污垢对火力发电厂节能减排的影响

21世纪中国火力发电主题——“节能、环保、节水”。这不仅仅是节能的重要技术措施，也是减少环境污染、温室效应气体(CO2)排放和降低发电水耗的重要途径，同时也是缓解今后煤炭供应日趋紧张的重要技术措施。十七大报告指出，加强能源资源节约和生态环境保护，增强可持续发展能力。《节能法》的修订，从制度上确保节能减排目标的实现。

近年来,我国火力发电厂建设得到迅猛发展,随着我国煤炭等能源资源紧缺,人们节能降耗意识的日益增强.国家政策对环境保护的要求越来越高.

目前，我国发电能源构成中还是以煤为主(占80%)，虽然今后将大力开发西部水电资源，但预测在本世纪30～40年内以煤为主的结构还不会改变。到2020年全国总装机容量将达到9.5亿千瓦左右，发电量将达到42000亿千瓦时左右，其中火电装机比重仍然占70%。火电机组在为人们提供电和热的同时，产生了大量的废弃物，严重污染环境，也同时产生很高的消耗。据统计，在一些高度工业化国家，换热设备污垢的消耗占国民生产总值的0.25%，美国仅炼油工业与污垢有关的费用就达13.6亿美元。在我国，虽然工业构成与美国不同，生产水平和管理水平也不一样，污垢费用占工业生产总值的比例理所当然地也会有所不同。同样，按0.25%这个比例估算我国在2004年因污垢而造成的损失应为341亿元(黑龙江省电力勘察设计研究院)。东北电力学院徐志明等对我国2000年电力工业因污垢而增加的费用作了粗略估算，得出2000年锅炉和凝汽器的污垢总损失费用为128.21亿元，约占GDP的0.15%。

节能降耗，简言之就是节约能源、降低消耗，用最少的投入去获取最大的经济效益。节能降耗、点滴节约是企业的立身之本，谁怠慢了它，轻视了它，谁就会失去立足之基。我们不能不屑于一滴水、一度电、一块煤的价值，这些都将直接影响到企业的经济效益。

火力发电厂污垢的形成是一种极其复杂的热量、动量、和质量交换过程，而且污染现象遍及自然过程。电厂多采用井水、河水作为循环水，水中含有能溶解在水中的盐类、灰尘、泥砂、微生物等杂质，循环水系统的冷却水由于蒸发损失、风吹损失等不断浓缩，杂质在水中的比例也不断增高，因此、污垢的形成概率也高。一般来说，污垢可以粗略按沉积物的形成机理分为二大类：水垢、泥垢等。

尽管水垢和泥垢的物理形态、形成机理、沉积区域和化学活性等都不相同，但对换热过程的影响却是相同的，它们都增加了换热面的热阻，减小了传热系数。一般认为污垢还可分为以下几种类型：①析晶污垢;②微粒污垢;③化学反应污垢;④腐蚀污垢;⑤生物污垢;⑥凝固污垢等。

在我国，由于人们对污垢问题普遍缺乏足够的认识和重视，换热设备运行环境恶劣和水体污染愈加严重等方面的原因，使得换热器中结垢现象更加严重。污垢所带来的危害是巨大的，也是多方面的。

首先，热阻增大：循环水在凝汽器铜管内流动，吸收大量的热量，保证了汽轮机的正常运行。工业换热器内，一般管内流体的流动总是处于旺盛湍流状态。根据管内受迫流动换热理论，液体在管道内流动分为层流边界层、过渡流层、紊流区三种基本现象，并由于流体的粘性而具有不同的流动速度。层流边界层是贴附于管壁的一层，流速非常缓慢，水中的CaCO3等污垢最易滞留在管内壁上形成污垢;并且，层流边界层虽然很薄，但紧靠管壁，热阻很大，影响传热效果。一般污垢的导热系数都很小，为0.174-1.163W/(m.oC)，仅为钢材的1/50^1/30，即使污垢层厚度不大，也会导致传热系数降低。据《工业能源》杂志提供的权威统计数据,垢质每年在换热设备和管道中的沉积厚度至少在4mm以上,而换热设备积垢每增加1mm,换热系数下降9～9.6%,能耗将增加10%以上。

以某电厂600MW机组双背压凝汽器为例进行计算，冷却水管结垢0.3mm时使凝汽器真空下降1.6kPa，使机组的功率减少7572.304kW，使机组的热耗率增加95.91kJ/(kW·h)。按年发电300天计算，一年减少收入：7572.3×24×300×0.35元/kW·h=1908万元。为了进一步说明问题，在这里计算了不同污垢层厚度对双背压凝汽器真空及机组经济性的影响数据，如表所示。

机组容量(Mw)	水垢厚度(mm)	真空度降低(kpa)	真空度降低(%)	汽耗增加（%）
100	1.2～2.0	26.7～33.3	3～5%	3～7.5%
50	0.8～1.2	２０～４０	2～4%	2～ 6%

由表上可看出，在相同的汽侧放热系数情况下，随垢层厚度的增加，低压、高压凝汽器的真空近似成正比例下降，而机组的发出功率减小量和机组的热耗率增加量近似成正比例增大。这说明垢层的厚度增量越大，对机组经济性的影响就越大。

2.使排汽温度升高：污垢造成传热系数降低，使循环冷却水吸热不良，减缓了排汽的凝结速度，致使排汽压力升高、排汽温度升高。而排汽温度的升高又导致有更多的热量需要冷却水带走，使循环冷却水温度升得很快。冷却水温度升高后又进一步恶化真空，形成恶性循环。凝汽器真空是评价凝汽器运行状态优劣和运行检测中的一个很重要的指标。凝汽器真空过低会严重影响电厂机组的安全经济运行，对于一台已经投运的抽汽凝汽式机组，凝汽器的冷却面积、冷却水量、凝汽器热负荷等已基本固定，冷却水系统的特性、冷却方式、冷却水温也受到电厂的地理位置、季节气候

等因素限制，凝汽器铜管水侧的脏污和结垢是导致凝汽器真空恶化的最主要最常见的原因。

根据《火电厂节能工程师培训教材》介绍的实验数值：真空每降低1%，影响汽轮机热耗率增加0.86%，真空降低2%，影响热耗率增加1.72%，影响供电煤耗增加6.97g/kW·h(标煤)。凝汽器真空每下降1kPa，汽轮机汽耗会增加1.5%～2.5%。以100MW机组为例，真空每下降1kPa，煤耗增加3.485g/kWh。正常情况下，一般真空都会下降5kPa，煤耗增加17.425g/kWh。根据等效焓降法计算真空度每提高1%，标准煤耗下降3.485g/kwh。若100MW机组满负荷运行则可节约标准煤：1.45t/h以上，标煤按500元/T计算，则可节约人民币725元/h，若每年发电按8000小时计算，每年可节约发电成本580万元。

3.改变了设备的运行参数：水侧污垢不仅使凝汽器清洁率下降和冷却面积减少，增加了冷却循环水系统的水流阻力，降低了冷却水的流量，还增加了循环水的出口压力和循环水泵的能耗，使换热效率减小，端差升高。保持凝汽器较高的真空和较小的端差，是提高机组循环热效率的主要方法之一。某厂一台125MW机组，汽轮机背压增高0.004MPa，导致热耗增加244.5kJ/kWh，煤耗增加9.70g/kWh;凝汽器端差升高5°C，导致热耗增加95.12kJ/kWh，煤耗增加3.66kJ/kWh。

另以100MW机组为例，装配N-6815-2型凝汽器，正常运行中凝汽器端差控制在6°C以内，运行一段时间后，凝汽器端差就升高到9°C左右，严重影响机组经济运行。造成端差大的主要原因是循环水中的污泥、微生物和溶于水中的碳酸盐析出附在凝结器铜管水侧产生水垢，形成很大的热阻，使传过同样热量时传热端差增大，凝结器排汽温度升高，真空下降。根据N-6815-2型凝汽器热力计算说明书查得：其设计传热端差为4.04°C。经测试机组的平均传热端差为9°C左右，较设计值大5°C左右，根据公式tz=t1+△t+δt，式中：循环水入口温度t1取20°C，循环水温升△t取13.14°C，端差δt取9°C，则：tz=42.14°C。对应的排汽压力，Pk′=0.0085MPa。由于端差增大5°C，使汽轮机热耗率增加1.69%，供电煤耗增加8.31g/kW·h(标煤)。经计算，机组发电煤耗率增加8.31g/kW·h(标煤)，年多耗标准煤9700吨，标煤按500元/T计算，折合人民币485万元，浪费很大。

4.使汽轮机组的经济效益降低：

当凝汽器在运行中由于水侧污垢热阻的增加而导致换热系数减小时，就直接影响到了经济效益。

5.威胁机组的安全运行：真空过低，会使低压缸、排汽缸温度升高，引起汽轮机轴承中心偏移，严重时会增大汽轮机组的振动;当真空降低时，为保证机组出力不变，必须增加蒸汽流量，从而导致轴向推力增大，使推力轴承过负荷，影响汽轮机组的安全运行。

6.引起垢下腐蚀：沉积物垢下腐蚀是凝汽器铜管腐蚀的主要形态。沉积物造成铜管表面不同部位上的供氧差异和介质浓度差异会导致局部腐蚀。铜被氧化生成的Cu2+及Cu+离子倾向于水解生成氧化亚铜，并使溶液局部酸化，加剧了腐蚀的发展，严重时造成针型腐蚀穿孔，导致铜管及管板泄漏，循环水进入凝结水，在无法预知的情况下，锅炉给水品质变差，威胁着锅炉及发电机组的安全运行，也直接影响发电厂的经济效益。

7.降低凝汽器的使用效率：铜管内壁形成污垢的速度很快，根据文献，凝汽器铜管清扫24h后，清洁系数从1.0变为0.692，实际传热系数由2.93kW/(m2·°C)降到1.98kW/(m2·°C)，致使排汽温度从31.5°C上升到35.5°C。而0.1mm厚污垢的热阻足以让1mm厚的铜管的导热热阻被忽略不计。如此短的积垢时间和低的传热效率，导致凝汽器长期处于低效率运行中。

大型火力发电厂各项热损失大约为：锅炉热损失>9%、管道热损失>1%、汽轮机排汽热损失>50%、汽轮机机械损失>2%、发电机损失>1%——引自《热能工程设计手册》。从设计标准来看，总热损失>60%，综合热效率<40%。其中汽轮机排汽热损失>50%。50%以上的汽轮机排汽热损失不仅带来了能源资源的巨大浪费，也带来了大量的环境污染。提高火力发电厂的整体热效率技术有很多。如高效燃烧技术;发电效率提高技术;余热回收技术;乏汽回收技术及水回收技术等。技术不同，应用部位不同，对整体效率影响不同。现在，仅从通过降低主要损失----排汽热损失提高整体热效率。在凝结水量、冷却水流量和进口水温一定的情况下，提高凝汽器换热效果，减小凝汽器铜管内外壁温差，管外的蒸汽就能迅速被水冷凝，体积缩小，真空提高，蒸汽的发电能力提高，蒸汽的更多热量转化为电能，导致蒸汽的温度(排汽温度)降低，冷却水的出水温度也降低，使排汽温度和冷却水出水温度的温差(传热端差)减小，冷却水带走的热量减少，即汽轮机排汽热损失减少，发电热效率提高，经济效益也相应提高，而除垢、防垢是提高换热效率的最主要途径。可见：除垢、防垢能大幅度提高火电机组凝汽器的换热效率，从而提高机组的热经济性，减少冷源损失，就可以减少发电汽耗，也就降低了发电煤耗。

降低生产热能量的成本不仅仅有技术和经济上的意义，而且具有社会意义，是构建节约型社会的一种技术手段。湖

南省株洲工学院俞秀明教授所在课题组为了获得冷凝器污垢对传热造成的经济损失评价数据，选取了江氨化工公司和湖南省南天实业公司进行了实际测试，通过分析测试结果表明，冷却水的污垢使换热器的实际运行效率下降40%以上。他们进一步对污垢造成的各个方面损失进行了技术经济分析。分析结果显示，水垢所造成的设备费用损失高达每年1.6亿元左右;造成的水冷器水费增加高达到26.6亿元;引起的冷水机组运行电费上升7亿元。每年因为污垢所造成的设备费用增加、水费损失、运行费用增加总计达到30亿元之多。换热器存在污垢会造成能源的巨大浪费和惊人的经济损失。

如何使污垢的影响降到最低，从而提高电厂的效益，也就成为摆在我们面前的一项紧迫的任务。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/38466.html