

从 Calmes 轧管工艺到 Calmes 的 Multi-stand Pilger Mill^(AI)

——《无缝钢管百年史话》(续释 1-1)

摘要: 概括了 Calmes 轧管工艺的流程以及用于该工艺的设备——周期式轧管机的特点、管坯特点、轧制工具特点。比较了不同辊型的轧辊轧制时的功率消耗。

关键词: 周期式轧管机; 设备; 工艺; 发展

中图分类号: TG333.8 文献标识码: E 文章编号: 1001-2311(2001)03-0050-05

1 Calmes 轧管工艺⁽¹⁾

美国 Phoenix 钢铁公司⁽²⁾ 无缝钢管厂的周期式轧管机组平面布置图是由意大利的 A. Calmes 博士设计的。该机组采用 Phoenix 钢铁公司生产的平炉钢⁽³⁾ 顶铸的波浪形钢锭(最大重量达 3.6t)作管坯,可轧制的成品管直径为 132~406mm,壁厚为 6.35~76.2mm。

Phoenix 钢铁公司无缝钢管厂的这种周期式轧管机组的一大特点是:直接采用平炉钢锭在一个连续的工艺过程中轧制成管,并仅一次加热就能完成冲孔、延伸、周期轧管等各工艺过程。该工艺的主要过程⁽⁴⁾是:钢锭清理、加热、冲孔、延伸、周期轧管、再加热、定径、修磨、精整和水压试验。本节主要论述冲孔、延伸和周期轧管等三个基本部分。

钢锭经火焰烧剥去表面缺陷后,在车底式加热炉内加热到 1 282~1 298℃。为使空心坯既直又壁厚均匀,加热后钢锭的外表和内部的温差不能大于 10℃。同时,为达到理想的加热条件,加热时应将钢锭垫起以使各面都能受到辐射热。加热后的钢锭用小车运送到冲孔机冲孔。

冲孔机⁽⁵⁾为 12MN 的卧式水压冲孔机。采用这种冲孔机冲孔,不会发生内裂纹,它能使钢的组织更加致密,并提高坯料的成材率。钢锭冲孔后,其形状像杯子,被称为杯状体。冲孔模的内径决定杯状体的外径,冲头直径则决定杯状体内孔的直径。

冲孔始自钢锭底部,冲孔时工件略有延伸,杯状体与钢锭长度之间的比率被称为延伸率,其值不超过 1.3⁽⁶⁾。规格不同的钢锭需用不同规格的冲孔模,冲头的大小随延伸顶头的大小而改变。

为便于脱模,冲孔模具有 1% 的锥度。这种冲孔机既可用方锭,也可用圆锭,采用的波浪形圆锭的直径有 330, 406, 482, 533mm。冲孔机所使用的高压水压力为 19 305kPa 和 10 342kPa。

若杯状体没有杯底,而且尺寸合适,可直接送周期式轧管机轧制;如果钢锭加热不均匀,或 L/D 的比值大于 6(L 为杯状体内孔的深度, D 为冲头直径加 12.7mm),冲孔后会产生壁厚不均。因此,从冲孔机直接送周期式轧管机轧制时,就要采用短钢锭,但这种方法不经济,因为既不能轧出双倍尺的 API 管子,也不能轧出商品管所需长度的厚壁管。若采用延伸机,则既能改善空心坯的壁厚不均,又能使用 L/D 值高达 9 或 10 的杯状体。

在延伸机上⁽⁷⁾,杯状体受到在两个水平面上成反向倾斜布置的斜置轧辊和具有一定形状的顶头的轧制。在垂直平面上有 2 个固定导板,用以限制变形区内杯状体断面的椭圆度。

这种延伸机与曼内斯曼斜轧穿孔机很相似,它可以延伸杯状体,并穿透杯底,使之成为空心坯。在轧制某些规格的空心坯时采用 Calmes 辊型的轧辊,而对另外一些规格的空心坯则采用曼内斯曼辊型的轧辊。采用 Calmes 延伸轧辊,杯状体的外径减缩范围为 38.1~73mm,可生产 152.4, 203.2, 254 和 304.8mm 的钢管。采用曼内斯曼轧辊,外径减缩量最大为 38.1mm,可生产 177.8, 229, 279.4, 355 和 406.4mm 的钢管。图 1 示出了曼内斯曼轧辊和 Calmes 轧辊延伸杯状体的变形情况。

由于更换延伸轧辊的费用较高,为此 Phoenix 钢铁公司研制了一种新型的延伸轧辊(图 2),这种轧辊和新设计的上下导板,可以轧制各种规格的空心坯,其减径范围为 38.1~76.9mm。

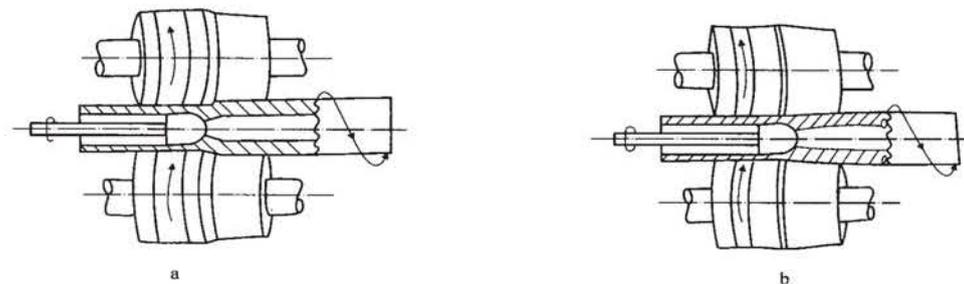


图1 曼内斯曼轧辊(a)和 Calmes 轧辊(b)延伸杯状体的变形情况

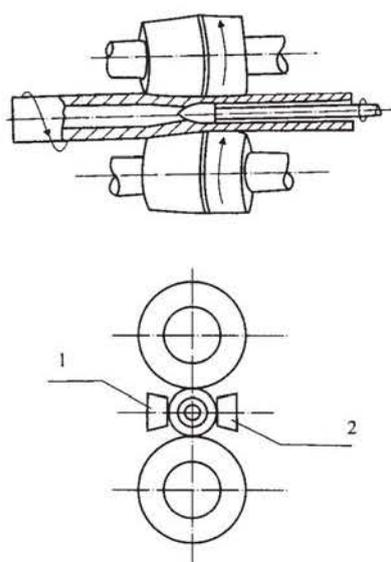


图2 采用 Phoenix 轧辊轧制时杯状体的变形情况
1—上导板 2—下导板

延伸空心坯时，延伸系数 λ 最好选用 1.75，最大应不超过 2。图 3 为几种辊型在单位时间内轧制单位金属所需的轧制功率比较曲线。从图 3 可以看出，Calmes 轧辊优于曼内斯曼轧辊，某种条件下比 Phoenix 轧辊稍为优越。

为使延伸机操作更为灵活方便，我们采用了 Phoenix 轧辊，并将斜置轧辊的倾斜角由 4° 改为 3° ，由此降低了轧机能耗和减小了空心坯的尺寸公差。但由于滑移量减小，所以轧制时间略有增加。

延伸机采用同步电机传动，电机功率为 2 205kW，转速为 1 500r/min，减速机的速比为 3。图 4 为斜轧延伸机将杯状体轧成空心坯的一个水平断面图示。图 4 中示出了 Phoenix 轧辊及顶头位置的配置。可将轧制过程分为三个区：即 A - B 区、B - C 区、C - D 区。

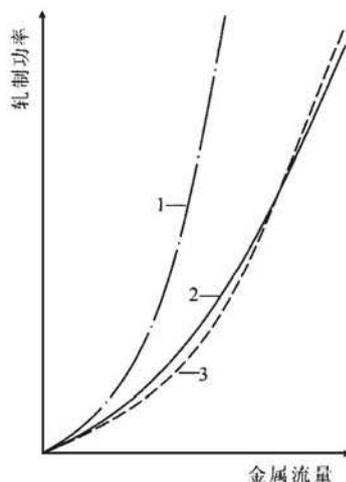


图3 用几种辊型轧制单位金属流量与所需轧制功率的比较
1—曼内斯曼轧辊 2—Calmes 轧辊 3—Phoenix 轧辊

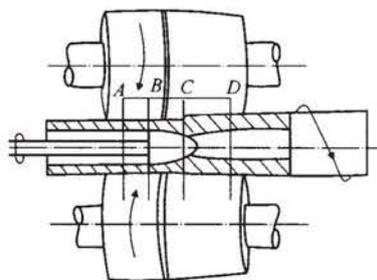


图4 斜轧延伸机的延伸示意

(1) A - B 区。在该区，杯状体在轧辊孔型的作用下外径逐渐减小，但壁厚几乎保持不变(图 5)。

(2) B - C 区。该区为减壁区，沿顶头的外形而形成空心坯内径。轧辊和顶头之间所形成的减壁区，使空心坯得以延伸。当杯状体经过顶头时，壁厚不断减薄，直到形成固定壁厚为止(见图 6 和

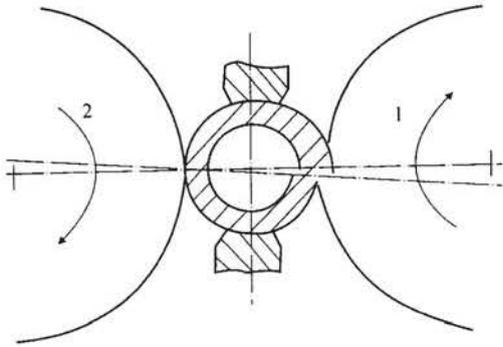


图5 在 A-B 区杯状体外径减小壁厚不变
1—轧辊 A 2—轧辊 B

图 7)。当杯状体通过顶头末端时，壁厚就等于顶头与轧辊表面之间的最小间距，这发生在杯状体旋转 10~15 转之后。

(3) C-D 区。该区称为精轧区。从图 7 可以

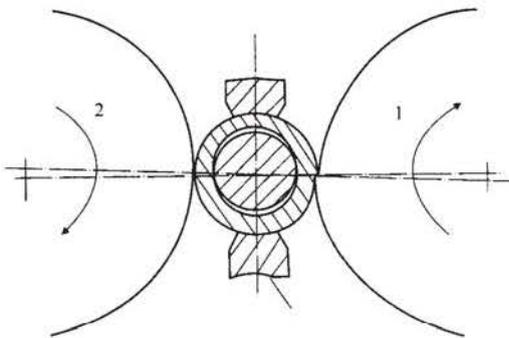


图6 在 B-C 区杯状体壁厚变化示意
1—轧辊 A 2—轧辊 B

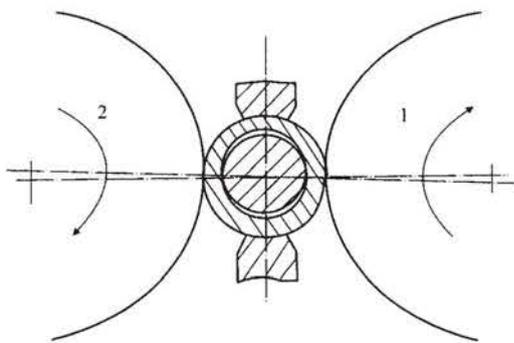


图7 杯状体通过顶头末端时壁厚变化示意
1—轧辊 A 2—轧辊 B

看出，当杯状体在 D 处离开顶头时，其断面为椭圆，但由于精轧区导板的形状，杯状体断面由椭圆形变为圆形。

杯状体离开轧辊成为空心坯后，用以夹持顶杆的锁门就打开，空心坯从延伸机输出，用横移小车将其运送到周期式轧管机。喂料器从横移小车上得到空心坯后，将其套在芯棒上，然后喂料器再将带芯棒的空心坯喂入周期式轧管机。轧制时喂料器允许芯棒被推回，但在轧辊空轧带时，喂料器又推着芯棒前进，并将芯棒和毛管回转 90°。喂料器的送进量为 19~38mm/r⁽⁸⁾。最后从轧成的荒管上脱去芯棒。喂料方向与轧辊旋转方向相反⁽⁹⁾，喂料速度和轧辊转速匹配。

周期式轧管机由 1 台 1 470kW 的电机传动，但该电机的功率能达 2 205kW 而不致过分发热。电动机轴上配有飞轮，在每一转中它既提供能量又获得能量，轧辊速度为 30~105r/min⁽¹⁰⁾。较低的速度用于轧制大管，较高的速度用于轧制小管。

芯棒长度为 4 572~4 877mm，其全长的“退拔”为 1.6mm 左右。同时循环使用的芯棒为 5 根。循环冷却的芯棒先空冷后再浸水冷却。

下轧辊的高度根据所轧管子规格调整，调整后的高度固定不变。当空心坯被轧成带皮尔格头⁽¹¹⁾的管子后应将上辊抬起。上辊是由高压水缸来平衡的，其升降由电机控制。由于在芯棒全长上有约 1.6mm 的“退拔”段，为使壁厚保持不变，只有在轧制时通过一个微调装置将轧辊升高。微调装置由专用电机和减速箱组成，减速箱的出轴通过空气离合器与压下螺丝的电机轴相连，轧制时将上轧辊逐渐抬高以克服芯棒的锥度和热膨胀的影响。

轧制过程中金属的流动方向与喂料方向相同。轧辊每转一周，芯棒回转约 90°。待空心坯完全轧成荒管后，上轧辊抬起，升降辊升起，荒管被输送到热锯，待切去端头⁽¹²⁾和皮尔格头后再进行测长称重并标记。荒管经再加热后定径，加热炉出口处安装有五机架定径机。该定径机有 3 个机架，采用电机传动，电机传动轴在垂直平面旋转；两组惰辊在水平面旋转。对较大直径的荒管，在定径机上可以减径约 25.4mm。定径后的钢管送磨光机磨削。磨光机有 2 个传动辊，1 个较小的空转辊，对管子表面进行精整和矫直。在这条作业线上还有 1 台斜辊矫直机，但磨光机工作得很好时可不使用热矫直机。然后钢管被输送到冷床，精整过程中要对钢管

进行检查、试验。最后进行打印、分级和发货准备。

2 注释

(A1)A. Calmes 长期从事周期轧管生产技术工作, 在他轧管生涯的后期, 先后在水压冲孔、斜轧延伸、皮尔格轧辊孔型以及喂料器等方面取得了专利。他在 20 世纪四五十年代即开始思考对周期轧管工艺进行改革的问题。他将上述专利汇集起来, 形成了 Calmes 轧管工艺, 即以水压冲孔替代斜轧穿孔, 并在其后设置延伸机, 但对周期式轧管机本身没有作实质性的变更, 这种工艺固有的缺点依然存在。随后他在 20 世纪六七十年代开始探索, 在 Heckert 专利的基础上应用现代技术, 发挥周期式轧管机喂料器的作用(在 1951 年取得这方面的专利), 发展限动芯棒连轧管工艺, 这就是早期 MPM 工艺试验的基本设想。限动芯棒连轧管工艺的兴起促使周期轧管工艺的衰败。很多人知道 Calmes 轧管法, 即改进了的周期轧管工艺, 但却很少人知道早期 MPM 工艺中的“P”系指 Pilger, 后来才改为

Pilger。因此从文字上讲, 这两种工艺仅在 Pilger 这一字上有联系, 而从 Calmes 轧管工艺发展到 Multi-stand Pilger Mill(MPM)耗费了几乎 1/4 个世纪的时间, 并使无缝钢管生产技术在 20 世纪下半叶得到快速发展。

(1)此文发表于 Phoenix 钢铁公司采用 Calmes 工艺的周期式轧管机组投产不到 3 年的时间。关于 Calmes 工艺, 其流程为: 平炉炼钢→铸锭→加热→卧式水压冲孔→二辊延伸→清理→再加热→二辊延伸→周期轧管→热锯切→常化→定径→冷床冷却。

美国是拆除周期式轧管机最早的国家。即使在 50 年代安装投产的这一套周期式轧管机组也仅运行了十几年, 随后即被拆除。1958 年前后, 还有英国 Clydesdale 厂(1948, 1956 年)、委内瑞拉钢管厂(1958 年)和中国的成都无缝钢管厂即现今的攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司(1958, 1965 年)等几套周期式轧管机投产, 其设备的主要参数见表 1。

表 1 几套周期式轧管机的主要参数

主要轧管设备	英国 Clydesdale 厂		委内瑞拉钢管厂		中国成都无缝钢管厂	
	中型机组	大型机组	中型机组	大型机组	中型机组	大型机组
水压冲孔机/MN	10(立式)	11.8	8	12	10	18
延伸机辊径/mm	815	711			720	775
延伸机电机/kW	2 205	1 250	1 600	1 800	1 300	2 000
周期式轧管机电机/kW	1 617	1 617	1 500	1 600	1 300	2 000
轧辊转速/ $r \cdot \min^{-1}$	~ 95	32 ~ 90	80 ~ 175	35 ~ 90	60 ~ 108	47 ~ 84.5

关于中国成都无缝钢管厂的 3 套轧机(其中顶管机组 1 套)设备供货单位是匈牙利 Komplex 进出口公司。该公司在 1961 年第 5 期的“Periodica Poly Technica”上著文, 介绍了如下情况: “根据 Komplex 公司和中国中技公司在 1957 年签订的合同, 3 套轧机的供货将于 1960 年末完成, 生产厂为中国成都无缝钢管厂, 该厂设计产量为 20 万 t, 这三套轧机是: 顶管机组、中型周期式轧管机组、大型周期式轧管机组。匈牙利承制单位是: 切佩尔钢铁公司、DIMAVAG 机器厂、GANZ 电机制造厂。最后考虑到上述轧管设备在运行经济和投资方面所具有的优越性, 匈牙利希望将来能帮助更多的国家在工业化的道路上建立他们自己的无缝钢管生

产工业”。30 多年过去了, 事实证明 Calmes 轧管法没有什么发展, 这一希望也就落空了。

(2)Phoenix 钢铁公司在宾州的 Phoenixville, 即在费城西北 20km 处。根据曼内斯曼公司市场研究所提供的资料, 这套周期式轧管机组由 Innocenti 在 1955 年供货, 生产的钢管外径为 190.5 ~ 406.4mm, 壁厚 8.2 ~ 72.6mm, 年产量 7 万 t(现已停产)。

(3)该公司设有 150 万 t 平炉 5 座, 采用上注法生产钢锭。

(4)该工艺过程的主要点是: ①用水压冲孔机取代斜轧穿孔机; ②在水压冲孔机后设有辊式延伸机。为了生产壁厚公差要求较高的钢管, 也可设

2台延伸机以便在二次延伸之间进行检查和清理，但设置多台延伸机并不是这种工艺的关键。

(5)最早采用的水压冲孔机系立式，但一般立式水压冲孔机的能力不大于8MN。在Calmes轧管工艺中使用的水压冲孔机能力较大，在10~18MN之间，一般系卧式。

(6)和通常所说的延伸系数很接近。实际上水压冲孔机的延伸系数很小，仅为1.00~1.10，这就使得机组构成中增加了延伸机，从而加长了流程。因此这种工艺只能热闹一阵，不能挽救周期式轧管机组衰落的命运。

(7)辊式延伸机的结构与斜轧穿孔机相同，只是轧辊形状不同，这种轧辊带“肩”，类似于Assel轧机的辊型，其功用是改善壁厚不均，弥补水压冲孔机延伸系数太小的缺陷。

(8)喂入量是决定周期式轧管机生产效率的一个主要因素，喂入量大小的选择取决于电机负荷、钢管表面质量及几何尺寸公差。喂入量的关系式为

$$\text{喂入量 } m = r_2 Q_2 / K\mu$$

式中 r_2 —— 精轧段孔型底部轧辊半径；

Q_2 —— 孔型精轧段的中心角；

μ —— 轧机的总延伸系数；

K —— 精轧系数，一般为2.2~3.6。

周期式轧管机的喂入量 m 为15~25mm，这里所说的喂入量19~38mm，上限偏大。

(9)原联邦德国Werner Scheurer刊登在1951年“Stahl und Eisen”上的一篇文章中有如下的叙述：“据曼内斯曼兄弟的合作者Bungeroth报导，为轧出薄壁管，他们在Chomotov进行了轧制试验，一部分毛管套在芯棒上轧制，另一部分毛管内填砂子，两端封住后轧制，所有试验均未取得满意的结果。后来又进行了将轧件一段一段地轧制试验，为此发展了一种特殊孔型的轧辊，即皮尔格辊”。

最初，轧辊是顺着空心坯的喂入方向旋转的，但轧制未取得成功。随后试验了周期式轧管机的反向轧制，并在1891年成功地轧出第一根 $\Phi 68\text{mm} \times 5\text{mm} \times 3 \sim 4\text{m}$ (长)的无缝钢管。芯棒与空心坯的喂入方向与轧辊旋转方向相反是这种轧机的一大特点。

(10)轧辊转速是影响轧机生产效率的一个重要因素。一般根据辊径、管径、壁厚、风压和电机负荷大小来选择辊速，其关键是保持轧制周期与喂料器往复运动周期的同步。对于大型周期式轧管机来说，在采用现代化喂料器的前提下，轧辊转速范围为50~70r/min。因此，30~105r/min这样的轧辊转速范围似乎宽了些。

(11)如图8所示，R为紧靠芯棒卡头的脱管环，轧制完毕时，紧靠脱管环那部分的毛管不能轧制完，形成像喇叭状的一段，被称为皮尔格头，要用热锯切除。这是影响周期轧管工艺收得率的因素之一。

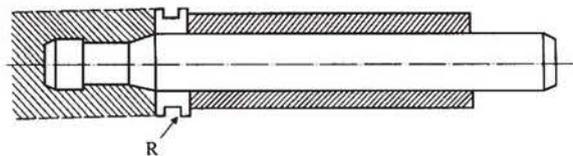


图8 芯棒及脱管环图示

(12)毛管最前面部分。由于咬入时喂料器运动不正常，所以打头后形成参差不齐的破头，这是一段废料，轧制完后要用热锯切掉。这也是影响周期轧管工艺收得率的因素之一。

(待 续)

金如崧译注

● 信 息

印度尼西亚一公司投建一套大口径直缝埋弧焊管机组

印度尼西亚南苏门答腊SEAPI公司最近购买了1套德国施诺曼西马克(SMS)米尔公司制造的大口径直缝埋弧焊管机组，该机组年产量可达20万t。设备有：铣边机、三辊弯边机、内外埋弧焊接机、机械式扩径机、钢管试压装置，以及超声波探伤、X射线探伤系统。该机组首期计划生产 $\Phi 609.6 \sim 1219.2\text{mm} \times 10 \sim 32\text{mm} \times 10 \sim 12.5\text{m}$ 大口径直缝埋弧焊管，在装备了其他设备之后就可以生产壁厚达38mm的大口径直缝埋弧焊管。所生产的焊管可用于油、气输送主管。

(攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司 曾 适)