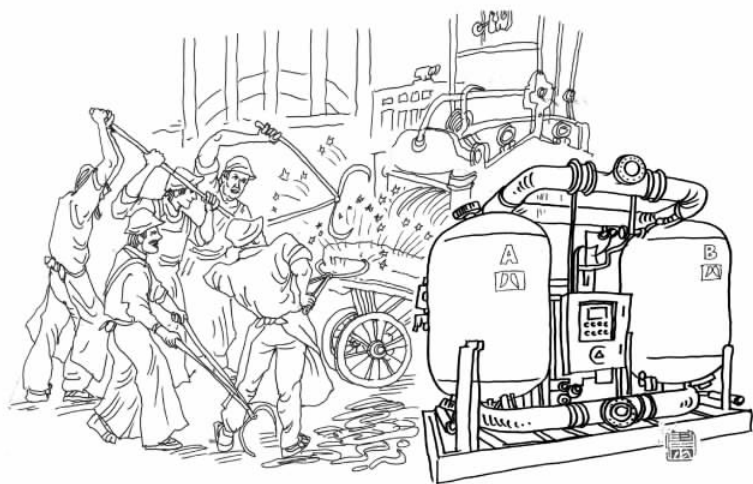


第三章

冶铁技术创新



18世纪,英国冶铁技术有两个重大创新,一是用焦炭取代木炭冶炼铁矿石,二是把生铁转化为熟铁的“搅拌”工艺,这二者使得1780年到1840年间廉价铁生产量急剧增长,并使英国冶铁业在欧洲的领先地位一直保持到18世纪末。另外,为适应冶铁和驱动水车的水流供应,鼓风机装置也有一些重要创新。这些冶铁创新,为制造蒸汽机零部件、纺织机机架、铁轨、铁桥等提供了材料支持。

一、焦炭取代木炭

在西方,早期冶炼矿石的燃料是木炭。因而,英国过去的冶铁厂都设在林木茂盛的地区。可以说,早先各冶铁厂为了所需的燃料,都对周边的森林进行过毁灭性的采伐。

另一方面,英国煤炭资源丰富,很早也知道用煤。中世纪时期,英国城市中已普遍使用煤来取暖,并且也把煤用做烧石灰、烧砖、制皂、印染等行业的燃料。就锻造金属和金属加工来说,完全可以用煤,与木炭没有什么差别。然而,若熔化矿石特别是铁矿石,那就大不一样了。因为煤中含硫,一燃烧就挥发,铁矿石受含硫化物的作用,炼出的生铁显脆性,不能锤打加工。当时的工匠也不知如何补救这种缺陷,冶炼铁厂继续燃用木炭,随着木材减少,木炭价格攀升,而冶炼铁厂附近的丰富煤藏却未被利用。

17世纪时,有人尝试用煤冶炼铁,如建立反射式高炉,让火焰通过转折来舔烧放在炉床上的矿石,而火焰中充满硫蒸气,同燃烧的煤直接作用一样,炼成的铁还是显脆性。

直到1709年,英国企业家亚伯拉罕·达比(Abraham Darby)做出发明,实现了人们百年来寻找的焦炭冶炼方法。

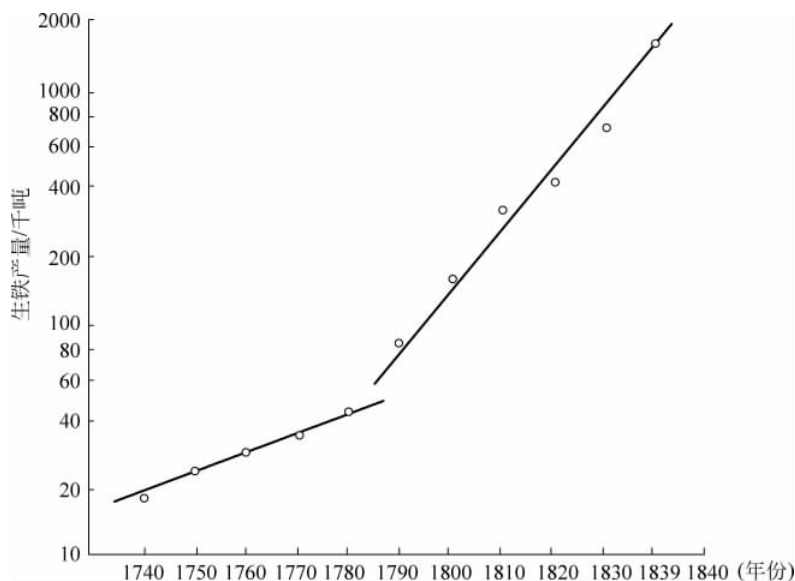
达比早年在德比郡的一家麦芽酒酿造厂做过学徒,后来迁到布里斯托尔,在那里与人合伙制造家用的铜锅。后因铜的成本高,他们决定尝试用铁铸锅,获得成功。1708年,达比来到希罗普郡的科尔布鲁克代尔(Coalbrookdale)安家设厂,他租下一个旧冶铁炉和几个锻炉,用冶炼出的铁水灌到砂型铸造铁制品,燃料先是用木炭,不久改为煤,用生煤(即取自煤矿的原煤)试验,没有成功。达比没有泄气,他利用在麦芽酒酿造厂的技术,把煤烘烤成焦煤(就像烘烤麦芽变干枯那样)。另外,



他改进高炉的内径以适应焦炭冶炼铁,并安装了新的鼓风装置。

1730年,达比的儿子接替早逝的父亲经营科尔布鲁克代尔铁厂,他改进烘制焦炭的方法,并加强用水车带动的鼓风系统。原来高炉鼓风是通过高处的水池往下泄水,驱动水车带动鼓风的“风箱”。当干旱季节上水池蓄水不足时,需要将水运送到上水池补水。1732年,达比二世修建了用马车输送水的轨道。到1742年,又安装使用了纽可门蒸汽机,将下水池的水提升到上水池,而高炉鼓风仍借助水车驱动。直到1781年,采用瓦特的“太阳和行星”齿轮联动装置蒸汽机,可直接带动鼓风装置用于高炉鼓风。至此,冶铁业不仅摆脱了对木材的依赖,也逐步摆脱了对水力的依赖,科尔布鲁克代尔因此成为英国18世纪重要的冶铁中心。

焦炭冶铁开启了英国的冶铁技术创新,随着更多的冶铁厂采用焦炭冶铁,英国冶铁业快速发展。从1780年到1840年,英国廉价生铁的生产量急剧增长,从大约每年40 000吨增长到2 000 000吨(见图3-1)。



英国的生铁产量(1740—1839)

焦炭冶铁在带来冶铁业兴旺的同时,也促使英国冶铁业向中西部和南威尔士产煤区集中,进一步带动了英国煤矿业的繁荣。



二、生铁转化熟铁

当用焦炭作燃料大量生产生铁时，一个新问题又出现了：这种生铁不能锻压，只适于铸造，怎样才能把这种生铁转变为熟铁（又称锻铁、韧性铁）呢？

在经济需求的压力下，实践又一次走在理论前面。用木炭冶炼的生铁，通过加热锻打可以转化为熟铁，而用焦炭冶炼的生铁，由于含硅量较高，需要反复加热和锻打，要耗费更多的劳动和费用。最终是亨利·科特（Henry Cort）解决了这个问题。

科特是英国海军部军需部的工程承包人，他知道技术的重要，经过试验，1784年科特用“搅炼法”将生铁转化熟铁成功，他为此获得专利权。科特与一些上层人士熟悉，他巧用人脉关系推广自己的发明。

搅拌法大致是这样：生铁里充满不纯的杂质，先把它打成碎块，放在焦炭火上炼，使它失去一部分碳素。然后再掺一些矿渣（富含氧化铁）放到反射炉的炉床，当生铁熔融时，生铁里的碳素会与空气中的氧结合。为了促进这种结合，用搅拌棒不时地搅动金属液，不久达到一种“沸腾”状态，并伴有特有的蓝色火焰。改变火力的强度，金属液聚集成一种海绵状的熟铁块，把这种熟铁块送到轧辊机中去压延成条状。使用轧辊机被认为是科特发明中最具创新的部分。在这之前，熟铁的生产是用锻锤锻打，而利用轧辊机，12个小时即可加工完成15吨铁，大大改变了用锤锻打的低效率。

1782年，瓦特与科特见面，当即肯定了搅拌法的发明，瓦特还写信告诉格拉斯哥大学的化学教授布莱克。起初，英格兰中部的大冶铁厂老板对科特的发明不以为然，但看到产品后很快就改变了态度，他们主动找上门来，请求科特允许使用他的专利。

就在科特的未来展现一片光明时，不料1789年他受到债务牵连而被起诉，个人企业破产，专利证也被没收，那些签订过协议的冶铁厂老板趁机不再支付他的专利使用费。科特的发明就这样成了公共财产。不过，也由此促进了这一技术的扩散。

搅拌冶炼成为英国生产熟铁的基本方法，产量呈现巨大的增长，价格大幅度下



降。英国的生铁和熟铁生产极大地满足发展工业的需求,对于日后铁路和轮船运输业的发展、对于机器生产设备的广泛运用都发挥了至关重要的作用。

三、热鼓风技术

在冶铁中采用热鼓风是一项重要创新,它颠覆了传统的水车带动“风箱”往冶铁炉送冷空气的方法,对冶铁业发展产生了深远的影响。

早期的鼓风装置离冶铁炉比较远,常常在半英里之外,这是因为“风箱”要用水车驱动,而安置水车必须靠近河流。为了提高融化铁矿石的效能,如何向冶铁炉里吹入更多的空气,成为当时要解决的一大问题。工程师尼尔森(Neilson)着手进行研究,而他的成功很有戏剧性。尼尔森原本设想通过加热空气来增大压力,以为可以增加气体的流动性,有利于向冶铁炉里送风。他先用一个小的简易冶铁炉做试验,结果发现将加热的空气吹入炉中可以提高炉内火焰的烈度,这让他大感意外。然而,当他想在运行的冶铁炉上进一步验证时,却遭遇到很大阻力,多数冶铁厂的老板都坚持认为,只有向冶铁炉里吹入更多冷空气,才会炼出质量有保证的生铁,怎么可能用热空气呢?尼尔森只好继续寻找机会,最后他终于征得克莱德制铁厂(Clyde Ironworks)老板的同意,实地测试了热鼓风技术的冶铁成效,结果非常令人满意。

尼尔森的发明于1828年获得专利,为了争取研发热鼓风装置的资金,尼尔森到处化缘,并承诺向多位赞助人让出40%的专利权收益。在赞助人的支持和帮助下,研发活动得以顺利进行。为了增大送气量和提高温度,尼尔森进行了多次试验,最终将送入冶铁炉中的空气提前预热到非常高的温度。由此一来,冶铁燃料的消耗量明显下降。热鼓风技术逐步推广,而在苏格兰地区的冶铁厂效果最显著,由于采用这种技术,当地(原本不适合用于冶铁的那种)极为廉价的黑色夹层矿石也可以被熔炼为生铁,这就进一步降低了生产成本,推动苏格兰成为英国冶铁成本最低的地区。

随着鼓风机吹气量的增加,新建冶铁炉的形体也变得越来越大,促使产量大幅度提升,时隔半个世纪生铁的周产量翻了一番。1803年,一座标准冶铁炉的生铁产量约为44.6吨/周,到1850年已增至92.6吨/周。1709年达比采用焦炭冶铁



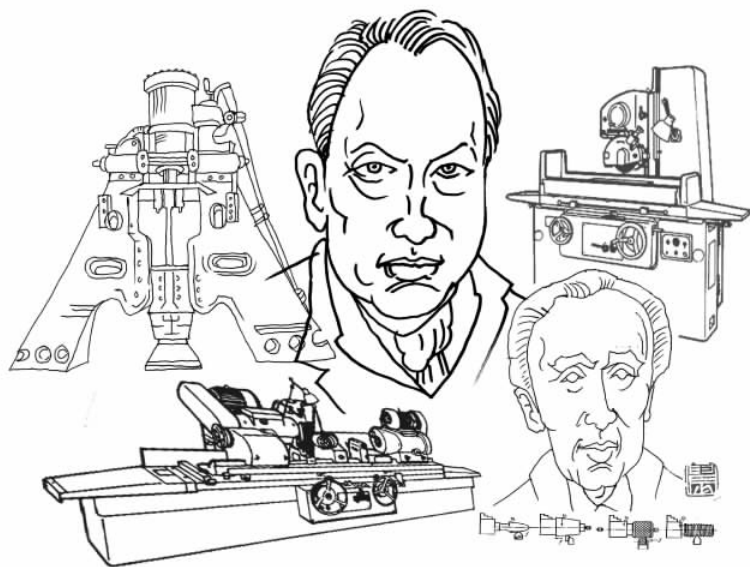
时,科尔布鲁克代尔冶铁厂的一座普通冶铁炉的产量只有 81 吨/年; 而到 1850 年采用热鼓风等配套技术以后,一座普通冶铁炉的产量已达到 4632 吨/年。

当热鼓风技术与造型更大、炉膛内燃烧更猛烈的新式冶铁炉配套使用之后,生产成本的降幅达到最大化,这要比分别单独使用上述两种技术改进的效果更好。冶铁炉内燃烧产生的高温气体可以从位于炉膛顶部的排气孔排出炉膛外,然后被导流至鼓风机中用来预热即将吹入炉膛内的冷空气。如此就实现了高温气体的回收及循环利用,进一步降低了燃料的消耗。



第四章

制造工具创新



18 世纪下半叶,先是制造船用滑轮组、锁具、纺织机架的需求,后来是制造蒸汽机、纺织设备、火车等的需要,推动了制造工具的创新,先后发明出车床、镗床、蒸汽锤、刨床等多种制造设备,满足了批量化生产,也促进了工业标准化的建立。

一、莫兹利与车床

车床主要是用车刀对旋转的工件加工,如车削铁轴,也可换上钻头钻孔。

车床的关键部件有滑动刀架、导螺杆、变速齿轮,在 15~17 世纪就由一些发明家分别提出或设计。如 15 世纪达·芬奇(Leonardo da Vinci)设计了带有两根导螺杆和全套可互换齿轮的切削机器,但达·芬奇一直没有动手制作,设计图也从来没有公开过。

把车床所需的关键要素集于一体,并成功引入技术实践的是英国企业家亨利·莫兹利(Henry Maudslay)。莫兹利生于 1771 年,家境贫寒,少年时便到铁匠铺当学徒,他勤学苦干,18 岁时已小有名气。不久他被制造商约瑟夫·布拉默(Joseph Bramah)招聘进其工厂,专门制作用于加工锁具零件的车床。一年后,莫兹利因能力突出被提升为技术主管。

1797 年莫兹利提出加薪,结果被拒绝。他一气之下离开布拉默,自己创建公司。1804 年,朴茨茅斯造船厂的制图员乔舒亚·菲尔德(Joshua Field)加盟,成为莫兹利的合伙人,后来公司就一直沿用“莫兹利父子和菲尔德”(Maudslay, Sons and Field)这一名称。莫兹利重视对学徒和工人的技术培训,造就了一批机械工程人才,在英国工业界有很大影响。

莫兹利对车床的革新主要有:精确平直表面的加工、滑动刀架的使用、全金属结构的采用以及精密丝杠的加工。

莫兹利最早造的车床没有齿轮,底座采用了木制框架,后来改进,车床的部件全都采用金属,大大加强了机床的刚性和精度。后来的工程师制造机床,也都使用全金属结构。

莫兹利对精密丝杠螺纹的车制极为重视。其最终采用的方法是将一根硬木圆柱置于相配的托架里转动,在其对面一把月牙刀具斜对着其轴线。刀具切进圆柱能使其横向运动,从而制成一根可用钢制材料复制的丝杠。莫兹利用一根精确加



工的丝杠制成一架台用千分尺,其精度可达 0.0001 英寸,他把它作为车间的标准量具使用。莫兹利还实现了丝攻和扳牙系统的改进,对车间里所用的丝杠的螺距和直径实施了标准化。

莫兹利不仅是优秀的机械师,也是杰出的企业家。1801 年,莫兹利接到朴茨茅斯滑轮组制造厂的一项重要订单,负责为该厂制造建厂所需的全部生产设备。这项工程具有历史意义,因为它是将机床应用于大规模生产的最早例子。1808 年,工厂全面运作,每年可生产 13 000 套滑轮组,采用新设备,10 名非熟练工人可以完成以前 110 名熟练工人的工作,生产效率提高了 10 倍。朴茨茅斯滑轮组制造厂被认为是当时机械化的一个奇迹。

二、内史密斯与蒸汽锤

蒸汽锤是工业革命中的重要设备。蒸汽锤的发明使锻造大型工件成为可能,而且缩短了锻造时间,大大提高了生产效率。

蒸汽锤由英国著名发明家詹姆斯·内史密斯(James Nasmyth)设计和制造。内史密斯 1808 年生于爱丁堡,受家庭影响,少年时就对机械产生兴趣。19 岁时,他利用父亲的工厂提供的机会制作了蒸汽机的模型。21 岁时,内史密斯凭着机械技艺申请了莫兹利工厂的技师职位。1834 年,他开始独立经营自己的工厂。

内史密斯在机械方面有多项发明,而最值得称颂的发明是蒸汽锤。当时传统落锤的抬升距离有限,使得冲击力较小,难以锻造大型工件。1839 年,英国计划建造“大不列颠号”轮船,需要在船上安装直径 30 英寸的明轮轴,却未有一家工厂能承担这种锻打任务。内史密斯接受了设计者的请求,他立即想到用蒸汽为动力,画了多幅草图,最后制造出形如“人”字的大型蒸汽锤。起锤头导向作用的两个支柱同时还支撑着高处的一个缸体,缸体的活塞通过一根穿过缸体底部的杆与锤头相连。蒸汽通过阀门进入缸体,以将锤头提升到需要的高度。当蒸汽被释放时,重锤就下落。后来的蒸汽锤被改成双作用式,允许蒸汽从活塞上方进入,这样就能得到更强大的动力。内史密斯为蒸汽锤申请并获得了专利。

1851 年,内史密斯的蒸汽锤在万国博览会上展出。在机器的轰鸣声中,红热的大铁块在蒸汽锤下如同被揉捏的橡皮泥一般,人们看到这一情景,禁不住连连



惊叹。

内史密斯改进后的蒸汽锤，可以方便地按工件尺寸和需要的锤击力调整行程，这对于小工厂来说特别重要，因为在小工厂中，不可能按工件类型设置不同规格的锻锤。因此，蒸汽锤对冶金、机械制造工业的发展都起到重要的推动作用。

蒸汽锤尤其适用于造船厂和大型机器制造厂，蒸汽锤促进了锻造技术的改革，确保生产出安全可靠的远洋轮船主轴和机车轮轴。

革命导师恩格斯在《反杜林论》中指出：“纺纱机、机动织布机和蒸汽锤代替了纺车、手工织布机和手工锻锤；需要成百上千的人进行协作的工厂代替了小作坊。和生产资料一样，生产本身也从一系列的个人行动变成了一系列的社会行动，而产品也从个人的产品变成了社会的产品。”从这一评价中，可以想见那个时代蒸汽锤的重要影响。

三、惠特沃思与机床

机床包括很多类型，如车床、刨床、磨床、铣床、冲床等。19世纪，蒸汽机、纺织机、火车和其他制造业都需要大量的加工设备，正是这种需求刺激了机床的创造发明。先后有多位英美工程师、企业家作出贡献，而以英国制造商约瑟夫·惠特沃思（Joseph Whitworth）的成果最为显著。

惠特沃思生于1803年，是一位小学校长的儿子，14岁时进入叔叔的纺织厂学做生意，但他对机械比对商业更感兴趣，不久离开了那里，转到一家曼彻斯特机械公司任机械工。惠特沃思22岁去了伦敦，被著名制造商莫兹利雇用，能力又得到提高。

1833年，惠特沃思个人在曼彻斯特租用了一家工场，打出了“约瑟夫·惠特沃思，来自伦敦的工具制造商”的招牌。在惠特沃思之前，工程师制造机床的目的都是为了生产其他设备，而惠特沃思制造机床却是为了出售给其他制造厂。在1851年英国举办的世界博览会上，惠特沃思成为令人瞩目的人物，其他20家公司每家仅展出一至三台机床，而惠特沃思展出的机床多达23台，包括车床，刨床，牛头刨床，开槽机，钻床（平面、径向两种），冲床，剪切机，螺母成形机，螺纹切削机，切齿机以及分度机等。同时他还展示了攻丝机、量具测准机、成套的分级式量规等。在

