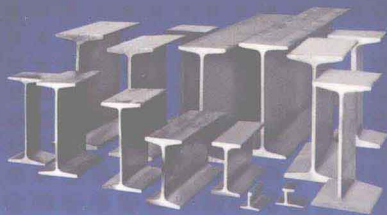


XINGGANG KONGXING SHEJI

型钢孔型设计

徐 春 王全胜 张 弛 编著

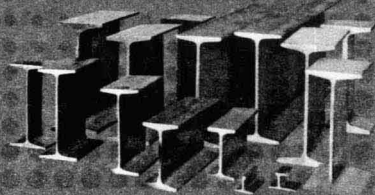


化学工业出版社

XINGGANG KONGXING SHEJI

型钢孔型设计

徐 春 王全胜 张 弛 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统介绍了孔型设计的基本理论,详细阐述了延伸孔型、简单断面型钢、复杂断面型钢和连轧孔型的设计过程及计算方法,同时根据国内外型钢生产的最新进展,介绍了切分轧制和无孔型轧制、计算机辅助孔型设计等方面内容,反映了国内外型钢孔型设计最新进展和方法,书中的示例可帮助读者掌握各种设计方法。

本书可供从事轧钢生产、设计和研究部门的工程技术人员参考,也可作为金属成形与控制专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

型钢孔型设计/徐春,王全胜,张弛编著. —北京:化学工业出版社,2008.10

ISBN 978-7-122-03547-9

I. 型… II. ①徐…②王…③张… III. 型钢-孔型(金属压力加工)-设计 IV. TG332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 126937 号

责任编辑:邢 涛

文字编辑:冯国庆

责任校对:吴 静

装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市彩桥印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张11¼ 字数300千字 2009年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

型钢是钢铁产品的主要品种之一，广泛用于农业、交通运输业、制造业和建筑业等行业。型钢孔型设计的好坏直接影响型钢产品的质量和成本，关系到轧机产量和工人的操作条件。因此孔型设计一直被各钢铁厂的轧钢技术人员所重视。但是孔型设计的经验性较强，特别是复杂断面型钢，另外随着国内落后的横列式轧机的淘汰，新建高产优质的连轧机，以及伴随计算机技术的不断进步和发展，利用计算机进行孔型的优化设计应用也越来越多。本书在参考国内外大量有关资料的基础上，对目前国内外的型钢孔型设计经验进行了总结，反映了国内外的最新设计进展和理论方法。

本书除介绍了传统的孔型设计外，还介绍了无切分轧制和无孔型轧制、计算机辅助孔型设计等国内外最新的孔型设计方法，在设计方法上，除叙述经验系数设计方法外，还介绍了利用计算机进行孔型的优化设计所需的理论公式方法，如乌萨托夫斯基和斯米尔诺夫理论公式方法，在复杂断面型钢中除介绍了传统的二辊轧制工字钢、槽钢和球扁钢孔型设计外，还重点介绍了近年来新建的万能轧机轧制 H 型钢、钢轨的设计方法。

全书共分 8 章，第 1 章～第 4 章、第 6 章由上海应用技术学院徐春编写，第 5 章由唐山市盛达钢铁有限公司王全胜编写，第 7 章和第 8 章由重庆工学院张弛编写。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，请读者批评指正。

徐 春

2008 年 6 月

目 录

第 1 章 孔型设计理论基础	1
1.1 孔型设计的内容与要求	1
1.2 孔型设计的基本原则与设计程序	2
1.2.1 孔型设计的基本原则	2
1.2.2 孔型设计的程序	3
1.2.3 坯料尺寸选择	3
1.2.4 轧制道次确定方法	6
1.2.5 各道次变形量分配	8
1.2.6 最大压下量	11
1.3 孔型形状及分类	13
1.3.1 孔型	13
1.3.2 孔型分类	13
1.3.3 孔型形状	15
1.4 孔型组成	16
1.4.1 辊缝 S	17
1.4.2 孔型侧壁斜度	18
1.4.3 圆角	20
1.4.4 锁口 t	21
1.4.5 槽底凸度 f	22
1.4.6 孔型的辊环	22
1.5 孔型在轧辊上的配置	22
1.5.1 轧辊直径	22
1.5.2 上压力与下压力	29
1.5.3 孔型中性线	30
1.5.4 孔型在轧辊上的配置	34

1.6 成品孔设计	37
第2章 延伸孔型设计	39
2.1 箱形孔型系统	40
2.1.1 主要优缺点	40
2.1.2 箱形孔型中变形特点	41
2.1.3 常见箱形孔型系统组成方案	42
2.1.4 箱形孔型变形系数	44
2.1.5 箱形孔型构成	45
2.2 菱-方孔型系统	48
2.2.1 菱-方孔型系统主要优缺点	49
2.2.2 菱-方孔型系统使用范围	49
2.2.3 菱-方孔型系统变形系数	49
2.2.4 变形特点	49
2.2.5 孔型构成	50
2.3 菱-菱孔型系统	51
2.3.1 菱-菱孔型系统主要优缺点	51
2.3.2 菱-菱孔型系统使用范围	52
2.4 椭圆-方孔型系统	52
2.4.1 椭圆-方孔型系统优缺点	52
2.4.2 孔型系统使用范围	52
2.4.3 椭圆-方孔型系统变形系数	53
2.4.4 变形特点	53
2.4.5 椭圆-方孔型系统构成	54
2.5 六角-方孔型系统	55
2.5.1 六角-方孔型系统主要优点	55
2.5.2 六角-方孔型系统使用范围	56
2.5.3 六角-方孔型系统变形系数	56
2.5.4 变形特点	56
2.5.5 六角-方孔型系统构成	57
2.6 椭圆-圆孔型系统	58

2.6.1	椭圆-圆孔型系统主要优缺点	58
2.6.2	椭圆-圆孔型系统使用范围	58
2.6.3	椭圆-圆孔型系统变形系数	59
2.6.4	变形特点	59
2.6.5	椭圆-圆孔型系统构成	59
2.6.6	椭圆-圆孔型系统的变态孔型系统	60
2.7	椭圆-椭圆孔型系统	60
2.7.1	椭圆-立椭圆孔型系统主要优缺点	60
2.7.2	椭圆-立椭圆孔型系统使用范围	60
2.7.3	椭圆-立椭圆孔型系统变形系数	60
2.7.4	椭圆-立椭圆孔型系统构成	61
2.8	延伸孔型系统设计方法	62
2.8.1	孔型系统选择	62
2.8.2	孔型系统选择实例	63
2.8.3	孔型系统尺寸计算	66
2.9	延伸孔型设计实例	79
2.10	无孔型轧制法	91
2.10.1	无孔型轧制及其经济意义	91
2.10.2	无槽轧制特性	93
2.10.3	无槽轧制的技术关键及解决途径	94
2.10.4	无孔型轧制法压下规程的设计原则	96
2.10.5	无孔型轧制法导卫装置设计特点	97
2.10.6	无孔型轧制的应用	97
第3章	简单断面型钢孔型设计	105
3.1	圆钢孔型设计	105
3.1.1	圆钢孔型系统及其选择	105
3.1.2	圆钢成品孔的构成	107
3.1.3	圆钢成品前孔(K2)的构成	110
3.1.4	圆钢成品再前孔(K3)的构成	112
3.1.5	万能精轧孔型系统的确定	113

3.1.6	规圆孔型设计	116
3.1.7	圆钢孔型设计实例	117
3.2	月牙形钢筋孔型设计	119
3.2.1	月牙形钢筋孔型系统	120
3.2.2	成品孔 (K1 孔) 构成	122
3.2.3	K2 孔构成	126
3.2.4	成品再前孔 (K3 孔) 构成	126
3.3	方钢孔型设计	127
3.3.1	方钢的孔型系统	128
3.3.2	成品孔的设计	130
3.3.3	K2 菱形孔设计	131
3.3.4	K3 方孔设计	132
3.3.5	万能孔型系统设计	132
3.4	扁钢孔型设计	133
3.4.1	概述	133
3.4.2	扁钢孔型系统	134
3.4.3	变形系数	135
3.4.4	扁钢立轧孔设计	136
3.4.5	扁钢凹形方孔设计	138
3.4.6	扁钢孔型设计实例	140
3.5	角钢孔型设计	147
3.5.1	概述	147
3.5.2	角钢的孔型系统	147
3.5.3	角钢成品孔的构成	150
3.5.4	蝶式孔设计	154
3.5.5	立轧孔设计	161
3.5.6	切分孔的设计	163
3.5.7	坯料选择	169
3.5.8	4mm×40mm×40mm 角钢的孔型设计实例	169
第 4 章	复杂断面孔型设计的一般问题	174
4.1	复杂断面主要特征	174

4.2	复杂断面金属变形特点	176
4.2.1	不均匀变形	176
4.2.2	侧压	179
4.2.3	轧件在凸缘轧槽中受力特点	180
4.2.4	轧件在凸缘轧槽中速度差	183
4.2.5	面积分布对轧件变形过程的影响	185
4.2.6	开口腿和闭口腿的增长与拉缩	186
4.3	复杂断面孔型设计的一般原则	186
4.3.1	异型孔延伸分配的一般原则	186
4.3.2	异型断面的孔型系统	187
4.3.3	变形量分配	189
第5章	复杂断面型钢孔型设计	190
5.1	工字钢孔型设计	190
5.1.1	工字钢孔型系统	190
5.1.2	普通工字钢孔型设计	193
5.1.3	万能工字形孔型设计	202
5.2	H型钢孔型设计	206
5.2.1	热轧H型钢的种类和命名	206
5.2.2	轧制H型钢成形方式	207
5.2.3	轧机配置与布置	208
5.2.4	H型钢变形系数	210
5.2.5	热轧H型钢孔型设计	212
5.2.6	万能轧机压下规程设计	216
5.2.7	热轧H型钢孔型设计实例	217
5.3	槽钢孔型设计	220
5.3.1	槽钢孔型系统	220
5.3.2	槽钢孔型设计	223
5.4	钢轨孔型设计	232
5.4.1	钢轨尺寸公差的要求	232
5.4.2	钢轨孔型系统	234

5.4.3	万能钢轨轧机布置	235
5.4.4	钢轨万能孔型设计原则	236
5.4.5	钢轨万能孔型设计	238
5.5	球扁钢孔型设计	243
5.5.1	球扁钢孔型系统	243
5.5.2	球扁钢孔型设计	245
第6章	切分轧制	254
6.1	切分轧制的类型及其工艺过程	254
6.1.1	类型	254
6.1.2	辊切的工艺过程	259
6.2	切分轧制的特点与应用	260
6.2.1	切分轧制的特点	260
6.2.2	切分轧制的应用	262
6.3	切分轧制原理与受力分析	263
6.3.1	拉分法切分原理及受力分析	263
6.3.2	扭转法切分原理及受力分析	265
6.4	切分孔型系统	267
6.4.1	带肋钢筋和圆钢的切分孔型系统	267
6.4.2	钢坯切分孔型	270
6.5	切分轧制的变形系数	270
6.5.1	切分带上流动金属总量的变化对宽展的影响	271
6.5.2	轧件几何尺寸对宽展的影响	271
6.6	切分轧制孔型设计	272
6.6.1	切分孔型设计的要求	272
6.6.2	切分位置的选择	272
6.6.3	切分方法的选择	272
6.6.4	切分孔型系统的选择	273
6.6.5	圆钢切分轧制孔型系统设计	275
第7章	连轧孔型设计	281
7.1	连续轧制的基本理论	281

7.1.1	连轧常数	282
7.1.2	连轧的三种状态	283
7.1.3	堆拉钢系数	285
7.2	Y型轧机孔型设计	285
7.2.1	Y型轧机的结构	285
7.2.2	Y型轧机的孔型系统	286
7.2.3	孔型的设计计算步骤	287
7.2.4	孔型设计	287
7.2.5	孔型塞规直径	288
7.3	平-立连轧机孔型设计	289
7.3.1	平-立布置连轧机孔型系统	289
7.3.2	椭圆-立椭圆孔型的设计	290
7.3.3	椭圆-圆孔型的设计	293
7.4	45°无扭高速无扭线材轧机孔型设计	296
7.4.1	孔型系统	296
7.4.2	变形系数	297
7.4.3	孔型尺寸的确定	298
7.4.4	拉堆系数的选择	300
7.5	钢坯连轧孔型设计	301
7.5.1	钢坯连轧生产的特色	301
7.5.2	钢坯连轧机	301
7.5.3	2+4机架连轧机列的孔型设计实例	301
7.5.4	六机架连轧机列的孔型设计实例	308
第8章	计算机辅助孔型设计	313
8.1	计算机辅助孔型设计发展现状	313
8.1.1	计算机在轧钢生产中的应用	313
8.1.2	计算机辅助孔型设计的发展前景	315
8.2	计算机辅助孔型设计中的数学模型	316
8.2.1	宽展模型	316
8.2.2	力学性能参数模型	318

8.2.3	轧制力矩模型	320
8.2.4	轧制能耗模型	324
8.2.5	前滑模型	324
8.2.6	轧件温度场模型	324
8.3	计算机辅助孔型设计系统	325
8.3.1	计算机辅助孔型设计系统的类型	325
8.3.2	计算机辅助孔型设计系统构成	326
8.3.3	计算机辅助孔型设计系统程序框图	326
8.4	简单断面孔型计算机辅助设计	328
8.4.1	连轧机组坯料优化计算机辅助设计	328
8.4.2	螺纹钢孔型计算机辅助设计	330
8.5	复杂断面孔型计算机辅助设计	339
8.5.1	孔型的选择及道次分配	339
8.5.2	计算各道次的温度场	339
8.5.3	各道次力能参数的计算	340
8.5.4	校核性能参数	341
8.5.5	参数化绘图	341
参考文献		343

第 1 章 孔型设计理论基础

1.1 孔型设计的内容与要求

型钢的种类很多，断面形状复杂，人们将形状简单的钢锭或钢坯依次通过若干个两个或两个以上带槽轧辊，进行轧制变形以获得所需要的断面形状、尺寸和性能的产品，孔型设计就是为此而进行的设计和计算的工作。

孔型设计的内容包括以下几种。

① 断面孔型设计 根据原料和成品的断面形状、尺寸和产品的性能要求，选择孔型系统，确定轧制道次和各道次的变形量，设计各道次的孔型形状和尺寸。

② 轧辊孔型设计 根据断面孔型设计，确定各孔型在每个机架上的分配及其在轧辊上的配置，要求轧件能正常轧制且操作方便，并且其轧制节奏时间短，轧机的生产能力高，成品的质量好。

③ 轧辊导卫设计 为保证轧件顺利地出入孔型，或使轧件能在进孔型前后产生一定的变形、切断、翻钢作用，所以必须正确地设计和计算导卫装置。

孔型设计质量高低直接影响到产品成品率、轧机的生产能力等。正确的孔型设计应考虑以下几点要求。

① 产品优质，成本低 降低金属、轧辊及电能等其他各种消耗，减少切损，降低废品率，成品断面形状正确，几何尺寸达到规定的精度要求，表面无耳子、折叠、裂纹、麻点和擦伤等缺陷，金属内部的残余应力小，金相组织及力学性能达到标准要求。

② 合理利用车间设备条件，轧机生产率高 孔型设计时充分

考虑车间各主、辅设备的性能及其布置，合理选择孔型系统、充分发挥各轧机的能力，适当提高孔型和导卫装置的共用性，优化轧制节奏，降低个别孔型磨损过快，减少换槽或换辊的次数，提高轧机作业率。

1.2 孔型设计的基本原则与设计程序

1.2.1 孔型设计的基本原则

① 选择合理的孔型系统 孔型系统选择是孔型设计的重要环节，孔型系统直接影响产品的质量、工艺过程、生产率以及各项消耗指标，在设计产品孔型时，应根据产品形状、金属热加工成形变化规律，考虑车间各主、辅设备的性能及其布置，拟定出各种可能使用的孔型系统，经过充分地分析对比，从中选择合理的孔型系统。

② 合理分配各道次的延伸系数 通常利用钢的高温塑性，把大变形量和不均匀变形集中在前几道次，然后顺轧制程序每个机架延伸系数都尽可能地相对平均分配，以力求在轧制过程中各机架的轧槽磨损相对均匀，从而在连轧过程中各机架的金属秒流量达到较长时间的相对稳定，尽可能在接近的时间内做到集中更换较多的轧槽，以提高轧机的作业率。

③ 轧件在孔型中的状态应稳定或力求稳定 轧件在孔型中的状态是稳定的，只有稳定的状态才能保证在整个轧制过程中轧件断面始终保持同一相对稳定的面积，达到稳定轧制的目的。

④ 尽可能采用共用性好的孔型 以便在更换品种或同一品种更换不同规格时，力求换辊少，有利于技术经济指标的提高。

⑤ 尽量选用形状简单的孔型 各事故剪或回转式飞剪应尽可能剪切方、圆或控制孔轧件，以利于调整工从剪切断面中迅速、正确地判断轧件产生各种缺陷的可能性，从而达到及时准确地排除的目的。

⑥ 要便于轧机的调整, 尽可能提高轧机的机时产量, 使轧制的单位成本降到最低限度。

⑦ 操作方便, 劳动条件好, 安全可靠, 便于实现高度机械比、自动化操作。

1.2.2 孔型设计的程序

① 根据产品形状、尺寸确定其允许偏差; 了解用户对产品表面质量、金相组织和性能要求, 某些产品还需了解用户使用情况及其特殊要求。

② 掌握已有的钢锭或钢坯的断面形状和尺寸, 或者按产品要求重新选定坯料尺寸供料的可能性, 选择并确定坯料尺寸。

③ 了解轧机性能及其他辅助设备条件, 包括轧机的布置、机架数目、轧辊直径与辊身长度、轧制速度、电机能力、加热炉或移钢机和翻钢设备、工作辊道与延伸辊道、剪机等。

④ 根据车间设备条件与产品要求选择孔型系统, 确定轧制道次。

⑤ 根据轧制道次、坯料尺寸与产品形状, 分配各道次的延伸系数, 确定各道次轧件的断面积。根据轧件的断面积和变形关系制定轧件断面形状和尺寸, 构成孔型, 绘制出孔型图。

⑥ 将孔型按一定的规则配置在轧辊上, 并绘制出配辊图。

⑦ 进行必要的校核, 其中包括咬入条件、电机能力、轧辊强度、孔型充满程度以及轧件在孔型中位置的稳定性等。

⑧ 根据孔型图和配辊图设计导卫、围盘、轧辊车削和检验样板等辅件。

1.2.3 坯料尺寸选择

随着整个钢铁生产工艺的变化和连铸技术出现后, 轧机的坯料也由钢锭经初轧-钢坯连轧机开坯改变为直接以连铸坯为原料一次加热轧制成材, 取消了初轧开坯。金属收得率提高 $8\% \sim 12\%$, 节约能耗 $35\% \sim 45\%$, 同时产品的表面和内在质量得到提高。

有了连铸后轧机, 特别是小型轧机选择坯料的原则有了根本的

变化，不再是只考虑小型轧机本身的合理性，而是要考虑连铸与小型轧机整体的合理性，甚至要将连铸的合理性放在更主要的地位。从轧钢的观点看连铸坯的断面要尽可能小一些，这样可以减少轧制道次，轧机的架数可以减少，投资和运行费用均可降低。因此，开始出现连铸时，人们根据以前选择坯料的原则：以产品方案中最小规格扣断面面积乘以总延伸系数即为所选择的坯料断面，希望能为小型或线材轧机提供 $(60\text{mm} \times 60\text{mm}) \sim (90\text{mm} \times 90\text{mm})$ 断面的连铸坯，但要生产这样小规格的断面，连铸机不可能正常操作，铸坯质量也没有保证。对连铸的其他配套技术进行了一系列的改进后，目前普通钢小型轧机的坯料断面多为 $(130\text{mm} \times 130\text{mm}) \sim (150\text{mm} \times 150\text{mm})$ 之间，也有达 $160\text{mm} \times 160\text{mm}$ ，大于 $160\text{mm} \times 160\text{mm}$ 的就比较少见了。坯料单重为 $1.5 \sim 2.0\text{t}$ ，有的甚至重达 $2.5 \sim 3.0\text{t}$ 。合金钢使用的连铸坯断面尺寸为 $(140\text{mm} \times 140\text{mm}) \sim (240\text{mm} \times 240\text{mm})$ ，以 $(160\text{mm} \times 160\text{mm}) \sim (200\text{mm} \times 200\text{mm})$ 用得最多。合金钢质量要求高，从连铸方面考虑采用较大的断面，在连铸过程中有利于夹杂物上浮，更能保证质量；另一方面为保证成品质量要求有一定的压缩比。压缩比是为保证产品组织结构和力学性能所要求的最小变形量。压缩比是在某一时期炼钢-连铸水平下的经验数据，其数值与产品的最终用途、钢水和连铸的质量密切相关，特别是钢中的气体（氧、氢、氮）含量、夹杂物的形态、连铸的浇注温度、碳化物的不均匀程度等对此数值影响最大，而且随着炼钢和连铸水平的提高压缩比还将随之变化。当前欧洲用户对要求比较高的汽车用齿轮钢的压缩比为 $(1:5) \sim (1:8)$ ，我国齿轮钢压缩比为 $8 \sim 10$ 。

连铸坯断面过小，如小于 $(110\text{mm} \times 110\text{mm}) \sim (120\text{mm} \times 120\text{mm})$ ，将影响连铸机的效率和质量，为减少小型轧机的机架数量，以连铸生产不顺利为代价是不可取的。但将碳素钢小型坯料或线材轧机的坯料定为 $180\text{mm} \times 180\text{mm}$ ，甚至 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ ，亦不是明智之举，使建设投资和运营费用都大大增加。目前一些典型小型轧机坯料使用情况见表 1-1。

表 1-1 小型轧机使用坯料尺寸

轧机类型	轧制钢种	产品规格 /mm	坯料断面 /mm×mm	长度 /m
半连续式	碳钢	φ12~25	130×130,150×150	3
半连续式	合金钢	φ12~50	120×120,140×140,160×160	4~5
全连续式	碳钢	φ12~40	130×130,150×150	10
全连续式	碳钢,低合金钢	φ10~40	120×120,150×150	10
全连续式	碳钢,低合金钢	φ12~60	120×120,150×150,165×165	12
全连续式	合金钢	φ12~75	120×120,150×150,200×200	4
全连续式	碳钢,低合金钢	φ18~80	150×150	10

目前中小型 H 型钢所用的坯型大多为方矩型坯, H 型钢厂的坯型多为: 230mm×230mm, 250mm×250mm, 230mm×350mm, 230mm×340mm, 230mm×380mm, 275mm×380mm, 320mm×410mm, 340mm×410mm, 340mm×410mm。

目前型钢车间的加热炉主要有推钢式炉及步进式炉两大类, 由于步进式炉同推钢式炉相比, 除初建投资、操作和维护要求比较高以外, 在单位炉底面积相同的情况下, 其最高小时产量大大高于推钢式炉, 热耗却远远低于推钢式炉, 且能满足连铸坯的热装要求。因此目前新建的各类轧钢厂多数采用步进式炉, 老厂改建或扩建中大多采用步进式炉替代原有的推钢式炉。表 1-2 为目前各种步进式炉加热坯料情况。

表 1-2 目前各种步进式炉加热坯料情况

炉子有效尺寸 (长×宽)/mm	进、出料方式	加热钢种	方坯边长 /mm	长度 /m
18900×5800	端进侧出	碳钢、低合金钢	60~120	4.9
19980×9628	侧进侧出	高碳、不修、轴承钢	80~130	9
15080×19200	侧进侧出	碳钢、低合金钢	方坯边长 80~127	9~18
25500×18700	侧进侧出	碳钢、低合金钢	方坯边长 127~150	9~18
20996×10904	侧进侧出	碳钢、低合金钢	120~150	10
24360×12528	侧进侧出	碳钢、低合金钢	100~150	9~11.7
27840×5800	端进侧出	碳钢、低合金钢	120~240	2.8~5

选择坯料尺寸应考虑的因素如下。

① 选用坯料断面尺寸和长度应考虑加热炉、冷床等辅助设备允许坯料或成品的长度以及各设备之间的距离, 以免生产时相互干扰。