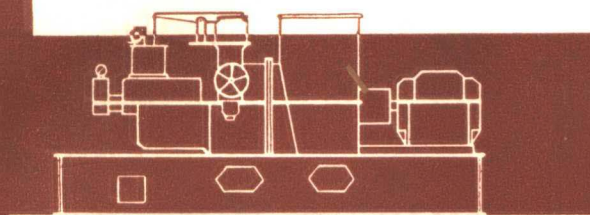


小型火力发电厂 汽轮机设备及运行



西安电力学校

水利电力出版社

内 容 提 要

本书以容量1500瓩和3000瓩的国产N3-24、N1.5-24及21-1.5型汽轮机组为主,适当照顾其他机组的特点,对汽轮机的工作原理、结构和运行要求进行深入浅出的介绍。书中插图大多采用设备实际构造图和立体图,并附有这些机组的技术资料。

本书适合小型火力发电厂中从事汽轮机运行和检修工作的人员学习之用,也可供其他从事这方面工作的人员参考。

小型火力发电厂 汽轮机设备及运行 西安电力学校

*

水利电力出版社出版

(北京隆福门内大街六十六号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

1974年2月北京第一版

1974年2月北京第一次印刷

印数 00001-21,300册 每册 1.50元

书号 15143·3062

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地
建设社会主义。

打破洋框框，走自己工业发展道
路。

前 言

在毛主席和党中央的英明领导下，批林整风运动已经取得了伟大的胜利，巩固和发展了无产阶级文化大革命的伟大成果。通过批林整风，深入批判了林彪一伙的反革命修正主义路线，全国人民的阶级斗争、路线斗争和继续革命的觉悟空前提高，革命团结更加坚强，我们伟大祖国的社会主义革命和建设事业正胜利地沿着毛主席的革命路线阔步前进。

由于认真贯彻执行了毛主席制定的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线和“以农业为基础、工业为主导”的发展国民经济总方针，电力工业出现了一派欣欣向荣、蓬勃兴旺的景象。

建国以来，特别是无产阶级文化大革命以来，随着工农业生产的蓬勃发展，对电力的需要量急剧地增长。为了适应这种形势，全国各地在建设大、中型发电厂的同时，因地制宜地建设了一批小型火力发电厂，为发展我国社会主义建设事业增添了新的动力。为了保证小型火力发电厂安全、经济发供电，发挥应有的效益，我们遵照伟大领袖毛主席关于“教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合”的教导，在举办了两期小型火力发电厂汽轮机运行人员培训班的教育革命实践基础上，编写了《小型火力发电厂汽轮机设备及运行》一书，供小型火力发电厂汽轮机运行人员及从事这方面工作的其他同志在学习和工作中参考。

由于我们路线斗争觉悟不高，业务水平有限，实践经验缺乏，书中不妥或错误之处在所难免，恳切希望同志们批评指正。

本书在编写过程中，曾得到山东省滕县电厂，甘肃省安口电厂，陕西省延安电厂、崖岔电厂、牛武电厂、灞桥热电厂，以及青岛汽轮机厂等单位的大力协助，提供了很多有益的资料和经验，许多工人同志为我们仔细审阅书稿，提供了宝贵的意见。在此，我们谨向所有这些单位和同志们表示衷心的感谢。

西安电力学校汽轮机教研组

1973年9月

目 录

前 言

第一章 火力发电厂的生产概况	1
第一节 锅炉设备的主要部件和辅助设备	1
第二节 汽轮机本体和辅助设备	3
第三节 电气部分	5
第二章 热工基础知识	8
第一节 水蒸汽的状态参数及其测量	8
第二节 功和能	18
第三节 水蒸汽在锅炉中的产生过程	20
第四节 水蒸汽的焓-熵 ($i-S$) 图及其应用	23
第五节 水蒸汽的流动特性	26
第六节 水蒸汽在电厂中的循环及其效率	31
第七节 传热基本知识	35
第三章 汽轮机本体	40
第一节 汽轮机的基本概念及其分类	40
第二节 汽轮机的基础和机座	46
第三节 汽缸及其热膨胀	50
第四节 喷嘴和隔板	55
第五节 叶 片	67
第六节 通汽部分在运行中应注意的问题	83
第七节 轴 封	87
第八节 转 子	94
第九节 轴 承	102
第十节 联轴节	111
第十一节 减速器	113
第十二节 汽轮机的损失及效率	119
第十三节 国产典型小功率凝汽式汽轮机介绍	127
第四章 汽轮机的调节	138
第一节 调节系统的作用	138
第二节 国产小型汽轮机组的全液压调节系统	139
第三节 国产小型汽轮机组的半液压调节系统	145
第四节 调节系统的静态特性	149

第五节 同步器	156
第六节 保护装置	164
第七节 油系统	175
第八节 调节系统的试验	182
第九节 调节系统的常见缺陷及消除	190
第五章 汽轮机组的热力系统和辅助设备	202
第一节 组成热力系统的管道和附件	202
第二节 汽轮机组的热力系统	207
第三节 水 泵	214
第四节 凝汽设备	250
第五节 锅炉给水的除氧	269
第六节 发电厂的供水	273
第六章 汽轮机组的起动、停机和运行维护	280
第一节 汽轮机的起动	280
第二节 汽轮机起动过程的理论分析	285
第三节 汽轮机的热态和半热态起动	287
第四节 无电源起动	289
第五节 汽轮机的停机	291
第六节 凝汽式汽轮机的变工况运行	294
第七节 汽轮机组的运行和维护	301
第八节 汽轮机运行中的试验	308
第九节 凝汽器的清洗	310
第七章 汽轮机组的故障、事故及其处理	312
第一节 汽轮发电机组的振动	312
第二节 水冲击(汽轮机进水)	315
第三节 真空下降	316
第四节 油系统工作失常	320
第五节 叶片的损伤和断落	321
第六节 负荷突变	322
第七节 严重超速和周波变化	323
附 录 水蒸汽热力特性(焓-熵)图表	
表 I 饱和蒸汽热力特性(以温度为准)	325
表 II 饱和蒸汽热力特性(以压力为准)	326
表 III 水和过热蒸汽的热力特性	328

第一章 火力发电厂的生产概况

电力工业的能源主要是水能、燃料热能和原子能。利用燃料热能发电的，叫火力发电厂（热力发电厂）。

图1-1是一个火力发电厂的生产流程图。燃料在炉膛内燃烧时放出的热量，把汽锅内的水加热成具有一定压力和一定温度的蒸汽，再用蒸汽去冲动汽轮机旋转，然后带动发电机旋转，发出电能。

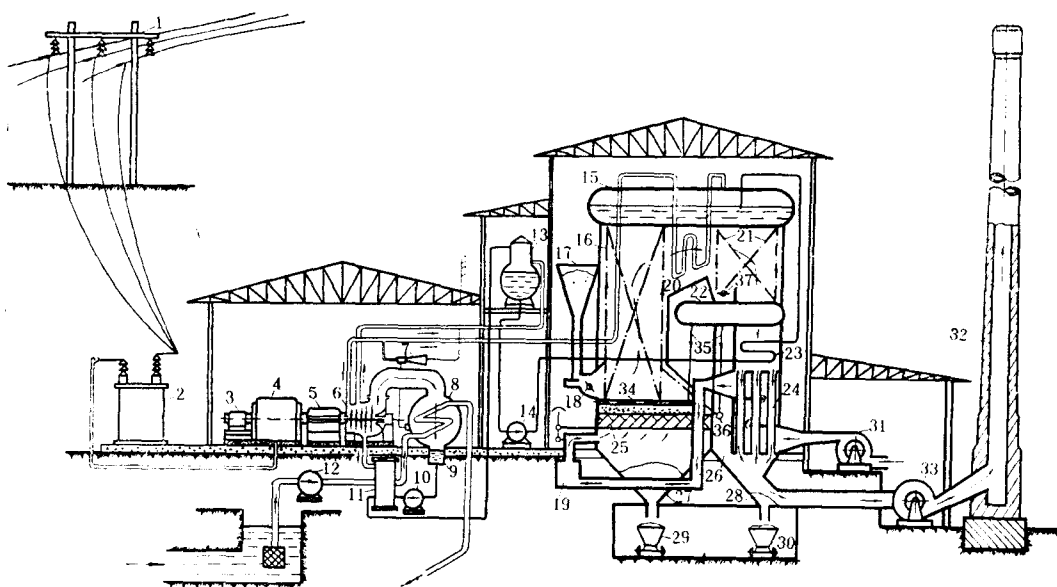


图 1-1 小型火力发电厂生产流程示意图

1—出线塔杆；2—主变压器；3—励磁机；4—发电机；5—减速器；6—汽轮机；7—抽气器；8—凝汽器；9—热水井；10—凝结水泵；11—加热器；12—循环水泵；13—除氧器；14—给水泵；15—上汽包；16—上升管（水冷壁）；17—煤斗；18—给煤机；19—一次风道；20—过热器；21—水排管束；22—下汽包；23—省煤器；24—空气预热器；25—手摇炉排；26—旁通烟道；27—灰渣斗；28—细灰斗；29、30—推灰渣小车；31—送风机；32—烟囱；33—引风机；34—侧墙下联箱；35—下降管；36—后墙下联箱；37—旁通烟道风门

从能量转换的观点来看：在锅炉内是把燃料的化学能转变成了蒸汽的热能；在汽轮机内是把蒸汽的热能转变成轴的旋转机械能；在发电机内是把机械能转变成了电能。

第一节 锅炉设备的主要部件和辅助设备

锅炉是用来产生具有一定压力和一定温度的水蒸汽的设备。

组成锅炉的主要部件是炉子、汽锅、省煤器、空气预热器、炉墙和钢架。它们的作用，下边分别加以介绍。

一、炉 子

它是供燃料燃烧的装置。由炉排、燃烧室、送煤机、炉拱等组成。炉排按炉型不同，分人工手摇炉排和自动链条炉排。链条炉为了加快燃料的点燃与促进完全燃烧，一般在炉膛（燃烧室）中布置有炉拱。

二、汽 锅

它是产生蒸汽的装置，包括水冷壁、汽包、过热器等。分述如下：

1. 水冷壁：

炉膛内炉烟的温度很高，在炉膛内壁上可布置很多管子来吸收炉膛的热量，这些管子称为水冷壁。锅炉生产的蒸汽绝大部分是在水冷壁管内产生的。水冷壁的另一个作用是保护炉墙，不致因烟气温度过高而损坏。

2. 汽 包：

汽包是锅炉本体的主要部件之一。一般锅炉上部的汽包为汽水汇合之处，叫主汽包。主汽包的作用是，使水冷壁内所生成的汽水混合物有一定的分离空间，以便汽水分离，将含水及盐量少的饱和蒸汽送往过热器。由省煤器流来的水先进入主汽包，由降水管（也叫排管）进入下汽包，再分流至下联箱。

3. 过热器：

在炉膛出口的烟道里布置了许多平行的蛇形管，组成过热器。它的作用是将汽包送出来的饱和蒸汽再加热，使在原有的压力下再提高温度，变成过热蒸汽，然后送入新蒸汽管道，供汽轮机应用。

三、省 煤 器

它是布置在锅炉尾部烟道中的并列蛇形管组（或铸铁鳍片式）。由给水泵来的锅炉给水首先经过它，在其中吸收烟气热量，提高温度（有时也会产生少量的蒸汽），然后进入主汽包。这样就会减少水变为蒸汽时在炉膛内的吸热量，从而节省锅炉的燃煤量。

四、空 气 预 热 器

空气预热器通常布置在锅炉尾部烟道出口的地方，与省煤器同时被称为尾部受热面。供应燃料燃烧所需的空气，先经过空气预热器预热，这样既可以利用将要排出的烟气热量，又可以改善燃烧工况。目前较常用的空气预热器是由直立的管子组成，烟气在其中自上而下由管内通过；空气在管外横向通过，将热量吸收带走。

五、炉 墙 和 钢 架

为了使烟气与外界隔绝，不论炉膛或尾部烟道都必须用炉墙密封起来，炉墙同时也起了保温作用。炉墙是由耐火砖和保温砖构成的，炉墙外面是钢架，用以支吊锅炉受热面、汽包、省煤器等全部部件。

六、送风机和引风机

燃料在锅炉内燃烧时，需要大量的空气，这些空气的供给，如果只靠烟囱的自然通风是不够的。为要达到良好的通风，还需要用送风机和引风机。送风机的风是由炉篦下部穿过煤层供给的；引风机布置在锅炉尾部烟道出处，它是为了维持炉膛内的压力略低于大气压力，以便在负压状态下安全燃烧。引风机出来的烟气，经烟囱排至大气中去。

七、二次风机

在有炉篦和炉排的锅炉中，由炉篦下透过煤层的风叫做一次风。为了使煤中干馏出来的挥发物和较细的煤粒能够得到充分的燃烧，常用二次风来搅拌和混合燃烧室内的可燃气体。供应二次风的风机，叫做二次风机。

在小型火力发电厂中，应用的锅炉型式很多，但它们的炉膛内的燃料燃烧过程和汽锅内的水蒸汽产生过程，基本上是一样的。

1. 燃料在炉膛内的燃烧过程：

如图1-1中的锅炉部分所示：煤斗17和给煤机18供给燃料所需的煤量；煤进入炉膛抛撒在炉排25上进行燃烧；送风机31供给燃料燃烧所需的风量；引风机33和烟囱32克服烟道阻力，保证炉膛在负压状态下燃烧；燃烧后的灰渣经人工手摇炉排落入灰渣斗27；然后由推灰渣小车29送至灰场。

2. 水蒸汽在汽锅内的产生过程：

如图1-2所示：给水（发电厂里把送进锅炉的水叫给水）由给水泵1送来，先进入省煤器2。水在省煤器中吸收锅炉尾部烟道烟气的热量后，进入上汽包3，再经水排管管束4吸收炉膛出口烟气的热量，然后进入下汽包5，经下降管6进入下联箱7。此后，水又由下联箱进入上升管8（即水冷壁）吸收炉膛中大量的辐射热量，被加热成汽水混合物进入上联箱9进行汽水分离。分离出来的蒸汽，经导汽管10进入上汽包3。这时，汽包内的蒸汽是饱和蒸汽，饱和蒸汽再进入过热器11内继续加热成过热蒸汽。最后，经过新蒸汽管道送往汽轮机去作功。

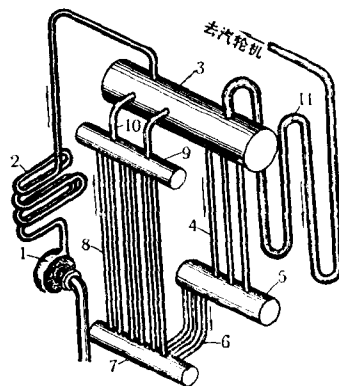


图 1-2 锅炉自然循环系统

1—给水泵；2—省煤器；3—上汽包；
4—水排管管束；5—下汽包；6—下降管；
7—下联箱；8—上升管；9—上联箱；
10—导汽管；11—过热器

按照上述过程产生水蒸汽的锅炉，叫做自然循环锅炉。这是因为，在水排管、下汽包、下降管中水的比重较大，而在上升管中汽、水混合物的比重轻，这个比重差值就是自然循环锅炉中水、汽能够自然流动的动力。

第二节 汽轮机本体和辅助设备

汽轮机是用来拖动其它转动机械（如发电机、鼓风机、船舶螺旋桨等）的一种原动

机。它的工作原理，是在固定的喷嘴内将蒸汽的热能转变为动能，在动叶片内将动能转变为使轮轴旋转的机械功。

由于汽轮机的转速高、重量相对较轻、能设计制造成的功率很大和具有较高的效率，所以汽轮机目前已成为火力发电厂中被广泛采用的原动机了。由此可见，汽轮机在社会主义建设事业中具有重要的作用。

解放前，我国人民受尽了帝国主义、封建主义、官僚资本主义的压迫和残酷剥削，工业技术水平非常落后，当时仅建立了很少的发电厂，而且所有的汽轮机都是从国外进口的。汽轮机制造工业根本没有，甚至汽轮机上的一个零件损坏了，也得到外国去修配。所以，当时根本没有我国自己的动力事业。

解放后，在党和毛主席的英明领导下，我国工业生产发展很快，汽轮机制造工业也从无到有、由小到大迅速地发展了起来。一九五四年开始制造汽轮机的“上海汽轮机厂”，经过一年的奋战，于一九五五年就制造出了我国第一台6000瓩汽轮机。一九五七年后，上海汽轮机厂在发展大、中型汽轮机的同时，为了进一步发展地方小型火力发电厂，设计并制造了21-0.75型（额定容量750瓩）和21-1.5型（额定容量1500瓩）的汽轮机。一九五八年以来，在全国各地许多汽轮机制造厂内按照同一设计图纸生产了数百台这类机组。一九六五年又由青岛、大连、杭州等汽轮机制造厂和一机部汽锅研究所联合设计了N0.75-24型、N1.5-24型、N3-24型快装式汽轮机组（额定容量分别为750瓩，1500瓩，3000瓩），现已成批生产，并且已有一定数量的机组安装在祖国各地的城镇、山区、矿山、林区。

无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。其间，我国上海、哈尔滨等地大型汽轮机制造厂不仅能够生产出1.2万瓩到10万瓩的中压、高压汽轮机，而且制成了过高压的12.5万瓩等中间再热式汽轮机。同时，在一些省又兴建了新的汽轮机厂。可以预见，我国汽轮机制造工业在今后一定会更迅速地得到发展。

图1-3是国产N3-24组合快装式汽轮机本体和辅助设备布置图。N3-24型汽轮机系组

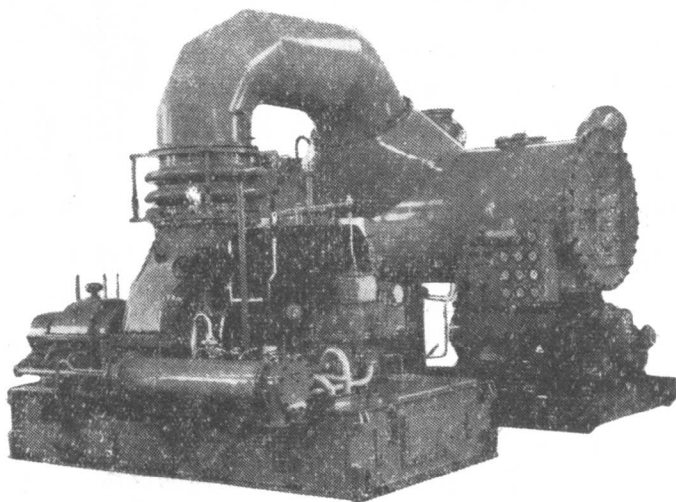


图 1-3 国产N3-24组合快装式汽轮机本体和辅助设备布置图

合快装式机组，为单缸、次中压冲动冷凝式汽轮机，发电能力3000瓩，转子额定转速5600转/分钟，由齿轮减速装置减速为3000转/分钟后带动发电机旋转。汽轮机本体和凝汽器为单层布置，运行层标高650毫米。汽轮机总长4140毫米。汽轮机具有结构紧凑、安装方便的特点。汽轮机及其辅助设备共分为两大件，即汽轮机大件和凝汽器大件。

汽轮机大件包括有：汽轮机本体、齿轮箱、冷却器、注油器、汽轮油泵、手摇油泵、疏水膨胀箱及油箱底盘等。

凝汽器大件包括有：凝汽器、抽气器、自动排气阀、循环水泵、凝结水泵、仪表盘、疏水器及框架等。

21-1.5型汽轮机，额定出力1500瓩，为低压冲动凝汽式汽轮机，额定转速5550转/分钟，由齿轮减速箱减速为1500转/分钟后，带动发电机旋转。汽轮机凝汽器为单层布置。

关于汽轮机本体部件和辅助设备的构造原理在本书第三章和第五章内详述。

图1-4是汽轮机工作过程流程图。由锅炉来的新蒸汽经隔离汽门3、自动主汽门4后进入调速汽门5，由调速装置根据外界负荷的变化来控制调速汽门的开度，使适量的新汽进入汽轮机。蒸汽通过汽轮机6后，它的一部分热能已转变为推动汽轮机旋转的机械能，所以从汽轮机出来的蒸汽的压力和温度都大大降低，这种蒸汽称为排汽，排汽通过排汽管7进入凝汽器8被冷却凝结成水。冷却排

汽用的循环水，由循环水泵12供给。排汽冷凝下来的水叫凝结水，由凝结水泵9把它送到除氧器10中除去水中的气体，以减少对热力设备的腐蚀。除氧器本身是一个混合式加热器，它利用抽出汽轮机内已作过部分功的蒸汽来加热凝结水。除去氧后的凝结水经给水泵11升压送入锅炉1，在锅炉内重新吸热变成高压高温蒸汽，再到汽轮机中作功，这样就形成了循环。一个连续运行着的火力发电厂的热力部分（锅炉、汽轮机及其辅助设备和管路系统）就是这样将水变成汽，汽又变成水，水又变成汽的周而复始地循环着。

在完成循环的过程中，必不可免地存在着一些汽水损失，为使系统能够正常地工作，需要补充一部分水进去。由于系统中是洁净的凝结水，所以对补充水的水质就有一定要求，一般小型电厂都是用化学方法把生水进行处理后补入的，经过化学方法处理后的水称为软化水。

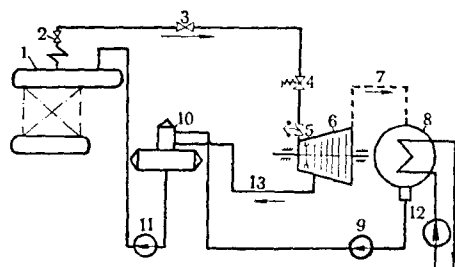


图 1-4 汽轮机工作过程流程图

1—锅炉；2—锅炉房主汽门；3—隔离汽门；4—自动主汽门；5—调速汽门；6—汽轮机；7—排汽管；8—凝汽器；9—凝结水泵；10—除氧器；11—给水泵；12—循环水泵；13—去除氧器的抽汽管路

第三节 电 气 部 分

一、发 电 机

发电机是把机械能（转子的回转运动）转变为电能的一种电气设备，如图 1-5 所示。

它的静止部分叫定子，转动部分叫转子。在定子的内圆上有槽，槽内装有三相绕组用来产生感应电流。转子由硅钢片和导线制成。发电机转子有隐极式（圆柱形转子）和凸极式两种。

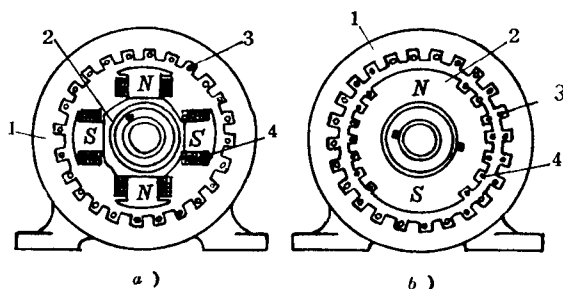


图 1-5 凸极和隐极发电机示意图

a—凸极式发电机；b—隐极式发电机

1—定子；2—转子；3—定子绕组；4—转子线圈

在发电厂里，发电机转子是用靠背轮或齿轮减速装置与汽轮机轴连在一起的。在发电机轴的另一端带着一台小直流发电机，叫做励磁机。励磁机发出来的直流电，经两组炭刷和轴上的滑环送入发电机的转子线圈中；转子带上电以后，便成了电磁铁，这时转子周围就有了磁场；当汽轮机带动发电机转子旋转时，磁场也就跟着旋转，定子槽内的导线就会切割磁力

线而产生感应电流，这就是发电机使机械能转变为电能的基本过程。

二、发电厂的电气设备

发电厂和别的工厂不同，它与用户之间有着密切的联系，交流电是不能够储存的，它的生产、输送和使用完全是同时进行的。我们所用的“电”，不论是照明用电或是动力用电，都是发电厂里刚刚生产出来的产品，所以发电厂供电的任务，就是保证安全地、不间断地按用户需要把电送给用户。为了便于了解电是怎样送出去的，下边首先介绍几种常用的电气设备。

1. 开 关：

开关是用来断开或接通电路的设备，开关的种类很多，如闸刀开关、自动空气开关、隔离开关及油开关（或称油遮断器）等。

2. 母 线：

母线是铜制或铝制矩形截面的金属导体，它能够汇集发电机所产生的电能，以便将电能分配给各送电线路。

3. 变压器：

变压器是远距离送电必不可少的设备。它能把低电压升成高电压以便输送电能，或把高电压降成低电压供给用户，前者叫升压变压器，后者叫降压变压器。

4. 熔断器：

熔断器是一种保护电器，其主要部分是一根熔丝，当发生短路故障时，熔丝就受热熔断，使用电设备与电源断开，保护了设备与线路。

5. 绝缘子（俗称瓷瓶）：

绝缘子用在电杆上或室内以支持导线，它具有一定的机械强度和绝缘能力。

6. 电 缆：

电缆常用作地下的输电线，它由三个主要部分组成，就是电缆芯、绝缘层和包皮。

发电机产生的电能先由铝制金属母线或电缆引到配电装置的汇流母线上，再根据用户分布情况由配电装置分成几路送往城镇和农村各地，供给用户的动力和照明用电。

发电厂里把表示电气设备元件与其相互间连接顺序的图，称为电气结线图（也叫主结线图或主电路图，如图 1-6 所示）。在电气结线图上通常用单线代表三相的三线。发电厂的电气设备，在结线图上是用统一规定的符号表示的，从主结线上可以看出发电厂的机组台数、各种主要电气设备的数量及其相互间的连接关系。

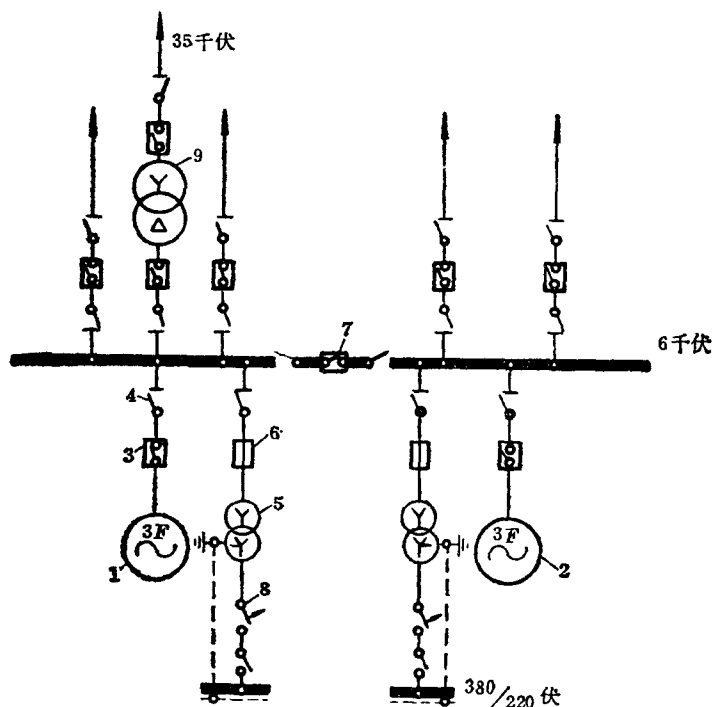


图 1-6 发电厂的电气结线图

1、2—发电机；3—油开关；4—隔离开关；5—厂用变压器；6—熔断器；
7—母线分段油开关；8—空气开关；9—升压变压器

三、发电厂的厂用电

从图 1-6 的电气结线图上可以看出，发电厂发出的电，大部分要送给用户供给动力与照明用电。但是，还有一小部分留给发电厂自己用，这部分自用的电叫“厂用电”。小发电厂厂用电一般约占全部发电量的 3~6%，它是用来推动发电厂内的循环水泵、给水泵、凝结水泵、引风机、送风机等厂用电动机，并供给厂用照明的。

在小型火力发电厂中，厂用电的电源都是接在发电机的母线上，经厂用变压器降低电压后向厂用负荷供电。

第二章 热工基础知识

第一节 水蒸汽的状态参数及其测量

自然界中存在的物质有固体、气体、液体三种状态。每一种物质随外界条件的变化，它本身的状态也要发生变化。比如：水是液体，当对其加热时，它的温度升高，可以变为蒸汽；反过来，将水冷却，它的温度下降，又可以变为固体。在火力发电厂中，推动汽轮机旋转做功的工质是水蒸汽，所以了解水蒸汽的性质对学习汽轮机专业知识是很重要的。

水蒸汽的特性是通过温度、压力、比容、焓、熵等量来表明的。一般习惯地把这些表明蒸汽状态特性的量统称为水蒸汽的状态参数，又简称为蒸汽“参数”。

一、压力及其测量方法

1. 压力：

在汽轮机运行中，我们要经常监视各处的压力，如新蒸汽的压力、油的压力、水的压力等。通过检查各处压力表的指示，就可以大致上判断汽轮机各部分的工作情况。

气体（或蒸汽）、液体的压力，是由于容器内气体（或蒸汽）、液体的分子在紊乱的运动中对容器壁冲击的结果。因此，压力用单位面积上所受的垂直方向的作用力来度量。其单位可用公斤/厘米²或液柱（水银、水等）的高度来表示。显然，压力可由下式来计算，即：

$$P = \frac{F}{A} = h\gamma. \quad (2-1)$$

式中 P ——单位面积上的作用力，即压力，公斤/厘米²；

F ——垂直作用力，公斤；

A ——面积，厘米²；

h ——液柱高度，米；

γ ——液体的重度，公斤/米³。

在发电厂中，常遇到下面几种压力概念：

（1）大气压力：由空气重力产生的压力叫做“大气压力”，以“ P_b ”表示。大气压力是随地面的海拔高度和气候变化而变化的。工程上以物理大气压力为“标准大气压力”，这个压力等于760毫米水银柱高度（此时水银温度为0℃）。

（2）工程大气压：为计算及使用方便，工程上用工程大气压力来做压力的单位。工程上规定：1工程大气压=1公斤/厘米²，折合成液体高度即为，1工程大气压=735.6毫米水银柱=10米水柱。显然，1物理大气压=1.033工程大气压。

(3) 表压力和绝对压力: 在电厂中, 锅炉汽包及主蒸汽管道中的蒸汽压力都是高于大气压力的, 可用图2-1 a) 来表示这种情况。

当容器内压力高于大气压力时, 其大于大气压力的部分(图中 $H \cdot \gamma$) 叫做表压力; 容器中的全压力称为绝对压力, 显然, 它等于表压力 $P_{表}$ (图中以液柱高度 H 表示) 与大气压力 P_B 之和, 即:

$$P_{绝} = P_{表} + P_B \quad (2-2)$$

(4) 真空与真空度: 在电厂中, 凝汽器内的蒸汽压力是小于大气压力的, 可以用图2-1 b) 来表示这种情况。当容器中压力低于大气压力时, 容器内的全压力仍叫做绝对压力, 而把其低于大气压力部分叫做真空, 它们之间的关系为:

$$P_{绝} = P_B - H; \quad (2-3)$$

$$\text{或} \quad H = P_B - P_{绝} \quad (2-4)$$

式中 H ——真空。其所用单位可以是米(水柱)、毫米(水银柱)等。

真空还有另一种表示方法, 即用真空占大气压力的百分数——真空度来表示, 即:

$$\text{真空度} = \frac{H}{P_B} \times 100\% \quad (2-5)$$

式中 P_B ——当时当地的大气压力。

压力的单位除上述公斤/厘米²和液柱高度外, 还有皮兹、毫巴及磅/时²等单位, 因这些单位较小, 实际应用中已很少采用, 故不再讲述, 仅把这些压力单位之间的换算关系列于表2-1中, 供读者参考。

表 2-1

1公斤/厘米 ² = 980.665达因/厘米 ²	1百皮兹 = 1巴 = 10.197米水柱
1公斤/厘米 ² = 0.9806百皮兹	1百皮兹 = 1巴 = 750.06毫米水银柱
1公斤/厘米 ² = 10 ⁴ 公斤/米 ²	1毫巴 = 0.75毫米水银柱
1公斤/厘米 ² = 0.9678物理大气压	1物理大气压 = 1.0332公斤/厘米 ²
1公斤/厘米 ² = 10米水柱	1物理大气压 = 10.332米水柱
1公斤/厘米 ² = 735.56毫米水银柱	1磅/时 ² = 0.0703公斤/厘米 ²
1公斤/厘米 ² = 14.223磅/时 ²	1磅/时 ² = 703公斤/米 ²
1公斤/厘米 ² = 1毫米水柱	1磅/时 ² = 51.715毫米水银柱

2. 压力的测量:

测量压力的仪器, 称为压力表。前面我们已经讲述了几种表示压力的概念, 根据被测压力的不同, 所采用的测量仪器也不同。一般用来测量大气压的仪表叫气压表。用来测量表压力的仪表通称压力表。用来测量低于大气压力的仪表叫做真空表。在电厂中常用的压力表有以下几种:

(1) U形管压力表: U形管压力表如图2-2所示, 它是一种最简单而又准确的测量

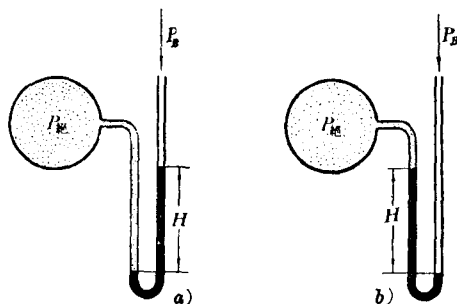


图 2-1 压力的测量

a—容器内压力高于大气压力时;

b—容器内压力低于大气压力时

压力的仪表，测量压力时是直接观察工作液体液面的高度差值 h 。

U形管压力表由两个同样直径的玻璃管 1 和 2 组成，彼此间连成 U 形并固定在垂直的底板 3 上，二管中间有刻度标尺 4，其零点在尺的中央，管内充入液体到零点处，常用水银和水做工作液体。测量时，将 U 形管的一端接到被测容器上，另一端通大气，U 形管内液体在被测压力作用下将产生液面的高度差 h ，这段液柱高度就可用来表示被测压力的数值，即：

$$P = h\gamma; \quad (2-6)$$

或

$$\frac{P}{\gamma} = h \quad (2-7)$$

式中 P ——被测介质的压力，公斤/厘米²或毫米水银柱（当管内充水银时）；

h ——工作液体的液面差，厘米；

γ ——工作液体的重度，公斤/厘米³。

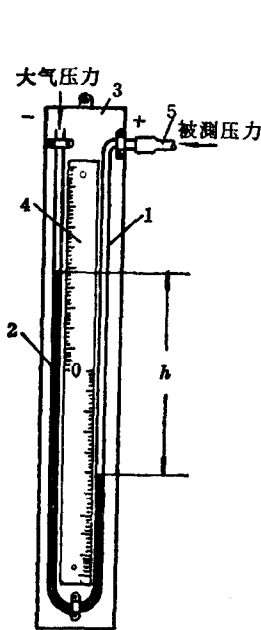


图 2-2 U 形管压力表

1、2—玻璃管；3—底板；4—刻度标尺；
5—连接管

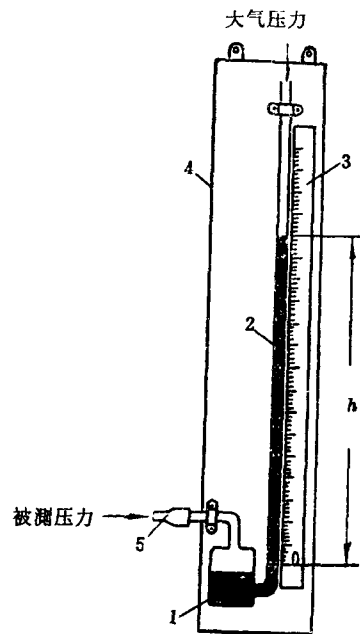


图 2-3 单管压力表

1—金属容器；2—玻璃管；3—刻度标尺；
4—底板；5—管接头

因为 U 形玻璃管左右两边的管径往往很难做得完全相等，使两端液面离 0 点的距离总是不相等的。所以使用 U 形管测量压力时必须注意，要同时读出 U 形管两端的液面离零点的数值，然后加在一起得出 h 。现场中常常为了省事只读一端数值，然后乘上二倍得出 h ，这种方法实际上很不准确。

U 形管压力表由于受玻璃管长度的限制，故测量范围不大。一般仅用在压力稍高于大气压力或低于大气压力的场合，如锅炉的各处风压、汽轮机凝汽器真空、锅炉炉膛负压等。

（2）单管压力表：单管压力表如图 2-3 所示。实质上它就是一个 U 形管压力表，但

其中的一根管子做成了容器的形式，而且它的截面积比另一根管子的截面积要大得多。单管压力表的工作原理与U形管压力表相同。测量时，单管压力表只需读出单管液柱的高度即可，而不必象U形管那样要进行两次读表，这是因为容器的截面积比另一根管子的截面积大得多，使得容器内的液面高度变化很小以至在测量时可以略去不计的缘故^①。

由于单管压力表只须一次读表，所以比起U形管压力表，单管压力表不仅有着测量简单方便的优点，而且读表的误差也可减少一半。

(3) 弹簧管压力表：弹簧管压力表是工程上最常用的一种压力表，因为它有着测量范围大、构造简单及使用方便等优点。图2-4为这种压力表的工作原理图。

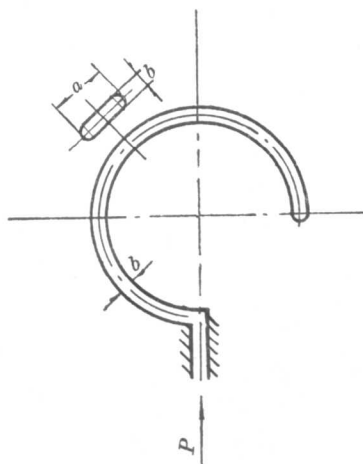


图 2-4 弹簧管压力表工作原理图

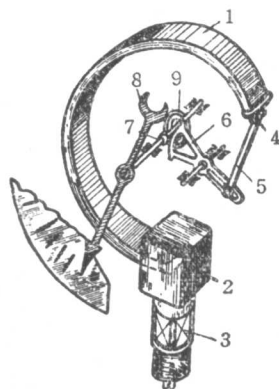


图 2-5 弹簧管压力表

1—弹簧管；2—支座；3—压力表接头；4—铰轴塞子；5—拉杆；6—扇形齿轮；7—轴齿轮；8—指针；9—游丝

弹簧管压力表是利用弹性元件受力后产生弹性变形的原理来工作的。弹性元件就是一根截面为长圆或椭圆并弯曲成圆弧形的空心金属弯管。管子的一端固定并通入被测压力 P ；另一端封闭着可以自由移动，称为自由端。当被测压力变化时，弹簧管的自由端就会产生位移，这是因为：当管内压力增加时，管子椭圆形截面的短轴 b 要增大，使弹簧管向外扩张，自由端便产生位移；反之，当管内压力减小时，长轴 a 要增大，使弹簧管向内收缩，自由端产生与上述方向相反的位移。显然，弹簧管自由端位移的大小与被测压力的大小有关。

弹簧管自由端的位移，经传动机构带动指针旋转就构成了弹簧管压力表。图2-5是带有扇形齿轮传动机构的弹簧管压力表的结构图。弹簧管1的一端牢固地焊在支座2上，支座固定于压力表的外壳内，压力表接头3用来安装仪表，弹簧管的自由端用带有铰轴的塞子4封闭，并经拉杆5与扇形齿轮6相连。扇形齿轮又与轴齿轮7啮合，带动指针8转动，从而指出被测压力。在轴齿轮的轴上还装置了游丝9，它的作用是产生一个反向平衡力矩，使指针慢慢平稳地上升或下降，指出读数。

弹簧管压力表根据被测压力值的不同可分为下列几种类型，即：测量高于大气压力的

① 精确测量时，应考虑容器中液面高度的变化，此时应把容器中液面高度的变化折算成单管中液柱的高度，在校正仪表时计入刻度标尺中。