

Gaifenguan
Shengchan
Jianming
Jiaocheng

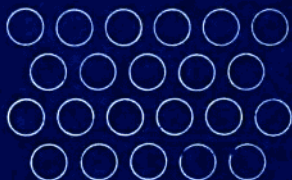
wufeng

335.71

无缝钢管生产 简明教程

张才安 编著

重庆大学出版社



无缝钢管生产简明教程

张才安 编著

责任编辑 杨世泽

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, 6.375 字数, 143 千

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数, 1—3000

标准书号: ISBN 7-5624-0237-x 定价: 1.30元

TG·14(课)

内 容 简 介

本书系统地介绍了生产无缝钢管的各种成型方法,对穿孔、轧管、均整、定减径、冷轧、冷拔的变形区和变形过程、运动学特点、咬入条件、金属变形、工具设计等作了较详细地阐述。本书内容精炼、概念清晰、重点突出、难点分散,是一本初学者入门和提高的实用教科书。

本书最适宜作本科及大中专轧钢或压力加工专业的教学用书,也可供从事有色和黑色管材、冷拔棒、线材生产、设计和科研的工程技术人员参考。

前 言

本书是一本供轧钢或压力加工专业的学生使用的教材，也是供从事无缝钢管及冷拔棒、线材生产的技术工人提高理论水平教科书。

本书系统而全面地介绍了生产无缝钢管的各种方法，内容力求贯串无缝钢管生产的基本理论和基本知识，重视了精选内容、突出重点；注意了概念清楚、难点分散；提出了生产中的许多实际问题，试图培养学生用制管工艺理论分析机组产量和产品质量的能力，使之达到能组织生产、制定工艺和进行孔型及工具设计的初级水平。许多章节都反映了国内外生产无缝钢管的新技术和新成就，力图使学生在掌握基础知识的同时，对当前国内外生产无缝钢管的新工艺、新设备、新理论有所了解。

本书是编著者所编《无缝钢管生产》教材的第三次修订本。书中对许多问题的看法，反映了编著者20多年来的教学体会和科研见解。在成书过程中，重庆大学副教授罗源英同志提出了宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

由于编著者业务水平有限，书中缺点、错误在所难免，敬请读者批评、指正。

编著者

一九八八年五月

目 录

绪 论

第一章 管坯的穿孔..... (1)

§ 1 二辊斜轧穿孔设备..... (1)

§ 2 二辊斜轧穿孔变形区和变形过程..... (3)

§ 3 二辊斜轧穿孔过程运动学..... (7)

§ 4 二辊斜轧穿孔时金属对轧辊的滑移..... (11)

§ 5 二辊斜轧穿孔过程咬入条件..... (17)

§ 6 二辊斜轧穿孔时金属的附加变形..... (22)

§ 7 孔腔形成机理..... (25)

§ 8 二辊斜轧穿孔工具设计..... (31)

§ 9 狄舍尔穿孔机和新型菌式穿孔机穿孔..... (39)

§ 10 三辊斜轧穿孔..... (43)

§ 11 压力穿孔..... (47)

§ 12 推轧穿孔..... (51)

第二章 毛管的延伸..... (55)

§ 1 毛管的延伸..... (55)

§ 2 斜轧延伸时金属的变形及均壁作用..... (57)

第三章 毛管的轧制..... (59)

§ 1 自动轧管机工作原则和金属的变形..... (59)

§ 2 轧管咬入条件..... (63)

§ 3 球形顶头..... (68)

§ 4 自动轧管工具设计..... (77)

§ 5 自动轧管机的改造..... (82)

§ 6 连轧管机轧管..... (85)

§ 7	三辊轧管机轧管·····	(87)
§ 8	狄舍尔轧管机轧管及CPD工艺·····	(88)
§ 9	周期式轧管机轧管·····	(90)
§ 10	顶管机顶管及CPE工艺·····	(92)
§ 11	挤压钢管·····	(96)
§ 12	三辊行星轧管机轧管·····	(98)
第四章	钢管的均整和定减径·····	(103)
§ 1	钢管的均整·····	(103)
§ 2	钢管的定径·····	(106)
§ 3	钢管的减径·····	(108)
§ 4	轧制表·····	(116)
第五章	钢管的酸洗和润滑·····	(124)
§ 1	钢管的酸洗·····	(124)
§ 2	钢管的润滑·····	(130)
第六章	冷拔钢管·····	(136)
§ 1	冷拔钢管生产概述·····	(136)
§ 2	拔管时的外力及应力状态·····	(139)
§ 3	空拔过程分析·····	(144)
§ 4	空拔变形特点·····	(150)
§ 5	短芯棒拔制过程分析·····	(158)
§ 6	游动芯棒和长芯棒的拔管过程分析·····	(161)
§ 7	拔制力和拔制速度·····	(168)
§ 8	拔制表的编制·····	(174)
第七章	冷轧及旋压钢管·····	(181)
§ 1	冷轧钢管·····	(181)
§ 2	旋压钢管·····	(188)
参考文献	·····	(192)

第一章 管坯的穿孔

无缝钢管生产中，常用的穿孔方法按穿孔机的不同结构和穿孔过程变形特点，通常分为斜轧穿孔、压力穿孔和推轧穿孔。由于目前国内外普遍采用辊式穿孔机，因此，我们着重讨论辊式穿孔机穿孔，对于压力穿孔和推轧穿孔仅作一般地介绍。

1 二辊斜轧穿孔设备

二辊斜轧穿孔机分盘式、菌式和辊式三种。管坯在此三种斜轧穿孔机中穿孔变形时，三者的变形区形状相同，变形过程的特点也基本相同。但由于盘式和菌式穿孔机受结构条件的限制：轧辊悬臂安装，轧机强度小，不能穿大直径薄壁管，齿轮传动部分磨损快，修理频繁，生产率低；辊身短变形区短，单位变形区长度上应力较大，穿孔过程中金属内部产生极大的应力，易使毛管质量变坏；前进角固定，生产品种受到限制；所以这两种穿孔机已较少使用。目前用得最广泛的是辊式穿孔机。

二辊式穿孔机由工作机架、主传动、前后工作台组成。它有一个箱形的铸造机架，两轧辊分别装置在机架的左右两边，轧辊为双锥形，两轧辊轴线的水平投影同时平行于轧制线，轧辊轴线与轧制线在垂直平面上的投影相交成 α 角，称为前进角。前进角可在 $6-12^\circ$ 范围内调整。轧辊由主电机经

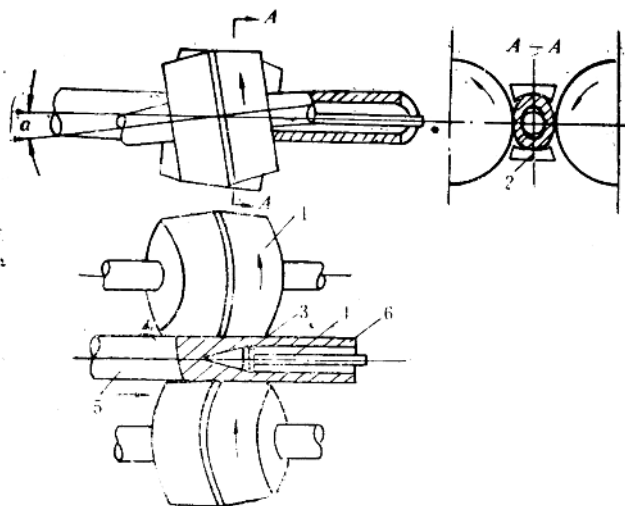


图1-1 二辊斜轧穿孔的孔型

1—轧辊；2—导板；3—顶头；4—顶杆；
5—管坯；6—毛管

减速机、齿轮机架和万向接手传动作同向旋转，并和上下导板及顶头组成环形孔型，如图1-1所示。上导板的上下移动由电机调节，下导板的位置由下支持器和导板垫的高度确定，上下导板的距离控制毛管的外径。由于轧辊对轧制轴线倾斜和工作表面有锥度，管坯在孔型中获得螺旋运动，并在前进的过程中受到压缩，顶头插入管坯中心进行穿孔而获得毛管。

前工作台由输入辊道、斜台架、受料槽和风动推钢机组成，用以输送并正确地将管坯推入穿孔机。后工作台包括支托毛管及顶杆用的升降辊，用以减小顶杆抖动和保证轴线与轧制线一致的定心辊，固定顶杆用的止推轴承，顶杆小车及

其传动和冷却装置等。后工作台的作用在于将毛管正确地引出轧辊，保证穿孔正常进行，并将毛管往自动轧管机方向运送。

§2 二辊斜轧穿孔变形区和变形过程

一、变形区及其变形

二辊斜轧穿孔的变形区由轧辊、顶头和导板组成，整个变形区具有较复杂的几何形状，在横截面上是个环形变形区，如图1-1中的A-A所示，在纵截面上是小底相接的两个锥体（图1-2），中间插入一个弧形顶头。

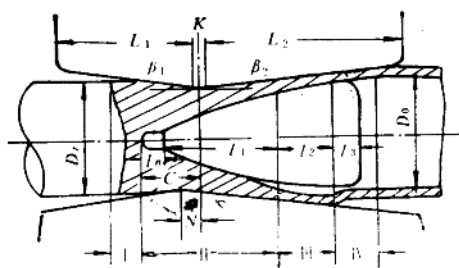


图1-2 穿孔变形区

L_1 和 L_2 ——轧辊进出口锥长度，毫米；

β_1 和 β_2 ——轧辊入口和出口锥角，度；

K ——轧辊压轧带宽度，毫米；

l_n 、 l_1 、 l_2 和 l_3 ——分别为顶头鼻部、穿孔锥、辗轧锥和反锥长度，毫米；

C ——顶头位置，毫米；

N ——导板位置，毫米

变形区形状决定着穿孔变形过程。穿孔的整个变形区大致可分为四个区域，如图1-2所示。

I区穿孔准备区：从管坯开始与轧辊接触起到顶头的顶尖为止，其主要作用是穿孔作准备和顺利地实现一、二次咬入。这个区的变形特点是：由于轧辊入口锥表面有锥度，沿穿孔方向前进的管坯逐渐在直径上受到压缩，被压缩部分的金属一部分横向流动，坯料剖面由圆形变为椭圆形。一部分金属向轴向延伸，主要是表面层金属轴向延伸，因此，坯料前端面形成一个喇叭口状的凹陷，它和定心孔一起，保证了顶头鼻部对准坯料中心从而可减少毛管前端的壁厚不均。该区的变形参数一般用 $\frac{\Delta d}{d}$ 表示，称直径相对压缩量，顶头前的直径相对压缩量用 $\frac{\Delta d'}{d}$ 表示。

II区称为穿孔区，该区从管坯与顶头相遇开始到顶头辗轧锥为止，其主要作用是穿孔，即由实心坯变成空心毛管。这个区的变形特点主要是压缩壁厚。由于轧辊表面与顶头间的间距逐渐减小，因此毛管壁厚被逐渐压缩，壁厚上被压缩的金属，同样可向横向流动扩径和纵向流动延伸，但由于横向变形受到导板的阻止作用，因而纵向延伸是主要的。在穿孔机上穿孔毛管可以有很大的延伸系数，可达到5以上，这是斜轧穿孔特点之一。该区的变形参数以壁厚相对压缩量 $\frac{\Delta s}{s}$ 表示。

III区称为辗轧区，该区在顶头的辗轧锥那一段。主要作用是辗轧（均整）管壁，改善壁厚的尺寸精度和内外表面质量。由于顶头母线和轧辊母线平行，所以压缩量很小，主要是起均整作用。其变形特点为塑性弯曲变形，表示微量的壁

厚压缩参数也用 $\frac{\Delta s}{s}$ 表示。

Ⅳ区为转圆区，该区从毛管内壁离开顶头开始到毛管外表面离开轧辊为止。作用在于把椭圆形的毛管转圆。该区长度很短，变形特点也是塑性弯曲变形，但由于这个区域很短而且变形也不大，一般可不考虑。

在Ⅱ区中由于也是空心毛管轧制过程，因此也存在塑性弯曲变形。塑性弯曲变形所需要的能量较轧制变形所消耗的能量小得多，甚至可以忽略不计。因此，研究穿孔力能参数不单独研究它，但当研究塑性弯曲变形对毛管内外表面质量的影响时应给予重视。

在第一区中，管坯和导板接触的距离或时间，决定于许多因素。早和导板接触可以早控制横变形，减小管坯的椭圆度，这对于穿制某些合金钢是重要的。但过早和导板接触将增加管坯轴向阻力和旋转阻力矩，特别是当开始进入第Ⅱ区时，加上顶头的轴向阻力，不易实现第二次咬入，甚至轧卡。一般认为，管坯与导板相接触最好是在管坯进入变形区30—50毫米的地方，这样对于小型机组而言，当取较大的顶头伸出量时，实际上在二次咬入之前管坯和导板通常不接触。在第Ⅱ区导板起着控制横变形的作用，并获得很大的延伸变形。在Ⅳ区中导板并不起作用，只有这样才能转圆。如果导板参与变形，毛管就容易被导板夹扁。

二、斜轧穿孔过程

第一个不稳定过程 为管坯前端金属逐渐充满变形区的阶段，即管坯同轧辊开始接触（一次咬入）到管坯前端金属出变形区，这个阶段包括一次咬入和二次咬入。

稳定过程 这是穿孔过程的主要阶段，从管坯前端金属

充满变形区到管坯尾端金属开始离开变形区为止。

第二个不稳定过程 为管坯尾端金属逐渐离开变形区的阶段。

稳定过程和不稳定过程有着明显的区别。在生产中常见到一根毛管的头、尾和中间部份直径有差异，一般是前段直径大，尾端直径小，中间部分直径大小比较一致，这是由于三个过程特点造成的。头尾几何尺寸偏差大，是两个不稳定过程特征之一。造成头部直径大的原因是：金属的前端在逐渐充满变形区过程中，金属同轧辊接触面上的曳入摩擦力是逐渐增加的，到完全充满变形区后才达到最大值。但当管坯前端与顶头相遇时，将受到强大的轴向阻力，在管坯充满变形区过程中，虽然这个阻力（可略去导板阻力，或将导板阻力包括在顶头阻力中）还将增加，但是其增大值与顶头前端的阻力相比却显得很小，因此，处于第一个不稳定过程中的前端金属与稳定穿孔过程中的管坯金属相比，前者所受曳入摩擦力相对为小，轴向阻力相对为大，因而，金属向轴向延伸的阻力较大，使轴向延伸变形减小，横向变形（扩径）增大，加之没有外端部限制，从而导致前端直径大。尾端直径较小，这是因为当管坯尾端被顶头开始穿透时，顶头轴向阻力明显下降，处于第二个不稳定过程中的金属较稳定穿孔过程中的金属所受曳入摩擦力相对地大，轴向阻力相对地小，易于使轴向延伸变形，所以尾段直径小。在生产实践中我们常观察到毛管前段螺距小，尾段螺距大，就是很好的证明。

在76无缝机组的穿孔机上，有的工厂由于穿孔机设备精度不高和操作调整不良，有时毛管头尾直径相差10mm左右，从而给生产带来很大困难，使轧出的钢管头部经常出耳子，甚至造成大量废品。正常条件下头尾直径差一般在1—

3mm之间。

实际生产中，前后轧卡比中卡多，也是不稳定过程的特征之一。

轧卡一穿孔时轧件突然停止在穿孔机中，不前进不旋转，或只旋转不前进的现象称为轧卡。轧卡分为前卡、后卡和中卡。发生在第一个不稳定过程中的轧卡叫做前卡，发生在第二个不稳定过程中的轧卡叫后卡，发生在稳定穿孔过程中的轧卡叫中卡。

影响轧卡的因素很多，归结起来，凡是促进穿孔阻力增大、曳入摩擦力降低的因素都将促进轧卡。

由穿孔变形过程可看出，穿孔的变形由工具设计（尺寸和形状）和轧机调整参数（导板距、轧辊距、顶头位置等）所决定。顶头位置前移，第一区减小，轧辊距离减小，整个变形区将加长，相应一些区都有所加长；导板距加大则横变形增加，纵变形减小。

§3 二辊斜轧穿孔过程运动学

热轧无缝钢管生产中广泛采用斜轧穿孔过程。斜轧过程可将实心管坯穿孔成空心毛管，此外，还可用斜轧过程带芯棒轧管、斜轧均整和斜轧定径，在三辊斜轧系统的无缝钢管机组中，几乎各成型工序都是斜轧过程。不管何种斜轧过程，其运动学都是一样的。

一、螺旋运动

斜轧穿孔过程中两轧辊同向旋转，管坯送入轧辊后，管坯与轧辊之间的摩擦力使管坯反向旋转，同时，由于轧辊轴线与管坯轴线在垂直平面上有一倾角（前进角），管坯在旋

转的同时向轴向移动。因此，在变形区中管坯表面上每一点都作螺旋运动，即一面旋转一面前进。

两轧辊轴线相交一点的速度关系如图1-3所示。设两轧

轴线相交处轧辊圆周速度为 V_0 ，则 $V_0 = \frac{\pi \cdot D_B \cdot n_B}{60}$

轴向速度分量 $V_{0x} = V_0 \cdot \sin \alpha = \frac{\pi \cdot D_B \cdot n_B}{60} \sin \alpha$

切向速度分量 $V_{0y} = V_0 \cdot \cos \alpha = \frac{\pi \cdot D_B \cdot n_B}{60} \cos \alpha$

式中 D_B ——讨论截面的轧辊直径，mm；

n_B ——轧辊转数，r/min； α ——前进角，rad

在轧制过程中，管坯靠轧辊带动作螺旋前进，由于两者速度并非完全相等，一般是金属的运动速度小于轧辊速度，即金属和轧辊之间产生滑动，可用滑移系数表示两者速度差。因此，管坯的速度分量为：

轴向前进速度 $V_{Mx} = \frac{\pi \cdot D_B \cdot n_B}{60} \cdot \sin \alpha \cdot \eta_0$

切向旋转速度 $V_{My} = \frac{\pi \cdot D_B \cdot n_B}{60} \cdot \cos \alpha \cdot \eta_T$

式中 η_0 、 η_T ——两轴线相交截面的轴向和切向滑移系数，

一般 η_0 和 η_T 都小于1。

$$\eta_0 = \frac{V_{Mx}}{V_{Bx}}; \quad \eta_T = \frac{V_{My}}{V_{By}}$$

变形区中，管坯任意截面上的速度关系(V_{Bx})同样有两个速度分量。轧辊表面上任意一点A的圆周速度为：

$$V_{Bx} = \frac{\pi D_{Bx} n_B}{60}$$

式中 D_{Bx} ——任意断面的轧辊直径

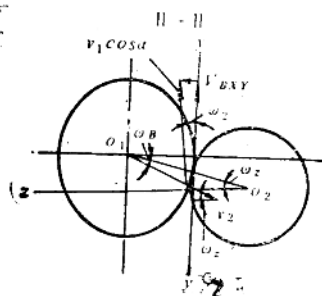
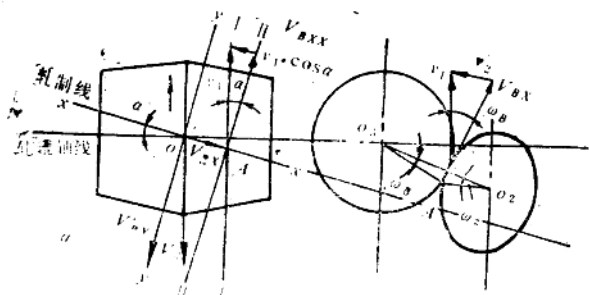


图1-3 速度分解图

轧辊圆周速度 V_{Bx} 可分解为垂直于轧辊轴线的分速度 V_1 和平行于轧辊轴线的分速度 V_2 ，由图1-3b可见：

$$V_1 = V_{Bx} \cos \omega_B$$

$$V_2 = V_{Bx} \sin \omega_B$$

由图1-3a可见，任意点处轧辊圆周速度在平行于轧制线（轴向）的分速度为：

$$V_{Bxz} = V_1 \sin \alpha = V_{Bx} \cos \omega_B \sin \alpha$$

或
$$V_{Bxz} = \frac{\pi D_{Bx} n_B}{60} \cos \omega_B \sin \alpha$$

由图1-3c看出，任意点轧辊圆周速度在垂直于轧制轴线（切向）的分速度为：

$$V_{Bxy} = V_1 \cos \alpha \cos \omega_B - V_2 \sin \omega_B$$

$$= V_{Bx} \cos \omega_B \cos \alpha \cos \omega_z - V_{By} \sin \omega_B \sin \omega_z$$

$$\text{或 } V_{Bxy} = \frac{\pi D_{Bx} n_B}{60} (\cos \omega_B \cos \alpha \cos \omega_z - \sin \omega_B \sin \omega_z)$$

式中 ω_B 和 ω_z ——任意截面上轧辊和管坯的中心角，弧度，
 η_{0x} 和 η_{Tx} ——任意截面上的轴向、切向滑移系数

变形区任一截面中 η_{0x} 、 η_{Tx} 和 ω_B 、 ω_z 是变化的，从而这些速度分量也是变化的。在生产实践中最有实践意义的是毛管出口速度，为了简化问题和便于工程计算一般假设轧辊出口速度等于轧辊轴线相交点上的速度，此处的 $\omega_B = \omega_z = 0$ ，其实际误差包括在滑移系数内，在以后的讨论中将忽略 ω_B 和 ω_z 。穿孔毛管出口速度 V_{Mnx} 为：

$$V_{Mnx} = \frac{\pi \cdot D_{Bn} \cdot n_B}{60} \cdot \sin \alpha \cdot \eta_{0n}$$

切向速度 V_{Mny} 为：

$$V_{Mny} = \frac{\pi \cdot D_{Bn} \cdot n_B}{60} \cdot \cos \alpha \cdot \eta_{Tn}$$

式中 D_{Bn} ——出口截面的轧辊直径，mm，

η_{0n} 、 η_{Tn} ——出口截面的轴向和切向滑移系数

由于金属在变形区中不是简单地作机械位移，而是伴随着塑性变形，因而，必须应用塑性变形时的体积不变原理决定变形区中某截面的坯料前进速度，从

$$F_1 \cdot V_{M1x} = F_2 \cdot V_{M2x} = \dots = F_x \cdot V_{Mxx} = F_n \cdot V_{Mnx}$$

$$\text{得 } V_{Mxx} = \frac{F_n}{F_x} \cdot V_{Mnx}$$

式中 F_1 、 $F_2 \dots F_x$ 、 F_n 及 V_{M1x} 、 $V_{M2x} \dots V_{Mxx}$ 、 V_{Mnx} 分别为变形区中，轧件在 1、2、 $\dots$ 、 x 、 n 截面处的横截面积及其相应的速度。

轧件获得 V_{Mx} 后产生旋转，其转速可由下式求得：

$$n_{Mx} = \frac{D_{Bx} \cdot n_B}{\varepsilon_x \cdot d_x} \cdot \cos \alpha \cdot \eta_{Tx}$$

式中 d_x 、 ε_x ——变形区内轧件任一截面的直径和椭圆度系数。

管坯每半转在轧制线方向上的前进值 S_x 为：

$$S_x = \frac{\pi}{2} d_x \cdot \varepsilon_x \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{D_{Bn}}{D_{Bx}} \cdot \frac{F_n}{F_x} \cdot \frac{\eta_{0n}}{\eta_{Tx}}$$

由上式可见，螺距是个变量，它与变形区形状 d_x/D_{Bx} 和变形量的分配 F_n/F_x 以及 η_{0n}/η_{Tx} 有关。

§4 二辊斜轧穿孔时金属对轧辊的滑移

一、产生后滑的原因

纵轧时，一般情况下变形区中同时有前滑区和后滑区，而斜轧穿孔时多为后滑，这是由于轴向有顶头阻力的作用，大部分轴向曳入力已用于克服顶头阻力和导板阻力的结果。实验表明，在无顶头轧制时虽然变形量很小却存在着前滑区，相反，有顶头穿孔时虽然变形量很大却不存在前滑区，这证明顶头阻力的影响是巨大的。

按力学的基本原则，在穿孔过程中任一瞬间作用在坯料上的全部力应当是平衡的。这些力包括轧辊作用在管坯上的正压力和摩擦力，顶头和导板作用在管坯上的正压力和摩擦力，以及由于运动不均匀产生的惯性力。如果平衡条件在某一瞬间由于某种原因遭到破坏，则必然要引起相应的力和速度的变化，而且这种变化直至达到新的力平衡为止。

摩擦力，（特别是轧件与轧辊间的摩擦力）是个重要因