

型钢生产与孔型设计

谢 显 宏 编

重 庆 大 学 出 版 社

型钢生产与孔型设计

谢显宏 编

重庆大学出版社

型钢生产与孔型设计

谢显宏 编

责任编辑 刘群 宗联枝

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆大学出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：9.125 字数：205 千

1989年 9 月第 1 版 1989年 9 月第 1 次印刷

印数：1-3800

标准书号：ISBN 7-5624-0175-6 定价：1.82元
TG·9

60418/21

前 言

编者根据教学和生产实践中的体会，并参考了近年来出版的有关书籍和文献，在本书中系统地介绍了钢坯、型钢及线材生产中的主要工艺问题，并对型钢生产中的孔型设计作了重点介绍。为加强理论与实践的结合，书中还附有设计实例及图表。

本书可作大专院校压力加工专业的教材，也可供有关专业的工程技术人员参考。

本书在编写和出版过程中，得到重庆大学和重庆大学出版社有关领导的支持；冯光纯副教授认真审阅了全稿，提出了宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误，敬请读者批评指正。

编者

1987年11月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 型钢生产品种及其特点	(1)
第二节 型钢轧机及其布置	(7)
第二章 钢坯生产	(13)
第一节 初轧机的分类及初轧车间生产工艺	(13)
第二节 初轧机的速度制度	(23)
例题	(36)
第三节 中小型钢坯轧机——连轧机	(45)
第四节 中小型钢坯轧机——三辊式开坯机	(49)
第三章 型钢生产	(53)
第一节 型钢生产方式	(53)
第二节 重轨生产	(56)
第三节 常用型钢生产	(62)
第四节 H型钢生产	(64)
第四章 线材生产	(71)
第一节 线材生产特点	(71)
第二节 高速无扭转线材轧制	(79)
第三节 线材轧后控制冷却	(85)
第四节 现代化线材车间简介	(88)
第五章 孔型设计的基本知识	(90)
第一节 孔型设计的内容和要求	(90)
第二节 孔型设计的程序	(92)
第三节 孔型及其分类	(95)
第四节 孔型各部分的功用	(97)
第五节 孔型的配置	(101)
第六章 延伸孔型系统	(109)
第一节 延伸孔型系统及其设计方法	(109)
第二节 箱形孔型系统	(112)

第三节	菱-方孔型系统.....	(120)
第四节	菱-菱孔型系统.....	(125)
第五节	椭圆-方孔型系统.....	(131)
第六节	六角-方孔型系统.....	(137)
第七节	椭圆-立椭圆孔型系统.....	(140)
第八节	椭圆-圆孔型系统.....	(143)
第九节	混合孔型系统.....	(144)
第十节	无孔型轧制技术及其应用.....	(148)
	延伸孔型设计实例.....	(151)
第七章	钢坯孔型设计.....	(158)
第一节	初轧机孔型设计.....	(158)
	方坯初轧机孔型设计实例.....	(166)
第二节	三辊开坯机的孔型设计.....	(169)
第八章	型钢孔型设计.....	(177)
第一节	圆钢孔型设计.....	(177)
	圆钢孔型设计实例.....	(188)
第二节	角钢孔型设计.....	(191)
	角钢孔型设计实例.....	(206)
第三节	凸缘孔型中金属变形的特点.....	(211)
第四节	工字钢孔型设计.....	(229)
	工字钢孔型设计实例.....	(247)
第五节	连轧机孔型设计.....	(255)
第九章	导卫装置的设计.....	(263)
第一节	导卫装置的作用.....	(263)
第二节	横梁.....	(263)
第三节	卫板.....	(265)
第四节	导板.....	(268)
第五节	夹板.....	(270)
第六节	导板箱(导板盒).....	(272)
第七节	围盘.....	(274)

第一章 概 述

第一节 型钢生产品种及其特点

一、型钢生产品种

在钢材生产总量中，除少量采用铸造及锻造方法制成外，其余约占90%以上均用轧制方法成材，以供应国民经济各个部门使用。

轧制的产品可根据钢种、化学成分、内部组织状态及其用途来进行分类。但最能反映轧钢生产特点的是以产品的断面特征和用途来区分。据此，轧制产品一般可分为：型线材、板带材、管材和特种钢材（如车轮、轮箍）。

轧钢生产经历了一个漫长的发展过程。早在15~16世纪，就曾出现过用轧机轧制金属板的情况。但自1761年瑞典人G. Polhem用轧机轧制出各种扁钢、方钢、圆钢及半圆钢之后，一般才认为真正开创了轧钢生产的历史。到19世纪中叶，由于产业革命的兴起，西欧资本主义国家大量修筑铁路，需要数量很多的钢轨及其配件，促进了型钢生产的发展。20世纪30年代以来，由于板带钢生产较易于实现生产过程的连续化和自动化，更能满足国民经济发展对钢材日益增长的要求，同时还由于焊接、冲压、弯曲成型技术的日趋完善，才使板带钢生产得以迅速发展，并在轧钢生产领域中占有越来越大的比重。尽管如此，由于型钢生产历史悠久，品种繁多，规格齐全，用途广泛，在轧钢生产中至今仍占有非常重要的地位。近几年来，在一些先进工业国家中，型线材

表1-1 主要产钢国家型线材在热轧材中所占比例

国 别	年 份	型材占热轧材的比例(%)	钢轨及配件占热轧材比例(%)	线材占热轧材比例(%)
美 国	1970	22.8	1.4	5.2
	1973	21.0	1.2	4.7
	1975	22.8	2.0	4.2
	1980	22.0	1.7	5.3
苏 联	1970	38.6	4.3	8.5
	1973	38.6	4.0	8.3
	1975	37.6	3.8	7.7
	1980	36.7	3.9	7.6
日 本	1970	26.6	0.7	7.5
	1973	26.9	0.6	7.6
	1975	25.8	0.6	7.6
	1980	29.1	0.5	7.7
西 德	1970	24.6	1.4	9.8
	1973	22.1	1.3	10.7
	1975	21.9	2.0	9.7
	1980	17.8	1.2	9.7
法 国	1970	29.3	2.0	13.0
	1973	26.6	1.5	13.5
	1975	24.6	2.5	12.2
	1980	18.2	1.9	12.1
英 国	1970	25.5	1.4	10.0
	1973	28.2	1.2	8.4
	1975	30.5	2.2	9.1
	1980	33.2	1.7	9.6

在钢材总产量中所占比例虽不如板带钢大，但每年生产的绝对产量还是十分可观的。表1-1列出了这些国家型线材在全部热轧材中所占的比例。

型钢按其生产方式可以分为热轧、冷轧、冷拔、冷弯、热弯、焊接和用特殊方法生产等数类。由于热轧型钢具有生产规模大、生产效率高、能耗少和产品成本低等优点，成为当今型钢的主要生产方式。但由于对钢材性能要求的变化和尺寸精确度的提高，用冷轧或冷拔方式加工的型钢比过去有了较大的发展。随着建筑业、汽车制造业、拖拉机制造业的发展，使弯曲型钢的应用范围日益扩大。使用冷弯型钢与

热轧型钢相比可以节约金属26~50%，因此，近十年来，国外发展很快，目前已能生产镀锌、有机涂层及双金属的冷弯型钢，品种可达3~4万个。据报道，近十年内，日本冷弯型钢产量增加了将近10倍。另外，随着板带钢生产的飞速发展，焊接型钢的比重也日见提高。总之，随着钢材使用新领域的开发和各种加工技术的日益完善，那种热轧型钢的一统局面将逐步被用多种方式生产多种型钢的新局面所代替。

热轧型材的断面几何形状及其尺寸差异很大，其品种与规格已多达一万多种。按照产品断面几何形状及其用途可分为六类：

1) 方形、圆形、扁形、三角形等断面几何形状简单的型材：这些型材大都用于机械制造、金属结构、桥梁建筑等部门；线材则大部分用作拉拔加工的原料。

2) 建筑用钢筋：包括螺纹钢、竹节钢以及扭耳钢筋等。这些钢材用于钢筋混凝土构件、建筑物基础、柱架等，要求钢筋强度高，与混凝土有良好的附着力。

3) 建筑结构用型钢：如工字钢、槽钢、角钢等，主要用于建筑构件、桥梁和造船工业等。

4) 铁道用型钢：如钢轨、鱼尾板、垫板等，主要用于铁路铺设和矿山、森林建设。

5) 特殊用途的复杂断面型钢：如用于工业或民用建筑的窗框钢、水利和码头建设用的钢板桩等。

6) 周期断面型钢：这种型钢的断面和尺寸沿轧材纵轴方向呈周期性变化。根据断面情况分别用纵轧、斜轧、横轧或楔横轧的方法生产。如犁铧钢、机械零件用的变断面轴等都属周期断面钢材。

近年来，随着各部门对钢材的要求日益提高，国内外都

普遍重视发展经济断面型钢和高精度型钢。如两腿平行的H型钢和轻型薄壁钢材等经济断面型钢，其断面形状类似普通型钢，但金属断面各部分的分布更加合理，具有节约金属等优点，成为今后型钢生产的发展方向。如汽轮机叶片、各种冷轧、冷拔型材等高精度型材，其二次加工量极少，或可直接代替机械加工零件使用。

二、型钢生产特点

型钢生产虽然历史悠久，但它的发展不如板带材、管材生产那样快，因为型钢生产有如下特点：

1) 产品品种规格多

现在能够生产的型钢品种与规格多达万个以上，如鞍山钢铁公司中型厂就生产23个品种、1000多个规格，因此在型钢生产中，除了少量的专用轧机（如H型钢轧机、线材轧机）生产专门的产品外，几乎绝大多数型钢轧机都不得不进行多规格生产。这就给生产带来以下问题：

- (1) 生产组织困难，生产调度与计划管理比较复杂；
- (2) 备品备件种类增多，轧辊储备数量大大增加；
- (3) 相应的坯料种类增多，坯料供应的要求提高；
- (4) 轧机调整工作复杂，调整技术要求较高；
- (5) 轧机作业时间减少，轧机产量下降。

因此，在组织型钢生产中，根据产品规格合理选择坯料，正确进行孔型设计，周密安排生产计划，仔细考虑不同产品工艺过程的相互平衡以及提高轧机作业时间，增加轧辊寿命，快速换辊等就成了型钢生产需要注意和解决的问题。

2) 断面形状差异较大

在型钢产品中，除了方、圆、扁钢断面形状简单而且差异不大之外，大多数是复杂断面型钢，如槽钢、工字钢、钢

轨、Z字钢等。这些钢材不仅断面形状复杂，而且它们之间断面形状差异也很大。如果按照这些型钢断面上各个组成部分的特点来看，复杂断面型钢可以分成下列4种（见图1-1）：

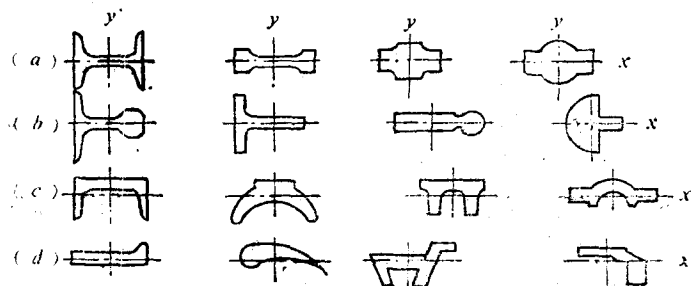


图1-1 异型断面型钢按轴对称性分类

- (a) x 、 y 轴均对称； (b) x 轴对称、 y 轴不对称；
(c) y 轴对称， x 轴不对称；(d) x 、 y 轴均不对称。

这种断面形状上的差异，会给孔型设计和轧制生产带来许多困难，这就要求我们在进行这类钢材生产时，必须采取相应的有效技术措施。

3) 产品断面形状复杂

如果说断面形状差异很大是指型钢产品之间而言，那么产品断面形状复杂就是指产品本身了。型钢生产困难，或者说型钢生产发展缓慢，其根本原因就在于型钢断面形状的这种复杂性。因为用一定形状的坯料（通常都采用矩形坯或方坯），经过若干道次加工获得所需要的断面形状十分复杂的成品，必然会产生下列问题：

(1) 严重的不均匀变形，如金属在孔型各个部分的速度不均，各部分金属受力条件不同，变形时间前后不等。这种严

重的不均匀变形导致轧件在孔型内变形的复杂化，使得我们在认识和掌握这种变形规律上增加了不少困难。在进行孔型设计时的变形量分配、宽展、前滑、轧制压力等计算变得十分复杂。此外，严重的不均匀变形还对轧制产品的质量、轧辊磨损、能量消耗以及导卫装置和调整工作都带来许多不利影响。

(2) 轧件在轧后断面各部分的金属冷却条件不同，这就会因各部分金属温度不同而产生冷却收缩不均，造成轧件弯曲和扭转，内部组织、性能的不均匀和外部尺寸的变化，并造成产品在精整过程中工序的复杂和工序上的不平衡。因此，在型钢生产中，如何防止轧件冷却过程中的不均匀性，减少轧件弯曲，实现精整工序的机械化和自动化等，都是值得注意的问题。

(3) 组织连轧生产困难。众所周知，连轧是轧钢生产的发展方向，但由于型钢断面形状复杂，组织连轧生产不如板带钢那样便于实现（线材和简单断面型材除外）。因为型钢变形条件复杂，生产过程中各部分形状和尺寸不易保证，再加上生产中不允许采用较大的活套和张力轧制，所以长期以来型钢生产的连轧技术发展比较缓慢。近十几年来，才在少数国家中出现了复杂断面型钢的连轧生产。美国于1962年在西北钢铁公司建成投产了一套生产H型钢的连轧机。不久日本新日铁君津厂也建有一套生产H型钢的大型连轧机，年产量达180万t。苏联于1976年在西北利亚冶金工厂也有一套450mm的中型连轧机投产。目前，型钢连轧技术正在发展中。

4) 轧钢机布置型式及类别多样
与型钢产品相适应，随着生产的不断发展，型钢生产用

轧钢机无论在结构形式上还是在布置方式上都是多种多样的。如轧机结构形式上就有二辊闭口式、三辊开口式、复二重式、万能式、Y型轧机、 45° 轧机以及悬挂式轧机等。在轧机布置型式上有横列式、顺列式、棋盘式、半连续式及连续式布置等。生产过程中选用什么类型的轧机，选什么布置型式决定于生产品种、生产规模以及产品的技术要求等许多因素。一般在考虑轧机组成时，应注意轧机之间生产的合理分工。在有条件的情况下，应力争轧机向专业化方向发展，使轧机作业率和设备利用率提高，操作技术容易熟练，便于推广新技术，易于实现机械化和自动化，同时对提高产品质量、产量、劳动生产率和降低产品成本也有好处。

第二节 型钢轧机及其布置

如前所述，热轧型钢的品种多，断面形状与尺寸之间的差异大，很难设想上万个品种的型钢能够采用类别很少，布置型式很少的轧机生产出来，这样势必导致型钢轧机类别和布置型式的多样化。

一、型钢轧机类别

型钢轧机类别和其大小通常是按其轧辊的名义直径来区分和表示的。因为轧辊名义直径的大小表明它能够轧制多大规格的钢材，反映了轧机生产能力大小。另外，它也在一定程度上反映出轧辊大小与生产的产品断面形状、尺寸大小之间的关系，这种关系则说明了生产过程的合理性。根据轧机轧辊径的大小与其生产品种上的差异，型钢轧机一般可分成轨梁轧机，大型轧机，中型轧机，小型轧机，线材轧机和管坯及窄带钢轧机。各类轧机的轧径大小与其生产的合理产品范

表1-2 型钢轧机辊径与产品范围关系

种 类	轧辊直径 mm	产 品 主 要 品 种
轨 梁 轧 机	750~900	生产38~75kg/m重轨；24~60号钢梁等
大 型 轧 机	550~750	生产80~150方、圆钢；12~30号工槽钢； 18~24kg/m轻轨
中 型 轧 机	350~650	40~80方、圆钢；18号工槽钢；13号角钢； 11~18kg/m轻轨
小 型 轧 机	150~350	8~40方、圆钢；2~5号角钢等
线 材 轧 机	150~280	5~13mm线材
管坯及窄带 钢轧机	250~500	管坯宽到305mm，窄带钢宽到600mm

围如表1-2所示。

可以看出：同类轧机的辊径也有很大的波动范围，这与轧机的布置型式有关。因此，对型钢轧机的正确称呼或命名应标明轧机辊径、布置型式与名称，如“800二列式轨梁轧机”、“250连续式线材轧机”等。只标明轧钢机辊径的大小，既不足以表明轧机生产能力的高低，亦难以显示出轧机布置的特征。如辊径同为500mm的型钢轧机，若呈顺列式布置可称为大型轧机，呈横列式布置，则显然是中型轧机，由此足见轧机布置型式对于轧钢生产的重要性了。

二、型钢轧机布置

型钢轧机布置有以下几种型式：横列式（包括一列、二列及多列）、顺列式（又叫跟踪式）、棋盘式、半连续式和连续式布置。如图1-2所示。

从这些轧机所采用的轧制方式和它们的轧制图表的特征来看，型钢轧机的布置型式实际上只有三种，即横列式、顺列式和连续式；棋盘式是为了缩短车间长度所采取的顺列式布置的一种变态，而半连续式则是连续式和其它型式布置

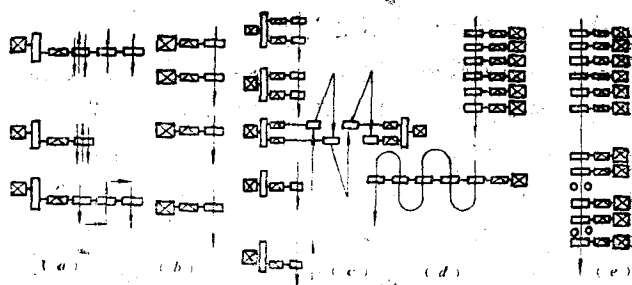


图1-2 各种型钢轧机的布置型式

(a) 横列式; (b) 顺列式; (c) 棋盘式;
(d) 半连续式; (e) 连续式

的组合。

显然，不同的轧机布置型式对产品的产量、质量以及有关生产各方面的技术经济效果的影响是不一样的。正确的分析和评定各种轧机布置的优缺点是选用轧机的基础。

1) 横列式

横列式布置是当前型钢生产的主要布置方式，各类型材、线材和开坯生产均可选用。这类轧机布置的基本特点是：

(1) 一般由一台或二台同步交流电动机同时传动数架轧机，因而同列轧机的转速相同，轧制速度基本一致；

(2) 一般都是采用穿梭轧制和活套轧制的方式，每架轧机可以轧制若干道次，在电机能力及轧辊强度允许的条件下，可以实现交叉轧制或同时多条走钢，因而变形灵活，适应性强，品种范围广泛，不仅可轧制简单断面型钢，也可生产各种复杂断面型钢；

(3) 控制操作容易，技术要求也不复杂。因此横列式布置的轧机具有设备简单、投资少，上马快等优点。

横列式布置轧机的不足之处在于：

(1) 同一列轧机转速相同，轧制过程中轧制速度不能随轧件长度增加而提高，这就限制了轧机产量和劳动生产率的提高。采取多列式布置的方式，就可以随轧件长度的增加而适当提高轧制速度。这对于生产断面比较细小、成品较长和散热比较快的中小型钢材和线材生产是很有必要的；

(2) 横列式轧机受换辊条件和轧制道次的限制，一般采用开口和半开口机架，轧辊选用较大的 L/D 值，可达 3 以上，但这就降低了轧机的刚性，影响了轻型薄壁钢材生产，也影响了宽度较大的钢材生产；

(3) 轧制过程中，轧件横移次数较多，加之轧制速度不高，以致轧制总延续时间加长，使轧件在轧制过程中温降加快，造成轧件头尾温差加大，在长度方向上尺寸不一致，并使轧机调整工作复杂化。

2) 顺列式

为解决横列式布置中各列辊径与转速对各道断面变化的轧制条件不相适应的矛盾而出现了顺列式轧机布置。其主要特征是：

(1) 每架轧机只轧一道，一般轧制道次等于机架数目；

(2) 各架轧机具有不同的轧制速度，即随轧件长度的增加而提高各机架的轧制速度，因而有较高的生产率。据有关方面报道：国外先进的大型型钢轧机采用这种布置方式，年产量可达 160 万吨以上；

(3) 各架轧机之间不构成连轧关系，轧件长度随道次的增加而加大，故机架之间的距离也随轧件长度增加而增加。所以这种轧机布置方式只适用生产大中型钢材；

(4) 因为每架只轧一道，轧机可以采用二辊闭口式机

架；轧辊可取较小的 L/D 值，一般在 $1.5\sim 2.5$ 范围内，这就使轧机的刚性增大。和横列式轧机相比，如辊径相同，轧制相同产品，可以提高产品的尺寸精确度，还可扩大产品范围；

(5) 由于各机架间互不干扰，较易实现机械化和自动化；轧制过程中既不构成连轧，也没有交叉轧制及多条轧制的情况，因此轧机调整工作大大减少。

此类轧机布置的缺点是：轧机数目较多，轧机之间的距离较大，占有较长的厂房，投资较多。为解决这种问题，近年来新建的大型顺列式布置的轧机，前面采用可逆轧制的办法，以减少机架数目，节省厂房长度。

3) 连续式

轧机呈连续式布置是轧钢生产发展的方向。随着电气控制设备水平的提高和轧制技术的进步，连轧已越来越多地应用于轧钢生产。

在型钢生产中，由于复杂断面型钢的变形条件复杂，不易掌握轧件在孔型中形状变化和尺寸变化的规律性，因而连轧技术发展缓慢，只在小型、线材和开坯生产中得到较快的发展。近十几年来，由于科学技术的进一步发展，在一些先进工业国家（主要是美国、日本和苏联）掌握了复杂断面型钢的连轧技术，已经出现了复杂断面型钢（包括工型钢）连轧生产的新局面。

连续式布置轧机的主要特征是：

- (1) 每架轧机只轧一道，一般轧制道次等于机架数目；
- (2) 一根轧件同时在数架轧机上轧制，维持金属秒流量相等原则，构成连轧关系；各架轧机轧制速度可调，轧件速度随轧制道次增加而提高；轧制节奏短，具有很高的生产