

烟气脱硫用超大功率电子加速器引出窗的研制

何彤琦^{1,2} 胡 炜² 浦耿强¹ 孙光奎² 施卫国² 李民熙² 张宇田²

1 (上海交通大学机械与动力工程学院 上海 200030)

2 (中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

摘要 近些年来,人们越来越重视工业气体产生的污染,尤其是工业气体中硫产生的大气污染和酸雨。大功率电子加速器产生的电子束烟气脱硫工艺由于其脱硫效率高,没有二次污染而倍受关注。引出窗作为加速器的关键部件之一,其使用寿命直接影响加速器运行的稳定。本文论述了我所研制的烟气脱硫用超大功率电子加速器引出窗与其他结构引出窗相比较的优点,并详细介绍了该引出窗的选材、结构、更换以及维护等问题。

关键词 烟气脱硫, 电子加速器, 引出窗, 钛箔

中图分类号 TL51

近十年来,越来越多的人开始关注工业企业气体的辐射净化研究。电子束烟气脱硫工艺由于其脱硫效率高,没有二次污染的优点而倍受关注。该工艺所需要的关键设备之一就是大功率电子加速器。用大功率电子加速器产生的加速电子束来辐照烟道气时,产生OH、O和HO₂等自由基,这些自由基和NO_x、SO₂生成硫酸和硝酸,在通入NH₃的情况下产生(NH₄)₂SO₄和NH₄NO₃铵盐^[1],从而达到脱硫脱硝的目的。

引出窗是加速器的关键部件之一,引出窗的使用寿命直接影响到加速器运行的稳定。本文详细介绍我所研制的烟气脱硫用超大功率电子加速器引出窗的选材、结构、更换以及维护等。

1 引出窗的选材

电子加速器引出窗是设在电子加速器电子束流

出口处的窗形结构,采用金属箔窗分隔真空和大气。因此金属箔既要有足够的强度承受两侧的气压差,同时箔的厚度应尽可能小,使电子束穿过箔窗时的能量损失尽可能少;如果电子束穿过箔窗时的能量损失太大,则会降低加速器的使用效率,并使箔窗的温度升高,降低材料的机械强度,甚至会因为箔窗破裂而造成事故。所以箔窗材料的选择至关重要。

工业用电子加速器中,最常用的箔窗材料就是钛。因为钛的密度低,在厚度一定的情况下,电子束穿过时的能量损失较小,且机械强度较高。目前国内生产的电子加速器能引出40 mA的连续电子束(高频高压型加速器),采用的是40 μm厚的钛箔,在风冷条件下它可在0.1—0.15 mA/cm²的束流密度下长期工作。烟气脱硫超大功率电子加速器中我们仍采用40 μm厚的钛箔。

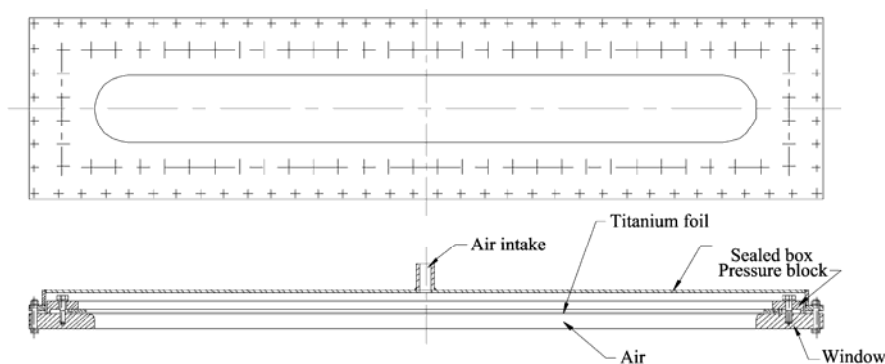


图1 模拟试验装置简图
Fig.1 Schematic of simulative tester

第一作者: 何彤琦, 女, 1976年出生, 2007年于上海交通大学获硕士学位

收稿日期: 2006-02-21, 修回日期: 2006-04-04

我们对引出窗中钛箔的使用状况进行了专门的模拟试验。钛箔材料选用 TA1 型号。试验装置如图 1 所示, 钛箔变形情况如图 2 所示, 用充气加压的方式来确定钛箔能承受的压差。首先将充气设备与图 1 中的充气口可靠连接, 此时钛箔处于初始的自然状态; 然后从零开始缓慢充气, 测出不同气压 P 下所对应的钛箔实测变形量 h 。由此可以得到气压 P 和钛箔实测变形量 h 之间的曲线图, 如图 3 所示。试验发现, 窗宽 $D=80\text{ mm}$ 、厚度为 $40\text{ }\mu\text{m}$ 的钛箔可以承受 1.6 atm 的压力差。

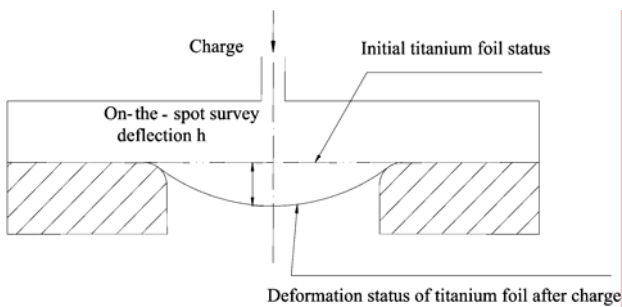


图 2 钛箔变形示意图
Fig.2 Deformation schematic of titanium foil

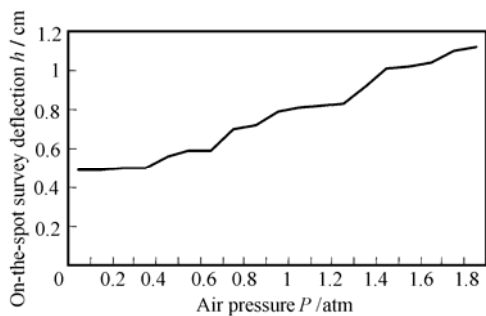


图 3 气压 P —变形量 h 曲线图
Fig.3 Graph of air pressure-deflection

2 引出窗的结构

目前为止, 工业用电子加速器的引出窗多数采用单窗结构, 电子束沿窗口的长度方向来回扫描, 而窗口的典型横向尺寸为 $40\text{—}80\text{ mm}$, 窗口的长度尺寸一般为 $500\text{—}1800\text{ mm}$ 。当需要使用更宽的引出窗, 如 $100\text{—}200\text{ mm}$ 或者更宽, 就需要采用横向筋撑住密封真空箔^[2]。这种结构虽然能扩大扫描面积, 但加入的横向筋厚度一般为数毫米, 筋上接收到的束流功率一般约占总束流功率的 $30\%\text{—}40\%$, 而且电子束直接辐照加强筋, 会导致加强筋发热, 需要在筋上增加辅助装置。采用该结构不但会损耗较多的电子功率, 而且使引出窗结构更加复杂, 不利于加工。

烟气脱硫电子加速器功率较高, 引出的电子束可达 300 mA 以上。为了减少钛箔处的束流密度, 延长钛箔的使用寿命, 需要增大扫描面积。针对现有大面积单窗结构技术的不足, 我们在烟气脱硫加速器研制中采用一种新的双窗结构。它不仅能满足扩大扫描面积的要求, 而且结构简单, 便于设计加工。图 4 所示为双窗口引出窗窗口示意图。

该装置所采用的技术方法是: 在窗口长度为 2200 mm 、总体窗口宽度为 180 mm 的窗口中, 在窗口的长度方向加一根横梁, 将窗口分为两部分, 形成双窗结构。电子束完成第一个窗内的扫描后立即进入第二个窗进行扫描。束流在沿着窗 (X 方向) 和垂直窗 (Y 方向) 两个方向的扫描在扫描磁铁的偏转作用下产生, 束流在钛窗间的跳跃, 通过 Y 方向扫描磁铁电源的阶跃脉冲实现。

电子束从第一个窗口跳跃到第二个窗口的过程中束流将会轰击到窗口中间的横梁, 因此需对此横梁进行冷却保护。这样才能保证在引出大功率电子束时, 系统真空度没有明显下降。



图 4 双窗口引出窗窗口示意图
Fig.4 Schematic of double extraction windows

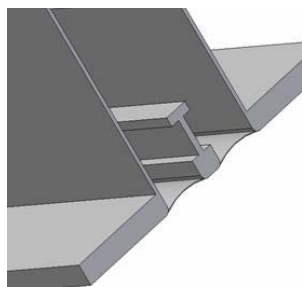


图5 引出窗的横梁结构示意图

Fig.5 Structure schematic of Beam in extraction window

在双窗型钛窗的设计中, 两窗间的横梁必须有足够的强度。通过试验和计算, 我们选用了如图5的结构。用轻型焊接工字钢来增加横梁的强度和刚度。

该引出窗结构已获得国家实用新型专利^[3]授权。

3 引出窗的更换

加速器运行过程中, 加速器引出窗口处的钛箔会由于各种原因而损坏, 需要更换, 为了使更换钛箔对生产造成的停产损失尽可能小, 要求更换钛箔的操作过程简单、方便, 快速。

目前, 现有的工业用电子加速器更换钛箔都采用直接更换法, 即直接将损坏的钛箔拆下, 再将新的钛箔装上。

该方法存在以下缺点: (1) 当引出窗的面积较大时, 由于钛箔跨度大, 在重力的作用下钛箔的中间部分与密封面之间会有较大的缝隙, 难于进行真空密封。(2) 当引出窗下安装有反应器, 两者间隔只有几十毫米, 而且引出窗周边有许多不可移走的其它设备时, 操作人员在更换钛箔过程中没有足够的操作空间, 给更换钛箔带来很大的麻烦, 需要较长的更换时间, 影响工业生产。(3) 当操作空间较小时, 操作过程中容易碰坏周边设备, 而且人员在操作中也容易受伤, 存在安全隐患。

烟气脱硫用超大功率电子加速器中采用了引出窗的快速更换结构, 即将扫描盒分为上扫描盒和下扫描盒两部分。下扫描盒可以单独卸下, 移出, 安装钛箔, 然后再移入。该快速更换结构包括上、下扫描盒, 操作平台, 带滑轮的吊装工具和导轨等部件。快速更换钛窗的过程如图6所示。具体操作:

(1) 将带滑轮的吊装工具安装在下扫描盒的下法兰和加强筋上; (2) 导轨安装在操作平台上; (3) 将连接上、下扫描盒的密封螺钉拆开; (4) 下扫描盒

沿导轨拖出; (5) 用吊装工具将下扫描盒吊起、进行钛箔更换; (6) 更换好钛箔后将下扫描盒放回到导轨上; 将下扫描盒推回到工作位置, 安装上、下扫描盒连接螺钉。

该引出窗的快速更换结构具有以下优点: (1) 增大了操作空间。方便操作人员操作, 确保真空密封可靠。(2) 提高工业生产的效率。一次更换过程仅需要四小时左右, 大大缩短了停产时间。(3) 将下扫描盒移动到较大的空间进行操作, 在更换引出窗过程中可以最大限度保证设备和人员的安全。

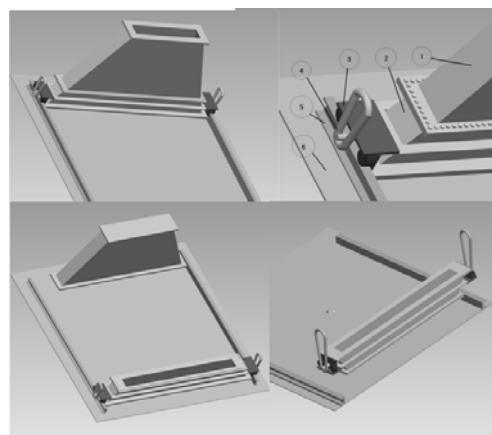


图6 钛箔更换过程示意图

1. 上扫描盒; 2. 下扫描盒; 3. 带滑轮的吊装工具; 4. 吊装环;
5. 导轨; 6. 操作平台

Fig.6 Schematic of replacing process to titanium foil

1. Upper scanning box; 2. Inferior scanning box; 3. Hoisting tools with pulleys; 4. Hoisting ring; 5. Guide rail; 6. Operation platform

4 引出窗的维护保养

钛箔要承受 0.1 MPa 的压强, 在如此大的压力下, 钛箔很容易损坏, 因此安装、使用和维护时必须特别注意以下几点: (1) 每天开机前或关机后检查钛箔有无异常现象, 若有异常应及时更换钛箔, 若钛箔受污染可用绸布蘸酒精轻拭; (2) 更换钛窗时一定将钛窗清洗干净, 如有污物残留在钛窗上电子束在该处的热量会集聚升高, 引起烧毁钛窗的事故; (3) 更换钛箔时应均匀的拧紧密封螺钉, 建议采用扭力扳手, 每次增加的扭力不宜过大, 加力应遵循少量多次的原则; (4) 利器决不可以碰到钛箔; (5) 有束流引出时, 钛窗的冷却风机一定要开启, 以免引起钛窗烧毁。

钛窗的使用寿命与加速器的其它部件也有着密切的关系。如, 在该样机的实验过程中发现扫描电源的设置对钛箔的寿命起着至关重要的作用。若扫

描电源 X、Y 扫描频率比为 251/15, 可使扫描轨迹形成复杂的李萨如图形, 每个周期扫描轨迹完全不同, 且能够遍布整个钛窗, 对提高扫描均匀度、充分利用钛箔, 提高钛箔的使用寿命有很大好处

5 结束语

烟气脱硫用超大功率电子加速器样机研制是中国科学院重大创新项目, 该项目已于 2003 年年底完成项目验收, 并通过专家鉴定。该样机引出的电子束流强可达 300 mA, 而国产辐照电子加速器目前的最高电子束流强是 30—40 mA, 引出电子束流强的大幅提高与引出窗的研制密不可分。该样机的调试运行结果表明, 该引出窗装置工作可靠, 操作方便, 满足系统工作要求。我们的研究为引出窗结构的设计提供了一种高效率低成本的新思路, 对工业用电子加速器的发展具有积极的作用。

参考文献

1 刘振灏, 陈思富, 郑威, 等. 原子核物理评论, 1999,

16(2): 111

LIU Zhenhao, CHEN Sifu, ZHENG Wei, *et al.* Nucl Phys Rev, 1999, 16(2): 111

2 阿布拉勉 E A. 工业电子加速器及其在辐射加工中的应用. 北京: 原子能出版社, 1996. 104—109

Abramyan E A. Application of Industrial Electron Accelerator and Radiation Processing. Beijing: Atomic Energy Press, 1996. 104—109

3 专利号: ZL200420090481.1

Patent NO.: ZL200420090481.1

4 Mckeown J, Craig S T, Drewell N H, *et al.* Radiat Phys Chem, 1995, 46(4—6): 1363—1372

5 Ehlermann D A E, Morriseau D. Radiat Phys Chem, 2002, 63(3—6): 609—612

6 赵文彦, 潘秀苗. 辐射加工技术及应用. 北京: 兵器工业出版社, 2003. 310—334

ZHAO Wenyan, PAN Xiumia. Technology and Application of Radiation Processing. Beijing: Weapons Industry Press, 2003. 310—334

The design of the extraction window of high power electron accelerator used in flue gas desulfurization

HE Tongqi^{1,2} HU Wei² PU Gengqiang¹ SUN Guangkui² SHI Weiguo² LI Minxi² ZHANG Yutian²

¹(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

²(Shanghai Institute of Applied Physics, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract Recently, the pollution caused by industrial exhaust gas, especially, the air pollution and acid rain resulting from the sulfur of exhaust gas, is increasingly drawing people's attention. The flue gas desulfurization by electron beam produced by high-power electron accelerator has the characteristics of high efficiency and non-secondary contamination. As one of the most pivotal part of accelerator, the service lifetime of this extraction window directly effects the stable operation of the device. In this paper, a brief review is given to summarize the advantages, material selecting, structure, replacing, maintaining of the extraction window of high-power electron accelerator developed by SINAP.

Key words Flue gas desulfurization, Electron accelerator, Extraction window, Titanium foil

CLC TL5