

附件 3

《火电厂除尘工程技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

规范编制组

项目名称：《火电厂除尘工程技术规范》

项目统一编号：1453.1

承担单位：北京市环境保护科学研究院、清华大学、国电环境保护研究院、山东奥博环保科技有限公司、中节能六合天融环保科技有限公司、江苏新中环保科技有限公司、福建龙净环保股份有限公司、青岛科技大学。

编制组主要成员：闫静、杨明珍、王连泽、朱法华、蒋亚彬、张延青、朱彤、王俩、陈志伟、李冬 。

标准所技术管理负责人：姚之茂

技术处项目管理人：姜宏

目 次

1	任务来源	1
2	标准制定必要性、编制依据及编制原则	1
2.1	标准制定必要性	1
2.2	标准编制依据	2
2.3	标准编制原则	2
3	主要工作过程	3
4	国内外相关标准研究	4
5	火电厂除尘器工程概况	5
5.1	火电厂除尘器应用现状	5
5.2	除尘器主要技术进展	5
5.3	火电厂除尘器工程应用实例	9
6	主要技术内容及说明	17
6.1	一般性内容说明	17
6.2	污染物与污染负荷	18
6.3	总体要求	18
6.4	工艺设计	19
6.5	主要工艺设备和材料	21
6.6	检测与过程控制	21
6.7	劳动安全与职业卫生	22
6.8	施工与验收	22
6.9	运行与维护	23
7	标准实施的环境效益与经济技术分析	24
7.1	除尘器收尘效果	24
7.2	典型规模投资运行估算	25
8	标准实施建议	26
8.1	配套管理措施	26
8.2	相关的科研项目建设	26

《火电厂除尘工程技术规范》 (征求意见稿) 编制说明

1 任务来源

为适应新发展形势下环境保护工作的要求，持续改善环境空气质量，进一步规范电力行业除尘工程的设计、施工、验收、运行和维护，确保电力行业除尘设施发挥其应有的效果，全面控制火电厂颗粒物有组织和无组织排放，原国家环境保护总局于 2008 年 2 月下达了《电力行业除尘工程技术规范》的编制任务。

本标准主要起草单位：北京市环境保护科学研究院、清华大学、国电环境保护研究院、山东奥博环保科技有限公司、中节能六合天融环保科技有限公司、江苏新中环保科技有限公司、福建龙净环保股份有限公司、青岛科技大学。

参加编写人员有：闫静、杨明珍、王连泽、朱法华、蒋亚彬、张延青、朱彤、王俩、陈志伟、李冬。

2 标准制定必要性、编制依据及编制原则

2.1 标准制定必要性

2.1.1 持续改善环境空气质量的需要

我国火电行业以燃煤为主，排放的大气污染物包括烟尘、二氧化硫和氮氧化物，是我国污染控制的重点行业。从我国重点城市环境空气质量现状看：首要污染物仍以可吸入颗粒物为主，特别是在北方城市更加突出。燃烧排放的氮氧化物对环境空气质量中可吸入颗粒物、二氧化氮和臭氧均有较大影响。首先燃烧排放的氮氧化物又是环境空气中臭氧形成的前体物。环境空气中臭氧是由于氮氧化物和挥发性有机化合物在阳光作用下形成的。像北京、广州等重点城市的臭氧污染比较严重。其次，氮氧化物还会在氧化环境中转化为硝酸盐细粒子，从而加重细粒子污染。因此必须通过采取严格控制措施降低保证环保设施建设质量和运行效果，从而有效降低电力行业各项污染物排放量，达到持续改善城市环境空气质量，保护人体健康的目标。

2.1.2 促进环境污染治理设施规范运行的需要

我国的电力构成以火电为主，火电行业主要燃料为煤。根据中国电力企业联合会 2007 年 1 月 11 日统计快报显示，截至 2006 年底，我国发电装机容量达到 62200 万千瓦，其

中，火电达 48405 万千瓦，约占总装机容量的 77.82%。随着我国经济的快速发展，电力行业装机容量还将进一步增加。因此，为有效控制电力行业的大气污染物，根本途径是按照使用高效净化装置并保证环保治理设施的规范运行。本规范的编制可从总体设计、施工、验收、运行和维护等方面规范电力行业除尘工程，有利于提升我国电力行业除尘设施的工程质量和运行可靠性。

2.1.3 完善国家环保标准体系的需要

火电厂除尘工程主要是燃煤锅炉烟尘治理。由于我国煤种多，电厂燃煤资源又趋于紧张，因此造成燃煤锅炉烟尘性质的多样性和复杂性。目前火电厂锅炉烟尘治理手段主要有电除尘器、袋式除尘器及电袋复合除尘器。以往火电行业锅炉烟尘治理一直以电除尘器为主，近几年袋式除尘器应用明显上升，电袋复合除尘器也有了部分市场。而无组织排放粉尘的治理则以小袋式除尘器为主。目前我国除尘器的标准较多，各个行业和各种类型的除尘器都有各自的标准，建材、钢铁行业也都相继制定了除尘工程规范，这些标准的实施对于规范行业除尘器的生产、有效运行具有重要作用，但火电厂除尘工程是一项综合的系统工程，不仅涉及到电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器的生产，而且涉及到这些设备的安装、调试与运行，同时这些设备之间的配套性以及粉尘之间的适宜性等都直接影响到火电厂除尘器的运行效果。对于火电厂而言，目前这些标准都是从优化某一类型或环节出发制定的，存在不完善、不统一、欠协调的问题，因此，有必要由环保部门牵头制定火电厂除尘工程技术规范，完善国家环保标准体系，严格控制电力行业颗粒物排放。

综上所述，本《标准》的制定十分必要，标准实施后将促进环境污染治理设施规范运行、完善国家环保标准体系、有效削减电力行业颗粒物排放量，改善环境空气质量和保护人体健康具有十分重要的现实意义。

2.2 标准编制依据

本标准编制依据为《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》和《火电厂大气污染物排放标准》，以及环保行业、电力行业以及机械行业相关规范。

2.3 标准编制原则

2.3.1 与现行环保政策紧密衔接的原则

以国家环境保护和污染防治方面的法律、法规、政策、规划为主要依据，同时参考电力行业、机械行业相关规范及标准要求。

2.3.2 科学性原则

通过对燃煤电厂的现场调研，摸清我国燃煤电厂除尘工艺技术和设备水平以及运行管理现状，以先进的技术和工程实践经验为依据，使规范编制内容更为科学、合理。

2.3.3 技术与经济可行原则

规范编制应与经济、技术发展水平和建设方的承受能力相适应，同时应具有先进性，促进技术进步。

2.3.4 全过程管理和控制原则

规范编制充分体现了从除尘总体设计、工艺设计、设备和材料、施工与环保验收、运行与维护等方面的全过程管理以及烟（粉）尘有组织 and 无组织排放全方位控制原则。

3 主要工作过程

本标准于 2008 年 2 月正式立项，标准编制组根据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》开展标准编制工作，标准编制技术路线见图 3-1。

按照环境保护部科技标准司项目任务书的要求，规范编制组从 2008 年 6 月开始资料调研和收集工作。首先组织成立规范编制小组，确定工作方案；编制小组在工作过程中广泛收集、分析国内外相关技术文献、资料和现有标准规范；调研了火电厂应用现场，采集有关数据；2011 年 12 月形成开题报告，并于 2012 年 1 月通过开题审查。

根据开题审查意见，编制组再次调研了火电厂应用情况，并根据调研结果和召开两次专家咨询会，于 2012 年 3 月形成规范初稿。2012 年 4 月至 6 月，编制组根据环境工程技术规范制订技术导则要求调整了规范章节结构，重点研究了除尘器选型方法，强化了火电厂烟气除尘工程和系统技术要求的内容，于 2012 年 6 月形成《火电厂烟气除尘工程技术规范》初稿。

2012 年 7 月 25 日，在环境工程技术规范编制工作汇报会上，再次听取了环保部标准司有关领导和专家的意见，增加了火电厂无组织排放污染的相关内容；对引用的相关标准再次进行了全面核查，根据火电厂烟尘治理的特点，对设备选型和设计再次进行充实和优化，于 2012 年 8 月正式提交标准征求意见稿和编制说明。

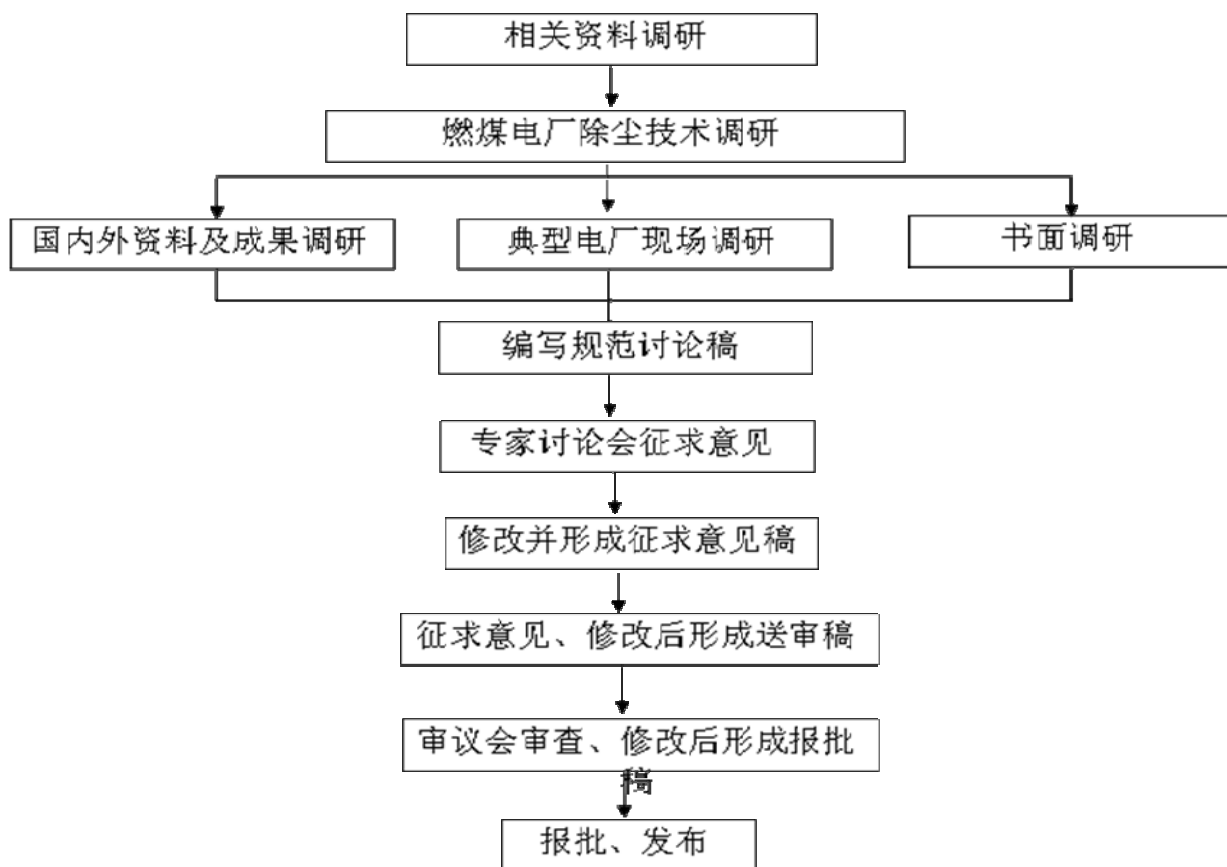


图 3-1 标准编制技术路线图

4 国内外相关标准研究

火电厂除尘工程相关的除尘器标准有环保产品行业标准、机械行业标准、国家标准等。其中环保产品行业标准有 HJ/T 321《环境保护产品技术要求 电除尘器低压控制电源》、HJ/T 322《环境保护产品技术要求 电除尘器》、HJ/T 328《环境保护产品技术要求 脉冲喷吹类袋式除尘器》、HJ/T 329《环境保护产品技术要求 回转反吹袋式除尘器》、HJ/T 330《环境保护产品技术要求 分室反吹类袋式除尘器》等。相关机械行业标准有 JB/T 5906《电除尘器 阳极板》、JB/T 5907《电除尘器 振打系统 通用技术条件》、JB/T 5910《电除尘器》、JB/T 5913《电除尘器 阴极线》、JB/T 6407《电除尘器设计、调试、运行、维护 安全技术规范》、JB/T 8536《电除尘器机械安装技术条件》、JB/T 8471《袋式除尘器安装技术要求与验收规范》、JB/T 5917《袋式除尘器用滤袋框架技术条件》、JB/T 8532《脉冲喷吹类袋式除尘器》等，相关国家标准有 GB/T 13931《电除尘器性能测试方法》、GB/T 16845《除尘器 术语》等。这些标准仅对某一类除尘器的设计选型、设备生产、安装调试、运行维护等的某

一方面进行了规范，但对火电厂除尘工程通用的、全面的系统规范还没有相关标准。

5 火电厂除尘器工程概况

5.1 火电厂除尘器应用现状

除尘器是火力发电厂重要的烟气净化设备，目前我国火电厂主要采用的除尘器型式有电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器。电除尘器应用时间最长，技术也比较成熟，应用最为广泛。在《火电厂大气污染物排放标准》（GB13223-2003）颁布之前，一般采用四电场普通干式电除尘即能满足排放要求，但GB 13223-2003 颁布后，将烟尘排放标准提高到 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，四电场普通干式电除尘一般难以达到排放标准。因此大部分老电厂对原普通干式电除尘进行改造来增加收尘面积和电场数，以期达到提高除尘效率的目的。但对特殊煤种，如低硫、高灰分及含铝量大的煤种，仅靠提高有限的收尘面积也很难达到目前的环保排放要求。随着近几年高频高压电源和移动电极等新技术的应用，可有效解决电除尘器效率不够高的问题，从而扩大了电除尘器应用范围。对于袋式除尘器，20世纪80年代我国就在小范围电厂中进行过试验，受当时工艺水平限制，滤料质量不过关，加上技术不够成熟等问题，没有得到推广应用。近年来，随着袋式除尘器技术的发展以及环保排放要求的进一步提高，袋式除尘器又成为火电厂的选择之一。但其布袋易破损、布袋的二次污染及运行成本高等问题也抑制了袋式除尘器的推广应用。电袋复合除尘器是电除尘器和袋式除尘器技术的结合，2000年以后在国内开始推广应用，电袋复合除尘器多用于现有电厂的除尘器改造，以解决受场地限制和其他原因导致电除尘器不能达到环保要求的问题。

因此，火电厂除尘器应用将会形成多种除尘器并存的局面，在做除尘器选型设计时，需要根据煤种、场地、资金等经济技术条件综合考虑。但电除尘器仍将是火电厂除尘器的主导产品。

5.2 除尘器主要技术进展

近年来，火电厂除尘技术发展迅速，无论是曾经绝对主导地位的电除尘器，还是后来发展起来的袋式除尘器和电袋复合除尘器，都在向高效、经济、环保等多元化方向迈进。

5.2.1 电除尘器技术

20世纪70年代电除尘开始在火电厂应用，80年代开始快速推广，90年代和本世纪初，普通干式电除尘在我国燃煤电厂得到普及，几乎所有电厂均采用电除尘器，多年的应

用积累了丰富的运行和管理经验，设备运行良好，基本都能够达到设计指标。除早期投运的电除尘为三电场外，后期投运的基本上都是四电场，达到 $150\text{mg}/\text{Nm}^3$ 的排放标准不成问题。在GB 13223-2003 颁布后，由于火电厂燃煤锅炉烟尘比电阻较高，普通干式电除尘难以达到排放标准，首先想到的措施是增加除尘器集尘面积，将除尘器加高、加宽和增加电场数，近期投运的电除尘有五电场，甚至六电场，比集尘面积从早期低排放要求的 $50\text{m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{s})$ 提高到 $90\sim 100\text{m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{s})$ 。由于普通干式电除尘对超细微粒收集效率低、当烟尘比电阻不适宜时发生反电晕以及气流冲刷和振打引起二次扬尘等固有问题，单纯增加比收尘面积在很多情况下仍不能满足排放要求。近几年采取的电除尘方案和最新实用化技术措施如下：

a) 结合湿法脱硫，仍选用四电场或五电场普通干式电除尘。

近几年，由于国家环保政策要求，安装脱硫装置的机组急速增加。石灰石-石膏法和海水脱硫法的脱硫塔，在吸收液喷淋过程中对烟尘具有捕集作用，除尘效率为 $50\%\sim 80\%$ ，一般设计上按 50% 考虑。现有烟气净化流程为烟气首先经过电除尘器，然后进入脱硫吸收塔。前面设置四电场或五电场电除尘器，如果烟尘比电阻适中，除尘效率可达到 $99.6\%\sim 99.7\%$ ，出口浓度能控制在 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右，加上脱硫装置的 50% 以上除尘效率，最终烟尘排放浓度可控制在 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以内。但如果烟尘比电阻过高，或由于燃用煤品质变化大，这套烟气净化系统的除尘效率也可能无法保证达标排放。

b) 高频开关电源(SIR 电源)

高频开关式电源是电除尘高压供电领域的新动向、新热点，近几年开始迅速推广应用。SIR电源是把三相工频电源通过整流形成直流电，通过逆变电路形成高频交流电，再经整流变压器升压整流后形成高频脉动电流送除尘器，其频率在 $20\text{k}\sim 50\text{kHz}$ 左右。高频电源供给电场的是一系列的电流脉冲（脉冲宽度在 $5\sim 20$ 微秒），能提高烟尘的荷电效率和粉尘迁移速度，从而提高除尘效率。同时，在烟尘带有足够电荷的前提下，可减少无效的电场电离，从而大幅度减少电除尘器电场供电能量损耗。另外，同时在电源本身电能转换效率上，工频电源只有 70% 左右，而高频电源可达 90% 以上。高频电源采用间隙供电方式，对在高烟尘比电阻既能克服“反电晕”的特殊现象，提高除尘效率；又能大幅度的节约能耗。

c) 旋转电极电除尘技术

旋转电极电除尘器与普通电除尘器的区别在于其收尘极是移动的，它的收尘极板由若干分离的条状板材通过链条联接而成，在除尘器极板的上部和下部设有链轮，通过驱动链轮，使收尘极板在上下链轮间往复移动，移动速度 $0.1\sim 1.5\text{m}/\text{min}$ 。在极板上的粉尘层还

没有达到能形成反电晕的厚度时，就被移动到主气流下方的灰斗区域，这时设置在此的旋转电刷将粉尘清理下来，落入灰斗，由于清灰位置没有主气流通过，不会引起二次飞扬。移动电极通常设在电除尘的末电场，其他上游电场仍采用固定式极板。应用结果表明：能有效解决高比电阻粉尘的收集；有效减少二次扬尘，显著降低ESP 出口烟尘浓度，排放浓度可控制在 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下，甚至达到 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下；节省场地和空间。

d) 辅助电极和双区电除尘技术

我国在20 世纪80 年代开始引进带辅助电极的原式电除尘器，它在放电极后面设置圆管排列组成的辅助电极，阳极板也由圆管排列而成，这样可增加收尘面积。后来，极板和辅助电极的结构形式有所发展变化，不再局限于原式结构。采用辅助电极的优点有两个方面：其一，辅助电极可捕集反电晕和正常电晕区产生的荷正电的颗粒，从而提高除尘效率；其二，辅助电极区域，电场均匀，收集粉尘的场强大，有利于收集粉尘。应用结果表明，配置辅助电极，可显著改善除尘效果。近年来，在辅助电极技术基础上又发展了复合双区除尘技术，辅助电极和放电极分开供电。这样辅助电极可以施加更高电压，收集场强更大，荷电和收集都可以处于最佳状态，可进一步改善除尘效果。

e) 电凝并技术

由于细微粒子荷电困难并且在电场内受到的迁移粘滞阻力大，趋进速度低，所以电除尘对 $2.5\mu\text{m}$ 以下细微粒子的收集效率低。为此，人们开发了电凝并技术，使细微粒子和其他粒子凝并成大粒子，减少细微粒子数量，从而提高除尘效率。电凝并分为四类：直流电场中异极性荷电尘粒的凝并；不同粒径粒子运动速度和受电场趋近速度不同，发生碰撞，从而产生凝并；交变电场中同级性荷电尘粒的凝并；交变电场中异级性荷电尘粒的凝并。实验证明异级性荷电尘粒在交变电场中的凝并在四种方法中凝并效率最高。

f) 干湿混合电除尘技术

电除尘存在振打引起的二次飞扬和高比电阻引起的反电晕，因而除尘效率不够理想。湿式电除尘采用在极板上形成水膜清洗极板上的飞灰，有效解决了上述两个问题，并且可以捕集硫酸雾及细微粒子，消除湿法脱硫产生的“紫烟”现象。如果将湿式电除尘和干式电除尘结合起来，前级电场采用干式电除尘，末级电场采用湿式清灰，则可以降低设备造价，维持原有飞灰综合利用途径，又能满足排放要求。

5.2.2 袋式除尘器技术

袋式除尘是与电除尘截然不同的一种高效除尘技术，它利用纤维材料(滤袋) 的过滤作用将烟尘捕集下来。其突出特点是除尘效率高，实际应用除尘效率可达99.99%以上，经

滤袋过滤后烟气含尘浓度一般都低于 $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，甚至 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下。即便是对人体危害最大的 $2.5\mu\text{m}$ 以下的细微粒子也有极高的除尘效率，还可有效去除烟气中的颗粒态重金属汞。并且除尘效率不受烟尘特性影响，运行稳定，早已广泛应用于钢铁、有色金属、建材等行业，是高效大气污染控制技术。国外工业发达国家早在20世纪80年代就已将袋式除尘设备应用于燃煤电厂，且随着排放标准的提高，袋式除尘器在火力发电行业所占的份额日益提高。国内早在20世纪80年代到90年代早期，开展了袋式除尘器的推广试验工作，先后在12台不同规模机组上安装袋式除尘器，但由于滤料选择不当等原因均以失败告终。直到2001年，国内又开始引进和研发燃煤锅炉应用的袋式除尘技术，率先在内蒙古丰泰发电有限公司采用袋式除尘器代替由于比电阻太高无法达标排放的电除尘器。随着GB 13223的颁布实施，袋式除尘器在燃煤电厂的应用日益增多，国内一些骨干环保企业纷纷引进和研发，并已完全掌握该项技术，可自主设计制作大型袋式除尘器，滤袋等关键配件在国内也能生产，设备费用已较引进设备有较大幅度降低。今后袋式除尘器所占的市场份额会快速上升。有很多资料对燃煤电厂应用电除尘和袋式除尘做了对比，由于观点有差异，对比数据没有统一标准，所以对比结论不完全一致，总体上说：电除尘阻力小，运行维护费用小；袋除尘效率高，阻力大；电除尘对烟尘特性敏感，适宜范围小；袋除尘适合任何烟尘特性，但对于烟温、烟气成份等适应性差，需进行高温保护，低温防结露，防腐蚀；袋式除尘器滤袋寿命短，不超过30000h，每3~4年布袋就需全部更新一次。两者现阶段、现排放标准下，投资大体相当，运行维护费用袋式除尘器略高。

5.2.3 电袋复合除尘技术

电袋复合除尘技术是近年来在电除尘达标改造基础上，综合利用电除尘器和袋式除尘器的优点而新发展起来的除尘技术，从理论到应用已经基本成熟，目前在水泥行业、火电行业已有多台套设备投入生产运行。实际运行结果表明：对任何煤质都可实现烟尘达标排放，排放浓度甚至可控制在 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下。电袋复合除尘器顾名思义利用电除尘和过滤除尘两种机理，是两种除尘技术的组合。根据电除尘和袋过滤除尘单元的组合方式可将电袋复合除尘器划分为“前电后袋”式和“嵌入式”两种类型。“前电后袋”式复合除尘器的前面是一个电场或两个电场的电除尘(一般情况下一个电场足够)，后面为袋式过滤单元，两者“串联”，电除尘可捕集80%~90%的烟尘，袋式除尘单元利用过滤除尘的高效率实现达标排放。该类电袋复合除尘器又分两种：一种是电除尘部分和过滤除尘部分做成一体，电除尘后的烟气直接进入袋除尘单元，此种方式的优点是结构紧凑，占地面积小，烟尘带电荷的不会消失，滤袋上的粉尘层疏松阻力小，但存在气流分布难以调整到最优、后面袋式除

尘部分无法在线检修的问题，我国环保设备厂制作的电袋复合除尘器基本上都是这种类型；另一种为电除尘部分和过滤除尘部分各自独立，是分体的，即前面是一个电除尘，烟气从电除尘器出来后进入袋式除尘器，优点是各自独立，相互影响小，后面袋式除尘器可将气流分布调整到最佳状态，可在线检修，但占地面积大，烟尘可能失去电荷，进而导致粉尘层阻力有所增加。“嵌入式”电袋复合除尘器电除尘单元和袋过滤单元组合在一起，其特点是在除尘器内部，一组电极和一排袋滤器相间排列，被静电捕集后，烟气穿过阳极板进入袋滤器，未被捕集和振打清灰引起的二次扬尘被滤袋收集，滤袋反吹风时扬起的烟尘颗粒进入电场被电除尘收集。两者有机结合，起到了单一的电除尘或袋除尘所不能获得的最佳效果。电袋复合除尘器具有以下显著优点：对细微粒子，特别是 $0.01\sim 1\mu\text{m}$ 的气溶胶粒子有很高的捕集效率；由于电除尘已去除 $80\%\sim 90\%$ 的烟尘，烟尘量减小，加上由于静电作用，滤袋表面沉浸的粉尘层具有松散的组织，过滤阻力小；与电除尘相比，烟气粉尘性质的适用范围更，对任何煤质的烟气，烟尘均可达标排放；与普通袋式除尘器相比，工作负荷低，运行阻力低，清灰次数减少，滤袋的使用寿命延长。

5.3 火电厂除尘器工程应用实例

5.3.1 实例 1：火电厂电除尘器

(1) 该实例为 600MW 机组所配备的电除尘器，锅炉最大连续蒸发量为 1913t/h，锅炉(B-MCR)燃煤量为 255t/h(设计煤种)、261.7 t/h(校核煤种)，其他相关资料参数为：

a、燃煤煤质分析

名称及符号			单位	设计煤种	校核煤种
工业分析	收到基水分	Mar	%	7.50	7.52
	收到基灰分	Aar	%	25.30	26.00
	可燃基挥发分	Var	%	38.64	35.00
	固定碳	F Car	%	41.24	43.22
收到基低位发热量	Qnet, ar		kJ/kg	21430	20460
哈氏可磨系数	HGI			62	55
冲刷磨损指数	Ke			2.43	
元素分析	收到基碳	Car	%	54.80	51.50
	收到基氢	Har	%	3.88	4.0
	收到基氧	Oar	%	7.16	9.0

名称及符号			单位	设计煤种	校核煤种
析	收到基氮	Nar	%	0.91	1.5
	收到基全硫	St, ar	%	0.45	0.48
	收到基水分	Mar	%	7.5	7.52
	收到基灰分	Aar	%	25.3	26.0
灰熔 融性	变形温度	DT	°C	>1500	1350
	软化温度	ST	°C	>1500	>1359
	流动温度	FT	°C	>1500	>1500
灰分 分析	二氧化硅	SiO ₂	%	57.1	54.12
	三氧化二铝	Al ₂ O ₃	%	31.4	32.29
	三氧化二铁	Fe ₂ O ₃	%	4.9	3.39
	二氧化钛	TiO ₂	%	1.2	1.33
	三氧化硫	SO ₃	%	1.6	1.51
	氧化钾	K ₂ O	%	0.6	4.06
	氧化钠	Na ₂ O	%	0.6	0.6
	氧化钙	CaO	%	1.9	1.8
	氧化镁	MgO	%	0.7	0.9

b、飞灰比电阻（测试方法：梳齿法）

测试温度	湿度	电压	电流	比电阻值	
				设计煤种（淮南新集烟煤）	校核煤种
°C	%	V	A	Ω·cm	Ω·cm
27				1.90×10 ¹⁰	
80				1.60×10 ¹¹	
100				4.80×10 ¹¹	
120				1.12×10 ¹²	
150				1.00×10 ¹²	
180				2.00×10 ¹¹	

c、飞灰密度及安息角

序号	名称	单位	设计煤种	校核煤种
1	真密度	t/m ³		
2	堆积密度	t/m ³		
3	安息角	度		

d、烟气其他特性参数

序号	名称	单位	设计煤种	校核煤种 1
1	除尘器入口烟气露点温度	°C	93	93
2	除尘器入口烟气含湿量	g/kg	48.53	51.97
3	除尘器入口烟气温度	°C	126	126
4	除尘器入口烟气量	m ³ /s	400.8	400.8
5	除尘器入口含尘量	g/Nm ³	31.62	34.30

(2) 根据烟气特点和烟气量以及环保要求，电除尘器设计为：

- a、型式：干式、卧式、板式
- b、数量：每台炉配两台除尘器
- c、电除尘器的钢结构设计温度为 300°C，当锅炉尾部燃烧时，除尘器能在 350°C 正压条件下运行 30 分钟而无损坏。
- d、设计负压 9.8kPa，设计正压 9.8kPa。
- e、阳极板和阴极框架的振打程序、间隔均可调，阳、阴极振打框架有足够的刚度，振打装置使电极整体产生足够强的法向加速度，并设有防止振打器脱落的安全措施，振打装置转轴同轴度公差≤1mm，并考虑除尘器内主要转动部件的防尘措施，振打器在正常维护下无故障工作时间为 6 年。
- f、除尘器顶部设全密封屋盖，可满足除尘器顶部设备检修维护的需要。
- g、电除尘器本体上的所有检修门、人孔门、通向除尘器高压电气设备的门均与高压电源系统有可靠的联锁手段，即只有在电源被切断并消除残留电荷的情况下才能进入除尘器内部，以保证人身安全。

(3) 电除尘器具体设计规格参数

序号	项目名称	单位	设计参数
1	烟气处理量	m ³ /min	24048
2	入口含尘量	g/Nm ³	31.62
3	出口含尘量	mg/Nm ³	≤50
4	烟气温度	°C	126
5	保证效率	%	≥99.7
6	流通面积	m ²	456
7	气流分布均匀性系数	/	σ≤0.2
8	本体阻力	Pa	≤200
9	本体漏风率	%	≤2
10	噪声	dB	距壳体 1.5m 处最大噪声级≤80
11	电场通道数	个	2×38

12	电场同极距	mm	400
13	每个电场的有效长度	m	4.5
14	所有电场的总有效长度	m	18.0
15	电场的有效高度	m	15.0
16	总集尘面积	m ²	41040
17	长、高比	/	1.01
18	室数	/	2
19	电场数	/	4
20	阳极板型式	/	480C
21	阳极板材质	/	SPCC
22	阳极板有效高度	m	15.0
23	阴极线型式	/	芒刺线/SPCC
24	阴极线材质	/	1Cr18Ni9Ti
25	阳极板振打形式	/	侧向挠臂锤振打
26	阳极振打加速度	g	200
27	阳极振打传动功率及台数	kW/台	0.37/8
28	阴极框架振打形式	/	顶部电磁振打
29	阴极振打加速度	g	150
30	阴极振打传动功率及台数	kW/台	0.37/8
31	比集尘面积	m ² /m ³ /sec	102.4
32	驱进速度	cm/sec	5.67
33	烟气流速	m/sec	0.88
34	烟气停留时间	sec	20.5
35	烟气负压	kPa	2
36	壳体设计负压	kPa	9
37	壳体材料/厚度	/	Q235/5mm
38	每台除尘器保温材料材质/保温层厚度	/	岩棉/100
39	每台除尘器灰斗数量	个	16
40	灰斗加热形式	/	电加热
41	灰斗料位计形式/数量	只	射频导纳/32
42	整流变压器规格	/	GGAJ02-2.0A/72kV
43	每台除尘器所配整流变压器台数	台	8
44	整流变压器型式	/	油浸式
45	整流变压器重量	t	2
46	每台整流变压器的额定容量	kVA	205
47	整流变压器适用的海拔高度	m	<2000
48	整流变压器适用的环境温度	°C	-40~+40

5.3.2 实例 2：火电厂袋式除尘器

(1)该实例为 300MW 机组所配袋式除尘器。锅炉最大连续蒸发量: 1062t/h, 锅炉(B-MCR)燃煤量: 216t/h(设计煤种)、230t/h(校核煤种)。

(2) 燃煤煤质分析 (产地: 燃用准格尔地区哈乌素露天矿洗煤厂的中煤和末煤)

项 目	符 号	单 位	数 值			
			设计煤种	校核煤种 1	校核煤种 2	
元 素 分 析	收到基碳	Car	%	43.21	39.07	45.19
	收到基氢	Har	%	3.42	3.21	3.24
	收到基氧	Oar	%	10.55	10.33	11.91
	收到基氮	Nar	%	0.69	0.86	0.67
	收到基全硫	St, ar	%	0.43	0.43	0.47
工 业 分 析	收到基水分	Mtar	%	10	10	8
	收到基灰分	Aar	%	31.7	36.1	30.52
	干燥无灰基挥发分	Vdaf	%	40.87	42.95	37.62
	空气干燥基水分	Mad	%	2.94	2.72	3.34
收到基低位热值		Qnet, ar	kJ/kg	16294	14676	17644
哈氏可磨系数		HGI	/	70	68	65
灰 熔 点	变形温度	DT	℃	>1500	>1500	>1500
	软化温度	ST	℃	>1500	>1500	>1500
	熔化温度	FT	℃	>1500	>1500	>1500
灰 分 析	二氧化硅	SiO ₂	%	38.22	33.92	43.38
	三氧化二铝	Al ₂ O ₃	%	51.72	55.66	45.81
	三氧化二铁	Fe ₂ O ₃	%	1.38	2.16	1.51
	氧化钙	CaO	%	1.36	1.02	1.27
	二氧化钛	TiO ₂	%	1.30	1.26	0.75
	氧化钾	K ₂ O	%	0.43	0.45	0.11
	氧化钠	Na ₂ O	%	0.02	0.003	0.13
	氧化镁	MgO	%	0.23	0.32	0.40
	三氧化硫	SO ₃	%	1.75	1.58	2.42
	五氧化二磷	P ₂ O ₅	%	0.035	0.04	0.05
比 电 阻	17.5℃时	--		4.50×10 ¹² Ω·cm		测量电压: 500V
	80℃时	--		7.20×10 ¹² Ω·cm		
	100℃时	--		9.40×10 ¹² Ω·cm		
	120℃时	--		4.00×10 ¹³ Ω·cm		
	150℃时	--		6.50×10 ¹³ Ω·cm		
	180℃时	--		1.20×10 ¹³ Ω·cm		

(3) 烟气其他特性参数

名称	单位	设计煤种	校核煤种 1
除尘器入口烟气露点温度	°C	87	89
除尘器入口烟气含湿量	g/kg	82.3	95.6
除尘器入口烟气温度	°C	130~145	
除尘器入口烟气流	m ³ /s	579.6	
除尘器入口含尘量	g/Nm ³	<50	

(4) 所配袋式除尘器型号规格及基本参数

参数名称	参数值	单位
型号规格	XLDM40000	/
处理风量（已修正温度130°C、压力）	2086676	m ³ /h
处理风量（修正温度为140°C，冗余10%）	2338600	m ³ /h
过滤风速	≤1.2	m/min
净过滤风速	0.95	m/min
室数	4列	个
每室滤袋数	2548	条
滤袋材质	PPS/PPS551CS17	/
滤袋规格（直径×长度）	φ160×8000	mm × mm
总过滤面积	40961.65	m ²
入口烟气温度	130~145	°C
入口烟气含尘浓度(标态)	<50	g/m ³
出口烟气含尘浓度(标态)	<50	mg/m ³
运行阻力	≤1300	Pa
脉冲阀规格	DC24V, 3"淹没式	/
每室脉冲阀数量	182	只
换袋空间高度	4000	mm
压缩空气压力	0.2~0.4	MPa
压缩空气消耗量	20~32	m ³ /min
排灰设备型号/功率	/	/kW
锁风设备型号/功率	/	/kW
反吹风机型号/功率	/	/kW
反吹风机风量/风压	/	m ³ /h, Pa
壳体承受压力	±5800	Pa
设备外形尺寸（长×宽×高）	26.58×38.0×32.2	m×m×m
总装机功率	/	kW
设备总重	~1800000	kg

5.3.3 实例 3：火电厂电袋复合除尘器

(1) 该实例为 660MW 机组所配电袋复合除尘器，锅炉最大连续蒸发量：2102t/h，锅炉

(B-MCR)燃煤量：248.66t/h(设计煤种)、277.02t/h(校核煤种)。

(2) 燃煤煤质分析

项 目		符 号	单 位	设计煤种	校核煤种
工业分析	收到基低位发热值	$Q_{\text{net,ar}}$	kJ/kg	22100	19890
	收到基全水份	M_t	%	5.8	8.5
	收到基灰份	A_{ar}	%	28.11	31.77
	干燥无灰基挥发份	V_{daf}	%	15.41	15.90
	空气干燥基水份	M_{ad}	%	1.09	0.68
元素分析	收到基碳	C_{ar}	%	58.99	50.23
	收到基氢	H_{ar}	%	3.11	3.0
	收到基氧	O_{ar}	%	2.74	3.52
	收到基氮	N_{ar}	%	1.08	2.48
	收到基全硫	$S_{\text{t,ar}}$	%	0.17	0.50
可磨性系数		HGI	/	83	113
煤冲刷磨损指数		Ke	mg/kg	1.35	/
着火温度		IT	°C	825	/
灰变形温度		DT	°C	>1500	>1400
灰软化温度		ST	°C	>1500	>1500
灰半球温度		HT	°C	>1500	>1500
灰流动温度		FT	°C	>1500	>1500

(3) 煤灰成分分析

项 目		单 位	设计煤种	校核煤种
灰分析	二氧化硅 SiO_2	%	54.24	60.36
	三氧化二铝 Al_2O_3	%	29.00	25.72
	三氧化二铁 Fe_2O_3	%	4.93	4.64
	氧化钙 CaO	%	6.04	3.48
	二氧化钛 TiO_2	%	1.18	1.01
	氧化钾 K_2O	%	1.40	1.57
	氧化钠 Na_2O	%	0.40	0.82
	氧化镁 MgO	%	0.94	0.68
	三氧化硫 SO_3	%	1.06	1.06
	氧化锰 MnO_2	%	0.006	0.006
	其他	%	0.804	0.654

(4) 飞灰比电阻(梳齿法，测试电压 500V，湿度 51%)

序号	测试温度	单位	设计煤质	校核煤种
飞灰比电阻	28℃ (室温)	Ω·cm	1.22×10^{10}	1.36×10^{10}
	80℃	Ω·cm	5.20×10^{12}	1.60×10^{12}
	100℃	Ω·cm	6.20×10^{12}	4.20×10^{12}
	120℃	Ω·cm	1.07×10^{13}	5.50×10^{12}
	150℃	Ω·cm	1.14×10^{13}	8.10×10^{12}
	180℃	Ω·cm	7.10×10^{12}	5.90×10^{12}

(5) 烟气性质

名称	单位	设计煤种	校核煤种 1
除尘器入口烟气露点温度	℃	68.502	83.632
除尘器入口烟气含湿量	g/kg		
除尘器入口烟气温度	℃	128.1	124.4
除尘器入口烟气流	m ³ /s	910.83	857.5
除尘器入口含尘量	g/Nm ³	30	38.8

(6) 电袋复合除尘器型号规格及基本参数

性能参数名称	单位	参数	结构参数名称	单位	参数
型号规格	/	2FE442/4-2	室数	个	4
处理风量	m ³ /h	3279000	滤袋规格 (直径×长度)	mm × mm	168×8250
过滤风速	m/min	1.1	总过滤面积	m ²	~49800
电场内气流速度	m/s	1.03	横断面积	m ²	2×442
烟气通过时间	s	7.05	电场数	个	2
有效驱进速度	cm/s	5.81	电场长度	m	2×3.8
比收尘面积	m ² /m ³ /s	34.84	电场高度	m	13
净过滤风速	m/min	/	电场宽度	m	4×8.5
入口烟气温度	℃	128.1	同极间距	mm	400
入口烟气露点温度	℃	68.502	收尘极型式	/	BE板
入口烟气含尘浓度 (标态)	g/m ³	30, 最大 38.8	总收尘面积	m ²	33197
出口烟气含尘浓度 (标态)	mg/m ³	≤25	放电极型式	/	针刺线
运行压力	Pa	±8700	总放电极长度	m	49310
运行阻力	Pa	≤1100	整流设备参数	/	1.5A/66KV
设计压力	Pa	±10500	脉冲阀规格	/	4寸淹没式
压缩空气压力	MPa	0.2~0.3	每室脉冲阀数量	只	27
压缩空气消耗量	m ³ /min	≤25	换袋空间高度	mm	3300
排灰设备型号/功率	/kW	/	每室滤袋数	条	2862条

锁风设备型号/功率	/kW	/	滤袋材质	/	PPS+PTFE
反吹风机型号/功率	/kW	/	壳体承受压力	Pa	±10500
反吹风机风量/风压	m ³ /h, Pa	/	设备外形尺寸 (长×宽×高)	m×m×m	21.56×74.75× 30
总装机功率	kW	1242	设备总重	kg	~2600000

6 主要技术内容及说明

6.1 一般性内容说明

6.1.1 适用范围

由于火电厂处理烟气和粉尘性质的多样性、复杂性以及各类除尘器不同的工作特性，再加上环保排放标准的日益提高，使得我国火电厂除尘器的产品要求在不断变化，从前些年电除尘器的一统天下，到近几年袋式袋式除尘器异军突起以及电袋复合除尘器的出现，使得我国火电厂除尘器有了更多的选择。不同类型的除尘器在不同应用行业都有各自的规范，电除尘器、袋式除尘器、钢铁行业、水泥行业等，但一直还没有火电厂除尘的统一规范。因此，为了进一步规范火电厂除尘器工程的工程设计、施工、验收、运行和维护，特编制本规范。规范编制汲取了火电行业及其他行业的各类除尘器相关规范共同点，在规范条款上又主要针对电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器特点来制定本规范。

6.1.2 规范性引用文件

本规范引用了相关行业的技术法规和标准，主要有以下四个类别：

(1) 国家标准

主要包括：工业企业设计卫生标准(GBZ 1)、低压成套开关设备和控制设备(GB 7251)、工业企业厂界噪声排放标准 (GB 12348)、钢结构设计规范 (GB 50017)、采暖通风与空气调节设计规范(GB 50019)、电气控制设备(GB/T 3797)、电除尘器性能测试方法(GB/T 13931)、除尘器 术语 (GB/T 16845)、爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范 (GB/T 50058)、火力发电厂与变电站设计防火规范 (GB 50229) 等。

(2) 电力行业标准

主要包括：燃煤电厂电除尘器运行维护导则 (DL/T 461)、电除尘器 (DL/T 514)、电力建设安全工作规程(火力发电厂部分)(DL 5009.1)、火力发电厂保温油漆设计规程(DL/T 5072) 等。

(3) 环保行业标准

主要包括：固定污染源烟气排放连续监测技术规范 (HJ/T 75)、固定污染源烟气排放

连续监测系统技术要求及检测方法（HJ/T 76）、污染源在线自动监控（监测）系统数据传输标准（HJ/T 212）、环境保护产品技术要求 电除尘器低压控制电源（HJ/T 321）、环境保护产品技术要求 袋式除尘器滤袋（HJ/T 327）、环境保护产品技术要求 脉冲喷吹类袋式除尘器（HJ/T 328）、环境保护产品技术要求 回转反吹袋式除尘器（HJ/T 329）、环境保护产品技术要求 分室反吹类袋式除尘器（HJ/T 330）等。

（4）机械行业标准

主要包括：电除尘器 阳极板（JB/T 5906）、电除尘器（JB/T 5910）、电除尘器焊接件 技术要求（JB/T 5911）、电除尘器 阴极线（JB/T 5913）、袋式除尘器用滤袋框架技术条件（JB/T 5917）、袋式除尘器安装技术要求与验收规范（JB/T 8471）、脉冲喷吹类袋式除尘器（JB/T 8532）、电除尘器机械安装技术条件（JB/T 8536）、手工电弧焊的焊接规范（JB/ZQ 3687）等。

6.2 污染物与污染负荷

6.2.1 污染物

火电厂除尘工程主要治理对象是燃煤锅炉燃烧排放的。本节列举了燃煤锅炉烟尘主要成分以及对除尘效果影响较大的因素，为合理选择除尘器提供依据。而无组织排放粉尘则是各个生产环境下的煤粉和灰渣，基本上都用小布袋来除尘，其成分对除尘效果影响不大。

6.2.2 污染负荷

污染物的成分和风量直接决定了除尘器设计选型的类型和大小，虽然燃煤锅炉烟尘的基本成分都有定式，但各种成分的含量变化较大，直接影响到除尘器的选型设计。因此，本规范在总结污染物的特点后，规定了需要明确的成分数量和特性的参数列表。

6.2.3 除尘效果

国标有专门的火电厂烟尘排放标准，也有相关的检测方法标准，除尘效果按国家现行的相应标准检验即可。

6.3 总体要求

6.3.1 一般规定

该章节是根据火电厂除尘工程的特点，明确了适合火电厂除尘工程的三类除尘器，即电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器，并给出了设计选型时技术经济比较的参考办法。

规范要求除尘工程应根据电力生产工艺合理配置，不得设置旁路，其总体布局应执行

GBZ 1 的规定。设计年限应与火电厂生产工艺的设计年限相适应。除尘系统应按照国家相关政策法规、大气污染物排放标准和行业除尘工程技术规范的要求设置连续监测系统，并与当地环保部门联网。

6.3.2 总图布置

本章节给出了火电厂除尘工程主要环节及其布置规范，既有对各类除尘器的特有要求，也有对公用设施的常规要求。现行的相关标准规范也适用于本除尘工程。提出上述要求的目的是使除尘器场地布局合理、检修、维护方便。

6.4 工艺设计

6.4.1 一般规定

本章节给出了火电厂除尘系统最基本的要求。如要求除尘工程的装备水平应不低于火电厂生产工艺设备的装备水平；除尘器设计寿命应与配套机组相匹配，一般不宜小于 20 年等等。

6.4.2 工艺流程

本章节给出了火电厂除尘器系统的典型工艺流程。其中烟气调质特殊处理环节是为了使除尘器更适应各种生产工艺。同时列出了火电厂烟（粉）尘无组织排放点及其控制措施。

6.4.3 污染（尘）源控制

本章节主要对无组织排放的烟（粉）尘污染源需设置集气罩进行了详细规范。总的要求就是集气罩的形式和设置应满足生产操作和检修的要求。

6.4.4 除尘器选型

能够满足火电厂烟尘排放标准要求的除尘器主要包括电除尘器、袋式除尘器和电袋复合除尘器。电除尘器以其运行阻力小、维护方便等优点得到广泛应用，但其除尘效率受煤质及飞灰成份等影响较大，对某些煤质采用电除尘器难以做到达标排放。而袋式除尘器及电袋复合除尘器则克服了这一缺点，但也带来了其他弊端，如阻力大、滤袋破损等。如果采用电除尘器能够经济有效地实现达标排放，电厂一般都选择电除尘器。影响电除尘器除尘难易性的因素很多，通过对国内 200 个燃用不同煤质电厂的煤质及烟尘成份的分析与统计，并结合电除尘器的运行情况，采用偏相关分析方法，确定出燃煤中的硫份含量及烟尘中的 Na_2O 、 Al_2O_3 、 SiO_2 是影响电除尘器除尘的主要因素。再通过多元回归分析，确定出不同条件下除尘器的选型方法。

6.4.5 电除尘器设计

电除尘器选型设计条件及要求以前的行业标准中都有相关规定,如《电除尘器》(JB/T 5910)、《电除尘器设计、调试、运行、维护 安全技术规范》(JB/T 6407)、《电除尘器》(DL/T 514)等,而电力行业也最为详细,因此,本章节也就直接借鉴了燃煤电厂电除尘器的设计条件。根据电力行业设计规范以及多年来的设计和应用经验数据,本章节对电除尘器设计参数做出具体规定,并对近几年才应用到火电厂电除尘器中的移动电极新技术设计做了具体要求。对电除尘器性能要求、本体设备要求以及钢结构要求也都针对电力行业标准来规范。

6.4.6 袋式除尘器设计

小型袋式除尘器在国内应用已久,技术也相对稳定了。应用到火电厂的大型袋式除尘器近年来也得到快速发展,也有了产品行业规范,技术、材料和设计应用也已成熟,烟气温度、流量的稳定性、腐蚀性等对布袋的危害性在火电厂都不是问题。因此,本节内容基本上是根据行业规范及火电厂应用实例来编写的。

6.4.7 电袋复合除尘器设计

电袋复合除尘器在设计上其实就是电与袋的结合,所有设计选型规范都是参照电除尘器和袋式除尘器设计来规范就可以了。

6.4.8 除尘管道及附件

本章节主要对除尘管道布置、管道材料、管道壁厚进行了规范,使除尘管道能有足够的强度和刚度来满足工艺需要,另外对除尘管道法兰的连接、管道阀门的形式和功能等管道附件做了相应要求和规范。

6.4.9 卸、输灰

卸、输灰主要分两部分,一是卸灰,即将收集下来的粉尘送出电除尘器本体以外,现在一般都采用电动卸灰阀进行,而输灰则有多种方案。而且现在大部分设计中已把输灰与电除尘器分开设计和施工了,所以本章节只简单列举了几种常规输灰方式的设计要求。

6.4.10 烟囱(排气筒)

烟囱是除尘系统的最后一个环节,烟囱的高度主要由国家或地方污染物排放标准和建设项目环境影响评价文件来确定。烟囱的测试孔和测试平台应满足环保测试要求。烟囱的结构设计也有相关规范,烟囱的结构形式则是根据所属行业要求、烟气性质、烟囱高度、功能要求、材料供应及施工条件等因素来综合确定。

6.5 主要工艺设备和材料

6.5.1 电除尘器高压高频电源

近年来，由于节能减排政策的推广以及电子技术的快速发展，使得电除尘器高压高频电源得到了大规模应用，高压高频电源将会成为电除尘器的主导配套供电装置。因此，有必要在本规范中对高压高频电源使用环境与安全要求和技术要求给出统一规范。

6.5.2 风机及电机

风机在除尘工程中也占有重要位置，风机合理的选用将直接影响到除尘器效率。因此，本规范根据输送气体的温度和性质，对风机选型做了相关要求，对选型步骤和选型计算也做了详细规定。对除尘器上电机选型的相关事项也做出了规定。

6.5.3 电除尘器本体材料

本章节主要对电除尘器本体钢结构中的材质、型号做出了具体规定，以保证电除尘器的基本性能和使用寿命。规范中材料型号规格和连接要求都是根据相关行业规范、力学计算以及实际应用情况来确定的，这里是最基本要求，实际操作中还可以根据用户的要求选择更高一级的材质和规格来设计。

6.5.4 袋式除尘器本体材料

本章节主要对袋式除尘器中的灰斗、中箱体、上箱体、清灰机构、滤袋及滤袋框架、进/出风烟道、梯子/平台/栏杆、控制设备等材料都做出了规范，以保证袋式除尘器的基本性能和使用寿命。其中清灰机构中各式阀门和滤袋将直接影响到袋式除尘器的安全稳定运行，因此对该项内容比较多且较详细。对滤袋框架及其辅助材料的结构和材质也做了具体要求。

6.6 检测与过程控制

6.6.1 一般规定

本章节对检测与自动控制的基本要求做出了规范，主要参考了《环境保护产品技术要求 电除尘器低压控制电源》（HJ/T 321）、《电气控制设备》（GB/T 3797）等标准以及电除尘器、袋式除尘器的特点提出相应要求。

6.6.2 检测内容

本章节规范了电除尘器、袋式除尘器及电袋复合除尘器在运行过程中需要监视和控制的所有相关参数。

6.6.3 过程控制

本章节对除尘器所有需要控制的环节（电除尘高压电源除外）及最基本的控制要求进行罗列，以保证除尘器的安全运行。根据除尘器控制系统的特点以及相关标准给出了控制盘的规范，室外控制设备的防护等级定位最高为 IP54 也是容易做到的。为了保护调试、运行人员的生命安全，还规定了需要安全联锁的几个内容。

6.7 劳动安全与职业卫生

6.7.1 一般规定

该章节是工程技术规范中规定的必要内容，其目的就是要求在设计、建设和运行过程中要高度重视劳动安全与职业卫生，并有章可依、有法可循。在设计过程中要遵守现行的行业标准和国标，如《《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1）、《建筑设计防火规范》（GB 50016）、《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB 50058）等。

6.7.2 常见职业危险危害因素与防护措施

为了保护电力生产和人身安全，本节列举了火电厂除尘工程中可能出现的各种有损健康和生产安全不利因数以及防护和消除措施。如：设备工艺过程中可能产生尘源、毒源、污染源的捕集控制，隔热、隔断、隔声等劳动防护措施，高速转动或传动部件的防护，以及吊钩、吊梁、提升葫芦等起吊装置的安全防护措施等。

6.7.3 消防要求

消防要求对于任何工程项目都是必不可少的。消防内容主要包括消防水系统的设置、室外消火栓布置以及建筑灭火器配置设计规范（GB 50140）的规定。

6.8 施工与验收

6.8.1 施工

本章节只是规范了施工的基本原则。要求除尘工程应按施工设计图纸、技术文件、设备图纸等组织施工，施工应符合国家和行业施工程序及管理文件的要求。工程的变更应取得设计单位的设计变更文件后再实施。其中电除尘器的安装应符合《电除尘器机械安装技术条件》（JB/T 8536）的规定，袋式除尘器安装应符合《袋式除尘器安装技术要求与验收规范》（JB/T 8471）和《脉冲喷吹类袋式除尘器》（JB/T 8532）的规定，电袋复合式除尘器的安装则应符合前两项的规定。

6.8.2 验收

火电厂除尘器验收主要包括工程验收和环境保护验收两项内容。除尘工程验收应按《建设项目（工程）竣工验收办法》、相应专业现行验收规范和本标准的有关规定进行。环境保护验收则主要按《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定执行。根据现行的环保要求，确定了六项主要性能测试的内容和主要技术依据。

6.9 运行与维护

6.9.1 一般规定

除尘器运行与维护要求设立环境保护管理机构，制定具体运行管理办法，定期对除尘器的系统进行检查与维护，确保除尘器稳定可靠的运行。

6.9.2 人员与运行管理

根据电厂管理模式特点，对除尘系统的运行管理既可成为独立的除尘除灰车间管理，也可纳入锅炉的管理范畴，应建立除尘系统运行状况、设施维护和生产活动等的记录制度，并对运行人员的交接班制度和巡视制度、灰斗积灰的处理等做出了具体规定。

6.9.3 电除尘系统运行

电除尘器运行管理制度的建立首先要参照《燃煤电厂电除尘器运行维护导则》（DL/T 461）的规定。运行管理规定中，电除尘器设备启动时的投运时间、顺序都是根据其特点来决定的，有时在主设备（锅炉）的特殊情况下还需停止运行电除尘器，以保证电除尘器的安全、可靠，如烟气中易燃易爆物质浓度严重超标、燃煤电厂投油助燃时等。还有就是电气设备的开停机顺序也是为了保证电气设备使用周期和安全性。而在何种情况下必须停机报警也是根据多年来的管理控制经验提出的运行要求。

6.9.4 袋式除尘系统运行

袋式除尘系统运行管理没有特别之处，主要是根据袋式除尘器自动控制要求来制定的。其中清灰制度、滤袋的定期更换更为重要。

6.9.5 电袋复合式除尘系统运行

同时参照执行电除尘系统运行和袋式除尘系统运行两者的规定。

6.9.6 维护保养

除尘器的维护保养也就是对机械、电控设备的常规保养，包括正常运行时的检查、管路和设备清扫、疏通堵塞、定期加注或更换润滑油（脂）以及及时进行的小修、定期进行的中修和大修等。再根据除尘器的特点补充了一些必要条件，如人员进入电场内部或涉及

到高压部位的区域，除切断全部高压电源外，还应将隔离开关全部切换到接地位置。

7 标准实施的环境效益与经济技术分析

7.1 除尘器收尘效果

我国现行的火电厂烟尘排放限值为 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，2011 年新颁布的《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）要求：自 2012 年 1 月 1 日起新机组、2014 年 7 月 1 日起老机组的烟尘排放浓度达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ ，某些地区的地方排放标准已要求达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

电除尘器是火电厂除尘工程中应用最久、使用数量最多，也是技术最成熟的除尘工艺。只是原有的选型设计习惯在新的排放标准下受到了挑战。因此，需调整电除尘器选型习惯，提高电场数量和比集尘面积，再引进移动电极、高压高频电源等新技术。

袋式除尘器占地小，对粉尘特性不敏感，不受煤种、飞灰成分、浓度和比电阻的影响，除尘效率高，排放稳定，可以保证出口排放浓度在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，好的可以达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 以下甚至更低。一般情况下可以满足火电厂粉尘排环保要求。但其布袋易破损、布袋的二次污染及运行成本高等问题也抑制了袋式除尘器的推广应用。

电袋复合除尘器结合了电除尘器和袋式除尘器的特点，烟气先经过电场单元除去大部分烟尘和粗颗粒，再经过布袋单元除去较小粒径的粉尘。电袋复合除尘器有分体式和一体式两种。分体式电场单元与布袋单元分开设置，占地较大，并不常用。一体式电袋复合除尘器结构较为紧凑。电袋复合除尘器兼有电除尘器和袋式除尘器的优点和缺点。对煤种和烟尘比电阻变化的适应能力比电除尘器强，运行阻力低于纯袋式除尘器，滤袋寿命较袋式除尘器更长，电耗也低于电除尘器。但由于兼有电除尘和袋式除尘两套单元，因此运行维护较复杂。

国际上火电厂采用袋式除尘器和电除尘器的均有，以电除尘器居多。美国、德国、荷兰等欧美国家大部分电厂采用电除尘器，烟尘排放浓度一般在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，部分电厂达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。美国具有代表性的除尘工艺是电除尘器调质除尘工艺和袋式除尘器除尘工艺。德国目前大容量燃煤机组主要采用的也最具代表性的工艺是高效电除尘器。高效电除尘器是通过对电除尘器控制部分和烟气通道的改进来提高电除尘效率，保证烟尘排放浓度控制在 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。澳大利亚是采用袋式除尘器最多的国家，这是因为当地电厂燃煤普遍含硫低，大多在 $0.4\% \sim 0.5\%$ ，而 SiO_2 和 Al_2O_3 含量在 85% 左右，煤灰比电阻高（与我国的准格尔煤很相似），若用电除尘器，则除尘性能很差。因此澳大利亚广泛采

用袋式除尘技术，一般排放浓度能达到 30 mg/m^3 以下，甚至达到 10 mg/m^3 。此外，加拿大及部分欧洲国家也较多采用袋式除尘技术。亚洲的火电厂，大多采用电除尘技术。在日本，新建大容量燃煤机组多采用低温电除尘器和移动极板电除尘器工艺，通过降低烟气温度来降低粉尘的比电阻，并提高收尘效率，除尘效率可达 99.85%。印度的电厂也大多采用电除尘技术，但由于印度煤种具有高灰分、高比电阻、低硫的特点，通常电除尘的电场数量较多。

7.2 典型规模投资运行估算

7.2.1 常规一台 300MW 机组配套电除尘器设计参数

序号	项目	单位	性能参数
1	设计效率	%	99.88
	保证效率	%	99.81
	设计校核煤种一效率	%	99.81
	校核煤种二设计效率	%	99.81
2	本体阻力	Pa	≤ 245
3	本体漏风率	%	≤ 2
4	噪声(距壳体 1.5 米处)	dB	75
5	电场通道数	个	$2 \times 41 \times 2$
	每个电场的有效长度	m	4.0
	五个电场的总有效长度	m	20.0
	电场的有效宽度	m	$2 \times 16.4 \times 2$
	电场的有效高度	m	15.2
	总集尘面积(每台炉)	m^2	112176
6	有效断面积	m^2	2×499
7	长、高比	/	1.48
8	室数/电场数	/	2/5
9	阳极板型式及总有效面积(大 C 型)	m^2	112176
10	阴极线型式及长度	/	
	一、二、三电场 BS 新型管状芒刺线	m	2×29914
	四、五电场螺旋线	m	2×39885
11	比集尘面积/20%集尘面积不工作时的比集尘面积	$\text{m}^2/\text{m}^3/\text{sec}$	116.6/93.3
12	驱进速度/20%集尘面积不工作时的逐进速度	cm/sec	5.77/7.21
13	烟气流速	m/s	0.96
14	壳体设计压力	/	/
	负压	kPa	-9.8
	正压	kPa	+8.7

15	壳体材料	/	Q235-A
16	每台除尘器灰斗数量	个	20
17	灰斗加热形式	/	电加热
18	电气总负荷(每台炉)	kVA	4566.8
19	最大运行负荷(每台炉)	kVA	<2877

7.2.2 投资及运行费用估算（电费按 0.4 元/度，年运行 7500 小时计）

项目	使用可控硅高压供电装置	使用高频开关高压供电装置
设备一次性投资费用（万元）	3000	3200
易损件的更换费用（万元/年）	39	39
电除尘器运行功率消耗（kW）	1200	500
电耗费用（万元/年）	360	150
运行费用合计（万元/年）	399	189

8 标准实施建议

8.1 配套管理措施

我国目前火电厂采用的除尘器以电除尘为主，这是因为电除尘在国内开发应用较早，技术成熟，运行维护较为简单，产业链完备，而且能够满足国家现行的环保排放要求。目前国产电除尘器性能指标已经达到国外同类产品的水平。近年来随着环保排放要求的提高及袋式除尘器技术的发展，选用袋式除尘器的火电厂也越来越多。国内电袋复合除尘器应用较晚，首台电袋复合除尘器于2002 年在水泥行业开始应用。2005 年在电力行业首次应用。目前电袋复合除尘器多用于现有电厂的除尘器改造，以满足日益提高的环保排放要求。

一般情况下，燃煤中灰分在20%~40%采用电除尘器、袋式除尘器均可，可根据火电厂各自的经验和习惯来确定采用何种除尘器。设计院通过技术经济比较确定投资和年运行费用，帮助火电厂确定采用哪种除尘器。

8.2 相关的科研项目建议

近两年来，电除尘高频高压电源供电装置得到了较大规模应用，节能提效方面效果明显，在国家提倡节能减排的大形势下，高频电源必将得到大面积的推广应用。但在新建项目上，高频高压电源的提效特点与本体设计参数之间的关系还没有得到相关的研究，为进一步发挥高频高压电源在电除尘器供电上的优势，需找出应用高频高压电源与电除尘器本体设计参数之间的关系，从而有可能降低电除尘器本体的钢耗，降低电除尘器本体造价，

增强电除尘器的市场竞争力。

电除尘器旋转电极技术已进入我国电除尘市场，但受到工艺技术的限制，在火电厂大型电除尘器上还没有成功应用的案例。因此，需要广大科技人员充分研究和吸收国外相关先进技术，提高制造工艺水平和安装维护水平，尽快将旋转电极技术应用到火电厂大型除尘工程中来。