

Φ720 mm 周期轧管机轧制速度参数数学模型的建立

刘启增, 张 敏

(衡阳华菱钢管有限公司, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 介绍了周期轧管工艺的基本原理以及轧制速度参数数学模型的建立方法, 并对模型进行了简化。根据简化模型计算的轧制参数进行生产, 其生产同步性好, 成品管尺寸精度较高。故轧制参数的简化数学模型适用于周期轧管机组轧制参数的设定。同时指出在采用该模型时, 要充分考虑轧件的开轧温度等因素对轧辊转速的限制。

关键词: 周期轧管机; 轧辊; 转速; 轧制参数; 数学模型; 简化计算

中图分类号: TG338 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2011)06-0053-04

Establishment of Mathematical Model of Φ720 mm Pilger Mill Rolling Data

Liu Qizeng, Zhang Min

(Hengyang Valin Steel Tube Co., Ltd., Hengyang 421001, China)

Abstract: The fundamental principle of Pilger mill rolling process and the establishment method of the mathematical model of rolling speed parameters are described and the model is simplified. Both the precise production synchronicity and the high dimensional accuracy of finished pipes are realized in the rolling production based on the rolling parameters calculated with the simplified model. The simplified model of the rolling parameters is applicable to the rolling parameters setting in Pilger mill. But the limitation of some factors as the rolling temperature of a rolled piece on a roll revolution should be full considered when using the model.

Key words: Pilger mill; Roll; Revolution; Rolling parameter; Mathematical model; Simplified calculation

衡阳华菱钢管有限公司 Φ720 mm 周期轧管机组从德国 SMS Meer 公司引进。周期轧管工艺采用的是锻、轧、挤相结合的变形方式, 具有变形量大、轧制钢种范围广、品种规格适应性强等特点, 比较适合生产大直径高合金厚壁无缝钢管。其所使用的现代化喂料器采用了液压机械式限制喂料装置和转角补偿机构, 实现了高精度的喂料和转角补偿。油压制动装置和可调空气压缩孔腔能保证迅速而平稳的制动, 且易于实现喂料器与轧辊的同步。周期轧管机轧制参数作为钢管质量和机组产能的决定性因素, 在日常的生产操作和新产品开发中占有举足轻重的地位。通过对周期轧管机轧制参数计算的基本原理进行分析, 借鉴和消化国内外在周期轧

管机参数计算的先进经验, 结合 Φ720 mm 周期轧管机组的实际情况, 建立了轧制速度参数的简化数学模型, 为实际生产操作和新产品开发提供了理论依据。

1 周期轧管工艺的基本原理

1.1 周期轧管机的轧制过程

周期轧管是在轧辊可变的孔型中和芯棒上辗轧空心的毛管, 与一般纵轧不同的是轧辊的旋转方向与喂入轧件的方向相反。当轧辊旋转时, 孔型的净宽尺寸在不断改变, 因而轧辊在每旋转一周中孔型的轮廓尺寸不断变化着。

周期轧管机孔型分为 4 段, 钢管的变形区随着孔型的变化而不断变化(图 1):

(1) 锻轧段。变形主要集中在该段, 实现毛管成形为荒管的变形区。

刘启增(1965-), 男, 高级工程师, 分厂副厂长, 从事钢管工艺研究和技术改造工作。

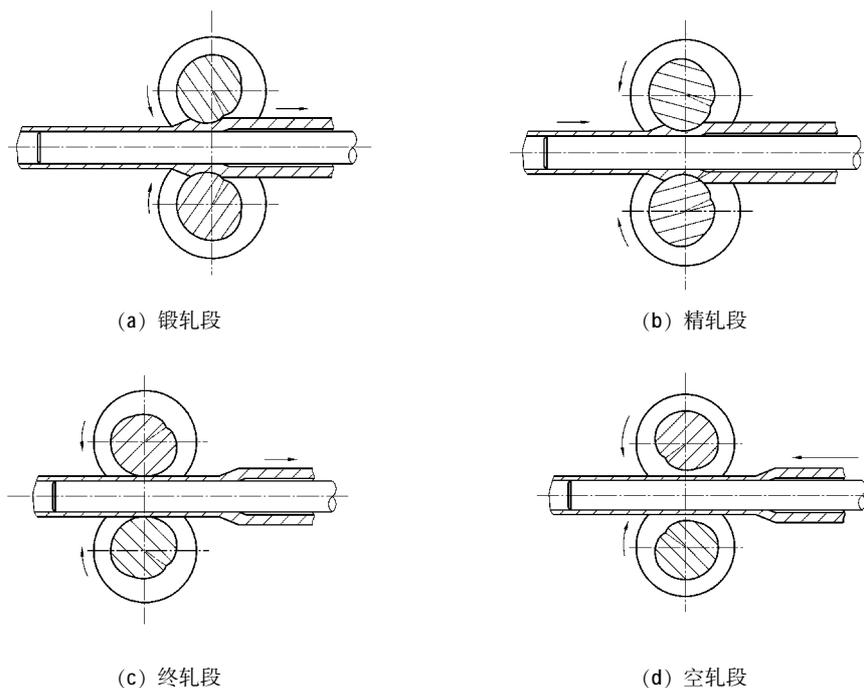


图1 周期轧管机的轧制过程

(2) 精轧段。此段是将上一次锻轧部分精轧定径，保证管子的外径和壁厚。

(3) 终轧段。此段的作用是让孔型和荒管脱离接触，并过渡到空轧段。

(4) 空轧段。孔型张开口，此时毛管再次喂入孔型并翻转 90° 以待下一次轧制。

正常轧制时，毛管接触轧辊，进入锻轧段，轧辊开始辗轧毛管，活塞筒在轧辊的作用力下后退，活塞空气室的气体被压缩，压力升高。随着轧辊孔型半径的减小，毛管的外径随之减小，壁厚逐渐被辗轧减薄，在精轧段实现定径和均壁直到轧辊转到终轧段为止，即完成图2所示阶段1的动作。

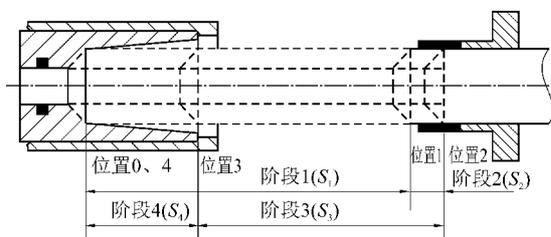


图2 活塞筒的运动过程

待轧辊转到终轧段时，因轧辊孔型大于轧制荒管外径，则轧辊与轧制荒管脱离接触，毛管、芯棒

及活塞筒等由于惯性作用继续后退直到在空气腔压强的作用下停止，即完成图2所示阶段2的动作。

当轧辊转到空轧段时，由于轧辊与轧制荒管脱离接触，在空气腔压强的作用下，毛管、芯棒及活塞筒等加速向前运动，直至接触到制动腔，即完成图2所示阶段3的动作。在制动腔油压的作用下，活塞筒等减速向前动作至停止，即完成图2所示阶段4的动作。在完成阶段3和阶段4动作的同时，毛管及芯棒旋转 90° 并完成喂料。完成阶段1~4的动作所需的时间为一个周期。如果在轧辊旋转一周的时间内喂料器正好完成阶段1~4的动作，则周期轧管机轧辊与喂料器匹配。周期轧管机轧辊与喂料器匹配是周期轧管工艺的基本要求之一，可以通过调整轧制参数实现。

1.2 周期轧管机的轧制参数

周期轧管机的轧制参数主要包括轧辊转速 n_w 和辊距 G_R ，喂料器空气腔初始压强 P_0 ，轧制时喂料器的喂入量 m 等。一般来说，应根据生产时的实际情况来选择合理的周期轧管机轧辊转速和初始压强等轧制参数。如果轧辊与喂料器不同步，轧管机的超前或滞后轧制会造成荒管产生表面质量缺陷及壁厚不均，或由于喂料器的积存而产生过载，造成设备事故。因此，必须建立轧制参数的数学模型，为实际生产提供理论依据。

2 轧制速度参数数学模型的建立

周期轧管机的一个周期可分为以下 4 个阶段。

阶段 1: 轧辊直径为 D_i , 轧辊孔型直径为 D_k 。工作段曲线夹角 a , 终轧段曲线夹角 a_A 。活塞筒在轧辊的作用力下后退 S_1 , 所需时间为 t_1 。

阶段 2: 活塞筒在压缩空气的作用下减速后退 S_2 至停止, 所需时间为 t_2 , 平均减速度为 b_2 。由于阶段 2 行程很小、时间很短, 可近似认为活塞筒受最大压强 P_{max} 作用。

阶段 3: 活塞筒在压缩空气的作用下加速前进 S_3 至油压制动区域, 所需时间为 t_3 , 平均加速度为 b_3 。由于阶段 3 是一个多变过程^[1], 根据工程热力学原理, 可采用积分的方法计算出阶段 3 的平均压强 P_m 和平均加速度 b_3 。

阶段 4: 油压制动距离长度为 S_4 , 所需时间为 t_4 , 平均减速度为 b_4 。可以认为阶段 4 为均匀减速的过程, 且 S_4 为定值。

轧制过程中轧辊与活塞筒动作匹配的实质就是轧辊旋转一周所用的时间 T 与活塞筒完成 4 个阶段的时间 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 之和相等, 即满足等式(1):

$$T = \frac{60}{n_w} \quad (1)$$

$$T - (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) = 0$$

3 轧制速度参数的简化计算

按上述计算方法建立轧制速度参数的数学模型比较合理, 但计算非常复杂, 不适用于现场实际操作应用。由于轧辊在终轧段与毛管脱离接触, 在轧辊工作段末期活塞筒已减速, 故阶段 2 的 S_2 与 t_2 相对于其他几个阶段几乎可以忽略不计。阶段 3 是一个多变过程, 在计算过程中通过积分求出平均压

强和平均加速度, 但是计算过程非常复杂, 可通过取初始压强与最大压强的平均值来计算, 计算出的结果比实际值小, t_3 与 t_4 比实际值大。因此, 可将阶段 2 的时间 t_2 平均分给工作段(工作段是轧管工作带, 由锻轧段、精轧段和终轧段等构成)和空轧段, 分给空轧段的 $t_2/2$ 由压强取平均值相互抵消, 因此, 可以采用以下简化计算方法对轧制参数进行计算:

$$t_1 = \frac{60}{n_w} \times \frac{(a + \frac{a_A}{2})}{360} \quad (2)$$

$$b_3 = \frac{P_0 \times F \times (1 + \psi)}{2M} \quad (3)$$

$$t_3 = \sqrt{\frac{2 \times S_3}{b_3}} \quad (4)$$

$$t_4 = \sqrt{\frac{2 \times S_4^2}{b_3 \times S_3}} \quad (5)$$

式中 ψ —— 压缩率;

M —— 阶段 3 转动等效质量, kg;

F —— 活塞有效面积, m^2 。

将式(2)、(3)、(4)、(5)代入式(1)可得:

$$\frac{60}{n_w} - \frac{60}{n_w} \times \frac{(a + \frac{a_A}{2})}{360} - t_3 - t_4 = 0 \quad (6)$$

$$n_w = \frac{(360 - a - \frac{a_A}{2}) \times \sqrt{S_3 \times P_0 \times F \times (1 + \psi)}}{12 \times S_1 \times \sqrt{M}} \quad (7)$$

4 生产应用

以 440 孔型轧制规格为 $\Phi 440 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 的荒管为例, 将轧制参数计算结果与实际值进行比较, 结果见表 1。

表 1 轧制参数比较

类别	轧辊转速 /(r·min ⁻¹)	初始压强 /MPa	最大压强 /MPa	平均压强 /MPa	压缩比	节奏时间 /s	轧制时间/s			
							阶段 1	阶段 2	阶段 3	阶段 4
理论值	46	0.7	1.18	0.98	1.7	1.30	0.68	0.098	0.336	0.186
简化值	48	0.7	1.18	0.94	1.7	1.24	0.70		0.344	0.196
实际值	47	0.7	1.15	0.98	1.7	1.28				

采用上述轧制参数生产时, 若听到“扑-哧-扑-哧”的声音, 说明同步性较好, 成品管尺寸精度较高。随机抽取定径后规格为 $\Phi 426 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 的成品管 10 支, 抽样情况见表 2。没有出现单边、

飞皮外折、大外折、过载等由于轧辊与喂料器不匹配而产生的缺陷或事故。

440 孔型实际轧制 $\Phi 440 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 荒管时的电流曲线如图 3 所示。

表 2 尺寸精度统计

试样编号	外径偏差/%		壁厚偏差/%	
	上偏差	下偏差	上偏差	下偏差
1	+0.36	-0.12	+7.2	-4.3
2	+0.26	-0.08	+6.6	-5.2
3	+0.44	-0.11	+7.7	-2.8
4	+0.39	-0.13	+7.4	-3.7
5	+0.26	-0.08	+8.0	-5.5
6	+0.34	-0.12	+7.1	-4.2
7	+0.34	-0.09	+7.3	-2.5
8	+0.38	-0.04	+5.3	-2.9
9	+0.43	-0.15	+7.8	-4.6
10	+0.46	-0.02	+6.3	-3.1

5 结 论

通过以上分析可知:

(1) 轧制参数的简化数学模型适用于 $\Phi 720$

mm 周期轧管机轧制参数的设定。

(2) 在采用上述计算方法对轧制参数进行计算时,应充分考虑轧件的开轧温度、变形抗力、喂入量、最大压缩比、轧机负荷等因素对轧辊转速的限制,选择合理的轧制参数。

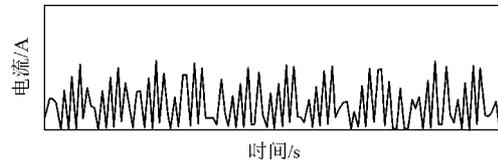


图 3 实际轧制时的电流曲线

6 参考文献

- [1] 陶文铨, 李永堂. 工程热力学[M]. 武汉理工大学出版社, 2001: 76-78.

(修定日期: 2011-06-28)

● 信 息

《结构用不锈钢无缝钢管》、《机械结构用不锈钢焊接钢管》及《锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管》国家标准审定讨论会在常州召开

2011年10月31日—11月1日,由全国钢标准化技术委员会钢管分技术委员会(简称钢标委钢管分委会)组织的 GB/T 14975《结构用不锈钢无缝钢管》和 GB/T 12770《机械结构用不锈钢焊接钢管》等两项国家标准审定会暨 GB 13296《锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管》国家标准讨论会在江苏省常州市召开。来自钢标委钢管分委会的委员、钢管制造厂、钢管用户和研究院(所)等 22 个单位的 32 名代表参加了会议。

会议由钢标委钢管分委会秘书长晏如主持;本次会议的承办单位江苏武进不锈钢管厂集团有限公司董事长朱国良致欢迎辞;钢标委钢管分委会主任委员成海涛对我国当前钢管行业的运行现状和发展趋势进行了分析;全国钢标准化技术委员会副秘书长董莉传达了国家标准化管理委员会对我国当前标准化工作的指示,并对下一步钢管标准的制修(订)工作提出了要求。

会上各标准主编单位介绍了标准的编制过程、意见反馈和处理情况,以及标准文本及编制说明;与会代表对标准送审稿和讨论稿逐条逐句进行了认真讨论,并提出了修改意见。

会议还对提交审定的两项标准属性进行了讨论,一致同意 GB/T 14975《结构用不锈钢无缝钢管》和 GB/T 12770《机械结构用不锈钢焊接钢管》的标准属性为推荐性国家标准;一致同意按审定会的意见对该两项标准送审稿修改后形成报批稿上报审批,对 GB 13296《锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管》标准讨论稿修改后形成送审稿上报审查。

(全国钢标准化技术委员会钢管分技术委员会秘书处 李 奇)

衡阳华菱钢管有限公司研发的 P91 钢级大直径高压锅炉管顺利通过技术评审

2011年10月26日,全国锅炉压力容器标准化技术委员会在湖南省衡阳市主持召开技术评审会,衡阳华菱钢管有限公司研发的 P91 钢级大直径高压锅炉管顺利通过技术评审。

(衡阳华菱钢管有限公司 许 莹)