

烟道气的电子束处理

关于利用辐射保护环境报告

Vitomir Markovic

发电厂和工业生产的用煤量不断增加，产生严重的环境问题，这是大量二氧化硫 (SO_2) 和氮的氧化物 (NO_x) 等有毒气体释入大气所致。酸雨形式的近期和长期影响，能在大范围内造成环境问题。这已成为引起国际争端的一个问题。

出于对环境保护的更加关心和要求减少或消除酸雨的破坏效应的国际压力，一些国家有关排放限值的标准和法规正在变得越来越严格。某些国家正在给减少烟道气污染的技术方面大量投资。

电子束处理这项新技术已经证明它可以做到：

- 利用单级流程减少 SO_2 / NO_x 的排放量，从而改善大气质量和消除酸雨问题。

Markovic 先生是国际原子能机构物理化学处工业应用与化学科工作人员。这篇评论是以原子能机构 1986 年 10 月 27—29 日在德意志联邦共和国卡尔斯鲁厄举行的“烟道气电子束处理”咨询会议上提出的资料为基础编写的。

- 把烟道气中的有毒成分转换成具有商业价值的副产品，如农用肥料或土壤改良剂。

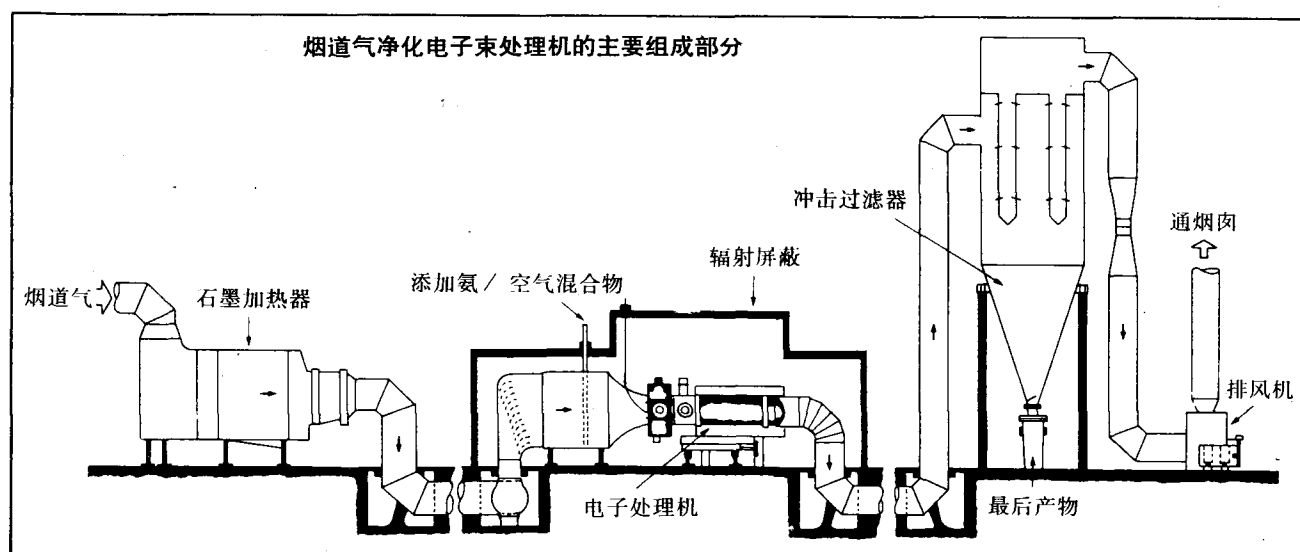
辐射处理技术比较可靠，设备的安装、使用与控制比较简单，对操作人员和环境都是安全的。运行时不产生放射性，不使用时不存在剩余辐射。

除去 SO_2 和 NO_x 的常规方法

采用洗涤器的常规技术能有效地从烟道气中除去 SO_2 。但采用干法、半干法或使用石灰除去 SO_2 的方法产生的副产品无商业价值，这又提出了新的废物处置问题。具有强制氧化作用的湿石灰法产生石膏副产品，它倒是有市场价值的，但在潜在的市场规模方面存在某些不确定性。

NO_x 气体一般靠称作选择催化还原 (SCR) 的方法单独除去，该法利用氨试剂把 NO_x 转化成大气氮。

目前仍未研究出能在单级流程中同时除去 SO_2 和 NO_x 气体的可靠的化学方法。





这是日本的一座使用辐射处理废气的中间试验工厂，废气来自减少和除去炼钢工业 NO_x 研究协会的钢制烧结炉。

烟道气的辐射处理

高能辐射可使分子与原子电离和激发，形成极活泼的自由基、离子和激发态分子。这些物质既能共同和系统中存在着的氧与水起反应，也能和有意加到系统中的某些化学成分起反应，生成可以沉淀或可用简便方法收集的产物。这些过程已被用作电子束气体洗涤器的依据。这种气体洗涤器是由荏原制造公司首先研制的。该方法在 1970—1974 年进行了实验室规模试验，在 1977—1978 年进行了中间规模试验，试验初期是间隙式进行的，后来则在一个连续反应器中进行。中间试验工厂的处理能力为 10^5 立方米氮气每小时，是由日本炼钢厂在荏原制造公司与日本原子能研究所高崎辐射化学研究中心合作下建造与试验的。（见附照片。）

荏原公司在美国能源部的支助下，又开发了一种洗涤烟道气的电子束方法。这种所谓“荏原法”的基础是在有氨的条件下辐照煤或碳氢化物燃料锅炉产生的烟道气。结果可以在效率较高和比较容易控制的条件下同时除去 SO_2 和 NO_x ，脱 SO_2 率达到 100%，脱 NO_x 率达到 85—90%。另外，副产品（90% 的硫酸铵和硝酸铵）有商业价值，可以作肥料或普通的土壤改良剂。

安装在美国印第安纳州的印第安纳波利斯动力照明公司的大型试验示范装置（PDU）正在对这种方法进行试验。该装置于 1985 年开始运行，主要目的在于证明该方法的可行性以及从副产品作为农用肥料的角度对其进行分析。

德意志联邦共和国卡尔斯鲁厄的巴登韦克股份公

司正在试验另一台示范装置。该装置是 1985 年 10 月开始运行的。（见附照片。）

这些示范装置得出的最重要结果是：

- 证明了电子束处理法是适用于烟道气净化的，
- 证明了该方法可以从燃烧含硫煤（硫含量可低可高）所产生的烟道气中除去 90% 以上的 SO_2 和最多达 90% 的 NO_x ，
- 证明了商用电子束处理设备可以在动力厂环境中安全地使用，可靠性也较高。

上述两个示范装置是在与电功率 3—5 兆瓦的动力厂相当的烟道气流量的情况下进行试验的。一般认为，将该方法放大 10—20 倍在技术上和经济上是可行的。

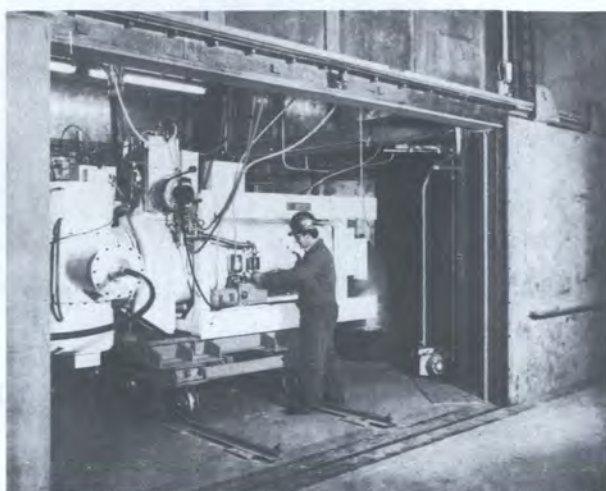
和某些化学法相比，电子束法的优点可归纳成以下几点：

- 用一套设备和一种试剂，在单级流程中就能同时除去 SO_2 和 NO_x ，
- 能满足对除去效率的最严格要求，
- 不产生需要处置的废物，
- 它是一种干法（维修费低），
- 不需要对烟道气进行再加热，
- 操作和维修安全简单。

最重要的缺点是：

- 过程中所添加的氨价格高，某些国家可能用不起（尤其是需进口氨的国家），
- 把副产品作为肥料使用的可能性有限，尤其是在主要为酸性土壤的地区。

这是一台示范性电子加速器，安装在德意志联邦共和国卡尔斯鲁厄巴登韦克股份分公司内，从照片中可见到屏蔽室。（来源：巴登韦克股份公司）



一般使用能量范围为 300—800 千伏 (kV) 的电子束加速器作为烟道气处理的辐射源。这种应用可能不需要更高的能量水平, 因为能量低于 1000kV 的电子在烟道气中的穿透率已足够大。此外, 经验还表明, 剂量分布的不均匀性不是一个严重问题。就电子束加速器而论, 待解决的主要问题是高功率装置的可靠性、能量转换效率和可利用率。电子束加速器制造技术的现状是与对这些装置的运行效率和可靠性的工业要求相适应的。目前可得到的加速器的能量与功率水平在 300kV / 300—500kW 和 600—800kV / 120—240kW 之间, 它们对于由若干台低、中功率锅炉 (最高 100MWe 左右) 组成的车间是适用的。进一步增加规模则需要多台加速器或研制极高功率的

装置 (1000kW 以上)。

电子束处理的成本效率

美国在 1983 年进行了一次详细的研究, 结论是电子束处理和传统的烟道气脱硫洗涤器不相上下。关键是氨的费用和副产品的市场价值, 二者可以随国家不同而显著不同。然而, 如果要求将 SO_2 和 NO_x 都除去, 则结论就不同, 电子束处理与由传统的化学方法组合成的流程相比, 显示了很大的竞争力。

美国和德意志联邦共和国的示范装置已经证实了电子束法的经济生存能力, 并已产生了可以从经济角度评价的足够多的数据。

烟道气的空气污染——“酸雨”

人们早已认识到, 电厂和工业设施中的燃煤燃油锅炉排入大气的 SO_2 和 NO_x , 是环境污染的主要来源之一。其破坏性效应可以在一有限地区内立即显示出来, 产生慢性呼吸疾病、心肺病, 并使环境恶化。(据估计, 美国的空气污染每年将导致 10 000 人左右死亡, 约 2500 万个呼吸病例。)

在广大地区内的长期效应则是有毒气体在大气中进行光化学转化从而生成硫酸和硝酸, 然后以“酸雨”形式降落地面。酸雨在破坏森林和大地植被以及使湖泊酸化方面的生态学影响很明显。美国和欧洲均有森林遭到严重破坏的报道 (在德意志联邦共和国可以发现一些典型事例, 例如北莱茵 / 威斯特伐利亚和巴登符腾堡地区大片森林被毁)。问题并不限于工业化世界, 某些大量依靠煤发电的发展中国家也已认识到了这个问题。例如, 中国西南部和东部沿海就经常报道酸雨的消息, 印度的许多大城市和内陆地区也受到空气污染的严重影响。

这个问题是没有边界限制的, 其严重程度可以用烟道气排放量作最好的说明。装机容量为 500 兆瓦的一座发电厂, 每小时大约可以消耗 250—300 吨煤, SO_2 排放量取决于硫含量 (0.2% 至 2% 不等, 有的甚至高达 10%), 其数量级为每小时数十吨。有人估计过, 光是美国, 1990 年以前, 电力公司和各种工业锅炉每年就有 5000 万吨以上的 SO_2 和 NO_x 烟道气排入大气。

污染法规和烟道气净化技术的潜在市场。有关烟囱排气中 SO_2 和 NO_x 容许水平的法规, 各国差别很大。德意志联邦共和国实施的法规最严, 并有很多欧洲国家仿效。德国法律要求 1988 年年中以前完成对功率大于 110MWe 的所有锅炉的改造, 加设 SO_2 控

制系统 (脱硫率为 85%)。目前已有 100 多台装置在运行或正在安装。功率在 35—110MWe 之间的另一类锅炉, 1993 年前必须符合法规要求。仅在德意志联邦共和国, 属于这一类的锅炉约有 370 台。1984 年, 该国对 NO_x 规定了极严格的限值。因此, 在 1988—1990 年期间几百台锅炉必须进行改造, 使它们具有除去 NO_x 的能力。

奥地利、瑞士、意大利、荷兰、丹麦、芬兰、瑞典和欧洲经济共同体都已采用或提出有关除去 SO_2 和 NO_x 的重要法规, 出现了全大陆共同努力清除空气环境污染的势头。

美国关于 SO_2 的法规, 与新污染源的关系比与现有源的关系更大, 而目前规定的 NO_x 限值在锅炉内就能控制住。印度和中国也已制定了将来要安装除去 SO_2 和 NO_x 系统的法律。

现有法律和趋向给能够控制烟囱排气中有毒成分浓度的技术开辟了广阔的市场。

对辐射处理的兴趣逐渐增长。用辐射处理技术解决燃煤燃油电厂造成的环境污染问题, 已愈来愈引起原子能机构成员国的兴趣。几个国家已请求原子能机构提供这种技术的开发与应用方面的情报。因此, 机构召开了一次专家会议, 一方面评价该技术的现状, 另一方面征求在促进这种技术的发展和技术转让方面机构下一步应采取哪些行动的建议。这次关于燃烧烟道气电子束处理的咨询会议是 1986 年 10 月 27—29 日在德意志联邦共和国卡尔斯鲁厄举行的, 来自 13 个成员国的 55 位代表出席了会议。预计机构将出版会议论文集。会议中向原子能机构提出的建议与促进信息传播、技术转让和支持下一步的研究发展工作有关。