

燃气轮机发电机组控制系统 典型故障分析与预控

中国自动化学会发电自动化专业委员会/组编

主编/朱达 主审/尹峰



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

燃气轮机发电机组控制系统 典型故障分析与预控

中国自动化学会发电自动化专业委员会/组编

主编/朱达 主审/尹峰



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书由中国自动化学会发电自动化专业委员会组织，杭州华电下沙热电有限公司主持编写，内容包括火力发电设备与控制系统可靠性统计分析；电源系统故障分析与处理；控制系统硬件、软件故障分析与处理；系统干扰故障案例分析与处理；就地设备异常引发机组故障案例分析与处理；运行、检修、维护不当故障案例分析与预控；燃气轮机发电机组热控系统可靠性优化与预控技术措施等多方面。

本书由国内长期从事火电机组热控专业调试、生产、监督、科研的技术工作者精心编撰而成。它以近10年来全国各发电企业基建与生产过程中发生的燃气轮机控制系统典型故障案例为基础，系统介绍了燃气轮机控制系统故障分析处理过程与防范措施，并从提高燃气轮机控制系统可靠性的角度，提出控制系统的可靠性配置要求与故障的预防与控制措施，以帮助读者快速了解各类燃气轮机典型控制系统故障的现象、成因与预控，并学会针对性的故障分析方法，以指导发电生产实际中的控制系统设计、检修、运行、维护与管理等全过程的可靠性提升工作。

本书适合于从事火电厂设计、安装调试、运行维护技术人员学习，可作为发电厂热控专业的培训教材，也可用作高职高专的热能动力工程和热工自动化专业辅助教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气轮机发电机组控制系统典型故障分析处理与预控/朱达主编；中国自动化学会发电自动化专业委员会组编. —北京：中国电力出版社，2019.1

ISBN 978-7-5198-2949-0

I. ①燃… II. ①朱… ②中… III. ①火力发电—发电设备—内燃机—控制系统—故障诊断 IV. ①TM711.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 024957 号

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：娄雪芳（010—63412375） 马雪倩 柳 璐

责任校对：王小鹏

装帧设计：王红柳

责任印制：吴 迪

印 刷：三河市百盛印装有限公司

版 次：2019 年 3 月第一版

印 次：2019 年 3 月北京第一次印刷

开 本：787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张：17.5

字 数：429 千字

印 数：0001—2000 册

定 价：69.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

作者简介

朱达：主编

朱达，1960年生，浙江杭州人，教授级高级工程师，原为杭州华电下沙热电有限公司总经理。浙江大学毕业后，长期从事发电厂专业技术工作，参与或负责了我国首台9FA燃气-蒸汽联合循环发电工程项目和首套206F级燃气-蒸汽联合循环热电联产机组建设工程、调试、运行和管理的工作。现为全国燃气轮机标准化技术委员会（SAC/TC259）委员、中国华电集团公司第一届汽轮机和燃气轮机专业委员会副主任委员、民进浙江省委员会科技经济委员会委员、浙江电力学会燃气轮机专委会委员。曾获中国电力科技进步三等奖2项和中国华电集团公司科技进步奖一等奖3项。主持或参与多项国家标准及10多项行业标准的编制或审查工作。主持中国华电集团公司大型燃气-蒸汽联合循环发电技术丛书控制系统分册、设备及系统分册的编制或担任主审工作。

苏焱：副主编

苏焱，1979年出生，湖南冷水江人，硕士，高级工程师，现为国网浙江电科院热工技术室副主任，中国自动化学会发电自动化专业委员会委员。2005年进入国网浙江省电力有限公司电力科学研究院工作，先后从事大型火电机组调试、设计、科研、生产服务、技术监督与专业管理工作，负责过多台燃气轮机联合循环机组的调试和改造工作。曾获得省部级科技奖2项，主要参与制定和修订行业标准5部，发表论文20余篇。

俞军：副主编

俞军，1968年出生，浙江杭州人，本科，高级工程师，现为华电浙江龙游热电有限公司执行董事。1986年进入中国华电半山发电公司工作，长期从事大型火电机组、燃气-蒸汽联合循环机组的控制系统检修、调试、技改工作。曾负责浙江省内首台125MW机组DCS系统改造工作，曾获得省部级科技奖2项，发表论文10余篇。

陈海文：副主编

陈海文，1979年出生，浙江杭州人，本科，工程师，现为华电浙江龙游热电有限公司副总经理。从事多年生产、工程管理、科技管理工作；主持及参与多项煤机、燃气机组检修技改、科技项目，获得省部级科技、管理创新类奖项3项、浙江电力科技奖2项，取得专利1项；作为主要编写人员完成著作、行业及团体标准3部，发表论文3篇。

孙长生：副主编

孙长生，1954年7月出生，安徽桐城人，硕士，高级工程师；1972年进入浙江省火电建设公司工作，1987年调入浙江省电力试验研究所（现为国网浙江省电力公司电力科学研

究院)工作至今。现为中国自动化学会理事兼发电自动化专业委员会秘书长,电力行业热工自动化与信息标准化技术委员会、中国能源研究会智能发电专业委员会、中国仪器仪表学会产品信息委员会副秘书长。

曾获省部级科技奖和浙江省电力科技奖各4项。中国自动化学会“2012年中国自动化领域年度人物”;建立《电厂热工自动化》网站;主持制定或主要编制国家标准2部、电力行业标准5部、完成编写IEEE标准3册;主编或组织专业书编写出版30余本。

《燃气轮机发电机组控制系统典型故障分析处理与预控》

编写单位

杭州华电下沙热电有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、中国华电集团浙江公司、中国华电集团公司、南京工程学院、华电江苏戚墅堰发电有限公司、京能高安屯燃气发电有限责任公司、浙江能源集团技术研究院、浙江大唐国际江山新城热电有限责任公司、江苏国信淮安燃气发电有限责任公司

编审人员

主编：朱 达

副主编：苏 烨 俞 军 陈海文 孙长生

参 编：丁智华 金向阳 王凤明 胡建根 丁俊宏 方建勇

陈 昊 梁华锋 刘晓亮 齐桐悦 章 祺 胡伯勇

张中林 吉 杰 张瑞臣 周屹民 周晓宇 俞立凡

吴龙剑 孙坚栋 王 蕙 黄 荣 邹 健

主 审：尹 峰

前 言

在中国自动化学会发电自动化专业委员会的组织下，杭州华电下沙热电有限公司主持了本书的编写工作，成立了《燃气轮机发电机组控制系统典型故障分析处理与预控》编写组。编写组经过仔细斟酌，多次讨论，决定将写作重点放在全国范围内的燃气轮机机组热控故障案例收集分析、控制系统可靠性配置以及故障的预防与控制方面。另外，考虑到当前数据利用领域的快速发展，利用机组在线运行数据对机组控制系统进行故障诊断与预警将是一个重要的发展方向，在书中对部分案例也做了简要介绍，供电力行业热控同行参考借鉴。

本书项目组在收集整理中国自动化学会发电自动化专业委员会组织的历次热控故障分析研讨会资料以及全国燃气轮机各发电企业热控故障典型案例材料的基础上，结合近年来编写组成员开展的相关科研与技术工作成果，组织编撰完成。为了帮助读者更好地理解燃气轮机机组控制系统可靠性提升与故障预控技术措施，本书的第一章简要介绍了可靠性的基础知识、电站热控系统可靠性的分析与管理，以及火电厂控制系统故障的分类与分级；第二章至第六章根据电站热控系统典型故障的成因，从电源系统故障、控制系统硬件与软件故障、系统干扰故障、就地设备异常故障及运行、检修、维护不当引发的机组故障等5个大的方面对控制系统的典型故障案例进行了系统全面的分析，并对故障处理与预防控制的技术措施做了针对性的介绍；第七章主要从系统配置与技术管理角度介绍了提高控制系统可靠性的重点配置与完善要求，控制系统故障应急预案的编制要求，以及基本控制功能与性能的可靠性评估方法。

本书介绍的各类典型故障案例均是自各类型进口与国产DCS产品在各等级与类型火电机组上应用实践的第一手资料，在编写整理中，除对一些案例进行实际核对发现错误而进行修改外，尽量对故障分析查找的过程描述保持原汁原味，尽可能多地保留故障处理过程的原始信息，以供读者更好地还原与借鉴，因此在文字表达上可能会不够统一或不尽完美，且鉴于编者水平所限，书中尚有表达不当之处，请读者见谅。

本书由朱达、苏烨、俞军、孙长生、陈海文总体统筹协调参编单位与人员的编写任务，负责书稿的组织编排及技术把关。全书共分七章，第一章由朱达、周晓宇、齐桐悦编写；第二章由俞军、陈海文、周屹民、孙坚栋编写；第三章由苏烨、金向阳、邹健编写；第四章由刘晓亮、章褪、陈昊编写；第五章由丁俊宏、梁华锋、俞立凡、王蕙、黄荣编写；第六章由胡建根、丁智华、王凤明、吉杰编写；第七章由胡伯勇、方建勇、张瑞臣、吴龙剑编写。此外，苏烨、孙长生负责了全书的编排，张中林、陈海文、丁俊宏、孙坚栋负责了全书技术内容的平衡和修改完善；朱达、王凤明、丁智华、孙长生主持了全书结构框架、各章节内容的讨论、审查和确认。本书由教授级高级工程师尹峰主审。

本书编写过程得到了各参编单位领导的大力支持，参考了大量的技术资料、学术论文、研究成果、规程规范和网上素材，中国自动化学会发电自动化专业委员会专家们在审查中提出了许多宝贵意见，在此一并表示感谢。

最后，感谢参与本书策划人员和幕后工作人员！存有不足之处，恳请广大读者不吝赐教。

目 录

前言

第一章 火力发电设备与控制系统可靠性统计分析	1
第一节 2017 年火力发电机组与设备可靠性分析	1
第二节 燃气轮机机组控制系统与设备可靠性分析	8
第二章 电源系统故障分析与处理	17
第一节 电源系统设计与装置硬件故障案例	17
第二节 检修维护不当引起电源故障案例	22
第三章 控制系统硬件、软件故障分析与处理	28
第一节 控制系统设计配置不当引起机组故障案例	28
第二节 模件通道故障引发机组故障案例	40
第三节 控制器原因引发系统运行异常案例	46
第四节 网络通信系统故障案例	51
第四章 系统干扰故障案例分析与处理	67
第一节 雷电干扰引起的案例分析	67
第二节 现场干扰事件分析	70
第五章 就地设备异常引发机组故障案例分析与处理	78
第一节 执行设备异常引发机组故障	78
第二节 测量取样装置与部件故障	84
第三节 测量仪表异常引发机组故障	90
第四节 管路故障引发机组运行异常	120
第五节 线缆故障引发机组运行异常	130
第六节 部件异常引发机组故障	140
第六章 运行、检修、维护不当故障案例分析与预控	163
第一节 安装、维护工作失误引发机组故障案例分析	163
第二节 运行和机务操作不当引发机组故障案例分析	190
第三节 相关专业故障案例分析	214
第七章 燃气轮机发电机组热控系统可靠性优化与预控技术措施	239
第一节 燃气轮机发电机组热控系统可靠性优化	239
第二节 燃气轮机发电机组热控系统可靠性预控	245

第一章 火力发电设备与控制系统可靠性统计分析

随着能源结构优化、环境保护以及电网调峰需要，燃气轮机机组得到了快速发展，但同时也伴随着各式各样问题出现。这些问题涉及各专业和天然气质量等方方面面，尤其是热控系统可靠性，对燃气发电机组的安全稳定运行影响很大，一旦热控系统发生故障，就有可能引发燃气机组跳闸事件，造成电厂的经济损失和不良社会影响。

近年来，虽然发电机组安全生产总体情况较为平稳，但安全生产形势依然不容乐观，特别是环保技改工程和企业转型的深入，发电机组调峰任务日趋严峻，发电企业已进入“弱开机、低负荷、强备用、长调停、深调峰”新常态，由此导致燃气轮机机组热控系统故障时有发生，影响了机组安全运行。虽然因素很多，但主要与各类人员自身安全意识淡薄、检修维护工作不严谨、运行巡检不到位、验收把关不严等有关。因此，如何通过对热控系统典型故障案例的统计分析，及早发现设备缺陷和潜在隐患，并有效加以预控，避免事态的进一步发展扩大，提高热控系统的健康状态，是摆在热控专业面前的一项艰巨的任务。

本章通过 2017 年火力发电总体形势和火电机组可靠性概要情况介绍，对 2017 年火力发电机组与设备可靠性进行了分析。在调研、收集全国近年来燃气轮机机组热控专业原因引起的控制系统故障、处理经验与教训的基础上，进行了燃气轮机机组控制系统与设备可靠性分析，提出反事故措施。

第一节 2017 年火力发电机组与设备可靠性分析

电力可靠性是国民建设与生产的保证。为加强电力可靠性监督管理，提高电力系统和电力设备可靠性水平，保障电力系统安全稳定运行和电力可靠供应，国家能源局实施《电力可靠性监督管理办法》，每年统一发布年度全国电力可靠性指标和电力可靠性评价结果。2017 年电力可靠性指标发布会，由国家能源局和中国电力企业联合会联合在北京召开，会议要求加强可靠性数据准确性等基础工作，深化拓展电力可靠性工作。

目前，我国仍以火力发电机组为主，因此火力发电机组与设备的可靠性，直接影响着电力可靠性。为此本节根据中国电力联合会统计数据，对 2017 年火力发电机组与设备可靠性分析，供电厂有关人员参考。

一、2017 年火力发电总体形势

2017 年，全国发电量 64179 亿 kWh（同比增长 6.5%），其中，火电 45513 亿 kWh（同比增长 5.2%）；水电 11945 亿 kWh（同比增长 1.7%）；核电 2483 亿 kWh（同比增长 16.5%）；风电 3057 亿 kWh（同比增长 26.3%）；太阳能发电 1182 亿 kWh（同比增长 75.4%）。

2017 年，全国发电装机容量为 177708 亿 kW，比同增长 7.7%，其中，火电为 110495

万 kW，同比增长 4.2%（其中煤电 98130 万 kW，同比增长 3.7%）；水电为 34358 万 kW，同比增长 3.5%（其中抽水蓄能 2869 万 kW，同比增长 7.5%）；核电为 3582 万 kW（同比增长 6.5%）；风电为 16325 万 kW（同比增长 10.7%）；太阳能发电为 12942 万 kW，同比增长 69.6%（其中分布式光伏发电 2966 万 kW）。

如果概括性总结一下 2017 年火力发电的总体形势，应该看到，由于受电源结构持续优化调整、节能减排政策和国内部分地区产能过剩的影响、发电运营成本控制压力的影响以及非化石能源发展的快速增长的影响，尽管电力生产增速较快，但结构性调整明显，新能源发电增量贡献明显，利用小时数同比增幅较大；火电机组的利用小时数同比有所回升，图 1-1 为发电设备历年平均利用小时数，2017 年全国 6000kW 及以上发电设备利用小时完成 3790h，同比增加 5h；全国火电设备利用小时数为 4219h，同比增加 54h。图 1-2 历年火电发电利用小时数（6MW 以上）。

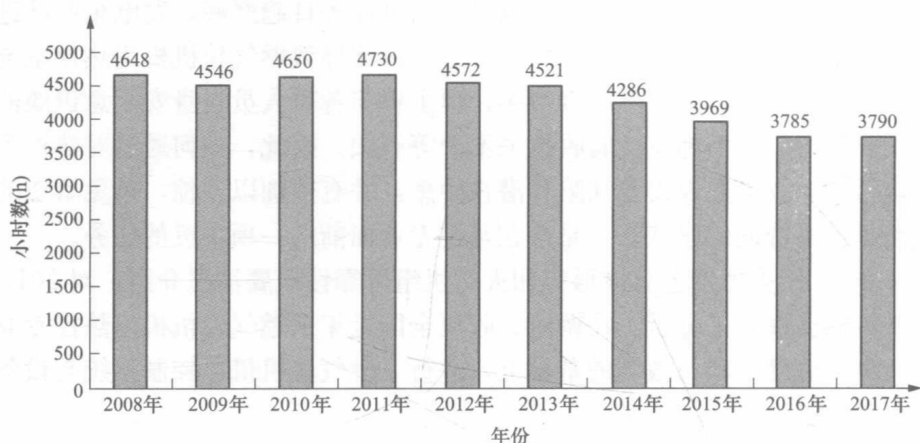


图 1-1 发电设备历年平均利用小时数

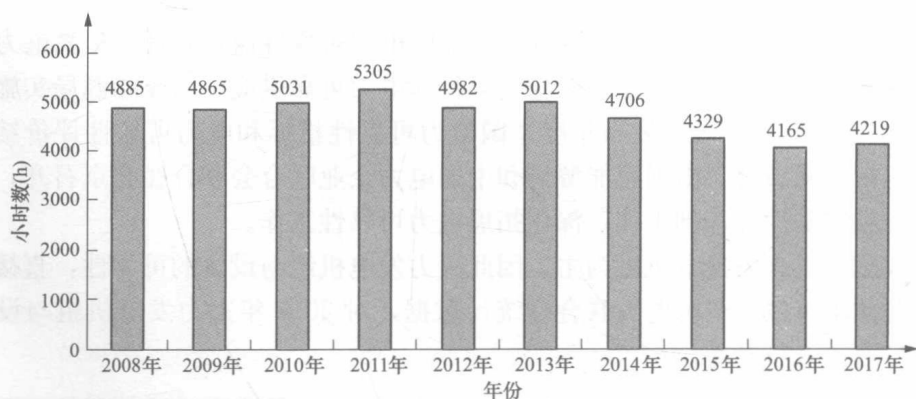


图 1-2 历年火电发电利用小时数（6MW 以上）

2017 年全国总体发电设备发电情况为：

(1) 火电装机容量占比逐年降低，2017 年火电装机占总装机容量的 62.18%，相比 2016 年增长 4.15%，连续 4 年增长比例降低。火电发电利用小时数增速远低于净增装机容量，2017 年火电发电利用小时数同比仅增加 1.05%。

(2) 水电装机容量达到 34358 万 kW, 同比增长 3.5%, 完成“十三五”规划目标的 36%。发电量完成 11931 亿 kWh, 同比增长 1.6%。水电消纳问题有所缓解, 但四川、云南两省弃水电量仍较高。

(3) 风电三年来首次实现弃风电量和弃风率“双降”。全国弃风电量 419 亿 kWh, 同比减少 78 亿 kWh; 弃风率 12%, 同比下降 5.2 个百分点。宁夏和辽宁地区弃风率降至 10% 以下。

(4) 太阳能装机容量达 1.3 亿 kW, 超出“十三五”规划目标 30%; 太阳能发电工程造价大幅降低 26%, 光伏“领跑者”基地中标价最低已达到 0.31 元/kWh。

(5) 核电装机容量占发电总装机容量比例较上一年度降低 0.02 个百分点, 连续两年没有核准新的核电项目(除示范快堆项目外), 核电投资规模也连续两年下降, 2017 年核电净增容量仅 218 万 kW。

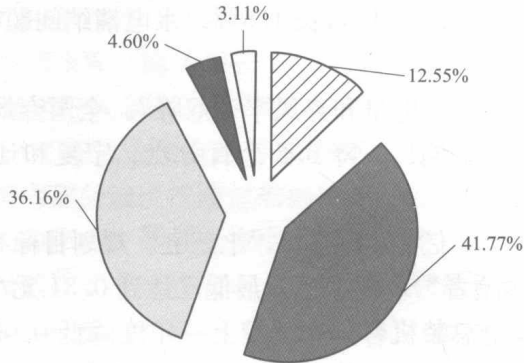
火电机组发电权重及利用小时数增速下降, 一方面是仍然反映了装机过剩的现状, 另一方面也反映了原来煤电行业以 5500 利用小时数作为盈亏平衡点测算的边界因素也在悄然发生变化, 因而应当重新审视机组利用小时数对发电行业盈利能力权重评估的影响。因为, 随着“十三五”期间经济结构和电力生产结构的深入调整, 未来水电、风电、光伏等非化石能源装机规模和发电量将不断增加, 煤电利用小时数将进一步做政策性缩减, 为实现风光消纳, 煤电机组将逐步由提供电力、电量的主体性电源向提供可靠电力、调峰调频能力的基础性电源转变。另外, 火电未来的盈利方向也会从电量转向“电量+容量”并重, 通过为电力市场提供高效低成本的调频、调峰服务来获取额外收益, 届时机组利用小时数低可能就不代表整体盈利水平低。但无论怎样, 目前的电力市场和电源供给形势迫使所有的发电公司仍然必须以保证发电设备稳定运行多接带负荷、争取提高机组对电网调峰调频适应能力来提升和保证企业盈利能力, 因而强化设备维护治理、及时消除设备缺陷、减少机组非计划停运次数仍是发电企业的一项非常重要的工作。

热工自动化专业工作质量对保证火电机组安全稳定经济运行至关重要, 特别是在实现火电机组安全稳定经济运行、机组深度调峰、机组灵活性提升、超低排放以及节能改造等关键技术措施落实方面, 其作用十分重要。在当前发电运营模式与形势下, 增强机组调峰能力、缩短机组启停时间、提升机组爬坡速度, 增强燃料灵活性、实现热电解耦运行及解决新能源消纳难题、减少不合理弃风弃光弃水等方面仍是热控专业需要探讨与研究的重要课题, 许多关键技术亟待突破, 特别是在如何提高热控设备与系统可靠性方面, 还有许多工作要做, 因为这是直接关系到能否有效拓展火电机组运行经营绩效的基础保证问题。

二、2017 年火电机组可靠性概要情况

根据国家能源局和中国电力企业联合会发布的数据统计, 2017 年纳入可靠性管理的燃煤机组 1756 台, 燃气机组 167 台; 纳入可靠性统计的 1000MW 容量机组 91 台, 600MW 容量等级机组 489 台, 300MW 等级机组 825 台, 200MW 容量等级机组 163 台, 100MW 容量等级机组 168 台。装机容量占比见图 1-3。

(1) 火电 1000MW 以上容量机组为 91 台, 同比增加 11 台, 等效可用系数 92.7%, 同比增加 1.11 个百分点; 台平均利用小时数 5007.4h, 同比增加 154.8h; 强迫停运次数 0.42 次/台年, 同比增加 0.09 次/台年。



注: □—1000MW; ■—600MW; ▨—300MW; ■—200MW; □—100MW

图 1-3 装机容量占比

(2) 火电 600MW 以上容量机组 489 台, 同比增加 15 台, 等效可用系数 92.5%, 同比增加 0.7 个百分点 (主要是计划停运多)。

(3) 火电 300MW 以上容量机组 825 台, 同比增加 6 台, 等效可用系数 93.16%, 同比降低 0.7 个百分点; 非计划停运和等效强迫停运率与去年同期比增长趋势明显, 非计划停运时间同比增加 29.2h/台年。

2017 年, 燃煤机组共发生非计划停运 1124 次, 非计划停运总时间为 95925.67h, 台年平均分别为 0.65 次和 52.59h, 同比分别增加 0.3 次、34.87h。其中持续时间超过 300h 的非计划停运共 58 次, 非计划停运时间 37333.35h, 占全部燃煤机组非计划停运总时间的 38.92%。2017 年全国火电机组非计划停运及同比见表 1-1。

表 1-1 2017 年全国火电机组非计划停运及同比

年度	非停台次 (次)	非停时间 (h)	平均非停台次 (次/台年)	平均非停时间 (h/台年)
2017 年	1124	95925.67	0.65	52.59
2016 年	605	34983.32	0.35	17.72
同比	519	60942.35	0.3	34.87

从 2017 年机组可靠性可以看出, 2017 年火电机组利用小时同比增加了 1.05%, 非计划停运次数同比增加 519 次, 随着火电装机容量增加以及季节性发电形势差异, 火电机组可靠性呈下降趋势。

2017 年, 前三类非计划停运即强迫停运发生 972 次, 强迫停运总时间 70148.8h, 占全部燃煤机组非计划停运总时间的 73.13%。强迫停运平均 0.57 次/台年和 35.59h/台年。

三大主设备引发非计划停运的比重见表 1-2。由表 1-2 可见, 在三大主设备中, 锅炉引起的非计划停运台年平均为 0.22 次和 23.71h, 占全部燃煤机组非计划停运总时间的 43.4%, 为主要的非计划停运的部件。锅炉、汽轮机、发电机三大主设备引发的非计划停运占非计划停运总时间的 57.36%。

表 1-2 三大主设备引发非计划停运的比重

序号	主设备	停运次数 (次/台年)	停运时间 (h/台年)	百分比 (%) ^①
1	锅炉	0.22	23.71	43.4
2	汽轮机	0.09	5.33	9.75
3	发电机	0.05	2.30	4.21

① 百分比：占机组非计划停运时间的百分比。

按照造成发电机组非计划停运的责任原因分析，产品质量不良为最主要因素，占总非计划停运时间的 24.91%，其次为设备老化，占总非计划停运时间的 20.76%，前五位主要原因造成的非计划停运时间占总数的 82.2%，见表 1-3。

表 1-3 非计划停运的前五位责任原因

序号	责任原因	停运次数 (次/台年)	停运时间 (h/台年)	百分比 (%)
1	产品质量不良	0.18	13.61	24.91
2	设备老化	0.08	11.34	20.76
3	检修质量不良	0.09	7.56	13.84
4	燃料影响	0.06	7.48	13.69
5	施工安装不良	0.06	4.92	9.00

2017 年按照燃煤机组非计划停运事件持续时间长短划分为五类，停运次数最多的是小于 10h 的非计划停运事件，并且大部分是强迫停运事件，占燃煤机组总非计划停运次数的 36.92%，其次在 10~100h 的区间内，占燃煤机组总非计划停运次数的 36.83%，表 1-4 给出了非计划停运事件按持续时间划分表。

表 1-4 非计划停运事件按持续时间划分表

火电机组非计划停运时间 (h)	停运总次数 (次)	占停运次数百分比 (%)
<10	215	36.92
10~100	214	36.83
100~500	268	23.84
500~1000	19	1.69
1000	8	0.71

注 各分级数值范围中，下限值包含，上限值为不包含。

2013~2017 年 200MW 及以上容量火电机组主要辅助设备（磨煤机、给水泵组、送风机、引风机和高压加热器）运行可靠性情况见表 1-5。

表 1-5 近五年火电机组主要辅机设备运行可靠性指标分布

辅助设备分类	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	计划停运系数 (%)	非计划停运系数 (%)	非计划停运率 (%)	
磨煤机	2013 年	5242	65.10	92.45	7.41	0.13	0.20
	2014 年	5509	60.61	92.68	7.78	0.02	0.13
	2015 年	5830	56.11	93.71	6.23	0.05	0.09
	2016 年	6211	53.73	92.94	7.01	0.05	0.09
	2017 年	6700	55.15	93.73	6.23	0.05	0.09

续表

辅助设备分类	统计台数 (台)	运行系数 (%)	可用系数 (%)	计划停运系数 (%)	非计划停运系数 (%)	非计划停运率 (%)	
给水泵组	2013年	3036	53.25	93.23	6.71	0.06	0.12
	2014年	3110	51.62	93.29	6.36	0.02	0.09
	2015年	3332	48.14	94.29	5.68	0.03	0.06
	2016年	3495	46.31	93.99	5.97	0.04	0.08
	2017年	3727	46.42	94.29	5.67	0.03	0.07
送风机	2013年	2184	79.16	93.14	6.85	0.01	0.01
	2014年	2244	75.23	93.22	6.60	0.01	0.01
	2015年	2388	70.71	94.10	5.89	0.01	0.01
	2016年	2511	66.69	93.50	6.50	0.00	0.00
	2017年	2669	67.72	94.18	5.82	0.00	0.01
引风机	2012年	2112	78.91	94.86	5.10	0.03	0.03
	2013年	2174	78.86	93.17	6.80	0.03	0.03
	2014年	2257	75.12	93.17	6.54	0.01	0.03
	2015年	2418	70.20	94.30	5.93	0.03	0.05
	2016年	2556	66.73	93.60	6.39	0.02	0.00
	2017年	2734	67.58	94.06	5.92	0.03	0.04
高压加热器	2013年	3278	78.95	93.16	6.73	0.11	0.14
	2014年	2423	75.17	93.13	6.81	0.17	0.10
	2015年	3626	69.97	94.22	5.73	0.05	0.07
	2016年	3854	66.37	93.82	6.13	0.05	0.07
	2017年	4121	67.44	94.13	5.83	0.04	0.06

2013~2017年五种辅助设备的可用系数见图 1-4。

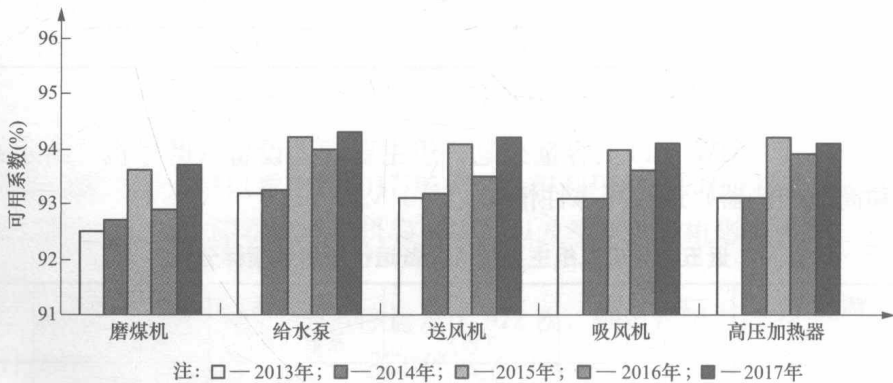


图 1-4 2013~2017 年五种辅助设备的可用系数

图 1-4 反映出 2017 年五种辅助设备的可用系数与同期比有所提高, 设备可靠性能得到控制。但五大设备平均可靠性指标均低于 95%, 且五大设备之间的可靠性指标差异较大, 其中磨

煤机的可用系数指标最不理想，只达到了 93.7%，是五种辅机中可用系数最低的附属设备，发生故障概率较大，停运时间也较多。说明主要辅机的管理与维护仍存在一定的问題。

2013~2017 年五种辅助设备的运行系数见图 1-5。

图 1-5 反映出近几年来五种辅助设备中，引风机、送风机及高压加热器的运行系数呈下降态势，在 2017 年达到最低值；磨煤机和给水泵的运行系数同比有所升高，但与历史最优值之间仍存在较大差距。

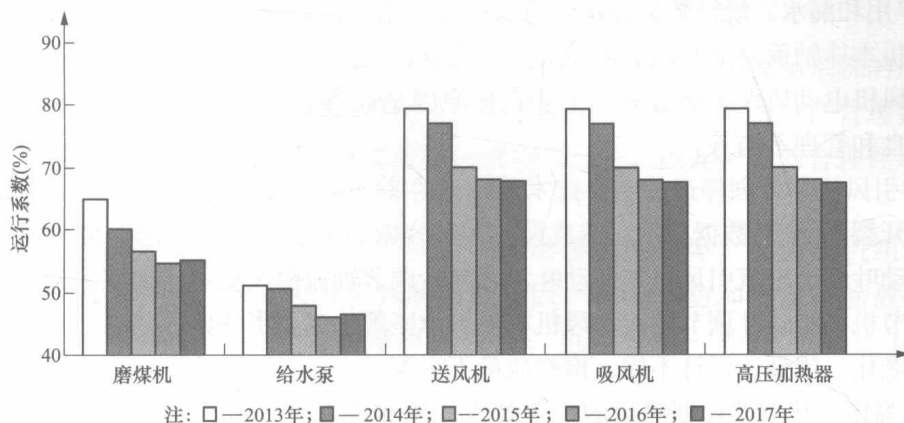


图 1-5 2013~2017 年五种辅助设备的运行系数

2013~2017 年五种辅助设备的非计划停运率见图 1-6。

图 1-6 反映出五种辅助设备中，引风机、给水泵和高压加热器的非停率逐年降低。近年来虽然磨煤机发生非计划停运率高于其他辅机，但 2015 年以来总体趋势持平；2017 年引风机的非计划停运率较同期比升高 0.04 个百分点。给水泵和高压加热器的非计划停运率与同期比呈下降趋势。

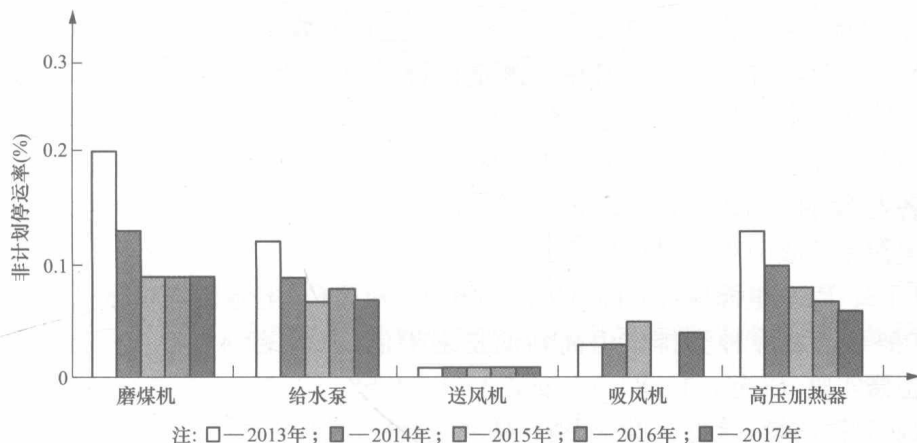


图 1-6 2013~2017 年五种辅助设备的非计划停运率

2017 年磨煤机非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是漏粉、堵塞、磨损（机械磨损）、振动大和损坏（设备零件破损）。造成设备频繁故障的主要设备部件前五位的是双进双出低速钢球磨、磨煤机电机冷却器、双进双出低速钢球磨本体螺旋筒、辊-环式（PMS）中速磨本体、辊-碗式（HP）中速磨本体出口管。主要责任原因是设备老化、燃料

影响、产品质量不良、检修质量不良及管理不当等。

2017年给水泵非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是漏水、断裂、模式（机械磨损）、振动大和脱落。统计数据显示，造成设备频繁故障的主要设备部件前五位的是给水泵本体尾盖故障、给水泵本体叶轮损坏、给水泵电动机风扇、给水泵液力耦合器泵轮及给水泵本体损坏。主要责任原因是设备老化、产品质量不良、检修不良、运行不当和管理不当等。

2017年送风机非计划停运的主要技术原因排在前五位的是断裂、松动、磨损（机械磨损）、保护停用和漏水。统计数据显示，造成设备频繁故障的主要设备部件前五位的是动叶可调轴流送风机本体轴承、动叶调节油站故障、离心式风机本体入口风箱、动叶可调轴流冷却水系统以及送风机电动机保护装置等。主要责任原因是设备老化、产品质量、规划、设计不周、检修质量不良和管理不当等。

2017年引风机非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是松动、失灵、卡涩、断裂以及裂纹（开裂）。统计数据显示，造成设备频繁故障的主要设备部件前五位的是离心引风机本体轴承、动叶调节轴流引风机本体动叶片、静叶调节轴流引风机本体故障、静叶调节轴流引风机本体调节机构和动叶调节轴流引风机本体轴承座等。主要责任原因是产品质量不良、运行不当、设备老化、规划、设计不周、检修质量不良等。

2017年高压加热器非计划停运的主要技术原因排在前五位的分别是漏水、腐蚀、磨损爆（泄）漏、漏汽和开焊。统计数据显示，造成设备频繁故障的主要设备部件前五位的是高压加热器U形管、高压加热器管板、疏水管道、高压加热器筒体以及高压加热器汽侧安全门阀体等。主要责任原因是设备老化、产品质量不良、管理不当、检修质量不良、施工安装不良等。

2017年火电机组热控设备可靠性情况可以从中国自动化学会发电自动化专业委员会组织收集到的涉及国内各主要发电集团热控相关故障案例调查中做出定性分析。2017年全国火电机组由于热控设备（系统）原因导致机组非计划停运（根据调查统计148起典型案例）的主要原因分布是：测量执行系统故障（52起，占35.1%）、控制系统软硬件故障（44起，占29.7%）、电源系统故障（19起，占12.8%）、运行检修维护不当（19起，12.8%）、线缆管路故障（14起，占9.5%）。其中，测量执行系统故障种类排位由高到低是测量表计（20起，38.5%）、独立仪表（16起，31%）、执行机构（6起，11.5%）、取样部件（5起，9.6%）、干扰（5起，9.6%）；控制系统软硬件故障种类排位由高到低是组态软件（18起，40.9%）、各类模件（12起，27.3%）、设计配置（8起，18.2%）、网络通信（6起，13.6%）；电源系统故障种类排位由高到低是失电（7起，36.8%）、UPS电源故障（5起，26.3%）、ETS、PLC电源模件故障（5起，26.3%）、DCS电源模件故障（2起，10.5%）；运行检修维护不当故障种类排位由高到低是维护消缺（9起47.4%）、运行操作（6起，31.6%）、检修实验（3起，15.8%）、安装不当（1起，5.3%）；线缆管路故障种类排位由高到低是取压管路冻堵（4起，28.6%）、接线松动（3起，21.4%）、信号线缆烫坏、破损（3起，21.4%）、密封圈泄漏（2起，14.3%）、管路与阀门裂纹（2起，14.3%）。

第二节 燃气轮机机组控制系统与设备可靠性分析

燃气轮机及其联合循环的控制系统都是采用计算机和微处理机的自动控制系统。它们由计算机和微处理机的电子硬件、软件、网络及现场测量与控制仪表构成，具有一定的寿命周

期和质量周期,使用方法和维护方法常常存在各自的要求。因此,燃气轮机机组控制系统与设备可靠性也就涉及其构成部分的方方面面:

(1) 燃气轮机控制系统的设计、制造、配套、运行中均可能出现某些缺陷或者不完善之处,运行维护方面或多或少存在一些需要逐步熟悉的过程。不可避免会发生各种各样的故障,有些故障极具偶然且具有不可重复性。此外,燃气-蒸汽联合循环电厂存在多家多种自动控制产品共存现状,接口众多、路径复杂、技术平台各异,网络结构和通信协议复杂,用户使用的管理烦琐等。这些均成为燃气轮机电厂潜在故障起因。

(2) 现代燃气轮机电厂任何一个事故的发生,事故分析需要调用控制系统的历史追忆数据,作为故障分析和事故处理的依据。控制系统还承担燃气轮机电厂的生产管理数据和故障诊断中心所需要数据的收集、报警及历史数据的管理等任务,因此配置的合理性对于整个电厂而言是至关重要的。

(3) 由于控制系统和就地测量仪表以及各种自动装置的故障,会造成机组运行异常,发生跳闸或者停运的事故。如何去分析判断故障原因,提出预防和迅速排除故障的措施,从故障源头处消除缺陷,避免类似故障再次发生,也是任何一个电厂安全生产运营的关键。

(4) 工作人员素质也是机组可靠性的一个重要因素。随着减人增效深入,热控试验与维护工作松懈或流于形式,使不少热控设备存在着严重的安全隐患,同时也因人员培训重视程度不足,使得人员的安全与检修维护规范性意识欠缺,导致人员原因引起的故障时而发生。

本节内容对收集的全国发电企业燃气轮机联合循环机组,因热控原因引起或与热控相关的机组故障案例近 130 例,进行了分类统计和分析,从中总结提出了提高发电厂热控系统可靠性预控措施,以供专业人员通过这些典型案例的分析、提炼和总结,去积累故障分析查找工作经验,拓展案例分析处理技术和优化完善控制逻辑预控措施制定时参考。

因此在平时的基础上,进一步启动了各集团燃气轮机联合循环机组热控系统运行可靠性、故障原因分析及处理案例的调研与收集。在各发电集团、电力科学研究院和相关电厂的支持下,共收集了 150 多起,从中筛选涉及系统设计配置、安装、检修维护及运行操作等方面的 95 起典型案例,进行了整理、汇编和统计分析。

一、热控系统故障原因统计分析

燃气轮机机组控制系统可靠性涉及设计、制造、监造、安装、调试、运行、维护、检修和管理。本节对收集的 95 起热控系统典型故障引起机组异常事件的原因分类统计,见图 1-7。

由图 1-7 可见,就地设备异常排第一位,运行检修维护故障排第二位,其次是控制系统硬件和软件故障。

1. 控制系统硬件软件故障统计分析

收集统计的控制系统硬件软件故障 20 起,分类见图 1-8。

由图 1-8 可见,网络通信故障是影响控制系统安全运行的重要因素,其次是设计配置和模块故障。

(1) 8 起网络通信故障详细分类见表 1-6。