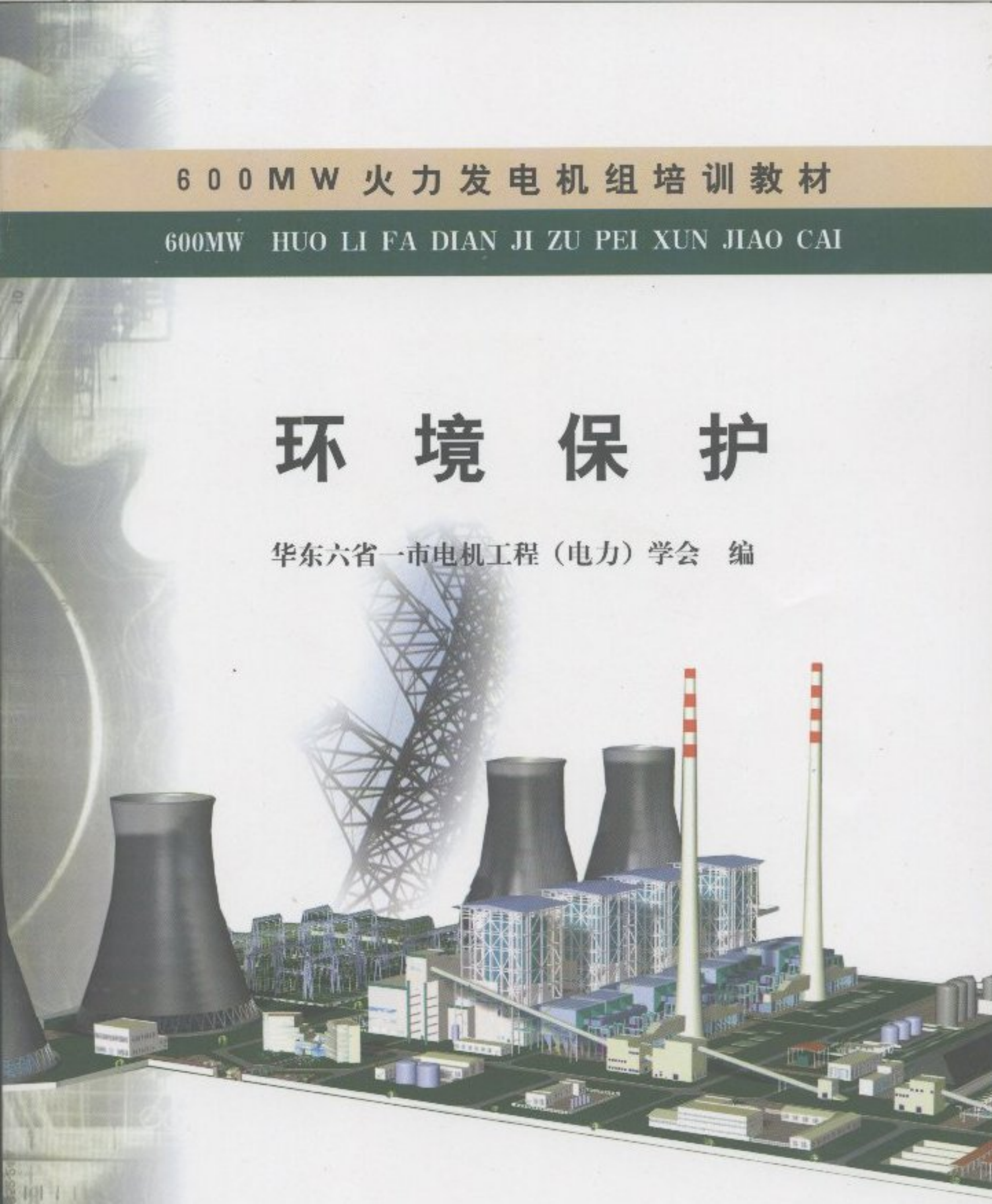
600MW 火力发电机组培训教材

600MW HUO LI FA DIAN JI ZU PEI XUN JIAO CAI

环 境 保 护

华东六省一市电机工程（电力）学会 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

需要全本请访问 www.ertongbook.com

600MW火力发电机组培训教材

环境保护

华东六省一市电机工程（电力）学会　编

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为《600MW火力发电机组培训教材》之一，它系统地介绍了火力发电厂环境保护的目的和任务。作为机组投运上岗、岗位技能和继续教育教材，本书针对600MW火电机组的特点和现行污染物排放标准，详细地阐述了大气污染及其防治方法、电厂排水与治理方法、灰渣监测与综合利用、噪声监测与防治方法。

本书适合于具有中专及以上文化程度、从事电厂环境保护专业和相关专业的技术人员、管理人员、工人使用。

图书在版编目（CIP）数据

环境保护/华东六省一市电机工程电力学会编. -北京：中国电力出版社，2001

600MW火力发电机组培训教材

ISBN 7-5083-0139-0

Ⅰ.环… Ⅱ.华… Ⅲ.火电厂-环境保护-技术培训-教材 Ⅳ.X773

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第03762号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn）

冶林联合印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2001年5月第一版 2006年8月北京第三次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 9印张 211千字

印数6121—7620 定价15.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

《600MW火力发电机组培训教材》

编　委　会

组编单位： 山东省电机工程学会
安徽省电机工程学会
江西省电机工程学会
浙江省电力学会
福建省电机工程学会
上海市电机工程学会
江苏省电机工程学会

联合编委会成员：

主任委员：	刘时中	江苏省电机工程学会
副主任委员：	林淦秋	上海市电机工程学会
	苏伯林	江苏省电机工程学会
委　　员：	纪永遵	山东省电机工程学会
	王海秋	安徽省电机工程学会
	熊彭年	江西省电机工程学会
	陆桂婉	浙江省电力学会
	郭忠尧	福建省电机工程学会

前　言

大容量、高参数、高效率的大机组标志一个国家的技术装备水平。自改革开放以来，我国电力工业的技术装备水平得到了较大的提高，大型发电机组有了较快增长。据统计，1978年全国200MW及以上的发电机组只有18台共4.32GW，占全部装机容量的7.6%，到1997年则上升到424台共113.2GW，占全部装机容量的44.5%。目前在全国电力系统中200、300、600MW发电机组已成为主力机组，特别是人们认为最佳单机容量的600MW级的火力发电机组自1985年在我国开始出现以来，至今已有20多台投入了电网运行。

由于600MW发电机组具有容量大、参数高、能耗低、可靠性高、对环境污染小等特点，在我国《1994～2000～2010～2020年电力工业科学技术发展规划》和《电力工业技术政策》及《电力工业装备政策》中选定了在火电技术方面的发展重点包含了600MW机组的开发研究和积极推动其应用。可以预料，今后在全国电力系统内将会有更多的600MW级发电机组投入电网运行。

为适应这一形势发展的需要，使广大电业人员学习和掌握600MW发电机组的技术性能和特点，1996年5月华东地区六省一市电机工程（电力）学会第十次联席会议经过认真讨论研究，决定组织编撰《600MW火力发电机组培训教材》，并落实由六省一市电机工程（电力）学会联合编委会具体主持操作，联席会议在人、财、物上给予应有的支持。联合编委会根据联席会议的决定，在中国电力出版社的积极支持和指导下，于1996年正式启动，选组编撰专家和审稿专家，着手搜集资料，制订和审查编撰大纲等；1997年书稿开始编撰；1998年书稿陆续完成和主审人分头审稿；随即送中国电力出版社编辑加工、出版。整个教材的编审工作，前后共花去了两年多的时间，现在终于正式和读者见面了。

本教材共分五个分册，即第一分册《汽轮机设备及其系统》，由浙江省电力工业局丁有宇高级工程师主编，国家电力公司电力机械局王作宾教授级高级工程师主审；第二分册《电气设备及其系统》，由东南大学刘中岳教授主编，李扬副教授和陆于平副教授参编，安徽省电力试验研究所倪安华教授级高级工程师主审；第三分册《锅炉设备及其系统》，由上海电力学院章德龙教授主编，华东电力试验研究院乐长义教授级高级工程师主审；第四分册《热工自动化》，由江苏省电力试验研究所陈厚肇教授级高级工程师主编，江苏省电力工业局霍耀光高级工程师主审；第五分册《环境保护》，由山东省电力科学研究院曹长武高级工程师主编，南京电力环保研究所丁伟高级工程师主审。全套教材共约320万字。

本教材以600MW火力发电机组的设备及其系统的结构、原理、功能及性能为编撰重点，力求突出600MW机组的技术特点，在理论阐述深度方面，以普及为基础，并适当兼顾提高，在运用语言方面则力求通俗易懂，深入浅出。本教材属于600MW火力发电机组投运上岗培训、岗位技能培训和继续工程教育类培训的教材，适合于具有中专及以上文化程度的电力生产和技术管理人员培训之用，也可供高等院校热能和电力等专业的师生参考。

在教材编撰过程中，华东地区六省一市电力工业局、有关大专院校、厂局以及有关专家学者和科技人员给予了热情的支持和帮助；安徽平圩发电厂、浙江北仑港发电厂、山东邹县

需要全本请访问 www.ertongbook.com

发电厂、上海华能石洞口第二发电厂、江苏扬州第二发电厂提供了600MW机组的有关资料，我们在此一并表示衷心感谢。我们还要感谢中国电力出版社，在历次联合编委会会议上都派出编辑参加和指导，经常关心编撰工作，协助解决疑难问题，给予了极大的支持和鼓励。

限于编审人员的水平，这套教材的疏误之处一定不少，恳请广大读者提出宝贵意见，以便今后修订，提高质量，使之能更好地为我国电力工业的建设和发展服务，起到更大的作用。

华东地区六省一市电机工程（电力）学会

1999年8月

编 者 的 话

目前，我国电力工业的结构是以燃煤发电厂为主，在一段时间内，火力发电仍将占主要地位。火力发电厂是环境污染大户，它造成的环境污染主要有二氧化硫、烟尘、粉煤灰渣、冲灰水、噪声等。

为了提高火力发电专业人员的环保意识和素质，华东地区六省一市电机工程（电力）学会组织编写了本培训教材。在编写本教材时，引用了大量的我国现行的环保法规、规章和污染物控制标准，以帮助读者了解目前我国执行“环境保护”这一基本国策的力度；在电力环保技术方面，阐述了污染物的处理工艺和测量方法，并着墨于新技术、新方法，使读者更加了解我国电力环保技术的现状与发展方向。

在本书的编写过程中，始终得到山东电机工程学会的大力支持；全书由国家电力公司南京环保所原副所长、教授级高级工程师丁伟同志负责审阅，他提出了许多宝贵的意见和建议。在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中缺点和错误在所难免，恳请读者指正。

曹长武

2001年4月6日

目　　录

前　言
编者的话
第一章　电力环境保护概述 …… 1
第一节　火电生产对环境质量的影响 …… 1
第二节　发电厂环境保护的任务 …… 3
第二章　大气污染及其防治 …… 8
第一节　煤的燃烧产物对环境的影响 …… 8
第二节　火电厂的大气监测 …… 15
第三节　烟气监测 …… 22
第四节　高烟囱排放 …… 29
第五节　电厂除尘器 …… 37
第六节　烟气脱硫 …… 45
第七节　烟气中氮氧化物的控制与防治 …… 59
第三章　电厂排水与治理 …… 64
第一节　电厂水平衡与水务管理 …… 64
第二节　电厂排水监测项目与采样 …… 69
第三节　排水监测方法概述 …… 74
第四节　电厂排水监测 …… 85
第五节　灰水的治理 …… 91
第六节　工业污水的处理 …… 101
第七节　生活污水的处理 …… 108
第四章　灰渣监测与综合利用 …… 112
第一节　电厂灰渣及其浸出溶液的监测 …… 112
第二节　灰渣特性与应用途径 …… 116
第五章　噪声监测与防治 …… 123
第一节　噪声监测 …… 123
第二节　电厂噪声的污染与防治 …… 126
主要参考资料 …… 132

第一章 电力环境保护概述

环境保护是我国的一项基本国策。1989 年 12 月，《中华人民共和国环境保护法》颁布施行，这为保护和改善环境，防治污染和其它公害，保障人体健康，促进社会主义建设提供了强有力的法律保证。

火力发电厂是耗煤大户，一台 600MW 发电机组日燃煤量约 6000t。煤的燃烧是造成环境污染的主要原因之一。国家一直重视电力环保工作，在 1995 年 12 月颁布的《中华人民共和国电力法》中指出："电力建设、生产、供应和使用应当依法保护环境，采用新技术，减少有害物质排放，防治污染及其他公害……国家鼓励和支持利用再生能源和清洁能源发电"。

燃煤发电在我国发电量中所占比例较大，随着 600MW 及以上大型发电机组的增多，发电用煤量激增。进一步加强电力环保工作，确保电厂能够安全运行，同时环境不受污染，是电厂自身得以生存与健康发展的重大问题。

本章将对电力生产与环境质量的关系加以概述，指出矿物燃料，特别是煤的燃烧对环境的影响，阐述火电厂环保工作的任务与特点，分析说明 600MW 燃煤发电机组对环保工作的要求。

第一节 火电生产对环境质量的影响

电力工业是国民经济的基础产业。煤、石油、天然气、核能均是重要能源，它们都可作为发电燃料，其中应用最广的是煤。1994 年，全国发电和供热消耗煤炭达 4.23 亿 t，燃油 1100 万 t，分别占当年全国煤炭、石油产量的 36% 及 10%。1995 年，全国火电厂燃用原煤 4.3 亿 t，占全国燃煤总量的 1/3。

根据我国的能源政策，部分燃油电厂将有计划地改造为燃煤电厂或燃气电厂。为合理地利用能源资源，尽量减少对环境的污染，我国将大力发展水电和建设燃煤的坑口电厂，并逐步发展核电。

火电厂是利用动力燃料燃烧产生热能并转化为电能的生产单位。燃煤电厂在电力生产过程中，将伴随着大量的烟气、污水及灰渣的排放。如何有效地控制二氧化硫及烟尘的排放，大力开展灰渣的综合利用，保护和改善生活与生态环境，保障人体健康，是我们经济建设中面临的一个重大问题。

一、烟气排放与大气污染

当今电厂锅炉普遍采取悬浮燃烧方式。所谓燃烧，就是物质与氧反应而产生光和热的现象，一般情况下是利用其热能。碳、氢、氧、氮、硫是构成煤中有机成分的五种主要元素，其中碳与氢是获得热能的主要来源；而硫燃烧时释放的热量很少；氧是助燃元素；氮不仅无助于燃烧，而且它还要从炉膛内夺走热量并从烟囱排出。

由于煤中主要可燃元素是碳和氢，故烟气的主要成分为二氧化碳、水汽、氮、氧等；再因煤中均含有一定量的可燃硫，故烟气中还含有含量不等的二氧化硫、少量的三氧化硫和氮

氧化物等。另一方面，一般电力用煤中均含有20%～40%不等的灰分，故煤燃烧后所产生的烟气中含有大量的灰粒。在电厂中，煤粉在锅炉中燃烧后产生的大量高温烟气，首先通过电除尘器或其他类型的除尘器，约99%的粉煤灰被收集下来，然后余下的约1%的细灰及二氧化硫则随烟气通过高烟囱排到大气中去。因此，燃煤电厂排入大气中的主要污染物为烟尘和二氧化硫。

根据一台锅炉的用煤特性，就不难估算出烟尘及二氧化硫的排放量。

设某台600MW机组，日燃煤量为6000t，煤中灰分含量为25%，除尘器效率为99%，则每天从烟囱排到大气中的烟尘量为：

每天产生的灰渣总量为6000×25%=1500t；设从炉底排出的炉渣量占全部灰渣量的10%，则每天将有1500×90%=1350t粉煤灰通过除尘器；因除尘效率为99%，故从烟囱排往大气中的烟尘量为1350×（1-99%）=13.5t，即每小时排放560kg。

设上述燃煤中，全硫含量为1%，其中可燃硫占全硫含量的90%，则每天从烟囱排入大气中的二氧化硫及三氧化硫量为：

因每天燃用6000t煤，故其中总硫量为6000×1%=60t，而可燃硫则为60×90%=54t，故产生的二氧化硫则为108t，相当于每小时排放4.5t二氧化硫。

烟气中的三氧化硫约为二氧化硫含量的1%～2%，故其量不大。

600MW机组配用蒸发量约为2000t/h的锅炉，其烟气量约为$2\times10^6Nm^3/h$，由此也就能估算出烟气中烟尘及二氧化硫的浓度。

在电厂配用高效除尘器的情况下，烟气中二氧化硫的排放对大气质量的影响最为突出。对电厂来说，一方面要尽可能地选用低硫煤；另一方面，对燃用高硫煤的电厂要采取必要措施，如对烟气进行脱硫等，以减小电厂烟气对大气的污染。

此外，发电燃料燃烧产生大量的二氧化碳排往大气，这是造成全球气候变暖，致使气候发生异常的主要原因之一。特别是在大型锅炉燃烧条件下，烟气中还可能存在氮氧化物，它也是一种大气污染物，必要时还须加以治理。

二、电厂排水与环境水体

水是最宝贵的自然资源。电厂是用水大户，一个2×600MW机组的火电厂年用水量约$2\times10^7m^3$，用水指标每百万千瓦约为$0.7m^3/s$。排水量则因电厂灰、渣的排放方式与运行条件、各种污水的治理与重复利用率而有所不同。

电厂排水主要有冲灰冲渣水、化学污水、工业污水、生活污水等。一般大型电厂均设置化学污水、工业污水及生活污水处理系统。各系统污水经处理至符合工业污水排放标准后外排或重复利用。

电厂中的灰、渣数量很大，通常采用水力冲灰及冲渣，通过管道将其排至贮灰场及贮渣场（灰、渣可以分排或混排）。循环冷却系统排污水及经处理后的各种污水多作冲灰、冲渣水之用。

电厂中循环冷却系统的用水量是很大的。海滨地区电厂多用海水，采用开式循环方式；内陆地区电厂则采用闭式循环方式。

对600MW机组的电厂来说，灰浆经浓缩后以水灰比1:2.5左右排往灰场。冲灰水在贮灰场被澄清和部分蒸发及渗入地下，其余则外排至环境水体。冲灰水一般pH值较高，个别电厂的灰水中可能含有一定量的氟、砷等有害物，故冲灰水外排有可能对环境水体带来一定

的影响。

三、灰渣排放与环境污染

一个 2×600MW 机组的燃煤电厂，年排灰渣量可达 100 万 t 左右，一个容积约 $2\times10^7m^3$ 的贮灰场，也不过可贮灰 20 年。在人口日益增多而土地资源有限的情况下，贮存灰渣的场地不易解决。为了保护生态环境，也不允许向江河湖海排放灰渣。

电厂的排渣量比排灰量少得多，且渣易被综合利用，渣场对环境不致造成多大污染；但灰场如管理不善，每逢多风季节，则在灰场上空粉尘飞扬而污染环境；而多雨季节则可能因大雨冲坏灰坝，而使大量粉煤灰随降雨排入环境水体，从而淤积河湖，影响航道与水产养殖。

目前，我国火电厂每年产生灰渣约 1 亿 t，1995 年利用量为 4100 万 t；到 2000 年，灰渣年产生量将达到 1.5 亿 t，利用量争取达到 6000 万 t。

尽管粉煤灰有着广泛的用途，有的电厂粉煤灰利用率也已达到 100%，但就全国而言，粉煤灰的利用率尚不足 42%，且各地区的电厂，粉煤灰的利用率很不平衡。因此，大力开拓粉煤灰的利用途径，既可化害为利，又减小粉煤灰对环境的污染，是火电厂一项长期的任务。

四、发电设备与噪声污染

噪声也是一种公害，噪声污染将严重地损害人体健康，影响工作质量。

发电设备中，有的噪声就很大，例如钢球磨煤机的噪声高达 107～120dB，而且它是一种连续噪声源；又如锅炉间断排气噪声可高达 130～140dB，这对电厂工作人员身心健康及厂区周围环境带来严重影响。虽然不少电厂采取了一些措施，如对噪声较大的设备加装了防护罩、消音器等，但效果也不尽理想。因此，如何进一步降低电厂中某些设备的噪声，还有很多工作要做。

由于火电厂是用煤大户，电力生产过程中将会产生烟气、污水、灰渣及噪声，对大气、水体及陆地环境造成一定的污染。但是只要我们切实加强电力环保工作，加大污染治理力度，就有可能将电力生产对环境质量的影响降至最低程度，甚至可以变废为宝。

第二节　发电厂环境保护的任务

电力生产的工艺决定了随之产生的烟气、污水、灰渣及噪声对环境带来不利影响。发电厂的环境保护工作具有政策性强、涉及面广、技术难度高等特点。

为了使电厂的排放物，不致造成对环境的污染，发电厂就必须做好环境监督与污染治理，加大环保工作力度。600MW 机组燃煤量更大，对污染治理的难度也就更高，从而也就对电厂如何做好环保工作提出更严格的要求。

一、环境监测

环境监测是环境保护的一项基础性工作。为加强全国电力系统对环境监测工作的指导、提高环境监测质量，原水利电力部于 1987 年 8 月颁布了《火电厂环境监测条例》，要求全国各电厂均要按此条例的规定开展环境监测工作。

根据当前国家电力建设和环境保护的方针政策，广泛吸收近年来我国火电厂环境监测的实践经验、科研成果和国外技术，原电力工业部于 1996 年颁布了《火电行业环境监测管理

需要全本请访问 www.ertongbook.com

规定》，并规定从当年9月起开始实施，原《火电厂环境监测条例》即行废止。

《火电行业环境监测管理规定》更好地反映了火电厂监测实践与监测管理方面的要求。

电力环境监测网分三级设置，各级站行使主管部门赋予的一定行政职能。全国火电厂设环境监测站，技术上受各电管局、省电力局环境监测中心站的指导；而电力环境监测总站是电力环境监测网的业务负责单位，负责电力环境监测网的技术管理、技术仲裁、质量保证、信息资料汇总和负责编制全国火电厂污染源状况报告、环境统计年鉴。

根据上述管理法规，火电厂的环境监测站应：

（1）认真贯彻国家有关环保法规、规范，建立、健全本站的各项规章制度。

（2）完成规定的监测任务，监督本厂各排放口污染物排放状况，负责监督环保设施的运转状况，执行《火电厂环境监测技术规范》，保证监测质量。污染物测定结果出现异常时，应及时查找原因，并及时上报。

（3）整理、分析各项监测资料，负责填报环境统计报表、监测月报、环境指标考核资料及其他环境报告，建立环保档案。

（4）加强环境监测仪器设备的维护保养和校验工作，确保监测工作正常进行。

（5）参加本厂环境污染事件的调查工作。

（6）参加本厂环境质量评价工作。

（7）参与本厂的环境科研工作。

为了进一步统一全国火电厂环境污染物的监测项目、周期、频率与采样、分析、数据处理的方法，确保环境监测数据的准确性、完整性、可比性与代表性，从而准确地掌握全国火电厂的环境质量现状，建立火电厂环境监测技术档案，分析研究其变化规律，为环境管理决策提供科学依据，原电力工业部于1992年4月颁布了《火电厂环境监测技术规范》。《火电行业环境监测管理规定》明确要求各环境监测项目、监测方法和各项目监测周期，均按《火电厂环境监测技术规范》执行。

要完成环境监测工作，上述规范还对监测人员提出了具体要求：

（1）必须经过学习或培训并考核合格；

（2）掌握有关基础知识、专业知识及操作技能，熟悉有关法规、标准、规范等；

（3）保证监测数据的清晰、完整、准确，严禁弄虚作假；

（4）注意保守机密。

《火电厂环境监测技术规范》的制定，既考虑技术先进性，又考虑现实可能性，力求使《规范》内容与我国火电厂的环境特性、技术水平和装备条件相适应。其内容包括排水水质和排放量、大气环境、锅炉烟气、灰渣中有害元素及环境噪声的监测，并对监测质量保证及数据处理作了规定与要求。

二、污染治理

火电厂对污染物治理的项目很多，其中有的治理方法与技术已相当成熟，各电厂普遍采用，如电除尘、化学污水处理等；而有的治理方法与技术难度较大，采用的电厂也不多，如烟气脱硫、冲灰水中氟的治理等。

电厂中对污染物的治理，通常由电厂各部门分别去进行。例如除尘器、各种污水处理系统的运行、维护与管理均已构成电力生产的必要组成部分。必须按设计要求来进行检查、考核，以确保它们发挥应有的作用。

对新上的污染治理项目，则要加强调查研究，广泛地吸收其它单位的成功经验，一般要经过小试、中试，最后实现对污染物的全量处理。一定要结合本厂实际情况，采取切实可行的措施与方法来进行污染物治理，以免造成浪费。

当前，一个突出的问题是如何减少烟气中二氧化硫的排放。采用高烟囱，只能降低烟气中二氧化硫的排放浓度，并不能减少二氧化硫的排放量。减少电厂烟气中二氧化硫的排放，有各种措施可供选择。就是采取烟气脱硫，也存在各种不同的处理工艺，它们各有利弊。诸如此类重大的治理项目，务必要谨慎从事。在决策前必须对各种治理方法与方案进行综合比较，提出可行性研究报告后，经主管部门批准后立项实施。

应该指出：有的电厂的污染治理设施不少，但真正发挥作用的不是很多，甚至一些进口设备长期搁置不用直至报废。这种情况的产生，既有技术上的原因，更多的是由于有关领导与人员对环保工作重视不够、环保监督管理不完善所造成的。今后这类现象应力求避免。

三、环境监督

环境监督是火电厂技术监督的重要组成部分，应该予以足够的重视。电厂要设立环境监督机构或专职人，负责全厂的环境监督工作。电厂的环境监督至少应包括下述几方面的具体内容：

(1) 监督全厂有关部门及人员贯彻执行国家的环境保护法令、标准、规范；

(2) 监督电厂环境监测工作是否符合部颁《火电厂环境监测技术规范》的要求；

(3) 监督电厂各项环境治理设施是否正常运行及是否达到设计要求；

(4) 监督电厂新上环境监测及污染治理项目的实施与投运；

(5) 组织全厂有关人员对环境保护法规与专业技术的培训与考核；

(6) 监督电厂烟气、污水、灰渣的排放情况，研究对策，确保各种污染物达标排放；

(7) 负责电厂环境保护各项管理工作，完成上级主管部门及厂领导交办的其他工作。

四、600MW 机组对环保工作的要求

电厂环境保护工作以监测范围广、污染治理难度大为其基本特点。

600MW 机组的燃煤量几乎为 300MW 机组的 2 倍，污染物排放量也成倍增加，这就给环境监测与污染治理提出了新的要求，环境保护的监督管理的难度更高。这主要体现为如下几点。

1. 环境监测技术要求提高

对 600MW 机组所要求的环境监测项目增多了，监测精度也提高了，要求更多地采用自动监测方法及在线监测仪表。在某些方面，已超过火电厂环境监测技术规范的要求。电厂的环境监测站所配备的仪器设备应大体上与目前省、市环境监测中心站相当，只是在数量方面可少一些。

例如对冲灰水的监测来说，中小机组的电厂通常只测冲灰水的 pH 值、悬浮物、含氟量及含砷量等，而对灰渣中重金属含量通常则由省、市环境监测中心站来测定。600MW 的机组的电厂，应该能够用原子吸收分光光度计对本厂灰渣中的有害元素进行监测。由于该仪器还可用于灰渣的成分分析，电厂中环境监测人员就应该掌握原子吸收分光光度法这种监测技术。

又如对工业污水中的微量油，对生活污水中 BOD_5 的监测，对不少电厂来说，都是新的监测项目，这些都要求电厂环境监测人员正确地使用各种监测仪器，掌握相应的监测技

术。

又如烟气二氧化硫是煤中硫的燃烧产物，故煤中硫的测定以及烟气中二氧化硫的监测成为一项常规项目。而煤中硫的经典法测定，花费时间很多，很难满足生产上的要求，而应采用库仑法甚至更为快速的红外法；烟气中二氧化硫则更多地要求采用烟气自动监测仪监测。

按照《火电行业环境监测管理规定》的要求，火电厂环境项目中增加了脱硫污水及灰渣浸出物的监测，这对600MW机组的电厂来说，应首先达到这一要求。

2. 污染治理的技术难度增大

火电厂所排放的污染物，不论是烟气、污水，还是灰渣，其数量很大，这是特点之一；另一方面，电厂所排烟气及污水中，污染物浓度并不高，这给污染治理造成很大困难，这是其特点之二。

对600MW机组的大型电厂来说，与中、小型电厂燃用相同的燃料，其排放的污染物种类及其性质并没有什么区别，然而其排放量则有显著差异。排放量越大，则治理越困难。

对于600MW机组的电厂来说，除污染物的常规治理外，有几项污染治理难度显得尤为突出。

(1) 烟气脱硫问题。煤在锅炉中燃烧时，煤中含硫主要被氧化成二氧化硫，从烟囱排到大气中去。煤中硫转化成二氧化硫的比率随煤中硫的存在形态、燃烧方式及运行工况而异。排到大气中的二氧化硫的量还与电厂所采用的除尘器类型相关，例如文丘里水膜式除尘器可脱除烟气中约15%的二氧化硫。

我国电力用煤中含硫量较高者为数不少，低硫煤不易得到。当煤中含硫量为1%～2%时，烟气中的二氧化硫浓度一般在500～1000ppm（1ppmSO_2相当于2.86mg/m^3），即0.05%～0.1%，而一台600MW机组的烟气量约$2\times10^6 m^3/h$。如果要对如此大量的低浓度二氧化硫的烟气进行脱硫处理，势必需要很大的处理设备，占据电厂内很大场地与空间，耗费巨额资金才行，同时其技术难度也很高。

当前，我国火电厂的烟气脱硫设备还只是在少数几个电厂试用，其中有的电厂也不是对全部的烟气进行处理，实际上还是处于工业性试验阶段。因而对我国600MW机组的电厂如何降低烟气中二氧化硫的排放，是一项长期任务。

如果不搞烟气脱硫，而加强煤的洗选脱硫或采用其他处理途径，也将可降低烟气中二氧化硫的排放量。

(2) 冲灰水的治理与冲灰管道除垢问题。中小机组的电厂，不少采用水膜式或湿式文丘里除尘器。由于一体积的水能溶解四十体积的二氧化硫，它部分与水反应形成亚硫酸，致使冲灰水pH值降低，从而有助于防止和减轻冲灰管道结垢的可能性及其严重程度，又减少了二氧化硫对大气的排放量。这类电厂的灰渣一般以水灰比15:1（或更高）通过普通灰浆泵将其送入贮灰场，故灰水中污染物浓度较小，灰水较易实现达标排放。

对于600MW机组的电厂来说，普遍采用电除尘器除尘，同时采用水灰比为2.5:1的浓缩灰浆泵将其送入贮灰场。灰水pH值较高，其他污染物浓度相应较大，冲灰管道结垢的可能性也将增大，这些都是面临的新课题。

(3) 灰渣的综合利用问题。对于600MW机组来说，与中、小型机组相比，其灰渣量的增加来自两个方面：一是锅炉燃煤量的增多；二是除尘效率的提高。

对于后一个原因，不少人缺少认识。除尘效率95%与99%相比，二者在排灰量方面有相当大的区别。例如两台600MW机组日燃煤量为12000t，灰分含量为25%，则日产灰渣量为12000×25%=3000t，设渣占灰渣总量10%，则日产渣300t，灰2700t。如除尘效率为99%，则日除灰量为2700×99%=2673t；而除尘效率为95%时，则日除灰量为2700×95%=2565t。即当除尘效率由95%提高到99%时，则每天少往大气中排灰2673-2565=108t，也就是说，每天增加了除灰量108t，全年则增加排灰量近4万t。

虽然灰渣利用途径很多，在其应用研究方面也不断取得进展，但毕竟电厂的排灰量太大，例如上述120万kW的电厂，年排粉煤灰将达到2673×365=97.6万吨。也就是说，每年产生约100万t粉煤灰，要想充分利用，是很不容易的。必须寻求大量用灰的途径，例如修筑大坝、修建公路等，然而这往往又会因灰的输送费用太高、粉煤灰质量欠佳或其他方面的原因而受到限制，实际用灰量往往有限。大量粉煤灰充填坑洼塌陷区、灰场充满后复土造田，则常常是行之有效的。

此外，诸如电厂的锅炉排气、钢球磨煤机的噪声等也将构成对环境的污染，因而也就需要加以研究与治理。

总之，要做好600MW机组的环境保护工作，关键在于各级领导要提高对环保工作重要性的认识，把环保工作真正视为电厂生产的重要组成部分；教育职工，增强环保意识，宣传贯彻国家对环境保护的各项法规政策；要建立、健全环境监测与管理机构，加大污染治理力度，把电厂污染物实现达标排放作为考核指标；要切实加强对有关人员的技术培训，以适应600MW机组对环保工作的要求。

本书作为600MW火力发电机组的培训教材，侧重对电厂环境监测的内容与方法、污染治理的原理与要求加以阐述。

第二章 大气污染及其防治

我国火电厂的燃料主要是煤。无论燃用何种煤，它们均是由不可燃成分及可燃成分所组成的。前者是指煤中的水分及灰分；而后者则指组成煤中有机质的碳、氢、氧、氮、硫五种元素。

煤作为发电燃料，是利用其燃烧特性。煤中的碳、氢元素含量决定了发热量的高低。煤中可燃硫参加燃烧，释放出少量热量；而煤中氮、氧不参加燃烧。煤的燃烧产物主要是二氧化碳、二氧化硫、水汽及呈固体状态的灰粒，在一定的条件下，还可能产生少量三氧化硫、氮氧化物等。其中二氧化硫与烟尘是电厂造成大气污染的主要污染物。最近，我国颁布了新国标《火电厂大气污染物排放标准》，已于1997年1月1日起实施。

本章将在阐述煤的燃烧产物对环境影响的基础上，介绍大气及烟气中污染物的监测方法，并就采用高烟囱扩散、电厂除尘装置及烟气脱硫等主要的大气污染的防治技术作一概述。

第一节 煤的燃烧产物对环境的影响

煤中含有多种化学元素，煤的燃烧也是非常复杂的现象。煤的燃烧产物中对环境影响最大的是二氧化硫及烟尘，其他如氮氧化物、氟化物、砷化物等也对环境产生不利影响。

一、二氧化硫污染

1. 煤中硫的存在形式

硫在各种煤中是普遍存在的，其差别只是含量高低不等及存在形态有别。煤中含硫量与成煤条件有关，不同含硫量煤的分布呈较明显的区域特征。例如高硫煤多分布于四川、山东、广西等省区。我国电力用煤中，含硫量在0.5%以下者较少，0.5%～2%之间较多，但其含量在2%～4%之间的也不少见。

硫在煤中的存在形态通常分为两大类：一类是与有机物结合而存在的硫，称为有机硫，以符号S_o表示；另一类则是与无机物结合而存在的硫，称为无机硫，即硫化物硫及硫酸盐硫，它们分别以符号S_p及S_s表示。某些煤中偶尔还存在少量单质硫。

煤中各种形态的硫，按其燃烧特性划分，则可分为可燃硫及不可燃硫两大类。一切有机及无机硫化物、元素硫均为可燃硫，其中大部分以硫化铁的形态存在，因而常把硫化物硫，称为硫铁矿硫；煤燃烧后残存于煤灰中的硫，则以硫酸盐形式存在，它包括各种硫化物硫燃烧后被煤灰吸收和固定下来新生成的硫酸盐，另有少量煤中天然硫酸盐，它们称为不可燃硫。

煤中全硫含量S_t，实际上就是上述三种形态硫的总和，即

$$S_t = S_p + S_o + S_s \tag{2-1}$$

当煤中含硫量较低时，往往以有机硫为主；而高硫煤，则往往以硫化物硫，特别是硫铁矿硫为主。煤中可燃硫通常在全硫中所占比重很大，例如90%甚至更高。

2. 煤中硫的燃烧产物

煤在锅炉中燃烧时，煤中硫主要氧化成二氧化硫，从烟囱排到大气中去。硫转化成二氧化硫的比率随硫在煤中的存在形态、燃烧设备及运行工况而异。排到大气中二氧化硫的量还与除尘器的类型有关。例如湿式文丘里除尘器可从烟气中除去约15%的二氧化硫，这是因为1体积的水能溶解40体积的二氧化硫，其中的一部分与水反应形成亚硫酸之故；而一般湿式除尘器只能从烟气中除去约5%的二氧化硫；电除尘器则不具有从烟气中去除二氧化硫的功能。

当煤燃烧生成二氧化硫的同时，还伴随少量三氧化硫的生成。三氧化硫约占二氧化硫含量的1%～2%（体积比），这一比率通常称为三氧化硫转化率。它的大小随燃烧方式及燃烧工况而异。当燃用含硫量为1%～3%的煤时，烟气中二氧化硫浓度一般为700～2300ppm（ppm为百万分之一）；而三氧化硫浓度一般仅为5～30ppm。

烟气中二氧化硫对锅炉受热面的腐蚀与沾污没有明显的影响，三氧化硫含量虽然很少，但由于它与烟气中的水汽结合形成硫酸蒸汽，在低温受热面上凝结，会严重沾污、腐蚀设备。

硫酸蒸汽开始凝结的温度，称为露点。煤中含硫量高，露点温度也高。露点温度升高，烟气中含酸量也越大，会加剧锅炉尾部受热面，主要是低温段空气预热器的腐蚀与堵灰，大大影响了锅炉的安全经济运行。

根据电厂耗煤量及其煤中含硫量，也就不难估算出该电厂的二氧化硫排放量及排放浓度。

设一座装有2×600MW机组的火电厂，其日燃煤量为12000t，煤中全硫含量为1%，可燃硫占全硫含量的90%，则该电厂日排放二氧化硫量计算如下：

$$S + O_2 \xlongequal{} SO_2$$

每日将有12000×1%×90%=108t硫燃烧，产生216t二氧化硫，故二氧化硫的排放量为216/24=9t/h。

设2×600MW机组的烟气量为$4\times10^6 Nm^3/h$，则二氧化硫的浓度为：$9\times10^6/4\times10^6=2.25g/m^3$。1ppm二氧化硫相当于$2.86mg/m^3$；反之，$1mg/m^3$则相当于0.35ppm。故$2.25g/m^3$的二氧化硫，则相当于787ppm。

我国大气环境质量标准分为一、二、三级，即使按三级标准衡量，大气中二氧化硫的日平均浓度限制在$0.25mg/Nm^3$内，那么上述烟气中二氧化硫浓度为国家规定的三级标准的大气日均浓度的9000倍；如按二级标准衡量，则为15000倍，故必须采取有效措施，使大气中SO_2浓度控制在国家大气环境质量标准以内，从而避免造成大气污染。

3. 二氧化硫的危害

二氧化硫是一种无色、有刺激性臭味的气体。大气中二氧化硫在低浓度时，一般不会造成人的急性中毒，但在一些不利气象条件下，可能会发生急性中毒，加速老弱病患者的死亡。通过许多国家的较长时间的调查研究，发现大气中二氧化硫浓度与支气管炎等呼吸系统疾病发生率之间基本呈正比关系。

大气中的二氧化硫与飘尘结合而发生协同作用则危害性更大，飘尘中有许多重金属及其氧化物微粒，能对二氧化硫起催化作用，使之加速转变为三氧化硫，与湿汽相结合，形成硫酸雾，其毒性超过二氧化硫十多倍。硫酸雾对眼及呼吸道有强烈的刺激作用；同时，它对金

需要全本请访问 www.ertongbook.com