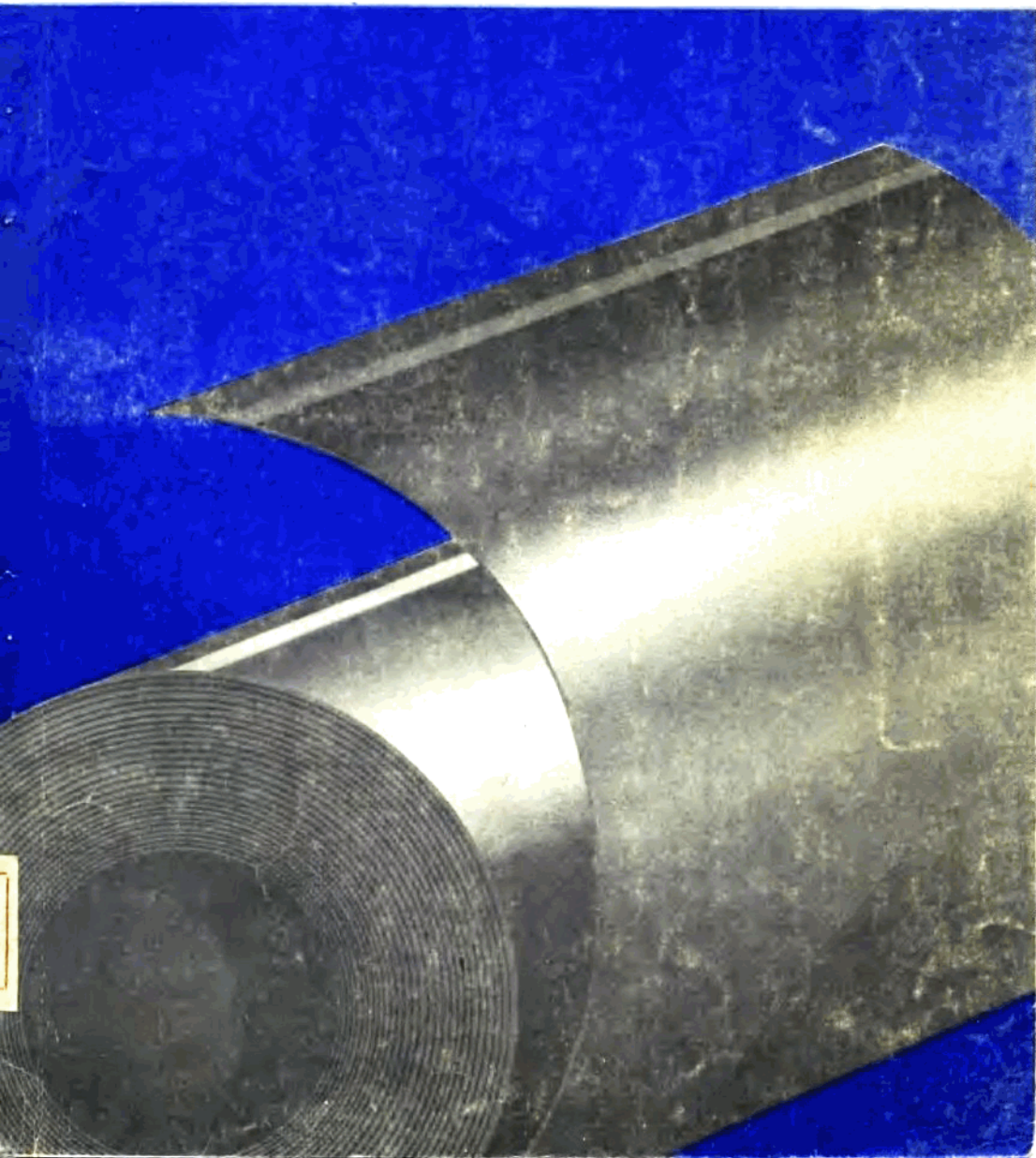


# 钢的冷轧

威廉利·罗伯茨



## 前 言

本书作者威廉·利·罗伯次从事轧钢和轧制润滑的研究与发展工作近23年。曾任职于华盛顿电器公司，国际电讯和电话公司及英国电讯研究等机构。他于1941年获得剑桥大学文学士，1945年获得匹兹堡大学文学硕士，并于1965年从卡内基—梅隆大学获得冶金工程理学硕士。在1969年成为注册的职业工程师。在他近20篇冷轧方面的文章中，有四篇获得美国钢铁协会和美国钢铁学会的奖赏。他是钢铁协会的会员。

印刷此书供给新参与冷轧的工作人员对冷轧工艺有一个全面介绍，包括冷轧历史，当前应用的设备、轧制润滑过程、热特性和形变的特点、与轧制力相关的数学模型及所要求的功、板型以及冷轧钢的进一步加工工艺。这是美国出版的第一本详细探论冷轧工艺的三要素：轧机、轧件、轧辊润滑。此书可作培训教材，也是冶金工作者的一本有价值的参考书。

这里我们译出了全书中的九章（见目录），其余部份今后将在“钢铁译文”中陆续译登。

参加本书的翻译校对人员：王一德、张婉芳、张孝福、许祖心、卿培元、甄志宏、初绍文、吴达群、周仲、梁自聘同志。本书总校审为李成、王一德同志。科质处情报科组织了这本书的译编与出版工作。

1983年5月



B 058248

# 钢 的 冷 轧

## 目 录

第一章	轧制的历史	( 1 )
第二章	冷轧机的类型	( 11 )
第三章	冷轧机的机械部件	( 36 )
第四章	轧辊及其轴承	( 50 )
第五章	冷轧机的仪表与自动控制 ( 未译 )	( — )
第六章	冷轧润滑	( 92 )
第七章	冷轧过程的热特性	( 149 )
第八章	铁的合金、其物理性能和形变特性	( 194 )
第九章	轧制力的数学模型 ( 未译 )	( — )
第十章	扭矩方程与连轧机的控制模型 ( 未译 )	( — )
第十一章	带钢板形的测量和控制	( 248 )
第十二章	带钢的性质及其进一步加工	( 297 )

# 第一章 轧制的历史

## 1-1 轧制的早期历史

最初，板材的轧制无疑只限于那些有足够冷加工塑性的金属，并且，可能开始于金饰匠、珠宝制造商或技术工人。但是，由于这是一件牵涉到其它许多重要过程的事，所以金属轧制不能归结于某一个创制。

早在十四世纪，直径约为 $\frac{1}{4}$ 吋（12.7毫米）手摇的小辊子已经用于压扁金、银和铅。然而，有据可查的第一台真正轧机，是由连纳多·达文西在1480年设计的（见图1-1和1-2）（略）。它是由蜗轮减速机传动的两台轧机，用来轧制铅板；并且借助于阴模和螺旋辊，也用来生产尖细的铅棒。但是，对这些轧机何时制造，却无证据。人们确信，在十六世纪中期以前，金属的轧制不存在任何重要性。

然而，在十六世纪末期以前，至少有两台轧机实现了轧制概念的具体化，并已投入生产。法国人布鲁利，在1553年，为了获得硬币的均匀厚度，轧制了金、银薄 $\bar{r}$ 。轧制货币板的轧机，1581年在罗马教皇的造币厂得到使用，随后1587年在西班牙，1599年在佛罗伦斯得到使用。1578年，贝维斯·布尔曼获得关于纵剪机的专利。这台剪机，是由安装在两个轴上的两个圆盘组成，一个圆盘在另一个上面，板材经旋转圆盘切成带材。1590年在荣格兰肯特的达德福特，曾建造了一台这种类型的剪机。这台剪机是由比利时出生的采狄佛罗制造的。

在同一时期，铅也开始进一步用于屋顶板、遮雨板、排字板的制造以及其它用途。1615年法国人莎罗门·狄采斯制造了一台人工操作的轧机，用于轧制做风琴管的铅板和锡板，其轧辊用连接到下轴上的十字形臂杠转动，如图1-3所示（略）

除了上述布尔曼纵剪机以外，所有早期发展的轧机，大致上都属于在室温下轧制软金属。约翰逊曾记载：“在铁加工中使用轧辊，是德国人在十六世纪研究的，比利时和英国大约在同时开始使用轧辊，因此，他们都列为轧制的发源地。”尽管这三个国家，可能同时发展了金属的轧制，但是除了十六世纪的纵剪机以外，却很少存在什么证据，而且至今还很少证据能说明那个国家属于优先地位。较为可靠的情报指出，在铁的轧制方面，大英帝国据领先地位。在十七世纪前半期，没有记载这种发展，但是我们知道，1665年在英国布里斯托附近，比托的巴利西有一台轧机在生产，并且从1666年开始，把铁轧成薄板，以供纵剪。

这个时期，已经预示着扁铁的轧制，但是没有带来具体结果。1679年，发表了一个用轧制方法改善螺栓精度的专利；1680年，扁铁通过平辊压平不规则形状。但是，在1725年发表的“英国铁技术”中的一篇论文写道，甚至在当时，扁铁都是人工锻打的。

然而，1682年，在英国纽加塞身附近的斯沃尔威和温莱托投产了几台热轧铁基材料的大型轧钢机，把扁铁轧成薄板，并在纵剪机上切成窄条。其后，在威尔斯的旁泰浦

耳，约翰·汉布利在他的铁厂，开始利用一台轧钢机，作为生产薄铁板的单独设备，曼德华·李威特在1697年6月15日的一封信中写道：“旁泰浦耳的老汉布利家族有一个非常重要的发明，为了借助于水力推动的轧机，把热铁轧成薄板，他们把普通的扁铁切成0.6米长一截，把他们加热到灼热，再平行地放在两个铁辊之间，用水力驱动辊子，扁铁轧成了薄板，原来100毫米宽的扁铁延伸到约1.2米长的板子，而扁铁的长度成了板子的宽度。

虽然信中叙述了老汉布利设计的轧机，如图1-4所示（略），但是并没有证据说明他开创了热轧扁坯成薄板，因为人们相信，在1660年前，这个操作在整个欧洲已很普遍，而在德国则更早些，无论如何，在1620年以后不久，德国就垄断了日益增长的英国镀锡板市场，直到1720年老汉布利在旁泰浦耳工厂开始镀锡板的制造，此后一百五十多年的时间，英国的威尔斯才成为镀锡板和镀镉板的主要产地。

在十八世纪初，无疑轧机已在英国和欧洲大陆普遍地使用，瑞典伟大的机械天才克里斯福·波尔海（1720~1746年）曾写过这个时期的轧机，从他的著作中可以看出，当时人们是熟悉轧机的，波尔海本人设计过一台轧机，非常类似于现代的劳思式轧机，不同的是他的轧机采用四个轧辊，用支承辊驱动。

一台实际上预示着以后轧机形状的、轧制铅板的轧机，在1728年从英国引入法国，这台轧机，如图1-5所示，使用1.5米长轧辊，直径为12吋（305毫米），其前后装有24呎（7.3米）长的辊道，与当时采用的轧机结构的一个重要变化在于，它是靠离合器式减速器控制的一台可逆式轧机，轧辊可使用平辊，也可用直径16吋（406毫米）的刻槽辊，其刻槽范围从直径2吋（50毫米）到4吋（100毫米），能依靠心棒把空心铅锭轧成管子。

1728年，英国约翰·裴因关于把经锻造的扁铁轧成所要求形状的轧机专利发表了。然而，裴因的概念（如图1-6所示）（略），看来似乎并没有实践，但是，扁材和型材的轧制对钢铁制造者来说，却很感兴趣，并且似乎已经实现。例如，1747年，科学协会指派一名委员去参观法国艾素因的一台轧制扁铁的新轧机。这时，采用冷轧抛光镀锡板的操作法也正在流行，1759年英国汤玛斯·布隆克利获得了关于“抛光和轧制金属”的专利，涉及内容广泛但实际上都是归结于轧辊，使用者能够通过刻槽以满足需要。1766年，另一个英国人约翰·普内耳获得关于为使轧辊一起旋转，而采用梅花套筒和螺母式齿轮装置的刻槽辊专利（见图1-7）（略）。在此以前，轧辊都是单独驱动的，因不等的转速而引起轧辊的过份磨损，以及每个轧辊两侧必须安装导卫。

在同一时期，这些普通式样的热轧机正在开始向现代型式变化，例如，铸造牌坊和轧机每边的单个压下螺丝，这是1783年威廉·泼拉费尔特提出的英国专利说明书的特点。

在手工锻造镀锡板时，实际上是同时锤打几层金属，因此，约在1756年，当采用轧机生产镀锡板时，实际操作是在获得一定延伸后折迭薄板，然后进行两层金属轧制，有时，进行重复折迭，同时进行四层钢板的轧制。

上述热轧机，实质上是一台二辊单机座轧机，莎诺对这种型式热轧机的操作要点，作了概述，先单片轧制，再双片或多片合轧，然后叠轧，因为只有两个轧辊一个在另一

一个上面，所以把这种普通的热轧薄板轧机称为“二辊周期式薄板轧机”，并且在轧钢机组中可以采用一台以上的这样轧机，每一台完成一个单独的加工阶段，但是每台的基本原理是相同的。

十八世纪也出现了连轧机，据已存证明材料，第一台真正的连轧机，是1766年理查·福特获得的英国专利——关于盘条的热轧，大约在1790年，詹姆斯·柯克叔特和理查·克劳斯凯在英国雪费尔特附近安装了一台四辊连轧机，这台轧机长五呎（1.5米），高不足2呎（0.6米），生产能力约为1~2吨/天，以后在1798年，发表了关于轧制中板和薄板连轧机的专利，同一年，约翰·海士尔迪因把机械导板加到线材轧机上，如图1-9所示（略）。

## 1—2欧洲钢的热轧的后期发展

据说，现代轧钢生产起始于1783年。当时英国费汉附近佛特尔铁工厂的亨利·柯特获得了关于利用刻槽辊轧制铁棒的专利。采用这种结构轧辊的轧机，其每天产量至少15倍于锤打获得的产量。然而，柯特的革新引起了剧烈的争论，认为他不是第一个使用刻槽辊的人，但柯特却是第一个综合使用当时各种炼钢和成型工艺的全部最好特点的人。唯有这个事实证明了“现代轧制之父”这个说法，现代作者已把这个说法用于他。

十九世纪初，英国工业革命的势头不断高涨，从而对钢铁生产提出了前所未有的要求，因此，发展了大批轧机。约翰·比凯萧在1820年开始用钢轨轧机，生产长15~18呎（4.6~5.5米）的鱼肚熟铁轨。1831年在英国轧制了第一根T型钢轨，其基本结构和今天的相同。1849年左列斯在巴黎轧制了第一根工字梁。

轧机和轧材的尺寸也迅速变大。在1851年英国的大型展览会上，康西特铁公司展出了长20呎（6米），宽 $3\frac{1}{2}$ 呎（1067毫米），厚 $\frac{1}{16}$ 吋（11毫米）的中板，其重量为510公斤，是当时轧制的最大中板。

大约在十九世纪中期，三辊式轧机也开始推广应用。1853年阿培西凯铁厂的罗笛，获得了关于轧制大断面轧机的英国专利。这种轧机，中辊驱动并固定在牌坊里，而上下辊的位置是可调的，用气动升降台升降轧件。几年后，贝纳·苏瑟改进了这种轧机结构，使用一个直径比上下辊小的中间辊，如图1-10所示（略）。这个改进，使得轧机有较高的生产率，而使用的功率较小。

十九世纪中，第一台可逆式中板轧机在英国巴克格特工厂投入生产，1854年用来轧制建造“大东方”号轮船的中板。1848年，德国雷德斯多夫的德勒发明了万能轧机，约七年后他建造了第一台这种型式的轧机。虽然，连续式热轧机的专利是1857年亨利贝氏麦和1859年李西发表的，但是根据连轧原理建造的第一台轧机，却是威尔斯旁泰浦力特的查理·华尔的专利。

然而，由德国曼衙斯特巴特福特铁厂的乔治·贝特森获得专利的连轧机，则更加成功。在这台轧机中，他采用一系列不同角度放置的轧辊，避免了翻钢的必要性。这是一台线材轧机，重100磅（45公斤） $1\frac{1}{16}$ 吋（27毫米）的方坯，通过一系列16对轧辊，其中8

对水平, 8对垂直, 如图1-11所示(略)。它的生产能力是: 10小时轧制№5铁的线材20吨。

威尔斯易斯达利维瓦的牛顿, 在1860年获得了一个英国专利, 描述了一台现代六辊轧机的粗型。它使用的小工作辊支撑在大辊上, 工作辊驱动, 大支撑辊承受压力。在现在的热轧机和冷轧机中, 还使用这个原理。

1872年, 英国瓦令顿的布莱克利把轧辊在同一垂直平面内的四辊轧机应用于精轧钢轨的熟铁板桩。1863年, 在德国生产Z字钢的轧机投入使用; 1867年, 威尔斯道莱斯工厂梅纳芳斯设计的轧机, 轧制了深8~12吋(203~304毫米)的钢梁。这台轧机有两对轧辊, 一对放在垂直平面, 比另一对稍高些。法国彼丁等人, 1872年在万能轧机上轧制了钢梁。四年后, 法国约瑟·迪比勒因在一台连轧机上, 利用对角轧制法, 生产了第一根H钢梁。

大约在1890年, 热连轧蓬勃兴起。1892年带有机械齿轮传动的二辊连续式精轧机组的半连续热带钢轧机, 在波希米亚的泰普利兹建造起来。据报道, 已经轧制宽50吋(1270毫米), 厚0.080~0.120吋(2.0~3.0毫米), 长60呎(18米)的钢板。这台轧机利用了两架三辊式粗轧机组和五架轧辊为 $24\frac{5}{8} \times 59$ 吋(625×1500毫米)的精轧机组, 精轧机多架间距为9呎(2.74米)。每个机组由功率为1000马力的发动机驱动, 如图1-12所示(略)。因为泰普利兹工厂在1907年关闭了, 所以认为这台轧机在工业上并没有取得成功。

### 1-3 美国早期的轧钢生产

实际上, 美国金属制造的历史是随着欧洲殖民者的到达而开始的。因为在每个殖民地都存在熟练的金属制造工人, 殖民者就可为自己提供大量的金属。然而, 1750年英国议会宣布: 在美国殖民地, 不允许建造“任何用于纵剪和轧制的工厂, 任何用夹板锤加工的薄板锻造厂, 或者任何炼钢炉。”但是, 这条法令普遍没有得到遵守, 所以到177年, 这块殖民地已年产铁3000吨, 其中 $\frac{1}{3}$ 运输到英国作为生铁和型钢。

美国第一台轧钢机, 是麻萨诸塞州密得耳斯波罗的一个印第安人首领——彼得奥尔夫, 在1751年建的。这台轧机用来轧制3吋(76毫米)宽的锻棒(它是在木炭锻匠店制做的), 厚度从 $\frac{3}{4}$ 吋(19毫米)径四道轧到 $\frac{1}{4}$ 吋(6.35毫米), 以便纵剪成钉棒。每个轧辊由一个下冲式水轮, 通过木齿铁轮驱动, 水轮直径为18呎(5.49米), 面宽10呎(3.05)米。轧辊的速度匹配, 用调正放水闸门的方法。这个冷硬铸铁轧辊, 长36吋(914毫米), 直径15吋(380毫米), 其辊颈直径为9吋229(毫米)。

美国革命的爆发, 使得这个殖民地有了繁荣的钢铁工业, 因为对钢铁工业的所有限制都随着独立制度的建立而结束。但是, 它必须与欧洲钢铁工业作有力的竞争, 并克服经验不足。毫无疑问, 在下两个世纪, 美国为了发展成世界上最大的国际钢铁工业, 已经取得成功。

在新兴钢铁工业的发展中, 有如下一些重要阶段。1793年, 以撒·卑纳西在布斯拉建了一台纵剪机, 并且在1810年前这个工厂已用轧机轧制中板, 轧辊直径为16~18吋(406~457毫米, 长为3~4呎(0.91~1.22米), 用上冲式水轮驱动(见图1-13)(略)。1820年查理·路凯斯在这个工厂第一次轧制了卷板, 这个工厂终于发展成为现

在的洛凯斯钢铁公司。

十九世纪初，匹兹堡成了重点工业区。克里斯多弗·卡沃在西宾夕凡尼亚州建造了第一台轧机。这是第一台用蒸汽驱动的轧机，它利用了一台70马力的蒸汽发动机，这台发动机同时为一台纵剪机和一个杆锤提供动力。1816年，在普鲁索克，以撒米·索建造了美国第一台用来搅炼铁和轧制扁钢的轧机。两年后，匹兹堡蒸汽发动机公司建造了一台薄板轧机。1819年在匹兹堡的联邦轧钢厂生产了美国第一根角钢。到1825年，在匹兹堡已投产五架轧机，第六架正在建设。

到十九世纪中，美国每年的铁产量已上升到350,000吨，并且增加金属的可利用性，大大促进了进一步加工和制造金属零件的创造力。瓦扳板轧制是1850年的专利，今年俄亥俄州人获得了改进轧制不规则形状金属的轧机的专利。这种不规则形状金属，诸如条式铰链、翼铁、椭圆形弹簧、套犁、心棒、铁锹、斧、锤子以及铲（见图1-14）（略）。

1852年，布尔特在特棱顿的特棱顿工厂，使用了美国第一台三辊式钢梁轧机。这台轧机采用三个垂直辊，在每个方向的每道次都进行压下。另一台完全不同于以前结构的钢梁轧机，大概是在1853年由查理·海威特等人建造的，然而，第一台十分满意的三辊式轧机，通常都归功于约翰·弗利兹。他在1857年为宾夕凡尼亚州约翰斯顿的坎布利铁厂建造了这样一台轧机，在直径18吋(457毫米)的轧辊间轧制钢梁(见图1-15)(略)。这台轧机引起了人们的兴趣，因为它创造了在重型铸造导轨上安装机架的经验。然而，匹兹堡的仲斯和劳思在1859年从英国专利发明者买到在整个美国的使用权，从而把劳思轧机推广到美国。

在1865年国内战争结束以后，铁路的迅速扩大给美国钢铁工业以巨大的刺激。1865年在北芝加哥轧钢公司轧制了第一根钢轨。1867年，约翰·弗利兹的兄弟乔治·弗利兹开始了在美国第一次成功的初轧机操作。同年，在匹兹堡的一台20吋(508毫米)轨梁轧机上生产了第一根钢梁。安德烈·克伦曼在约翰·齐麦的帮助下，同年在匹兹堡建造了第一台万能轧机。它能轧制宽7~14吋(178~356毫米)，厚 $\frac{3}{10}$ ~2吋(7.6~50.8毫米)的中板。

1877年，麦肯多西·海普尔为斯柯贝尔格及其公司(原来美国钢铁公司的斯柯贝尔格厂)设计和安装了一台30吋(762毫米)的可逆式初轧机。这是在匹兹堡区这种类型的第一台轧机，也许在美国也是第一台。1881年，麦肯多西—海普尔公司建造了完全由美国设计的第一台轧机，这就是在匹兹堡贝氏麦工厂(现今美国钢公司荷斯戴特工厂的前身)的一台二辊可逆式初轧机。

美国约在1880年利用类似于图1-16(略)所示的轧机，开始轧制薄板。据记载，在布兰第文轧钢厂(后来洛凯斯钢公司的一部分)的一台辊身長84吋(2134毫米)的三辊轧机，用于此目的。再迟一些，在该公司安装了一台三辊粗轧机和一台三辊精轧机，两者都采用直径为34吋(864毫米)，长为120吋(3048毫米)的冷硬铸铁轧辊。

## 1—4轧机使用的能源

最早的轧机用人工操作，通常靠旋转连接到一个或二个轧辊上的坚固的十字形臂杆



或者可调曲柄。用这样有限的动力，所以能够轧制的材料，仅仅是比较软的金属，诸如金、银、锡和铅。

随后用来转动轧机的是水轮。这是一个很便利的发展，因为这种轮子已经广泛地用于铁厂的风箱操作。可能已经用水轮驱动的第一台机器是1590年在英国肯特的达福特建造的纵剪机，它是由哥狄佛罗·迪波克斯在1588年贝维斯·布尔曼专利的启发下建造的。约在1790年，在英国雪费尔特附近，由詹姆斯·柯克叔特和理查·克劳斯凯安装的四辊轧机中，上下辊分别由单独水轮驱动，它靠螺栓把各部分栓在一起的大的石头轮缘加重，起飞轮的作用。图1-17(略)表示1734年为了驱动一台中板轧机，使用的一个冲下式水轮。

在工业上获得成功的第一台蒸汽发动机，是1698年英国的汤马斯首利发明的。汤马斯塞维利是第一个用马力评价发动机的人。然而，他的蒸汽发动机首先不是用来驱动轧机的轧辊，而是用来把已经流过水轮的水抽回到积水池。但是，一台波尔顿和瓦特蒸汽发动机已经用来驱动约翰·威尔金儿子的布莱德雷工厂的轧机和纵剪机，并且在1798年一台蒸汽发动机已经用来驱动镀锡板轧机(见图1-18)(略)。

十九世纪初，蒸汽发动机很快改进了，并且立即普遍地用来驱动轧机，通过轴、联轴节和减速器的直接机械连接，向轧辊输送动力。在十九世纪后半期，要求愈来愈大的发动机，到1875年发动机的输出功率已超过1000马力有些大到3000~4000马力(图1-19)(略)。

起初，飞轮广泛地用于轧机驱动，特别是在要求不可逆的三辊轧机发展之后(诸如劳思轧机)。但是，接近十九世纪末，显然能够快速可逆驱动的二辊轧机是比较好的，特别是考虑到它们在必要时可以很快停车。

但是，蒸汽发动机充其量费用也是昂贵的，而且效率又差。幸亏十九世纪后期，碰到了发电机和马达的发展。用发电机远距离驱动轧机，使得电力能够方便地沿着输送到直接连在轧机上的马达。有些发电机用内燃机驱动，例如在盖瑞钢厂。这个钢厂是1908年设计的，为了使用电力而建造的第一座大型钢厂，它有十五台燃气驱动的发电机，每台的输出功率达2000千瓦。几年以后，其功率增大到3000千瓦，相当于那时最大的往复式蒸汽驱动发电机。

甚至也比较早的时候，为了驱动小型轧机已经装备了直流马达。1903年，两台150马力的马达驱动着宾夕凡尼亚州布莱达克的艾加-汤姆森工厂一架轻轨轧机。同年，第一台可逆直流主传动马达安装在芝加哥南方工厂的36吋(914毫米)万能中板轧机上。

燃气和蒸汽发动机的运行速度比较慢，这规定了发电机的一个外界极限。例如，这样驱动的5000千瓦发电机的直径，超过30呎(9.14米)。另一方面，高速旋转的蒸汽透平机，使得所驱动的发电机更加紧凑。

发电和配电的另一个改进，导致不仅仅在美国而且在全世界的轧钢厂，都转向采用电动机。早在廿世纪四十年代，就开始在主传动上采用变速直流马达，并已获得普及。同时，由于轧机使用功率的逐渐增加，所以一些更新的热轧机采用多电枢马达驱动，供给1200马力的功率，通常围在无尘的电机房里(见图1-20)(略)。在现代冷轧设备中，宽板轧机的典型驱动是用8000马力的马达。这个马达通常安在车间地面上，而不愿安在专门建筑的电机房里。

## 1—5冷轧的发展历史

尽管最初的金属轧制实际上是冷轧，但是在十八世纪末期以前，钢铁板材的冷轧一直没有取得成功，而热轧钢板却自1660年以后已经在二辊轧机上开始。然而，应该注意的是，抛光性质的冷轧早在1747年在英国的镀锡板生产上已经采用；1783年在英国，约翰·威斯特伍德建议冷轧带钢用作钟表弹簧。从1825年到1860年，主要由于轧辊制造改进，已用冷轧方法大量生产高碳扁钢丝、包装带等等。

不能确定美国从什么时候开始最早的冷轧生产。但是，由马萨诸塞州北斯特城的瓦士畔和摩里公司近行的钢丝压扁，似乎是冷轧最早的工业生产。

然而，冷轧板材的发展，只有在采用小直径中间辊的劳思三辊轧机开发之后才获得真正的动力。当然，认识小直径工作辊的优点则更早些，就拿克里斯福·波尔海叙述的采用小的熟铁工作辊，大的铸铁支承辊的四辊热轧钢板轧机来讲，因为“小辊比大辊有更大的金属延伸能力。”正如1—3节所述，劳思冷轧机在美国大量生产，开始主要在从前的匹兹堡钢铁公司，后来由仲斯和劳思林取得。

由于冷轧带钢的优越性能愈来愈明显，所以冷轧在美国和世界各国都更加广泛得到传播，并且当时主要在二辊和双二辊轧机上应用，尽管韦泄摩德和麦忒型四辊和六辊轧机后来在美国得到了使用。第一台四辊冷轧机，1923年首先是由阿里根尼勒德隆钢公司使用的。

辊颈轴承的改进，也有助于冷轧机的扩大使用。滚动轴承，最早在1890年用于二辊轧机；1909年用于多辊冷轧机的支承辊；1926年用于四辊轧机。

二辊可逆式冷轧机，廿世纪廿年代首先在德国使用（早在1917年的专利文献中已经尔露）而且轧机到1932年才使用。在美国第一台这种类型冷轧机于1933年安装在盖瑞钢厂。

带钢连续冷轧的最早记载，要追溯到1904年前后，当时威斯特·利西畔钢公司安装和使用了一台二辊四机架连轧机，每个机座用单独的调速直流马达驱动。机座之间有张力，又有张力卷取机的真正连轧机生产，大约是在1915年前后，在苏必略钢公司和匹兹堡摩里斯与贝利钢公司安装的轧机上发展起来的。1926年，第一台四辊四机架连续式冷轧机，在美国轧钢公司的巴特勒工厂投入生产。

在可逆式和连续式轧机的生产中，当轧制钢带很长，轧制速度愈来愈高时，必须注意带钢的装卸问题。这种情况首先发生在热轧线材的生产中，据记载在1860年前后使用了第一台卷取机，它是用人工旋转的，肉眼观察卷取机与轧机的同步，其后，这些卷取机实现了机械化。冷轧带钢卷取机比热轧带钢卷取机要领先几十年，第一台冷带卷取机是1893年左右由德国奥古斯特土米兹公司建造的。这台卷取机设计的很好，有楔形卷筒，为了控制张力，卷筒借助滑动皮带由轧机驱动。1905年由匹兹堡的柯克林获得专利的第一台大张力卷取机，利用一个滑动摩擦离合器。约在1920年，靠控制电流保持恒定张力的单独电气驱动的卷取机，已由苏必略钢公司和西属电气公司共同研制出来。

卷取机和电力驱动的同时发展，导致带钢张力控制的发展，开始在轧机和卷取机之

国，后来在连轧机的相邻机座之间。最初的串列式冷轧机，在机座之间采取带钢松弛操作法，近而发展为利用松弛式活套卷取装置，装最后约在1920年发展为采用机座之间的高张力。

迟至1930年，雪纳才叙述，“通常薄板的形状完全由热轧得到，冷轧仅仅是表面处理，压平或者硬化工序……在这方面，需要提到另一个新成就。在过去几年里，冷轧辊已经设计成在冷轧时实际上可以压薄和延伸相当宽的薄板；换句话说，这些有效的轧辊将引起冷轧，使钢冷弯形成予定厚度和宽度的薄板，这是普通薄板轧机所做不到的。然而，这些新发展的轧机还没有广泛地使用，所以就正个薄板工业而言，仍然是有热轧得到薄板的形状。但是在许多年以前，薄板的冷轧可能已经经历了若干重要的变化和发展”。

所引证的最新成就，确实是富有预见性的，因为串列式和可逆式冷轧机已经广泛地用于薄板和镀锡板生产。但是，热轧仍然必须把钢锭轧到 $\frac{1}{4}$ 吋（6.35毫米）左右厚度的带钢。因为想要冷轧比较厚的带钢，需要非常大的轧制力和能量。

### 1—6现代开坯冷轧设备

在廿世纪卅年代，热轧带钢的冷轧，从一个比较特殊的、小规模的过程，发展到在冷轧扁钢、薄板和带钢的生产中，占据最重要的位置。这些产品在尺寸上根本不同，如表1所规定。

表1 冷轧碳钢按扁材尺寸的产品分类

宽度吋(毫米)	厚度 吋(毫米)		
	$\geq 0.2500$ (6.35)	0.0142~0.2499 (0.36~6.347)	$\leq 0.0141$ (0.358)
到12 (305)	扁材	带钢	带钢
2~12 (50.8~305)	扁材	薄板	带钢
12以上到23.9375 (305~608)	带钢	带钢	带钢
12以上到29.9375 (305~760)	薄板	薄板	黑钢板
超过23.9375 (608)	薄板	薄板	黑钢板

从1925年开始，冷轧带钢的最大有效宽度迅速增加，如图1—21所示(略)，而对给定宽度的最小厚度却减小，到1937年，热轧和冷轧带钢的厚度—宽度范围已经达到图1—22(略)所指的数值；而现在的扁材产品甚至在宽—厚比大于图1—22相应值时，是可以实现的。

在廿世纪卅年代建造的典型的薄板轧机，是三机架84吋(2134毫米)吊引式轧机，

示于图1—23(略)。这台轧机使用直径20½吋(520毫米)的工作辊,直径56吋(1420毫米)的支承辊,采用总容量6850马力,速度542呎/分(2.75米/秒)的马达驱动。

在二次世界大战前后,四机架薄板轧机开始流行,到六十年代,五机架薄板轧机已经建造,如第二章所讨论的。

在廿世纪卅年代,五机架串列式轧机很快用于镀锡板生产(轧制带钢的最终厚度为0.010吋(0.25毫米)。1941年在欧文工厂安装的这样一台轧机,使用21/53×48吋(530/1350×1220毫米)的轧辊,驱动马达总功率为11100马力(见图1—24)(略),带钢出口速度达3750呎/分(19米/秒)。后来的镀锡板轧机,使用较大的马达,操作速度一般可达5000呎(25.4米/秒)。六十年代采用了六机架镀锡板轧机,其功率更大,工作辊稍大些(直径为23吋)(584毫米)。在这种轧机上采用双驱动,并且部分操作在计算机控制下。

虽然近年制造的冷连轧机已经使用普通的四辊机座,但是日新制钢在日本南阳的周南工厂已于1969年投产了一台专门设计来轧制宽达50吋(1270毫米)不锈钢板的连轧机。这是第一台全连续轧机,开卷后的钢卷经焊机接头尾。它使用六个机架,第一和最后一架是二辊轧机,中间是森吉米尔轧机,一架是ZR—22N—50型,其它三架为ZR—21B—50型。这台轧机的更详细说明将在2—15节介绍。

另一台全连续带钢冷轧机,1971年已在日本钢管公司的福山工厂投产。这台轧机的特点是有两个开卷机,一台剪机,焊机,带钢活套坑,五个机架,一台种剪和两个张力卷取机。被轧制钢卷的端部进行焊接,在焊接操作中,带钢从活套坑拉出。这台轧机使用四辊机座(为了快速定位轧辊,在机座1和5采用液压缸),以当今技术允许的程度充分自动化,并用计算机控制,在2—15节将对这台轧机作更详细的介绍。

为轧制不锈钢和硅钢以及加工销路有限的特殊合金,单机座可逆式轧机(特别是森吉米尔轧机)继续得到普及。这类轧机的特点是有很大功率的主传动(达8000马力或更大),而卷取机马达的功率约为主传动马达的一半。

第二章将要详细讨论上述轧机,其操作在许多方面不同于先前的慢速轧机。现在,一般都采用大张力(而在最初的一些串列式冷轧机中,机架之间有带钢的自由活套)并且必须采用轧制工艺润滑剂。这类润滑剂(通常是棕榈油或椰子油)可以大大促进轧制操作,减少轧制力和轧制所要求的能量。一种循环的轧制润滑剂的水溶液(通常称为轧制工艺润滑冷却液),不仅提供轧辊和带钢表面间辊缝中的滑润性,而且起轧辊和轧制带钢冷却剂的作用。

轧制速度也大大地提高,随之轧制带钢质量得到稳定的改善。自动厚度控制系统已经保证轧制产品厚度的均匀性,而改近润滑剂已使得带钢卷取温度保持在允许范围内。虽然在轧制操作中仍要产生板型问题但是磨辊技术的改进和较好的轧机仪器,已使这类问题变得很少。

## 1—7二次成品冷轧机

就在1960年前,在美国作为包装材料的二次冷轧镀锡板,已经商品化。这种薄规格带钢在各种特殊结构的冷轧机(称为“成品冷轧机”、“再冷轧用轧机”,“二次冷轧机”,有时称为“镀锡板平正机”)上轧制,为此,已经采用单机座、双机座和三机架轧机,而

双机座轧机是最普及的(见图1—25)(略)。

生产二次冷轧镀锡板的第一个方法,包括如下的阶段:1)开坯冷轧;2)电解清洗;3)箱式退火;4)镀锡;5)二次成品冷轧(压下率接近50%);6)清洗;7)化学处理;8)涂油。然而,由于设备和每个生产者独特的操作条件,就会存在外观的差别,失去表面光泽,并引起罐头制造者难以获得一改的表面状态。因而,这种产品靠压下30—40%的箱式退火黑钢板来制造,并以普通方式镀锡这种薄规格带钢。目前工业上出售的产品厚度范围,约为0.005~0.011吋(0.13~0.28毫米),45~100磅/基本箱(20~25公斤/基本箱)。

虽然成品冷轧机的机架,一般类似于开坯冷轧机的机架,但是也存在一些重要的区别。这些轧机的最大速度,一般都小于开坯冷轧机,因此原因以及压下量相应比较少,所以二次成品冷轧机的驱动功率比开坯冷轧机小。另一方面,带钢宽厚比较大,所以对轧制工艺润滑剂的润滑性的要求更严格。而且,因为轧制产品薄,轧机设计必须使得带钢不产生过份的拉应力。最后,成品的表面光洁度和板型(见11章)必须特别好,否则涂层(诸如铬——铬氧化或“锡、铁分离”涂层后使得表面缺陷很明显,并且使得剪切后的产品在罐头生产线上不能满意地处理。

最近,除普通黑钢板和镀锡板以外,拉伸——矫直罐头已经取得成功。在这样的制造过程中,经开坯冷轧和退火的带钢,实际上“二次成品冷轧”是在拉伸和矫直操作中进行的。可以想象,拉伸——矫直罐头可能会给二次成品冷轧机的未来发展状况以重要影响。

## 1—8箔材轧机

最近十年间,各种金属已经轧到很薄的规格,以适用于包扎、电容器制造、印刷线路板等方面。然而,所有这些用途,其用量是有限的,卷宽通常只要求几吋。因此,采用小型轧机(常用森吉米尔轧机)生产这种特殊箔材,其厚度范围往往在0.0001~0.001吋(0.0025—0.025)毫米。

1960年后不久,较宽(达30吋——762毫米以上)的钢箔材有了相当大的市场,所以1965年在美国盖瑞工厂安装了一台能轧制镀锡带钢(厚度可达0.0015吋——0.038毫米,宽度为30吋——762毫米或者更宽)的箔材轧机(见图1—26)(略)。这台单机座轧机及其润滑系统在2—18节进行详细叙述,产品特性在第12章介绍。

## 1—9平正机

在1—5节,已经注意到为了抛光镀锡板早期使用的冷轧机。这样的轧机构成了一种类型的平正机,实际上,这种轧机给退火材很小的压下量,使退火材有一定程度的表面硬化,恢复调质度,并防止在随后的冲压操作中产生拉伸应变或者表面破裂。此外,还使轧件表面达到要求的光洁度、光泽和平直度。

通常,平正机操作时不用轧制工艺润滑剂,带钢的轧制表面完全保持不污染,因此

为下一步处理(例如)镀锡作好了准备。另外,在轧辊和带钢表面间的辊缝中产生很大的摩擦,保证了只给轧件很有用的延伸或压下。

但是,偶而平正机也用“湿法”操作,这是为了得到比较大的压下量,或者想在平正材料的表面上,留下一层耐腐蚀的或者其它类型的油膜。

轧制薄板的平正机,习惯上都采用单机座,如图1—27所示(略),而双机座平正机往往用来生产镀锡板所要求的高硬度产品。

近年,趋向于利用一台轧制设备来满足多种不同的轧制操作,例如,单机座和双机座轧机已经安装来进行冷轧和平正操作(见图1—28)(略)在这种设备中,通常可以适应一对不同尺寸的工作辊,小工作辊用于正常的冷轧生产,而大工作辊用于平正。

## 第二章 冷轧机的类型

### 2—1概述

冷轧机的分类方法有许多种。单机座轧机常以轧辊配置的方式分类;单机座和多机座轧机按机架的数目及其工业用途分类;特殊用途的轧机,则以其制造厂家的名称或被普遍接受的名词分类。

在实际使用的现代轧机中,单机座轧机主要包括二辊轧机,四辊轧机,多辊轧机和森吉米尔轧机,如图4—1所示。斯特克尔轧机具有广泛的工业用途,但在这种轧机上轧制的带钢,与其说是轧成的倒不如说是拉成的,因为在这种情况下,变形能是由轧机出口的张力提供的。

多年来,已经设计了各种特殊用途的轧机,例如带

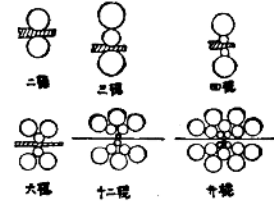


图2—1 冷轧机的轧辊配置方式

钢平正机或减薄机以及结构和操作大大简化了的轧机。其中有些轧机虽然已能对带钢试样进行试验性轧制,但仍不适用于工业性大规模生产。

一般来说,轧机通常按其功能来命名。开坯冷轧机命名为“薄板轧机”(用于把热轧带钢轧成薄板)或“镀锡板轧机”(用于把热轧带钢轧成待镀锡的薄板)为了把待镀锡的薄板轧成更薄的带钢,在1960年研制成了“二次成品”冷轧机。近年来厚度低达0.0015吋(0.038毫米),最大厚度为30吋(762毫米)的箔材的商品化,导致了建造特殊结构的“箔材轧机”。

上述轧机都用于减小带钢的厚度,而某些被称为“平正机”的轧机则用来获得带钢所需的表面光洁度,机械性能和平正度。用于生产退火成品板材的称为“薄板平正机”,用于生产退火的黑钢板(未镀钢板)的称为“镀锡薄板平正机”。

本章将详述几种常用的轧机以及与其生产率有关的资料。

### 2—2二辊轧机

二辊轧机是用于冷轧钢的最古老型式。但是,甚至到1920年,这种轧机主要还是用

来压扁钢板；通过消除凹痕，折皱以及某种类型的波浪，来改善钢板表面，生产致密光滑的表面，或者一个光泽的抛光表面；也可通过冷加工硬化来硬化钢板。

在镀锌板生产的早期，轧件的成型通常靠热轧机完成，因此二辊冷轧机实质上只是平正轧制。在这个加工过程中，带钢的延伸被认为是“害多利少”。

早期使用的一台二辊轧机，如图2—2所示（略）。除了压下螺丝不经常调正以外，它在结构上类似于热轧机。通常这种二辊轧机，只驱动下辊，不采用轧制工艺润滑剂。轧辊本身没有凸度，但具有冷硬表面，它们在使用前要研磨和抛光，其方式类似于今天的操作，不同之处在于：轧制过程中轧辊产生的斑痕，要经常磨掉，而轧辊不卸下。

在镀锌板的轧机中，通常是串列式地排列三个单独机座，由第一架到第二架，由第二架到第三架，都是用皮带自动地运输钢板。它采用的是高抛光辊，因为镀锌板要求光泽的表面光洁度。但是，通常镀锌板轧机主张几个单独机座不连续布置，以提供普通的压平道次和非光泽的表面光洁度。

很注意对轴承的润滑，以防止由于辊颈摩擦加热而引起轧辊过份的温度梯度。

由于四辊高速连续式轧机的出现，这种慢速的二辊轧机全部开始废止。

然而，最近二辊轧机作为平正机已经东山再起，乌辛纳尔—施罗曼已经研制了这种轧机，在下工作辊下面用一个弯辊，其示意图如图2—3。

图2—4（略）表示了这种轧机的特点，有液压压下螺丝，在轧机操作过程中进行轧辊抛光。所示轧机的轧辊，辊径41吋（1040毫米），辊身长度86吋（2200毫米），组装轧机靠液压换辊装置可以快速更换。

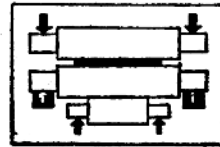


图2—3 施罗曼带有弯辊的两辊轧机

## 2—3三辊轧机

劳思型三辊轧机，如图2—5所示（略），现在主要用于热轧。在这种轧机里，上辊通常采用电动压下，其升降机构与压下螺丝相连。中间辊是从动的，它靠上下辊产生的摩擦带动旋转，它没有压下装置，靠液压活塞进行升降，这要根据轧件是在中间辊下面或上面通过来决定，中间辊稍带凸度。轧机辊道的升降，取决于轧件通过轧机的移动方向（见图2—6）（略）。

## 2—4四辊轧

最常用的带钢冷轧机是四辊轧机。这类轧机常用封闭式机架，即二部分机架用隔离杆或其他方法形成一个正体。原先一般采用工作辊传动，但近年来已趋向于支承辊传动。支承辊硬度一般比工作辊低，前者肖氏硬度为65，而后者为95—100。

为使四辊轧机在轧制带钢时具有所需的刚度，支承辊应近似于“方”的，也就是说，支承辊直径至少应等于其辊面长度。美国1945—1970年间建造的四辊冷轧机的支承辊直径与辊面长度之间的关系见图2—1（略）。作为一个安全系数，并考虑予留磨辊余量，支承辊直径应等于其辊身长度加上6吋（152毫米）。

虽然支承辊提供了必需的刚度，但仍存在一定的工作辊最小直径。梅拜伯梅曾经指出，为了防止钢质支承辊的剥落，在工作辊或支承辊相接触的区域中，支承辊的最大应力不能超过300,000磅/吋<sup>2</sup>（210公斤/毫米<sup>2</sup>）。这意味着工作辊与支承辊的直径不太悬殊，其直径的最大允许比率取决于最大容许单位轧制力，见图2—8。

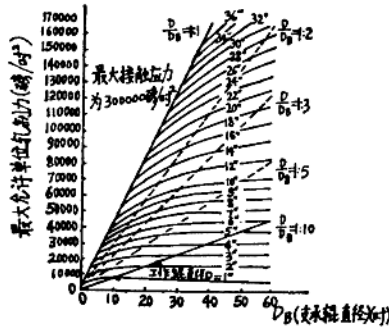


图 2—8（对工作辊直径与支承辊直径的各种比率而言）最大允许轧制力与支承辊直径之间的关系

最佳工作辊辊径的选择不仅受剥落影响，高速轧制时工作辊的冷却是选择工作辊辊径的主要因素。因此，轧制速度，压下率，轧辊冷却水配置等因素都必须加以考虑，这一点将在第五章中详细讨论。

使用单机座轧机进行多道次轧制时，必须决定使用可逆式还是非可逆式轧机。如使用非可逆式轧机，成卷带钢必须在轧制道次间从轧机出口侧转送到入口侧。这样，就有一个带卷运输问题。这个问题可采用可逆式轧机来解决，但可逆式轧机电气传动部分的费用比非可逆式轧机贵得多。但尽管有这种缺点，可逆式四辊轧机仍比非可逆式轧机流行，主要原因是其多方面的适用性，以及只需改变轧制道次数就能把热轧带钢轧成多种厚度的冷轧带钢的能力。在2—19节中将详细讨论这类轧机。

## 2—5斯特克尔轧机

斯特克尔轧机是一种四辊可逆式轧机，如图2—9所示（略）工作辊直径为2—5吋（51—127毫米），支承辊直径为工作辊直径的6—8倍，由二个单独传动的张力卷筒提供全部变形能。其中，工作辊是一种转动模具，这种压力加工与其说是轧制还不如说是类似于拉拔。由于工作辊不传动，开始轧制时必须提升工作辊，使带钢头部嵌入卷筒的夹紧器，然后压下轧辊开始轧制，轧制时带钢完全靠张力拉过轧辊。带钢尾部到达一定位置时，轧机停轧，以便把带钢尾部嵌入轧机入口侧卷筒的夹紧器。

## 2—6弗罗林低膨胀轧机

用图解法表示在图2—10左边的普通轧机中，轧制力从轧辊经支承辊轴承、轴承座、安全臼和压下螺丝传到机架。为了防止这些部件产生大的弹性应变，通常它们的横截面要尽可能大，以保证最大的刚性。



在弗罗林轧机中，压下螺丝、安全白和轴承座用新设计的部件代替。每个上、下支承辊轴承座用两个拉杆连接，拉杆被予应力到超过最大轧制力，如图2—10右所示。所以予应力轧机的变形只限于轧辊；轴承座和拉杆。

这种结构的优点是：

- 1) 轧机建设成本较低；
- 2) 更易靠近轧辊和辊缝；
- 3) 导卫刚性更大；
- 4) 由于结构紧凑，带钢头尾损耗较少。

连接上下支承辊轴承座的拉杆有螺纹头，它不仅用螺母固定，而且有专门的液压千斤顶，后者支承轴承座，当高压液压系统开动时拉长螺杆，这样上下轴承座被加工应力到一个予定值。在向下拧紧螺母后，液体压力被解除，系统中的予应力靠螺杆的拉应力而保持。

上下支承辊轴承座用偏心轴承衬套固定，后者旋转时调正辊缝。上轴承座的轴承衬套与液压驱动的齿条啮合，靠齿条的横向移动来旋转衬套。下轴承座的偏心轴承可以人工旋转，使得换辊后的轧制线保持所要求的高度。

在弗罗林轧机中，可以使用直径变化的工作辊，当把一套工作辊换成直径完全不同的另一套时，要采用不同尺寸的工作辊轴承座，在支承辊轴承座之间放不同尺寸的垫片。

但是，这要靠使用分开轴承座的予应力缸。工作辊以普通方式安装，但在它们轴承座中的轴向锁紧装置，保证了高速横向定位工作辊，并使其有可能快速换辊。

弗罗林低膨胀轧机，普遍地用于轧制所有的钢种。有色金属和贵金属，并且它即适用于单向轧制，也适用于可逆式轧机或者串列式轧机，这种类型的可逆式轧机用来轧制碳钢，其特点是工作辊直径为40、80和120毫米，支承辊直径为390毫米，如图2—11所示（略）。

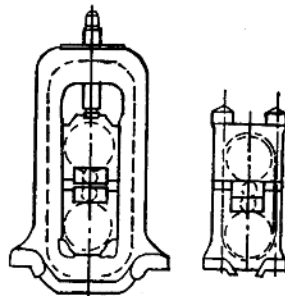


图2—10 普通四辊轧机（左）  
与弗罗林轧机（右）的比较

## 2—7 予应力四辊轧机

在普通四辊轧机中，一个或几个轧制参数的任何变化都要影响辊缝。来料厚度及其屈服强度的变化会影响轧制力，从而改变轧辊的弯曲；支承辊轴承的压缩；轴承座组件，压下螺丝以及机架的伸长。所以，如果对引起的变化不做人工式自动补偿的话，那末在轧机部件中的这些弹性变形，就要影响轧制带钢的厚度和板形。

用图解方法表示在图2—12中的罗威—罗伯德森发明予应力四辊轧机，靠一个综合技术克服了这些问题。这些技术自动而及时地补偿了轧辊的挠度或弯曲；机架的拉长、压下螺丝与轴承座的压缩。由这些特点建成的轧机，其全部费用与普通轧机相当。

其实，在普通轧机上，调正辊缝靠机架和上支承辊轴承座之间的压下螺丝，而在罗威—罗伯德森予应力轧机中，上轴承座支承着测压仪，原始辊缝的调节靠上下支承辊轴承