

电除尘器 选型设计指导书

中国环境保护产业协会电除尘委员会 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电除尘器 选型设计指导书

中国环境保护产业协会电除尘委员会 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

电除尘器选型设计指导书 / 中国环境保护产业协会电
除尘委员会编. —北京: 中国电力出版社, 2013.10

ISBN 978-7-5123-4992-6

I. ①电… II. ①中… III. ①静电除尘器—选型②静
电除尘器—设计 IV. ①TU834.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 231631 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>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 10 月第一版 2013 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 6.25 印张 126 千字

印数 0001—3000 册 定价 28.00 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 舒英钢

副 主 任 黄 炜 刘卫平 闫克平 俞铮庆

田俊茂 郭瑞林 周坚律

委 员 邝建国 邹 标 郭 俊 谢友金

朱建波 黎在时 王励前 张德轩

朱法华 石培根 林国鑫 张滨渭

梁可新 蒋亚彬 陈宇渊 蒋庆龙

林尤文 解 标 翟鸿平 胡汉芳

陈焕其 曹为民 蒋云峰 谢小杰

郑国强 赵 富 魏文深 冯肇霖

杨羽军 郑伟良 徐建达 卢泽锋

张谷勋 丁 铭 赵 惠 李 宁

钟剑锋

《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》

主 编 郇建国

评审专家 舒英钢 黄 炜 刘卫平 闫克平
朱建波 黎在时 王励前 张德轩
朱法华 石培根 郭 俊 林国鑫
张滨渭 梁可新 蒋亚彬 陈宇渊
蒋庆龙 谢友金 林尤文 解 标
翟鸿平 胡汉芳 李 宁

《电除尘器供电装置选型设计指导书》

主 编 邹 标 郭 俊 谢友金

评审专家 黄 炜 舒英钢 林尤文 刘卫平
蒋庆龙 陈焕其 曹为民 蒋云峰
谢小杰 郑国强 陈宇渊 赵 富
魏文深 冯肇霖 杨羽军 郑伟良
徐建达 卢泽锋 张谷勋 丁 铭
赵 惠 钟剑锋

序

中国环境保护产业协会电除尘委员会（以下简称电委会）是中国环境保护产业协会下设的专业委员会之一，是集我国电除尘行业各路精英的权威组织。电委会由浙江菲达环保科技股份有限公司、福建龙净环保股份有限公司、浙江大学等企业、高等院校及科研院所组成，其主要功能是为国家节能减排献计献策，为行业需求提供优质服务和沟通平台，为电除尘技术创新增添活力，为科技人员技术交流搭建平台。

电除尘器是国际公认的高效除尘设备，具有高效率、低排放、低能耗且无二次污染的优点，对于国内大部分煤种具有广泛的适应性。我国是电除尘器设计、生产、使用大国，电除尘行业已发展成为我国环保产业中能与国际厂商相抗衡且最具竞争力的一个行业，技术水平也取得了长足的进步，但离电除尘强国尚存在一定差距，尤其在电除尘器的选型设计方面，差距较大。电委会组织编制的《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》和《电除尘器供电装置选型设计指导书》，是电除尘行业集体智慧的结晶，是对 30 多年来电除尘本体及供电装置选型技术全面系统的总结，全面论述了电除尘器本体、供电装置选型设计技术，内容丰富翔实，可操作性强。本书指出了达到新烟尘排放标准电除尘器需要的技术条件及其经济性，认为电除尘器电场数量达到 6 个、比集尘面积为 $150\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ 时，仍具有较好的经济性。介绍了应对《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223—2011）和《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）的电除尘新技术及新工艺，认为在达到特别排放限值和 $\text{PM}_{2.5}$ 治理需求背景下，电除尘器仍是我国烟尘治理的主流设备。

本书的出版，将进一步推动和引导电除尘行业的技术进步，规范行业市场，提升行业整体技术水平。本书可为电除尘领域的政策制定提供借鉴，为科研、设计、制造和使用单位科学地选择除尘设备提供参考。值本书出版之际，我代表电委会全体同仁，向编纂、评审本书的各位专家以及长期关心和支持电除尘行业发展的社会各界表示衷心的感谢！

一个地球，一片蓝天，环境保护不分国界。“天更蓝、水更清、山更绿”是人类的责任与目标，让我们同心协力，与时俱进，为祖国美好的明天，为社会经济的全面协调和可持续发展作出更大的贡献。

中国环保产业协会电除尘委员会

主任委员



2013 年 6 月

编 者 的 话

电除尘器具有除尘效率高、设备阻力低、处理烟气量大、运行费用低、维护工作量少且无二次污染等优点，长期以来在电力行业除尘领域占据着绝对的优势地位，已是国际公认的高效除尘设备。电除尘器本体及供电装置的选型设计直接影响电除尘器性能，选型设计必须考虑影响电除尘器性能的多种因素。电除尘器的性能与燃煤性质有很大关系，而我国火电厂存在着煤种多变的特殊情况，因此，电除尘器本体及供电装置的选型设计有时需借助于经验，从某种意义上讲不仅是一门技术，更是一门“艺术”。近年来，我国电除尘技术水平虽取得了长足进步，但与发达国家相比，我国的电除尘器本体、供电装置选型设计尚存在一定差距，由于历史原因，我国电除尘器普遍存在电场数量偏少、比集尘面积偏小、供电装置选型不规范的现象，使部分电除尘器不能达标。《火电厂大气污染物排放标准》的征求意见稿出台之际，还曾有人对电除尘器是否仍是我国烟尘治理的主流设备产生质疑，本书的编制正是基于此背景下提出来的。

中国环境保护产业协会电除尘委员会(以下简称电委会)于2009年3月在厦门召开的四届六次常委会研究决定，委托浙江大学收集整理国外电除尘器相关资料，浙江菲达环保科技有限公司编制适合我国国情和燃煤特点的燃煤电厂电除尘器选型设计指导材料。历经1次会议评审、3次函审，共收到意见163条，编制组经过数次斟酌、修改，经电委会五届一次常委会审定、通过，于2010年4月形成了《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》(第一稿)。该指导书发布后，在一定程度上推动和引导了电除尘行业技术进步，规范了行业市场，提升了行业整体技术水平。

为应对《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)的要求，2012年3月在南宁市召开的电委会五届三次常委会上，下达了对《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》(第一稿)进行修订的任务，仍由浙江菲达环保科技有限公司负责实施。历经2次函审、2次研讨会，共收到意见58条，其中2013年4月在三亚市召开的电委会五届四次常委会上，对《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》(第二稿 送审稿)进行了专题研讨，与会领导及专家提出了许多建设性意见，拓宽了编制组的思路。编制组经过数次讨论、修改，于2013年6月形成了《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》(第二稿)。第二稿指导书增加了除尘难易性评价的方法，提高了指导书的实用性和可操作性；提出了通过改变烟气治理岛工艺系统，大幅提高除尘效率的概念；强调了采用电除尘新技术(含多种新技术的集成)或新工艺的必要性；分析了电除尘器出口烟气含尘浓度限值为 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 时的适应性与对策，增加了电除尘器出口烟气含尘浓度限值为 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 时的燃煤电厂电除尘器选型设计指导意见；拟定了燃煤电厂电除尘器提效改造技术路线。与第一稿相比，

第二稿指导书的内容更加科学、翔实，可操作性更强，将更好地发挥行业指导作用。

2010 年 10 月在南京召开的第十一次全国电除尘供电电源技术研讨会上，电委会确定编制电除尘器供电装置选型设计指导书，由福建龙净环保股份有限公司和厦门绿洋电气有限公司负责编写，历经 2 次会议评审、2 次函审，共收到意见 78 条，编制组经过数次讨论、修改，历时一年半。经电委会五届三次常委会审定并一致通过，于 2012 年 3 月形成了《电除尘器供电装置选型设计指导书》。

本书分为两部分，第一部分为《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》、第二部分为《电除尘器供电装置选型设计指导书》，全面论述了电除尘器本体、供电装置选型设计技术。《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》包括影响电除尘器性能主要因素分析、电除尘器适应性研究、选型设计及修正、除尘设备技术经济性分析、电除尘新技术及新工艺、电除尘器选型设计指导意见、电除尘器提效改造技术路线制定等内容。《电除尘器供电装置选型设计指导书》包括了供电装置的分类、供电装置的适用性、供电装置的设备容量选型、节能减排的实用技术等内容。

本书是电除尘行业集体智慧的结晶，是对 30 多年来电除尘本体及供电装置选型技术、经验全面系统的总结，共享了行业经验。本书得到了陈国渠、蒙骝、龙辉等多位资深专家的悉心指导，也得到了国内同行、学者、用户的帮助，在此表示诚挚的谢意，同时感谢浙江菲达环保科技股份有限公司刘云、余顺利、袁伟锋、梁丁宏和福建龙净环保股份有限公司陈丽艳、李文芹、陈颖、刘发秀等同志的辛勤工作。

希望本书能够为电除尘器本体及供电装置选型设计提供参考，为用户、设计单位、制造单位选择合适的除尘设备提供帮助。

由于编者学识及经验有限，书中难免出现疏漏之处，恳请专家、读者批评指正。另外，本书编写过程中还参阅了大量文献、标准资料，未能一一列出，在此谨向有关专家、学者和同仁致谢。

编委会

2013 年 6 月

目 录

序

编者的话

第 1 部分 燃煤电厂电除尘器选型设计指导书..... 1

第 2 部分 电除尘器供电装置选型设计指导书..... 69

第 1 部分

燃煤电厂电除尘器选型设计指导书

目 次

前言	5
1 目的	6
2 范围	6
3 选型设计流程	6
4 选型设计条件和要求	7
5 选型设计条件和要求分析	7
5.1 煤、飞灰样主要成分及其分布	8
5.2 煤、飞灰及烟气性质对电除尘器性能的影响分析	8
5.3 煤、飞灰的其他性质对电除尘器性能的影响分析	9
6 电除尘器适应性研究	9
6.1 电除尘器效率的基本公式及表观驱进速度 α_k	10
6.2 电除尘器对煤种的除尘难易性评价	10
6.3 电除尘器的适应性与对策	11
7 选型设计及修正	17
8 除尘设备技术经济性分析	18
9 推荐使用的电除尘新技术及新工艺	20
9.1 推荐使用的电除尘新技术	20
9.2 推荐使用的电除尘新工艺	20
9.3 电除尘新技术及新工艺应用情况	20
10 燃煤电厂电除尘器选型设计指导意见及说明	21
10.1 对选型设计指导意见的总体说明	21
10.2 燃煤电厂电除尘器选型设计指导意见	22
11 燃煤电厂电除尘器提效改造技术路线的制订	24
11.1 制订电除尘器提效改造技术路线的原则	24
11.2 电除尘器提效改造需要考虑的主要影响因素	24
11.3 确定电除尘器提效改造基本条件	24
11.4 电除尘器提效改造技术路线分类	24
11.5 燃煤电厂电除尘器提效改造技术路线指导意见	25
附录 A (规范性附录) 选型设计条件和要求	27
附录 B (资料性附录) 影响电除尘器性能主要因素分析	34
附录 C (资料性附录) 电除尘器对煤种的除尘难易性评价方法	45

附录 D (资料性附录) 选型设计修正	48
附录 E (资料性附录) 除尘设备技术经济性分析	51
附录 F (资料性附录) 推荐使用的电除尘新技术及新工艺	58
参考文献	68

前 言

本指导书代替第一稿（2010 年）《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》。

与第一稿相比，除编辑性修改之外，本指导书的主要技术变化如下：

- 对“煤、飞灰样主要成分及其分布”、“国内煤、飞灰样 ω_k 统计分析”进行了补充，煤种的煤、飞灰样本由 122 种增至 200 种，并由此对“电除尘器的适应性分析”作了调整；
- 增加了电除尘器适应性的定义；
- 增加了三种电除尘器对煤种除尘难易性评价的方法；
- 对“电除尘器实测结果分析”进行了补充，增加了中国环境保护产业协会电除尘委员会在 2002 年 1 月~2010 年 4 月对国内 175 套 600MW 以上机组配套电除尘器进行测试的结果；
- 提出了通过改变烟气治理岛工艺系统，大幅提高电除尘器除尘效率的概念。增加了“电除尘新工艺”，将第一版的“电除尘器的适应性分析”改为“电除尘器适应性与对策”，增加了“电除尘器出口烟气含尘浓度限值为 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 时的适应性与对策”；
- 增加了 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 时的燃煤电厂电除尘器选型设计指导意见，强调了推荐使用电除尘新技术（含多种新技术的集成）或新工艺；
- 对“除尘设备技术经济性分析”进行了修改；
- 增加了第 11 章“燃煤电厂电除尘器提效改造技术路线的制订”；
- 附录 B “煤、飞灰成分对电除尘器性能的影响分析”改为“影响电除尘器性能主要因素分析”；
- “推荐使用的与电除尘器配套的实用技术”改为“推荐使用的电除尘新技术及新工艺”，增加了低低温电除尘技术及湿式电除尘技术等新技术、新工艺的内容，并对其他新技术进行了完善。

本指导书的附录 A 为规范性附录，附录 B~附录 F 为资料性附录。

本指导书由中国环境保护产业协会电除尘委员会组织修订，并委托浙江菲达环保科技股份有限公司负责实施。

本指导书主编：酆建国。

本指导书评审专家：舒英钢、黄炜、刘卫平、闫克平、朱建波、黎在时、王励前、张德轩、朱法华、石培根、郭俊、林国鑫、张滨渭、梁可新、蒋亚彬、陈宇渊、蒋庆龙、谢友金、林尤文、解标、翟鸿平、胡汉芳、李宁。

本指导书由中国环境保护产业协会电除尘委员会负责解释。

燃煤电厂电除尘器选型设计指导书

1 目的

本指导书旨在进一步推动和引导电除尘行业的技术发展和进步,指导用户和设计单位合理选择电除尘新技术及新工艺,杜绝部分电除尘器设计偏小、配置不规范以及电除尘器改造方案选择不当而导致部分设备投运后烟尘排放不能达标的现象;规范电除尘行业科学合理地进行电除尘器(ESP)选型设计以及电除尘器提效改造,保证设备性能和较好的经济性,提升行业整体技术水平,满足国家日益严格的烟尘排放要求。

出台《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)和执行国家重点控制区特别排放限值,意味着作为主流除尘设备的电除尘器需具备更佳的除尘性能,这对电除尘器选型设计及提效改造提出了更高的要求。由于电除尘器性能受多个因素影响,且各因素间相互关联、相互作用,使其选型设计工作更具专业性和复杂性。本指导书通过分析研究中国煤种成分及其对电除尘器运行性能影响、国内投运电除尘器实情、国内外电除尘器规范、电除尘器对煤种的除尘难易性(简称除尘难易性)评价方法,提出了电除尘器选型设计的主要流程,包括选型设计条件和要求及其分析、电除尘器适应性研究、选型设计及其修正、除尘设备技术经济性分析。提出了电除尘器选型设计的指导意见和提效改造技术路线指导意见,为电除尘器供货单位、设计建设单位及管理部门科学合理地选择电除尘器及其提效改造方案提供技术支持。

2 范围

本指导书适用于燃煤电厂干式、板式、卧式电除尘器。不适用于半干法脱硫后的电除尘器、其他行业的电除尘器以及使用其他燃料的电厂电除尘器。

本指导书分别以电除尘器出口烟气含尘浓度 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ^①、 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 及其以下作为基础进行编写。

本指导书提出了电除尘新工艺,以进一步扩大电除尘器的适应范围。

3 选型设计流程

电除尘器选型设计遵循图 1 所示流程,即

① 烟气在温度为 273K,压力为 101 325Pa 时的状态,简称“标态”。本指导书中所规定的含尘浓度均指标准状态下干烟气的数值。

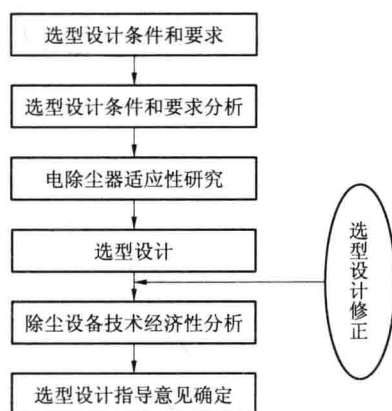


图 1 电除尘器选型设计流程

4 选型设计条件和要求

为使电除尘器选型正确，必须提供系统概况、燃煤性质、飞灰性质、烟气成分分析、设计参数、厂址气象和地理条件、达到电除尘器出口烟气含尘浓度限值的条件等选型设计用基本资料（不限如此），见附录 A。

5 选型设计条件和要求分析

对选型设计条件的分析，主要是选型设计条件对电除尘器除尘性能影响的分析；对选型设计要求的分析，主要是性能要求分析。

影响电除尘器性能的因素很复杂，但大体上可以分为三大类。对燃煤电厂而言，首先是工况条件，包括燃煤性质（成分、挥发分、发热量、灰熔融性等），飞灰性质（成分、粒径、密度、比电阻、黏附性等），烟气性质（温度、湿度、烟气成分等）等；其次是电除尘器的技术状况，包括结构形式、极配类型、同极间距、电场划分、气流分布的均匀性、振打方式、振打力大小及其分布（清灰方式及效能）、制造及安装质量和电气控制特性等；第三则是运行条件，包括操作电压、板电流密度、积灰情况、振打（清灰）周期等。这些影响因素中，工况条件为主要影响因素，其中煤、飞灰成分对电除尘器性能的影响最大。此外，还存在着诸如飞灰物相组分，显微结构（灰粒形状、孔隙率及孔隙结构、表面状况），浸润性等方面对电除尘器性能的影响。虽然对这些方面的系统论述和定量计算还缺乏基础，但选型时应给予注意。

烟气治理岛加装 SCR 脱硝系统后，对电除尘器的除尘性能也有一定的影响。加装 SCR 后，烟气中阴电性气体分子的含量显著提高，尤其是水分子的含量，有利于改善除尘性能。加装催化剂后，烟气中的少量 SO_2 被氧化成 SO_3 ，起到了一定的烟气调质作用，有利于降低飞灰比电阻，可提高电除尘器的除尘效率。

各影响因素的具体分析参见附录 B。

5.1 煤、飞灰样主要成分及其分布

在煤的成分中,对电除尘器性能产生影响的主要因素有 S_{ar} 、水分和灰分。飞灰成分包括 Na_2O 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 SO_3 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 CaO 、 MgO 、 P_2O_5 、 Li_2O 、 TiO_2 及飞灰可燃物等。

对国内 200 种煤种的煤、飞灰样主要成分进行统计分析,见表 1。

表 1 国内煤、飞灰样主要成分含量分布

成 分	变化范围 (参考值)	平均值 (参考值)
S_{ar}	0.11%~3.47%	0.82%
Na_2O	0.02%~3.72%	0.75%
Fe_2O_3	1.14%~23.64%	7.40%
K_2O	0.12%~4.98%	1.23%
MgO	0.17%~12%	1.37%
Al_2O_3	9.76%~52.63%	26.72%
SiO_2	13.6%~70.3%	50.52%
CaO	0.48%~28.47%	5.98%
注: 以上数据为 200 种煤种的统计值,但国内煤种数量超过该数量,因此以上各成分的含量变化范围及平均值将有所变化,如有专家提供的数据表明: (1) S_{ar} 含量的变化范围为 0.11%~9%; (2) Al_2O_3 含量的变化范围为 2.24%~52.6%; (3) CaO 含量的变化范围为 0.6%~50%		

5.2 煤、飞灰及烟气性质对电除尘器性能的影响分析

5.2.1 煤、飞灰成分中的 S_{ar} 、 Na_2O 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 及 SiO_2 对电除尘器性能影响很大。其中, S_{ar} 、 Na_2O 、 Fe_2O_3 对除尘性能起着有利的影响; Al_2O_3 及 SiO_2 对除尘性能则起着不利的影响。煤、飞灰成分对电除尘器性能的影响是其综合作用的结果。

Li_2O 、 K_2O 、 SO_3 、 CaO 、 MgO 、 P_2O_5 、 TiO_2 及飞灰可燃物对电除尘器性能的影响相对较小(在美国南方研究所的 Bickelhaupt 先生的比电阻预测实验研究报告中,把 Li_2O 和 Na_2O 的含量之和作为一个影响因素,实验结果表明,两者之和虽然很小,但其微小的变化,对粉尘比电阻的影响却很大。但国内有关专家对此观点存在异议)。其中, K_2O 、 SO_3 、 P_2O_5 、 Li_2O 、 TiO_2 对除尘性能起着有利的影响, CaO 、 MgO 对除尘性能则起着不利的影响。

5.2.2 烟气中水分含量的影响是显而易见的。炉前煤水分高,烟气的湿度也就大,有利于飞灰吸附而降低粉尘表面电阻($SO_3+H_2O=H_2SO_4$),粉尘的表面导电性也就好。另外,水分可以抓住电子形成重离子,使电子的迁移速度迅速下降,从而提高间隙的击穿电压。总之,水分高,则击穿电压高、粉尘比电阻下降、除尘效率提高。在燃煤含水量很高的锅炉烟气中,尤其是烟温不是很高时,水分对电除尘器的性能起着十分重要的作用。