

核设施通风系统中常用碘吸附器的类型和设计

Types and designs of iodine adsorbers used in nuclear facility ventilation systems

吴 波¹ 夏 冉² 郭哲斌¹ 张崇文¹ 李 源¹ 李 昕¹

(1. 中国辐射防护研究院, 山西 太原 030006)

(2. 中核环保有限公司战略规划部, 北京 110108)

Wu Bo¹ Xia Ran² Guo Zhebin¹ Zhang Chongwen¹ Li Yuan¹ Li Xin¹

(1. China Institute for Radiation Protection, Shanxi Province 030006)

(2. Strategic Planning Department of CEPC, Beijing 110108)

摘 要: 碘吸附器用于去除核空气和气体中的放射性碘, 常见的类型有 I、II、III 和其他类型碘吸附器, 它们的结构和特点各不相同, 分别在不同的核设施通风系统中使用。本文对不同类型碘吸附器的特点进行了分析和说明, 并给出了碘吸附器的设计建议。设计时应重点考虑滞留时间、阻力、气流均布和效率等因素的影响, 确保碘吸附器满足要求。

关键词: 核设施; 碘吸附器; 类型; 设计

Abstract: Iodine adsorbers are used to remove radioactive iodine from nuclear air and gas. Common types are I, II, III and other types of iodine adsorbers. Their structures and characteristics are different, and they are used in different nuclear facility ventilation systems. This article analyzes and explains the characteristics of different types of iodine adsorbers, and gives design suggestions for iodine adsorbers. The design should focus on the impact of factors such as residence time, resistance, uniform air flow, and efficiency to ensure that the iodine adsorber meets the requirements.

Key words: nuclear facility; iodine adsorber; type; design

核设施在运行过程中会产生大量的气态放射性碘物质, 对人体有较大的危害^[1], 为了去除放射性碘, 核设施通风系统中一般会设置碘吸附器设备, 用以确保气体的达标排放以及主控制室的人员可居留性^[2]。国内核设施通风系统的设计不同, 所使用碘吸附器的类型和特点也不尽相同, 本文结合核设施中常用类型的碘吸附器对其特点进行了说明, 并给出了设计时需要考虑的因素, 供碘吸附器设计参考。

1 碘吸附器类型

1.1 I、II、III 型碘吸附器

I 型碘吸附器即折叠式碘吸附器^[3], 目前主要在 M310 机组和研究堆等通风系统中使用。国内已有二十多年的研制时间并且已有 10 多年的供货经验, 制造经验较为成熟。I 型碘吸附器由 1 个端面形状为正方形的长方体外壳(张贴有密封垫)和 8 个床厚度为 50.8mm 呈往复折叠布局的吸附床(由筛板固定, 筛板上开有圆孔)等部件组成, 吸附床上的筛板开由圆形小孔。该碘吸附器可水平或垂直安装在净化小室或净化箱体内部的安

装框架上, 通过压紧外壳端面密封垫实现碘吸附器与安装框架之间的密封。

II 型碘吸附器即抽屉式碘吸附器^[4], 吸附床三面应由无孔壳板(非标准设计除外)包封, 第四面由面板封装。吸附器应水平安装在一个矩形安装排架上, 并将其面板夹紧和密封在排架上。吸附器的前部有把手以便于操作和安装。吸附器应由至少 50.8mm 厚的吸附床构成一个标准单元。所有吸附床都是与气流方向垂直的。主要在田湾、秦山一期核电中使用。

III 型碘吸附器即深床式碘吸附器^[5], 该碘吸附器由单个或多个吸附床组成, 大小由所处理气体的流量确定。吸附床由穿孔板和结构件焊接组装而成, 气流从吸附床的进风面进入, 通过装填的吸附剂, 从出风面流出。其特点为单机组装, 现场固定安装, 吸附剂现场更换。近年来对 III 型碘吸附器的研究较多^[6], 主要在 AP1000、华龙一号机组中使用。III 型碘吸附器按照人员是否可进入, 又分为人员可进入式和非可进入式, 主要区别为人员能否通过碘吸附器前端和后端检修门进入

到箱体内部,非可进入式碘吸附器的优点为空间利用紧凑,可进入式碘吸附器对现场的空间要求较大,但利于开展相应的检查和维修工作。

三种碘吸附器各有优缺点,I、II型碘吸附器失效时,需整体进行更换,产生了金属废物,而III型碘吸附器仅需要更换内部装填的活性炭,避免了金属废物的产生,但在系统的调试试验时存在着装卸料机无法正常使用,活性炭废物产生料较多等问题。在定期试验时由于时间的要求,往往装卸料机难以满足更换的试验要求,同时在更换活性炭时不可避免的会产生放射性活性炭粉尘,存在人员吸入等风险。

近年来,I、II型碘吸附器也进行了一些改进,如国内已经研发成功了碘吸附器壳体可复用的折叠式碘吸附器^[7],壳体能反复多次使用,可有效减少固体废物的量。

1.2 其他类型的碘吸附器

除上述类型的碘吸附器外,在核设施中使用其他类型的碘吸附器,根据吸附炭床的结构布置形式将它们分为“V”型、“U”型和“圆筒”型碘吸附器,它们通常由一个或若干个同等厚度的标准吸附炭床组合而成。由于它们的外形尺寸是不固定的,可根据风量的不同设计碘吸附器的尺寸和吸附床的数量。

2 碘吸附器的设计

碘吸附器一般有一个或多个吸附床组成,其内部炭床结构和碘吸附器的性能区别较大。针对不同核设施通风系统的特点或业主要求,设计碘吸附器时,需重点考虑滞留时间、阻力、气流均匀性和效率等因素,以确保所设计碘吸附器的性能满足系统要求。

2.1 滞留时间

滞留时间是碘吸附器的重要设计参数,是指气体在指定流量下存留在吸附床内并与吸附介质保持接触的理论时间,可按下列公式计算:

$$T = 3.6 \times 10^{-3} \frac{t(A-B)}{Q}$$

式中:

T-滞留时间,单位为(s);

t-吸附床厚度,单位为厘米(cm);

A-入口面或出口面所有穿孔网板总面积,取二者之中的小值,单位为平方厘米(cm^2);

B-所有穿孔网板盲边总面积,单位为立方米每小时(m^3/h);

Q-碘吸附器的总气体体积流量,单位为立方米每小时(m^3/h)。

一般情况下,碘吸附器的滞留时间应不小于0.10s/inc。而目前碘吸附器的厚度一般为2inc或4inc,因此碘吸附器的滞留时间应不小于0.2s或0.4s。

2.2 阻力

气流阻力是影响通风系统能耗的主要因素,过大的阻力也可能使得系统风量难以达到设计风量,因此应尽量降低碘吸附器的阻力。一般对炭床厚度2inc的碘吸附器,其阻力 $\leq 360\text{Pa}$,而4inc的碘吸附器,阻力 $\leq 600\text{Pa}$ 。

2.3 气流均匀性

气流均布是指流经碘吸附器炭床各部分的流速是均匀的,其偏差应 $\leq 20\%$ 的平均流速。如果碘吸附器的气流均匀性不满足要求,某些气流过快的炭床部分就会过快失效,尤其是采用氟利昂法进行现场试验的系统,将会使得碘吸附器的活性炭样品的实验室除碘性能结果不具有代表性,无法保证系统的安全运行。

2.4 出厂效率

效率指碘吸附器对放射性去除能力,是碘吸附器的重要指标。目前碘吸附器的效率常用净化系数(放射性甲基碘法,参见标准EJ/T1183)活泄漏率(氟利昂法,测试方法见标准EJ/T791-2014)表示。碘吸附器的出厂要求一般为净化系数 ≥ 1000 ,或泄漏率 $\leq 0.01\%$ (需保证装填的浸渍活性炭除碘效率大于97%)。或者按业主要求的效率出厂。

3 结语

碘吸附器在国内核设施通风系统中广泛使用,常用碘吸附器的结构和类型有多种形式,各有自身的特点,应根据通风系统的特点选用合适的碘吸附器。同时,在设计碘吸附器时需考虑滞留时间、阻力、气流均匀性和出厂效率满足要求。

参考文献:

- [1] 朱昌寿.放射性碘的危害评价[J].国外医学:放射医学核医学分册,1995,19(4):172-176.
- [2] 王幽雁,赵磊.碘吸附器在核电厂通风系统中的应用[J].暖通空调,2017,47(02):5-8.
- [3] 刘群,高小梅,张慧林,吴彦伟,李步雷,王瑞云,贾明,吴涛.XZ-1200型折叠式碘吸附器的研制[J].辐射防护,1998(03):39-45.
- [4] 国家能源局.核空气和气体处理规范通风、空调与空气净化 第12部分 碘吸附器(II型),NB/T 20039.12-2011.
- [5] 明艳,万忠义.III型碘吸附器在ACP1000核电厂通风系统中的应用[J].集成电路应用,2019,36(04):61-62.
- [6] 侯建荣,史英霞,丘丹圭等.一种可换炭的除碘过滤装置:中国,CN104637560A[P].2015.

作者简介:

吴波(1989-),男,汉族,江苏常州人,中国辐射防护研究院,助理研究员,工学学士,研究方向:放射性气体净化技术。