的原理流程图

Fig.3.2 Flow principle chart of design according to constant length of working zone

3.2 软件功能

本计算机辅助轧机孔型设计软件的功能包括：

(1) 数据管理功能 管理每一个孔型给定的参数数据。能象管理数据库那样对每条孔型数据进行修改、删除或者新增另外的孔型数据，各项数据由孔型标号唯一标识；

(2) 孔型绘图功能 能根据所选的孔型型号在数据文件中自动提取该孔型给定的已知参数，按照已经确定的数学模型公式进行计算，并根据这些给定的参数以及计算出来的参数在电脑屏幕上绘出某一加工后尺寸对应的孔型的形状草图，也就是对孔型图形进行预览，让用户清楚地看到孔型的样式。

(3)孔型参数表打印功能 每一个型号的孔型都对应有一系列的轧辊加工后尺寸，每一个加工后尺寸对应的某一型号孔型的曲线方程都有所不同，本软件能将这些所有尺寸对应的某一型号孔型的主要数据计算出来，并以表格的形式打印出来。

(4)靠模参数打印功能 将某一加工后轧辊尺寸对应的某一孔型的某些特定的参数数据计算出来，交给轧辊孔型加工人员指导加工。这些参数包括轧辊上某一角度（任意选定一个起始点作为相对零度），这一角度对应的原始轧辊周边长，以及该角度处轧辊加工后的孔型半径。根据这些参数轧辊孔型加工人员就知道轧辊周边上任一点的进刀量，从而加工出符合要求的孔型。

3.3 软件结构

本着软件工程中人机接口简单易用的原则，本软件根据实际需要抽象出上述的四个主要功能，据此，设计出如下图 3.3 所述的软件结构及界面。

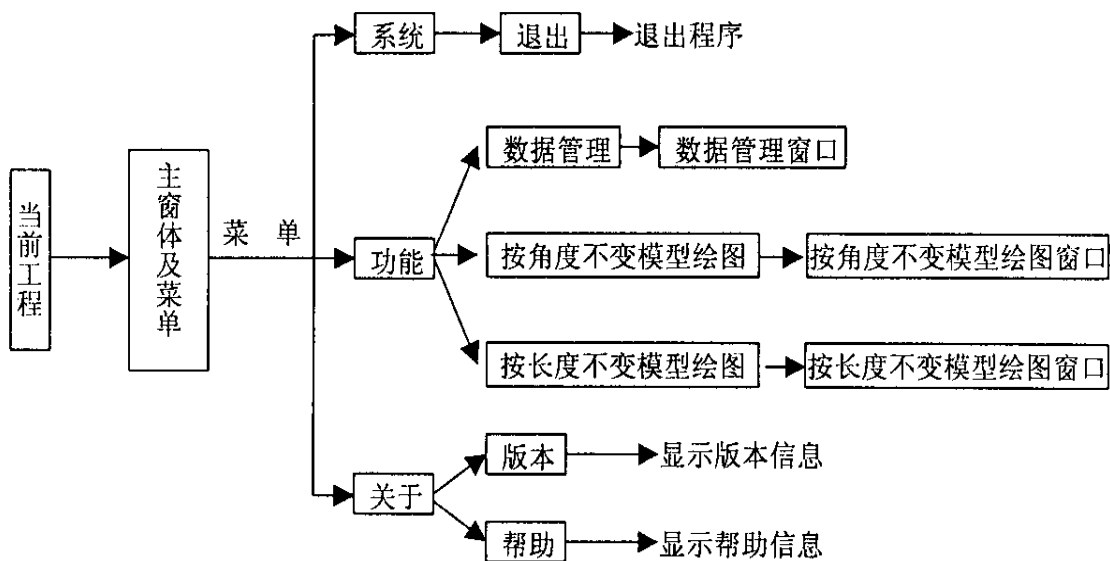


图 3.3 软件结构图

Fig.3.3 Structure graph of software

3.4 数据管理

由于此次课题所涉及的周期轧管机的孔型并不是很多，每种孔型所对应的设计参数是确定的，而且参数的数据结构比较统一，因此并没有使用数据库来管理这些孔型参数，否则就有一些大材小用了，而且数据库比较大，会降低程序的执行性能。

分析所要管理的参数的数据，发现每一项参数的数据的类型都已经确定了，占用的存储单元的长度也确定了，故程序中直接定义了一个记录型数据来映射这些数据，然后就使用了一个链表文件来存储这些数据。

本课题中，涉及的数据项里有 1 个字符型（长度为 7 个字节）、19 个整数型（每个长度为 2 个字节）、4 个双精度型（每个长度为 8 个字节），总共长度为 $len=7+19\times 2+4\times 8=77$ 个字节。也就是说每个记录的数据长度为 77 个字节。存储这些数据的链表文件里没有任何冗余代码，在程序中只要用一个函数返回文件的总长度，就轻易地算出了总记录条数，而且知道了每条记录的起始位置，可以很方便地进行读出或修改写入。

由于消除了数据文件中的冗余代码，数据文件所占用的空间非常小，使用这种方法处理后程序执行性能的提高是显而易见的。

3.5 文件输入输出控制及“OLE 控件”的使用

在实现本软件的打印功能（两种参数的打印）时，两次都使用了“OLE 控件”。“OLE 控件”是几乎所有的开发工具都提供的一个功能强大的对象，通过它可以与外界的应用程序联系起来（甚至链接起来）。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。

本软件中的“OLE 控件”链接的外部应用程序是 Windows 自带的记事本文件“Notepad.exe”。这也是一个典型的小巧精悍的程序，没有任何冗余代码，存储的是纯文本文档。本软件运行时就是把运行的结果写到一个临时的记事本文件里，如果要打印这些参数的话，只要在弹出的含有“OLE 控件”的小窗体上双击鼠标就可以把程序运行时存储的文件打开，而且可以使用记事本文件自带的功能进行打印调整。

对于本软件来说，使用记事本程序作为链接对象的好处是：该程序很小巧，功能也满足本程序的需要，再加上其内容为纯文本的，没有冗余代码，就可以很方便地在写文件之前在程序中控制输出的格式，甚至是输出一个整齐的表格。

当然在本程序中还有许多技巧性的处理方法，可以作为编写其它软件的参考，在这里就不一一赘述了。程序运行的其它界面图见后面的章节。

4. 应用及综合讨论

4.1 软件试运行情况及应用

本课题软件编制选用的是 Visual Basic6.0, 首先主要是因为与传统的面向过程的高级程序设计语言相比较, VB6.0 在编制中、大规模应用软件方面具有很大的优越性。其次, 作为面向对象开发(Object-Oriented)语言的代表, VB6.0 在用户界面的开发方面、图像生成方面具有其他高级语言无法比拟的优点, 缩短了程序设计的周期, 利于软件开发的规范性扩展。再次, VB6.0 提供的诸如应用控件、数据库链接等在进行数据库开发等工作时, 各方面表现都很出色。最后, 程序语言的简洁明了性、易学易用性也为很多用户所欢迎^[4]。

并且, 本课题首先收集了与周期轧管机有关的资料, 吸取了前人研究的经验, 同时针对我厂的实际生产情况对孔型的数学模型进行了优化, 建立了一套适合现场实际情况的孔型系统模型。然后根据该模型使用 VB6.0 为开发工具开发了一套对该轧机孔型进行计算机辅助孔型设计(CARD)的软件。

本课题中编制出的软件实现了预期的功能, 可以对孔型的数据进行管理, 并自动生成每个孔型的预览图及靠模参数。

本课题中编制出的软件可以在 486 档次的微机、Windows95 以上版本的环境上很好地运行, 执行效果很好。

基于 VB6.0 上述的特点^[34], 综合所搜集资料, 本课题软件所开发程序的用户界面秉承简洁、实用原则, 其用户初始界面如图 4.1 所示:

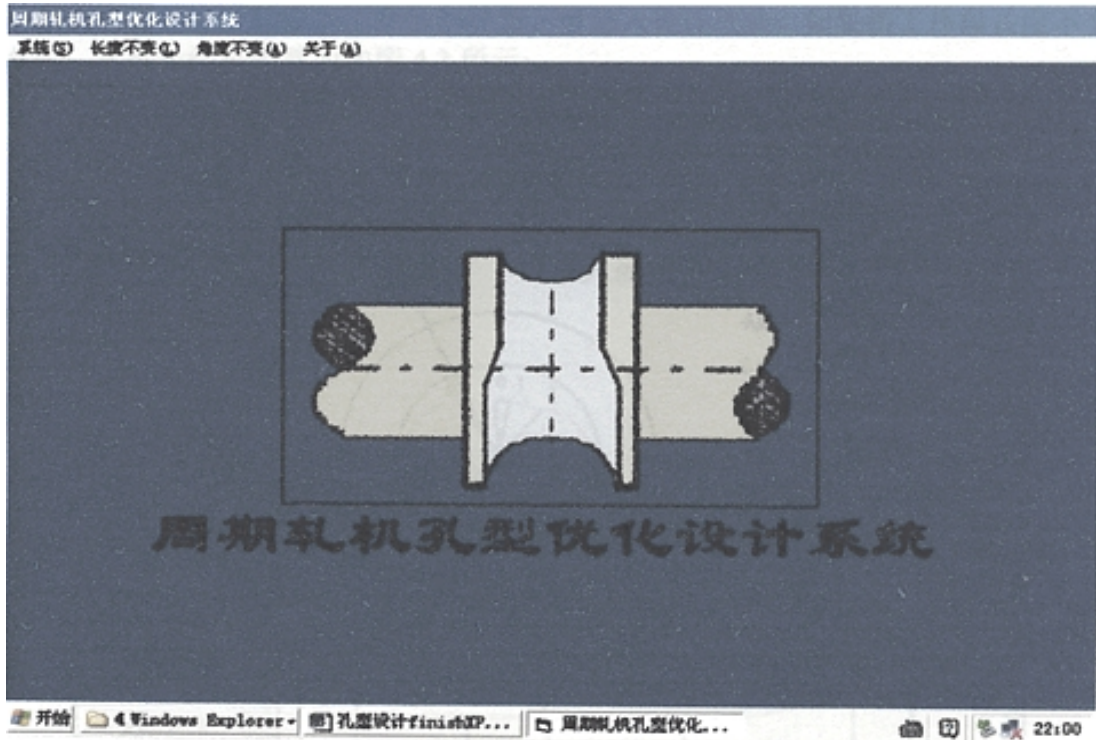


图 4.1 用户初始界面

Fig.4.1 Original user window

在选择数据库管理项后，用户可进入数据库管理操作，相应的界面(以角度不变设计数据库为例)如图 4.2 所示：

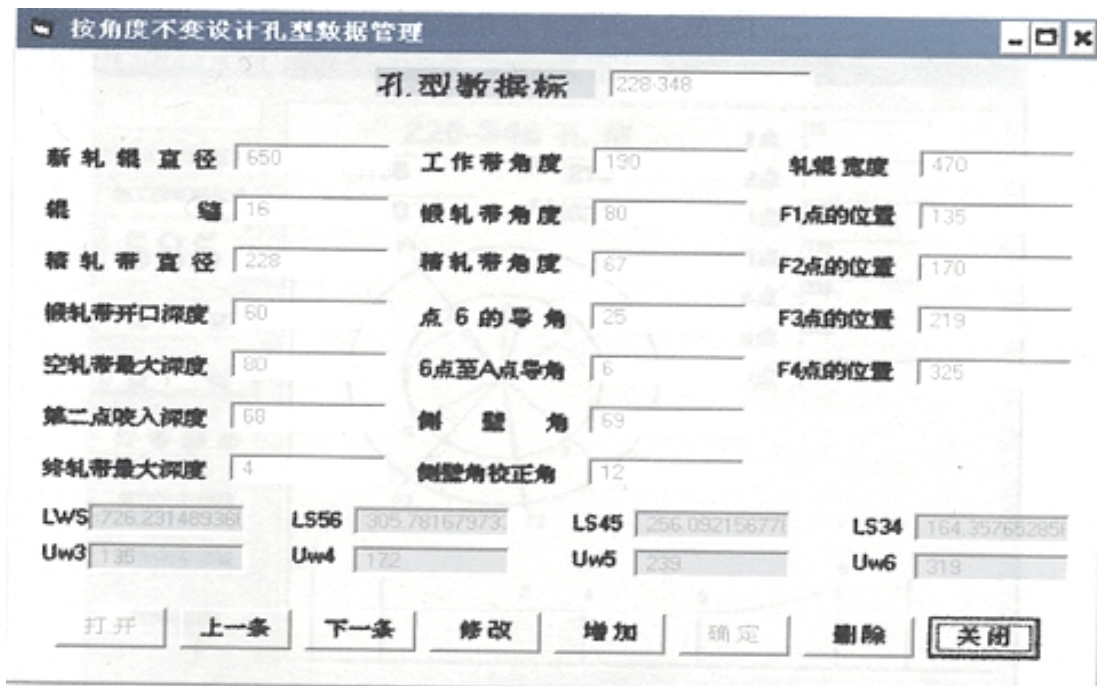


图 4.2 数据库管理操作界面

Fig.4.2 Window of operating DBMS

若用户需要进行轧辊加工参数的计算，可进入设计模块，如果按工作段长度不变进行设计，其设计结果的界面如图 4.3 所示：

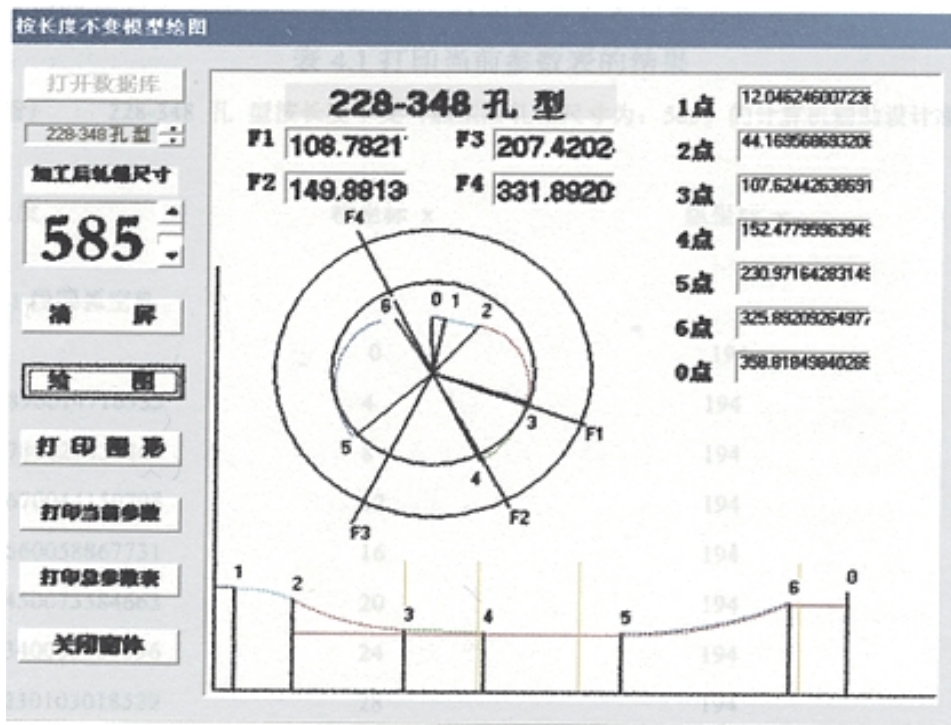


图 4.3 按工作段长度不变进行设计结果界面

Fig.4.3 Window of design result according to constant length of working zone

按工作段角度不变进行设计的操作界面如图 4.4 所示：

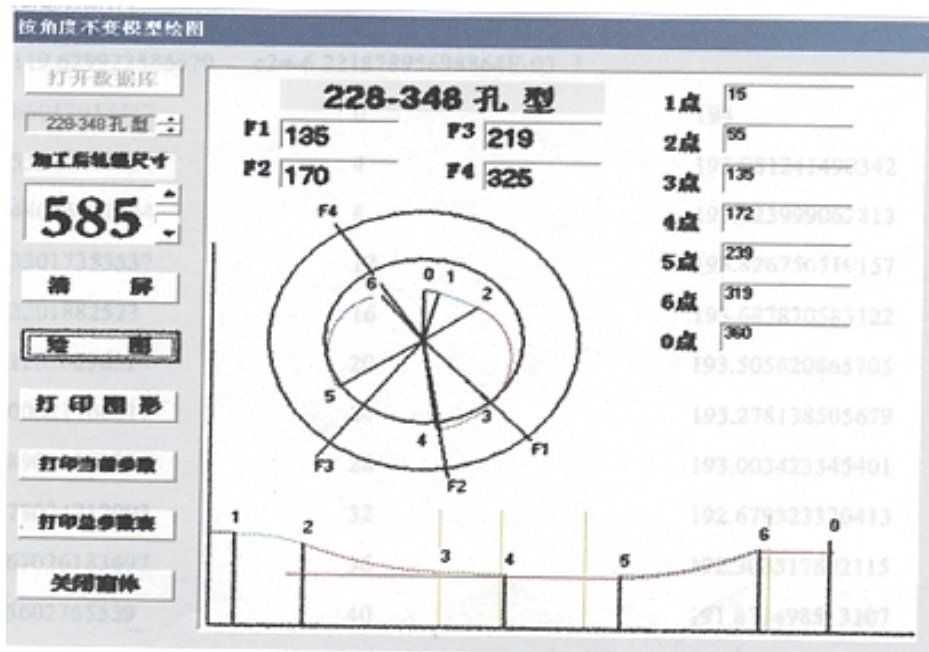


图 4.4 按工作段角度不变进行设计结果界面

Fig.4.4 Window of design result according to constant length of working zone

最后, 可根据用户的需要进行相关参数的打印, 以按工作段长度不变进行设计为例其中打印当前参数的结果可参见表 4.1, 打印总参数表可参见表 4.2。

表 4.1 打印当前参数表的结果

周期轧管厂 228-348 孔型按长度不变(加工后轧辊尺寸为: 585)的计算机辅助设计靠模参数

角度	横坐标 x	纵坐标 y
0---1 段圆弧空轧		
0	0	194
1.22890014716933	4	194
2.45780029433865	8	194
3.68670044150798	12	194
4.91560058867731	16	194
6.14450073584663	20	194
7.37340088301596	24	194
8.60230103018529	28	194
9.83120117735461	32	194
11.0601013245239	36	194
1---2 段渐开空轧		
(c1= 119.629922886679 c2=-6.22187895698864E-03)		
12.0466012938457	0	194
13.2755014410151	4	193.981241490342
14.5044015881844	8	193.923999062813
15.7333017353537	12	193.826750519157
16.962201882523	16	193.687870585122
18.1911020296924	20	193.505620865705
19.4200021768617	24	193.278138505679
20.648902324031	28	193.003423345401
21.8778024712003	32	192.679323320413
23.1067026183697	36	192.303517802115
24.335602765539	40	191.873498513107
25.5645029127083	44	191.386547571158
26.7934030598777	48	190.839712115443

28.022303207047	52	190.229774841403
29.2512033542163	56	189.553219607809
30.4801035013856	60	188.806191069663
31.709003648555	64	187.984447017443
32.9379037957243	68	187.083301744216
34.1668039428936	72	186.097558285664
35.3957040900629	76	185.021426738255
36.6246042372323	80	183.848424991248
37.8535043844016	84	182.571257010752
39.0824045315709	88	181.181662140971
40.3113046787402	92	179.6702265129
41.5402048259096	96	178.026144220668
42.7691049730789	100	176.236910875189
43.9980051202482	104	174.287924547464

2---3 段抛物线空轧

(B=.514849473568182 c= 1.1799971901282E-03)

44.1708714107677	0	174
45.399771557937	4	171.95948206077
46.6286717051063	8	169.956724031623
47.8575718522757	12	167.991725912561
49.086471999445	16	166.064487703582
50.3153721466143	20	164.175009404688
51.5442722937836	24	162.323291015878
52.773172440953	28	160.509332537152
54.0020725881223	32	158.73313396851
55.2309727352916	36	156.994695309952
56.4598728824609	40	155.294016561478
57.6887730296303	44	153.631097723089
58.9176731767996	48	152.005938794783
60.1465733239689	52	150.418539776562
61.3754734711383	56	148.868900668424
62.6043736183076	60	147.357021470371
63.8332737654769	64	145.882902182402

65.0621739126462	68	144.446542804517
66.2910740598156	72	143.047943336716
67.5199742069849	76	141.687103778999
68.7488743541542	80	140.364024131366
69.9777745013235	84	139.078704393818
71.2066746484929	88	137.831144566353
72.4355747956622	92	136.621344648973
73.6644749428315	96	135.449304641676
74.8933750900008	100	134.315024544464
76.1222752371702	104	133.218504357336
77.3511753843395	108	132.159744080292
78.5800755315088	112	131.138743713332
79.8089756786782	116	130.155503256456
81.0378758258475	120	129.210022709665
82.2667759730168	124	128.302302072957
83.4956761201861	128	127.432341346334
84.7245762673555	132	126.600140529794
85.9534764145248	136	125.805699623339
87.1823765616941	140	125.049018626968
88.4112767088634	144	124.330097540681
89.6401768560328	148	123.648936364478
90.8690770032021	152	123.005535098359
92.0979771503714	156	122.399893742324
93.3268772975407	160	121.832012296373
94.5557774447101	164	121.301890760507
95.7846775918794	168	120.809529134724
97.0135777390487	172	120.354927419026
98.2424778862181	176	119.938085613411
99.4713780333874	180	119.559003717881
100.700278180557	184	119.217681732435
101.929178327726	188	118.914119657073
103.158078474895	192	118.648317491795
104.386978622065	196	118.420275236602
105.615878769234	200	118.229992891492

106.844778916403	204	118.077470456466
3---4 段过渡曲线终轧段		
(K/L34= 2.73972598030484E-02)		
107.627600613753	0	118.077470456466
108.856500760922	4	117.967881417254
110.085400908091	8	117.858292378042
111.314301055261	12	117.74870333883
112.54320120243	16	117.639114299618
113.772101349599	20	117.529525260405
115.001001496769	24	117.419936221193
116.229901643938	28	117.310347181981
117.458801791107	32	117.200758142769
118.687701938277	36	117.091169103557
119.916602085446	40	116.981580064344
121.145502232615	44	116.871991025132
122.374402379785	48	116.76240198592
123.603302526954	52	116.652812946708
124.832202674123	56	116.543223907496
126.061102821293	60	116.433634868284
127.290002968462	64	116.324045829071
128.518903115631	68	116.214456789859
129.747803262801	72	116.104867750647
130.97670340997	76	115.995278711435
132.205603557139	80	115.885689672223
133.434503704309	84	115.77610063301
134.663403851478	88	115.666511593798
135.892303998647	92	115.556922554586
137.121204145817	96	115.447333515374
138.350104292986	100	115.337744476162
139.579004440155	104	115.228155436949
140.807904587325	108	115.118566397737
142.036804734494	112	115.008977358525
143.265704881663	116	114.899388319313

144.494605028833	120	114.789799280101
145.723505176002	124	114.680210240888
146.952405323171	128	114.570621201676
148.181305470341	132	114.461032162464
149.41020561751	136	114.351443123252
150.639105764679	140	114.24185408404
151.868005911849	144	114.132265044827
4---5 段圆弧精轧段		
152.482456756431	0	114
153.711356903601	4	114
154.94025705077	8	114
156.169157197939	12	114
157.398057345109	16	114
158.626957492278	20	114
159.855857639447	24	114
161.084757786617	28	114
162.313657933786	32	114
163.542558080955	36	114
164.771458228125	40	114
166.000358375294	44	114
167.229258522463	48	114
168.458158669633	52	114
169.687058816802	56	114
170.915958963971	60	114
172.144859111141	64	114
173.37375925831	68	114
174.602659405479	72	114
175.831559552649	76	114
177.060459699818	80	114
178.289359846987	84	114
179.518259994157	88	114
180.747160141326	92	114
181.976060288495	96	114

183.204960435665	100	114
184.433860582834	104	114
185.662760730003	108	114
186.891660877173	112	114
188.120561024342	116	114
189.349461171511	120	114
190.578361318681	124	114
191.80726146585	128	114
193.036161613019	132	114
194.265061760189	136	114
195.493961907358	140	114
196.722862054527	144	114
197.951762201696	148	114
199.180662348866	152	114
200.409562496035	156	114
201.638462643204	160	114
202.867362790374	164	114
204.096262937543	168	114
205.325163084712	172	114
206.554063231882	176	114
207.782963379051	180	114
209.01186352622	184	114
210.24076367339	188	114
211.469663820559	192	114
212.698563967728	196	114
213.927464114898	200	114
215.156364262067	204	114
216.385264409236	208	114
217.614164556406	212	114
218.843064703575	216	114
220.071964850744	220	114
221.300864997914	224	114
222.529765145083	228	114
223.758665292252	232	114

224.987565439422	236	114
226.216465586591	240	114
227.44536573376	244	114
228.67426588093	248	114
229.903166028099	252	114
5---6 段渐进锻轧带		
(c1= 1566.35851074088 c2=-1.1429271353344E-03)		
230.978455006119	0	114
232.207355153288	4	114.008203188482
233.436255300458	8	114.032888233849
234.665155447627	12	114.07416933693
235.894055594796	16	114.132162023483
237.122955741966	20	114.20698316582
238.351855889135	24	114.298751004877
239.580756036304	28	114.407585172764
240.809656183474	32	114.533606715781
242.038556330643	36	114.676938117944
243.267456477812	40	114.837703324995
244.496356624982	44	115.016027768948
245.725256772151	48	115.212038393161
246.95415691932	52	115.425863677949
248.18305706649	56	115.657633666767
249.411957213659	60	115.907479992964
250.640857360828	64	116.175535907129
251.869757507997	68	116.461936305049
253.098657655167	72	116.766817756281
254.327557802336	76	117.09031853338
255.556457949505	80	117.432578641773
256.785358096675	84	117.79373985032
258.014258243844	88	118.173945722563
259.243158391013	92	118.573341648698
260.472058538183	96	118.992074878281
261.700958685352	100	119.430294553685

262.929858832521	104	119.888151744344
264.158758979691	108	120.365799481795
265.38765912686	112	120.863392795534
266.616559274029	116	121.381088749737
267.845459421199	120	121.919046480835
269.074359568368	124	122.477427236
270.303259715537	128	123.056394412545
271.532159862707	132	123.65611359828
272.761060009876	136	124.276752612848
273.989960157045	140	124.918481550062
275.218860304215	144	125.581472821292
276.447760451384	148	126.265901199909
277.676660598553	152	126.971943866842
278.905560745723	156	127.699780457262
280.134460892892	160	128.449593108446
281.363361040061	164	129.221566508837
282.592261187231	168	130.015887948359
283.8211613344	172	130.832747370002
285.050061481569	176	131.672337422744
286.278961628739	180	132.534853515829
287.507861775908	184	133.420493874452
288.736761923077	188	134.329459596903
289.965662070247	192	135.261954713206
291.194562217416	196	136.218186245308
292.423462364585	200	137.198364268865
293.652362511755	204	138.202701976675
294.881262658924	208	139.231415743826
296.110162806093	212	140.284725194591
297.339062953263	216	141.362853271151
298.567963100432	220	142.466026304198
299.796863247601	224	143.594474085477
301.025763394771	228	144.748429942341
302.25466354194	232	145.928130814379
303.483563689109	236	147.1338173322

304.712463836279	240	148.365733898433
305.941363983448	244	149.624128771033
307.170264130617	248	150.909254148957
308.399164277787	252	152.22136626032
309.628064424956	256	153.560725453086
310.856964572125	260	154.927596288413
312.085864719294	264	156.322247636727
313.314764866464	268	157.744952776636
314.543665013633	272	159.195989496779
315.772565160802	276	160.675640200726
317.001465307972	280	162.184192015027
318.230365455141	284	163.721936900544
319.45926560231	288	165.289171767178
320.68816574948	292	166.886198592115
321.917065896649	296	168.513324541738
323.145966043818	300	170.170862097332
324.374866190988	304	171.859129184727
325.603766338157	308	173.578449308044

6--0 段渐进准备咬入

($c_1 = 318.267620373437$ $c_2 = -4.09154783220212E-03$)

325.901704365822	107.176736680163	174
327.130604512991	103.176736680163	175.692643741088
328.35950466016	99.1767366801626	177.288226023824
329.58840480733	95.1767366801626	178.790730365144
330.817304954499	91.1767366801626	180.203875034801
332.046205101668	87.1767366801626	181.531137142409
333.275105248838	83.1767366801626	182.775773983105
334.504005396007	79.1767366801626	183.940842013767
335.732905543176	75.1767366801626	185.029213773559
336.961805690346	71.1767366801626	186.043593014568
338.190705837515	67.1767366801626	186.986528268681
339.419605984684	63.1767366801626	187.860425043793
340.648506131853	59.1767366801626	188.66755681489

341.877406279023	55.1767366801626	189.410074952443
343.106306426192	51.1767366801626	190.09001771105
344.335206573361	47.1767366801626	190.709318384804
345.564106720531	43.1767366801626	191.269812721919
346.7930068677	39.1767366801626	191.773245679195
348.021907014869	35.1767366801626	192.221277586794
349.250807162039	31.1767366801626	192.615489785047
350.479707309208	27.1767366801626	192.957389787519
351.708607456377	23.1767366801626	193.248416018118
352.937507603547	19.1767366801626	193.48994216442
354.166407750716	15.1767366801626	193.68328118454
355.395307897885	11.1767366801626	193.829689000674
356.624208045055	7.17673668016261	193.930367908732
357.853108192224	3.17673668016261	193.986469730305

(当前靠模参数打印完毕)

在现阶段，该课题的成果（CARD 软件）也可以直接用于生产指导，也在很大程度上降低了生产成本。

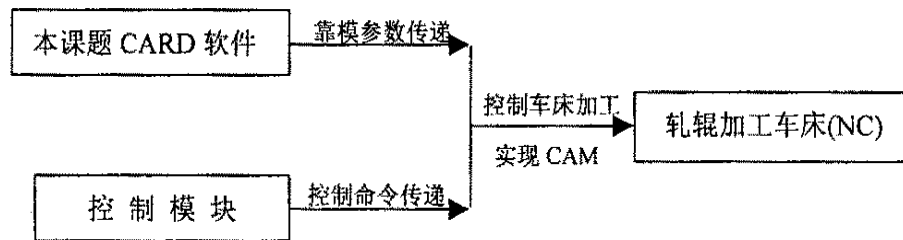


图 4.5 本课题 CARD 软件与 CAM 系统的关系

Fig.4.5 Relationship between CARD software and CAM system

5. 结论

1. 本课题采用了计算机辅助孔型设计及优化的方法,并且以孔型设计理论和最优化理论为基础,结合工程技术人员设计的实际经验和现场情况,利用计算机编程实现了周期轧机轧辊的计算机辅助孔型优化设计系统,将理论和实践有机结合起来,本课题的软件具有如下功能:1),能计算轧辊孔型的各项主要参数及靠模的具体参数,并对这些参数以人机对话的方式进行交流判断,使孔型设计达到最优效果,且孔型设计速度快、精度高,具有相当大的灵活性;2),采用了参数化绘图技术,能够根据孔型设计结果绘制出孔型图并标注出重要参数。

2. 本课题的结果应用于实际生产中发现,当工作段长度及工作段角度均达到最优时,软件计算所得参数为最优数据结果,针对不同的孔型及轧辊辊径,其参数是相对变化的。应用于生产之中,轧辊的各项加工控制指标均有较大改善,且所轧制钢管的质量也有明显提高。

3. 周期轧管机孔型的设计对钢管生产的产量、质量起着极为明显的影响,而孔型设计的本身又受到生产条件(轧制毛管的壁厚、外径、温度等)、喂料器结构及轧辊车床的限制,因此,正确的孔型设计必须结合自己的条件,根据上述原则选取合理的参数,方能达到理想的效果。

4. 本课题软件的开发和应用取得明显的实效,软件所生成的数据具有较明显的优化、精确化、系统化特点。运用到实际的靠模生产中,所加工的轧辊的参数合理,生产的品种范围扩大,能生产外径更大、壁厚更薄、单支钢管更重的品种规格,成材率提高,产量增加,说明在实际生产中运用相关的 CARD 技术不仅能节约一定的人力、物力,而且对经济效益的提高有较大的帮助。

5. 本课题的 CARD 工作作为 CAM 的前期工作,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,为未来的良性发展打下基础。

致 谢

本课题是攀钢集团成都无缝钢管公司周轧厂实际生产工艺问题的攻关。本课题的完成得到了许多老师和工程技术人员的指导和帮助。感谢我的指导老师吕立华副教授、在职辅导老师胡严政高工给予的指导，同时 2000 级研究生刘学振同学也参与了实验工作。在设计过程中，周轧分厂的许多工程技术人员和轧机主操作工也提出了很多宝贵的意见和建议，提供了很多指导与帮助。所以本课题的顺利完成，凝固了众多人的心血。

在此，我要特别向我的指导老师吕立华副教授和周轧分厂的工程技术人员和轧机主操作工以及所有给予我无私帮助的人们致以最衷心的感谢。

工程硕士：张定潮

2002 年 10 月 7 日

参考文献

- [1]. 胡灶福等.专家系统技术在角钢孔型 CAD 中的应用.华东冶金学院.1996 年
- [2]. 周伯荣等.Visual Basic (VB) 在工程 CAD 中的应用 南京机械高等专科学校.1997 年
- [3]. 刘松泉.周期轧管机的孔型设计.钢管技术.1988 年.No.1
- [4]. 谭浩强等.Visual Basic 程序设计.清华大学出版社.1996 年
- [5]. 王振魁等.周期轧管机组生产 18-8 型不锈钢管工艺优化试验.钢管.1988 年.No.2
- [6]. 鹿守理主编.计算机辅助孔型设计.冶金工业出版社.1992 年
- [7]. 李长穆等.现代钢管生产.冶金工业出版社.1998 年
- [8]. Rohrleitungsfuehrung Leuders, P. Holtkotter, T., Schmidt-Traub, H.. Transparente Planung –
Rechnergestuetzte Aufstellungsplanung und.Chemie-Technik.v 27 n 3 Mar 1998
- [9]. 孔型设计 (上册).上海人民出版社.上海市冶金工业局孔型学习班编.1989 年
- [10].孔型设计 (下册).上海科学技术出版社.上海市冶金工业局编.1989 年
- [11].王廷溥.轧钢工艺学.冶金工业出版社.1981 年
- [12]. 鹿守理.计算机辅助孔型设计.冶金工业出版社.1993 年
- [13]. 吕立华.轧制理论基础.重庆大学出版社.1991 年
- [14]. 董德元.轧制计算机辅助工程.冶金工业出版社.1991 年
- [15]. Φ ·A·达尼洛夫.钢管轧制与挤压 (俄文版).1972 年
- [16]. Werner Scheurer 等.周期轧制法中的变形过程、孔型设计的影响和双金属管的轧制.
钢管技术.1996 年.No.2
- [17].J·卡托赫.周期轧辊锻轧带的变形曲线设计.钢管译丛 (内部刊物).1987 年.No.3
- [18].Strompl Aladar,周期轧辊孔型设计的理论与实践.钢管技术.1966 年.No.2
- [19].江永进、刘松泉.周期轧管变形区轧件宽度的确定.钢管技术.1982 年.No.2
- [20].张树兵.VISUAL BASIC 6.0 入门与提高.清华大学出版社.1999 年
- [21]. Kasai, Syun-ichiro. Watanabe, Noboru. Shima, Joji. Kodama, Akiyoshi. Wada, Kenji. Nagata,
Tomio.Design system for steel grid dam manufacturing method.R&D: Research and
Development.v 43 n 1 Jan 1993
- [22]. Safyanov, A.V.. Karpenko, N.P.. Mednikov, Yu.A.. Fedorov, A.A.. Lapin, L.I..Engineering
development of the tube-rolling machine 8-16' with pilger seamless-tube mills.Stal'.n 9 Sept
1997
- [23]. Oetter, Rolf. Barry, Christopher D.. Duffy, Bryan. Welter, Joel.Blocks construction of small
ships and boats through use of developable panels.Journal of Ship Production.v 18 n 2 May

2002

- [24]. 蔡颖. CAD/CAM 原理与应用. 机械工业出版社. 1998 年
- [25]. 仲梁维. 计算机辅助设计教程. 复旦大学出版社. 1997 年
- [26]. 唐荣锡. CAD/CAM 技术. 北京航空航天大学出版社. 1994 年
- [27]. 王亚东. 利用参数化 CAD 技术实现产品的快速与多品种开发. 金属成型工艺. 2001 年. No.3
- [28]. Sergeev, V.V. Economically advisable limits of application of different methods for manufacturing the hot deformed tubes and pipes. *Stal'*. n 11 Nov 1996 p 68-71
- [29]. Ryabushkin, V.I. Author Affiliation: AOOT 'Chelyabinskij Truboprokatnyj Zavod'. The use of pilger blanks for production of the cold-worked tubes of large diameter. *Stal'*. n 9 Sept 1997
- [30]. 刘继英等. 焊管轧辊 CAD/CAM 技术的最新进展. 焊管. 1996 年. No.5
- [31]. 杜厚益. 新型周期式冷轧管机. 钢管. 1998 年. No.4
- [32]. 杜厚益. 俄罗斯 $\Phi 426\text{mm}$ 周期轧管机组的技术改造. 钢管. 1999 年. No.4
- [33]. 郑龙弟等. 孔型设计的优化及实践. 南方金属. 2000 年. No.6
- [34]. 李天健. 用户图形界面 (GUI) 开发的探索. 计算机应用研究. 1995 年. No.4
- [35]. 王存来等. VB 开发大型数据库应用系统. 计算机工程与应用. 1999 年. No.7
- [36]. 陈健等. 论 VB 及其编程. 松辽学刊(自然科学版). 1999 年. No.4
- [37]. Khaustov, G.I. Plyatskovskii, O.A.. Khokhlov-Nekrasov, O.G. Karpenko, N.P.. Saf'yanov, A.V. .Large pipes for chemical plants and thermal power stations. *Steel in the USSR* .v 20 n 1 Jan 1990
- [38]. Shulezhko, A.F. Kalibatovskii, S.V. Yakubovich, Yu. V. Furman, Yu. S.. Yakshin, V.T.. Improved teeming of steel for drill-pipe production. *Metallurgist (English Translation of Metallurg)*.v 33 n 5-6 Jan 1990
- [39]. 许云祥. 钢管生产. 冶金工业出版社. 1996 年
- [40]. Karpenko, N.P.. Lapin, L.L. Ignat'ev, V.V.. Production of the wear-resistant pipes of large diameter for transmission of bulk materials. *Stal'*. n 9 Sept 1997
- [41]. Zyryanov, M.P.. Serebryakov, V.P.. The choice of the mold profile for faced ingot casting. *Stal'*. n 9 Sept 1997
- [42]. D Chernykh, V.K.. Pisareva, L.A.. Pikalova, K.M.. Rodikov, V.A. Author Affiliation: Taganrog Metallurgical Plant. Heat treatment of drill pipe of strength group. *Metallurgist (English Translation of Metallurg)*.v 33 n 11-12 Jul 1990
- [43]. Ukai, Shigeharu. Yoshitake, Tsunemitsu. Mizuta, Syunji. Matsudaira, Yukihiko. Hagi, Shigeki. Kobayashi, Toshimi. Preliminary tube manufacturing of oxide dispersion strengthened ferritic steels with recrystallized structure. *Journal of Nuclear Science and Technology*.v 36 n 8

1999

- [44].吴龙翔等.工字钢孔型设计专家系统的研究.轧钢.1995年.No.3
- [45].李志刚.模具 CAD/CAM.机械工业出版社.1994年
- [46]. Dolinin, D.P., Saf'yanov, A.V., Karpenko, N.P., Mednikov, Yu.A., Lapin, L.I. .Conversion of the process technology for production of the bimetallic tubes for a-plants.Stal'.n 9 Sept 1997
- [47]. Shtub, Avraham. Versano, Ronen .Estimating the cost of steel pipe bending, a comparison between neural networks and regression analysis.International Journal of Production Economics.v 62 n 3 1999
- [48]. Del, G.D., Eliseev, V.V., Erbeigel, S.A., Pismenny, E.I., Vulman, S.A..CAD system for the elastic-medium shaping of pipe-line parts.Journal of Materials Processing Technology.v 35 n 2 Oct 1992
- [49]. Kiuchi, Manabu .Recent development of roll-forming in Japan.International Journal of Machine Tools & Manufacture.v 29 n 1 1989
- [50].卢于速.热轧钢管生产问答.冶金出版社.1991年
- [51].轧管机械手册（一）（机密内部材料）.成都无缝钢管厂.1984年
- [52].张才安.无缝钢管生产技术.重庆大学出版社.1997年

附录 A 部分函数调用及绘图源代码

```
Private Sub cmddraw_Click()
```

```
Picture1.Scale (-10, 1167)-(1335, -10)
```

```
Picture1.Line (0, 0)-(0, 800)
```

```
Picture1.Line (0, 0)-(1500, 0)
```

```
uksa0 = 35#
```

```
uks01 = 15#
```

```
uks12 = 40# '加工前孔型[a0]段、[01]段、[12]段的角度设定为常数
```

```
fuzi VScroll1.Value '提取记录数据
```

```
Gam00 = gam0 '点 6 的导角
```

```
Di0 = Dw0 + Sp - Dp '新轧辊直径+辊缝-精轧带孔型直径=精轧带辊径
```

```
DI = dw + Sp - Dp '车削后轧辊直径+辊缝-精轧带孔型直径=重车后辊径
```

```
uks60 = uksa0 + UK6a '加工前[60]段角度,[a0]段在前面已经定为常数
```

```
uks03 = 360 - (AWS + uksa0) '加工前[03]段角度
```

```
uks23 = uks03 - uks12 - uks01 '[12][01]段角度在前面已经定为常数
```

```
UK34 = UKS34 '车削后终轧带
```

```
UK45 = UKS45 '车削后精轧带
```

```
UK56 = (UKs56 + UK6a) - UK6a '车削后锻轧带,其中[6a]段车削前后不变
```

```
Aw = AWS '车削后工作带角度
```

```
lws = 360 - AWS '车削前空轧带角度
```

```
lw = 360 - Aw '车削后空轧带角度(变小)
```

```
UK01 = uks01
```

```
UK12 = uks12
```

```
UK23 = uks23
```

```
UKA0 = uksa0
```

```
UK60 = uks60 '[60]段包括了不变的[6a]段
```

```

Mt1 = Mt 'Mt 为锻轧带孔型开口深度
NNT1 Gam00, Di0, Mt1, NT1 '用函数 NNT1()计算出 NT1
TANNT NT1, DI, Mt1, TANGNT '用函数 TANNT()计算出 TANGNT
La = Aw * DI / (2 * 180 / 3.141592654) '车削后工作带长度

LL UK56, DI, L56 '锻轧带长度
LL UK34, DI, L34 '终轧带长度
LL UK23, DI, L23 '空轧[23]段长度
LL UK60, DI, L60 '[60]段长度
LL UK12, DI, L12 '[12]段长度
Picture1.DrawWidth = 1 '绘图线宽为 1
Picture1.DrawStyle = 6 '绘图线型为 6(内收实线)
'开始绘图
'0-----1
LL UK01, DI, L01
y = Lt + 0.5 * Dp
Picture1.DrawStyle = 2
'Printer.Print "0----1"
For x = 0 To L01 Step 4
'Printer.Print x / (DI * 3.1415 / 360), x, y
Picture1.PSet (x, y), QBColor(1)
Xx = (0.5 * DI + 0.5 * Dp - y) * Sin(2 * x / DI)
Yy = (0.5 * DI + 0.5 * Dp - y) * Cos(2 * x / DI)
Picture1.PSet (Xx + 400, Yy + 600), QBColor(1)
Next
Picture1.DrawStyle = 6
Picture1.Line (L01, 0)-(L01, y)
Picture1.Line (400, 600)-(Xx + 400, Yy + 600)
'1-----2
B = Lt - Mt
LL UKA0, DI, La0
AA La0, B, TANGNT, A
AALF B, A, ALF
BBTA ALF, TANGNT, BTA

```

```

cc1 B, BTA, C1
cc2 BTA, A, C2
FNDCP C1, C2, La0, y
At = Lt - y
B = Lt - At
tn = -Kt / L34
TANGa2 = -tn + (2 * (Kt - At) / L23)
AA L12, B, -TANGa2, A
AALF B, A, ALF
BBTA ALF, -TANGa2, BTA
cc1 B, BTA, C1
cc2 BTA, A, C2

Llh = L01
Picture1.DrawStyle = 2
'Printer.Print "1---2", "c1="; C1, "c2="; C2
For x = 0 To L12 Step 4
FNDCP C1, C2, x, y
y = Lt - y + 0.5 * Dp
Picture1.PSet (x + Llh, y), QBColor(11)
'Printer.Print (x + Llh) / (DI * 3.1415 / 360), x, y
Xx = (0.5 * DI + 0.5 * Dp - y) * Sin(2 * (x + Llh) / DI)
Yy = (0.5 * DI + 0.5 * Dp - y) * Cos(2 * (x + Llh) / DI)
Picture1.PSet (Xx + 400, Yy + 600), QBColor(11)
Next
Picture1.DrawStyle = 6
Picture1.Line (Llh + L12, 0)-(Llh + L12, y)
Picture1.Line (400, 600)-(Xx + 400, Yy + 600)
'2-----3
B = 2 * (Kt - At) / L23 + Kt / L34
c = (-Kt / L34 - (Kt - At) / L23) / L23
A = At
Llh = Llh + L12
Picture1.DrawStyle = 2

```

```
'Printer.Print "2---3", "B="; B, "c="; c
For x = 0 To L23 Step 4
y = (c * x + B) * x + A + 0.5 * Dp
Picture1.PSet (Llh + x, y), QBColor(12)
'Printer.Print (llh + x) / (DI * 3.1415 / 360), x, y
Xx = (0.5 * DI + 0.5 * Dp - y) * Sin(2 * (x + Llh) / DI)
Yy = (0.5 * DI + 0.5 * Dp - y) * Cos(2 * (x + Llh) / DI)
Picture1.PSet (Xx + 400, Yy + 600), QBColor(12)
Next
Picture1.DrawStyle = 6
D3R = y
Picture1.Line (Llh + L23, 0)-(Llh + L23, y)
Picture1.Line (400, 600)-(Xx + 400, Yy + 600)
'3-----4
Llh = Llh + L23
Picture1.DrawStyle = 2
'Printer.Print "3--4", "Kt/L34="; Kt / L34
or x = 0 To L34 Step 4
y = -Kt * x / L34 + D3R
Picture1.PSet (Llh + x, y), QBColor(10)
'Printer.Print (llh + x) / (DI * 3.1415 / 360), x, y
Xx = (0.5 * DI + 0.5 * Dp - y) * Sin(2 * (x + Llh) / DI)
Yy = (0.5 * DI + 0.5 * Dp - y) * Cos(2 * (x + Llh) / DI)
Picture1.PSet (Xx + 400, Yy + 600), QBColor(10)
Next
Picture1.DrawStyle = 6
Picture1.Line (Llh + L34, 0)-(Llh + L34, y)
Picture1.Line (400, 600)-(Xx + 400, Yy + 600)
```

附录 B 攻读工程硕士期间取得的科研成果

1. 2000 年担任《二厂生产、质量、包装计算机网络系统》主研人员，荣获公司科研成果贰等奖；
2. 2000 年担任《仿形轧辊车床改造》主研人员，荣获公司科研成果叁等奖；
3. 2000 年担任《加大辊径，降低轧辊消耗，提高质量》主研人员，荣获公司科研成果叁等奖；
4. 2000 年担任《定径机孔型优化》主研人员，荣获公司科研成果叁等奖；
5. 2000 年担任《 $\phi 245$ 品种开发（216 机组）》主研人员，荣获公司科研成果叁等奖；
6. 2000 年担任《工模具系列优化》主研人员，荣获公司科研成果叁等奖；
7. 2000 年担任《水压机试压头改造》主研人员，荣获公司科研成果叁等奖；
8. 2000 年担任《改进冲孔模，满足生产需要，提高冲模使用寿命》主研人员，荣获公司科研成果叁等奖；
9. 2002 年荣获“2001 年度公司优秀专业人员称号”。

附录 C 使用单位的评价

使用单位对该项目的评价

冲模作为周期轧管厂的主要工具之一，以前的消耗量是很大的，新冲模使用 2-3 个班后即出现龟裂，造成脱模困难，生产工人只有撒石墨粉维持生产，使生产工人劳动强度增大，污染环境，冲模最多使用 3-5 天即因断裂而不能使用，造成更换工具影响生产。使工具成本居高不下。

该课题针对生产实际这一具体问题，进行攻关，通过一年多的工作，取得显著成效。现在冲模的使用寿命平均在 10 天左右，最高的记录达到连续使用 28 天，使得冲模的消耗显著降低，该项目正在申报公司科技成果。

使用单位负责人签字：



2002.9.30