

# 火电厂烟气脱硫脱硝 设备控制与仪表

刘红蕾 刘永阳 李广华 主编

HUODIANCHANG YANQI TUOLIU TUOXIAO  
SHEBEI KONGZHI YU YIBIAO



化学工业出版社

# 火电厂烟气脱硫脱硝 设备控制与仪表

刘红蕾 刘永阳 李广华 主编

HUODIANCHANG YANQI TUOLIU TUOXIAO  
SHEBEI KONGZHI YU YIBIAO



化学工业出版社

·北京·

（京）新登字 0000000 号

本书在广泛收集国内外烟气脱硫脱硝、排放监测控制及仪表的最新资料基础上,全面、系统地阐述了目前火力发电厂普遍采用的湿法石灰石脱硫系统、SCR 脱硝系统、烟气连续排放检测系统(CEMS)的控制系统和应用仪表。

本书分为三篇,第一篇集中阐述了烟气脱硫技术工艺和原理;目前常用的湿法石灰石脱硫系统采用的控制系统;烟气脱硝技术工艺和原理;SCR 脱硝系统的控制系统;应用于中国火电厂的烟气脱硫脱硝控制系统的举例。第二篇介绍了应用于火电厂烟气脱硫脱硝系统的测量仪表。第三篇详细介绍了 CEMS 系统及其控制和相关仪表。

本书涉及烟气脱硫脱硝系统和 CEMS 系统的控制系统及仪表的各方面知识,内容丰富,层次分明,综合性强,是国内比较全面详尽介绍烟气控制及仪表的工具书,具有较强的实用性和参考价值。

本书适用于从事大气污染控制的管理、研究的工程技术人员阅读,也可供高等院校师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

火电厂烟气脱硫脱硝设备控制与仪表/刘红蕾,刘永阳,  
李广华主编. —北京:化学工业出版社,2015.1

ISBN 978-7-122-21543-7

I. ①火… II. ①刘…②刘…③李… III. ①火电  
厂-烟气脱硫-机械设备②火电厂-烟气-脱硝-机械设备  
③火电厂-烟气脱硫-仪表装置④火电厂-烟气-脱硝-仪表  
装置 IV. ①X773.013

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 176591 号

---

责任编辑:戴燕红 郑宇印

文字编辑:丁建华

责任校对:徐贞珍

装帧设计:孙远博

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张 18 字数 373 千字 2015 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:68.00 元

版权所有 违者必究

# 前言 FOREWORD

---

环境保护是我国的基本国策之一，我国政府从 20 世纪 70 年代就开始制定有关环境空气质量标准、大气污染排放标准。1987 年 9 月颁布了《中华人民共和国大气污染防治法》（以下简称《大气污染防治法》），1995 年 8 月全国人大常委会通过了修订的《大气污染防治法》，2000 年 4 月 29 日通过了修订的《大气污染防治法》，2002 年 11 月编制了《“两控区”酸雨和二氧化硫污染防治“十一五”计划》，2003 年 1 月 1 日，我国开始实施《中华人民共和国清洁生产促进法》。火力发电厂的烟气排放作为空气质量检测的主要内容，国家制定了严格的标准，2011 年 7 月 18 日，环境保护部批准了《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223—2011），并于 2012 年 1 月 1 日起实施。

火力发电厂的烟气控制排放采用的工艺很多，目前集中在烟气脱硫、烟气脱硝、烟气除尘三大块，烟气除尘技术已经成型并最早实施，对烟气中的气体污染物的处理（即烟气脱硫脱硝技术）在国内近几年才逐渐推广实施。作为火力发电厂的附属系统，烟气的脱硫脱硝运行受到主系统运行的影响，而且脱硫脱硝系统运行中的控制又直接影响主系统的运行稳定性和经济性，加之脱硫脱硝运行系统又自成系统，有自己的子系统，所以烟气脱硫脱硝系统的控制至关重要，随着控制技术的发展，烟气脱硫脱硝逐渐并入主系统的控制。

本书在介绍了主流烟气脱硫脱硝工艺的基础上，重点对石灰石湿法脱硫系统和 SCR 脱硝系统的控制原理及控制方法做了阐述，并以电厂的实际应用举例说明目前的主流控制系统。控制仪表是控制系统的重要组成部分，本书系统阐述了应用于烟气脱硫脱硝系统的常见仪表的类型、工作原理及应用情况。

本书由国家电网技术学院刘红蕾、李广华、张雪然、张磊；山东电力建设第一工程公司刘永阳；北京国能中电节能环保技术有限公司的王智奇、宿志强；华电国际山东十里泉发电厂魏冀中合作编写完成。其中刘红蕾、刘永阳、李广华为主编；张磊、张雪然、王智奇、宿志强、魏冀中参加编写；全书由北京博奇电力科技有限公司刘远平主审。

在本书编写过程中，得到了国家电网技术学院张东风老师的帮助，并在电厂资料调研和收集中，得到了山东电力建设第一工程公司、邹县发电厂、运河发电厂、十里泉发电厂、石横发电厂等单位及国家电网技术学院领导的大力支持，谨在此一并表示衷心的感谢。

由于水平有限，本书在编写成文过程中难免有诸多不足，敬请读者批评指正。

# 目录 CONTENTS

## 第一篇 火电厂烟气脱硫脱硝控制

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 概论 .....                | 2  |
| 第一节 氮氧化物和硫氧化物排放控制标准 .....   | 2  |
| 第二节 火电厂脱硫脱硝装置的控制系统概述 .....  | 5  |
| 第二章 火力发电厂烟气脱硫装置及其控制 .....   | 11 |
| 第一节 火电厂烟气脱硫技术简介 .....       | 11 |
| 第二节 石灰石\石灰-石膏湿法烟气脱硫 .....   | 13 |
| 第三节 采用 DCS 的 FGD 控制系统 ..... | 17 |
| 第四节 采用 PLC 的 FGD 控制系统 ..... | 30 |
| 第三章 火电厂烟气脱硝装置及其控制 .....     | 41 |
| 第一节 火电厂烟气脱硝技术 .....         | 41 |
| 第二节 SCR 烟气脱硝系统 .....        | 43 |
| 第三节 SCR 烟气脱硝控制系统 .....      | 46 |

## 第二篇 脱硫脱硝仪表

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第一章 压力表 .....       | 57  |
| 第一节 压力测量概述 .....    | 57  |
| 第二节 液柱式压力表 .....    | 58  |
| 第三节 弹性压力表 .....     | 60  |
| 第四节 压力(差压)变送器 ..... | 66  |
| 第五节 压力仪表的安装 .....   | 78  |
| 第二章 温度计 .....       | 80  |
| 第一节 温度测量概述 .....    | 80  |
| 第二节 膨胀式温度计 .....    | 84  |
| 第三节 热电偶温度计 .....    | 90  |
| 第四节 热电阻温度计 .....    | 107 |
| 第五节 温度变送器 .....     | 114 |
| 第三章 流量测量 .....      | 118 |
| 第一节 概述 .....        | 118 |
| 第二节 椭圆齿轮流量计 .....   | 120 |

|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| 第三节 | 差压式流量计 .....       | 121 |
| 第四节 | 超声波流量计 .....       | 131 |
| 第五节 | 其他流量计 .....        | 134 |
| 第四章 | 液位计 .....          | 144 |
| 第一节 | 差压式水位计 .....       | 145 |
| 第二节 | 雷达液位计及微波物位仪 .....  | 147 |
| 第五章 | 氧量计 .....          | 149 |
| 第一节 | 氧化锆氧量计的工作原理 .....  | 149 |
| 第二节 | 氧化锆氧量计测量系统 .....   | 151 |
| 第三节 | 氧化锆氧量计的检验与调试 ..... | 156 |
| 第六章 | pH 计 .....         | 163 |

### 第三篇 烟气连续排放自动监测系统

|     |                         |     |
|-----|-------------------------|-----|
| 第一章 | 气态污染物的直接抽取系统 .....      | 176 |
| 第一节 | 直接抽取系统介绍 .....          | 176 |
| 第二节 | 直接抽取系统部件组成 .....        | 179 |
| 第三节 | 抽取式系统的分析仪器 .....        | 188 |
| 第二章 | 气态污染物稀释抽取式测量系统 .....    | 198 |
| 第一节 | 稀释采样系统 .....            | 198 |
| 第二节 | 仪表空气清洁系统及气体分析仪 .....    | 205 |
| 第三章 | 气体污染物的直接测量式 CEMS .....  | 207 |
| 第一节 | 直接测量式 CEMS 测量原理 .....   | 207 |
| 第二节 | 直接测量式 CEMS 的系统组成 .....  | 208 |
| 第四章 | 颗粒物 CEMS .....          | 216 |
| 第一节 | 对穿法烟尘监测仪 .....          | 216 |
| 第二节 | 散射法烟尘监测仪 .....          | 227 |
| 第三节 | 其他烟尘监测仪 .....           | 232 |
| 第四节 | 颗粒物 CEMS 的相关校准 .....    | 233 |
| 第五章 | 烟气参数及测量分析仪表 .....       | 238 |
| 第一节 | 烟气氧含量测量仪 .....          | 238 |
| 第二节 | 烟气流速测量仪 .....           | 244 |
| 第三节 | 烟气温度、压力和湿度的测量 .....     | 250 |
| 第六章 | 烟气数据采集与数据处理 .....       | 254 |
| 第一节 | 数据采集及管理 .....           | 254 |
| 第二节 | 标况污染物浓度的计算 .....        | 255 |
| 第三节 | 数据的传输 .....             | 259 |
| 第七章 | 烟气中的颗粒物标准分析方法 .....     | 261 |
| 第一节 | 烟气颗粒物的标准测定原理与采样方式 ..... | 261 |

|      |                      |     |
|------|----------------------|-----|
| 第二节  | 标准测量法的采样系统 .....     | 262 |
| 第三节  | 烟气含湿量测定 .....        | 265 |
| 第四节  | 烟尘平行采样仪 .....        | 268 |
| 第五节  | 影响烟尘采样与浓度测定的因素 ..... | 274 |
| 第八章  | CEMS 的运行维护 .....     | 276 |
| 参考文献 | .....                | 281 |

# **第一篇**

## **火电厂烟气脱硫脱硝控制**

# 第一章 概 论

## 第一节 氮氧化物和硫氧化物排放控制标准

### 一、二氧化硫及二氧化氮排放现状及其危害

我国已探明的一次能源储备中,煤炭约占总储量的90%。在我国一次能源的生产和消费构成中,煤炭约占2/3,是我国能源工业的支柱。2004年,我国原煤产量接近17亿吨,每年直接用于燃烧的煤炭达12亿吨以上,作为经济处于发展中的国家,长期依赖煤炭提供可靠的能源供应,以煤炭为主的能源格局在我国今后相当长的一段时间内不会改变。煤炭燃烧后排放出大量的污染物,如 $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$ (通称 $\text{SO}_x$ ,硫化物); $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ (通称 $\text{NO}_x$ ,氮氧化物); $\text{CO}_2$ ;粉尘等。其中危害最大的 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_2$ 已在局部地区造成了酸雨等现象,严重危害生态环境,在国际上也造成很大影响。

$\text{SO}_2$ 的污染属于低浓度、长期的污染,对人类的健康、自然生态环境、工农业生产等方面均造成很大的危害。

(1)  $\text{SO}_2$ 对人体健康的危害  $\text{SO}_2$ 是一种无色具有强烈刺激性气味的气体,易溶于人体的体液和其他黏性液中,长期的影响会导致多种疾病,如:上呼吸道感染、慢性支气管炎、肺气肿等,危害人类健康。 $\text{SO}_2$ 在氧化剂、光的作用下,会生成使人致病、甚至增加病人死亡率的硫酸盐气溶胶,据有关研究表明,当硫酸盐浓度在 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右时,每减少10%的浓度能使死亡率降低0.5%。

(2)  $\text{SO}_2$ 对植物的危害 研究表明,在高浓度的 $\text{SO}_2$ 的影响下,植物产生急性危害,叶片表面产生坏死斑,或直接使植物叶片枯萎脱落;在低浓度 $\text{SO}_2$ 的影响下,植物的生长机能受到影响,造成产量下降,品质变坏。

(3)  $\text{SO}_2$ 对金属的腐蚀 大气中的 $\text{SO}_2$ 对金属的腐蚀主要是对钢结构的腐蚀。据统计,发达国家每年因金属腐蚀而带来的直接经济损失占国民经济总产值的2%~4%。由于金属腐蚀造成的直接损失远大于水灾、风灾、火灾、地震造成损失的总和。且金属腐蚀直接威胁到工业设施、生活设施和交通设施的安全。

(4) 对生态环境的影响  $\text{SO}_2$ 形成的酸雨和酸雾危害也是相当的大,主要表现为对湖泊、地下水、建筑物、森林、古文物以及人的衣物构成腐蚀。同时,长期的酸雨作用还将对土壤和水质产生不可估量的损失。

$\text{NO}_2$ 易溶于水变成酸,因而 $\text{NO}_2$ 能使人的呼吸道黏膜、皮肤等受损; $\text{NO}_2$ 也对植物有害。此外, $\text{NO}_x$ (氮氧化物)对大气环境的污染除了与其他化合物一起造成酸雨,对土壤和水生态系统带来不可逆的后果外,还参与光化学烟雾的生成对环境和人们健康造成危害。

## 二、我国氮氧化物和硫氧化物排放标准

1997 年 1 月, 在 1996 年原电力工业部颁布的《火电行业环境检测管理规定》标准的基础上, 重新修订更名为《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—1996) 正式实施。标准适用于单台出力在 65t/h 以上除层燃炉和抛煤机炉以外的火电厂锅炉与单台出力在 65t/h 及以下的煤粉锅炉的火电厂的排放管理, 以及建设项目环境影响评价、设计、竣工验收及其建成后的排放管理。

标准分年限规定了火电厂最高允许二氧化硫排放量、烟尘排放浓度和烟气黑度限值, 规定了第Ⅲ时段火电厂二氧化硫与氮氧化物的最高允许排放浓度。第Ⅲ时段火电厂各烟囱二氧化硫最高允许排放质量浓度 (标准状态下, 干烟气), 即燃料收到基硫分质量比小于 1.0%, 最高允许排放质量浓度为 2100mg/m<sup>3</sup>; 硫分质量比大于 1.0%, 最高允许排放质量浓度为 1200mg/m<sup>3</sup>, 实测的二氧化硫排放浓度应换算成过量空气系数为 1.4 时的浓度值。

2001 年年初, 国家环境保护总局下达了《火电厂污染物排放标准》修订项目。计划在全国开展广泛调研, 完成标准的编制任务。其中对火电厂大气污染物, 包括烟尘、二氧化硫、氮氧化物等在总体上严格火电厂大气污染物排放浓度限值的同时, 实施单位发电量控制大气污染物排放量即 GPS (排放绩效) 标准, 对火电厂氮氧化物排放浓度标准将予以调整补充。

2003 年年底, 我国颁布了新的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2003) (以下简称《标准》)。《标准》对不同时期的火电厂建设项目分别规定了对应的大气污染物排放控制要求, 明确了我国火电厂大气污染物的排放控制目标。

2003 年新修订的排放标准将二氧化硫排放浓度限制为小于 400mg/m<sup>3</sup>, 《标准》执行后建设的所有新机组均需满足此标准, 老机组也要分别在 2008 年、2010 年达到这一标准, 同时还要满足地区环境总量的控制要求。

以二氧化硫为例, 我国二氧化硫的排放量应控制在 1200 万吨/年, 其中电力行业排放的二氧化硫应控制在 550 万吨/年以下。《标准》中关于二氧化硫和氮氧化物的排放限值见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 火力发电锅炉二氧化硫最高允许排放浓度 单位: mg/m<sup>3</sup>

| 时 段       | 第 1 时段            |                   | 第 2 时段                    |                          | 第 3 时段                                       |
|-----------|-------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|
| 实施时段      | 2005 年<br>1 月 1 日 | 2010 年<br>1 月 1 日 | 2005 年<br>1 月 1 日         | 2010 年<br>1 月 1 日        | 2004 年<br>1 月 1 日                            |
| 燃煤锅炉及燃油锅炉 | 2100 <sup>①</sup> | 1200 <sup>①</sup> | 2100<br>1200 <sup>②</sup> | 400<br>1200 <sup>②</sup> | 400<br>800 <sup>③</sup><br>1200 <sup>④</sup> |

① 该限值为全厂第Ⅰ时段火力发电锅炉平均值。

② 在本标准实施前, 环境影响报告书已批复的脱硫机组, 以及位于西部非两控区的燃用特低硫煤 (入炉燃煤收到基硫分小于 0.5%) 的坑口电厂锅炉执行该限值。

③ 以煤矸石等为主要燃料 (入炉燃煤收到基低位发热量小于等于 12550kJ/kg) 的资源综合利用火力发电锅炉执行该限值。

④ 位于西部非两控区的燃用特低硫煤 (入炉燃煤收到基硫分小于 0.5%) 的坑口电厂锅炉执行该限值。

表 1-2 火力发电锅炉及燃气轮机组氮氧化物最高允许排放浓度 单位:  $\text{mg}/\text{m}^3$ 

| 时 段   | 第 1 时段                               | 第 2 时段         | 第 3 时段         |
|-------|--------------------------------------|----------------|----------------|
| 实施时段  | 2005 年 1 月 1 日                       | 2005 年 1 月 1 日 | 2004 年 1 月 1 日 |
| 燃煤锅炉  | $V_{\text{daf}} < 10\%$              | 1500           | 1300           |
|       | $10\% \leq V_{\text{daf}} \leq 20\%$ | 650            | 650            |
|       | $V_{\text{daf}} > 20\%$              |                | 450            |
| 燃油锅炉  | 650                                  | 400            | 200            |
| 燃气轮机组 | 燃油                                   |                | 150            |
|       | 燃气                                   |                | 80             |

注:  $V_{\text{daf}}$ ——干燥无灰基挥发分含量。

根据《标准》的要求,自 2005 年 1 月 1 日起,2004 年 1 月 1 日以前建设的火电机组达不到《标准》的,在其限期治理项目未实施前,环保部门不得审批机组所属企业的新、改、扩建火电项目。另外,对需要同步配套建设的脱硫设施、高效除尘器和低氮燃烧或烟气脱除氮氧化物装置的项目进行全过程监督管理;对需要预留烟气脱硫场地或脱除氮氧化物装置空间的项目应保证预留场地、空间落实到位;对全厂二氧化硫排放速率超过《标准》要求的项目,应制定和实施达标排放方案,并严格按“三同时”制度进行管理。对 2005 年 1 月 1 日以后仍达不到《标准》的火电厂,应依据《大气污染防治法》的有关规定进行处罚,并根据超标情况,采取限期安装脱硫设施、更新除尘器或改装低氮燃烧装置等治理措施。限期治理后仍不能达标的,应限产限排或关停。此外,2008 年 1 月 1 日以前,所有火电机组均应安装符合《火电厂烟气排放连续监测技术规范》(HJ/T 75—2001)要求的烟气排放连续监控仪器,并实现与环保部门联网。

2011 年初,国家环境保护部发布了《火电厂大气污染物排放标准(二次征求意见稿)》(以下简称新标准)。与 2009 年发布的一次征求意见稿(以下简称 2009 年初稿)相比,其中的脱硫规定,无论是完成时间要求,还是减排力度,都有明显提高。新标准于 2011 年内颁布,2012 年 1 月 1 日起开始执行。

2009 年初稿和旧标准对不同时期的火电厂建设项目划分成 3 个时段,涉及的时间节点包括 1996 年 12 月 31 日、2010 年和 2015 年,分别规定了排放控制要求;而新标准对现役机组采用了“一刀切”的方式,仅以 2012 年 1 月 1 日为界划分为现有及新建机组 2 个时段,更加简析明了:2012 年 1 月 1 日前获得环评批复的为现役机组,否则为新建机组。现役机组的标准执行时间为 2014 年 1 月 1 日,留给现役机组进行改造的时间只有 2 年。

新标准规定新建燃煤电厂二氧化硫的排放限值为  $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。现有电厂分为两类,燃煤硫分较高地区的电厂执行  $400\text{mg}/\text{m}^3$ ,其他现有燃煤电厂执行  $200\text{mg}/\text{m}^3$ 。重点地区的燃煤电厂执行  $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。对比新标准、2009 年初稿和旧标准可以看出,新标准调整了  $\text{SO}_2$  污染物排放浓度限值,采取了更为严格的排放限制;现役机组从旧标准执行的最高  $2100\text{mg}/\text{m}^3$  降至 2009 年初稿的  $800\text{mg}/\text{m}^3$  后再降至新标准的  $200 \sim 400\text{mg}/\text{m}^3$ ;新建机组从旧标准执行的  $400\text{mg}/\text{m}^3$  降至 2009 年初稿的  $200\text{mg}/\text{m}^3$  再降至新标准的  $50 \sim 100\text{mg}/\text{m}^3$ 。新标准脱硫限值大幅下降,远远超出旧标准和 2009 年初稿,甚至超越欧美现用标准。

## 第二节 火电厂脱硫脱硝装置的控制系统的概述

目前,新建大型燃煤机组都设计有脱硫及脱硝系统。没有脱硫( $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$ )及脱硝( $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 等)装置的老机组,根据国家对环保的要求必须对现有的发电机组进行污染物的排放控制,达到国家环保要求。火力发电厂锅炉在增加脱硫及脱硝装置进行改造时,其控制系统要根据具体电厂及具体机组的特殊情况进行设计。

改造机组增加脱硫、脱硝系统的工艺趋于简单化,尤其是 200MW 及以下机组,要考虑成本及系统占地面积等因素。改造机组中脱硫系统的技术一般采用简易湿法脱硫技术、干法和半干法脱硫技术。脱硝技术有采用选择性吸收脱硝(SCR)、非选择性吸收脱硝(SNCR)和燃烧调整方式等。改造机组中主要采用降低氮氧化物的生成技术,采用低氮燃烧器及调整二次风等方法降低氮氧化物。

国内应用的脱硫及脱硝技术,工艺系统相对比较简单,控制回路也比较少。目前主流的控制系统的 PLC 控制系统、DCS 控制系统、FCS 控制系统和 PCBCS 控制系统。

### 一、PLC 控制系统

可编程序控制器(programmable logic controller, PLC)的最初定义是一种数字控制专用电子计算机,它使用了可编程序存储器储存指令,执行诸如逻辑、顺序、计时、计数与演算等功能,并通过模拟和数字输入、输出等组件,控制各种机械或工作程序。长期以来,PLC 始终在各行各业自动化控制领域得到广泛的使用,为各种各样的自动化设备提供了非常可靠的控制应用。PLC 能够为自动化控制应用提供安全可靠和比较完善的解决方案,适合当前工业企业对自动化的需要。

目前,PLC 不仅具有早期的逻辑运算功能,而且向综合控制方向发展。新型 PLC 在不断完善 PID(比例-微分-积分)闭环控制功能的同时,不断改进其他功能。PLC 已被广泛应用于连续过程的控制领域,而且基于连续过程控制技术的发展趋势正在进一步得到增长。

通信是 PLC 广泛应用的关键技术,这种技术在 PLC 领域已经得到扩展。同系统一样,对 PLC 进行分散化处理已经成为可能,更容易进行管理,以便能够更好地集成在一起。

PLC 系统的价格也在逐渐降低。PLC 系统最小模件单元的价格在千元左右,甚至更低,大部分用户已经不再对已损坏的模件修理而是直接更换新的模件。一些小型甚至超小型 PLC 系统已经向工业用户提供模拟量 I/O(输入/输出)、PID 控制回路、通信接口,甚至与企业网络系统相连接的现场总线。具有 14 个通道的 I/O 和 4 个 PID 控制回路的 PLC 系统,其价格也只有千元左右,这种产品非常适合小系统控制应用的需要。

在 PLC 硬件不断发展的同时,PLC 的编程软件也在向前发展。PLC 系统必须为工业用户提供工程师可用的组态软件工具、故障诊断技术、网络通信能力以及除

基本自动化硬件以外的附加软件包。目前不但 PLC 厂家在不断努力开发适合于 PLC 系统的编程软件,其他软件开发商也在不断推出与之相配套的组态软件,而且每种软件都适合于多种品牌的 PLC 产品,为用户编程提供了极大的方便。

PLC 的基本特点是构成系统比较灵活,特别是需要控制和监视的点数较少时,可以采用小型 PLC 控制系统来实现工艺过程的监视及控制。小型系统采用一台 PC 为主站,多台同型号 PLC 为从站,实现系统的监视及控制。随着 PLC 网络技术的发展,多台 PLC 组成的大型控制系统也不断被采用,功能已经越来越接近于 DCS 系统。系统可由多台 PLC 组成,通过网络将多台 PLC 相连接,PLC 可作为底层数据采集和实现就地控制。比较大的控制系统可以用一台 PLC 为主站,多台同型号 PLC 为从站,构成 PLC 网络,实现比较复杂系统的综合监视及控制功能。PLC 也可以作为 DCS 的一个子系统存在于 DCS 系统之中。

## 二、DCS 控制系统

分散控制系统 (distributed control system, DCS) 含义是控制危险分散集中显示。分散控制系统 DCS 是集 4C (communication, computer, control, CRT) 技术于一身的监控技术。DCS 是一个从上到下的树状拓扑大系统,其中通信是其关键技术。

DCS 由四部分组成: I/O 板、控制器、操作站、通信网络。对于 I/O 板和控制器,国际上各 DCS 厂家的技术水平相差不远,差别主要体现在控制器内的算法有多有少,算法的组合不一样, I/O 板的差别在于有的有智能,有些没有,但是控制器读取所有 I/O 数据必须在 1s 内完成一个循环。操作站差别比较大,体现在是选用 PC 还是选用小型机、采用 UNIX 还是采用 NT 操作系统、采用专用的还是通用的监视软件,操作系统和监视软件配合比较好时可以减少死机现象。差别最大的是通信网络,轮询方式和例外报告方式相比速度要慢很多。

DCS 系统中,控制器 I/O 部件和生产过程相连接,操作站和人相联系,通信网络把这两部分联成系统。所以操作站是 DCS 的重要组成部分,工程师站给控制站和操作站组态,历史站记录生产过程的历史数据。

DCS 系统的数据主要来自现场的信号和各种变量,在控制站中表现为与工位号对应的相关测量值 (PV)、设定值 (SV)、操作输出值 (MV) 及回路状态等。这些数据被采集到 DCS 控制站相应的存储器里,构成实时数据。其他属于与工位号有关的组态信息,如量程、工程单位、回路连接信息、顺序控制信息等,也在控制站中存储,但同时必须在操作站或工程师站中存储,而且有映像关系。

中小型 DCS 控制站,以控制 16~32 回路为限、分散性较易为人们所接受。目前小型 DCS 所占有的市场,已逐步与 PLC、FCS (现场总线控制系统) 共享,今后小型 DCS 可能首先与这 2 种系统融合,而且“软 DCS”技术将首先在小型 DCS 中得到发展。控制站是整个 DCS 的基础,它的可靠性和安全性最为重要,死机和控制失灵的现象是绝对不允许的,而且冗余、掉电保护、抗干扰、构成防爆系统等方面都应很有效而可靠,才能满足用户要求。

DCS 系统价格相对 PLC 系统较高,但是应从性能价格比、产品生命周期及用户根据实际生产装置的自控要求对 DCS 进行选型,同时从工程费用、维修费用等方面综合考虑。

DCS 主要解决系统中的控制回路的控制算法。DCS 产品以模拟量反馈控制为主,辅以开关量的顺序控制和模拟量开关量混合型的批量控制,实现模拟量控制,模拟量控制及其算法是 DCS 的核心技术,也是 DCS 的优势。目前,一个控制器完成几十个回路的运算和几百点的采集、再加适量的逻辑运算,经现场使用,效果较好。

### 三、FCS 控制系统

现场总线控制系统(fieldbus control system, FCS)是近几年发展起来的一种新兴控制系统。FCS 系统的核心是总线协议,即总线标准。一种类型的总线,只要其总线协议一经确定,相关的关键技术与有关的设备也就被确定。各类总线都是以解决双向串行数字化通信传输为基本依据,但各类总线的总线协议存在很大的差异。为了使现场总线满足可互操作性要求,在 IEC 国际标准、现场总线通信协议模型的用户层中,明确规定用户层具有装置描述功能。

应用现场总线技术可用一条通信电缆将控制器与现场设备(智能化、带有通信接口)连接,使用数字化通信完成底层设备通信及控制要求。

现场总线技术以计算机大规模集成电路的发展为基础,要求现场设备智能化,即要求现场设备(传感器、驱动器、执行机构等设备)是带有串行通信接口的智能化(可编程或可参数化)设备。现场总线技术集现场设备的远程控制、参数化及故障诊断为一体,采用计算机数字化通信技术连接智能化现场设备,控制器可从现场设备获取大量丰富信息,实现设备状态、故障、参数信息传送,完成设备远程控制、参数化及故障诊断工作。

基于现场总线的自动化监控系统具有以下优点:

① 基于现场总线的自动化监控系统增强了现场级信息集成能力。

现场总线可从现场设备获取大量丰富信息,能够更好地满足工厂自动化及 CIMS(计算机/现代集成制造)系统的信息集成要求。现场总线是数字化通信网络,它不单纯取代 4~20mA 模拟信号,还可实现设备状态、故障、参数信息传送。系统除完成远程控制,还可完成远程参数化工作。

② 具有开放式、互操作性、互换性、可集成性。

不同厂家产品只要使用同一总线标准,就具有互操作性、互换性,因此设备具有很好的可集成性。系统为开放式,允许其他厂商将自己专长的控制技术,如控制算法、工艺流程、配方等集成到通用系统中去,因此,市场上将有许多面向行业特点的监控系统。

③ 系统可靠性高、可维护性好。

基于现场总线的自动化监控系统采用总线连接方式替代一对一的 I/O 连线,对于大规模 I/O 系统来说,减少了由接线点造成的不可靠因素。同时,系统具有现场级设备的在线故障诊断、报警、记录功能,可完成现场设备的远程参数设

定、修改等参数化工作，也增强了系统的可维护性。

#### ④ 节省成本。

对大范围、大规模 I/O 的分布式系统来说，省去了大量的电缆、I/O 模块及电缆敷设工程费用，降低了系统及工程成本。

总之，数字智能现场装置是 FCS 系统的硬件支撑基础。FCS 系统执行的是自动控制装置与现场装置之间的双向数字通信现场总线信号制，如果现场装置不遵循统一的总线协议，即相关的通信规约，不具备数字通信功能，就无法实现双向数字通信。现场总线的一大特点是要增加现场一级控制功能，如果现场装置不是多功能智能化的产品，那么现场总线控制系统的特点也就不存在了。无论是采用 DCS 或 PLC 还是采用现场总线，系统需要处理的信息量至少是一样多的，采用现场总线后，可以从现场得到更多的信息。现场总线系统的信息量没有减少，甚至增加了，而传输信息的线缆却大大减少了。这就是 FCS 系统的一大优点。

### 四、PCBCS 控制系统

PCBCS 是将经过加固的 PC 机硬件与控制软件相结合，实施通常由 PLC、DCS 执行的控制功能，或者说将 PLC 的控制功能“封装在”软件内，运行在 PC 的环境中。

PCBCS 控制系统主要由以下三部分组成：PC；I/O 组件及其连接件；操作系统软件和应用软件。PC 将以往 PLC、DCS 控制系统中的操作站、控制站融为一体，同时具备实施控制、通信及操作显示等功能，以减少安装空间、节省电缆，将复杂的通信连接简单化，还可通过国际互联网 Internet 或企业内部网 Intranet 得到重要的生产信息，实现生产过程优化。

PCBCS 控制系统的开放性是全面的，它会随计算机技术、通信技术、I/O 组件制造技术、现场总线技术及软件技术的发展而快速发展，不会像以往的 PLC、DCS 控制系统那样因封闭性、专一性而造成长期发展滞后。

### 五、脱硫和脱硝控制系统选用原则

#### 1. 不同控制系统特点比较

DCS 系统是个大系统，其闭环控制功能强。PLC 系统适合中型及小型系统，其逻辑控制功能强。FCS 适合各种控制系统，但必须有数字智能化的现场装置为前提，才能显示其智能化的优势。

DCS 系统一次性投资较大，PLC 系统投资相对要小。FCS 系统要求一次仪表智能化程度高，一次仪表投资要大些。

DCS 系统是封闭式系统，各公司产品基本不兼容，事后扩容难度较大。PLC 系统可以通过网络扩充同型号 PLC 单元，而且它可以作为 DCS、FCS 系统的前端处理现场 I/O。FCS 系统是开放式系统，用户可以选择不同厂商、不同品牌的各种设备连入现场总线，达到最佳的系统集成。

DCS、PLC 系统的信息全都是二进制或模拟信号形成的，必须有 D/A 与 A/D 转换。FCS 系统是全数字化，采用数字信号传递，就免去了 D/A 与 A/D 变换，

高集成化高性能,使精度可以从 $\pm 0.5\%$ 提高到 $\pm 0.1\%$ 。

FCS系统可以将PID闭环控制功能装入变送器或执行器中,缩短了控制周期,目前可以从DCS的每秒2~5次,提高到FCS的每秒10~20次,从而改善调节性能。

DCS、PLC可以控制和监视工艺全过程,对自身进行诊断、维护和组态。但是,由于其I/O信号采用传统的模拟量信号,因此无法在DCS工程师站上对现场仪表(含变送器、执行器等)进行远方诊断、维护和组态。FCS采用全数字化技术,数字智能现场装置发送多变量信息,而不仅仅是单变量信息,并且还具备检测信息差错的功能。FCS采用的是双向数字通信现场总线信号制。因此,它可以对现场装置(含变送器、执行机构等)进行远方诊断、维护和组态。FCS的这点优越性是DCS、PLC无法比拟的。

FCS由于信息处理现场化,与DCS、PLC相比可以省去相当数量的隔离器、端子柜、I/O终端、I/O卡件、I/O文件及I/O柜,同时也节省了I/O装置及装置室的空间与占地面积。FCS可以减少大量电缆与敷设电缆用的桥架等,同时也节省了设计、安装和维护费用。但它是数字智能现场装置为前提的。

目前的DCS与新型的PLC,由于多年的开发研究,在各自保留自身原有的特点外,又相互补充,形成新的系统。目前PLC系统由于网络技术的发展,也可以组成大型的DCS系统。而DCS为适应市场需要,也在开发小型的DCS系统。FCS是由DCS以及PLC发展而来,它保留了DCS的特点,或者说FCS吸收了DCS多年开发研究以及现场实践的经验,当然也包括教训。随着FCS技术的发展,FCS在不远的将来有可能占据控制系统的主流。

## 2. 脱硫和脱硝控制系统的选用

随着各种技术的不断发展,几个系统相互融合组成更先进的控制系统网络。在DCS中可以利用PLC作为控制的底层,完成基本的控制任务。其实多台PLC也可以组成控制网络,从其构成形式及分散危险的方面理解,可以称其为DCS控制系统。作为FCS系统也同样共存于其他系统当中使用,远距离数据采集和连接智能化就地设备利用FCS系统更会使整个控制系统锦上添花。而PCBCS控制系统也正在悄悄兴起,从性能和技术支持来看也具有很强的发展势头。

根据控制系统的特点及电厂改造的具体情况,改造机组增加脱硫、脱硝装置时,控制系统的设计选型应该考虑如下一些情况。从目前控制系统的实用观点来看,应该首选PLC控制系统。该系统造价远比DCS低,并且改造中的脱硫及脱硝系统一般控制点数在500点左右,适合选用PLC系统。另外系统中模拟量控制较少,开关量逻辑控制较多,所以选用PLC为控制系统更能发挥其特长。FCS系统是比较先进的控制系统,随着一次智能化仪表的发展和普及,FCS将是未来控制系统的主流。由于目前现场条件的限制在改造机组中选用FCS系统还不能发挥其优势。当然如果现场要求控制系统先进,一次仪表大多采用智能化仪表,选用FCS控制系统是最为理想的。该系统可以通过网络技术使数据能够方便地上传给主系统DCS,实现集中监视。在改造系统中也可以采用DCS系统,其控制系统的稳定可靠是经过长期证明的,主要是价格昂贵,由于DCS很强大的控制功能在改造系统

中没有多少用武之地，造成资源浪费。目前小型 DCS 系统发展很快，除首选 PLC 系统外也可以考虑选用小型 DCS 系统。由于 PCBCS 系统刚刚起步，其可靠性还要进一步验证，可能是未来控制系统的发展趋势。具体的选型设计当中还要根据用户的实际情况，综合各种因素选择针对改造机组及用户认可的控制系统。

对改造机组对控制系统的设计大致分为以下两种情况：一是将脱硫、脱硝的控制系统并入到电厂相应机组的主控制系统当中，与原主系统实现集中控制；另一种是将脱硫、脱硝的控制系统独立设计，使脱硫、脱硝的操作控制在主系统之外，系统停运及检修时，不影响主系统的正常运行。

第一种情况，脱硫及脱硝控制系统可以选用与主系统一致的 DCS 系统设备，使之与其实现方便的通信连接。如考虑价格及其他因素亦可设计采用 PLC 及 FCS 总线技术，通过其他通信方式与主系统实现连接。该方案设计时必须考虑主系统的兼容性，调研原系统的设计冗余及备用空间情况。更重要的是原主系统与新设计系统的通信协议是否兼容等。

第二种情况，脱硫及脱硝系统可选的控制系统与原主控制系统没有联系，是一个独立的控制系统。该独立的控制系统可以根据用户的要求设计为 DCS、PLC、FCS 任意一种形式，也可以设计成三个系统技术的综合控制系统。系统选型主要考虑以下因素：系统的运行方式；控制系统的资金投入；现场与控制室的距离；系统中模拟控制回路的数量；系统中开关量的数量；现场一次仪表智能化的程度等。