

高等学校教学用书

轧辊孔型设计

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

轧辊孔型设计

[苏]B.K.斯米尔诺夫 B.A.希洛夫

И.В.伊纳托维奇 著

北京科技大学 鹿守理 黎景全 译

冶金工业出版社

(京)新登字036号

高等学校教学用书

轧辊孔型设计

[苏] B.K. 斯米尔诺夫 B.A. 希洛夫 著
Ю.Б. 伊纳托维奇

北京科技大学 鹿守理 黎景全 译

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 11 1/8 字数 296 千字

1991年11月第一版 1991年11月第一次印刷

印数00,001~3,500册

ISBN 7-5024-0902-5

TD·131 (课) 定价2.90元

译者序

本书系根据苏联冶金出版社 (Издательство «Металлургия») 一九八七年出版的В.К.斯米尔诺夫(Смирнов)、В.А.希洛夫(Шилов)和Ю. В.伊纳托维奇(Инатович)合著的《轧辊孔型设计》(Калибровка прокатных валков)一书译出的。原书经苏联高等及中等专业教育部审定为高等院校《金属压力加工》专业的教科书。

书中系统介绍了初轧、开坯、简单断面和复杂断面型钢的轧辊孔型设计方法。本书的特点是采用系统处理方法进行孔型设计,把孔型设计这个复杂过程看作是一个包括金属变形数学模型和变形成力学条件在内的系统。

本书介绍的孔型设计与过去书中的孔型设计方法有很大的不同。它特别介绍了用总功率最小变分原理来计算孔型轧制时的变形和力能参数研究中取得的成果和计算方法,同时也介绍了用数学统计方法对苏联许多工厂现有孔型设计进行研究的结果和以此为基础的孔型设计方法。书中给出了合理孔型设计的详细算法和举例,并给出了计算程序模块框图,同时也给出了较详细的图表,既便于借助计算机进行孔型设计,也便于借助这些图表用手算进行孔型设计。

我们认为,在科学技术飞快进步的今天,把它介绍给我国冶金高等院校的广大师生,将有助于更新和充实《轧辊孔型设计》课程的内容,也可以把它作为《轧辊孔型设计》课程的教学参考书。同时,对在冶金企业中从事轧钢生产的广大工程技术人员采用科学方法设计孔型,提高轧辊孔型设计的合理性也会有所裨益。

本书由北京科技大学黎景全(第一章和第二章)和鹿守理(第三章和第四章)合译。在翻译过程中,译者对原书中的错误

14P 77/07

都做了订正。由于译者水平所限，译文中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评和指正。

译者

一九九〇年十月于北京

中文版序言

建立新的生产工艺过程和改进现行的生产工艺过程，以提高生产效益是工程技术工作者的迫切任务。在轧钢生产中解决这一任务将与建立科学的轧辊孔型设计的计算方法直接相联系。带孔型的轧辊用在初轧机和开坯机上可生产初轧坯和钢坯，用在轨梁轧机、大型型钢轧机、中型型钢轧机、小型型钢轧机以及线材轧机上可生产型材。

现代轧机的特点是产量大及轧制速度高，例如，初轧机和连续式开坯机的年生产能力可达五、六百万吨，新型线材轧机的轧制速度已提高到了 $80\sim 100\text{m/s}$ 以上。在这种条件下，经济效益可以通过提高轧辊孔型设计计算的精确度和制定初轧坯、钢坯和型材的最佳轧制速度来获得。

作者为自己提出了叙述建立在塑性理论、统计研究方法和电子计算技术基础上进行轧辊孔型设计的计算方法，以便尽可能缩小目前存在于金属压力加工原理（包括轧制原理）和《轧辊孔型设计》课程之间的脱节现象。

本教材与其它类似著作的差别在于它不仅研究轧件和孔型尺寸的计算，同时还研究轧制力能参数的计算。在制定合理轧辊孔型设计时，将轧件在孔型中的咬入条件和稳定性条件、轧制速度和温度制度、轧机主机列设备强度、主传动电机负荷及其它方面的限制作为一个相当完整的系统加以考虑。这种综合的系统处理方法可以有效地改进现行轧制制度和轧辊孔型设计，计算和设计新的合理轧制制度和轧辊孔型，并按主机列设备等强度设计轧机，按需要的功率确定电机，从而建造耗费低的轧机。

以建立轧制过程的数学模型作为基础来制定计算轧辊孔型设计的算法是本教材的另一特点，这可使学生和工程师在电子计算机上独立编制轧辊孔型设计的计算程序和模拟型钢轧制过程。

本教材的规定范围不包括轧制钢轨、角钢、周期断面和专用特殊断面型材的轧辊孔型设计的计算方法。这些方法学生可以从其它教材中了解。

在研究和叙述轧辊孔型设计问题时，作者是以 А.И.采利科夫(Целиков)、А.П.切克马廖夫(Чекмарёв)、П.И.波卢欣(Полухин)、А.Ф.戈洛温(Головин)、И.Я. 塔尔诺夫斯基(Тарновский)、В.С.斯米尔诺夫(Смирнов)、В.Н.维德林(Выдрин)、В.А.佳古诺夫(Тягунов)、М.С.穆季耶夫(Мутьев)、В.М.克利缅科(Клименко)、Д.И.斯塔尔琴科(Старченко)、Б.П.巴赫季诺夫(Бахтинов)、М.М.施捷尔诺夫(Штернов)、Н.В.利托夫琴科(Литовченко)、Б.Б.季奥米多夫(Диомидов)和其他学者的著作为依据的，他们对在孔型轧制变形和力能参数计算方法的发展及轧辊孔型设计的实践方面都有重要贡献。

这一部教材是根据作者一九七〇年以来，给以 С.И.基洛夫(Киров)命名的乌拉尔工学院金属压力加工专业大学生讲《轧辊孔型设计》课的讲稿编写的。

作者对鹿守理和黎景全将本书译成中文所承担的巨大工作深表感激。

В.К.斯米尔诺夫

В.А.希洛夫

Ю.В.依纳托维奇

一九九〇年十二月三日

目 录

中文版序言	V
1 轧辊孔型设计的基本原理	1
1.1 孔型和孔型设计的概念	1
1.2 孔型的形式及分类	2
1.3 孔型的构成	5
1.4 轧辊孔型设计的要求	8
1.5 轧辊孔型设计系统工程	11
1.6 轧制中的金属温度确定	14
2 初轧机轧辊孔型设计	16
2.1 压下规程的计算	16
2.2 孔型尺寸、孔型在轧辊辊身上的配置方式和绘制轧辊草 图	30
2.3 压下规程的计算方法	32
2.4 压下规程的计算举例	34
2.5 轧制速度制度的计算	43
2.6 轧制动力制度的计算	51
2.7 轧制的速度制度和动力制度的计算方法	56
2.8 轧制的速度制度和动力制度的计算举例	58
2.9 初轧机轧制板坯的轧制制度的计算特点	67
2.10 初轧机强化轧制的措施, 双锭轧制	68
3 轧制简单断面型钢的轧辊孔型设计	70
3.1 简单断面型钢的品种	70
3.2 各孔型系统的特点	71
3.3 孔型的几何关系	79
3.4 金属变形和轧制力能参数的计算方法特点	85
3.5 以全功率极小化变分原理为基础的变形和力能参数计算 方法	89
3.6 在孔型中轧制时的限制	106

3.7	合理轧辊孔型设计的计算方法	120
3.8	连续式轧机和顺列式轧机轧辊孔型设计计算的算法及举例	177
3.9	横列式轧机的合理轧辊孔型设计计算	207
3.10	轧机轧辊孔型设计的分析程序和设计程序	226
4	轧制异型断面型钢的轧辊孔型设计	232
4.1	轧制工字钢的轧辊孔型设计	232
4.2	轧制槽钢的轧辊孔型设计	282
4.3	轧制角钢的轧辊孔型设计	313
	附录1	331
	附录2	332
	参考书目	348

1 轧辊孔型设计的基本原理

1.1 孔型和孔型设计的概念

型材是在带有所谓轧槽的环形凹槽或凸缘的轧辊上轧制出来的。由两个或多个轧辊的轧槽所构成的断面轮廓叫做孔型（图1.1）。孔型可以仅由凹槽（见图1.1, a）或凸缘（见图1.1, b）或者

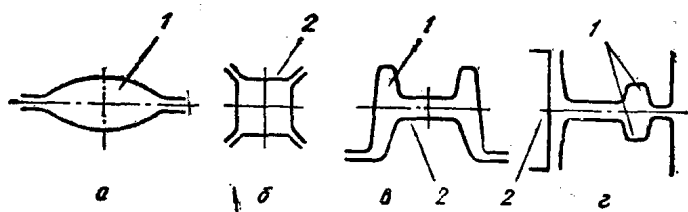


图 1.1 构成孔型的轧槽形式

a—凹槽 1, b—凸缘 2, c—凹槽 1 和凸缘 2, d—凹槽 1 和凸缘 2

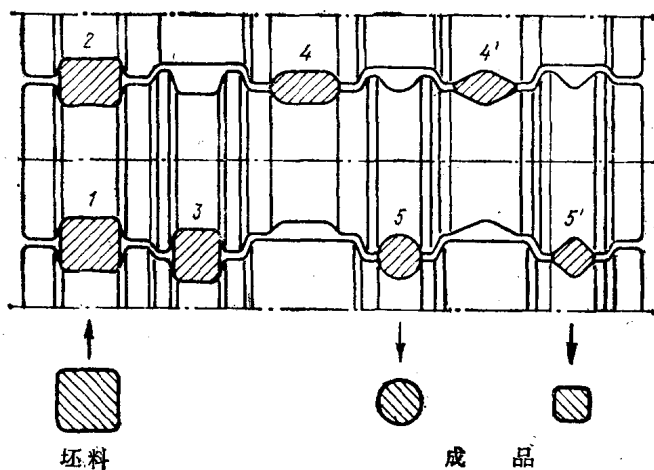


图 1.2 三辊工作机座孔型

同时由凹槽和凸缘（图1.1, σ, τ ）构成。

配置在轧机轧辊上并能保证获得规定尺寸型材的孔型序列叫做轧辊孔型设计（图1.2）。根据轧机形式的不同，轧件可在每一个孔型中轧制一道或数道，最后将钢坯轧成断面合乎要求的轧件。孔型设计的概念中也包括确定孔型形状、孔型尺寸以及孔型在轧辊上的配置（即轧辊孔型设计的设计过程）。

1.2 孔型的形式及分类

孔型可分为二辊孔型和多辊孔型，而且某些形状相同的孔型既可以由两个、也可以由多个轧辊形成。二辊孔型、三辊孔型和四辊孔型已经应用在轧钢生产实践中（图1.3）。

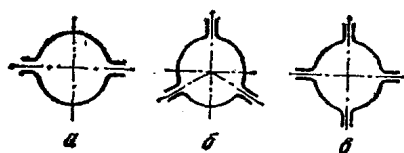


图 1.3 圆孔型

a—二辊孔型；b—三辊孔型；c—四辊孔型

本教材主要讨论二辊孔型的轧制情况。

孔型可按形状、在轧辊上的配置及用途进行分类。

孔型按形状可分为两大类（图1.4）：简单断面孔型（箱形孔型或矩形孔型、菱形孔型、六角孔型、椭圆孔型、圆孔型、方孔型、六边形孔型）和异型断面孔型（工字形孔型、槽形孔型、角形孔型、轨形孔型、丁字形孔型等等）。

孔型根据在轧辊上的配置可分为开口孔型、闭口孔型、半闭口孔型和对角孔型（图1.5）。开口孔型的水平辊缝大致位于孔型高度中间，而闭口孔型的辊缝则位于孔型界限之外。半闭口孔型的辊缝靠近孔型的底部或顶角。对角孔型的辊缝位于孔型对角线，例如，左边的辊缝在孔型下部，右边的辊缝在孔型上部。

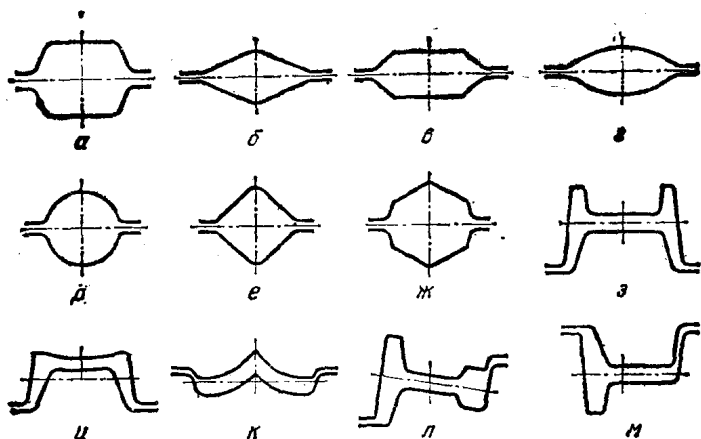


图 1.4 按形状分类的孔型

简单断面孔型：а—箱形孔型，б—菱形孔型，в—六角形孔型，

г—椭圆孔型，д—圆孔型，е—方孔型，ж—六边形孔型

异型断面孔型：з—工字形孔型，и—槽形孔型，к—角形孔型，

л—轨形孔型，м—丁字形孔型

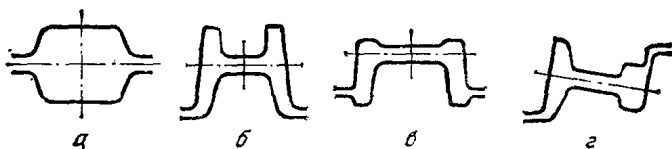


图 1.5 按孔型在工作辊上的配置分类

а—开口孔型，б—闭口孔型，в—半闭口孔型，г—对角孔型

孔型按用途可分为开坯孔型、粗轧孔型、精轧前孔型和精轧孔型。开坯孔型是用来减小钢锭、大方坯或钢坯的横断面面积，以便进一步将它们轧成合乎要求的型材的。开坯孔型通常使用箱形孔型。箱形孔型还用在初轧机和钢坯轧机上，型钢轧机的前几道次也可用箱形孔型。

粗轧孔型用于异型钢材（例如，工字钢、槽钢等等）初成型的轧制。在型钢轧机上，粗轧孔型布置在开坯孔型之后。在轧制简单断面钢材（圆钢、方钢、六边形钢）时，那些为进一步减小轧件横截面面积的简单断面孔型（见图1.4， $a-e$ ）也属于粗轧孔型，而且这些孔型按照保证最大延伸的顺序布置，即作为延伸孔型使用。粗轧孔型多用在轧机的粗轧机组和中间机组上。

在轧制异型钢材时，精轧前孔型在形状和尺寸方面，与精轧孔型区别不大。但如果在二辊精轧孔型中轧制的是简单断面钢材（圆钢、方钢），那么精轧前孔型就是另外一种形状了，例如，轧制圆钢时，精轧前孔型为椭圆孔型，轧制方钢时为菱形或椭圆形孔型。

精轧孔型是用来对要求的型材进行最终轧制的。然而，根据轧制条件，在精轧孔型中并不一定总能轧出符合苏联国家标准ГОСТ和技术条件ТУ所要求的成品型材。在二辊孔型轧制槽钢或工字钢时，两条腿的外侧面是不平行的。在这种情况下，需要进一步在辊式矫直机上矫直才能保证得到两条腿平行的型材。

精轧（成品）孔型尺寸不仅要考虑成品断面尺寸，而且要考虑金属热膨胀、轧辊磨损和断面尺寸公差。因此，若断面的名义尺寸用 C （方钢的边长、圆钢的直径等等）表示，则可按下式进行计算：

$$C = [C_x - (0.6 \sim 0.8) \Delta C] (1 + 0.12 \times 10^{-4} t) \quad (1.1)$$

式中 C_x ——断面的冷尺寸；

ΔC ——断面尺寸的负公差（按苏联国家标准ГОСТ或技术条件ТУ确定）；

t ——最后一道次金属的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；在不知道终轧温度情况下，可取下列数值 $(1 + 0.12 \times 10^{-4} t) \approx 1.013 \sim 1.011$ 。

由于负公差造成断面尺寸的减少往往可由热膨胀所引起的尺寸增大来补偿，因此，在某些情况下，可以使精轧孔型的原始尺寸等于冷断面尺寸。精轧孔型一般布置在轧机的最后一架上。

1.3 孔型的构成

轧辊辊缝 在轧制力作用下，轧辊辊缝距离会由于轧机机座内各连接件之间的间隙而增大 Δ_s ，并随着各部件（牌坊、压下螺丝和螺母、安全装置和轴承座、工作轧辊）的弹性变形而增加 Δ_v 。此外，在轧制过程中，轧辊工作表面逐渐磨损 Δ_{us} 。

在孔型图上，通常标出的是轧制过程中与轧件尺寸相对应的高度尺寸。为了得到这些尺寸，轧制前的辊缝必须接近 $\Delta_s + \Delta_v + \Delta_{us}$ 值，因此，在孔型图上标出的轧辊辊缝 S （图1.6）应当满足 $S \geq \Delta_s + \Delta_v + \Delta_{us}$ 的条件。

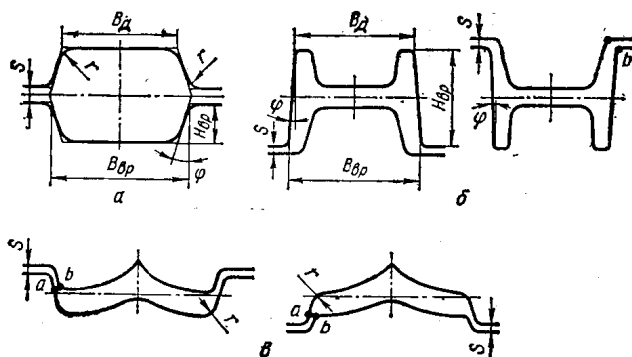


图 1.6 孔型的侧壁斜度和锁口

a—箱形孔型；b—闭口工字形孔型；c—闭口角形孔型

由于辊缝的存在，孔型高度就可以借助压下装置来改变，这在调整工作机座轧辊时是必不可少的。现代的工作机座内装有滚动轴承或液体摩擦轴承以及完善的平衡装置的工作辊。实际上，这种机座的各连接件之间的间隙 $\Delta_s \approx 0$ 。

在《轧制与拉拔车间设备》教程中，对工作机座弹性变形的计算进行了详细地研究。在工艺计算中，弹性变形可根据轧制力 P 和工作机座的刚度系数 K_* 按公式 $\Delta_v = P/K_*$ 来初步确定。轧制力的计算公式将在后面介绍。刚度系数建议按А.П. 切克马廖

表 1.1 轧辊辊缝S

轧 机	孔 型	在下列轴承时的辊缝S, mm	
		胶木轴承	滚动轴承或液体摩擦轴承
连续式钢坯轧机	粗轧孔型	$(0.015 \sim 0.020)D$	$(0.015 \sim 0.020)D$
	精轧前和精轧孔型	$(0.010 \sim 0.015)D$	$(0.008 \sim 0.012)D$
大型型钢轧机	开坯孔型	$(0.025 \sim 0.030)D$	$(0.015 \sim 0.025)D$
	粗轧孔型	$(0.015 \sim 0.020)D$	$(0.010 \sim 0.014)D$
中型型钢轧机	精轧前和精轧孔型	$(0.008 \sim 0.010)D$	$(0.006 \sim 0.007)D$
	开坯孔型	$(0.010 \sim 0.018)D$	$(0.008 \sim 0.016)D$
	粗轧孔型	$(0.010 \sim 0.015)D$	$(0.008 \sim 0.012)D$
小型型钢轧机和线材轧机	精轧前和精轧孔型	$(0.006 \sim 0.008)D$	$(0.005 \sim 0.007)D$
	开坯孔型	$(0.010 \sim 0.013)D$	$(0.006 \sim 0.008)D$
	粗轧孔型	$(0.005 \sim 0.008)D$	$(0.003 \sim 0.005)D$
	精轧前和精轧孔型	$(0.005 \sim 0.008)D$	$(0.002 \sim 0.003)D$

夫的数据来取。

精轧孔型的最大允许磨损受所轧制的断面公差限制，该公差由苏联国家标准ГОСТ和技术条件ТУ确定。

辊缝大小取决于轧机型式（连续式钢坯轧机、大型型钢轧机、中型型钢轧机、小型型钢轧机或线材轧机）、孔型用途（开坯孔型、粗轧孔型、精轧前孔型或精轧孔型）、轴承种类（胶木轴承、滚动轴承或液体摩擦轴承）和轧辊直径等。实际上，辊缝建议按表1.1所列的B.B.季奥米多夫和H.B.利托夫琴科的数据选取。在许多情况下，对于开坯孔型和粗轧孔型，辊缝可以选取大于表1.1的数值。在轧制的型材品种较多的情况下，要求能使用改变辊缝的方法来减小轧件横截面面积。在这种情况下，轧辊的切槽深度小了，因而提高了轧辊强度，同时也改善了轧辊的咬入条件。初轧机的轧辊孔型尺寸是在辊缝分别为10、15或20mm的情况下标出的。

孔型侧壁斜度 孔型侧壁倾角的正切叫做孔型侧壁斜度，它用百分数来表示（见图1.6, α , δ ）:

此外，尖棱冷却很快，结果造成该处金属的塑性降低，因而有可能出现裂纹。在菱形孔型和方形孔型中，增大辊环圆角半径可避免孔型中的过充满。

孔型中性线 孔型中性线通常可认为是这样的一条水平线，相对于这条线上、下轧辊对轧件的作用相同，因而保证了从轧辊出来的轧件是平直的。在简单断面孔型（圆孔型、方孔型、椭圆孔型等等）中，孔型中性线与水平对称轴线重合（见图1.8, a）。在轧制复杂断面型材（槽钢、工字钢等）时，孔型中性线可通过轧件横截面重心求得（见图1.8, b）。

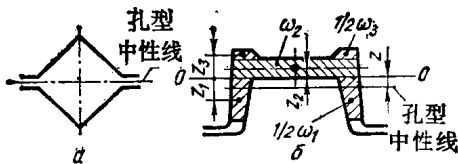


图 1.8 孔型中性线在孔型中的位置

a—方孔型；b—槽形孔型

断面重心可用静力矩确定。例如，在槽钢粗轧孔型轧制时，重心坐标按下式计算：

$$z = -\frac{\omega_1 z_1 + \omega_2 z_2 + \omega_3 z_3}{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3} \quad (1.2)$$

式中 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ——断面各部分面积；

z_1, z_2, z_3 ——计算起点（OQ线）到断面各对应部分面积重心的距离。

1.4 轧辊孔型设计的要求

工作机座和轧机的尺寸 型钢轧机通常由数台工作机座组成。工作机座的轧辊是通过人字齿轮座的轴、接轴和轴套传动的（图1.9）。人字齿轮轴线之间的距离 D_m 是决定工作机座尺寸的主要数据，这个距离在工作机座运转过程中保持恒定不变。而工