



中国华电集团公司
CHINA HUADIAN CORPORATION

大型燃气—蒸汽联合循环发电技术丛书

设备及系统分册



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



中国华电集团公司
CHINA HUADIAN CORPORATION

大型燃气—蒸汽联合循环发电技术丛书 设备及系统分册

中国华电集团公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

本书以 S109FA 大型燃气—蒸汽联合循环发电机组为线索,系统地阐述了联合循环电厂的设备与系统。全书共分十章,第一章联合循环发电机组总体性能及布置,第二、三章燃气轮机设备及其系统,第四章对气体燃料及燃气轮机气体燃料系统做了详细说明,第五、六章蒸汽轮机设备及其辅助系统,第七章对轴系公用系统,如滑油—顶轴油、液压油、机组危险气体探测、控制组件配置、轴系振动监测做了阐述,第八章发电机及系统,第九章阐述余热锅炉及其系统,第十章列有电厂主要阀门、执行机构、控制组件及它们在系统图中的图形符号,便于查阅。

全书内容全面、深度适当、图文对应、通俗易懂。

本书适用于从事大型燃气—蒸汽联合循环电厂设计、安装、调试、运行、检修的技术人员、管理人员使用,也可供高等院校热能及动力类专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

大型燃气—蒸汽联合循环发电技术丛书. 设备及系统分册/
中国华电集团公司编. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9186 - 1

I. 大… II. 中… III. 燃气-蒸汽联合循环发电-发电设备-基本知识 IV. TM611.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 125144 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 9 月第一版 2009 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 432 千字

印数 0001—3000 册 定价 38.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《大型燃气—蒸汽联合循环发电技术丛书》

编 委 会

主 任 邓建玲

副 主 任 张东晓 陈海斌 马志明 唐 健

主 编 张东晓

副 主 编 严新荣

委 员 (按姓氏笔画排列)

孔庆甫 方洪祖 石万里 厉剑梁

齐崇勇 朱 达 朱鸿昌 吴革新

陈福湘 林 伟 周维中 董卫国

糜洪元

《大型燃气—蒸汽联合循环发电技术丛书 设备及系统分册》

编写人员名单

主 编 陈福湘

副 主 编 朱晨曦

主 审 朱 达

参编人员 周晓宇 吴 凡 赵丽娟 俞立凡

刘 晟

序

电能是能源的重要组成部分，对促进国民经济发展和人民生活改善发挥着重要的作用，也是国家各项发展目标实现的基本保证。一直以来，电力工业不断完善体制和机制，努力提高科学技术水平，大容量、高参数、环保型煤电机组得到大力发展，新技术、新设备、新材料被广泛采用。

燃气—蒸汽联合循环是把燃气轮机循环和蒸汽轮机循环组合成为一个整体的热力循环，通过能源梯级利用，使得联合循环发电机组的效率已达 57% 以上。联合循环机组以燃烧清洁燃料为主，并结合先进的排放污染控制技术，使得此类火力发电机组实现低污染物排放。从节约能源、保护环境战略出发，联合循环发电技术正日益受到我国电力行业的重视和不断发展。据资料统计，截至 2009 年 3 月，我国燃气轮机（包括联合循环）发电机组总装机容量约为 33 000MW。

中国华电集团公司从成立以来，深入贯彻科学发展观，全面履行中央企业经济、政治、社会责任。在科技进步、技术创新以及节能减排等方面都发挥着重要作用，着力提升了电力科技实力。中国华电集团公司至今一直是国内燃气轮机发电装机容量最大的发电公司。

从 2005 年开始，中国华电集团公司规划和拟订了多项燃气轮机科研项目，对技术资料进行了广泛、深入的研究，并紧密结合几年来积累的安装、调试、运行、维护、检修经验，归纳出了多项研究报告。在科研项目的基础上，2008 年中国华电集团公司本着总结技术、深入钻研、不断提高的宗旨，组织燃气—蒸汽联合循环电厂编写了《大型燃气—蒸汽联合循环发电技术丛书》。

丛书内容深入浅出，凝结了华电集团公司科技骨干和专业技术人员的心血和智慧。希望通过本套丛书的出版，能够为我国发展大型燃气轮机及联合循环发电技术，实现联合循环电厂运营管理科学化提供指导意义，同时也希望能够为我国燃气轮机的设计、制造、应用能力提高，早日实现设备国产化贡献一份力量。

刘建峰

前 言

燃气—蒸汽联合循环发电技术由于具有热效率高，建设周期短，单位容量投资费用低，用地和用水少，污染物排放量少等优点，自 20 世纪 80 年代以来，在世界上很多国家得到了广泛应用。21 世纪以来，联合循环发电也日益成为我国电力系统的重要组成部分。为了适应技术发展的需要，中国华电集团公司组织集团力量，编写了《大型燃气—蒸汽联合循环发电技术丛书》。

本书《设备及系统分册》，为丛书的一个分册。本书以技术引进与国内制造厂合作生产的 S109FA 大型燃气—蒸汽联合循环发电机组为线索，系统地阐述了该电站的设备与系统。全书内容比较广泛、又有相当深度、实用性强。由于本书是以机组运行实践为基础编写的。为增加感性认识，书中列举了选定机组的系统和数据，虽有它的局限性，但是它仍然能代表大型燃气—蒸汽联合循环电厂的共性。

本书是在中国华电集团公司科技环保部的直接领导下完成的。全书由杭州华电半山发电有限公司负责编写，由陈福湘主编，朱达主审，朱晨曦编写了余热锅炉部分，其他参与编写的人员有周晓宇、吴凡、赵丽娟、俞立凡等，刘晟参加了制图工作。

在本书的编写过程中，中国电机工程学会燃机发电专委会、西安热工研究院有限公司、南京燃气轮机研究所等单位的有关专家提出了宝贵意见，在此谨向他们致以诚挚的谢意。本书在编写过程中参考了许多相关专业图书和资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2009 年 4 月

目 录

序

前言

第一章 联合循环发电机组总体性能及布置	1
第一节 总体性能.....	1
第二节 基本配置.....	4
第三节 支撑与定位.....	7
第四节 刚性联轴器.....	9
第二章 燃气轮机本体	11
第一节 概述	11
第二节 压气机	14
第三节 燃烧室	18
第四节 燃气透平	29
第五节 孔探仪测孔布置	41
第六节 轴承	43
第三章 燃气轮机系统	47
第一节 空气进气系统	47
第二节 压气机进口可转导叶	54
第三节 冷却和密封空气系统	57
第四节 通风和加热系统	61
第五节 火灾检测与保护	64
第六节 压气机水洗系统	67
第四章 气体燃料及系统	73
第一节 燃气轮机对气体燃料的要求	73
第二节 气体燃料供给压力和温度	79
第三节 天然气气源及其主要运行参数	81
第四节 天然气调压站	82
第五节 前置系统	89
第六节 控制和吹扫系统	96
第五章 蒸汽轮机本体和凝汽器	107
第一节 概述.....	107
第二节 透平级.....	108
第三节 主要部件.....	110

第四节	蒸汽轮机本体	110
第五节	盘车装置	117
第六节	主要阀门	121
第七节	凝汽器	132
第六章	蒸汽轮机汽水系统	137
第一节	蒸汽管道及旁路系统	137
第二节	汽轮机轴封系统	145
第三节	凝汽器管路及其抽真空系统	149
第四节	蒸汽管道的疏水系统	156
第五节	凝结水系统	162
第六节	循环水系统	164
第七节	冷却水系统	169
第七章	轴系公用系统	173
第一节	润滑油和顶轴油系统	173
第二节	液压油系统	180
第三节	危险气体探测	190
第四节	测量元件配置	193
第五节	轴系振动监测	198
第八章	发电机本体及其系统	202
第一节	本体结构	203
第二节	启动系统	212
第三节	发电机 H_2 和 CO_2 系统	217
第四节	发电机密封油系统	225
第五节	轴线电压监测系统	229
第六节	EX2100 励磁系统	234
第九章	余热锅炉	236
第一节	概述	236
第二节	性能与结构	241
第三节	汽水流程	247
第四节	给水、疏水及排污系统	250
第五节	余热锅炉的启停和保养	256
第十章	主要阀门及其主执行机构	265
第一节	阀门分类	265
第二节	调节阀流量特性	270
第三节	执行机构	271
第四节	控制组件	273
参考文献		280

第一章

联合循环发电机组总体性能及布置

第一节 总体性能

一、燃气蒸汽联合循环电站的组成

通俗地讲，燃气轮机循环和蒸汽轮机循环在热力学上的结合，就组成了燃气—蒸汽联合循环。完成这种热力循环的动力装置称为联合循环发电装置。以联合循环发电装置为主体，配备各种辅助系统，就组成了燃气—蒸汽联合循环电厂。

燃气轮机是近几十年迅速发展起来的热动力机械，除应用于航空领域外，还广泛地应用于船舶、拖动和发电领域，是继汽轮机和内燃机问世以后，吸取了两者之长设计出来的。

联合循环的配置方案有几种，最常用的一种是燃气轮机配合余热锅炉的联合循环方案，它是以燃气轮机为主的联合循环方案。该方案把燃气轮机排气直接送入余热锅炉，产生蒸汽，驱动蒸汽轮机做功。余热锅炉是一种气/水、气/汽热交换器的组合件，炉内一般不再喷入燃料燃烧。水在锅炉内由燃气轮机排气加热变为饱和蒸汽，再进入过热器变成过热蒸汽。因此，蒸汽参数及蒸汽轮机的容量取决于燃气透平的排气参数和流量，通常蒸汽轮机的容量约为燃气轮机容量的 30%~50%。

图 1-1 所示为燃气—蒸汽联合循环原理。燃气轮机是一种高速回转动力机械，它将空气压缩后，在燃烧室中加入燃料燃烧产生高温燃气，继而在燃气透平中膨胀做功，将热能转换为机械能。燃气轮机由压气机、燃烧室、透平、控制系统和基本的辅助设备组成，其输出功用来驱动发电机、泵、压缩机、螺旋桨或车轮等负荷。用于拖动发电机的燃气轮机动力装置，加上辅助设备就组成了燃气轮机电站。

水在锅炉中受热后产生蒸汽，用蒸汽推动汽轮机将热能转换成机械能，再拖动发电机将机械能转换成电能，这种动力装置就是汽轮机发电设备，这种循环称蒸汽轮机循环。

燃气轮机排气的温度较高，可以用来作为蒸汽系统的能源或补充能源，在热力学上这两种循环互相结合补充可以达到高效率。

图 1-2 所示为燃气—蒸汽联合循环的温熵图。由图可知，透平排放给大气的热量在汽

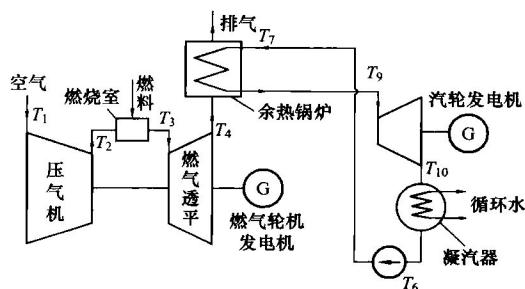


图 1-1 燃气—蒸汽联合循环原理

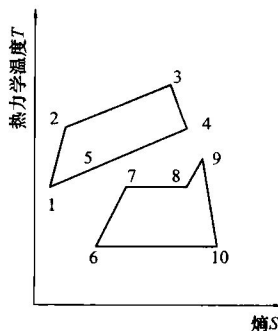


图 1-2 燃气—蒸汽联合循环的温熵图

轮机中得到利用，它相当于汽轮机过程所包围的面积 6-7-8-9-10-6，排放给大气的热量减少了。显然，联合循环的效率将显著提高。燃气轮机的排气引入余热锅炉，会使燃气透平的排气压力略有增加，与直接排入大气的简单循环发电相比，燃气轮机功率略有下降，然而从蒸汽动力循环中可以得到相当于燃气轮机容量约 1/2 的功率，这是联合循环的收益。

热力循环是动力机械发展的基础。蒸汽轮机循环在热力学上属于朗肯循环（Rankine），而燃气轮机循环（包括航空发动机）则建立在布雷顿（Brayton）循环基础上。从 20 世纪 40 年代开始半个多世纪以来两者充分显示了各自的优缺点，表 1-1 列有这两种热力循环优缺点的对比。

表 1-1 Brayton 循环与 Rankine 循环优缺点的对比

Brayton 循环	Rankine 循环
燃气初温很高	蒸汽初温难以提高
高温排气损失大	低温排气，排气损失小
工质压缩消耗功率大	循环初温低、工质变相潜能大

将以上两种循环结合起来，即在燃气轮机循环中在较高温度下加入热能，在汽轮机循环中在较低温度下释放热能，能大幅度提高热效率。

当工质完成一个循环时，把外界加给工质的热量 Q 转化为机械功 N_e 的百分比，就是通常所说的循环热效率。因此简单循环和联合循环的热效率分别表示为

$$\text{简单循环热效率} \quad \eta_{sc} = N_{e,GT}/Q$$

$$\text{联合循环热效率} \quad \eta_{cc} = (N_{e,GT} + N_{e,ST})/Q$$

所以

$$\eta_{cc} \gg \eta_{sc}$$

以 PG9351FA 燃气轮机组成的单轴 S109FA 联合循环为例，燃用天然气时 PG9351FA 简单循环运行，国际标准条件（ISO 条件）下输出功率为 255 600kW，联合循环运行时，在 ISO 条件下输出功率为 254 100kW，蒸汽轮机输出功率为 141 800kW，则简单循环运行热耗为 9759kJ/kWh，热效率 $\eta_{sc} = 37.0\%$ ，联合循环运行热耗率为 6351kJ/kWh，热效率 $\eta_{cc} = 56.68\%$ 。

二、机组额定性能

额定性能是指机组处于“新的和清洁的状态”下，额定工况时的标称或保证性能。所有影响机组性能的零部件都符合设计规范时的机组状态，定义为新的和清洁的状态。

燃气轮机在不同的压气机进口温度和负荷条件下，它的性能参数是不一样的。所谓性能参数通常是指燃料消耗量、输出功率、排气温度和排气流量。因此，在论及燃气—蒸汽联合循环机组性能时，时常会遇到额定性能、现场性能和保证性能等不同的术语。

机组处于新的和清洁的状态下运行时的标称性能，称为额定性能。在国际上统一规定，燃气轮机的标准额定值应采用下列假定：

(1) 在压气机进气口（总压、温度和相对湿度）和透平排气法兰处（静压）为标准大气值（温度为 15℃、压力为 101.3kPa、相对湿度 60% 的大气条件）。

(2) 用来冷却工质的冷却水或冷却空气为 15℃。

(3) 标准气体燃料（CH₄），其中 H/C 质量比为 0.333，热值为 50 000kJ/kg。

(4) 标准液体燃料（CH_{1.684}），其中 H/C 质量比为 0.1417，热值为 42 000kJ/kg。

表1-2 是 S109FA 单轴联合循环机组的设计变工况性能数据。

表 1-2

S109FA 单轴联合循环机组的设计变工况性能数据

大气温度 (℃)	输出功率 (MW)	燃料流量 (t/h)	燃料流量 ($\times 1000\text{m}^3/\text{h}$)	气耗率 (m^3/kWh)	每立方发电量 (kWh/m^3)	净热耗 (kJ/kWh)	效率 (%)
4	412.69	53.0	70.67	0.171	5.85	6257.4	57.53
	309.51	41.5	55.33	0.179	5.59	6521.5	55.20
	206.34	30.4	40.53	0.196	5.10	7170.4	50.21
	123.81	21.8	29.07	0.235	4.26	8569.6	42.01
15	394.55	50.8	67.73	0.172	5.83	6262.8	57.48
	295.91	40.0	53.33	0.180	5.54	6581.5	54.70
	197.27	29.4	39.21	0.199	5.03	7248.5	49.67
	118.36	21.0	28.00	0.237	4.22	8651.4	41.61
28.5	355.66	46.7	62.27	0.176	5.67	6389.0	56.35
	266.73	37.1	49.67	0.186	5.37	6776.5	53.13
	177.83	27.4	36.53	0.205	4.87	7503.8	47.98
	106.71	19.8	26.4	0.247	4.04	9030.6	39.87

图 1-3 所示为 S109FA 单轴联合循环机组的设计变工况性能曲线。

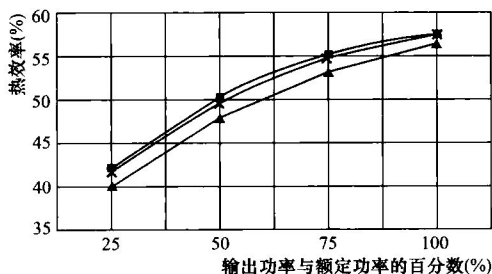


图 1-3 S109FA 单轴联合循环机组的设计变工况性能曲线

▲—大气温度 28.5℃ 时；×—大气温度 15℃ 时；■—大气温度 4℃ 时

第二节 基本配置

常规联合循环电厂是由一台或多台燃气轮机（顶部循环）、一台或多台在燃气轮机排气道中配置的余热锅炉，配上一台或多台蒸汽轮机（底部循环）及各自的辅助系统所组成的。

一、余热锅炉的选用

从烟气侧热源考虑，余热锅炉可分为无补燃的余热锅炉和有补燃的余热锅炉，在现今的常规联合循环电站，无补燃的余热锅炉占绝大多数，因为它的联合循环热效率高。实际上，无补燃的余热锅炉是一只大型的燃气/蒸汽热交换器，故又称为热回收蒸汽发生器（缩写为 HRSG）。

按蒸发器中循环方式，余热锅炉有以下两种选择：

- (1) 水—汽强制循环的余热锅炉，主要采取立式布置结构。
- (2) 水—汽自然循环的余热锅炉，主要采取卧式布置结构。

依靠循环水泵产生的动力使水循环，这种余热锅炉称为强制循环余热锅炉。从汽包下部引出的水经一台循环水泵加压后进入蒸发器，水在吸收烟气热量后，部分水变成蒸汽发生器

内的汽水混合物经导流管流入汽包，蒸汽再经过热器进入汽轮机。

自然循环余热锅炉，汽包下部有下降管与蒸发器下联箱相连。直立管束吸收烟气热量，有部分水变成蒸汽，由于蒸汽的密度比水的密度小得多，所以在直立管束内，汽和水混合物的平均密度要小于下降管中水的密度，两者密度差形成了水的循环，即下降管内水比较重，向下流动；直立管束内汽水混合物比较轻，向上流动，形成连续的产汽过程。此时，进入蒸发器的水不是靠循环水泵的动力，而是靠流体密度差流动，这称为自然循环。

强制循环余热锅炉的优点：立式布置，占地少，传热效果好，结构紧凑，蒸发器循环倍率小，热惯性小，有利于快速启动和变工况运行；烧重油时，便于布置除灰器，易于除灰。但它的造价高，增加了循环水泵，因而增加了水泵维修工作量。

自然循环余热锅炉造价低，维修工作量小。但卧式布置，占地面积大，启动时间略长。除灰时，容易在下联箱上形成灰的堆积。

一般烧重油的机组选用强制循环较多。对于烧天然气或轻油的机组，两者都可以，按习惯和用户意图选择。通常，在西欧各国传统选用强制循环余热锅炉的较多，而在美国则选用自然循环余热锅炉的较多。

按余热锅炉产生的蒸汽供给汽轮机的压力等级又可分为如下两种：

(1) 单压联合循环—单压级余热锅炉。余热锅炉只产生一种压力的蒸汽供给汽轮发电机组。

(2) 多压联合循环—双压或三压余热锅炉。余热锅炉能产生两种不同压力或多种不同压力的蒸汽供给汽轮发电机组。它从燃气轮机排气中回收更多的热量，因此联合循环效率能提高，但系统较复杂，设备造价高，必须综合考虑各种因素的影响加以选择。通常，燃气轮机排气温度在 538°C (1000°F) 或以下时，选择单压级联合循环。燃气轮机排气温度在 $580\sim 609^{\circ}\text{C}$ 之间时，可考虑选用双压或三压联合循环，同时配备双压或三压再热余热锅炉。

所谓蒸汽再热循环是指蒸汽在汽轮机内膨胀做功，当膨胀到某一较低压力下被重新加热的联合热力循环，一般在燃气轮机排气温度高于 538°C 时采用。

常规联合循环电站，在燃气轮机旁路烟囱和余热锅炉之间，可选用隔离式旁通挡板，也可以选用转向器式旁通挡板；也可以不选用旁通挡板和旁通烟囱，使烟气直接进入余热锅炉。有时，视电站所在地环保法的要求，可考虑在余热锅炉内安装催化还原装置 (SCR)，用来降低 NO_x 的排放。

二、单轴和多轴联合循环机组

联合循环中燃气轮机、蒸汽轮机和发电机的相互布局关系不仅与联合循环电站的总体布置和厂房结构有关，而且还会影响联合循环装置的运行性能、检修方式和投资费用。

当前，各公司制造的联合循环设备有两种基本结构：单轴及多轴。单轴联合循环系统包括一台燃气轮机、一台蒸汽轮机、一台发电机和一台余热锅炉，其中燃气轮机、蒸汽轮机与发电机同轴串联排列。多轴联合循环系统由一台或多台燃气轮机发电机通过各自的余热锅炉向分开的单独的汽轮发电机组供汽，共同组成联合循环系统。

单轴配置的联合循环机组，结构简单，占地面积小，机组制造和投资费用较低，在燃气轮机和汽轮机的安装及商业同步运行的条件下被优先采用，尤其在带基本负荷及中等运行 (4000h/年) 的用途中，单轴的布置方式更为优越。多轴联合循环系统在分期建设项目或集中供热项目中采用较多。

单轴联合循环设备可以有两种常用的设备排列方式。一种方式是在 GE 公司制造的 S106B、S106FA、S107EA 和 S109E 系统中,发电机位于燃气轮机和汽轮机之间,如图 1-4 所示。燃气轮机和汽轮机都有推力轴承,单独控制轴向位置。汽轮机和发电机之间安置有挠性联轴器,补偿发电机和汽轮机间转子的相对运动。燃气轮机排气端(热端)输出功率,侧向排气。这种布置在发电机检修抽芯时,必须起吊汽轮机或发电机。另一种方式如图 1-5 所示,用于如 S109FA 大型单轴联合循环设备。此时,汽轮机处于燃气轮机和发电机之间,只在燃气轮机中有一个单独的推力轴承,控制转子的轴向位置。汽轮机无需通过挠性联轴器与发电机连接。发电机检修抽芯时也无需移动复杂的主机系统。这种排列方式,燃气轮机冷端输出功率,燃气轮机压气机转盘轴的强度尤其会受到考验。

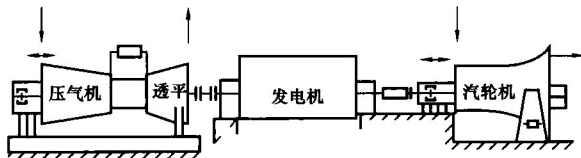


图 1-4 中、小型单轴联合循环设备的排列方式

☞—推力轴承; ☞—挠性联轴器; ☞—基础上的键销

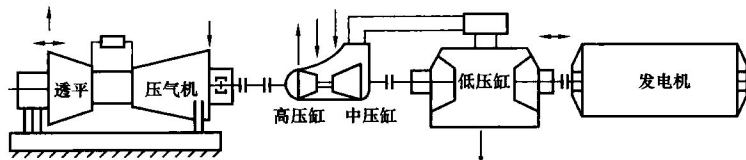


图 1-5 大型单轴联合循环设备的排列方式

☞—推力轴承

图 1-6 所示为 S109FA 机组布置的立体图。

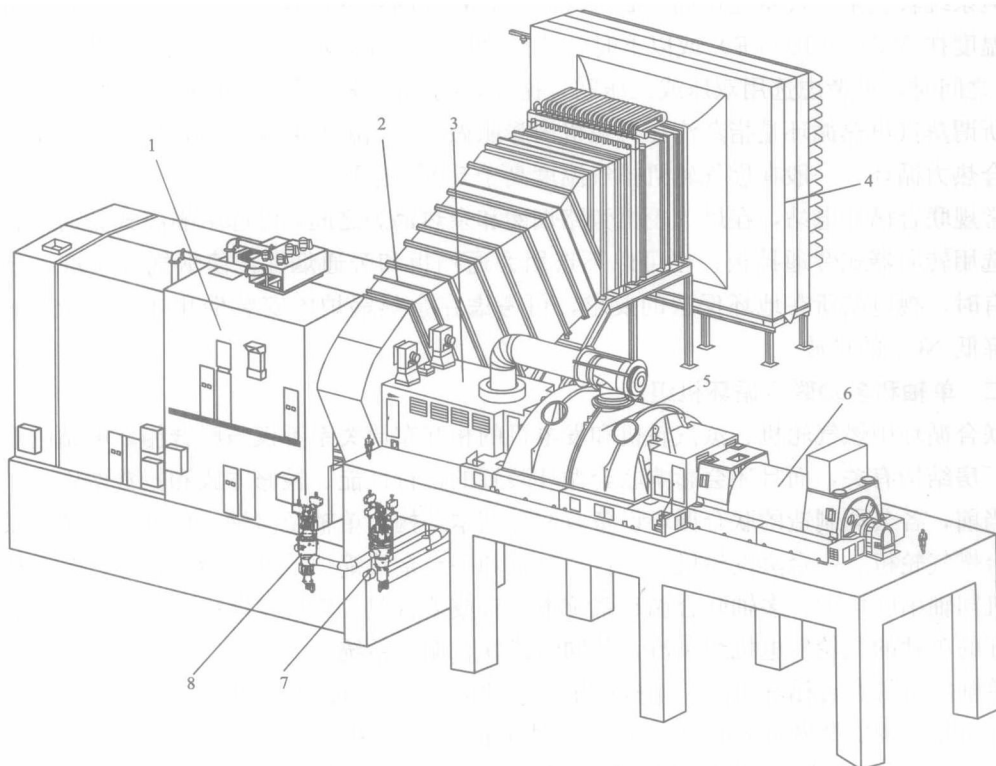


图 1-6 S109FA 机组布置的立体图

1—燃气轮机外箱; 2—燃气轮机进气蜗壳; 3—高/中压汽轮机外箱; 4—燃气轮机进气过滤-消声器;
5—低压汽轮机; 6—发电机; 7—再热蒸汽截止/控制组合阀; 8—高压蒸汽截止/控制组合阀

第三节 支撑与定位

机组的支撑与定位包括底盘的锚定、机组的支撑和滑销系统。

在多轴联合循环装置中，燃气轮机和蒸汽轮机独立布置，且有独立的确保自由膨胀的滑销系统。通常，燃气轮机的前支撑安排在压气机外法兰上，是一块具有弹性的板。后支撑轴向有两个垂直的支撑点，用冷却水冷却，不仅保证轴线的水平，并且轴向是固定的，即燃气轮机在这一点相对于基础的轴向位置是固定的，此位置称为机组的“绝对死点”。而转子相对于静子膨胀的固定点称为机组的“相对死点”，它位于燃气轮机前端的止推轴承的推力面上，如图 1-7 所示。

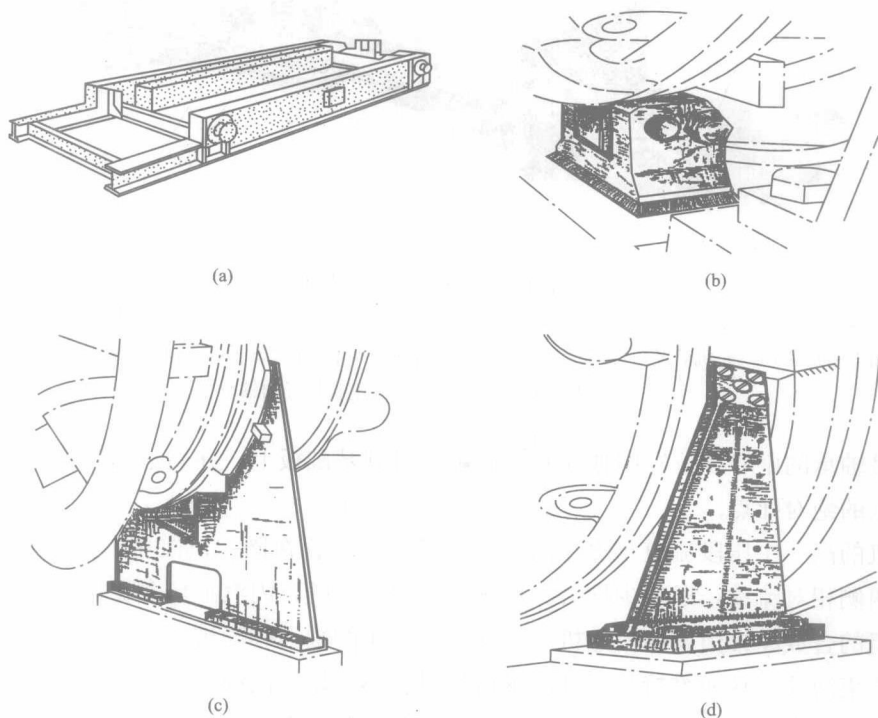


图 1-7 典型的燃气轮机底盘和支撑

(a) 底盘；(b) 凹字形楔和导向销；(c) 前支撑；(d) 后支撑

在单轴联合循环机组中，机组的滑销系统则取决于组成轴系的各轴之间的连接形式。若燃气轮机和蒸汽轮机用挠性联轴器连接，则它们有独立的确保自由膨胀的滑销系统。

如果组成轴系的各轴之间的连接像 S109FA 一样都是刚性的，则它们只有单一的滑销系统。此时燃气轮机支撑要做一些改动，如图 1-8 所示，它的前后支腿可微量移动，并且在压气机前气缸下部增加了复合导向键。在燃气轮机进气缸内筒和汽轮机的前机箱之间左右装有两根可调整的、自对中的轴向连接杆组件，将燃气轮机和汽轮机高压汽缸连接成一个整体。

如图 1-9 所示，径向轴承从燃气轮机端开始，全机组有一只推力轴承，布置在燃气轮机 1 号轴承座中，推力轴承的主推力面构成了该机组的相对死点。含有 3 号轴承的高压前机

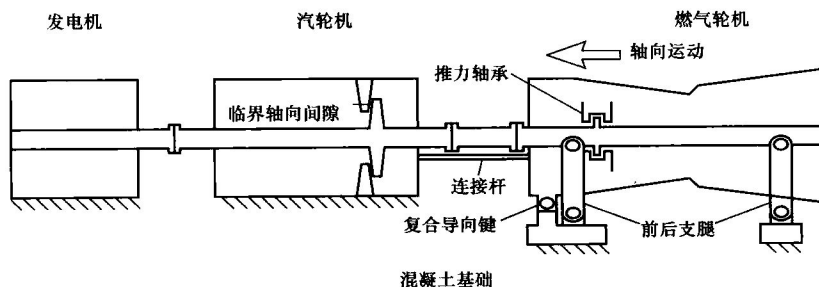


图 1-8 单轴联合循环机组中燃气轮机支撑的改动

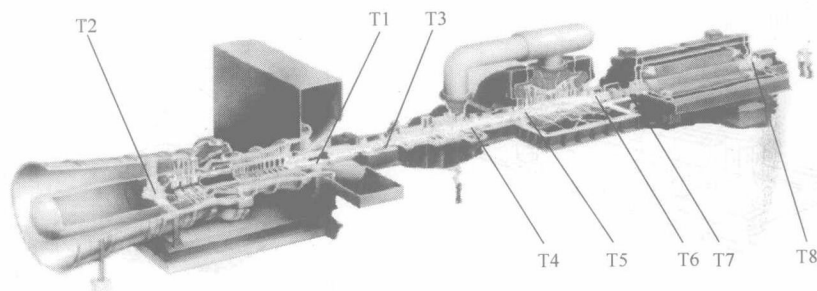


图 1-9 单轴联合循环机组本体轴承布置

T1—燃气轮机前推力/径向复合轴承；T2—燃气轮机后径向轴承；T3—高/中压汽轮机前径向轴承；

T4—高/中压汽轮机后径向轴承；T5—低压汽轮机前径向轴承；T6—低压汽轮机后径向轴承；

T7—发电机前径向轴承；T8—发电机后径向轴承

箱，在3号轴承的中心线位置用轴向和横向键锚接到基础板上，并用地脚螺栓压紧，构成本机组热膨胀的绝对死点。

汽轮机的高—中压段流道布置在同一个转子上，安置在同一汽缸中。高压和中压蒸汽，从中部向两侧相对流动，以减少推力。低压段是双分流的，内汽缸包含在排汽缸中，在正常运行中机组的合成净推力朝向发电机。燃气轮机机座的轴向移动被“连接杆”和固定的高压透平前机箱束缚住，从而维持住设计的蒸汽轮机和燃气轮机的级间间隙。

高—中压透平汽缸前端（高压端）由高压端前机箱支撑并销住在固定的轴向位置上。汽缸的后端（中压端）由中机箱支撑，横向移动受到位于高—中压汽缸和中机架之间的轴向键的束缚，但在轴向可自由滑动以适应壳体的热膨胀。汽轮机3号径向轴承安放在高压前机箱中；4号径向轴承则安放在中机箱上。

中机箱用螺栓固定在低压排汽缸上的垂直机加工法兰上，然后密封焊接，成为排汽缸的整体部分。中机箱的底座可在其基础板上轴向自由滑动，由安装在底座和基础板之间的轴向键导向。

低压排汽缸支撑脚搁置在基础板上。排汽缸由横向中心线上的横向键作轴向定位，但能在这个固定的参考点附近做横向的自由移动，以允许热膨胀。5号和6号低压透平径向轴承座是排汽缸机架的整体部分。排汽缸机架支撑着低压透平内汽缸，由一个导向的塞块和键系统维持着内汽缸和排汽缸的对中，允许它们之间有热膨胀。