

# 无缝钢管壁厚偏心率的测量分析及降低方法

汉斯·约阿希姆·佩勒

(德国德华公司, 德国 门兴格拉德巴赫 41068)

**摘要:** 运用模型对无缝钢管壁厚偏心率的形成及构成进行分析; 阐述了一种降低偏心率误差的方法——穿孔时偏心高频率旋转技术, 并将该方法用于监测生产过程。分析认为: 无缝钢管的偏心率由来自管坯方面的偏心率和来自穿孔顶头的偏心率构成; 穿孔时采用偏心高频率旋转技术, 降低了偏心率的产生振幅, 使轧件沿周向产生金属流动, 从而达到减小偏心率的的目的。

**关键词:** 无缝钢管; 斜轧穿孔机; 壁厚; 偏心率; 管坯; 顶头; 改善质量; 降低成本

**中图分类号:** TG335.71 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2016)01-0041-04

## Measurement Analysis and Method for Reduction of Wall Eccentricity of Seamless Steel Tube

Hans Joachim Pehle

(Germany Dehua GmbH, Monchengladbach 41068, Germany)

**Abstract:** Analyzed via relevant model are development and formation of wall eccentricity of the seamless steel tube. And also elaborated is a method for reducing error of such eccentricity, i.e., the in-piercing process eccentric high frequency spinning technique. This method is used to monitor the manufacturing process. The analysis reveals that the said pipe eccentricity is originated by the bloom eccentricity and the piercer plug eccentricity. The superposition of these two factors lead to the local maximum value. Owing to using the said eccentric HF spinning technique during piercing operation, the vibration amplitude that causes the eccentricity is reduced to get circumferential metal flow of the workpiece so as to lessen the wall eccentricity of the pipe.

**Key words:** seamless steel tube; rotary piercing mill; wall thickness; eccentricity; bloom; plug; quality improvement; cost cut-down

### 1 观 测

在斜轧穿孔机的穿孔过程中, 无缝钢管容易产生壁厚偏心率, 而壁厚偏心率是由穿孔顶头的偏心位置引起的; 因此, 偏心率被定义为两个圆心的偏移, 穿孔顶头的圆周和轧件的圆周相互错位。偏心率的定义如图 1 所示。

图 1 所示中的计算式在理论上是正确的, 但在实际测量时会存在误差; 因此, 一般采用傅立叶分析法进行评估计算。

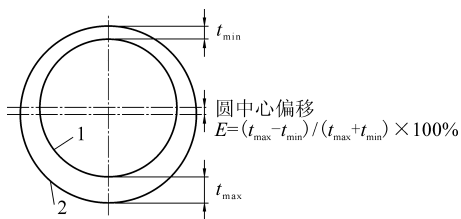
在穿孔以后的变形机组上产生的偏心率可能会

有所降低, 但是大多数都不能彻底消除, 甚至还会出现偏心率增大的情况。其原因是: 在纵向轧制机架里孔型不对称和不圆; 在张力减径机上因拉伸应力过低而产生的温度影响(即在高温拉伸应力作用下张力减径机上钢管的壁厚分布都较平均, 钢管横截面上的温度分布不均基本不会造成壁厚分布不均; 但当拉伸应力较小时, 如横截面上温度分布不均等干扰因素则会对壁厚产生明显的影响, 这时很有可能在张力减径机上形成偏心率。

壁厚偏差(当然也包括偏心率)会降低钢管成材率和钢管质量, 因此必须尽量在偏心率产生时就将其控制在最低值。

理论上讲局部偏心率的最小值可达到 2%~3%,

汉斯·约阿希姆·佩勒(1950-), 男, 德国, 工业博士, 主要从事无缝钢管的生产工艺研究。



1 — 穿孔顶头 2 — 轧件

图1 偏心率的定义

但在实际生产中这个数值通常为5%~10%。例如，管坯加热不均、轧管机和三辊导向装置对中不良、轧制芯棒弯曲或穿孔顶头磨损，都是主要的干扰因素。要降低偏心率就必须排除上述干扰因素，而是否成功排除这些干扰因素可通过测量轧件的偏心率来验证。通常是在空心坯的两端采用手动测量，在张力减径机后采用在线热壁厚测量，在冷床区采用手动测量，最后在精整线采用超声波冷测。

图2所示为某典型空心坯壁厚测量图形结果。为了更清楚地阐述，图2中不考虑除偏心率之外的壁厚偏差因素，此种壁厚分布在下面的叙述中是通用的。从图2可以看出：沿空心坯长度方向的横截面上不是一个固定不变的简单偏心率，而是由不同的“振动”构成的叠加和扭转<sup>[1]</sup>。

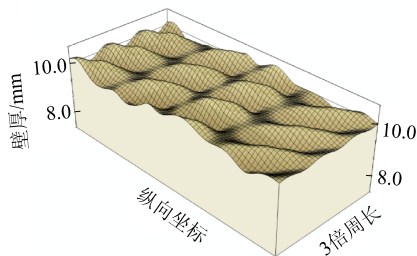


图2 某典型空心坯壁厚测量图形结果

下面将分析复杂偏心率结构的形成，找到偏心率构成和形成原因，最终找出降低偏心率的方法。首要目的是在生产过程中尽可能及时地发现当前正在形成的偏心率，找到偏心率增加的原因并采取有效解决措施。

## 2 形成模型

顶头轴线的轨迹及相应的空心坯壁厚测量数据可视化如图3所示。当穿孔顶头与轧件轴线保持不变的距，并在轧件横截面上沿着固定方位角进行旋转时，就会产生偏心率。对于轧件来讲，这时顶

头轴线的位置是固定的(图3a)，该偏心率沿着轧件纵向轴大小不变且在轧件横截面上位置相同(图3b)。例如，某管坯的横截面里出现沿纵向轴不变的温度梯差时就会产生此种偏心率，此时穿孔顶头更多地偏向管坯温度较高的一侧。

当穿孔顶头轴线随着轧制时间在横截面沿着空心坯纵向方向改变时(图3c)，顶头的运动方式及相应的偏心率就会变得更复杂(图3d)。在实际生产过程中穿孔顶头轴线到轧件轴线的距离也可能随着生产过程而改变。此种情况下应该考虑：当轧件在进行变形时会出现扭绞，此时穿孔顶头相对于空心坯的固定位置可以看作“扭转”的偏心率。通常在穿孔过程中首先出现沿着旋转方向的扭绞，随后出现反方向扭绞。出现的扭绞大多很小，扭绞的旋转方向与轧制参数有关。

图2所示的壁厚分布可能具有各种不同的产生机理。根据一种简单的模型可推算出偏心率由穿孔顶头的偏心位置与顶头轴线的圆周运动叠加所致(图3e)，利用该模型计算出来的壁厚测量数据视觉化如图3(f)所示。

与管坯相比，穿孔顶头轴线圆周运动的频率相对较低，处于顶头的回转速度范围内。由于轧辊直径较大而轧件直径较小，顶头在高点附近回转的速度比管坯还要快一些。于是正在变形的轧件随着管坯转动方向扭绞。

图3所示模型可用于较大偏心率的分析和形成原因解释。该模型明确将偏心率的构成分为两部分：来自管坯的偏心率 and 来自穿孔顶头的偏心率，两个部分叠加后产生局部最大值。

来自管坯的偏心率可能是由于管坯非均匀加热引起的，而来自穿孔顶头的部分可能是由于对中不良或顶杆弯曲引起的。以此为基础，根据分析可以推论出偏心率形成的原因，准确发现和消除影响生产流程的误差。偏心率分析可以根据壁厚测量数据和振动测量数据来进行。

还要指出的是，有时候还会测量到第3种偏心率，但是这种偏心率都很小，所以对实际生产没有意义。

## 3 根据壁厚测量数据求出顶头运动

穿孔顶头的运动与空心坯的壁厚分布之间有着直接联系，因此各种壁厚测量数据能够应用于辨识上述提及的不同偏心率部分。这可以用图形进行，

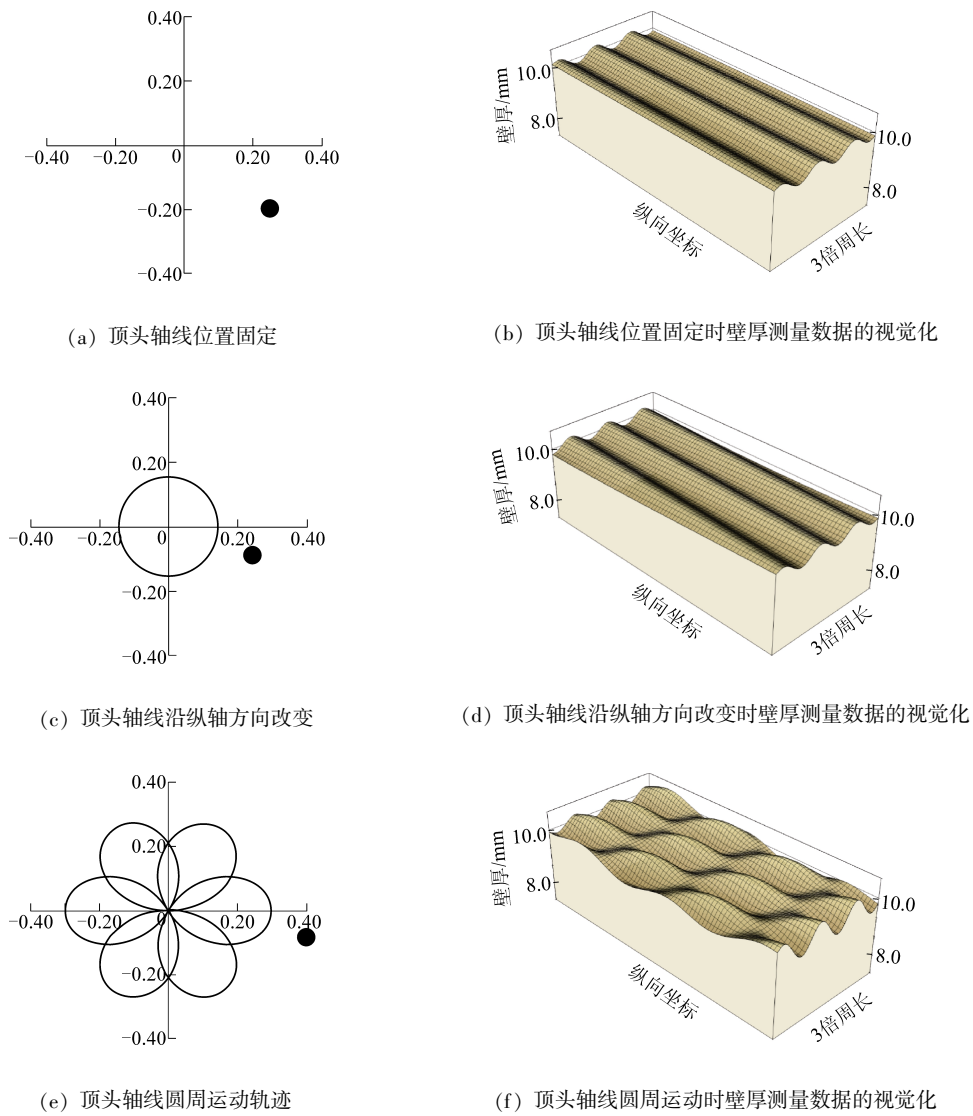


图3 顶头轴线的轨迹及相应的空心坯壁厚测量数据可视化

其中不同频率的“波型”被分离，再根据大小和分布进行估算，如图4所示。

除此之外，也可以使用傅立叶分析法将不同的频率用数学方法分离。通常情况下，使用在线壁厚测量仪沿着轧件的纵向和周向测量壁厚，并详细地将其数据记录下来。此类测量仪一般是安装在延伸装置的后面，因此测量数据到达得较晚，偏心率数值可能会因张力减径机的孔型误差而变得不准确。若想手动详细地测量壁厚数据则只能采用抽样检测，其费用非常高。因此，考虑直接在斜轧穿孔机上检测偏心率是有意义的。

#### 4 根据振动测量求出顶头运动

当顶头固定连接在顶杆上时，顶头的运动方式

由顶杆的离心转动所决定。该运动方式还可能进一步与顶杆的弯曲和自身振动叠加。但是通过测量顶杆运动和比较壁厚的测量数据可发现，偏心率的大小及其沿空心坯纵轴的分布可根据距离壁厚测量仪的测量值清楚地推算出来。例如，顶杆的偏心运动(横截面方向)就能够用距离测量仪记录；而使用激光三角式测量仪可很好地完成测量任务，且仪器价格合理。笔者建议在两个相互垂直对立的平面上进行测量，这样可以准确地记录顶杆的运动。

在测量顶头运动(即顶杆的运动)时当然要考虑到第2节(图3)所描述的情况，即顶头相对于轧件的运动与一个绝对坐标系里的旋转叠加。但该旋转运动在原则上对偏心率的形成没有意义。对偏心率有着重要意义的顶头运动，其实在一个随着空心坯

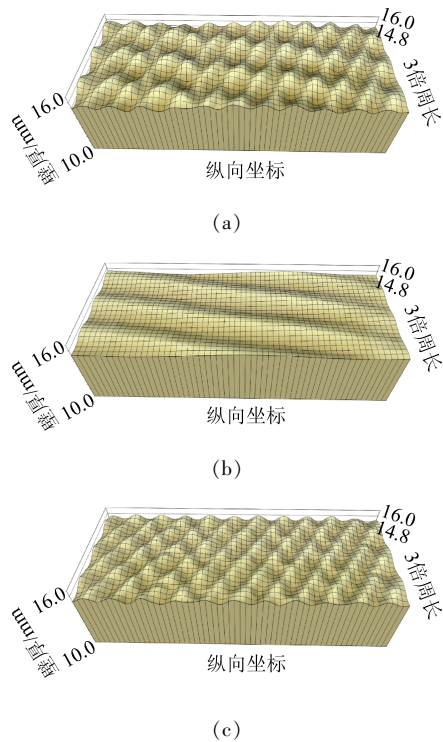


图4 对叠加偏心率分布(a)进行图形分离得出(b)和(c)

旋转的相对坐标系里。根据记录下来的距离测量数据可以将不同的偏心率部分通过频率分析分离开来。简单的偏心率随着空心坯旋转的频率旋转，而叠加的偏心率就旋转得更快。当然，也可以通过比较振动测量结果和偏心率值之间的相关性，以此来评估生产操作时的当前状况。

## 5 影响顶头运动

在穿孔过程中就测量偏心率对于生产具有明显的优越性，因为此时能够立刻对偏心率的增大作出反应。这个评估不仅给出偏心率大小的信息，而且还提示偏心率产生的可能原因，说明偏心率更可能来自穿孔前的加热炉还是来自穿孔机，然而更有意义的是如何从根本上不让更大的偏心率产生。

现介绍一种已试验成功的方法——偏心高频率旋转技术。本文前面所述的顶头轴线的自我回转可由一个外界施加的高频旋转运动来代替，实践中则是在顶杆和顶头之间安装一个偏心轴承(滑动轴承)，通过一个回转驱动器操纵顶杆的转动<sup>[2]</sup>。回转驱动器属于常规技术产品，用于在开孔前将顶头送入旋转的管坯中，以减少顶头磨损。

穿孔时采用常规技术和采用偏心高频率旋转技术时的偏心率比较如图5所示。从图5可以看出：

采用偏心高频率旋转技术时，偏心率的特征发生改变，局部最大值与局部最小值之差变小；局部偏心率明显减小。

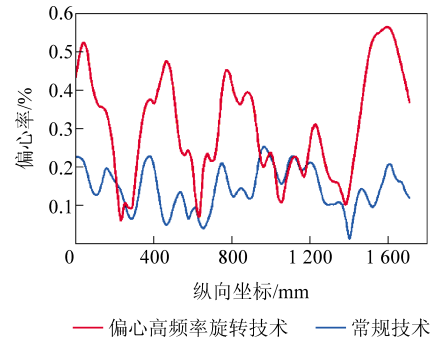


图5 穿孔时采用常规技术和偏心高频率旋转技术时的偏心率比较

采用偏心高频率旋转技术可取得两种效果：①低频的偏心率，即顶头轴线的自转被一种有益的高频旋转替代，减小了偏心率的产生振幅，使之可以在随后的变形步骤里更好地被抵消；②通过顶头轴线的高频回转使轧件沿周向产生金属流动，从而使已经产生的壁厚偏差得到一定的平衡抵消。

由此可见，通过上述方法可消减顶杆和穿孔机对中对偏心率的影响，该方法可以持久和稳定使用，从而达到减小偏心率的目的。

## 6 结 语

无缝钢管的壁厚偏心率占据了壁厚偏差的70%，由此导致产品质量不良，降低了市场竞争力，但至今那些常规方法仍然不能有效解决该问题。本文介绍的解决无缝钢管壁厚偏心率的方法，其效果已经在试验中得到证实，接下来只需要投入到生产实践中即可。

## 7 参考文献

- [1] Pehle H J. Strengthening the competitiveness of seamless tube mills through technological process control[J]. Metallurgical Plant and Technology International, 2006, 29(4): 60-65.
- [2] 汉斯·约阿希姆·佩勒. 基于 WO 2014/067514 A1: 中国, 201380069371.9[P]. 2014-05-08.

(王 里 译)

(收稿日期: 2015-11-17)