

重有色金属材料加工手册

· 第 五 分 册

《重有色金属材料加工手册》编写组 编

重有色金属材料加工手册
第 五 分 册
《重有色金属材料加工手册》编写组编
责任编辑 向培森
(限国内发行)

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 14 1/2 字数 342 千字

1980年5月第1版 1980年5月第一次印刷

印数00,001~15,000册

统一书号: 15062·3526 定价1.80元

目 录

第五篇 线 材 生 产

第一章 型线坯轧制基本原理 1	四、扁坯的成品孔型系统..... 38
第一节 孔型中变形的特点..... 1	第七节 三辊 Y 形轧机的孔型设计..... 39
一、变形不均匀..... 1	一、三辊 Y 形轧机常用的孔型形状及构成..... 39
二、咬入条件..... 2	二、成品圆孔型的构成及特点..... 40
三、压下、延伸、宽展..... 3	三、三辊 Y 形轧机常用的孔型系统..... 41
第二节 轧制力和电机功率的计算..... 6	四、三辊 Y 形轧机孔型系统的设计..... 44
一、轧制力的计算..... 6	第八节 孔型在轧辊上的配置..... 51
二、轧件温降计算..... 10	一、孔型在轧辊轴线方向上的配置..... 51
三、道次电机功率的计算..... 10	二、孔型在轧辊径向上的配置..... 51
第三节 道次延伸系数的分配..... 12	三、轧辊孔型配置图..... 53
一、分配原则..... 12	第三章 型线坯轧制工艺 54
二、分配步骤..... 13	第一节 型线坯轧制产品..... 54
三、道次平均延伸系数的选择..... 13	第二节 锭坯和坯料..... 55
第二章 轧辊孔型设计 15	一、对锭坯和坯料的要求..... 55
第一节 孔型和孔型系统概述..... 15	二、锭坯和坯料的种类..... 55
一、孔型的基本概念..... 15	第三节 轧制时的工艺参数..... 57
二、常用的孔型种类..... 16	一、加热制度..... 57
三、常用的孔型系统..... 17	二、轧制温度..... 59
第二节 箱形孔型系统..... 19	三、轧制速度..... 59
一、孔型构成..... 19	第四节 活套与轧制图表..... 60
二、箱形孔型系统的设计..... 19	一、轧件活套和活套沟的长度计算..... 60
第三节 椭圆-方孔型系统和六角-方孔 型系统..... 20	二、轧制图表..... 61
一、孔型构成..... 20	第五节 线坯轧制的典型孔型系统举例..... 64
二、椭圆-方孔型系统的设计..... 25	一、紫铜线坯轧制典型孔型系统举例..... 64
三、六角-方孔型系统的设计..... 28	二、轧制黄铜线坯的典型孔型系统举例..... 65
第四节 菱-方孔型系统和菱-菱孔型系统..... 28	三、轧制青铜、铜镍合金、镍及镍合 金线坯的典型孔型系统举例..... 66
一、孔型构成..... 28	四、三辊 Y 形连轧机的孔型系统举例..... 67
二、各种菱形孔型系统的特点..... 30	第六节 轧制注意事项及产品缺陷..... 68
三、菱-方孔型系统的设计..... 32	一、轧制前的准备工作..... 68
四、菱-菱孔型系统的设计..... 32	二、轧制时注意事项..... 68
第五节 椭圆-圆孔型系统..... 34	三、轧制线坯的缺陷及产生原因..... 71
一、圆孔型的构成..... 34	第四章 线坯轧制设备 72
二、椭圆-圆孔型系统的设计..... 35	第一节 线坯轧机..... 72
第六节 成品孔型系统..... 35	一、线坯轧机种类..... 72
一、线坯和圆棒坯成品孔型系统..... 35	二、线坯轧机的布置..... 74
二、方棒坯成品孔型系统..... 36	第二节 轧辊..... 81
三、六角棒坯的成品孔型系统..... 36	一、轧辊的强度校核..... 81

二、轧辊的尺寸选择.....	82	三、加工率控制原则及其规定	138
三、轧辊材质.....	83	四、常用的线材拉伸流程表	143
四、轧辊的磨损、重车、断辊及强化.....	83	第四节 拉伸时的润滑	167
第三节 线坯车间辅助设备.....	84	一、拉伸时润滑剂的作用及其要求	167
一、加热炉和推锭机.....	84	二、拉伸用的润滑剂	167
二、粗轧机的机械化装置.....	85	三、乳液润滑剂的配制	167
三、活套沟.....	88	第五节 线材的热处理	168
四、剪头设备.....	89	一、热处理的目的	168
五、卷取机.....	89	二、半成品退火工艺参数	168
六、辊道及收集运输设备.....	90	三、成品退火工艺参数	168
第四节 导卫装置及围盘.....	91	四、退火炉的气氛	172
一、导卫装置.....	91	第六节 线材的酸洗	173
二、围盘.....	98	一、酸洗的概念及过程	173
第五章 线材拉伸的基本原理	108	二、酸洗的工艺参数	175
第一节 线材拉伸	108	三、酸洗液的处理	175
一、线材拉伸	108	第七节 线材生产中的废品种类	175
二、拉伸的特点	113	第七章 模具加工	178
三、实现拉伸过程的条件	113	第一节 拉伸用模子	178
第二节 线材拉伸过程	114	一、概述	178
一、线材的一次拉伸	114	二、模孔的形状	179
二、线材的多次拉伸	114	三、模子用的材料	179
三、带滑动的连续式多次拉伸	114	第二节 金刚石模的加工	181
四、无滑动的连续式多次拉伸	117	一、金刚石模的加工方法	181
五、无滑动的积蓄式多次拉伸	117	二、金刚石模加工步骤	181
第三节 拉伸配模	118	三、金刚石模的重磨	185
一、拉伸配模的原则	118	第三节 硬质合金模的加工	185
二、拉伸配模计算	119	一、模坯的选择	185
三、配模计算举例	122	二、镶套	185
四、拉伸型线时的配模	123	三、硬质合金模的加工方法	188
第四节 拉伸力	125	四、硬质合金模加工步骤	190
一、拉伸力及其影响因素	125	五、硬质合金模的重磨	190
二、确定拉伸应力的试验方法	127	六、型模加工	191
三、拉伸力的计算	128	七、新型模具	192
四、拉伸力计算的举例	129	八、扒皮模的加工	192
第五节 拉伸机电机功率及生产率计算	133	第四节 模子的质量检查	194
第六章 线材生产工艺	135	一、模孔表面质量的检查	194
第一节 线材产品技术条件及工艺流程	135	二、模孔形状和尺寸的检查	194
第二节 线坯	136	第五节 模子的使用寿命	194
一、对线坯的技术要求	136	一、影响模子使用寿命的因素	194
二、线坯的选择	137	二、模子使用寿命的确定	196
第三节 线材拉伸工艺	137	第六节 磨料	196
一、拉伸前线坯的准备	137	一、磨料的种类及应用	196
二、线坯的扒皮	138	二、磨料研磨效率及标号	197

三、金刚石粉加工与回收	198	四、废线卷取机	213
第八章 线材生产设备	199	第三节 线材生产辅助设备	214
第一节 线材拉伸设备	199	一、热处理炉	214
一、线材拉伸机的分类	199	二、酸洗设备	218
二、一次拉伸机	199	三、供给润滑剂的装置	220
三、带滑动的连续式多次拉伸机	199	附表	221
四、无滑动的连续式多次拉伸机	203	附表 1. 直径0.010~0.095毫米的有色	
五、无滑动的积蓄式多次拉伸机	207	金属及合金线材的横断面积及	
六、拉伸扁线的设备	210	重量	221
第二节 拉伸机的辅助设备	210	附表 2. 直径0.10~20.00毫米的有色金属	
一、对焊机	210	及合金线材的横断面积及重量	222
二、拉伸机的放线与收线装置	211	附表 3. 目与毫米换算表	223
三、辗头机	213	附表 4. 硬质合金新旧牌号对照表	224

第五篇 线材生产

第一章 型线坯轧制基本原理

第一节 孔型中变形的特点

一、变形不均匀

在孔型中轧制时的轧件变形与平辊轧制比较是不均匀的（如图5-1-1所示）。因为轧件和孔型形状的不同而造成沿轧件宽度上的绝对压下量和相对压下量不均，因而其各点的自然延伸也不同。轧件和孔型的形状差别越大，不均匀变形的程度就越严重。

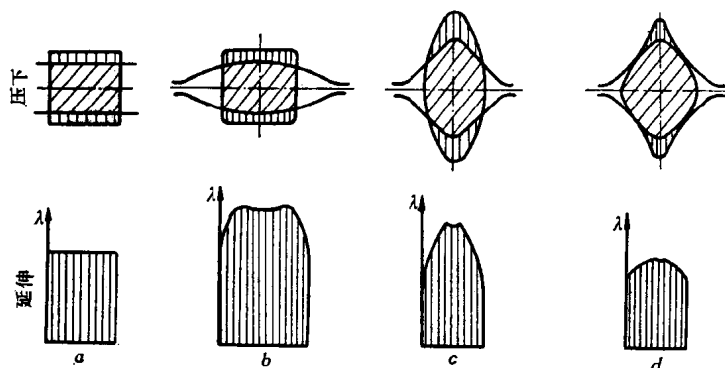


图 5-1-1 轧件在孔型中压下、延伸图

a—平辊轧制； b—方轧件进椭圆孔型； c—椭圆轧件进方孔型； d—菱形轧件进方孔型

此外，引起不均匀变形的原因还有：

1. 轧件温度不均或轧制过程中冷却不均。
2. 孔型沿宽度上各点的线速度不同和外摩擦条件不同。
3. 轧机调整不正确（图5-1-2）或入口导卫装置安装不正确（图5-1-3）。

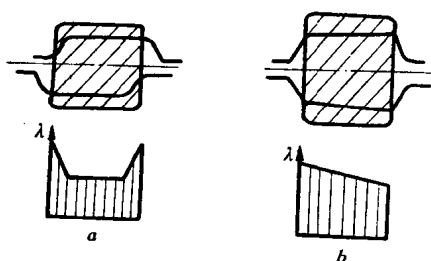


图 5-1-2 轧机调整不正确使轧件产生不均匀变形

a—上下轧槽错开； b—孔型两边辊缝不等

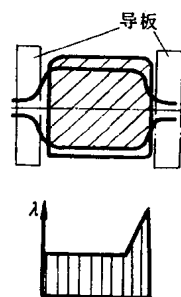


图 5-1-3 导卫安装不正确（偏）使轧件产生不均匀变形

不均匀变形对金属的组织 and 性能都有不良影响, 它使轧件产生内应力, 严重的不均匀变形会使轧件产生弯曲、波浪、扭曲、裂纹及尺寸不符等废品。

不均匀变形引起轧槽的不均匀磨损, 压下量大的部位磨损较严重。

二、咬入条件

1. 影响轧件咬入的因素 影响因素有: 金属及合金种类、轧件温度、外摩擦条件、轧制速度、道次压下量、轧辊的直径、材质及轧槽的车削精度等。在孔型中轧制时, 孔型的形状改善了咬入条件。

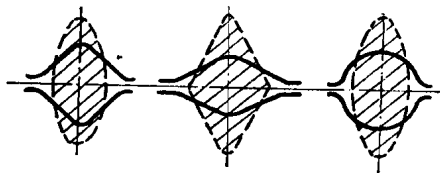


图 5-1-4 孔型角部的“夹持”作用

(1) 孔型侧壁的作用 孔型侧壁对轧件的摩擦力增加了轧件被咬入的力, 侧壁斜度越小, 作用越显著。

(2) 孔型底角部的“夹持”作用 如图5-1-4所示, 轧件首先接触的是孔型底角部, 由于孔型角部两侧壁对轧件的摩擦力起了相当于“夹持”的作用, 使轧件容易被咬入。

(3) 轧件局部“压扁” 轧件开始接触轧槽的瞬间是点接触, 接触点是轧件突出的角部, 接触后轧件角部产生局部“压扁”, 增加了轧件和轧槽的接触面积, 使咬入力增大。

2. 咬入角的计算

$$(1) \text{ 公式 咬入角} \quad \alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D_{\min}}\right) \quad (5-1-1)$$

$$\alpha = 57.32 \sqrt{\frac{2\Delta h}{D_{\min}}} \quad (5-1-2)$$

式中 Δh ——绝对压下量, 毫米;

$D_{\min}$ ——轧辊最小工作直径 (即孔型底部的轧辊直径), 毫米。

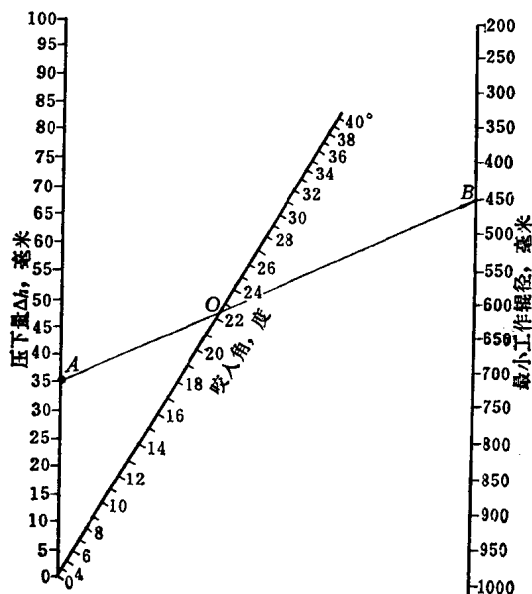


图 5-1-5 咬入角计算图

(2) 计算图 根据绝对压下量 Δh 和轧辊最小工作直径 $D_{\min}$, 可从图5-1-5查得咬入角 α 。

3. 最大允许咬入角 其大小和金属及合金的种类、轧制条件等有关, 在孔型中轧制时, 最大允许咬入角的数值为:

紫铜	28°~32°
紫铜(有后推力作用)	34°~37°
黄铜、青铜	24°~28°
铜镍合金、镍及镍合金	22°~26°

三、压下、延伸、宽展

1. 体积不变定律 金属及合金在塑性变形时, 变形前后的体积相等。

$$\text{即: } V_1 = V_2 \quad (5-1-3)$$

$$\text{或: } FL = fl \quad (5-1-4)$$

式中 V_1 ——轧件轧前的体积, 毫米³;

V_2 ——轧件轧后的体积, 毫米³;

F ——轧件轧前的断面积, 毫米²;

f ——轧件轧后的断面积, 毫米²;

L ——轧件轧前的长度, 毫米;

l ——轧件轧后的长度, 毫米。

2. 压下 轧件在高度上的变形使高度减小称为压下。

$$\text{绝对压下量: } \Delta h = H - h \quad (5-1-5)$$

$$\text{相对压下量(压缩率): } \epsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{H - h}{H} \quad (5-1-6)$$

$$\text{压下系数: } \eta = \frac{H}{h} \quad (5-1-7)$$

式中 H ——轧件轧前的高度, 毫米;

h ——轧件轧后的高度, 毫米。

$$\text{平均压下量: } \bar{\Delta h} = \bar{H} - \bar{h} \quad (5-1-8)$$

式中 $\bar{H}$ ——轧件轧前的平均高度, 毫米;

$\bar{h}$ ——轧件轧后的平均高度, 毫米。

轧件(或孔型)的平均高度及平均压下量的求法主要有以下三种:

(1) 经验公式法

$$\text{方轧件进简单椭圆孔型时: } \bar{\Delta h} = H - 0.7h \quad (5-1-9)$$

$$\text{方轧件进平椭圆或多半径椭圆孔型时: } \bar{\Delta h} = H - 0.85h \quad (5-1-10)$$

$$\text{椭圆轧件进方孔型时: } \bar{\Delta h} = (0.65 \sim 0.7)H - (0.55 \sim 0.6)h \quad (5-1-11)$$

$$\text{方轧件进菱形孔型时: } \bar{\Delta h} = (0.55 \sim 0.6)(H - h) \quad (5-1-12)$$

$$\text{椭圆轧件进圆孔型时: } \bar{\Delta h} = 0.85H - 0.79h \quad (5-1-13)$$

上式中 $\bar{\Delta h}$ ——平均压下量, 毫米;

H ——轧件轧前高度, 毫米;

h ——轧件轧后(即孔型)的高度, 毫米。

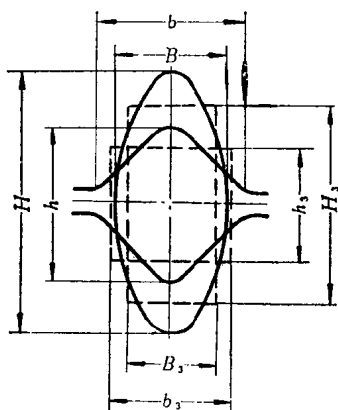


图 5-1-6 相应轧件法求平均压下量

(2) 相等宽度法 以轧件宽度和面积相等的矩形高度作为轧件的平均高度。

$$\bar{H} = \frac{F}{B} \quad (5-1-14)$$

式中 $\bar{H}$ ——轧件平均高度, 毫米;

F ——轧件断面积, 毫米²;

B ——轧件宽度, 毫米。

(3) 相应轧件法 用矩形断面来代替原来的轧件或孔型的断面, 此矩形的面积等于原轧件或孔型的面积, 而矩形的高度和宽度的比值等于原来轧件或孔型的高度和宽度的比值, 如图 5-1-6 所示。此矩形的高度即为原来轧件或孔型的平均高度。

$$\begin{cases} H_3 B_3 = F \\ \frac{H_3}{B_3} = \frac{H}{B} \end{cases} \quad (5-1-15)$$

式中 H_3 ——矩形的高度(为轧件的平均高度), 毫米;

B_3 ——矩形的宽度, 毫米;

F ——轧件的断面积, 毫米²;

H ——轧件的高度, 毫米;

B ——轧件的宽度, 毫米。

解(5-1-15)方程可求得 H_3 即为轧件的平均高度; 同理求得 h_3 为孔型的平均高度。

$$H_3 = \sqrt{\frac{FH}{B}} \quad (5-1-16)$$

3. 延伸 轧件在变形时的长度增加称延伸。

绝对延伸: $\Delta l = l - L \quad (5-1-17)$

相对延伸: $\delta = \frac{\Delta l}{L} \quad (5-1-18)$

延伸系数: $\lambda = \frac{l}{L} = \frac{F}{f} \quad (5-1-19)$

式中 L ——轧件轧前的长度, 毫米;

l ——轧件轧后的长度, 毫米;

F ——轧件轧前的断面积, 毫米²;

f ——轧件轧后的断面积, 毫米²。

总延伸系数: $\lambda_x = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdots \lambda_n = \frac{F_0}{F_K} \quad (5-1-20)$

式中 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \cdots \lambda_n$ ——各道的道次延伸系数;

F_0 ——锭坯的断面积, 毫米²;

F_K ——成品的断面积, 毫米²。

平均延伸系数: $\bar{\lambda} = \sqrt[n]{\lambda_x}$ (5-1-21)

式中 n ——轧制道次。 $n = \frac{\ln \lambda_x}{\ln \bar{\lambda}}$ (5-1-22)

4. 宽展 轧制时由于金属的横向流动造成轧件宽度上的增加称宽展。

绝对宽展: $\Delta b = b - B$ (5-1-23)

相对宽展: $\frac{\Delta b}{B} = \frac{b - B}{B}$ (5-1-24)

宽展系数: $\beta = \frac{\Delta b}{\Delta h}$ (5-1-25)

式中 B ——轧件轧前的宽度, 毫米;

b ——轧件轧后的宽度, 毫米;

Δh ——绝对压下量, 毫米。

(1) 影响宽展的因素 金属及合金的性质、轧制温度、轧制速度、轧辊辊径、外摩擦条件、绝对压下量、轧件宽度、变形区形状等都影响轧件的宽展, 其影响大致和平辊轧制相同, 此外在孔型中轧制时影响宽展的因素还有:

1) 孔型形状的影响 平辊轧制时 (图5-1-7a), 金属横向流动的阻力只是轧件和轧辊间的摩擦力 T_x ; 而在孔型中轧制时 (图5-1-7b、c、d), 金属横向流动的阻力除轧件与轧槽摩擦力的水平分力 T_x 外, 还有轧制压力的水平分力 P_x ; 因此轧件的宽展较平辊轧制时小, 这是由于孔型侧壁的作用, 侧壁斜度越小, 限制宽展的作用越大。因此在箱形孔型中轧件的宽展最小 (当轧件充不满时, 侧壁不起作用, 相当于平辊轧制时的自由宽展), 方孔型居中而椭圆孔型中轧件宽展最大, 六角孔型中轧件宽展次于椭圆孔型, 菱形孔型中轧件宽展比方孔型大, 圆孔型中轧件宽展比方孔型小。

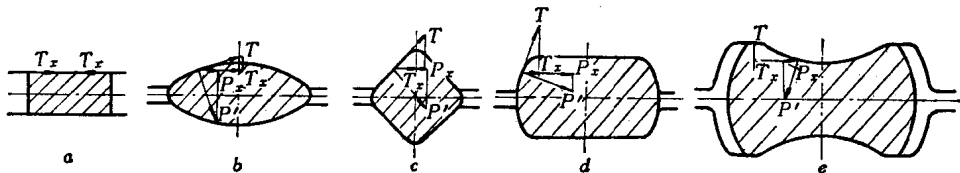


图 5-1-7. 孔型形状对宽展的影响

a — 平辊轧制; b — 椭圆孔型; c — 方孔型; d — 箱形孔型; e — 强迫宽展孔型

大部分孔型都有限制宽展的作用, 而在一些较复杂的孔型中还可能出现强迫宽展, 图5-1-7e是一个强展孔型, 在轧槽中间凸肚部分, 轧件和轧槽的摩擦力的水平分力 T_x 和部分轧制压力的水平分力 P_x 是促使轧件横向流动的, 即促使轧件宽展的。

2) 不均匀变形的影响 在孔型中变形时轧件沿宽度方向上受到不均匀压下, 而沿宽度方向上各点的实际延伸却是一样的; 因此受压下较小的部分产生强迫延伸, 而受压下较大的部分产生强迫宽展。考虑不均匀变形对宽展的影响时, 必须全面综合分析强迫延伸和强迫宽展这两部分的影响。

(2) 宽展的计算

$$1) \text{ 宽展量} \quad \Delta b = \beta \cdot \Delta h \quad (5-1-26)$$

式中 β ——宽展系数, 数据见第二章;

Δh ——绝对压下量, 毫米。

$$\Delta b = \frac{\Delta h \sqrt{R \Delta h}}{1.5(H+h)} \quad (5-1-27)$$

式中 $\bar{R}$ ——轧辊平均工作半径, 毫米;

H ——轧件轧前的高度, 毫米;

h ——轧件轧后的高度, 毫米。

2) 适用于箱形孔型的宽展公式:

$$\text{宽展量:} \quad \Delta b = c \cdot \frac{\Delta h}{H} \sqrt{R \Delta h} \quad (5-1-28)$$

式中 c ——系数, 和金属及合金的种类有关, 对300~800°C的紫铜, 取 $c=0.36$ 。

3) 方轧件在椭圆孔型中的宽展公式

$$\text{宽展量:} \quad \Delta b = \left(1 + \frac{10}{A}\right) (A-h) \quad (5-1-29)$$

式中 A ——方轧件的边长, 毫米;

h ——椭圆孔型的高度, 毫米。

第二节 轧制力和电机功率的计算

一、轧制力的计算

金属对轧辊的全压力 (即轧制力)

$$P = 0.001 \bar{p} F \quad (5-1-30)$$

式中 $\bar{p}$ ——金属对轧辊的平均单位压力, 公斤/毫米²;

F ——金属与一个轧辊的接触面积, 毫米²。

1. 接触面积 F 的求法

(1) 经验公式

$$\text{对箱形孔型:} \quad F = \frac{B+b}{2} \sqrt{R \Delta h} \quad (5-1-31)$$

$$\text{椭圆轧件进方孔型:} \quad F = 0.75b \sqrt{R \Delta h} \quad (5-1-32)$$

$$\text{方轧件进椭圆孔型:} \quad F = 0.54(B+b) \sqrt{R \Delta h} \quad (5-1-33)$$

$$\text{菱形轧件进方孔型:} \quad F = 0.67 b \sqrt{R \Delta h} \quad (5-1-34)$$

式中 B ——轧件轧前的宽度, 毫米;

b ——轧件轧后的宽度, 毫米;

R ——轧辊工作半径, 毫米;

Δh ——绝对压下量, 毫米。

(2) 作图法 首先按比例绘出孔型和轧件图 (如图5-1-8), 等距离画出其对应点连线

AA_1 、 BB_1 、 CC_1 、 DD_1 、 E 、以孔型各点的轧辊半径 OA 、 OB 、 OC 、 OD 、 OE 作圆弧，从 A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 各点作水平线交对应的轧辊半径弧线于 A_2 、 B_2 、 C_2 、 D_2 各点，从 A_2 、 B_2 、 C_2 、 D_2 作垂直线交投影图中心线于 a_0 、 b_0 、 c_0 、 d_0 ，以中心线对称作 $b_0b_1 = B_0B_1$ 、 $c_0c_1 = C_0C_1$ 、 $d_0d_1 = D_0D_1$ 、 $e_0e_1 = E_0E_1$ ，用曲线圆滑连接 a_0 、 b_1 、 c_1 、 d_1 、 e_1 ，此曲线围成的面积即为金属和一个轧辊的接触面积（投影）。若考虑宽展，则首先估计轧件宽展到 F 点，则投影图上相应的 $e_0f_1 = F_0F_1$ ，由 a_0 到 f_1 画出和原曲线相似的圆滑曲线，此外围曲线围成的面积即考虑宽展在内的金属和一个轧辊接触面积（投影）。

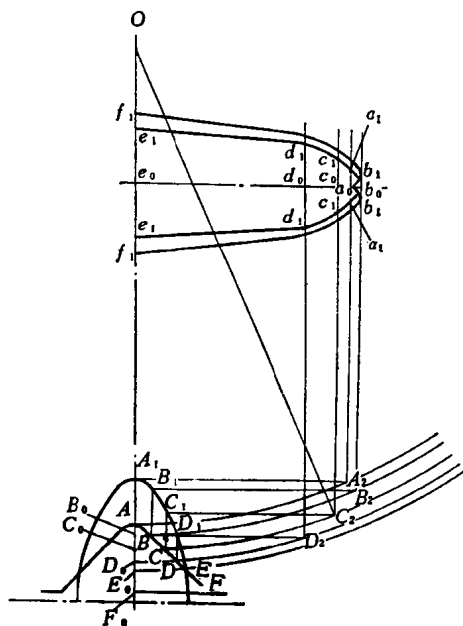
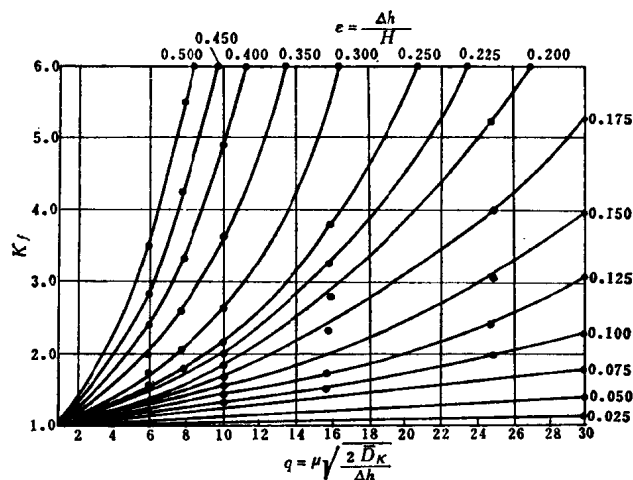


图 5-1-8 金属与一个轧辊接触面积的投影作图法


 图 5-1-9 系数 K_f 的计算图

2. 平均单位压力 $\bar{p}$ 的求法

(1) 公式

$$\bar{p} = K_f (1.15 \sigma_b + \eta \cdot \omega) \quad (5-1-35)$$

式中 K_f ——外摩擦对平均单位压力影响的系数，由图5-1-9查得。

$$K_f = f(\epsilon, q) \quad (5-1-36)$$

式中 ϵ ——相对压下量；

q ——系数。

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{H}$$

$$q = \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \bar{D}_K}{\Delta h}} \quad (5-1-37)$$

式中 Δh ——绝对压下量，毫米；

H ——轧件轧前高度，毫米；

$\bar{D}_K$ ——轧辊平均工作直径，毫米，见公式 (5-2-3)；

μ ——轧件与轧辊的摩擦系数，其数值与轧辊材质、轧制温度、金属及合金的种类有关。

一般对钢轧辊：取 $\mu = 1.05 - 0.0005t$ (5-1-38)

对铸铁轧辊：取 $\mu = 0.8(1.05 - 0.0005t)$ (5-1-39)

式中 t ——轧件温度；

σ_b ——金属及合金在某轧制温度下的抗拉强度极限，公斤/毫米²。 σ_b 的数值根据轧制温度由表5-1-1中查得；

η ——粘性系数。

$$\eta = 0.01C_v(14 - 0.01t) \quad (5-1-40)$$

式中 t ——轧件温度，°C；

C_v ——与轧制速度有关的系数，见表5-1-2。

系数 C_v 的数值

表 5-1-2

轧 制 速 度 (米/秒)	系 数, C_v
<6	1
6~10	0.8
10~15	0.65
15~20	0.6

ω ——变形速度，1/秒。

$$\omega = \frac{V_K}{\sqrt{R \Delta h}} \varepsilon \quad (5-1-41)$$

式中 V_K ——轧件出口速度，毫米/秒，见公式 (5-3-1)；

$\bar{R}$ ——轧辊平均工作半径，毫米；

Δh ——平均压下量，毫米，见公式 (5-1-8)；

ε ——相对压下量，毫米，见公式 (5-1-6)。

$$(2) \text{ 公式 } \bar{p} = (1 + m)(1.15\sigma_b + \eta\omega) \quad (5-1-42)$$

式中 σ_b ——金属及合金在某轧制温度下的抗拉强度极限，公斤/毫米²， σ_b 的数值根据轧制温度由表5-1-1中查得；

η ——粘性系数，公斤·秒/毫米²，见公式 (5-1-40)；

ω ——变形速度，1/秒，见公式 (5-1-41)；

$1 + m$ ——轧件对轧辊的摩擦力引起的变形抗力的增加；

m ——表面摩擦对变形抗力影响的系数；

$$m = \frac{1.6\mu\sqrt{\bar{R} \Delta h} - 1.2\Delta h}{\bar{H} + \bar{h}} \quad (5-1-43)$$

式中 μ ——轧件和轧辊的摩擦系数，见公式 (5-1-38) 和 (5-1-39)；

$\bar{R}$ ——轧辊平均工作半径，毫米；

Δh ——平均压下量，毫米，见公式 (5-1-8)；

$\bar{H}$ ——轧件轧前的平均高度，毫米；

$\bar{h}$ ——轧件轧后的平均高度，毫米。

表 5-1-1

金属及合金在不同温度下的抗拉强度 σ_b (公斤/毫米²)

金属及合金号		度, °C																								
		温											度													
		20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
T2	24.0	22.5	20.2	18.7	17.3	16.0	14.7	13.6	12.3	11.1	10.0	8.4	7.0	5.7	4.5	3.6	2.8	2.3	1.9	1.5	1.2					
	31.0	30.6	29.6	28.4	26.4	24.0	21.4	17.7	12.0	7.5	5.0	3.6	2.4	2.1	1.8	1.4	1.2	1.1	1.0							
	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	32.0	24.5	17.0	13.0	9.0	7.0	5.0	3.8	2.6	1.8	1.0									
	36.0	34.0	32.5	30.5	28.5	25.5	23.0	19.5	16.0	12.0	8.0	6.0	4.0	3.0	2.0	1.5	1.0									
HPb59-1	37.6	36.2	34.2	32.0	30.0	24.6	20.0	14.8	10.0	7.2	4.8	3.1	1.6	1.0	0.4	0.3	0.2									
QSn4-3	35.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	26.0	20.5	15.0	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	56.0	53.0	46.5	44.0	41.5	37.5	32.5	29.0	24.5	20.0	16.0	13.0	10.5	7.5	5.0	4.0	3.5	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—
	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	47.0	40.0	28.0	16.0	13.0	10.0	7.5	5.0	3.5	—	—	—	—	—	—	—	—
	28.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
QCr0.5	45.0	43.5	42.0	39.5	37.0	34.7	32.5	30.5	28.0	25.0	22.0	19.3	16.5	14.0	11.5	8.7	6.0	4.2	2.5	1.7	1.0	—	—	—	—	—
B0.6	27.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	39.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	40.0	39.0	38.0	37.2	36.6	35.8	35.0	33.8	32.0	28.5	25.0	20.5	16.0	12.0	8.5	5.1	3.5	2.6	2.2	2.1	2.0	—	—	—	—	
	47.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	45.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	40.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	41.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.0	4.2	3.8	3.0	2.2	—	—	—	—	—	—	—
N6	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	44.8	40.0	35.0	30.0	26.9	23.5	20.2	17.4	14.6	11.8	9.2	7.8	6.4	5.2	4.0	3.2	2.8	—	—	—
	45.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	56.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21.0	18.5	16.5	13.0	10.0	8.3	6.5	5.0	3.3	3.0	2.8	
	50.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	57.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21.0	17.8	15.0	12.8	11.8	8.7	6.6	5.1	3.9	—	—	—
	65.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	47.0	43.5	38.0	33.0	27.0	21.0	17.5	14.0	12.0	10.0	8.2	6.3	5.1	4.4	3.0	2.5	

二、轧件温降计算

计算轧制压力时需知轧件温度，因此需计算轧件在某个时间（每道轧制时间或两道间间歇时间）内的温降。

$$\text{轧件温降:} \quad \Delta t = \frac{\Delta Q}{cG} = \frac{\xi}{cG} \left(\frac{T}{100} \right)^4 F \tau \quad (5-1-44)$$

式中 ΔQ ——轧件在某个时间的热量损失，千卡；

c ——金属及合金的比热，千卡/公斤·°C；

G ——轧件重量，公斤；

ξ ——热辐射系数，千卡/米²·小时·°K⁴；

T ——轧件的绝对温度，为该道轧件摄氏温度 $t + 273$ ，°K；

F ——轧件的表面积，米²；

τ ——散热时间，小时。

三、道次电机功率的计算

1. 无飞轮时的道次电机功率的计算

$$\text{电机功率:} \quad N = N_0 + N_1 + N_2 + N_3 \quad (5-1-45)$$

式中 N_0 ——电机的空转功率，千瓦；

$$N_0 = \sum \frac{G_n \mu_n d_n}{2 i_n} n \quad (5-1-46)$$

G_n ——电机带动的旋转部件的重量，吨；

d_n ——旋转部件轴颈处的直径，米；

i_n ——旋转部件与电机之间的传动比；

n ——电机每分钟转数，转/分；

μ_n ——旋转部件轴颈处的摩擦系数，和轴承材质有关。

轴承材质为：

金属（如青铜等）	$\mu = 0.07 \sim 0.1$
纤维胶木、塑料	$\mu = 0.005 \sim 0.01$
滚动轴承	$\mu = 0.003 \sim 0.005$
半液体摩擦轴承	$\mu = 0.006 \sim 0.01$
液体摩擦轴承	$\mu = 0.003 \sim 0.005$

N_1 ——轧制功率，千瓦；

$$N_1 = P \sqrt{\bar{R} \Delta h} \cdot n' \quad (5-1-47)$$

P ——轧制压力，吨；

$\bar{R}$ ——轧辊平均工作半径，米；

Δh ——平均压下量，米；

n' ——轧辊每分钟转数，转/分；

N_2 ——摩擦功率（指轧辊轴颈处的摩擦功率），千瓦；

$$N_2 = P \cdot d_1 \mu_1 n' \quad (5-1-48)$$

P ——轧制压力，吨；

d_1 ——轧辊轴颈处的直径，米；

μ_1 ——轧辊辊颈和轴承的摩擦系数，和轴承材质有关，同前述；

n' ——轧辊每分钟转数，转/分；

N_3 ——传动中的损失功率，千瓦；

$$N_3 = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (N_1 + N_2) \quad (5-1-49)$$

η ——从主电机到轧辊的传动系统的传动效率；

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (5-1-50)$$

η_1 ——轧辊接轴的传动效率，

使用梅花接轴时，取 $\eta_1 = 0.96 \sim 0.98$ ；

齿形接轴时，取 $\eta_1 = 0.97 \sim 0.99$ ；

η_2 ——齿轮座的传动效率，当齿轮座中为人字齿轮且为滑动轴承时，取 $\eta_2 = 0.92 \sim 0.94$ ；

η_3 ——减速机的传动效率（包括电机联轴节和主联轴节的效率），

减速机为齿轮传动时，一般取 $\eta_3 = 0.92 \sim 0.94$

皮带传动时， $\eta_3 = 0.8 \sim 0.9$

2. 有飞轮时道次电机功率的计算 电机上装有飞轮时道次电机功率由下式计算：

$$N_K = N - (N - N_0) e^{-\frac{t}{T}} \quad (5-1-51)$$

式中 N ——无飞轮时的道次电机功率，千瓦，计算如前述；

N_0 ——电机的开始功率，千瓦；对每一道次来说，开始功率等于电机空转功率，空转功率的计算与前述同；

e ——自然对数底；

t ——每道次的轧制时间，秒；

T ——电机飞轮的惯性常数，秒；

$$T = \frac{GD^2 n^2 S_H}{366 N_H (1 - S_H)} \quad (5-1-52)$$

G ——飞轮的重量，吨；

D ——飞轮轮缘的直径，米；

n ——电机在额定负荷下的每分钟转数，转/分；

N_H ——电机的额定功率，千瓦；

S_H ——电机的额定转差率；

$$S_H = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (5-1-53)$$

n_0 ——电机无负荷时的每分钟转数，转/分；

n ——电机在额定负荷下的每分钟转数，转/分。

一般取： $S_H = 0.03 \sim 0.1$ 。

计算有飞轮时的道次电机功率 N_K 值时，须知道与电机额定功率有关的飞轮惯性常数 T 值；因此需首先近似计算电机的额定功率 N_H 值，然后再计算道次电机功率 N_K 值；如计算得的 N_K 值和估计的 N_H 值相差很大，则要重新进行计算校正，实际上是用凑算法计算

N_K 值的。

此外, 还可以用样板作图法求有飞轮时的道次电机功率 N_K 值, 方法如下:

首先按公式 (5-1-54) 绘制样板, 如图5-1-10a所示。

$$N' = N(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (5-1-54)$$

式中 N ——无飞轮时的道次电机功率, 千瓦;

T ——电机飞轮的惯性常数, 秒。

绘制样板图时, 纵坐标为功率, 横坐标为时间, 时间取 $0 \sim 4T$ 。

然后按样板图绘制电机的道次负载曲线, 即把样板放在已绘制好的静负荷图上 (静负荷图是无飞轮时的道次电机功率), 使样板的底面直线和横坐标重合, 并使样板曲线和电机空转功率 N_0 所对应的值相交于 A 点, 并从 A 点起按样板曲线绘出该道次的电机负载曲线, 即图5-1-10b上的 $\widehat{AB}$ 曲线。

最后绘制该道次的电机卸载曲线 (如图5-1-10c), 把样板翻转 180° , 并使样板的渐近线平行于横坐标而距横坐标为 N_0 (道次电机的空转功率) 值, 使样板的曲线部分通过该道次电机负载曲线上的 B 点, 从 B 点起按样板曲线绘出在间歇时间内该道次电机的卸载曲线, 即图5-1-10c中的 $\widehat{BC}$ 曲线。

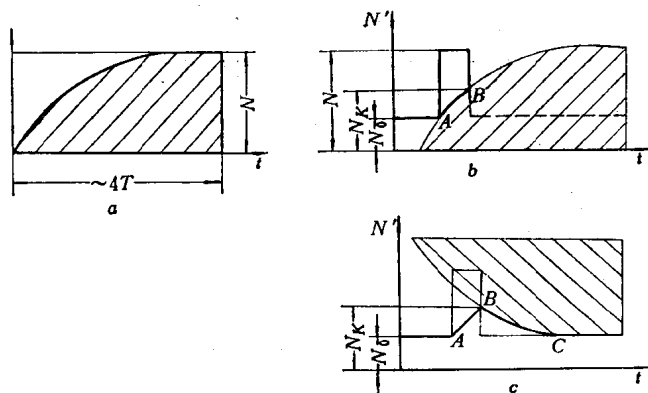


图 5-1-10 用样板绘制有飞轮时道次电机功率 N_K 的示意图

a—样板图; b—负荷曲线; c—卸载曲线

第三节 道次延伸系数的分配

一、分配原则

1. 分配道次延伸系数时要考虑金属及合金的塑性、变形抗力、轧制温度、轧制速度、轧辊辊径、咬入条件、轧辊强度、电机功率、孔型形状及用途等因素, 并经全面分析后, 找出在某一条件下的主要因素。

2. 一般随轧件温度的降低, 道次延伸系数逐渐减小。

3. 开始几个道次, 轧件断面大、氧化皮多, 变形受咬入条件限制。对一些旧式轧机, 变形受电机功率和轧辊强度限制, 因此在开始几个道次 (一般前二道) 延伸系数并没达到最大值。