

1000MW

超超临界机组调试技术丛书

热工

江苏方天电力技术有限公司 编



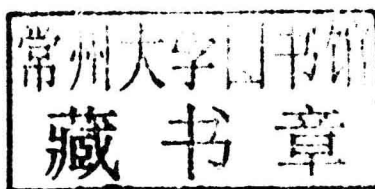
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

1000MW

超超临界机组调试技术丛书

热工

江苏方天电力技术有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《1000MW 超超临界机组调试技术丛书》是一套全面介绍我国目前发电机组调试和运行技术的著作,由江苏方天电力技术有限公司长期从事电源基建调试和技术服务的专家和技术人员,根据多台 1000MW 机组的调试经验汇集精心编撰而成。

《1000MW 超超临界机组调试技术丛书 热工》从热工各控制系统的基础知识入手,详细地介绍了各系统的构成,总结了各系统的调试内容和调试方法,并归纳和分析了调试中经常出现的问题。

本书可供从事超(超)临界机组热工调试、检修的工程技术人员及管理人员学习阅读,为同类型机组热工设备及系统的调试、运行、维修提供借鉴及参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工/江苏方天电力技术有限公司编. —北京:中国电力出版社, 2016. 10

(1000MW 超超临界机组调试技术丛书)

ISBN 978-7-5123-9227-4

I. ①热… II. ①江… III. ①超临界机组-热工学 IV. ①TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 080786 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 10 月第一版 2016 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 613 千字

印数 0001—2000 册 定价 88.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

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

编 委 会

主 任 陈 晟

副主任 水为涟 许焕清 吉 宏 孔珍宝 李为中 彭祖辉 张红光

徐建军 翟学锋 陈建康 张绍宾

委 员 (按姓氏拼音排序)

丁建良 范立新 高 远 高绥强 管诗骅 华 伟 黄 磊

蒋一泉 李 军 李夕强 鲁松林 帅云峰 孙 虹 孙和泰

孙栓柱 王成亮 徐 钢 张恩先

编写组 (按姓氏拼音排序)

蔡 亮 陈 煦 陈建明 陈有福 储海军 单 华 丁 超

丁建良 丁卫华 杜先波 范立新 封建宝 傅高健 高 远

高爱民 高绥强 顾 文 管诗骅 胡 鹏 胡尊民 华 伟

黄烜城 黄治军 贾 涛 姜思洋 蒋 琛 蒋一泉 李 玮

李辰龙 李国奇 刘红兴 刘晓峰 刘亚南 卢承斌 卢修连

马新立 彭 辉 祁建民 钱庆生 殳建军 帅云峰 孙 虹

唐一铭 陶 谦 王 骏 王成亮 王卫群 王亚欧 吴建标

吴正勇 肖 杰 徐 钢 徐仕先 徐颂梅 徐泳森 许 健

许亦然 薛江涛 闫 涛 杨 春 杨宏宇 姚永灵 于国强

于海全 喻 建 袁 超 岳峻峰 张 磊 张 强 张恩先

张劲松 张泰岩 张卫庆 张耀华 张友卫 邹 磊



序

电力是现代化的基础和动力，是最重要的二次能源。电力的安全生产和供应事关我国现代化建设全局。近年来，大容量、高参数燃煤发电技术日益得到国家的重视。2014 年国务院发布《能源发展战略行动计划（2014～2020 年）》，明确将“高参数节能环保燃煤发电”作为 20 个能源重点创新方向之一。2016 年是“十三五”规划的开局之年，国家能源局发布了《2016 年能源工作指导意见》，在“推进能源科技创新”中明确了“超超临界机组二次再热、大容量超超临界循环流化床锅炉”的示范应用。2016 年发布的《十三五规划纲要》中，在“能源关键技术装备”里提出“700℃超超临界燃煤发电”等技术的研发应用。因此，在今后一段时间内发展超超临界发电技术将会是我国燃煤发电的主旋律。

近年来，高参数、大容量超超临界燃煤发电技术作为一项先进、高效、洁净的发电技术，在我国得到广泛推广与应用。2006 年 11 月，华能玉环发电厂 1000MW 超超临界燃煤发电机组的投产，标志着我国发展超超临界火力发电机组正式扬帆起航，2015 年 9 月，中国电集团公司泰州电厂世界首台超超临界二次再热燃煤机组的顺利投产，标志着我国超超临界火力发电技术的发展进入了一个崭新的阶段。

发电机组的调试是全面检验主机及其配套系统的设备制造、设计、施工、调试和生产准备的重要环节，是保证机组能安全、可靠、经济、文明地投入生产，形成生产能力，发挥投资效益的关键性程序。在电力技术发展的长河中，我国培养了一批专业门类齐全、技术精湛、科技研发能力强、乐于奉献的调试专业人才队伍。他们努力钻研国内外电力工程调试前沿新技术，在长期调试工作中积累了丰富的调试经验，为我国电力技术发展作出了巨大贡献。

江苏方天电力技术有限公司在国内较早开展 1000MW 超超临界火电机组整体调试，迄今为止已顺利实施了 16 台 1000MW 机组的调试工作，并于 2015 年圆满完成了世界首台 1000MW 超超临界二次再热燃煤机组的调试，积累了较为丰富的技术经验，也得到了业界的一致好评。秉承解惑育人传承创新、共襄电力事业盛举的良好愿望，为了让火电行业技术人员和生产人员更快更好地了解和掌握超超临界火电机组的结构、系统、调试和运行等知识，江苏方天电力技术有限公司组织长期从事电源基建调试和技术服务的专家及技术人员编写了这套《1000MW 超超临界机组调试技术丛书》。本丛书包括《1000MW 超超临界机组调试技术丛书 锅炉》、《1000MW 超超临界机组调试技术丛书 汽轮机》、《1000MW 超超临界机组调试技术丛书 热控》、《1000MW 超超临界机组调试技术丛书 电气》、《1000MW

超超临界机组调试技术丛书 化学》、《1000MW 超超临界机组调试技术丛书 环保》六个分册，涵盖了 1000MW 超超临界机组主辅机、热控、电气、化学及环保等方方面面的调试知识。

本丛书兼顾 1000MW 超超临界火电机组的基础知识和工程实践，是一套实用的工程技术类图书。本丛书是从事 1000MW 超超临界火电机组工程设计、安装、调试、运行、维护的技术人员及生产人员使用的重要参考文献，是 1000MW 超超临界火电机组专业上岗培训、在岗培训、转岗培训、技术鉴定和技术教育等方面的理想培训教材，也可供高等院校相关专业师生阅读参考。

编者

2016 年 5 月



前言

自 20 世纪 80 年代以来,我国电力工业得到了飞速的发展,发电机组的单机容量已经达到 1000MW,机组参数也由亚临界提高到超(超)临界。目前我国已经是世界上拥有超(超)临界机组最多的国家,600MW 及以上超(超)临界机组已经成为我国火力发电的主力机组,超(超)临界机组的安全、经济、稳定运行对国民经济的发展有着重要的意义。

随着超(超)临界技术的成功应用,机组单机容量大幅提高,热力系统越来越复杂,运行难度越来越大,在这种情况下,提高机组的自动化控制水平,就成了有效降低运行人员操作强度,提高机组运行安全性和稳定性的重要保障。

本书以提高机组自动化水平为出发点,组织了一批长期从事电源基建调试和技术服务的专家和技术人员,立足工程建设实际,从机组调试入手,总结 1000MW 超(超)临界机组热工调试工程中的经验,编写了《1000MW 超超临界机组调试技术丛书 热工》。本书对指导今后超(超)临界机组的调试、检修工作和提升现场调试、运行人员的综合素质和技术水平,具有很大的好处。

本书共分十一篇,第一篇至第三篇由张卫庆、陈煦编写;第四篇、第六篇由胡尊民、钱庆生、管诗骈编写;第五篇、第九篇由于国强、高远编写;第七篇、第八篇由高爱民、丁建良编写;第十篇由李玮编写;第十一篇由段建军编写。全书由于国强统稿。

本书在编写过程中,参阅了书中所列的参考文献以及相关电厂、制造厂、设计院和高等院校的技术资料、说明书、图纸等,得到这些单位的大力支持和帮助;中国电力出版社编辑不辞辛劳,多次指导编审工作,在此一并表示衷心感谢!

由于编者水平所限,时间仓促,谬误欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2016 年 9 月



目 录

序 前言

第一篇 分散控制系统及热工设备	1
第一章 分散控制系统	1
第一节 Ovation 分散控制系统	1
第二节 EDPF-NT 分散控制系统	8
第二章 热工测量仪表	16
第一节 概述	16
第二节 测量误差及品质指标	18
第三节 分类	21
第二篇 数据采集与监控系统	53
第三章 数据采集系统的基本结构	53
第四章 数据采集系统的基本功能	55
第一节 概述	55
第二节 1000MW 超临界机组 DAS 的功能	55
第三节 1000MW 超临界机组数据输入/输出的分类统计	61
第四节 输入数据的前置处理及二次计算实用方法	62
第五章 数据采集与监控系统的调试方法	64
第一节 调试范围及目的	64
第二节 调试前应具备的条件和准备工作	64
第三节 调试工作内容及作业程序	65
第四节 安全技术措施	66
第六章 调试问题及处理方法	68
第三篇 分散控制系统受电及复原调试	69
第七章 概述	69
第八章 分散控制系统受电及复原调试的范围及试验技术指标	72
第九章 分散控制系统受电及复原调试	74

第一节	技术条件	74
第二节	调试方法及程序	76
第三节	安全技术措施	81
第四节	调试主要问题及处理方法	82
第五节	干扰与接地问题的预防	84
第十章	调试期间的 DCS 维护管理	85

第四篇 顺序控制系统..... 87

第十一章	顺序控制系统基础知识	87
第一节	概述	87
第二节	机组级顺序控制系统	87
第三节	功能（子）组级控制系统	88
第四节	设备级控制系统	89
第五节	DCS 组态	89
第十二章	主要顺序控制系统	93
第一节	锅炉顺序控制系统	93
第二节	汽轮机顺序控制系统.....	100
第十三章	顺序控制系统调试方法.....	109
第一节	调试准备.....	110
第二节	静态调试.....	110
第三节	动态调试.....	112
第十四章	调试问题及处理方法.....	114
第一节	信号.....	114
第二节	控制设备.....	117
第三节	逻辑组态.....	118

第五篇 模拟量控制系统 126

第十五章	自动控制基础知识.....	126
第一节	结构和原理.....	127
第二节	控制系统的分析和参数整定.....	136
第三节	模拟量控制系统的设计原则.....	140
第十六章	主要模拟量控制系统.....	143
第一节	协调控制系统.....	143
第二节	燃烧控制系统.....	150
第三节	给水控制系统.....	157
第四节	汽温控制系统.....	160
第五节	辅助控制系统.....	164
第十七章	模拟量控制系统调试方法.....	168

第一节	调试准备	168
第二节	静态调试	169
第三节	动态调试	172
第四节	举例说明	175
第十八章	调试问题及处理方法	177
第六篇	炉膛安全监控系统	180
第十九章	炉膛安全监控系统基础知识	180
第一节	基础知识介绍	180
第二节	炉膛安全事故的起因及预防	181
第三节	火焰检测原理	182
第二十章	炉膛安全监控系统介绍	183
第一节	制粉系统	183
第二节	燃油系统	190
第三节	MFT 系统	196
第二十一章	炉膛安全监控系统调试方法	204
第一节	调试准备	204
第二节	分系统调试的技术要求	205
第三节	整套启动调试	208
第二十二章	调试问题及处理方法	209
第一节	制粉系统问题	209
第二节	燃油系统问题	210
第三节	MFT 问题	211
第七篇	汽轮机电液控制系统与给水泵汽轮机电液控制系统	213
第二十三章	汽轮机电液控制系统	213
第一节	概述	213
第二节	1000MW 级汽轮机 DEH 基本特点	215
第三节	典型 1000MW 级汽轮机 DEH 功能分析	217
第二十四章	给水泵汽轮机电液控制系统	237
第一节	概述	237
第二节	给水泵汽轮机电液控制系统基本原理	237
第三节	典型 1000MW 级给水泵汽轮机电液控制系统控制策略及功能	238
第二十五章	汽轮机电液控制系统与给水泵汽轮机电液控制系统调试方法	241
第一节	调试准备	241
第二节	静态调试	242
第三节	启动调试	245
第四节	风险控制	247

第二十六章 调试问题及处理方法	248
第一节 硬件设备问题	248
第二节 控制组态问题	250
第八篇 汽轮机监视、保护系统、给水泵汽轮机监视和保护系统	253
第二十七章 汽轮机监视系统基础知识	253
第一节 传感器	254
第二节 智能监测模块系统	255
第三节 TSI 系统监测的参数	255
第二十八章 典型 TSI 监视系统	258
第二十九章 TSI 系统调试方法及调试问题	260
第一节 调试前所具备的条件	260
第二节 调试方法及内容	260
第三节 调试过程中的注意事项	261
第三十章 汽轮机保护系统介绍	262
第一节 上汽 ETS	262
第二节 东汽 ETS 工作原理	265
第三节 哈汽 ETS	268
第三十一章 汽轮机保护系统调试方法及调试问题	271
第一节 调试前应具备的条件和准备工作	271
第二节 调试工作内容及作业程序	271
第三节 汽轮机保护系统调试时注意的几个问题	272
第三十二章 给水泵汽轮机保护系统	274
第九篇 汽轮机旁路控制系统	278
第三十三章 概述	278
第一节 汽轮机旁路系统发展	278
第二节 汽轮机旁路系统主要功能	278
第三十四章 汽轮机旁路控制功能分析	282
第一节 汽轮机旁路系统形式	282
第二节 典型汽轮机旁路系统控制策略	283
第三十五章 汽轮机旁路控制系统调试过程	294
第一节 调试准备	294
第二节 静态调试	295
第三节 启动调试	296
第四节 风险控制	296
第三十六章 调试问题及处理方法	298
第一节 现场设备问题	298

第二节 控制组态问题·····	299
第十篇 机组附属及外围设备控制系统 ·····	300
第三十七章 输煤程控系统·····	300
第一节 概述·····	300
第二节 调试方法·····	304
第三节 调试问题·····	307
第三十八章 除灰控制系统·····	312
第一节 系统介绍·····	312
第二节 调试方法·····	314
第三节 调试问题·····	319
第三十九章 锅炉补给水和凝结水处理系统·····	322
第一节 系统介绍·····	322
第二节 调试方法·····	326
第三节 调试问题·····	327
第四十章 锅炉吹灰控制系统·····	331
第一节 系统介绍·····	331
第二节 调试方法·····	334
第三节 调试问题·····	336
第四十一章 排渣控制系统·····	341
第一节 系统介绍·····	341
第二节 调试方法·····	346
第三节 调试问题·····	350
第十一篇 整套后热工试验 ·····	353
第四十二章 协调控制系统负荷变动试验·····	353
第一节 变负荷试验基础知识·····	353
第二节 变负荷现场试验·····	353
第三节 试验中出现的问题·····	355
第四十三章 RB 试验 ·····	356
第一节 RB 试验基础知识 ·····	356
第二节 RB 现场试验 ·····	359
第三节 试验中出现的问题·····	360
第四十四章 一次调频试验·····	362
第一节 一次调频基础知识·····	362
第二节 一次调频现场试验·····	366
第三节 试验中出现的问题·····	371
第四十五章 AGC 试验 ·····	373

第一节	AGC 结构与原理	373
第二节	AGC 现场试验	379
第三节	试验中出现的问题	387
参考文献		390



第一篇 分散控制系统及热工设备

分散控制系统（DCS）也称分布式控制系统，其实质是计算机技术对生产过程进行集中监视、操作、管理和分散控制的一种新型控制技术。其功能特点是：通用性强、系统组态灵活、控制功能完善、数据处理方便、显示操作集中、人机界面友好、安装简单规范化、调试方便、运行安全可靠等。

作为一种纵向分层和横向分散的大型综合控制系统，它以多层计算机网络为依托，将分布在全厂范围内的各种控制设备的数据处理设备连接在一起，实现各部分信息的共享的协调工作，共同完成控制、管理及决策功能。其硬件设备由管理操作应用工作站、现场控制站和通信网络组成。管理操作应用工作站包括工程师站、操作员站、历史数据站等各种功能服务站。工程师站提供技术人员生成控制系统的人机接口，主要用于系统组态和维护，技术人员也可以通过工程师站对应用系统进行监视。操作员站提供技术人员与系统数据库的人机交互界面，用于监视可以完成数据的状态值显示和操作员对数据点的操作。历史站保存整个系统的历史数据，供组态软件实现历史趋势显示、报表打印和事故追忆等功能。现场控制站用于现场信号的采集处理，控制策略的实现，并具有可靠的冗余保证、网络通信功能。通信网络连接分散控制系统的各个分布部分，完成数据、指令及其他信息的传递。为保证 DCS 可靠性，电源、通信网络、过程控制站都采用冗余配置。

分散控制系统的软件是由实时多任务操作系统、数据库管理系统、数据通信软件、组态软件和各种应用软件组成。

分散控制系统在结构上采用模块化设计方法，通过灵活组态，合理的配置，可以实现火电机组的模拟量控制系统（MCS）、数据采集系统（DAS）、锅炉燃烧控制和炉膛安全系统（FSSS）、顺序控制系统（SCS）等功能。

第一章 分散控制系统

第一节 Ovation 分散控制系统

Ovation 分散控制系统是集过程控制及企业管理信息技术为一体的，融合了先进的计算机与通信技术于一身的典范。其采用了高速度、高可靠性、高开放性的通信网络，具有多任



务、多数据采集控制能力。Ovation 分散控制系统利用当前最新的分布式、全局型的相关数据库完成对系统的组态。全局分布式数据库将功能分散到多个可并行运行的独立站点，而非集中到一个中央处理器上，不因其他事件的干扰而影响系统性能。

一、Ovation 分散控制系统特点

(一) 特点

Ovation 分散控制系统高速、高容量的网络主干采用商业化的硬件，基于开放式工业标准，Ovation 分散控制系统能将第三方的产品很容易地集成在一起。分布式全局数据库将功能分散到多个独立站点，而不是集中在一个中央处理器中。

(二) 网络特点

Ovation 分散控制系统站点直接和高速公路通信，以便发送和接收实时数据和控制命令。Ovation 分散控制系统网络提供具有确定性的和非确定性的两种数据传输方式。具有 LAN 和 WAN 互联能力的桥路和监视器。可编程控制器 (PLC) 可成为 Ovation 分散控制系统数据高速公路的直接站点。

(三) 控制器特点

通过开放式计算机技术标准带来了高度的灵活性。为执行简单的和复杂的调节及顺序控制策略提供了功能强大和大容量的控制手段。高可靠性使过程和利用率达到最高。站点内每个测点的数值和状态以合适的频率传播。

(四) 工作站特点

标准平台以 PC 机为基础的 Windows 操作系统。多任务的工作方式，可通过单 CRT 和双 CRT 来实现。将 Ovation 各种功能结合在一起，使所需的硬件数量减到最小。

(五) 相关数据库

作为 Ovation 分散控制系统心脏的相关数据库管理系统 (RDBMS) 是数据控制的主要手段。Ovation 是第一个采用这种全嵌入式数据管理系统的过程控制和采集系统。除了实时和历史的过程数据外，RDBMS 还存储了 Ovation 分散控制系统的每一个信息，包括：系统组态、历史储存和重新建立的数据、报表格式、控制算法信息、I/O 控制器原始数据以及过程数据库。

Ovation 分散控制系统的 RDBMS 有能力很方便地将大量原始数据加以综合的编排，所有编程工具和 Ovation 应用有关的数据都保存在这个集中管理的、定义明确的 RDBMS 结构中，然后将运行信息分配到控制系统，使控制系统能独立于 Ovation 分散控制系统相关数据库运行，且所有系统和过程信息被保存并不断更新。

(六) 工具库

Ovation 分散控制系统功能强大的工具库完全是一组先进软件程序的集成，用于生成和保存系统的控制策略、过程画面、测点记录、I/O 设置、报表生成以及全系统的组态。工具库同嵌入式相关数据库管理系统相辅相成，协调维护系统内部组态数据的总汇编，同时又能容易地实现同其他工厂和商业信息网的互联。

二、Ovation 分散控制系统结构

(一) 网络部分

Ovation 分散控制系统为星形网络拓扑结构，它是基于交换技术的、标准的、开放的快速局域网。Ovation 网络采用全冗余和容错技术标准，网络可采用多种通信介质，既

可采用光纤电缆，也可采用铜质电缆。网络还能和公共的 LAN、WAN 以及企业内网连接。Ovation 网络淘汰了复杂网桥结构，在确保过程控制安全的前提下，使控制功能和企业的信息系统完美地结合起来。Ovation 高速通信网络利用 ISO/OSI 模块可以和任何标准的物理网络层通信，Ovation 通信网络大致分两层：操作员站、工程师站、历史数据站、过程控制站之间的快速交换式以太网（TCP/IP）；控制器与 I/O 模块之间的 PCI 总线或现场总线。

Ovation 分散控制系统网络由互为冗余网、数据交换站以及操作员站、工程师站、历史站、控制器等各节点构成。系统容量如下：

- (1) 100Mb 的高速公路，每条网最多 254 个站，每条网 20 万个点；
- (2) 速率：100Mb/s；
- (3) 容量：20 万实时点/s；
- (4) 介质：（Ovation 网络）/非屏蔽双绞线（UTP）；
- (5) 网络拓扑：星形拓扑；
- (6) 每网长：200km；
- (7) 支持同步和异步通信方式；
- (8) 工业 TCP/IP 协议完全与以太网兼容。

典型的 Ovation 系统结构见图 1-1。两台机组及公用系统的典型配置见图 1-2。

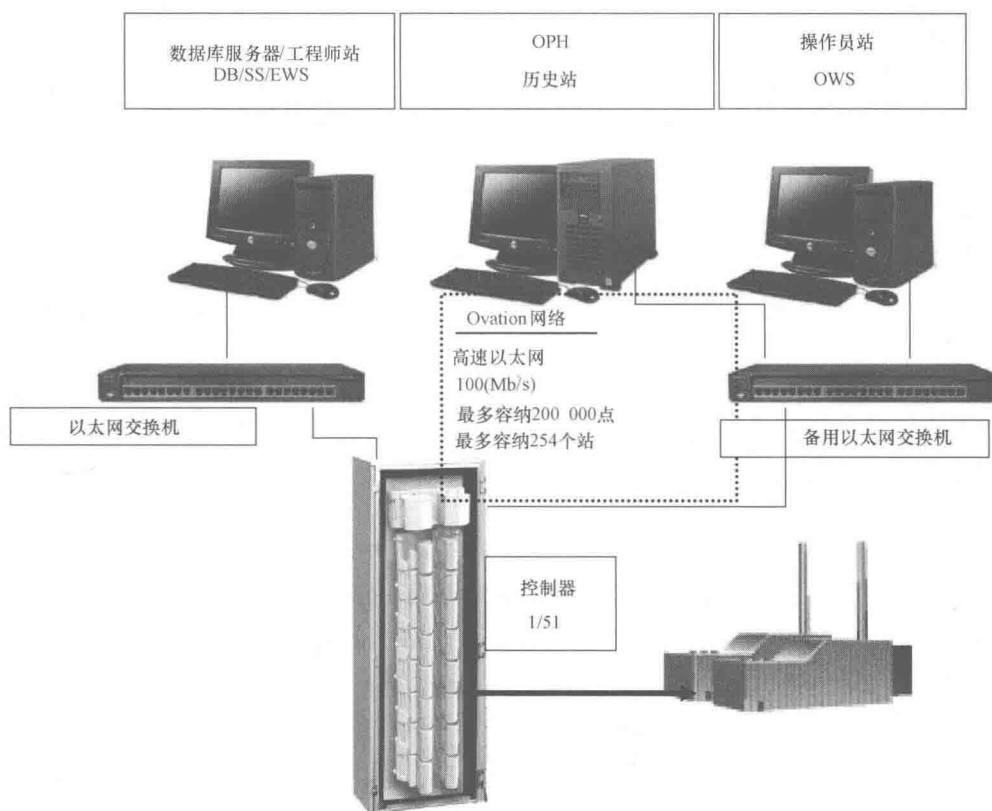


图 1-1 典型的 Ovation 系统结构

注：冗余控制器对实时控制器，扫描、刻度变换、监测全部的过程输入，输出控制信息经过程。在 Ovation 网或以太网上广播点信息。

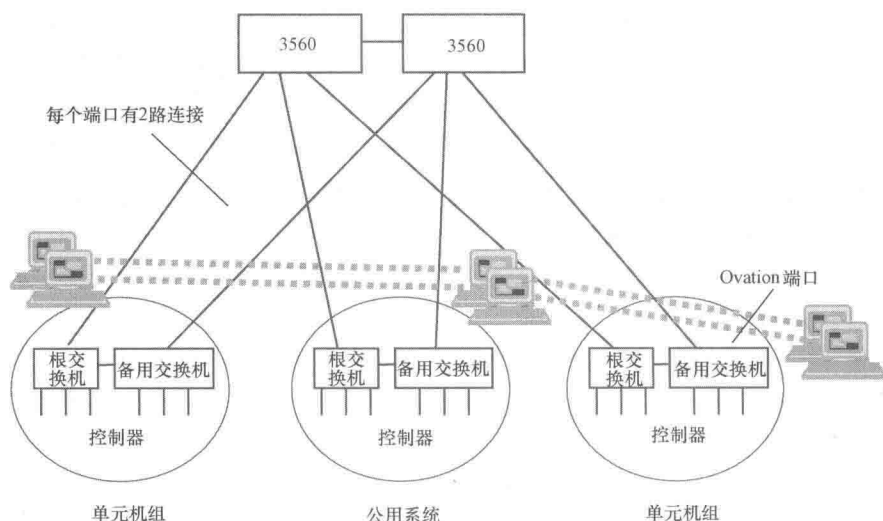


图 1-2 两台机组及公用系统的典型配置

(二) 工作站

根据站的使用功能不同分为几种不同功能站，包括：数据库服务器、工程服务器、操作员站、历史报表站，以及其他功能站。

1. 操作员站的主要功能

Ovation 操作员站既有基于美国 Sun 公司的 Solaris 操作系统的工作站，也有基于美国微软公司的 Windows 操作系统的工作站。下面介绍基于美国微软公司的操作员站。

有效的控制需要简明清晰的过程画面，使用微软的 Windows 技术和 Ovation 操作员站软件，为现代控制系统提供了灵活、可靠、高性能的全过程画面显示。使用高分辨率的窗口显示控制画面、诊断、趋势、报警和状态。通过操作员站引导工具，可获得系统动态点、历史数据、概要信息、标准功能显示、事件记录和一个复杂的报警管理程序。

操作员站软件能在各种 PC 平台上运行，具有与第三方组件或软件兼容的能力。操作员站为满足将来工厂需要的升级作了准备。高速实时数据显示、高分辨率的过程画面、报警屏幕、其他图形用户界面工具、简明的历史和动态过程数据的分析与回顾，通过 Windows 的图标或桌面上的菜单都能容易地访问。

操作员站的画面主要包括：工艺流程、报警管理、趋势（实时和历史）、点信息、点回顾、点浏览、操作事件通知。操纵员站主要功能有：

- (1) 操作员接口 OPERATOR INTERFACE;
- (2) 报警管理 ALARM MANAGEMENT;
- (3) 流程图 PROCESS GRAPHICS;
- (4) 点信息 POINT INFO;