

燃煤过程中可吸入颗粒物污染与我国能源发展*

隋建才 徐明厚 丘纪华

(华中科技大学煤燃烧国家重点实验室 武汉 430074)

(摘要) 本文对大气中的可吸入颗粒物污染进行了描述,讨论了颗粒物的生成源及其危害,介绍了各国的颗粒物污染排放标准和远景规划。我国环境中的颗粒物有1/3来源于燃煤过程,所以,利用清洁燃烧技术,开发洁净煤技术,加快发展清洁能源,是我国减少污染、提高能源使用效率的有效途径。

(关键词) 可吸入颗粒物 能源 污染 可持续发展 (中图分类号) X5 TK

我国是煤炭生产和消费大国,目前煤炭占我国一次能源的75%左右,在可预见的未来几十年内,煤炭仍将是我国主要的一次能源。这决定了在我国的电力工业中,燃煤火力发电将长期占主导地位。这种长期依赖燃煤发电的能源结构已造成了严重的环境污染。燃煤电厂产生的污染物主要有颗粒物、 SO_x 和 NO_x 、有机物和痕量元素等,其中颗粒物的潜在危害已引起了国际社会的广泛重视。

一、可吸入颗粒物来源、影响和标准

1.可吸入颗粒物来源

大气颗粒物指的是分散在大气中的固态或液态颗粒状物质,根据其粒径大小,又可分为总悬浮颗粒物TSP(空气动力学直径小于或等于 $100\mu\text{m}$)和可吸入颗粒物 PM_{10} (空气动力学直径小于或等于 $10\mu\text{m}$);可吸入颗粒物又可分为细颗粒(空气动力学直径小于或等于 $2.5\mu\text{m}$)和粗颗粒(空气动力学直径介于 $2.5\sim 10\mu\text{m}$ 之间)^[2]。颗粒物在大气中呈双峰分布,最小分布在 $1\sim 3\mu\text{m}$ 之间,这些颗粒物的来源、形成特点以及污染危害水平各不相同。粗颗粒物主要是由工业源、生活源燃烧排放、机械粉碎过程和交通运输等产生的原生粒子和各种自然界产生的粒子组成。这部分粒子是大气气溶胶的体积浓度和质量浓

度的主要贡献者。由于重力沉降作用大,它们在大气中存在的时间不长;除了特殊的气象条件,不能作长距离输送。细颗粒物是大气中最稳定的气溶胶粒子,主要是由细粒子通过碰并、凝聚、吸附等物理效应长大而成,此外也可由挥发性组分凝结、气→粒转化生成,或来自于细小的地面粉尘。这部分粒子在大气中可以停留几小时、几天甚至几年,飘浮的范围从几公里到几十公里,甚至上千公里,因此,它们一旦被排入大气,很容易被人体吸收。

细颗粒物的形成方式有3种:直接以固态形式排出的一次粒子;在高温状态下以气态形式排出、在烟雨的稀释和冷却过程中凝结成固态的一次可凝结粒子;由气态前体污染物通过大气化学反应而生成二次粒子。细颗粒物中的一次粒子主要产生于化石燃料(主要是石油和煤炭)和生物质燃料的燃烧,但在一些地区某些工业过程也能产生大量的一次细颗粒。一次粒子的源还包括从铺装路面和未铺装路面扬起的无组织排放以及矿物质的加工和精炼过程等;其它的一些源,如来自建筑、农田耕作、风蚀等的地表尘,对环境细颗粒的贡献则相对较小。可凝结粒子主要由可在环境温度下凝结而形成颗粒物的半挥发性有机物组成。二次细颗粒由多相(气→粒)化学反应而形成,普通的气态污染物通过该反应可转化为极细小的粒子。在大多数地区,硫和氮为所观察到的二次细颗粒的主要组分,二次有机气溶胶在一些地区也可能是重要的组成部分^[3]。在这些生成源中,燃煤源产生的颗粒物约占总颗粒物的

*国家重点基础研究专项经费资助(2002CB211602)。

以传递的时代,人们往往会重复采集信息。但是,由于不同人、不同部门和组织对于信息有各自的要求和格式,不可避免地造成企业业务延迟、输入错误和额外费用。然而在实施ERP和业务流程重组后,采集的任何一条信息均可储存于在线数据库中,与所有需要的人实现共享。

BPR管理思想只是一种思想,而不能称之为理论。因为作为一种革新理论,BPR还远未成熟,对BPR内在机理和本质规律的深程度的认识还远未达到。而且,先进的理论、革命性的思想并不足以带来实践的成功。目前迫切需要建立BPR的方法体系,研究BPR的实施策略,包括开发流程分析模型及规范化程序、构造BPR组织体系与管理结构等。因此,ERP实施过程中也要谨慎借鉴BPR管理思想,不能喧宾夺主,影响了ERP管理理念的体现和正常的实施进程。

综上所述,建设一个高度集成的、优化的新ERP企业,是一项长期性(往往是10年)的战略工程,是不可能一蹴而就的。ERP系统涉及到复杂的业务流程的重建、盘根错节的组织机构的整合,时间跨度大,实施过程复杂。一个ERP系统将由若干个项目组成,而管理思想涵盖于整个系统之中,是基础的基础。高昂的实施费用、运转高效的项目小组和高层领导的强有力支持,对实施ERP项目非常必要,但只有融入和渗透先进的管理理念和管理思想,才能最终促成整个系统的成功实施。

参考文献

- [1]孙淑英,刘瑞红.ERP对企业的管理变革及我国企业的实施对策[J].技术经济与管理研究,2002,(2)
- [2]武心莹等.电子商务与企业战略[M].北京:经济管理出版社,2001

(责任编辑 王宏章)

33%。

2.可吸入颗粒物的影响

(1)对大气能见度的影响 自20世纪70年代以来,大气颗粒物对能见度的影响就一直是环保部门关注的问题之一。尽管颗粒物在大气中只占很少的一部分,但颗粒物对城市大气光学性质的影响可达99%。大量的研究表明,PM10与能见度密切相关。

大气能见度主要是由大气颗粒物对光的散射和吸收决定的。空气分子对光的散射作用很小,其最大的视距(极限能见度)为100~300km(具体数值与光的波长有关)。在实际的大气中由于颗粒物的存在,能见度一般远远低于这一数值:在极干净的大气中能见度可达30km以上;在城市污染大气中能见度可在5km左右甚至更低;在浓雾中能见度只有几米。在大气气溶胶中,主要是粒径为0.1~1μm的颗粒物通过对光的散射而降低物体与背景之间的对比度,从而降低能见度。在这一粒径范围的颗粒物中,含有硫酸根的粒子和含有硝酸根的粒子最易散射可见光^[4]。

PM10对光的吸收效应几乎全部是由碳黑(也称元素碳)和含有碳黑的颗粒物造成的。尽管全世界每年排放的碳黑仅占人为颗粒物排放量的1.1%~2.5%和全部颗粒物排放量的0.2%~1.0%,但其引起的消光效应却要高得多,在某些地方甚至可以使能见度降低一半以上。根据Chen等人的研究,在澳大利亚布里斯班,细颗粒物的吸光系数占总消光系数的27.8%^[3]。

(2)对人体健康的影响 在五大洲至少35个不同国家和地区进行的研究表明,空气中颗粒物的水平与人体健康存在着一定的关系,而且粒径小于10μm的颗粒物由于其更易于进入人体,在环境中滞留时间更长,以及吸附的重金属和有毒有害的物质较多,因而对人体的危害也更大。可吸入颗粒物能越过呼吸道的屏障,粘附于支气管壁或肺泡壁上。粒径不同的细颗粒物随空气进入肺部,以碰撞、扩散、沉积等方式,滞留在呼吸道的不同部位。各种粒径不同的微小颗粒,在人的呼吸系统沉积的部位不同,粒径大于10μm者吸入后绝大部分阴留在鼻腔和鼻咽喉部,只有很少部分进入气管和肺部。这是因为粒径大的颗粒,在通过鼻腔和上呼吸道时,被鼻腔中鼻毛和气管内壁粘液滞留和粘着^[5]。据研究,鼻毛滤尘机能约为吸气中颗粒物总量的30%~50%。由于颗粒对上呼吸道粘膜的刺激,使鼻腔粘膜机能亢进,腔内毛细血管扩张,分泌液大量增加,直接阻留了更多的颗粒物,这是机体的一种保护性反应。若长期吸入含有颗粒状物质的空气,鼻腔粘膜持续亢进,致使粘膜肿胀,可发生肥大性鼻炎。此后由于粘膜细胞营养供应不足,可使粘膜萎缩,逐渐形成萎缩性鼻炎;进而滤尘机能显著下降,引起咽炎、喉炎、气管炎和支气管炎等。长期生活在细颗粒物浓度高的环境中,呼吸系统发病率增高,特别是慢性阻塞性呼吸道疾病如气管炎、支气管炎、支气管哮喘、肺气肝和肺心病等发病率显著增高,且又可促使这些病人的病情恶化,提前死亡^[6]。

国家环保总局1994年与美国国家环保局合作开展了一项“大气污染对人体呼吸健康影响研究”的课题,对广州、武汉、兰州、重庆等4个城市几年跟

表1 美国PM2.5标准实施计划

时间	实施内容
1997	新的国家空气质量标准出台
1998~2001	国家监测网络建立
2001~2004	建立前3年监测数据库
2002	标准出台后5年回顾
2002~2005	区域性计划(达到标准的和未达到的)
2005~2008	提交执行计划
2012~2017	用10年的时间遵照实施

表2 欧洲新的环境空气质量标准PM10

目标期限	时间周期	极限值
第一阶段		
2005年1月1日	24小时平均	50μm/m ³ ,并且每年不能超过25次
2005年1月1日	年平均	30μm/m ³
第二阶段		
2010年1月1日	24小时平均	50μm/m ³ ,并且每年不能超过7次
2010年1月1日	年平均	20μm/m ³

表3 部分国家空气质量标准及长远规划

国家	目前空气质量标准 PM10	长远规划
英国	50μm/m ³ (24小时平均)	目标是在2005年使其99%的时间都不超过50μm/m ³
芬兰	70μm/m ³ (24小时平均)	正在计划新的环境空气质量标准,同时考虑制定PM10和PM2.5的空气质量标准
德国	未知	制定PM的标准
土耳其	150μm/m ³ (24小时平均)	待定
日本	200μm/m ³ (1小时平均) 100μm/m ³ (24小时平均)	正在对有关机动车辆污染的问题进行研究,其中包括颗粒物的详细研究

踪调查的数据表明,大气颗粒物浓度(尤其是小颗粒物)与儿童肺功能异常率有明显的相关性。美国进行的一项研究表明:当可吸入颗粒物日平均增加10/μm·m-1时,将导致婴儿早产死亡率增加1%;不管所研究的颗粒物是来自煤烟型污染为主(即以SO₂和颗粒物排放为主)的城市,还是来自交通型污染为主(即以二次污染——光化学氧化物为主)的城市,上述死亡率与可吸入颗粒物间的关系仍然存在^[7]。

基于对可吸入颗粒物(特别是细颗粒物)危害的认识逐步深入,各个国家对其制定的标准越来越趋于严格。美国环保署(EPA)1971年制定了第一个有关PM的环境空气质量标准,最初的PM标准只是对总悬浮颗粒物(TSP)作了规定;1987年质量标准中增加了对PM10的规定,为50μm/m³(年平均)和150μm/m³(24小时平均);1997年又制定了新的环境空气质量标准,率先对PM2.5的质量浓度限值作出了规定,为150μm/m³(年平均)和65μm/m³(24小时平均),并制定了相应的实施规划(见表1);同时还计划在全国建立PM2.5常规监测网,初期拟建850个测点,最终达到3000个测点,以便形成全国空气质量实时监测网络。欧洲现在尽管还没有PM2.5标准,但对原有的PM10标准进行了修正,并分两个阶段进行(如表2所示)。欧洲将PM2.5的监测纳入了PM10的监测系统,明确表示在减少PM10的同时也包括PM2.5。世界其他国家也都有自己的标准和计划目标,如表3所示^[8,9]。

二、我国的能源对策

颗粒物污染现已引起了各国的关注,对其研究已成为当前污染学科研究的热点,作为颗粒物的主要排放源——电站燃煤,已成了关注的焦点。我国是一个发展中国家,生产力和人们的生活水平有待于进一步提高,不可能类似发达国家那样实施限制可吸入颗粒物的政策和目标。但是,我国在发展的同时,减少可吸入颗粒物的排放是符合国家利益的,也是保护全球生存环境的需要和适应可持续发展战略的要求。

因此,在我国现阶段如何处理颗粒物污染与经济发展之间的关系显得尤为重要,在积极寻求经济有效的颗粒物污染控制技术和设备的同时,还可以从以下几个方面考虑。

1. 开发推广清洁燃烧技术,强化污染源治理和控制

我国是一个正处于工业化进程的国家,经济发展长期沿用粗放型的经济增长方式,企业普遍存在着燃煤设施老化、技术装备落后等问题,特别是中小企业广泛燃用劣质煤种,给我国的经济发展和环境保护带来巨大压力。《中华人民共和国清洁生产促进法》已于2003年1月1日起正式实施,我国将加大以清洁生产为主要内容的结构调整和技术进步的支持力度。解决燃煤污染,需要做的不仅是推广清洁燃料,而应该多手段并用、多渠道并进,真正地运用好燃烧前、燃烧中和燃烧后3个阶段的治理技术,使我国的煤炭资源得到充分的利用。

通过研发、推广流化床燃烧技术、先进燃烧器技术和新型、高效吸附剂等洁净煤燃烧技术,可使一部分原本该排入大气中的 SO_2 、 NO_x 以固体的形式留在炉渣中,同时一些细微颗粒被团聚成大颗粒进而被除尘器捕获,减少了对大气的污染^[10]。

末端治理是减少污染的最后手段。应逐步推广、安装脱硫脱硝净化装置,对难以改燃清洁燃料或优质煤的大型锅炉要逐步实施烟气脱硫脱硝。现有的除尘设备对粗颗粒有很高的除尘效率,而对 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 的细小颗粒的脱除效率很低,所以迫切需要对现有的除尘设备进行改造,或采用先进的颗粒物控制技术。研制开发一种对 NO_x 、 SO_2 、细颗粒物和痕量元素同时脱除的高效除尘器是煤电企业急需的,也是环境保护的迫切需要。

2. 推广洁净煤技术,把煤转化为洁净燃料^[11,12]

为了减少直接燃煤产生的环境污染,应大力发展以下洁净煤技术。

(1) 煤的洗选、型煤加工和水煤浆技术 主要是通过改变原煤的形态,用物理的方法将里面的硫分、灰分大部分去除,既可提高煤炭的质量,又可减轻燃煤污染、减少煤矸石的无效运输。

(2) 煤的气化技术 有常压气化和加压气化两种,是指在常压或加压条件下,保持一定温度,通入气化剂(空气、氧气和蒸汽)与煤炭反应生成煤气。煤气中主要成分是一氧化碳、氢气、甲烷等可燃气。2000年6月,由中国科学院山西煤化所研究开发的灰熔聚流化床粉煤气化技术工业试验装置在陕西城化股份有限公司试运行成功。它标志着我国在煤气化技术研究开发方面实现了跨越发展。

(3) 煤的液化技术 煤在适当的温度和压力下,经催化加氢裂化可生成液体烃类及少量气体烃,脱

除煤中氮、氧和硫等杂质。这是试图用煤取代石油的一种尝试,世界各国对此都十分重视。

(4) 煤气化联合循环发电技术 先把煤制成煤气,进入燃气轮机燃烧发电,燃烧后烟气进入废热锅炉生产蒸汽,生产的蒸汽进入蒸汽轮机发电,整个发电效率可达45%。

(5) 燃煤磁流体发电技术 当燃煤得到的高温等离子气体高速切割强磁场时,就直接产生直流电,然后把直流电转换成交流电,发电效率可超过50%。我国正在开发研究这种技术。

3. 以石油、天然气代替煤炭

石油、天然气是优质能源,也是颗粒物低排放的能源。我国石油、天然气的地下储量仍有很大潜力,尤其是天然气。目前,天然气在世界能源结构中稳定在20%以上,是俄罗斯的第一大能源、美国第二大能源。1999年俄罗斯天然气产量达5 510亿 m^3 、美国是5 405亿 m^3 ,分别是我国(252亿 m^3)的22倍和21倍。2000年世界天然气的探明剩余可采储量超过石油,可能成为世界第一大能源。21世纪前叶,估计天然气产量将继续增长,特别是在俄罗斯和富有地下资源的发展中国家,如墨西哥、阿根廷、委内瑞拉、阿尔及利亚等。

但是在我国,天然气的消费量只占全国能源消费量的3%,与其资源储量的潜力相去甚远,其原因之一是地质勘探工作未能跟上。一般说来,天然气和石油的地下储量是相当的,即有一份石油就有一份天然气。美国《油气杂志》2000年公布的世界天然气和石油的探明储量,石油是1 402 182亿t,天然气是1 493 811亿 m^3 。在计算上,1 000 m^3 天然气相当于1t石油。全世界的油气比值是1.15,石油略多于天然气。但就国家而言,由于地质勘探工作的不同,情况相差甚远:印度是0.98、英国是0.89,油气储量基本持平;美国是0.63,气比油多;俄罗斯是0.14,气比油得多;而我国是2.39,天然气的储量比石油少得多。这一数字说明我国天然气的地质工作做得不够,也说明我国天然气的资源潜力很大。天然气可能成为我国能源新的突破口^[13]。

4. 加快发展清洁能源

为实现能源与社会、经济、环境的可持续发展,除了积极实现常规能源的高效化、优质化利用,提高能源利用效率外,必须重视开发利用太阳能、风能、地热能、海洋能等新能源。新能源不仅是资源丰富的可再生能源,而且不产生或很少产生污染物;既是近期重要的补充能源,又是未来能源结构的基础,对能源的可持续发展起着重要的作用。

在核电技术路线上,应进一步开发先进的核电技术。目前,我国已经运行的核电机组都是采用压水反应堆,自己研制的30万kw级已并网发电,60万kw级正在建设,百万kw级也在申请立项。从国外引进的百万kw级已成功建造和并网运行,为我国研制大型核电站做了准备。为了提高核电的安全性、降低发生堆芯熔化和放射性外溢事故的概率,要尽快发展先进轻水堆技术。为了充分利用铀资源,也需要加强力量研究和开发快中子增殖反应堆。

我国的水能资源仅次于煤炭,多于石油、天然气,是第二大能源资源。目前,我国开发利用的水能

(下转第64页)

《科技导报》理事会人员名录

名誉理事长:

周光召 中国科协主席、院士
韩启德 全国人大常委会副委员长、中国科协副主席、院士
王选 全国政协副主席、中国科协副主席、院士
程路 全国工商联副主席

理事长:

冯长根 中国科协书记处书记兼科技导报社社长、主编

副理事长:(以下均按姓氏笔画排序)

王永民 北京王码电脑有限公司总裁、教授级高级工程师
王柯敏 湖南省科技厅厅长、教授
匡镜明 北京理工大学校长、教授
杜玉波 北京航空航天大学党委书记、教授
姜澄宇 西北工业大学校长、教授
徐井宏 清华紫光股份有限公司董事长
袁家军 中国空间技术研究院院长、研究员
潘留仙 湖南涉外经济职业学院常务副院长、教授

常务理事:

王海波 河北省农林科学院副院长、研究员
王渝生 中国科学技术馆馆长、研究员
严陆光 中国科学院电工研究所研究员、院士

严纯华 北京大学教授
杨卫 清华大学教授、院士
杨海成 中国航天科技集团公司副总工程师、教授
贺福初 军事医学科学院副院长、研究员、院士
彭克刚 北京时代佳音广告公司总经理

理事:

卫民堂 西安交通大学出版社社长、教授
王子桓 西安生命源生物工程有限公司总经理
李敏 河北省万全县人民政府县长
苏丹 长沙市商业银行建湘支行行长
肖锦清 哈尔滨工程大学出版社社长、教授
杨振江 河南省新华书店南阳市店总经理
张骏 西北工业大学研究生院副院长、教授
张懋兰 河北北方学院院长
郑胜国 河北省秦皇岛市直属机关印刷厂厂长
贾清 北京计然电子科技有限公司总经理
贾纬民 精碳伟业(北京)科技有限公司董事

秘书长:

陈家俊 科技导报社副社长

副秘书长:

王剑 科技导报社理事会办公室主任
苏青 科技导报社副社长、副主编

(上接第44页)

仅占总水能资源的10%。如果在2030年,我国水能资源的开发达到70%,那么水电在国家能源结构中就可以从目前的5%提高到9%。

太阳能是世界最大的能源资源,目前被人类有效利用的还很少。太阳能的利用主要在两个方面:将太阳能转化为电能,将太阳能转化为热能。光伏电池是将太阳能转化为电能的一种装置,在西藏、青海、宁夏等日照时间长的地区,适合开发光伏电池技术。目前我国的这种技术还处于待开发阶段,关键在于寻找价廉、性能稳定的光电转换材料。

风力场是世界能源界的新景观。更大的风力发电机组、更好的制造技术,加上适当的选址,使风力发电造价逐步下降,目前已经能与燃煤电站相互竞争。我国东南沿海、新疆、内蒙等风力稳定的地区,都有发展风力发电的优势。风力发电机组产业化要上新台阶,关键是研制500~1000kw大型风电机组技术,并形成自行设计和自己制造的能力。

另外,波能、海流能、潮汐能、可燃冰、煤成气、微生物都有广泛的应用前景。

参考文献

- [1]世界环境与发展委员会.我们共同的未来[M].北京:世界知识出版社,1989
- [2]朱广一.大气可吸入颗粒物研究进展[J].环境保护科学,2002,28(113):3-5
- [3]杨复沫,马永亮,贺克斌.细微大气颗粒物PM_{2.5}及其研究概况[J].世界环境,2000,(4):32-34

- [4]王文.粉尘及其危害[J].铁道劳动安全卫生与环保,2000,27(4):254-256
- [5]K.D.Bartle et al.High-Resolution GLC profiles of urban air pollutant PAH[J].Interm.J.Environ Anal chem.1974,(3):349-356
- [6]T.Romanowski et al. Detection of PAH molecular weight between 300 and 402 in airborne particulate matter by fused silica capillary GC and GC/MS[J].Journal of High Resolution Chromatography & Chromatography Communications.1981,4MAP
- [7]Takashi Handa et al.Correlation between the Concentrations of PAH and Those of Particulates in an urban[J].Atmosphere Environmental Science & Technology.1980,14(4):24-35
- [8]W.Gene Tucker. An overview of PM sources and control strategies[J].Fuel Processing Technology.2000,(65-66):379-392
- [9]USEA.National ambient air quality standards for particulate matter.Fed. Regist. July 18,1997,38702-38752
- [10]安德鲁·J·明切纳尔.中国的能源效率与环境挑战[J].中国环境产业,1998,(3):12-14
- [11]李晶平,胡新恒.我国煤气化技术实现跨越发展[N].科学时报,2001-6-24
- [12]魏东星,黄忠泉,乔文功.煤炭利用与环境挑战[J].煤炭科技,2003,(2):9-10
- [13]王珏,肖利,朱斌.全球变暖与中国能源发展[J].自然辩证法通讯,2002,(4):32-37

(责任编辑 肖庆山)