

123889

TK211
5224

蒸汽的发生与应用

巴布科克·威尔科克斯公司 编著
恽肇强 吴守仁 郑怀生 王守芳 译
刘佐贤 乌传笙 范志增 谢迎秋

邱长清 恽肇强 吴守仁 审校

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书为巴布科克·威尔科克斯公司编著的动力工程方面的一部名著，于1875年第一版问世以来，至今已为第三十九版，本书系根据第三十九版本译出。随着蒸汽生产和燃料利用方面的发展，本书在内容方面也不断地更新和补充，以满足广大读者的需要。

全书共有七个部分，分别是：蒸汽发生和应用的基本原理；用化学能生产蒸汽；用核能生产蒸汽；蒸汽的应用；制造和施工；运行和维修等。

本书技术内容极其丰富，语言准确，概念清楚，并含有大量有关蒸汽生产及应用方面的数据、图表和公式，实用性极强。

本书主要供动力工程专业的工程技术人员、管理干部、技术工人阅读，大专院校有关专业师生也能参考。

Steam/Its generation and use

39th Edition 1978

Babcock & Wilcox Editor

蒸汽的发生与应用

巴布科克·威尔科克斯公司 编著

恽肇强 吴守仁 郑怀生 王守芳 译
刘佐贤 乌传笙 范志增 谢迎秋

邱长清 恽肇强 吴守仁 审校
责任编辑：卫洁

兵器工业出版社出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

通县电子外文印刷厂印刷

开本 787 × 1092 1/16 印张：45 插页：2 字数：1363 千字

1990年6月第1版 1990年6月北京第1次印刷

印数：1—3,000 定价：26.00元

ISBN 7-80038-195-1/TK·3

序

1867年乔治·H·巴布科克 (George H. Babcock) 和史蒂芬·威尔科克斯 (Stephen Wilcox) 组建了一个合营公司。1881年本公司继其业。

本书为第三十九版 (1875年第一版), 增写了蒸汽生产和燃料利用方面的更先进的成就。

由于核燃料作为生产蒸汽的能源已变得越来越重要, 所以这一新版本中的一个明显的变化, 是增加了核能生产蒸汽设备的内容。

在过去的25年中, 由于蒸汽发生设备单机容量的不断增长, 而且“质量管理”已使产品质量有了重大的改进, 因此, 在本版中更加强调了这一点。

本公司非常感谢用户和雇员的忠诚合作与支持, 所有这些都已对蒸汽发生领域作出了贡献。本公司希望本书对这一技术的进一步提高有所帮助。

译 序

《蒸汽的发生与应用》是巴布科克·威尔科克斯公司有关蒸汽发生设备（包括发电厂锅炉和原子能电厂的蒸汽发生器等）的经典著作，自1875年第一版问世以来，随着技术的进步，每版都增加了新的内容，至今已发行到三十九版。与第三十八版相比较，本版增写了蒸汽生产和燃料应用的最新成就，又由于作为能源生产的核燃料变得越来越重要，所以本版还用适当篇幅论述了核蒸汽发生设备的原理、结构和应用。随着蒸汽发生装置单机容量的不断增长，在过去的25年中产品质量有了重大突破，因此本版还较多地介绍了加强质量保证方面的内容。

本书各章的主要内容为：

蒸汽的发生与应用的基本理论；

化学能源和核能生产蒸汽的原理，核蒸汽系统，产生蒸汽的设备与装置，燃料与燃烧的原理、结构和运行；

蒸汽在发电、船舰、工业等方面的应用及其副产品的应用；

钢铁的冶炼、结构材料的应力分析和设计；

蒸汽发生设备的制造和安装；

蒸汽发生装置的运行及其参数的测量、调节，热电厂的控制以及设备的维护。

参加本书翻译的有恽肇强、吴守仁、郑怀生、王守芳、刘佐贤、乌传笙、范志增、谢迎秋等同志，全书由恽肇强、吴守仁同志统稿和审阅，最后由邱长清、吴守仁同志审定。在出版过程中又由邱长清、吴守仁同志进行了全书的审校工作。

本书内容既有理论知识，又有实践经验，对现代蒸汽发生设备进行了系统的阐述，同时对热力学、热传导、流体力学、核能原理、金属学及结构学都作了简明的论述。因此，本书既可作为发电设备、船舶、冶金等制造行业和发电厂等应用部门的工程技术人员的参考书和工具书，又可供大专院校相应专业的师生参考。



加拿大巴布科克·威尔科克斯公司是加拿大境内最大的蒸汽发生器制造厂，也是巴布科克·威尔科克斯公司国际部的总部。它的职能是指挥所有销售业务以及海外项目的执行和落实，包括提供设备和用户服务等。营业范围遍及世界，现已超过35个国家。



巴布科克·威尔科克斯北京有限公司是北京锅炉厂和巴布科克·威尔科克斯公司的合资企业，它创建于1986年，座落在北京市中心以西20公里处，占地95英亩，设有装备精良的大型制造车间，其面积超过74000平方米，现在为中国及国际市场提供工业锅炉和电站锅炉。

目 录

序
译序

绪论..... 1

第一部分 蒸汽发生与应用的原理

第一章 沸腾和汽水分离.....21 第三章 流体动力学.....53
第二章 蒸汽热力学.....31 第四章 热传导.....73

第二部分 用化学能生产蒸汽

第五章 化学能源..... 98 第十三章 省煤器和空气预热器.....233
第六章 燃烧的原理.....124 第十四章 温度、受热面及压降的计算.....242
第七章 油和燃料气的应用.....149 第十五章 燃料灰分对锅炉设计和运行的
第八章 煤的处理和输送.....160 影响.....255
第九章 煤粉的制备和利用.....178 第十六章 锅炉外壳、绝热及护板285
第十章 旋风炉.....195 第十七章 烟囱、风机和通风.....296
第十一章 机械加煤机.....205 第十八章 燃烧副产品.....315
第十二章 锅炉、过热器和再热器.....212

第三部分 用核能生产蒸汽

第十九章 核燃料.....323 第二十一章 核蒸汽供给系统352
第二十章 核裂变原理.....335

第四部分 蒸汽的应用

第二十二章 电力公用事业电站燃用矿物 第二十五章 工业用装置.....443
燃料的锅炉.....373 第二十六章 造纸工业中化学剂和热量的
第二十三章 电力公用事业电站的核装置.....395 回收.....455
第二十四章 船舶用装置.....420 第二十七章 工业副产品的利用.....472

第五部分 冶金学和结构设计

第二十八章 钢铁冶金学.....487 第三十章 应力分析和结构设计.....526
第二十九章 结构材料的性能.....506

第六部分 制造和施工

第三十一章 制造.....539 第三十二章 施工.....569

第七部分 运行和维修

第三十三章 压力、温度、蒸汽干度和流量的 第三十五章 蒸汽发电站的控制.....645
测量.....586 第三十六章 维修.....677
第三十四章 蒸汽发生设备的运行.....617

计量单位表.....701

术语和符号.....704

缩写.....710

绪 论

蒸汽是人类的一个可靠仆人，在越来越广阔的领域里，它正为人类做着越来越多的工作。在一个使用电热的家庭中，人们只能从开水壶那里看到蒸汽。但有很大的可能是这里所用的电，是由发电厂燃烧煤或气体来产生蒸汽，并使其转动发电机转子生产出来的。即使用铀做燃料，由核裂变提供热量，也还是要首先通过产生蒸汽来发电的。

在美国，对发电量要求每十年翻一番。大部分的适于开发的水力资源都已被用来发电。除了紧急备用和尖峰负荷的机组，大约新安装电力容量的百分之九十，都是利用蒸汽发电的机组。利用蒸汽发电，在世界上大部分的国家中正获得发展，只是在可利用的水力发电资源远大于电力需要的国家才有例外。

世界上大部分的海军舰船和大量的商船，都是利用蒸汽推动的。蒸汽还被大规模地用于许多工业生产过程，并且仍被大量地用于采暖。

今天，蒸汽锅炉的大小范围，包括从家庭采暖的小型锅炉一直到发电站的大型锅炉。最近刚投产的和即将投产的一些锅炉，其单台的蒸汽容量约为每小时一千万磅，每小时耗煤五百多吨。这种大型

锅炉，压力范围从2500到4000 lb/in²左右，同时过热蒸汽温度通常达到1000°F或更高。现代的蒸汽锅炉，运行安全可靠，并能连续运行多年，通常只需要计划停机期间清洗和检修。

现在的锅炉之所以安全和可靠，是由于水管锅炉有了一百多年的设计、制造和运行的经验。在此期间，精确地确定了蒸汽和水的特性，并制成图表供设计人员使用。对热传导、流体的流动和锅炉水循环也有了进一步的了解。既经济又安全地燃用大量燃料及处理燃烧产物和副产品的方法也已研究出来。现在可以得到具有更高强度，在性能上更为均匀一致的钢材和合金材料。在制造和检验方面也采用了先进的方法。最后，还制订了适用于整个工业的法规和标准，据以管理承压部件的设计、制造和检验。

核蒸汽供应系统是一个较新的发展，这体现了核物理和蒸汽锅炉工业的结合。在过去的二十年内，已有大量的核蒸汽供应系统用于军舰的推进和用于发电，在电力工业中的一些核蒸汽供应系统，其容量可以和最大的矿物燃料锅炉相比拟。

蒸汽的发生和应用的史

十八世纪初，蒸汽普遍是由“壳式”锅炉产生的，它与开水壶没有多大差别，即里面充满水，在底部加热。见图1和图2。紧接着出现的是早期型式的火管锅炉（如图3）。因为这两种型式的锅炉都是对装有大量饱和温度水的容器直接加热，所以都存在引起灾难性爆炸的危险。

锅炉的容量和安全是最重要的问题，这样说并不是夸大。有一个时期，因未能成功地建造适当的锅炉，几乎危及工业的继续发展。在此期间，有一些发明人认为，克服火管锅炉缺陷的方法，就是设计出一种令人满意的水管锅炉。按照这种设计，绝大部分受热面都应由管子构成，这就能大大减少承压部件的破裂。然而，在1856年史蒂芬·威尔科克斯介绍他的改进型水管锅炉以前，这一种类型并没有得到多大成功。史蒂芬·威尔科克斯新发明的基

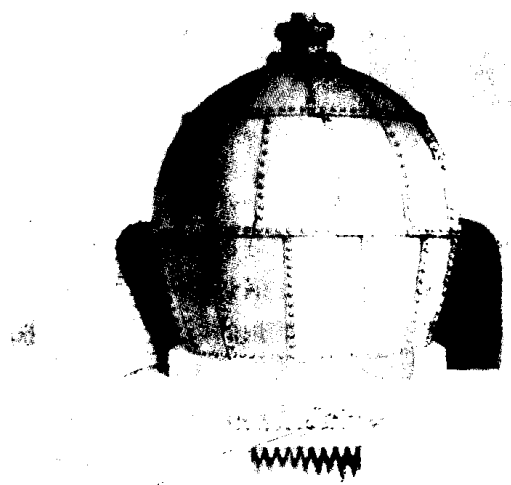


图1 1720年的“海科”(Haycock)型锅炉

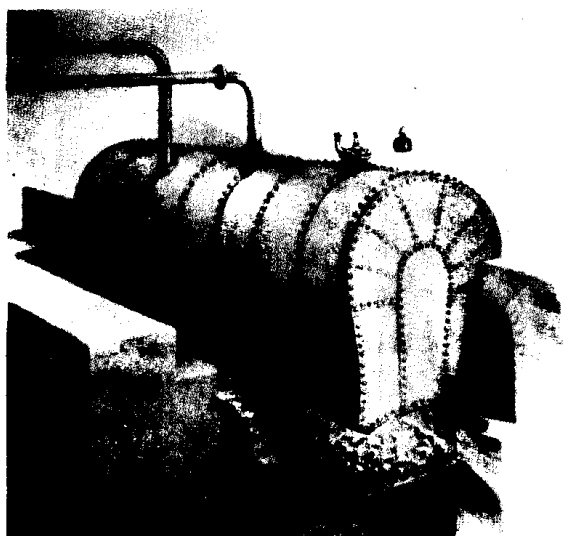


图2 1769年的车辆 (Waggon) 式锅炉

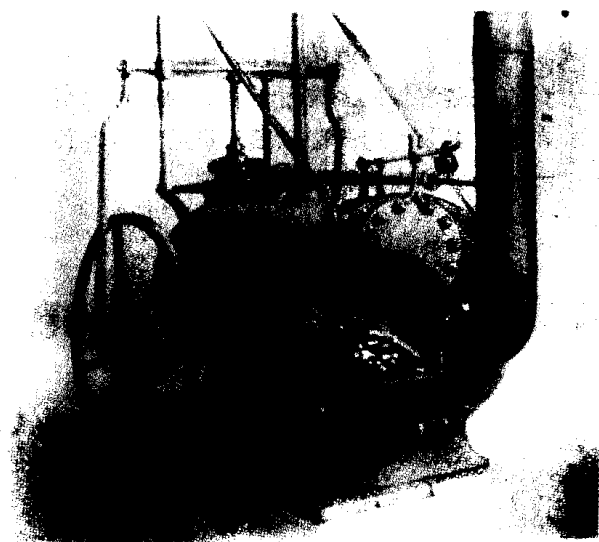


图3 “特里维西克”(Trevithick) 型锅炉

本特点是容许每台机组有较好的水循环和增大的受热面。其重大意义是增加了锅炉的内在安全性。

第一台这种“安全”锅炉的制造，使多少世纪以来的探索性实验达到了辉煌的顶点。大约在公元一世纪，亚历山大市的海罗 (Hero) 曾经描述过一个锅炉和反动式汽轮机，艺术家想象的这种装置的形状示于图4，但是他没有能提出有关这种装置的实际用途。虽然在十六世纪后期的出版物上有过对蒸汽的描写，但事实上在十七世纪以前，并没有

实际应用的纪载。

从十七世纪开始，具备了很多促进蒸汽应用于动力循环、并使之飞速发展的条件。采矿业极为发达，冶炼需要大量的燃料，采暖和烹饪也需要大量的燃料。特别是在英国，工业和军事的增长，更要求供应大量的燃料。到十七世纪中叶，森林很快都被滥伐了，这就越来越有必要寻找其它基本能源。在英国有一段时期，对一些由于烧煤产生有毒和有害烟气的人处以刑罚。尽管如此，但由于历史发展的规律，必然地废除了这一限制，使采煤业终于得到了发展。

随着采煤业的大规模发展，煤矿变得越来越深，并常被水淹没。因而，如果不能找到一些经济的办法，将水从煤矿中抽出，那末特别是英国的工业的发展，以及军事和政治力量都会受到严重的挫折。从投入大量人力来从事这项工作和对很多利用蒸汽膨胀作动力来抽水的机器授以专利，就可以看出对这个问题的充分重视。

最早的机器，是用木材和木炭来作燃料。经过了很多年以后，利用机器动力来取得燃料，才使煤的生产发展到足以取代木材的水平。

早期蒸汽应用的发展，并非全部直接用于发动机和泵。在1860年，法国人德尼·帕邦博士 (Dr. Denis Pabin) 发明了炊用蒸汽锅，这是一种“高压锅炉”。为避免锅炉爆炸，他还发明了安全阀。

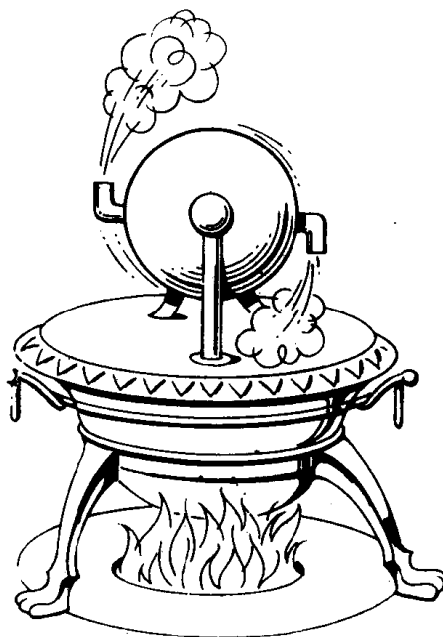


图4 海罗的机器

第一台成功的蒸汽机

第一台在商业上取得成功的蒸汽机，是由托马斯·萨沃里 (Thomas Savery) 在1698年获得专利的，如图5所示。第二年，他在英国皇家学会展出了这种包括锅炉在一起的机器模型。这种机器是利用直接位移的方式抽水，由于锅炉和容器所能承受的压力、限制了抽水的高度，这种机器的发展遇到了障碍。这种机器在被托马斯·纽科门 (Thomas Newcomen) 的机器最后取代以前，德古利埃 (Desgouliers) 改进了萨沃里的机器，将帕邦的安全阀应用到锅炉上，同时在循环系统的冷凝部分装了一个内部喷嘴。



图5 1700年萨沃里的机器

最早的汽缸活塞式蒸汽机是以帕邦的1690年的建议为基础。即在膨胀的蒸汽推动活塞提升以后，利用蒸汽的凝结在活塞下面造成真空。纽卡门的大气压机器就是这一原理的实际应用。

在帕邦的几项发明之中，有一项是具有一个内部火室的锅炉，这种锅炉就是最早的结构形式。

当帕邦忽视了他对蒸汽机的想法，而去发展萨沃里的发明时，纽科门和他的助手约翰·考利 (John Cowley) 却将帕邦的1690年的建议用于实际的机器，从锅炉来的蒸汽进入缸后膨胀将活塞抬高，并由活塞推动的横梁上另一端的平衡重量予以协助 (如图6所示)，然后蒸汽阀关闭，用冷却水喷嘴喷入凉水，使汽缸中的蒸汽冷凝，形成真空使活塞被大气压力压下而对泵做功。汽缸内的凝结水通过一

个疏水阀，由下一次的进汽来排出，进汽的压力稍高于大气压。纽卡门使用的锅炉，简直就像一个普通的酿啤酒的铜壶，因为它的形状，就被称为海科克 (Haycock) 型，如图1所示。

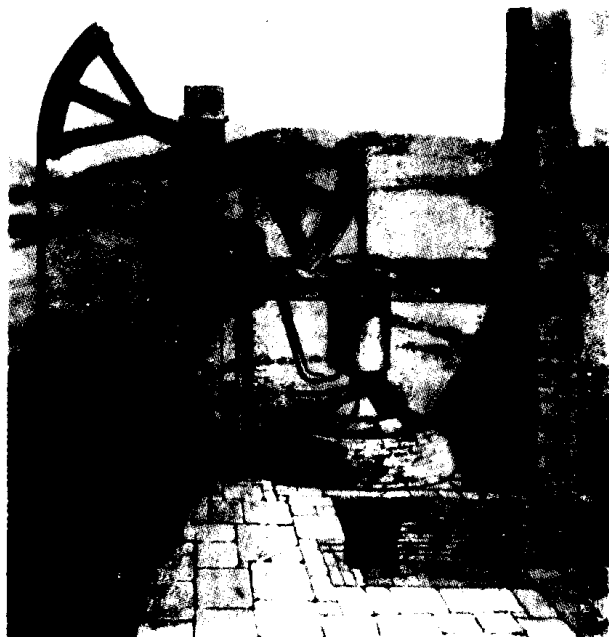


图6 纽科门的机器

在1711年，纽科门的机器被引进到矿井中抽水，但不知道它的汽门的动作是自动还是人力操作的。普遍相信的说法是在1713年，有一个名叫汉弗莱·波特 (Humphry Potter) 的男孩，由他负责操作和照看这台机器的阀门，他利用与横梁相连的一些合适的绳子和掣子，使机器自动地操作阀门。

大约在这时，蒸汽机的研究者开始从燃料的经济性来考虑问题。因为热炉烟和锅炉的受热面之间接触时间很短，所以几乎有一半的热量损失掉。注意到了这一点，约翰·艾伦 (John Allen) 博士于1730年第一次测定了锅炉的效率。为了减少这一损失，艾伦研制了一种内部炉膛，使烟道在水中盘绕，就像蒸馏器中的蛇形管。然后，为了避免燃烧的空气不足，他建议采用风箱，强迫使炉烟通过烟道。这大概是强迫通风的首次应用。

十八世纪后半期，伟大的发明家詹姆斯·瓦特 (James Watt) 对早期的蒸汽机做了很多重要的改进，此时蒸汽机已经与锅炉完全分离开了。虽然在瓦特的事业记载中很少谈到关于他对蒸汽锅炉的改进，但事实上布耳顿 (Bultou) 和瓦特推出了第一台“车辆式锅炉”，它之所以被这样命名，是因为它具有如图2所示的外形。这个锅炉只不过是一个

盛水和蒸汽的密闭容器，非常象一个遮盖的车辆置于一个火炕上。1875年瓦特取得了许多关于炉膛结构变型设计的专利。

下一个杰出的发明者和制造者是理查德·特里维西克 (Richard Trevithick)，当他还是八岁的孩子时，就在英国的矿区中他父亲的矿中工作。在那里，他接受了在那时可以得到的许多工程上的训练。因为他父亲是几个矿井的经理，所以理查德可以从一个机器房到另一个机器房去观察抽水机，主要是观察纽科门设计的抽水机器。

火管锅炉

特里维西克认清了锅炉的制造是这些蒸汽系统的主要问题。尽管在那以前仅可以利用铜，但当时已能利用锤打成的熟铁板，虽然它最大的长度仅为2 ft。到1795年又有了厚度为5/16 in的轧制钢板。

在1800年，特里维西克制造了一台压力为65 lb/in²、汽缸为25 in和冲程为10 ft的机器。由于成功地制造了一台高压锅炉，机器的高工作压力才成为可能。在1804年制造的锅炉（见图3），有一个铸铁的圆筒形外壳和一个碟形封头，锅炉和机器装在一起。

由于动力需要量的大量增加，必须建造越来越大的锅炉，或者需要很麻烦地将许多小装置连接在一起。以后的发展，发现用多个烟道代替单个烟道能够增加受热面，大约直到1870年，这种设计实质上得到普遍地应用。但是，火管锅炉的容量和压力受到了限制，它肯定不能满足后来发展的高压和大机组的要求。同时，还有很多次不祥的爆炸记录。

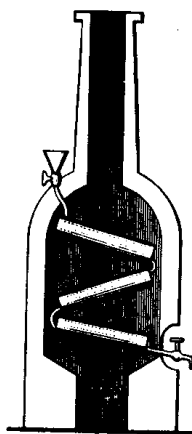


图7 第一台水管锅炉〔威廉·布莱基 (William Blakey) 于1766年登记专利和建造〕

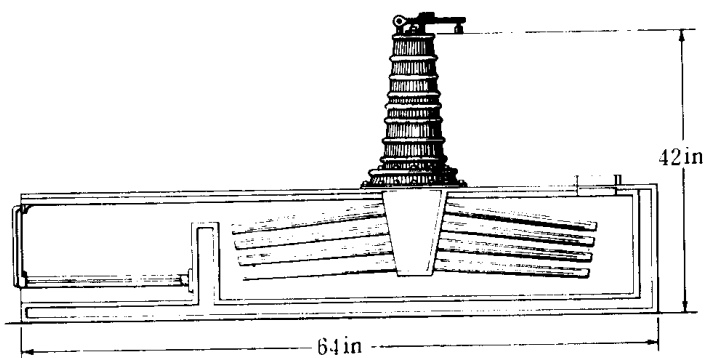


图8 一端与水箱连接的小管式水管锅炉〔约翰·史蒂文斯 (John Stevens) 1803年〕

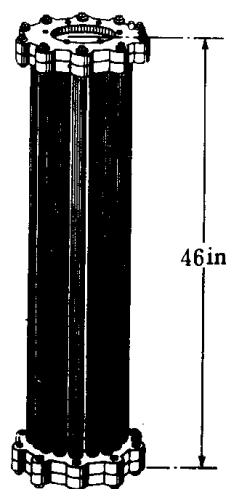


图9 管子连接下部水室和上部汽室的水管锅炉〔约翰考克斯·史蒂文斯 (John Cox Stevens) 1805年〕

初级的水管锅炉

1766年授予威廉·布莱基 (William Blakey) 一项专利权，是对萨沃里机器的改进，包括一个如图7所示型式的蒸汽发生器。这大概是水管锅炉发展的第一阶段。但是第一个成功地使用水管锅炉的人是美国发明家詹姆斯·拉姆齐 (James Rumsey)，他由于早期对船用蒸汽机的实验而著名。于1788年罗姆西在英国获得了几种型式锅炉的专利，其中有些是水管锅炉的设计。

大约在这时候，还有一个美国人叫约翰·史蒂文斯 (John Stevens) 发明了一台水管锅炉，由一组一端封闭、另一端连接在一个集中水箱上的小管组成，如图8所示，于1803年在美国获得专利。这台锅炉实际上用来为哈德逊河 (Hudson River) 上

的汽船的发动机供汽。由于结构和运行上的一些技术问题，这个设计运用的寿命很短。但是有意义的，是身为律师的史蒂文斯呈请国会制定专利法，以便保护他的发明。因此，在1790年制定了这样的法律，可以说现代专利法的基础是从水管锅炉的这种想法中产生的。

图9表示了水管锅炉的另一种型式，这是约翰·考克斯·史蒂文斯 (John Cox Stevens) 在1805年登记的一项专利。现在，在华盛顿特区的史密斯学院 (Smithsonian Institution) 还能看到一台这种型式的锅炉。

1882年雅各布·珀金斯 (Jacob Perkins) 建造了一台水管锅炉，这是直流锅炉的先驱。在火焰上方排列有许多铸铁杆，共分三层，各个铁杆具有 $1\frac{1}{4}$ in 的纵向孔，杆的端头则在炉膛外用弯管串联。用一给水泵将水抽往顶层，过热蒸汽则从底层排出到联箱。

巴布科克·威尔科克斯公司 (B&W) 锅炉的初期发展

史蒂芬·威尔科克斯 (Stephen Wilcox) 在1856年提出的建议，是水管锅炉的一个重要突破。这一设计，使连接前后部水空间的倾斜水管与上部蒸汽空间组合起来，从而具有较好的水循环和更多的受热面 (图10)。一个新的优点，就是减少了水管锅

炉设计的内在爆炸危险。

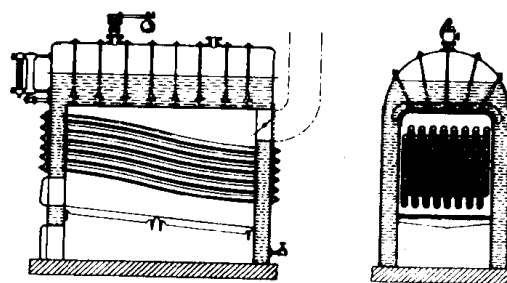


图10 具有上部蒸汽空间、倾斜水管连接前后部水空间完成循环的锅炉(1856年，史蒂芬·威尔科克斯)

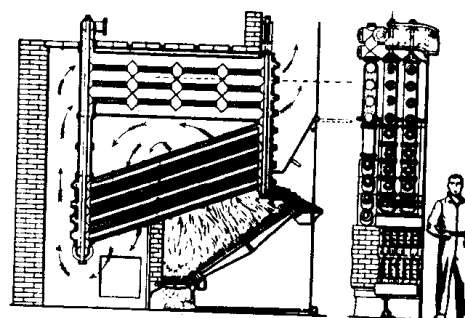


图11 第一台巴布科克·威尔科克斯锅炉
(1967年获得专利)

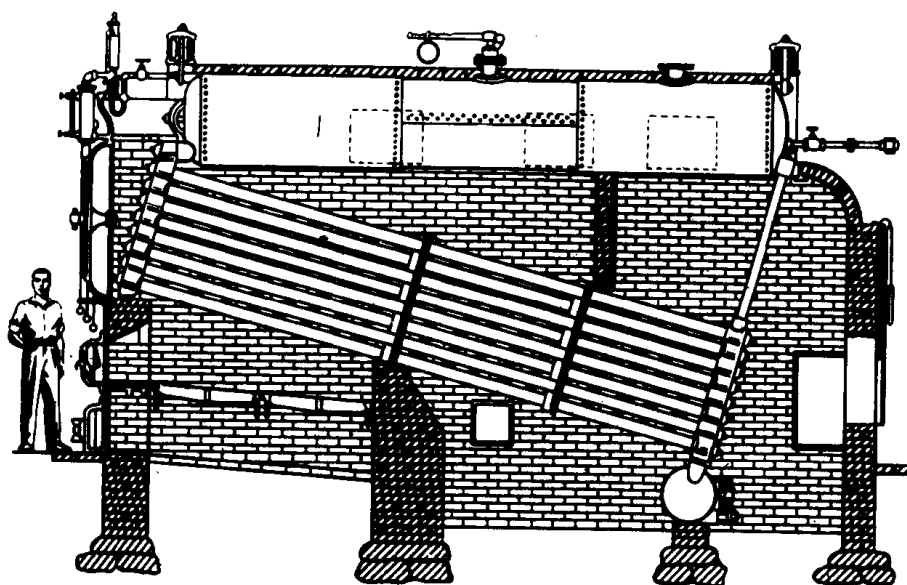


图12 1877年生产的巴布科克·威尔科克斯锅炉

在1866年, 乔治·赫尔曼·巴布科克 (George Herman Babcock) 和史蒂芬·威尔科克斯 (Stephen Wilcox) 联合起来。一年以后, 第一台巴布科克·威尔科克斯 (Babcock & Wilcox) 锅炉获得了专利 (图11)。在1877年巴布科克·威尔科克斯锅炉修改成如图12所示型式。

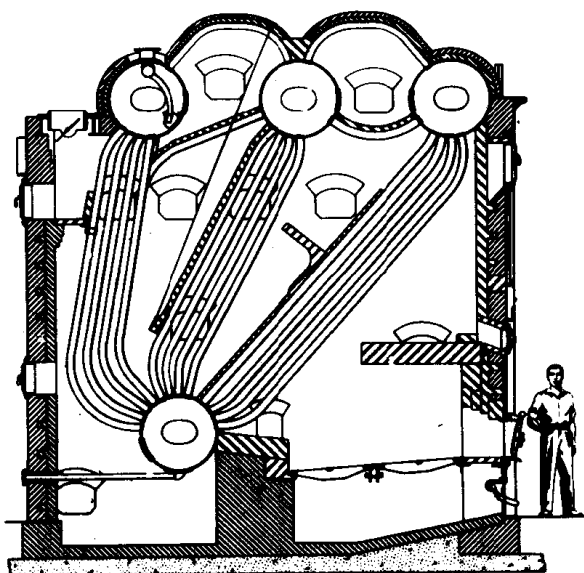


图13 早期手烧的斯特林 (Stirling) 锅炉

弯水管锅炉

在工业空前迅速发展的时期, 倾斜直管式锅炉取得成功和获得广泛的应用, 刺激了其他发明者在锅炉设计中探索新的途径。1880年, 艾伦·斯特林 (Allan Stirling) 提出了将蒸汽管道直接连接到汽水分离汽包上的设计, 并以炉膛具有低的净空高度为其特征。接着组成了史特林锅炉公司, 它制造和销售一种改进后的史特林设计的锅炉。其结构如图13所示。作为这些锅炉特征的弯水管, 与巴布科克·威尔科克斯锅炉的直管, 形成了鲜明的对照。

弯水管锅炉用于特殊用途时所具有的优点, 巴布科克·威尔科克斯公司很快认识到了, 这就成为在1906年 B & W 买进斯特林联合锅炉公司的原因。管道内部清洗问题解决以后, 弯水管锅炉就取代了 B & W 的直管锅炉。

电气公用事业公司

最初, 将蒸汽用来向就地的工业供热和作动力。

随着具有实用意义的发电、配电的出现, 组成了一些公用事业公司, 为广大区域的工业和居民用户服务。

费城 (Philadelphia) 布鲁施 (Brush) 电灯公司所属厂, 是美国第一个发电站。1881年, 这个厂安装了四台巴布科克和威尔科克斯公司的锅炉, 每台出力为73马力。1903年投产的联邦爱迪生公司 (Commonwealth Edison company) 的费斯克街 (Fisk Street) 电站, 是第一个唯一用蒸汽轮机发电的公用事业电厂。这个厂安装了九十六台巴布科克·威尔科克斯公司的锅炉, 每台锅炉出力为 508 马力, 配套汽轮机的蒸汽压力为 170 lb/in^2 , 过热度为 70°F 。

本世纪的头二十年中, 蒸汽温度和压力分别增至 275 lb/in^2 和 560°F (过热度为 146°F)。1921年纽卡斯尔供电公司 (Newcastle Electric supply Company) (北英格兰) 的北蒂斯 (North tees) 电站投产时, 蒸汽压力为 450 lb/in^2 , 蒸汽温度为 650°F 。蒸汽再热到 500°F , 并采用给水回热, 使给水温度达到 300°F 。三年以后 (1924年) 联邦爱迪生公司的克劳福特路 (Crawford Avenue) 电站和现代美国电力系统的菲洛 (Philo) 及吐温·布兰奇 (Twin Branch) 电站投入运行, 汽轮机节流阀处的蒸汽压力为 550 lb/in^2 , 温度为 725°F 。蒸汽再热温度达到 700°F 。

在1925年启动的波士顿爱迪生 (Boston Edison) 公司的韦茅斯 (Weymouth) 电站 (以后改名为爱德加 (Edgar) 电站), 是一个蒸汽压力设计得很高的电站。3150kW 高压前置机组使用的蒸汽压力为 1200 lb/in^2 、温度为 700°F , 主汽轮机用的蒸汽被再热到 700°F (图14)。

煤粉和水冷炉膛

在二十年代, 锅炉的设计和结构出现了其他一些较大的变化。原先, 仅仅用增多锅炉的数目来增大各个电站的容量, 这一方法最终证明是不经济的。取而代之的是将单个锅炉建造得越来越大。但是不久, 锅炉的尺寸就大到现有的炉膛设计的燃煤方法 (例如机械化加煤机) 已不再适合了。

就燃料的燃烧而论, 煤粉燃烧的发展提供了解决的办法。不使用水冷炉膛, 就不可能充分利用燃烧煤粉可以得到的较高的容积燃烧率和大尺寸的设备。这不仅消除了由于结渣而使耐火墙迅速损坏的

1b/h, 压力达到13 001b/in²、温度达到900°F。

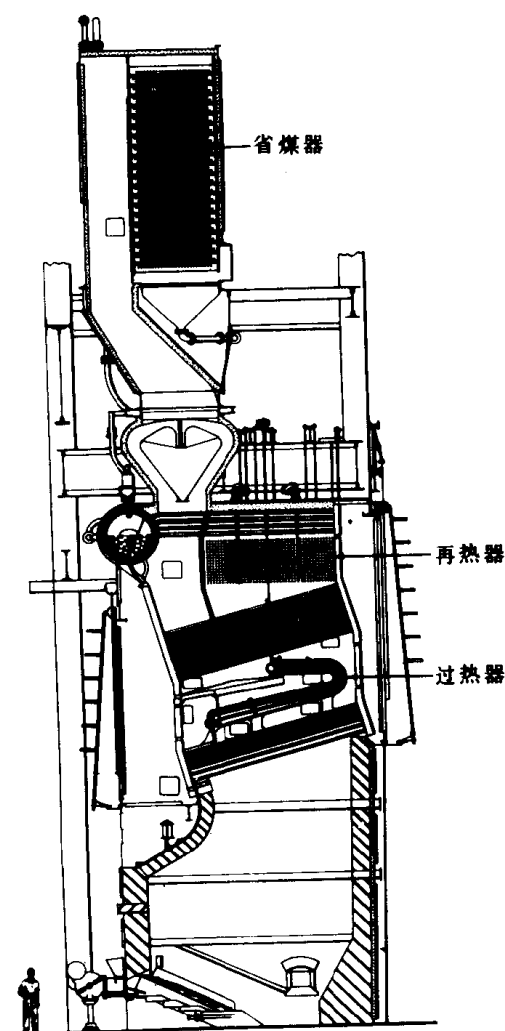


图14 1925年的高压再热锅炉

问题,而且通过降低排出炉膛的炉烟温度,使对流受热面的沾污减少到易于处理的程度。

立式全水冷炉膛锅炉

最初,水冷炉膛只用于现有锅炉的设计,其循环系统实质上 and 锅炉的循环无关。在三十年代早期产生了一个新的概念,这就是炉膛水冷面和锅炉蒸发面布置在一起,所以每个面都是锅炉的组成部分。图15所示即是立式全水冷炉膛锅炉的早期设计。

快装锅炉

由于工业和采暖用锅炉的需求量日益增大,使得工地装配设备的费用不断增加,从而导致了二十世纪四十年代末期在车间组装快装式锅炉的发展。全部在车间组装完成的机组,蒸汽容量达到350000

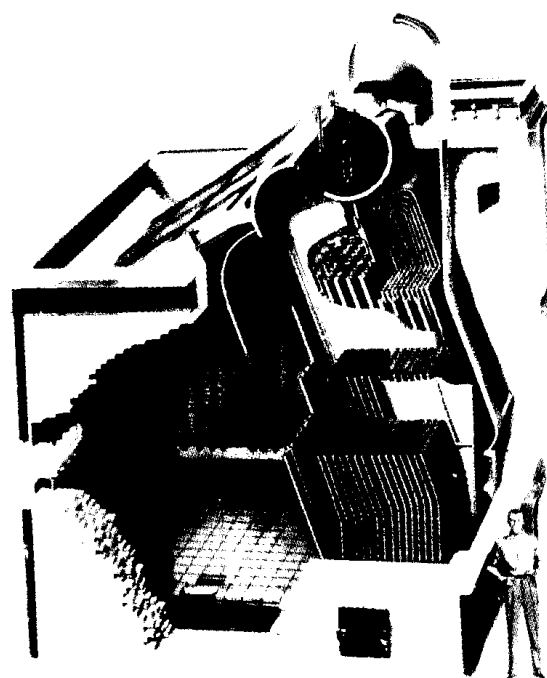


图15 1933年的全水冷炉膛锅炉

后期锅炉的发展

“水冷”除了减少炉膛维修工作量和对流受热面的沾污外,还有助于产生更多的蒸汽。因此,由于水冷炉膛增添了蒸汽的蒸发面积,锅炉的面积就减少了。为了提高循环效率,而使给水和蒸汽温度以及蒸汽压力的增高,进一步减少了锅炉管束的面积,而代之以增添的过热器面积。

由于这些进展的结果,蒸汽压力在12001b/in²以上的锅炉,基本上是由炉膛水冷壁管、过热器和那些回收热量的附属设备(如省煤器和空气预热器等)组成,见图16。但是在低压锅炉机组中,除了炉膛里的水冷面积外,还有大量作为蒸发受热面的管束,见图17。

通用压力锅炉

在尽可能以最低的成本来生产电力的发展过程中,一个重要的里程碑是俄亥俄电力公司(Ohio Power Company)的非洛电站(Philo plant)于1957年使第一台超临界蒸汽压力(3208psia)的商业机组成功地投入运行(见图18)。这是一台巴布科克和威尔科克斯的通用压力锅炉,为120MW机

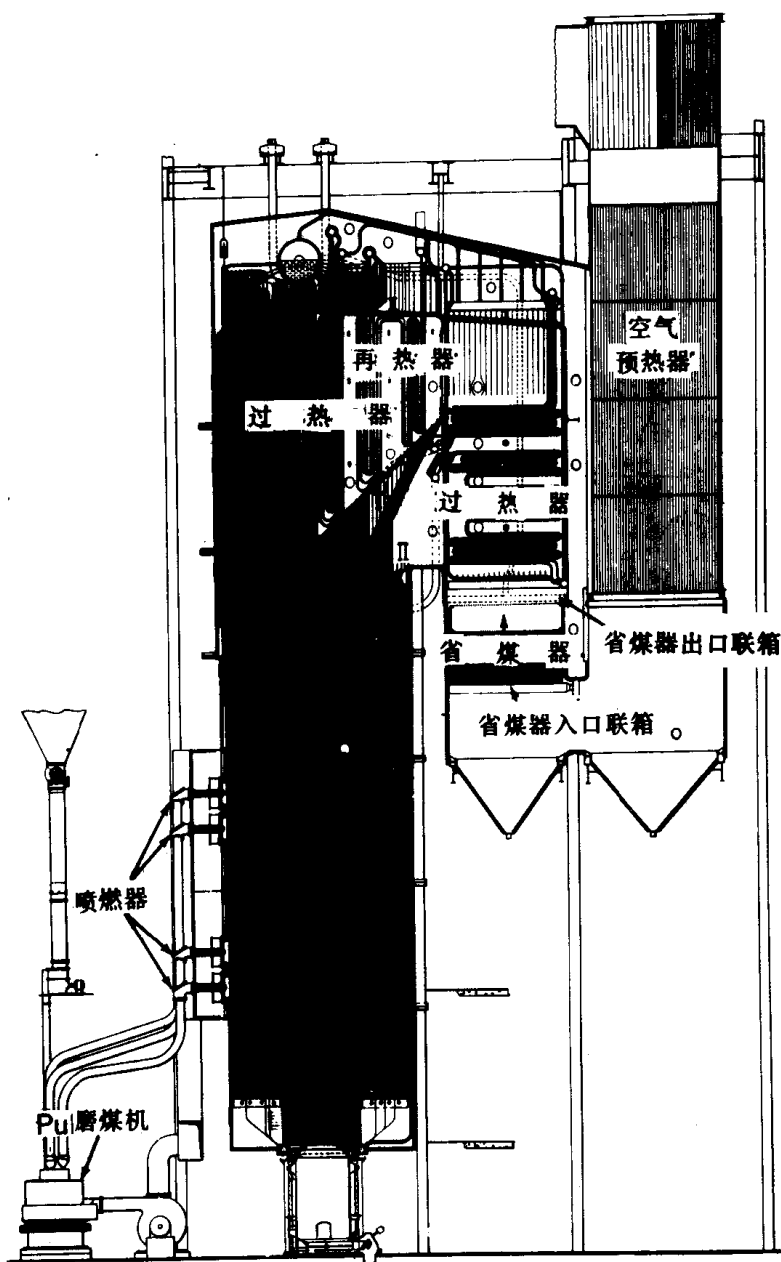


图16 过热蒸汽和再热蒸汽温度都为 1000°F ，压力为 1650lb/in^2 的辐射式锅炉

组每小时供应 675000lb 蒸汽，蒸汽压力为 4500lb/in^2 ，过热蒸汽温度为 1150°F ，具有两次再热的蒸汽温度分别为 1050°F 和 1000°F 。

通用压力锅炉的命名，是因为这种锅炉可以设计成为亚临界或超临界运行，可以很快的带上负荷。增加负荷的速度每分钟可达到额定负荷的 5% ，这

对锅炉本身来说，是很容易达到的。在紧急情况下，通用压力锅炉能够在四分钟内从 25% 的负荷增加到 90% 的额定负荷，并在随后的四分钟内从 90% 增加到 100% 额定负荷。具有起动系统的通用压力锅炉，能够使蒸汽和汽轮机材料的温度紧密地配合，从而不论在冷态起动或热态再起动中，都能将热应力减

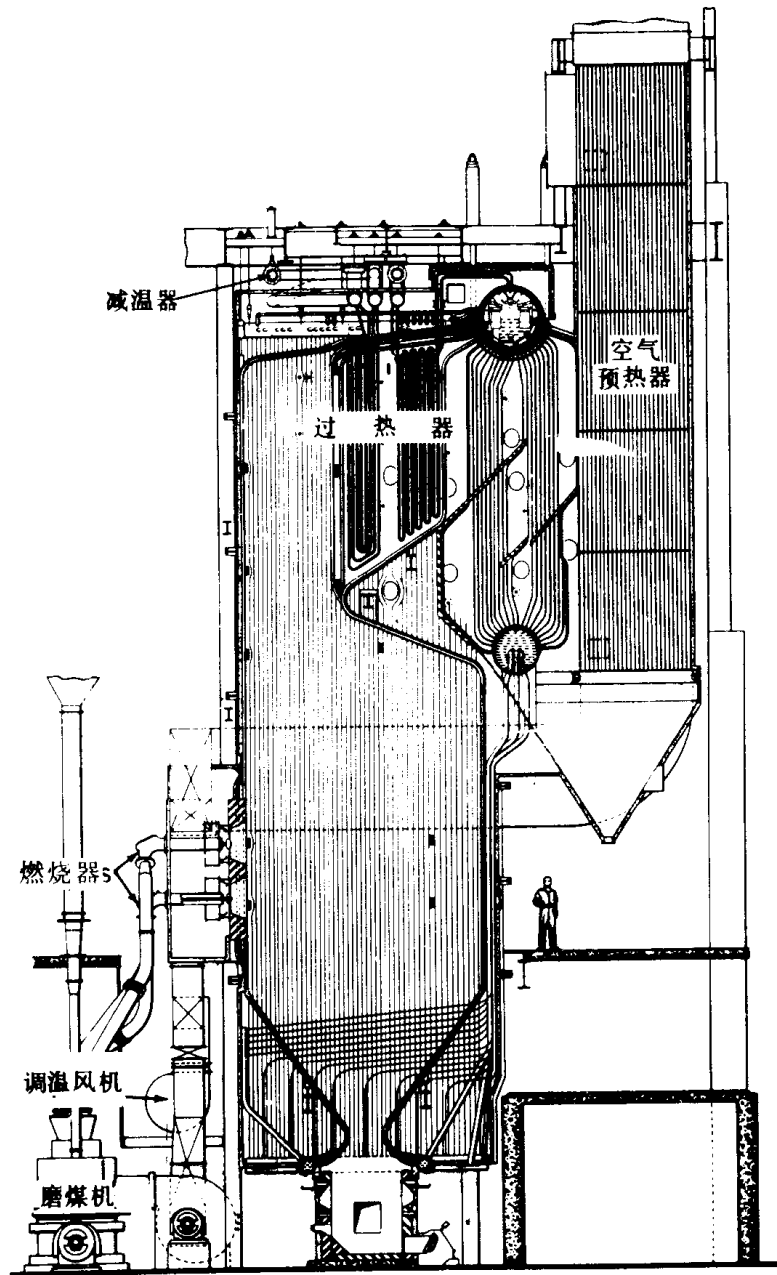


图17 蒸汽压力为 925 lb/in^2 、汽温为 900°F 的斯特林锅炉

到最小。图19所示为新近设计的两台通用压力锅炉中的一台，它们在一个大型电厂各向一台 1300 MW 容量的汽轮发电机组供汽。每台锅炉将供应 9775000 lb/h 的蒸汽，其压力为 3845 lb/in^2 ，过热温度为 1010°F ，再热温度为 1000°F 。

蒸汽循环的改进

不断探索降低热耗、从而获得较高的循环效率，涉及到对常规蒸汽循环的改变。其中之一是在常规的水蒸汽循环之前，利用高温低压的汞蒸汽。这可回溯到1928年在新英格兰的一座电厂内投产的汞和

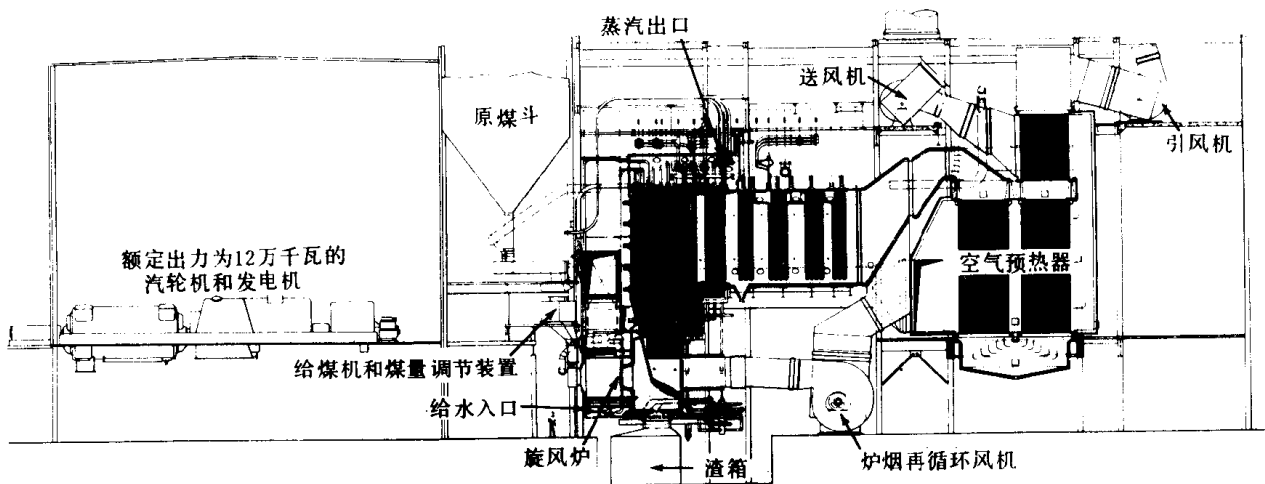


图18 120MW成套发电机组正视图，由巴布科克·威尔科克斯公司的通用压力锅炉（UP）供汽，其运行

压力为5500~4500lb/in，过热蒸汽温度为1150°F，两次再热温度各为1050°F和1000°F

蒸汽双工质循环机组。双工质“前置”循环一词，是由于一种工质排除的热量，供给在低温范围内运行的另一工质的热量而得名的。在汞-水蒸汽循环中，汞汽凝汽器起到了蒸汽锅炉的作用。

其他的高效率的循环，包括燃气轮机-蒸汽轮机联合循环，以及将热能直接转换成电能。正在研究的大功率直接转换系统，是将一个磁流体（MHD）机组置于常规的蒸汽循环之前，它利用常规燃料或煤气化或液化后的副产品——炭作为燃料。

尽管设计了许多复合循环来提高电站的总效率，但常规的蒸汽循环，至今证明是最经济的。

越来越多地利用高压和高温蒸汽、再热器、给水回热加热器、省煤器和空气预热器，都导致了现代蒸汽动力循环效率的改善。

船舶锅炉

在十九世纪八十年代，水管锅炉已成功地用于军舰和商船的推进。1899年用于美国警戒号（Alert）巡洋舰上的改进设计，为船舶推进使用水管锅炉建立了优势。接着，军舰和商船的推进用船舶锅炉，就发展到与固定式锅炉并驾齐驱。整个二十世纪期间，可靠的水管船舶锅炉，对美国的军舰和商船队的优良性能，作出了巨大的贡献。

核蒸汽供应系统

从1942年起，当恩理科·费米（Enrico Fermi）

证明了可控自持裂变反应后，核能就作为发电的一个重要热能源。第一个有效地应用这一新能源来生产蒸汽的，是五十年代初期在爱达荷（Idaho）国家反应堆试验站投入运行的鹦鹉螺原型堆。从这以后，则是许多用于推动军舰的装置。

第一个公用事业发电装置是迪凯纳（Duquesne）电灯公司希平港（Shipping port）原子能电站的90 MW（净功率）机组。这个在1957年投入运行的电站，一部分所有权属于迪凯纳电灯公司，而另一部分属于美国原子能委员会。

于1955年和1956年获得建设许可证的三个电气公用事业公司的原子能机组，其容量约为这台机组的两倍。这些机组〔联邦爱迪生公司的德累斯顿（Dresden）原子能电站、杨基（Yankee）原子能电力公司的罗（Rowe）电站和统一爱迪生公司的印第安角（Indian point）电站〕都在本世纪60年代初期投入商业运行。

由于机组大型化趋势的推动，利用原子能来发电的事业，在1963年达到了高潮，那时在有些地区核蒸汽供应系统设备，在经济上比燃烧矿物燃料的机组有利。1967年，在全部54000MW新的蒸汽发电设备容量的订货中，原子能机组占了48%，从而达到了另一个高峰。1968年和1969年订货的原子能机组，仍然较火电略小，但具有相当比重。图21示出了一台近期的850MW能量级的原子能机组的设计。