

穿孔工艺的发展和锥辊式穿孔机的复出^(A1)

—— 《无缝钢管百年史话》(续释 6-2)

摘要: 穿孔工序是无缝钢管生产中的主要工序之一。介绍了近 15 年来穿孔工艺的发展,从设有导板的斜轧穿孔机到轧辊上下布置和导盘水平布置的 Diescher 穿孔机,以及随后的轧辊水平布置、带导盘或导板的锥辊式穿孔机,并较详细地介绍了锥辊式穿孔机主要技术特征及设计方面的新进展。

关键词: 斜轧穿孔机; 锥辊式穿孔机; 工艺特点; 发展

中图分类号: TG335; TG333.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2003)02-0055-05

1 斜轧穿孔工艺在近 15 年内的发展

1.1 简况

热轧无缝钢管生产中管坯的穿孔主要是在斜轧穿孔机上进行的,直至 1970 年,在斜轧穿孔机中设有导板的 Stiefel 穿孔机最为重要。在 1972 年诞生了 Diescher 穿孔机,它的主要特征是轧辊的上下配置和导盘水平方向设置,对于穿孔操作运行性能而言,这种穿孔机树立了新的样板。

20 世纪 80 年代初,轧辊水平布置的锥辊式穿孔机宣告再生,这种穿孔机的主要工艺优越性是:延伸能力大,尺寸调整灵活性高和可以穿轧高合金钢管。为使锥辊式穿孔机的工艺优越性和 Diescher 穿孔机设计结构上的优越性结合起来,随后研制了一种轧辊上下布置的新式锥辊式穿孔机。

1.2 1970 年左右的穿孔技术概况

作为热轧无缝钢管生产第一变形阶段的穿孔工序,在 20 世纪 60 年代末期还主要是由斜轧穿孔机完成。而用卧式或立式水压冲孔机对管坯进行冲孔,因工艺上的限制(管坯单重小、壁厚公差不佳),即使在当时,水压冲孔机也仅仅在顶管机组、周期轧管机组和挤压机组中用于将方坯或八角形坯冲成空心坯。

在斜轧穿孔机中,最重要的一种穿孔机显然是具有固定导板的 Stiefel 穿孔机(如图 1 所示),它也被称作具有桶形轧辊的穿孔机。由于它的轧机性能好,如延伸率可达 4、空心坯长度可长达 8m,所以,它主要用于自动轧管机组、连轧管机组和三辊轧管机组中。Stiefel 斜轧穿孔机的主要特征是:①轧辊水平布置,导板垂直布置;②两个轧辊由 1 台交流电机通过减速箱进行传动;③采用止推小车使顶杆从穿孔坯中抽出。

排在第 2 位的曼内斯曼穿孔机(如图 2 所示)通常配置在周期轧管机组中,其主要特征是:①轧辊水平布置,设有非传动的上导辊;②轧辊传动和 Stiefel 穿孔机相同;③锁门可打开的止推座,可使穿孔坯由顶杆中脱出。

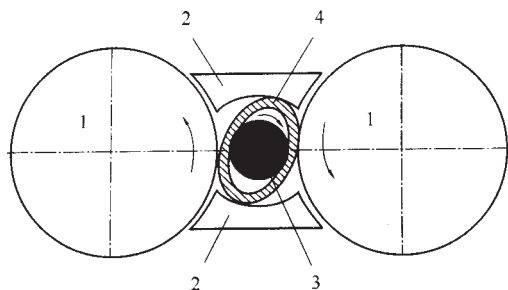
其他使用得较少的斜轧穿孔机是三辊穿孔机、锥辊式穿孔机和盘式辊穿孔机,这些穿孔机过去在自动轧管机组和三辊轧管机组中使用过。

1.3 Diescher 穿孔机的发展

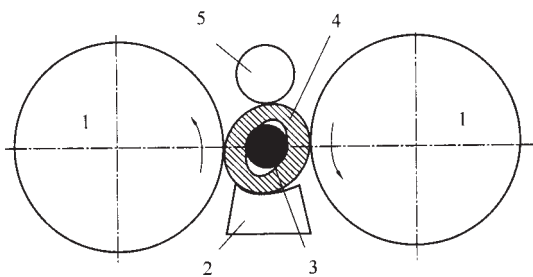
直至 Diescher 穿孔机出现以前,高效能的穿孔机的共同特点是:交流电机传动,设有固定导板,后台设有止推小车,不可变速的交流传动使轧辊的圆周速度最大仅能达 6m/s,再加上喂进效率差,仅为 0.8,因此空心坯长度不大于 8m,而在轧出端的操作过程中又需约 10s 的停顿时间。因此 Stiefel 穿孔机的生产率仅为 3 根/min,即每分钟穿轧 24m 穿孔坯。曼内斯曼钢管公司自 1970 年开始研制开发旨在超越上述极限的新的斜轧穿孔机,研制结果,第一台 Diescher 穿孔机在 1972 年投产⁽¹⁾。若以每分钟穿孔坯的米数来表示生产能力,所研制的 Diescher 穿孔机的生产能力是当时斜轧穿孔机的 1 倍。此外,还有一些有利于降低成本的其他的工艺改进。

Diescher 穿孔机的主要特征是:①轧辊上下布置⁽²⁾,狄塞尔导盘则水平布置⁽³⁾,如图 3 所示;②每一个轧辊由 1 台水平安装的直流电机传动;③在轧出端设有新颖的顶杆更换系统,如图 4 所示,穿孔过程完毕后带有顶头和套有穿孔坯的顶杆横移,离开轧制中心线,然后离线脱出穿孔坯。

由于轧辊上下配置,狄塞尔导盘布置得很好,易于靠近,具有传动的导盘将喂进效率提高至约



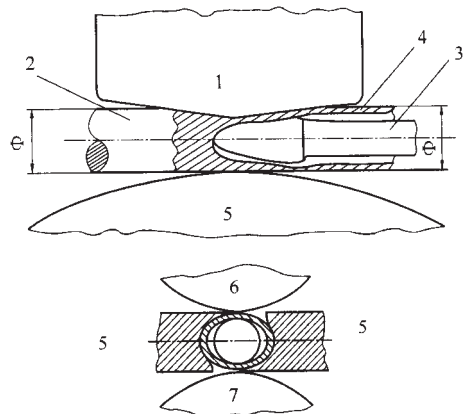
1—轧辊 2—导板 3—顶头 4—空心坯
图1 固定导板的 Stiefel 穿孔机孔型示意



1—轧辊 2—导板 3—顶头 4—空心坯 5—导辊
图2 曼内斯曼穿孔机孔型示意

90%，而且导盘磨损小，运行几周后才需重车。因此，因更换工具而停产的时间大大减少。

轧辊采用单独电机传动，传动轴和轧辊轴夹角小，传动装置的运行可靠性很高。由于采用直流电机传动，因此，穿孔机运行速度可变，可以采用轧制开始时轧辊转速低，但轧辊咬入管坯后



1—轧辊 2—管坯 3—顶头 4—空心坯
5—狄塞尔导盘 6—上辊 7—下辊

图3 狄塞尔穿孔机孔型示意

速度提高这种运行模式。采用这种操作方式，轧辊线速度可高达 9m/s，因此轧制时间缩短。

新颖的顶杆更换系统⁽⁴⁾使穿孔机的节奏间隔时间降为 4s，当空心坯长度为 12m 时，穿孔机生产率为 4 根/min(即每分钟穿轧 48m)⁽⁵⁾，由此附带对工具寿命也产生有利影响，采用 6~8 根顶杆循环使用即可满足生产要求，穿孔顶头得以优化，而穿孔顶头的检查更换则可在轧制周期以外进行。

目前，全世界有 10 余台 Diescher 穿孔机在生产，这说明在产品质量、生产能力和工具寿命等方面，Diescher 穿孔机优于其他穿孔机，它可以应用在各种无缝管机组中。

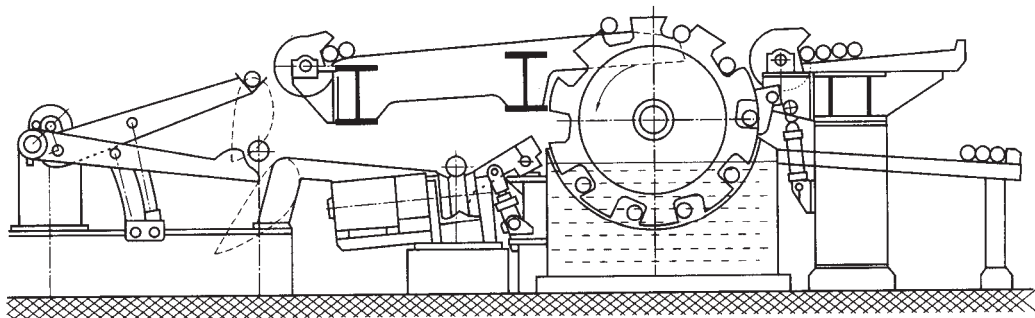


图4 顶杆更换系统示意

1.4 锥辊式穿孔机的再生⁽⁶⁾

虽然在 Diescher 穿孔机的运行中取得了很好的经验，但在 20 世纪 70 年代末，仍然开始了旨在进一步增大斜轧穿孔机延伸率的研究。借助于穿孔时的扩径作用，进行了生产薄壁穿孔坯 (D/S 约 30)⁽⁷⁾ 的研究。此外，还进一步考察了这种穿孔机穿孔合

金钢的能力。由此导致两台锥辊式穿孔机的制造和安装。1981 年曼内斯曼钢管公司在原有的 $\Phi 340\text{mm}$ 自动轧管机前安装了锥辊式穿孔机以取代串列式布置的两台 Stiefel 穿孔机，1982 年日本住友海南钢管厂在 $\Phi 114\text{mm}$ 连轧管机前的锥辊式穿孔机投产，表 1 示出这两台锥辊式穿孔机的主要技

表 1 两台锥辊式穿孔机的主要技术特征

技术特征	拉特厂	海南厂
轧辊布置方式	水平	水平
轧辊直径/mm	1350	1450
导卫方式	导盘	导盘
导盘直径/mm	2500	2700
辗压角/(°)*	27.6	10
进给角/(°)*	6~12	10~20
主电机功率/kW	2×3600	2×3000

* 见注释 (8)

术参数。应该指出，原苏联也成功地研制了锥辊式穿孔机，但其详情外界不得而知。

关于住友锥辊式穿孔机的运行经验⁽⁹⁾，该公司在许多刊物和日本钢铁学会会刊(1984年4月刊)上作了披露，文中肯定了这种穿孔机穿轧高合金钢管的能力⁽¹⁰⁾。

关于曼内斯曼钢管公司取得的关于锥辊式穿孔机的运行经验有以下两点值得一提：

(1) 由于锥辊式穿孔机轧辊线速度的提高，它取得了以前斜轧穿孔机所未能取得的技术可能性，延伸系数可达6，而穿孔坯最大长度为14m($D/S=30$ 时)。因此，可生产薄壁穿孔坯(D/S 可达30)，在下一个变形阶段只需要不大的延伸量即可轧成一般壁厚的成品管。

(2) 这种锥辊式穿孔机和1台延伸系数为2的轧管机(如2机架的长芯棒轧管机)配合，意味着可将一次性投资降至最低，图5示出在穿孔和延伸的两个阶段延伸率分配的一些例子。

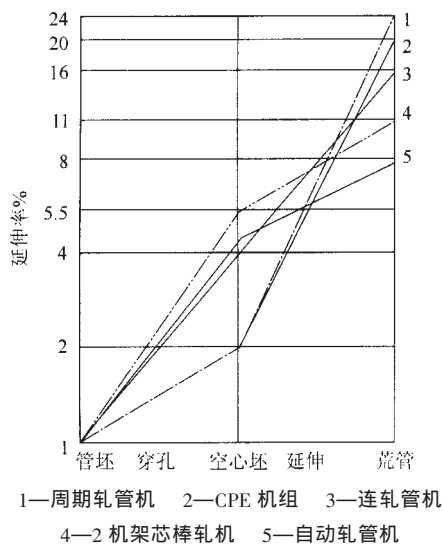


图 5 延伸率的分配

在生产薄壁穿孔坯的过程中也可发现，只要孔型设计得当，扩径量可达40%或100mm左右。在无缝轧管机组中，锥辊式穿孔机的高变形能力可以用少数几种尺寸的管坯轧制多种尺寸的空心坯，若钢管厂配置有张减机生产小直径管，甚至有可能只采用1种尺寸的管坯。减少管坯尺寸的种类对降低原料成本，提高钢管生产的灵活性是很有好处的。

图6示出具有两种孔型系列的连轧管机组，它可以用一种尺寸的管坯生产 $\Phi 27 \sim 178\text{mm}$ 尺寸范围内的各种管子。

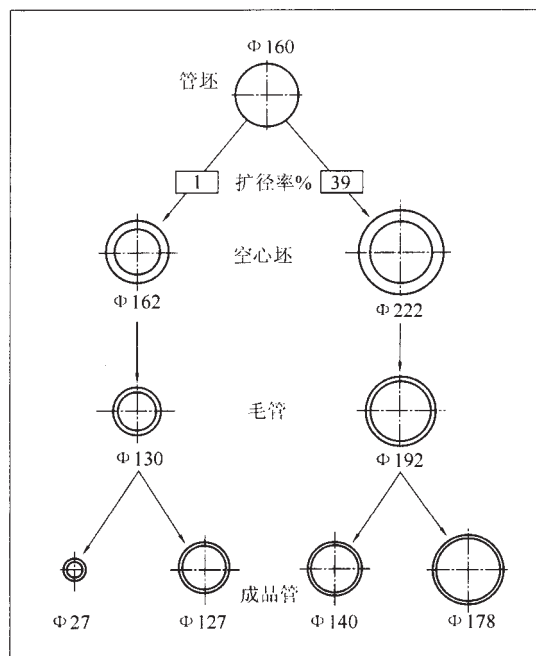


图 6 配有锥辊式穿孔机的连轧管机组的变形程序

1.5 锥辊式穿孔机设计方面的新进展

曼内斯曼钢管公司和住友公司的锥辊式穿孔机的设计任务是满足工艺要求，这两台穿孔机均配置了狄塞尔导盘，设有轧辊喂进角调正装置和适当的传动装置，但穿孔机的轧辊是水平布置的。因此，轧机重量大，所需要的厂房面积也较大，这对一次性投资是不利的。由此对锥辊式穿孔机的设计又进行了研究，其结果是轧辊垂直布置的锥辊式穿孔机的问世，如图7所示，这当然是从Diescher穿孔机移植而来的，其机架和Diescher穿孔机类似，导盘是水平布置的，轧辊采取两台电机传动，但布置在轧出端，其倾斜角度和轧辊的锥角相适应，其传动轴和轧辊轴的夹角最小。轧出端可以配置顶杆止推小车或顶杆更换系统。

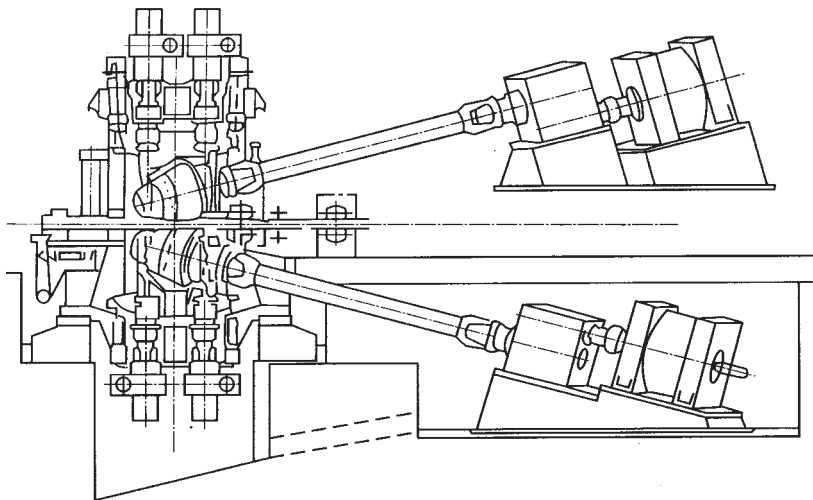


图7 轧辊上下配置的锥辊式穿孔机(侧视图)

图8 示出机架的一种特殊设计,它既可采用导盘亦可采用导板。

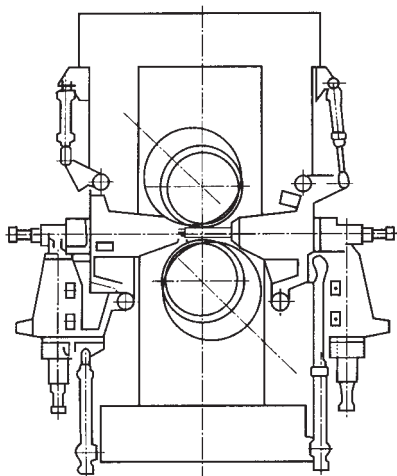


图8 轧辊上下配置的锥辊式穿孔机(横断面图)

新的轧辊垂直布置的锥辊式穿孔机提供了将锥辊式穿孔机的工艺优越性和 Diescher 穿孔机设计结构上的优越性相结合的最佳设计。

1.6 小结

直到1970年,设有固定导板的斯蒂弗尔穿孔机仍处于主导地位,其最大延伸系数为4,穿孔坯最大长度为8m,生产率为每分钟穿孔24m。

1972年,轧辊上下布置的狄塞尔穿孔机问世,其最大延伸系数为4.5,生产率为每分钟穿孔48m,而穿孔坯最大长度达到12m。

20世纪80年代初,轧辊水平布置的两台锥辊式穿孔机投产,其工艺性能优于狄塞尔穿孔机,最大延伸系数为6,穿孔坯最大长度为14m($D/S =$

30时),并能穿轧高合金钢,从而成为最有发展前途的穿孔机。

具有轧辊上下布置的锥辊式穿孔机也已研制成功,它将锥辊式穿孔机的工艺优越性和狄塞尔穿孔机的机械设计优点两者结合起来了。

2 注释

(A1) 见《钢管》2003年第1期第58页。

(1) 这台狄塞尔穿孔机结构上的特点如文中所述,与其他穿孔设备相对比的工艺技术特征见表2。

这台狄塞尔穿孔机所穿轧的穿孔坯具有很好的壁厚公差,在一个横断面内测得的最大壁厚偏差为 $\pm 2.2\%$,从多次测量测得的与平均壁厚的平均偏差值为 $\pm 2.45\%$ 。

(2) 机架设计中采用垂直布置的上、下轧辊,其优点是便于导盘的水平布置和单独传动的电机布置。

(3) 在主机设计中采用导盘代替导板,这对提高轧制速度,提高喂料效率和穿孔机有效作业率均具有良好的作用。

(4) 穿孔机后台结构新颖,实现(轧)线外脱(顶)杆,大大减少顶杆纵向往返时间,从而缩短辅助时间,这是保证每分钟穿轧44m穿孔坯的重要因素。

(5) 高效能的狄塞尔穿孔机能保证每分钟生产4根、11m长的穿孔坯,这是因为:①轧机具有较高的穿孔速度 $v = 1.1 \sim 1.2\text{m/s}$;②较少的辅助时间,恒定为5.5s,这一时间还包括从一根穿孔坯穿孔完毕到另一根新管坯开始穿孔的六个动作所需的全部时间。为了实现“辅助时间短”这一点,才采用了如文中所示的顶杆更换系统。

表 2 几种穿孔设备工艺特征的对比

项 目	水压冲孔机	压力穿孔机	普通斜轧穿孔机	狄塞尔穿孔机
管坯形状	方形或圆形	方形	圆形	圆形
附加延伸机的必要性	有必要	有必要	没有必要	没有必要
最大延伸系数	2(包括延伸机)	3(包括延伸机)	3	5
最大管坯重量/kg(以 $\Phi 177.8\text{mm}$ 管为例)	500	1 100	1 100	1 500
最大生产率/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	10	24	24	48

(6)如《钢管》1999年第5期钢管史话所载, Stiefel 第一次提出申请关于锥辊式穿孔机的专利是在 1897 年, 后来锥辊式穿孔机就销声匿迹了。斜轧穿孔机这一阵地为曼内斯曼穿孔机和斯蒂弗尔穿孔机所占领, 在锥辊式穿孔机的研制开发阶段, 由于穿孔顶头寿命太短, 这种工艺不能用于工业生产, 后来这一问题解决了。由于这种工艺无可争辩的优越性, 以致时隔 80 余年, 锥辊式穿孔机再次出现, 并压倒群芳, 故确切地将其称为“再生”。

(7)在穿轧碳素钢管坯时, 锥辊式穿孔机的有利的变形条件可用作“近终形穿孔”, 即穿孔和成品管尺寸接近的穿孔坯, 其 D/S 值在 20~28 这一范围内。

(8)从工艺参数方面讲, 锥辊式穿孔机基本要点是两个角度值的问题即辗轧角 γ 和送进角 β 。前者对一个机组来讲是定值, 后者根据设计的数字可调整, 由于曼内斯曼的锥辊式穿孔机采取轧辊水平布置方式, 故可采用较大的辗轧角 $\gamma(27.6^\circ)$ 和比较小的送进角 $\beta(6^\circ \sim 12^\circ)$, 当这种轧机发展为轧辊上下布置时, 这样大的辗轧角显然不行, 而且从工艺上讲也可以 $\beta + \gamma = 25^\circ \sim 30^\circ$ 为一判定值, 故曼内斯曼钢管公司在随后的设计中随着轧辊上下布置形式的进一步发展, 就将 γ 角降为 $10^\circ \sim 15^\circ$, 辗轧角和可调的送进角的各种配合对穿孔过程中所发生的切向变形确实产生相当大的影响。

(9)1983 年 1 月在日本住友海南钢管厂第三钢管车间投产的锥辊式穿孔机是世界上第二台。该厂以各种送进角 $\beta = 12^\circ \sim 16^\circ$ 和 $\gamma = 10^\circ, 15^\circ$ 作试验,

得出以下结论:

①这种新的轧机有可能使得管坯金属流动的情况与挤压的情形相同或相似。

②轧辊的 γ 角和(或) β 角越大, 金属的延伸率和断面收缩率提高越明显。

③对成品管内壁微小缺陷而言, $\gamma + \beta \geq 25^\circ$ 时, 穿轧空心坯就完全没有裂纹。

④采用大辗轧角和大送进角的穿孔工艺时, 穿轧不锈钢不会产生内孔缺陷。

⑤对于 Incoloy 和 Haseloy 这样的高合金及高耐热合金钢来说, 只要精心选择好加热温度, 采用大辗轧角和大送进角的穿孔工艺, 穿孔就能成功。

⑥用这种锥辊式穿孔机可以穿轧连铸圆坯而内孔不会产生显微缺陷, 管子的壁厚不均很小。

日本住友将这种锥辊式穿孔机称作“Super Piercer”。

(10) Dr. Voswinkel 在“Tube rolling mills for high alloy Steels”一文中声称, 锥辊式穿孔机已发展到十分先进的水平, 作为最有效的穿孔工艺之一, 目前, 已在高合金钢管的生产中占有领先的地位, 它的进一步运用会超越现有的界限而扩展到中合金钢管和高合金钢管的生产领域, 而一般的压力穿孔机和挤压机将进一步失去其传统的应用范围, 而合金含量极高的合金钢如 Inconel、Incoloy、锆合金等锥辊式穿孔机无法穿轧的材料, 仍会用压力穿孔机和挤压机生产”。

(待 续)

金如崧译注

● 信 息

德国 TPS 公司新建现代化周期冷轧管机组

德国 TPS 钢管有限责任公司投资 350 万欧元新建一个周期冷轧管机组, 生产 $\Phi 8 \sim 38\text{mm}$ 精密冷轧管, 年产钢管 3 000t。这套设备还包括 1 台轧辊磨床和 1 套完整的切断配置。生产速度是常规设备的 3~4 倍。

(攀钢集团成都钢铁有限责任公司 晋 林)