

2、热轧钢管生产工艺流程

2.1 一般工艺流程

热轧无缝钢管的生产工艺流程包括坯料轧前准备、管坯加热、穿孔、轧制、定减径和钢管冷却、精整等几个基本工序。

当今热轧无缝钢管生产的一般主要变形工序有三个：穿孔、轧管和定减径；其各自的工艺目的和要求为：

2.1.1 穿孔：将实心的管坯变为空心的毛管；我们可以理解为定型，既将轧件断面定为圆环状；其设备被称为穿孔机。对穿孔工艺的要求是：首先要保证穿出的毛管壁厚均匀，椭圆度小，几何尺寸精度高；其次是毛管的内外表面要较光滑，不得有结疤、折叠、裂纹等缺陷；第三是要有相应的穿孔速度和轧制周期，以适应整个机组的生产节奏，使毛管的终轧温度能满足轧管机的要求。

2.1.2 轧管：将厚壁的毛管变为薄壁（接近成品壁厚）的荒管；我们可以视其为定壁，即根据后续的工序减径量和经验公式确定本工序荒管的壁厚值；该设备被称为轧管机。对轧管工艺的要求是：第一是将厚壁毛管变成薄壁荒管（减壁延伸）时首先要保证荒管具有较高的壁厚均匀度；其次荒管具有良好的内外表面质量。

2.1.3 定减径（包括张减）：大圆变小圆，简称定径；相应的设备为定（减）径机，其主要作用是消除前道工序轧制过程中造成的荒管外径不一（同一支或同一批），以提高热轧成品管的外径精度和真圆度。对定减径工艺的要求是：首先有一定的总减径率和较小的单机架减径率条件下来达到定径目的，第二可实现使用一种规格管坯生产多种规格成品管的任务，第三还可进一步改善钢管的外表面质量。

20 世纪 80 年代末，曾出现过试图取消轧管工序，仅使用穿孔加定减的方法生产无缝钢管，简称 **CPS**，即斜轧穿孔和张减的英文缩写），并在南非的 Tosa 厂进行了工业试验，用来生产外径：33.4 ~ 179.8 mm，壁厚 3.4 ~ 25mm 的钢管，其中定径最小外径为 101.6mm；张减最大外径我 101.6mm。经过实践检验，该工艺在产生壁厚大于 10mm 的钢管时质量尚可，但在生产壁厚小于 8mm 的钢管时通过定径、张减不能完全消除穿孔毛管的螺旋线，影响了钢管的外观质量。在随后的改造中不得不在穿孔机于定减径机之间增设了一台 MINI-MPM(4 机架)来确保产品质量。

2.2 各热轧机组生产工艺过程特点

我们通常将毛管的壁厚加工称之为轧管。轧管是钢管成型过程中最重要的一个工序环节。这个环节的主要任务是按照成品钢管的要求将厚壁的毛管减薄至与成品钢管相适应的程度，即它必须考虑到后继定、减径工序时壁厚的变化，这个环节还要提高毛管的内外表面质量和壁厚的均匀度。通过轧管减壁延伸工序后的管子一般称为荒管。轧管减壁方法的基本特点是在毛管内按上刚性芯棒，由外部工具（轧辊或模孔）对毛管壁厚进行压缩减壁。依据变形原理和设备特点的不同，它有许多种生产方法，如表 1 所示。一般习惯根据轧管机的形式来命名热轧机组。轧管机分单机架和多机架，单机架有自动轧管机、阿塞尔轧机、ACCU-ROLL 等，斜轧管机都是单机架的；连轧管机都是多机架的，通常 4~8 个机架，如 MPM、PQF 等。目前主要使用连轧（属于纵轧）与斜轧两种轧管工艺。

表 1

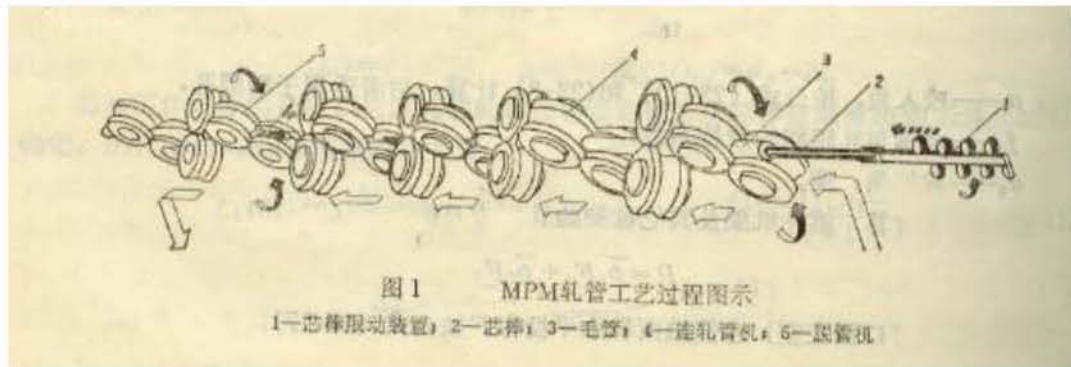
轧管减壁的工艺方法

变形原理	设备、工具特点		加工工艺方式	延伸系数	
	外工具、设备	芯棒			
纵轧法	单机架		短（固定）	自动轧管机(plug mill)	1.5~2.1
	多机架连轧		长（浮动）	MM	3~4.5
			中长（半浮、限动）	Neuval-R, MRK-S、MPM、MINI-MPM、PQF	3~6.5
斜轧法	二辊	导板	短（固定、限动）	二次穿孔、延伸机	<2.5
		导盘	长（浮动）	狄舍尔延伸机（Diescher）	2~5.0
			中长（限动）	ACCU-ROLL	2~5.0
	三 辊		中、长（浮动、限动、回退）	三辊轧管机（Assel, Transval）	1.3~3.5
	多 辊		中长（固定）	行星轧管机（PSW）	5~14
锻轧法	周期断面辊		中长（往复）	周期式轧管机（Pilger）	8~15
顶管法	一系列模孔		长（与出口管端同步）	顶管机	4~16.5
挤压法	单模孔		中长（固定）	挤压机	1.2~30

2.2.2.1 连续轧管机的几种形式：连轧管机是在毛管内穿入长芯棒后，经过多机架顺序布置且相邻机架辊缝互错（二辊式辊缝互错 90° ，如图 1 所示；三辊式辊缝互错 60° ）的连轧机轧成钢管，它是当今被最广泛应用的纵轧钢管方法。连轧管机轧制过程中，轧件变形实际上是受多组（4~8 组）轧辊与芯棒的反复作用从圆到椭圆...椭圆再到圆的过程。

连轧管机的发展历史悠久，早在 19 世纪末就曾尝试在长芯棒上进行轧管，但种种原因，至 1950 年世界上仅有 6 台连轧管机。1960 年后，随着科学技术的进步和生产的发展，特别是电子计算机技术的飞速发展和应用，使连轧管机在生产工艺和设备上日趋完善，得到了迅速的发展和推广。在浮动芯棒连轧管机的基础上，限动芯棒连轧管机于 20 世纪 60 年代中期进行了工艺试验，获得了可喜的成果。1978 年世界上第一套限动芯棒连轧管机（MPM）在意大利达尔明钢管厂建成投产，连轧管工艺发展到了一个新的水准。20 世纪 90 年代末又推出了三辊连轧管机（PQF）技术，使连轧管工艺装备跃上了更高的台阶。

连轧管机在 PQF 出现以前，都是两辊式的，即由两个轧辊为一组组成孔型，二辊式的机架既有与地面呈 45° 交错布置的，也有与地面垂直、水平交错布置的；PQF 为三辊式的，即由三个轧辊为一组组成孔型；MPM 与 PQF 孔型构成见（图 2）；连轧管时，孔型顶部的金属由于受到轧辊外压力和芯棒内压力作用而产生轴向延伸，并向圆周横向宽展，而孔型侧壁部分的金属与芯棒不接触，但它被顶部轴向延伸的金属对它附加的拉应力作用而产生轴向延伸，并同时产生轴向拉缩。不论两辊式的还是三辊式的连轧管机，按芯棒的运行方式可分为以下三种形式。



2.2.1.1 浮动芯棒连轧管机(或全浮动芯棒连轧管机): 简称 MM(Mandrel Mill), 一般设有 8 个机架。轧制过程中对芯棒速度不加以控制, 芯棒由被辗轧金属的摩擦力带动自由跟随管子通过轧机, 芯棒的运行速度是不受控的; 轧制过程中芯棒的运行速度随着各机架的咬入、抛钢有波动, 从而引起管子壁厚的波动; 轧制结束后, 芯棒随荒管轧出至连轧机后的输出辊道, 在轧制中、薄壁管时芯棒的几乎全长都在荒管内, 见图 3; 带有芯棒的荒管横移至脱棒线, 由脱棒机将芯棒从荒管中抽出以便冷却、润滑后循环使用。其特点是轧制节奏快, 每分钟可轧 4 支甚至更多的钢管; 但荒管的壁厚精度稍低、设有脱棒机其工艺流程较长、芯棒的长度接近于管子的长度; 适合生产较小规格(外径小于 177.8mm)的无缝钢管。比较有代表性的浮动芯棒连轧管机有德国米尔海姆厂的 RK2 机组和我国宝钢的 $\phi 140$ mm 机组。

浮动芯棒连轧管机的工作特点是: 由于在轧制时不控制芯棒速度, 因此在整个轧制过程中, 芯棒速度多次变化。例如, 在一台 8 机架的连轧管机上, 当金属进入第一机架时, 芯棒在摩擦力的作用下, 以接近第一机架的轧制速度运行; 当金属进入第二机架时, 芯棒速度就要改变, 以第一和第二机架轧制速度之间的某个速度运行; 当进入第三机架时, 则芯棒速度已变为第一、第二和第三机架轧制速度之间的某个速度; 依此类推, 直至进入第八机架, 芯棒速度便经过了 8 次变化, 已 1~8 机架间的某个速度运行, 进入一个相对稳定的轧制阶段。在此阶段, 前面机架的轧制速度比芯棒速度慢(称为慢速机架), 后面机架的轧制速度比芯棒速度快(称为快速机架), 如果中间某个机架的轧制速度恰好与芯棒运行速度相同则称为同步机架。随后当金属逐渐从有关机架中轧出时, 在芯棒速度变化为 2~8 机架间的某个速度; 当金属由第二机架轧出, 则芯棒速度又变为第三至第八机架间的某个速度, 以此类推, 直至金属从第八机架轧出为止。

由上可以看出, 在钢管的轧制过程中, 芯棒的速度至少要变化 15 次, 芯棒速度的变化将导致金属流动条件的改变。浮动芯棒连轧管机由于轧制过程中芯棒速度改变而使得金属流动发生变化, 因金属流动的不规律而引起钢管纵向的壁厚和直径变化, 尽管对此采取了不少措施并取得了一定的效果, 当轧制条件的变化依然存在, 且产品管的尺寸精度始终不如限动芯棒轧机。此外, 芯棒长, 使制造费用加大, 制造困难, 且长芯棒的重量也很大, 钢管带着过重的芯棒在辊道上运行将会导致钢管表面损伤。故目前浮动芯棒连轧管机均用于小型机组。

连轧管时, 荒管可以看作是在不同直径的轧辊间连续轧制形成的。穿在钢管中的芯棒可以看作是曲率半径无穷大的内轧辊。浮动芯棒轧制时, 芯棒除受到轧辊经轧件传递来的作用力外, 再无其他外力作用。当轧件头部经第一机架咬入后, 随着轧件逐一走向后面的延伸机架, 作用在芯棒上的机架数相继增多, 故芯

棒速度不断提高,这个阶段称为“咬入”阶段。当轧件头部进入最末机架后,整个轧件处在连轧管机所有机架的轧制中,芯棒速度维持不变,称为“稳定扎着急”阶段。当轧件尾部离开第一机架后,芯棒速度逐级提高,直到轧出延伸,称为“轧出”阶段。轧辊工作圆周速度是按“稳定轧制”状态下设定的。轧制过程中轧件又是遵循着体积不变定律的。然而由芯棒引起的轧件速度的升高,使流入后面机架的金属必然增多,也就是说,后面的机架由芯棒送入了比其设定的轧辊圆周速度所允许的还要多的金属,这就出现了使断面积增大的金属积累。这种逐步流入的附加金属造成的较大断面,尽管在最后的机架上得到了加工,但仍然导致在荒管的一些部位上直径变大和壁厚变厚,这种现象称为“竹节”。原则上讲可能在整根钢管上均出现“竹节”。显然“竹节”现象属纵向壁厚不均,对随后的张减机轧制是不利的,应尽可能防止。

为了防止或减少“竹节”形成,孔型设计分配压下量时,在保证总延伸不变的前提下,适当增加前几架压下量。这样,就可在后面几个机架中使芯棒速度的跃增得到减弱,从而减轻芯棒速度变化的影响。良好的芯棒润滑有利于延伸和降低能耗,也可以减少竹节的形成。还可以采用电控技术防止竹节的产生。由电子计算机进行预设,轧辊转速按要求变化,当轧件通过时对轧辊进行校准,使各机架的出口速度与芯棒速度的变化相适应。

70年代盛行浮动芯棒连轧管机组。由于受到芯棒重量的限制,至今这种机组仅能生产直径小于177.8mm以下的钢管。

2.2.1.2 半浮动(或半限动)芯棒连轧管机:德国人称MRK-S(Mannesmann bohr-Kontimill Stripper);法国人称Neuval-R。半浮动芯棒连轧管机一般7~8个机架。

德国设计的工艺为:在轧制过程中,前半程,芯棒不是自由地随轧件前进,而是受限动机构的控制,以一恒定速度前进,芯棒与轧件的速差分布是不一致的,第1架的轧件出口速度小于芯棒速度;自第2架开始,轧件的速度快于芯棒的速度,形成稳定的差速轧制状态;当完成主要变形、管子脱离倒数第3架时,限动机构加速释放芯棒,像浮动芯棒一样由钢管将芯棒带出轧机。德国式的半浮动芯棒连轧管机于20世纪80年代初在日本八幡厂建成投产。

法国研制的工艺为:在钢管由最后一个机架轧出时才松开芯棒,即在轧制过程中具有限动芯棒轧机的工艺特点,而在终轧后松开芯棒;芯棒随荒管至连轧机后的输出辊道。法国式的半浮动芯棒连轧管机于20世纪70年代后期在法国的圣索夫钢管厂投入生产。

不论德国工艺还是法国工艺,半浮动芯棒轧管机轧制结束后,约有1/3长的荒管(尾部)包住芯棒前端,见图4;带有芯棒的荒管横移至脱棒线,由脱棒机将芯棒从荒管中抽出以便冷却、润滑后循环使用。其特点是荒管壁厚的精度较高、节奏较快,每分钟可轧3支甚至更多的钢管,芯棒长度虽然比浮动式的短得多,而比限动芯棒轧机略长一些;设有脱棒机工艺其流程较长;适合生产较小规格(外径小于219mm)的无缝钢管。德国模式的代表机组有日本的八幡厂的 $\phi 194$ mm机组和我国衡阳的 $\phi 89$ mm机组;法国模式的机组至今仅有一套,就是法国V&M公司圣索夫厂的 $\phi 127$ mm机组。

半浮动芯棒连轧管机在扎着过程中对芯棒速度也进行控制,但在轧制结束之前即将芯棒放开,像浮动芯棒连轧管机一样由钢管将芯棒带出轧机,然后由脱棒机将芯棒从荒管中抽出。在对芯棒速度进行限动时,就在一定程度上解决了金属流动规律性的问题,将芯棒放开以后,又如同浮动芯棒连轧管机一样要考虑脱

棒条件的限制，因此半浮动芯棒连轧管机所轧制的钢管直径不宜太大。

半浮动芯棒连轧管机兼顾了限动芯棒与浮动芯棒轧管机的优点，既保持了较高的轧制节奏，又确保了钢管的壁厚精度及内外表面质量，只是由于需要设置脱棒机，使其轧制规格的上限受到限制。

2.2.1.3 限动芯棒连轧管机：简称 MPM (Multi-Stand Pipe Mill)，是意大利因西公司推广应用的，一般 7~8 个机架。轧管时芯棒的运行是限动的、速度是可控的；芯棒的速度应高于第一架的咬入速度而低于第一架的轧出速度。轧制的整个过程中芯棒速度是恒定不变的，从而确保管子壁厚的精度，轧制不同的管子时芯棒的速度可在一定范围内调节。轧制结束后，芯棒停止，由脱管机将荒管从芯棒中脱出，而后芯棒回送离开轧机，拨出轧线冷却、润滑后循环使用。其特点是荒管的壁厚的精度高，用脱管机取代了脱棒机，缩短了工艺流程，芯棒较短；但轧制节奏慢，每分钟可轧 2 支或稍多一点的钢管；适合生产中等规格（外径小于 460mm）的无缝钢管。代表性机组有意大利达尔明的 $\phi 356$ mm 机组和我国天津钢管公司的 $\phi 250$ mm 机组。

为了解决浮动芯棒连轧管机轧制过程中金属流动不规律的问题，缩短芯棒长度，解决芯棒制造上的困难，20 世纪 60 年代国外就开始试验限动芯棒轧制，70 年代获得成功，在意大利的达尔明厂投入工业生产。

限动芯棒连轧管机的基本特点就是控制芯棒的运行速度，使芯棒在整个轧着过程中均以低于第一机架金属轧出速度的恒定速度前进，这是相当重要的工艺改进，使限动芯棒轧机具有浮动芯棒轧机不可比拟的优越性。近年来的实践表明，芯棒的速度应高于第一机架的咬入速度而低于第一机架的轧出速度。这样，在整个轧着过程中芯棒的移动速度均以低于所有机架的轧制速度，避免了不规律的金屬流动和轧制条件的变化。由于芯棒速度受到控制，每一机架的轧制压力都较小，金属流动有规律，延伸系数可达一些，这就可以获得非常好的壁厚偏差。

由于芯棒速度限动，可大大缩短芯棒的长度，轧制 32m 的钢管，芯棒的工作长度只有 15m。钢管从芯棒上轧出后用脱管机将其从芯棒前端抽出，芯棒快速返回，不像在浮动芯棒轧机上受脱棒条件的限制，因此可以生产中型和大型规格的无缝钢管。

限动芯棒连轧管机是在浮动芯棒连轧管机的基础上发展起来的。与浮动芯棒连轧管机相比，限动芯棒连轧管机有如下优点：

- 1) 降低了工具消耗。由于限动芯棒连轧管机的芯棒较之浮动芯棒连轧管机的芯棒要短，钢管与芯棒的接触时间短，从而提高了芯棒的使用寿命，一般使芯棒消耗降至每吨钢管 1 公斤左右。
- 2) 改善了钢管的质量。由于限动芯棒连轧管机具有搓轧（芯棒与钢管内表面相对运动）性质，有利于金属的延伸，加之带有微张力轧制状态，从而减小了横向变形，根本不存在浮动芯棒连轧所产生的“竹节”现象，使钢管内外表面和尺寸精度有了很大提高。
- 3) 取消了脱棒机，缩短了工艺流程，提高了钢管的终轧温度。部分品种可省去定径前的再加热工序，从而节省了能源。
- 4) 扩大了产品规格。由于采用了限动芯棒轧制，可以减小芯棒的长度，减轻了芯棒的重量，允许加大芯棒的直径，使钢管的最大外径由 177.8mm 扩大到 426mm 甚至更大。另外，限动芯棒连轧管机还可轧制径壁比更大 ($D/S > 40$) 的钢管。

限动芯棒连轧管机代表着现代无缝钢管生产的先进技术，它集中体现了无缝钢管生产的连续性、高效率、机械化及工业自动化的发展趋势。80 年代以后

已经在无缝钢管生产领域占了主导地位。

少机架限动芯棒连轧管机 (MINI-MPM) 是在上世纪 90 年代意大利因西公司推出的工艺, 它的实质与 MPM 一样; 当时主要是针对南非托沙厂的技术改造, 设计为四个机架, 基本保留了 MPM 机组的优点, 与 MPM 相比它的最大特点是实现了用更短的芯棒轧制长钢管, 芯棒的工作段长度比 MPM 少 2~3 米; 芯棒总长度可缩短 5 米左右。芯棒可以制造成整体, 两端都加工有限动头可以调头使用, 降低芯棒的消耗。随着锥形辊穿孔机的普及应用, 使热轧无缝钢管的变形量前移成为可能, 连轧工序的延伸可适当减小, 连轧管机不用再设置 7~8 架就可实现所要求的热轧变形了, 所以在而后兴建的限动芯棒连轧管机组大多采用 5 个机架的 MINI-MPM。代表机组有包头钢铁公司的 180 机组; 鞍山钢铁公司的 159 机组; 衡阳钢管厂的 273 机组以及成都钢管厂的 340 机组。

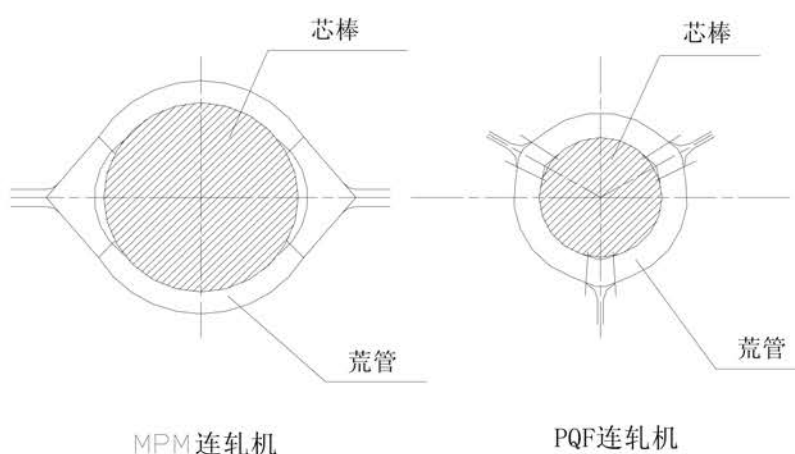
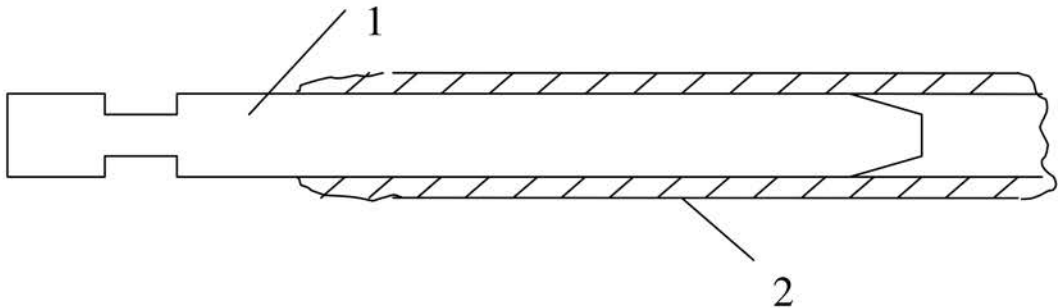


图 2 连轧管孔型构成

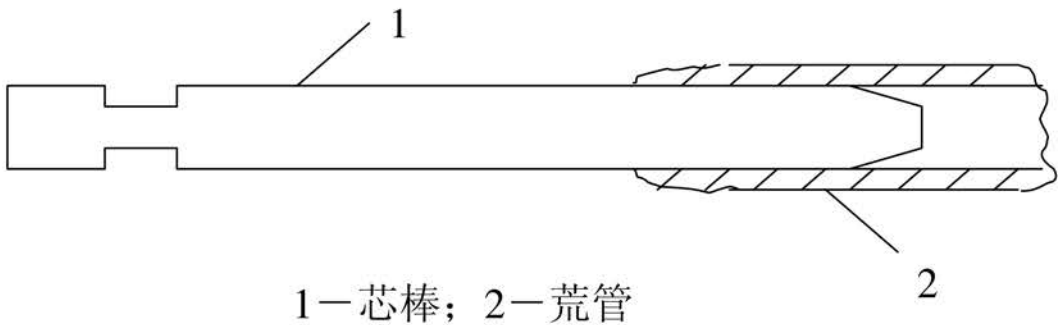
2.2.1.4 PQF (Premium Quality Finishing) 也是限动芯棒连轧管机, 只不过每个机架由三个轧辊组成孔型; 采用三辊设计的孔型比传统的两辊设计的孔型圆度好, 且孔型的半径差小, 有利于轧件的均匀变形和轧辊的均匀磨损。轧槽底部和轧槽顶部之间的圆周速度差较小, 从而能在稳定的条件下使轧制时的金属变形更加均匀。凸缘面积 (不与轧辊或芯棒接触的管子面积。也就是辊缝处壁厚/外径的凸起面积) 有所减小, 即流向凸缘的金属量减少了。这一优点在轧制不受外端及其它机架约束的钢管尾端时尤为重要。事实上钢管尾端在三辊式轧管机上轧制时受控是由于凸缘面积较小 (比二辊式的小 30% 左右) 以及轧槽底部与轧槽顶部间的圆周速度差较小的缘故。因此, 能避免或大大减少管端折叠和飞翅的形成。因圆周压应力较高, 从而能在轧制时使辊缝处产生的纵向拉应力的危险性大大降低。孔型中芯棒的稳定性较高。PQF 机组可以生产高强度 (P110 以上) 特殊钢级油井用管、高压锅炉管及 13Cr、304L 等不锈钢管。PQF 最大的优势是: 由于三辊孔型的半径差小于两辊, 轧件变形更加均匀、平稳, 使产品的壁厚精度和表面质量高于 MPM。 $\phi 168\text{mm}$ PQF 机组由于采用了独特的芯棒运行方式, 使其轧制节奏达到 24 秒/支。代表性机组为我国天津钢管公司的 $\phi 168\text{ mm}$ 机组。

限动芯棒连轧管机芯棒运行有两种方式: 一是轧制结束时, 芯棒停止运动, 待荒管从芯棒中脱出后, 芯棒快速返回, 拨出轧制线, 冷却、润滑后循环使用, 传统的 MPM 均采用此中运行方式; 另一种运行方式为: 轧制结束时, 芯棒停止运

动，待荒管由脱管机从芯棒中脱出后，芯棒不是回送，而是向前快速运行跟随荒管之后依次通过脱管机，芯棒穿过脱管机后，拨出轧线再回送、冷却、润滑循环使用，该方法减少了芯棒的在线待轧（非轧钢）时间。从而有效地缩短了轧制周期，加快了轧制节奏。PQF 采用此中运行方式；两种运行方式的主要区别是脱管完成后，芯棒是与荒管反向运行回退离开轧机后拨出轧制线冷却、润滑、循环使用；还是同向运行芯棒前行离开轧机后、穿过脱管机后拨出轧制线冷却、润滑、循环使用。第二种方法因芯棒要通过脱管机，在轧制薄壁管（脱管机的减径量大于等于 2 倍的荒管壁厚）时要求脱管机轧辊必须具备快开快合功能，以免芯棒撞损脱管机轧辊。



1 - 芯棒；2 - 荒管
图 3 浮动芯棒轧制后芯棒/荒管示意图



1 - 芯棒；2 - 荒管
图 4 半浮动芯棒轧制后芯棒/荒管示意图

2.2.1.5 关于脱管机和脱棒机

为了完成将连轧管机轧出的荒管与芯棒脱开分离的工艺目的，便于荒管在后道工序进一步加工成品钢管，一般采用两种方法：

2.2.1.5.1 一是轧制结束后荒管/芯棒被一起移出轧制线，荒管受轴向约束不动，用装置将芯棒从荒管中抽出；我们将这种荒管不动，芯棒动的设备称为脱棒机。当带芯棒的荒管进入脱棒位置后，脱棒链上的脱棒卡紧装置就勾住芯棒的尾柄，而液压开闭的卡板挡住荒管，脱棒链从荒管中抽出芯棒。脱棒链转过半圆完成一

次脱棒动作，链所走过的距离约为芯棒长度的 1.1 倍。脱棒机的最大速度大于 4.5m/s。到达终位的误差为 $\pm 50\text{mm}$ 。脱出的芯棒经输送辊道送到芯棒定位升降挡板前，然后由芯棒移送装置把芯棒送入芯棒冷却槽，循环使用。脱棒机安装位置与连轧管机平行。脱棒机有两列脱棒链。这两列脱棒链用横梁连接起来。两列脱棒链间共有两个脱棒横梁及多个承载横梁。脱棒横梁用来从荒管中抽出芯棒，而承载横梁用来在脱棒过程中支承芯棒。在脱棒横梁上用螺栓紧固与轧件尺寸相关的脱棒卡紧装置。当更换轧制芯棒时，需要更换脱棒卡紧装置。

2. .2.1.5. 2 另一种是轧制结束后，芯棒停止运动，荒管在线被装置将其从芯棒中脱出；我们将这种芯棒不动，荒管动的设备称为脱管机。脱管机既有两辊式的，也有三辊式的。脱管机的设置有两个重要的工艺目的：一是将荒管从芯棒上抽出，完成脱管目的。在轧制线上脱管，省去了脱棒机，缩短了工艺流程，提高了终轧温度；二是起校正（定径）作用，也就是说在每一支钢管生产中，该机也有延伸和定径作用。为生产薄壁管和中厚壁管，每架脱管机的孔型名义直径必须小于轧管机芯棒直径。在生产薄壁管时，脱管机的减径量要相应加大，否则薄壁管不易被脱出。每架脱管机上都装有安全臼，以防止芯棒进入脱管机时损伤轧辊及相关的机械部分。在事故情况下，假如当带芯棒的荒管进入脱管机孔型时，若脱管机轧辊承受的径向载荷大于预设值，则轧辊孔型会相应张开，防止芯棒顶坏轧辊及设备。

2.2.1.6 连轧管机按芯棒运行方式进行分类的方法/原则？

2.6.1 连轧管机限动芯棒与半浮动芯棒工艺主要区别在于以下两点：一是轧制过程中芯棒速度是否恒定不变；二是使用脱管机还是脱棒机。限动芯棒工艺应该同时满足轧制过程中芯棒速度恒定不变和使用脱管机这两个条件。因此，将目前建成投产的这套 PQF 机组称为三辊限动芯棒连轧管机较为恰当，而称之为半浮动芯棒显然是欠准确的。

2.2.1.6.2 曾有学者提出用半限动替代半浮动这一名称，意在强调对芯棒的限动功能；但从已发表的许多文章来看，绝大多使用都半浮动这一名称。还有人认为法国式的机组因其轧制过程中芯棒速度是受控的，应该属于限动芯棒类型。由于机组配备的是脱棒机，轧管机孔型设计是要考虑脱棒间隙，孔型的侧壁开口角度要比 MPM 的大，故将法国人设计的连轧管机组归为半浮动类型。

2.2.1.6.3 采用脱出荒管之后，芯棒向前行进通过脱管机、绕轧机出口侧进行循环这一独特的运行方式，与传统的限动芯棒机组相比：明显地减少了芯棒的运行时间、加快了限动芯棒连轧管机组的轧制节奏、提高生产效率，实现了人们的对限动芯棒连轧管机既要钢管壁厚精度高、又要轧制节奏快这一美好愿望，但对脱管机的要求较高，需具备辊缝快开快合功能；这并不能说明为提高轧制节奏，在其它中、大型限动芯棒连轧管机组也适用这种芯棒运行方式，因为随着芯棒规格、重量的增加，芯棒在向前输送通过脱管机的过程中可能要遇到一些困难。

2.2.1.7 空减机（空心坯减径机的简称）的配置

一套连轧管机为使其产品外径范围尽可能地宽，设计时一般选用 2~5 个孔型，轧管机后配备张减机的选择孔型数较少；轧管机后配备定径机的选择孔型数较多。由于孔型尺寸的变化相应地轧管机入口的毛管外径也要随着发生变化；为适应轧管机入口毛管外径变化，通常有两种方法：一是选用几种外径的管坯，针对不同的孔型选用不同规格的管坯，每次更换孔型时需对穿孔机的受料槽、导卫装置（导板或导盘）进行更换，这样做有两点不足，一方面占用较多工作时间；另一方面管坯料场、穿孔机工具需要场地较大。第二种方法是在穿孔机与轧管机

之间布置一台空减机,通过空减机可使用一种外径尺寸的管坯满足轧管机不同孔型成为可能。

2. 2.1.7. 1 浮动芯棒连轧管机组采用穿孔机与轧管机之间布置空减机的方法比较经济,这样既可仅用一个规格的管坯组织生产,减少了管坯库的面积和穿孔机相关的轧制工具数量,又可以减少换孔型的时间,提高了机组的作业率。经空减机后的毛管在运往连轧管机入口台架前,先通过一个吹灰装置用压缩空气吹去毛管内的细小氧化铁皮,以减少对芯棒的磨损和管子内表面缺陷。同时空减机亦消除了导盘式穿孔机所造成的毛管头尾外径差,使轧制过程稳定。这种单独布置的空减机一般使用三辊式、3~6个机架。

2. 2.1.7. 2 半浮动芯棒连轧管机组将空减机布置在连轧管机的入口侧,即与连轧管机串列布置,一般为两辊式、2~4架;在保持了原有空减机优点的同时,可缩短工艺流程,减少占地面积。这种变化一方面是因为锥形辊穿孔机的应用使变形前移,轧管机的机架数相应减少(减少2~3架),串列布置因芯棒的长度增加而引起的轧制节奏变化不是很多(因轧制终了芯棒向前运动);另一方面串列布置可减少毛管在纵向移动过程中内表面的氧化和温降,能更有效地确保钢管质量。

2. 2.1.7. 3 限动芯棒连轧管机组在最初时没有空减机,采用的是一种规格的管坯对应一个孔型,这主要是因为轧制时芯棒与轧件内表面的相对运动比浮动时的大,芯棒的工作条件更为恶劣,芯棒更容易磨损和划伤。限动芯棒工艺上不允许毛管在进入轧管机前做纵向运动。必须有效的防止毛管内表面的二次氧化,才能确保钢管的质量,因此不可能像浮动芯棒那样在穿孔机与轧管机之间布置空减机。如采用半浮动芯棒的串列布置,因芯棒长度的增加使轧制节奏更加变慢,(因轧制终了芯棒向后运动),将影响机组的产能的发挥,也是不经济的。近十年来,限动芯棒机组也在不断吸收其他机组的长处,在轧管机入口侧串列布置1架空减机(二辊、三辊、四辊形式均有),目的在于消除毛管内表面与芯棒之间的间隙和毛管外径的头尾直径偏差,使轧制更加平稳,从而提高轧辊的使用寿命,确保钢管的几何尺寸精度和内外表面质量。

2. 2.1.8 吹硼砂的工艺目的

限动芯棒连轧管机组比浮动、半浮动机组多了一个工序是在轧管机入口前向毛管内用氮气喷抗氧化剂,其工艺目的是去除内表面的氧化铁皮并防止二次氧化。抗氧化剂在高温时下呈熔融状态可起到很好的润滑作用。对抗氧化剂的成分、颗粒尺寸、化学稳定性、物理稳定性及吹撒的数量、喷吹的压力、时间都有严格的要求,主要是解决轧管机的延伸大,轧制时芯棒与轧件间相对运动较大,芯棒的工作条件更为恶劣,芯棒更容易磨损和划伤,润滑条件不好时容易发生轧卡事故或轧制终了时脱管机不能将荒管从芯棒中顺利的抽出。

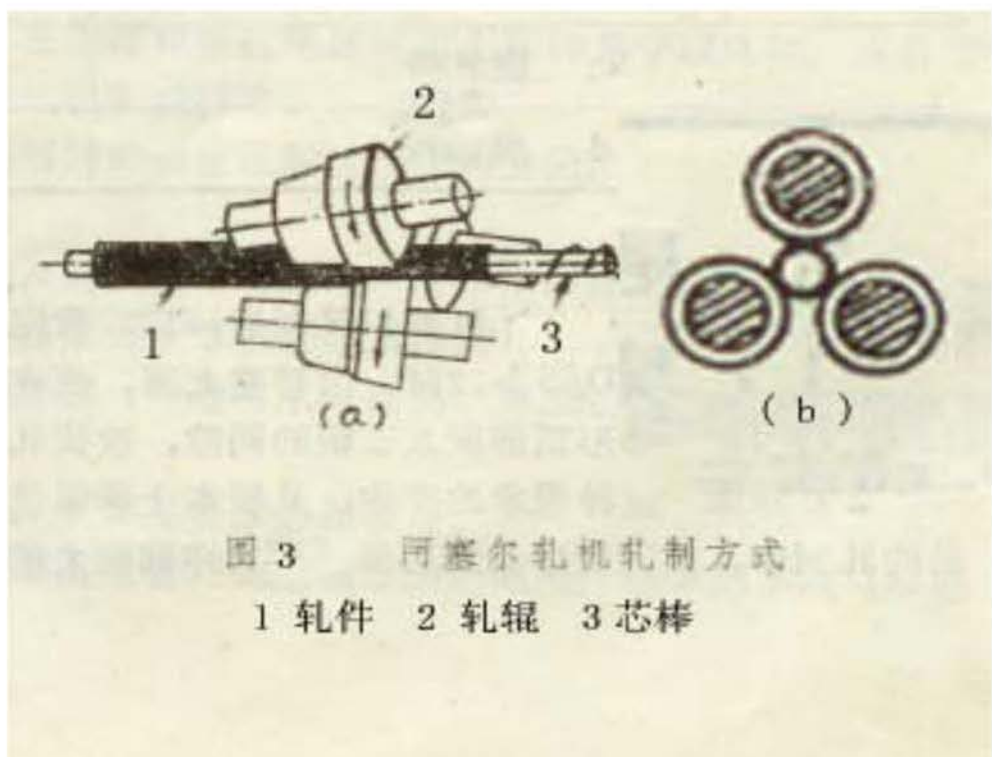
2. 2.1.9 芯棒的选材的原则

连轧管机的芯棒选材时根据其工作环境而定的,浮动芯棒在轧制时芯棒只受径向的压、拉应力,轴向除经轧件的张力传递外,基本不受力,只是在脱棒时有很小的轴向力;限动芯棒、半浮动芯棒在轧制时芯棒既受径向的压拉应力,也要承受很大的轴向拉应力,工作条件更为恶劣。一般浮动芯棒选用H11材料,限动芯棒选用H13材料,半浮动芯棒两者均可。

浮动的芯棒一般是一段式的;限动的芯棒一般采用三段式,由工作段、延长杆和尾柄组成。少机架(4~5架)连轧管机也有将芯棒设计成两端带夹持尾柄,可以调头使用,以减少芯棒消耗。

2.2.2 三辊（斜）轧管机轧管：在 PQF 以前，三辊轧管机专指阿塞尔（ASSEL）轧机或其改进型特朗斯瓦尔（Transval）轧机。阿塞尔轧机由美国蒂姆肯公司工程师 W·J·Assel 于 1932 年发明的，当时主要用来生产管壁较厚的轴承管。阿塞尔轧管机不适宜轧制薄壁管；经改进增加轧辊快开功能后，一般产品 $D/S < 20$ ；这种轧管机由三个带辊肩的布置在以轧制线为形心的等边三角形的顶点，（三个轧辊互成 120° 配置）轧辊轴线与轧制线成两个倾斜角度。轧辊轴线在垂直方向与轧制线倾斜一个喂入角，用来实现螺旋

轧制；在水平方向与轧制线交错一个辗轧角。在三个轧辊和一根芯棒所包围的空间（即孔型，图 3 所示）内，由穿孔送来的毛管套在长芯棒上，用喂管器送入轧管机中轧制；毛管在变形区（图 4）中经咬入、减壁（同时减径）、平整和归圆而成为荒管。斜轧螺旋轧制时金属在变形区内受到轧辊与芯棒的周期连续作用而产生形状和尺寸的变化。轧件变形实际上是从圆到圆三角再到圆的过程。特朗斯瓦尔轧机由法国人在 ASSEL 的基础上发展起来的，本质上还是阿塞尔轧机，所不同的是可在轧制过程中实现变喂入角、变轧制速度，即根据需要能在每根管子轧制过程中迅速按要求改变喂入角和轧辊转速，主要是解决轧制薄壁管问题，可轧制 $D/S > 35$ 的荒管。阿塞尔轧管机优点是：产品精密性高，因为带芯棒的斜轧，在一道次中多次的辗压作用，使壁厚精度大大提高，也不易产生划道、耳子和青线等缺陷；生产中灵活性大，借助轧辊的离合就可改变孔型尺寸，特别适应较小量多批定货，对组织生产有很大的优越性；可生产 $D/S=2.5$ 的特厚壁管；工具储备数量少。不足是规格范围窄，品种受限制，不能生产不锈钢等难变形材质；产能低，年产低于 25 万吨；延伸较小（一般 $\mu < 2.5$ ）；荒管 D/S 一般 < 35 、长度



小于 15 米。

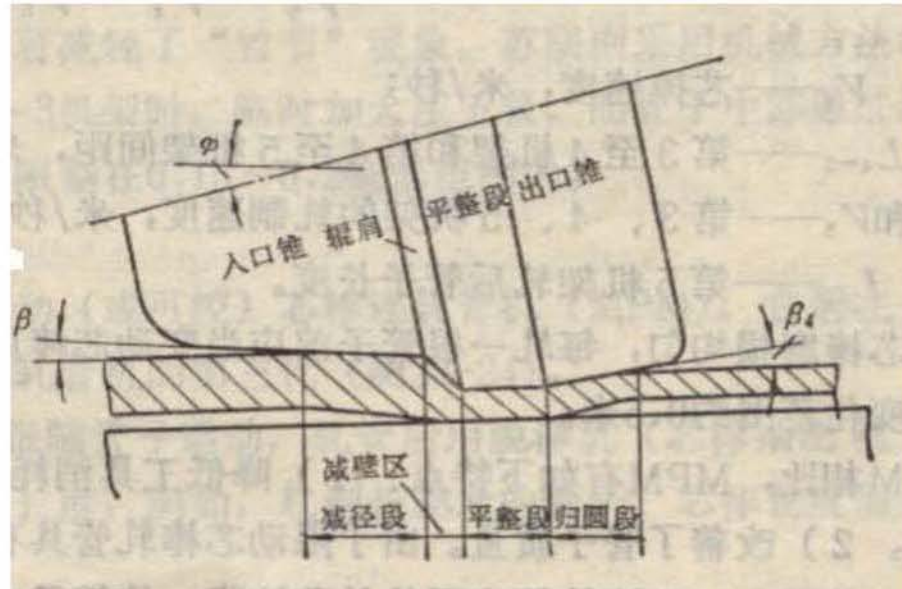


图 4 阿塞尔轧机的变形区

三辊轧管机，按芯棒的运行方式也可分为以下三种形式。

2.2.2.1 浮动式：与上述连轧管机的浮动芯棒形式相同。

2.2.2.2 限动式：与上述连轧管机的限动芯棒形式相近，芯棒前进的速度比荒管的小，由专门机构控制，只是使用一支空心芯棒，芯棒在线内水冷，轧制结束后，将芯棒从荒管中回退抽出并返回原始位置，继续进行下一根管子的轧制操作。三套就是采用这种芯棒运行方式的。

2.2.2.3 回退式：将芯棒装在小车上，芯棒的运行受到小车的限制，芯棒穿过毛管并达到最前部极限位置时开始轧管，轧制时开动芯棒小车使芯棒按给定速度后退，芯棒逐渐地从钢管已轧完的部分中抽出，轧制结束时抽出工作已全部完毕。这种方式可生产 $D/S=2.5$ 的特厚壁管。

2.2.3 各机组的异同

2.2.3.1 PQF 和 Assel 都是三辊轧管机。PQF 是多机架连轧管机，轧制时，钢管及芯棒一起作直线运动；而 Assel 是单机架斜轧管机，轧制时，钢管及芯棒一起作螺旋运动；当产品规格相同或相近时，PQF 的产量约是 Assel 的 $2\sim 4$ 倍。

2.2.3.2 PQF 机组生产效率高，延伸系数大 ($\mu > 6$) 能轧制长达 30 米以上的荒管，产品质量好（体现在内外表面上），壁厚精度高；品种、规格范围宽，即能生产碳钢、合金钢，又能生产不锈钢；可生产 $D/S > 45$ 的薄壁管，生产成本低，金属消耗低；适合大批量连续化生产。不足是一次投资大，轧制工具占用资金较多；生产的灵活性稍差；更换孔型时间较长，不适宜小批量的生产；限动芯棒连轧管机在轧制厚壁管时受连轧机与脱管机距离的制约，致使许多规格的厚壁管产品不能生产。

2.2.3.3 Assel 轧机，适宜轧制中厚壁钢管，适应高精度、小批量、多品种的高附加值产品的生产，借助轧辊的离合就可改变孔型尺寸，特别适应较小量多批订货。天津钢管公司在现有两套适于生产大批量专用管材的连轧管机组的基础上，第三套采用了 Assel 三辊斜轧机组，在生产市场急需的壁厚 $> 40\text{mm}$ 的厚壁管的时，因没有脱管机轧制厚壁管时限制较少，三辊轧管机 (Assel) 可作为连轧管机组生产品种的补充，可进一步优化公司的产品结构、合理地调配资源、增加生

产的灵活性、特别在是应对小批量、多品种、多规格的市场的的需求时使公司的市场竞争能力得到加强。

*轧钢的几种形式

根据轧件变形原理，一般将轧钢分为以下三种形式：

- *.1 纵轧：轧件的运行方向（轴线）与轧辊轴线垂直，轧件作直线运动；型钢、板材生产及无缝钢管的连轧（一根轧件同时在两个或两个以上的孔型或机架中轧制称为连轧）等都属于纵轧。
- *.2 横轧：轧件的运行方向（轴线）与轧辊轴线平行，轧件作回转运动；机车轮轂、自行车轴等的生产属于横轧。
- *.3 斜轧：轧件的运行方向（轴线）与轧辊轴线既不垂直也不平行，轧件除了前进运动外，还有绕本身轴线之旋转，作螺旋前进运动；最常见的无缝钢管穿孔（推轧穿孔、挤压穿孔除外）生产属于斜轧；三套的 ASSEL 轧管也是斜轧。



↑
访问我们的官方网站了解更多内容

← 扫描二维码关注