FQM™:用于高质量无缝钢管生产的达涅利3辊限动芯棒连轧管机

E. Cernuschi

（达涅利森特罗钢管公司）

摘　要　FQM 轧机是达涅利无缝钢管生产的核心设备。这一具有创新意义的轧机可布置在所有的无缝钢管生产线上，不论是新建生产线，还是现有生产线升级改造。

1　无缝钢管生产概述

在过去的30年，限动芯棒连轧管机（RMM）在与其它各种生产工艺的竞争中脱颖而出，已成为生产高质量无缝钢管的先进设备，在任何一种生产条件下，都表现出它的优势：

（1）它是一种万能工艺，适用于所有的钢管尺寸规格和生产钢种；

（2）具有良好的工艺操作灵活性，适于大、小批量生产；具有极强的适应能力，可满足各种各样的市场要求；

（3）可生产高质量产品，具有良好的尺寸加工精度，并获得卓越的表面质量；

（4）设备投资少。

建立在两辊轧制技术基础上的第一代限动芯棒连轧管机，目前正在世界各地运行，并表现出卓越的设备性能。而最新推出的3辊限动芯棒连轧管机，作为优于第一代产品的改进设备，也在稳步推向市场：FQM™（高质量轧机）正是达涅利为满足市场提出的最新要求做出的最好回应。

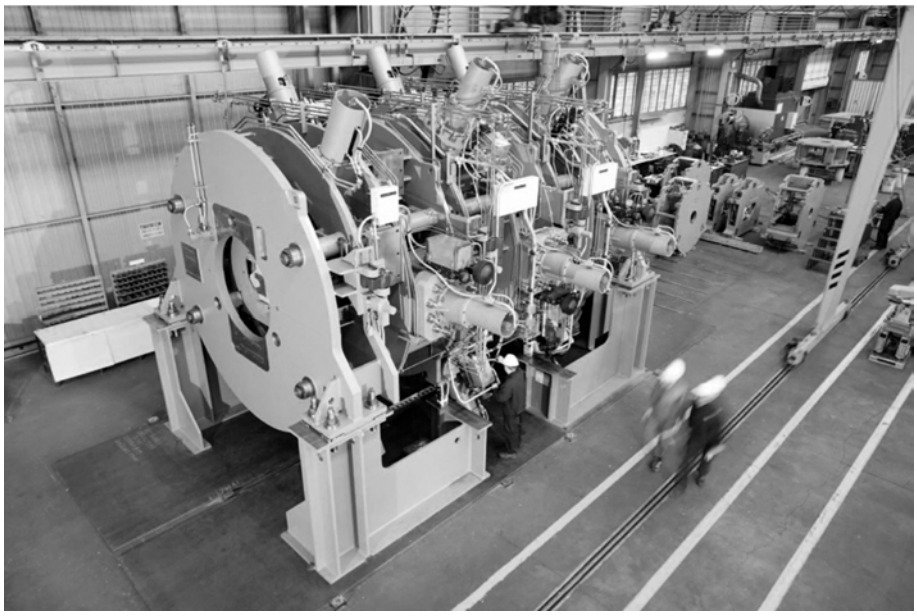


图1　位于意大利布特里奥的达涅利组装车间。图示为年生产能力为350000吨7英寸无缝钢管的5机架FQM高质量轧机

2　FQM™ 轧机简介

达涅利 FQM™代表着一种以较低的成本生产高质量无缝钢管的先进工艺技术（精确的壁厚加工精度和

非常光滑的加工表面）。FQM 工艺建立在连续轧制原理的基础上，在整个轧制过程中，圆柱形芯棒始终以恒定的可控速度运动，通过若干个轧制道次，以连轧方式一次完成整个轧制过程。

轧制芯棒运动速度可根据材料变形计划计算得出，但小于钢管从第一个机架出来的出口速度。因此，材料前进速度要大于芯棒移动速度；从而使材料和芯棒之间的摩擦力指向轧制方向，而与材料纵向流动方向相反。由于能够消除材料在辊缝方向上的横向流动，而且可在轧制后立即将钢管从芯棒上抽出，因此可采用非常紧凑的孔型设计。

此外，在过程控制系统，如辊缝自动控制和在线壁厚检测装置的支持下，FQM™工艺可使生产过程具有很高的灵活性、广泛的适应性和较高的效率。

从材料变形观点来看，两辊 RMM 和 3 辊 FQM™之间的区别是十分明显的。由于轧槽底部和轧辊凸缘之间的圆周速度差较小，因此在 FQM™轧制道次中产生的材料变形，不论在稳定轧制阶段，还是过渡轧制阶段内（咬入和抛钢），都将更加均匀，从而可实现：

（1）减少多余的横向材料流动；

（2）在芯棒和轧辊上作用较小的平均，特别是峰值压力；

（3）提高轧制过程中芯棒稳定性。

这项改进技术将发挥许多重要的作用，主要表现在：

（1）提高产品质量。

- 可获得较薄的管壁（较高的管径与壁厚比）；
- 提高壁厚加工精度；
- 改善管径加工精度；
- 提高钢管表面光洁度。

（2）扩大产品生产范围。

- 可轧制敏感钢种；
- 提高设备操作灵活性。

（3）降低生产成本。

- 提高金属材料收得率；
- 减少工装设备磨损；
- 降低工装设备库存成本；
- 实现全自动过程控制，提高生产效率。

虽然前面已经介绍了 FQM™的主要亮点，我们还是有必要对每一项重要改进，做进一步的详细说明。

（1）可轧制具有较大 D/t（管径／壁厚）比的管材。更为均匀的材料变形，再加上较小的平均和峰值压力，使轧机能够轧制相对于管径来说，管壁更薄的管材。

（2）可显著改善壁厚加工精度。由于在采用 3 辊布置时，可减小各轧辊之间的圆周速度差，采用更为接近的孔型设计，而且芯棒在轧制过程中具有良好的稳定性和对中性能，因此 3 辊布置可确保材料变形更加均匀，从而显著提高加工精度。由于 3 辊轧制采用更为理想的设备布置方式，因此可显著减小因使用同一直径的芯棒生产各种不同壁厚的管材时，在轧辊闭合和开启时造成的壁厚差异。借助于 AGC 系统，可显著减小管端壁厚，以补偿在后续张力减径机拉伸过程中出现的管端增厚现象。

（3）可提高“在线”精整管外径加工精度。由于母管横截面和纵断面内的温度更加均匀，因此可提高管材外径加工精度。

（4）管材表面更加光滑。由于 3 辊轧制可减小管材表面滑移现象，因此可消除管材外径上产生的任何“滑痕”。在 RMM 轧制过程中已经得到的良好的管材内表面质量，在此得到进一步改善。

（5）可成功地轧制各种难以生产的钢种。

之所以能够获得如此良好的效果，是因为 3 辊轧制可在轧件圆周方向上获得良好的压缩应力条件。

（1）提高生产工艺灵活性。可经济地实现多规格、多钢种、小批量管材生产。

（2）提高金属材料收得率。可通过改善管材端部形状，提高端部质量，降低废品率。

（3）减少芯棒库存量，减少工装设备更换次数。由于可用同一根芯棒生产范围广泛的各种壁厚的管材，

因此可减少覆盖整个产品规格范围所需的芯棒总数，芯棒更换次数也相应减少。

（4）显著降低工装成本和工具消耗量。由于可获得较低的平均和峰值压力，因此可显著降低芯棒和轧辊消耗量。

（5）提高轧制效率。由于在轧制过程中，材料流动更为稳定，因此可减少因废品和事故造成的损失，从而提高设备生产能力和成材率。

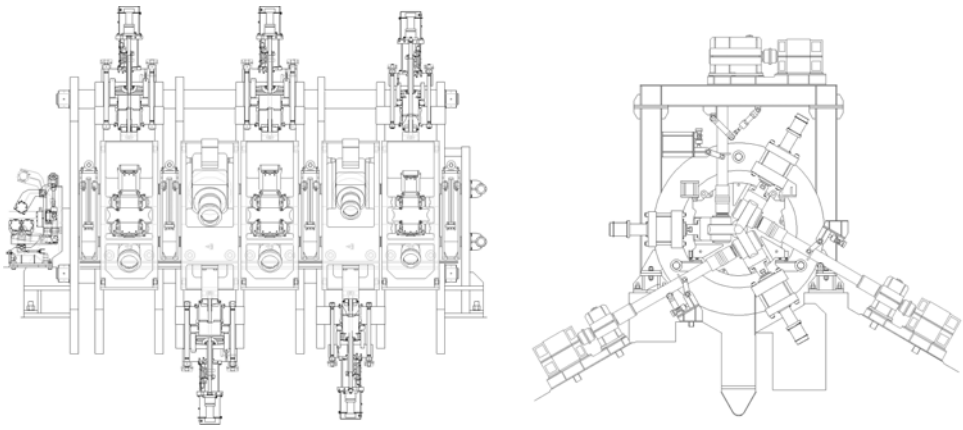


图 2　5 机架 FQM 轧机基本布置（侧视图和正视图）

3　FQM™ 限动芯棒连轧管机设备说明

FQM™轧机主要由多个轧制单元组成。每个轧制单元设有 3 个驱动辊，由轴承座支撑，安装在辊盒内的一个可移动滑块上。每个辊盒由两个铸造壳体固定。辊盒的设计允许可移动滑块，包括轴承座和轧辊，沿径向方向抽出，而无须以对开方式打开辊盒。由于轧机设备布置更加合理，因此可在轧辊孔型重磨前后，通过液压装置直接进行所需要的轧辊位置调整。液压装置安装在机架外面，可在轧辊更换过程中与轧辊结合或脱开。

机架内设有芯棒支撑装置。这些支撑装置可通过 3 个自对中辊，根据芯棒尺寸规格，进行位置调整，并在轧制过程，通过液压系统，打开 / 关闭芯棒对中和支撑装置。芯棒支撑架的数量和安装位置，取决于轧机配置情况。比如，在 5 机架轧机上，芯棒支撑架分别安装在第一个轧制单元的入口和出口侧、在第 3 和第 4 机架之间，以及最后一个轧制单元的出口侧。

辊盒和芯棒支撑装置插在一个具有很高刚度的固定圆筒形机架内，装在位于机架内的侧支撑装置上。由于采用这种布置方式，机架设计可确保对沿径向方向作用的 3 个分离力做出均匀反应。

在轧辊更换时，所有的轧制单元和芯棒支撑装置都将沿轧制轴线方向，推向轧机出口侧。然后通过侧移小车更换轧辊。

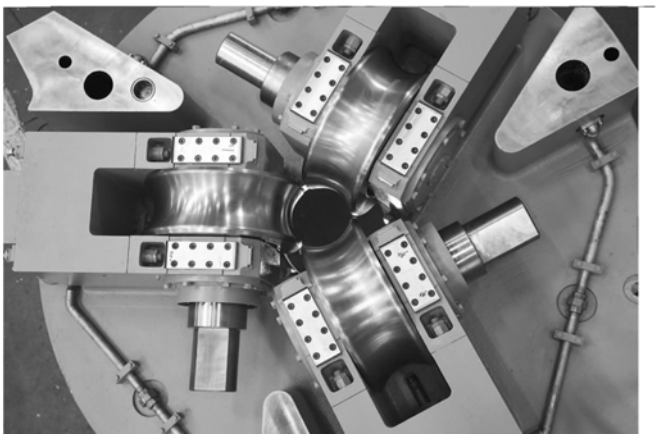


图 3　640 mm 3 辊轧机机架



图 4　正在组装的 5 机架 FQM 机架

4 FQM™ 轧机的过程控制

无缝钢管生产厂设有各种不同的生产工艺区。不同的生产工艺区可同时完成各种不同的生产工艺。每个生产工艺区都有自己的过程控制系统；各个过程控制系统通过 3 级管理系统相互连接。通过过程控制系统可实现下列目标：

（1）提高最终产品的几何加工精度；

（2）产品生产质量不受生产操作人员劳动技能水平的影响；

（3）提高产品质量稳定性；

（4）尽可能提高设备生产能力；

（5）简化新产品投产过程。

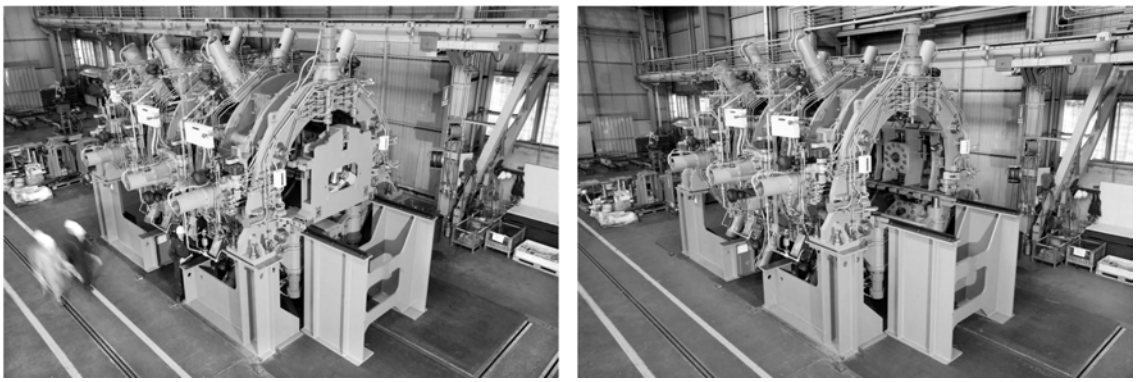


图 5　从 FQM 机架内抽出/插入芯棒支撑架

3 辊轧制设备要获得卓越的设备性能和使用效果，就必须配备一套一体化过程控制系统。达涅利提供的自动控制系统拥有主要工艺参数的快速数据采集功能：可在轧制过程中从 1 级基础自动化系统，采集所有的工艺数据，并用于过程跟踪、工艺参数调整和向 2 级模型输入有关参数。

自动控制系统的主要特点：

（1）主电机速度控制：通过协调方式提高和降低电机转速基准，始终按比例保持参与轧制过程的驱动电机设定转速。

（2）壁厚检测：设有轧制材料厚度检测功能，并据此调节轧辊辊缝开度。过程控制系统可分析来自安装在张力减径机架出口处的壁厚检测计检测数据，并根据轧机数学模型计算结果，更新速度和辊缝参数设定值，以改善轧制管材加工精度，提高产品质量。

（3）冲击速度降补偿：利用根据实时计算模型得到的自适应参数控制功能，尽可能减小在偏离预设定值的速度下轧制的管材长度。

（4）液压装置管理：过程控制的核心设备是装在每个辊盒上的液压装置。共装有 3 个独立的液压装置，每个轧辊上一个。由伺服阀控制的液压装置控制系统的主要功能是驱动轧辊移动。液压油缸位置和内腔压力分别由专用传感器实时检测，并通过专用高速控制系统进行控制，以有效控制和保持设定位置不变。

控制系统可实现下列功能：

（1）实现同步位置控制，以保持各轧辊和轧制中心线对称，避免轧辊轴承座和轴承损坏。

（2）进行分离力检测。利用装在液压装置上的压力传感器检测结果，分别计算平均值和差值。

（3）实现液压装置位置控制。通过比较位置预设定值和实际位置反馈值，及时调节轧辊位置，并为轧辊更换给出设定值。

（4）在轧制过程中，根据计算结果自动调节轧辊位置，以补偿在轧件长度范围内出现的温度波动。

（5）进行冲击补偿。当管坯进入轧机机架时，增加轧辊辊缝开度，从而减小管端超厚现象。机械部件的冲击峰值补偿可限制轧辊轴承应力，降低芯棒和轧辊消耗。

（6）损坏预防系统（轧辊自动应急开启）。通过自动增大轧辊辊缝开度，可限制设备过载，实现管端轧

制；通过应急液压控制，可避免因管材变形过大而造成机械部件、芯棒和轧辊损坏。

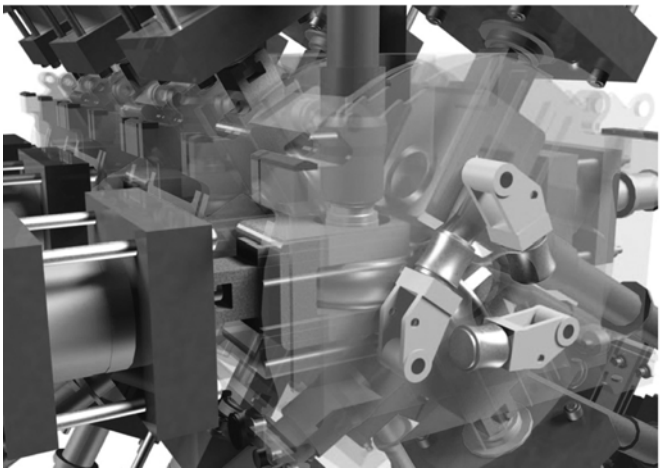


图 6　表明电机、减速机和主轴布置特点的 5 机架 FQM 轧机透视图

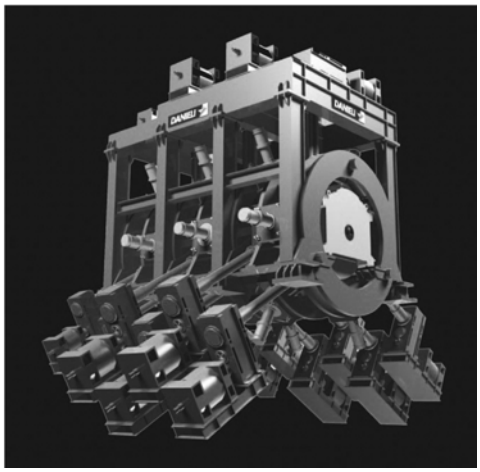


图 7　FQM 轧机核心部件透视图

5　FQM™ 轧机在轧制线上的布置

通过布置在生产线上的一整套工艺设备的典型物流过程，如附图所示。切割成轧制长度倍尺的方坯，进入转底式或步进式加热炉加热到 1 280℃。加热后的方坯进行穿孔，在横轧机上形成圆形管坯。铸坯穿孔由两个相对布置、等速旋转的轧辊完成。轧辊具有特定的形状，以便于转动和将铸坯推向芯棒。材料的外部变形受到侧向旋转盘或固定支撑块（与轧辊位置相差 90°）的限制。内部芯棒则决定材料的内部变形。由于工作辊呈圆锥形，各辊布置方向各异（无椭圆形突变），而且在轧制过程中材料指向扭转方向，因此可以：

（1）最大限度地减小因材料扭转和圆周剪切变形引起的表面应力；

（2）抑制“锻造”效应（增加轧辊速度，将管坯拉向轧制方向）；

（3）改善管坯外表面质量（因轧辊与管坯速度匹配）。

锥形横轧辊穿孔的主要优点是：

（1）可获得较大的延伸量；

（2）可获得较大的膨胀量；

（3）能够对范围广泛的各类钢种进行穿孔；

（4）具有较高的同心度和壁厚均匀性；

（5）卓越的内、外表面质量。

方坯穿孔后，管坯先在 FQM™轧机上轧制，再由一架定径轧机或由张力减径机组进行精轧，直到形成所需要的最终尺寸。在精轧过程中，轧件外径减小的同时，壁厚也随之相应变化。壁厚的变化取决于减径过程中作用在轧件上的纵向应力（拉伸）。轧机设有一组紧密排列的 3 辊机架（根据要求达到的外径压缩量而定），3 个轧辊分别驱动，机架可调，用于最后一个机架位置。Kocks 定径或张力减径机组代表着一种先进的 3 辊管材轧制技术。每个机架带有 3 个驱动输入轴，装有可实现径向调整或非可调轧辊，配备有轧辊快速更换装置。这样，Kocks 设计就可以完全消除传统张力减径轧机的种种限制，克服传统轧机的一些缺点，主要表现在：

（1）可获得较大的轧制力和轧制力矩；

（2）可缩短各机架之间的安装距离；

（3）实现轧辊快速更换（每个机架 30min）；

（4）可实现轧辊径向调节；

（5）无须配备特殊的轧辊车床；

（6）可显著降低设备投资。

FQM™轧机是达涅利推出的无缝钢管生产核心设备。在整条轧制生产线上的各个材料变形环节，都配备具有创新意义的轧制设备。这项新技术既可用于新建设备，也可用于现有设备升级改造。当采用全新的轧制生产线（从方坯加热炉[通常采用转底式]一直到冷床）时，可获得最佳使用效果，充分发挥达涅利穿孔机、RMM 轧机和定径/张力减径机组各自在平衡材料变形过程中的作用。