

中华人民共和国国家标准

轻水堆核电厂放射性 废气处理系统技术规定

GB 9136—88

The technical rules about gaseous
radioactive waste processing system
for light water reactor plants

1 主题内容与适用范围

本标准规定了轻水堆核电厂放射性废气处理系统(以下简称本系统)设计、建造和运行的最低技术要求。

本标准适用于轻水堆核电厂放射性废气处理系统的设计、建造和运行,对相似反应堆的放射性废气处理系统也可参照使用。

本标准中沸水堆放射性废气处理系统的起点是主冷凝器除气设备、主冷凝器机械真空泵和汽轮机蒸汽压盖密封排气装置的排放点;压水堆放射性废气处理系统的起点是为除去反应堆冷却剂中放射性气体而设置的有关部件、设备和系统的排放点,以及设备排气集气系统的排放点。这些系统的终点均为电厂排风系统的气流入口。

2 引用标准

GB 6249 核电厂环境辐射防护规定

HAF 0200 核电厂设计安全规定

3 术语

3.1 覆盖气体

在一定压力下,充入液体贮槽空间,以防止漏入空气用的惰性气体。

3.2 低温吸附系统

于低温下,利用一种吸附剂分离(吸附)并滞留衰变放射性气体的处理装置。

3.3 低温蒸馏装置

利用低温蒸馏法从废气中分离稀有气体的设备。

3.4 高效微粒空气过滤器(简称高效过滤器)

一种可处置的干式过滤器,对 $0.3\ \mu\text{m}$ 粒径的微粒,其最低过滤效率为 99.97%(用磷苯二甲酯-DOP 法作效率试验)。

3.5 复合器

一种通过催化加热方法,进行氢和氧的可控催化复合反应的设备。

3.6 必须、应该和可以

“必须”表示必要条件,是强制性的要求;“应该”表示推荐或建议;“可以”表示允许,既不是要求,也不是建议。放射性废气处理系统必须按照本标准规定的要求进行设计、建造和运行,而不一定采用其中

国家环境保护局 1988-05-25 批准

1988-09-01 实施

的建议。

4 目标

本标准规定的一系列要求,是为了使放射性废气处理系统达到本章中的安全目标、设计目标和运行目标。

4.1 安全目标

4.1.1 本系统的设计、建造和运行,在向环境释放放射性物质时,核电厂职业工作人员和公众所受到的辐射照射必须保持在可合理达到尽量低的水平。

4.1.2 应该确保在所有运行工况下,核电厂职业工作人员和公众所接受的剂量当量不超过国家规定的相应限值。

4.2 设计目标和运行目标

4.2.1 本系统应能安全地处理、贮存和排放核电厂的各种放射性废气。

4.2.2 经本系统处理后的排出气中的放射性物质浓度及年排放量必须不超过主管部门规定的管理目标值。

5 放射性废气的来源

放射性废气的来源和数量与动力堆堆型及其运行状况有关。

无论是堆燃料元件破损或是堆芯区活化产生的放射性气体都要部分地溶解在堆回路冷却水中,并随冷却水或蒸汽的泄漏而排出。在这些气体中,都可能含有惰性气体(Kr和Xe的同位素)、活化气体(^{13}N 、 ^{16}N 、 ^{17}N 、 ^{19}O 、 ^{18}F 、 ^{37}Ar 、 ^{41}Ar 和 ^{14}C)、放射性碘(单质、有机和无机碘)、微粒和氟。氟的释放量与水蒸气排出量有关。由于放射性废气系统中排出的水蒸气量很少,所以随系统释放的氟量对环境的影响也很小。

表1和表3列出放射性气体在处理前的预期量和设计基准量,可用于估算放射性气体的年排放量,放射性废气处理系统的事故释放量,确定屏蔽要求以及制定设备(或部件)的环境要求。

表1 压水堆放射性废气处理前的碘- 131 、惰性气的预期量和设计基准量 Bq/a(Ci/a)

废气来源	放射性活度 ¹⁾			
	惰性气体		碘- 131	
	预期量	设计基准量 ²⁾	预期量	设计基准量
废气处理系统 ²⁾				
不带化容控制系统除气的贮存系统	$1.41 \times 10^{15} (3.80 \times 10^4)$			
用于容积控制箱除气的吸附或减容系统	$9.25 \times 10^{16} (2.50 \times 10^5)$	—	—	—
用于化容控制系统除气的吸附或减容系统	$1.18 \times 10^{16} (3.20 \times 10^3)$			

续表 1

Bq/a(Ci/a)

废气来源	放射性活度 ¹⁾			
	惰性气体		碘-131	
	预期量	设计基准量 ⁵⁾	预期量	设计基准量
空气喷射器排气 ³⁾ 不带化容控制系统除气的贮存系统	9.62×10 ¹² (260)	—	1.00×10 ⁹ (0.027)	9.62×10 ¹⁰ (2.6)
用于容积控制箱除气的吸附或减容系统	2.07×10 ¹² (56)			
用于化容控制系统除气的吸附或减容系统	1.07×10 ¹² (29)			
排污扩容器排气 ⁴⁾ 不进行凝结水净化的全蒸发处理的U型管蒸汽发生器	—	—	6.66×10 ⁹ (0.18)	6.29×10 ¹¹ (17)
进行凝结水净化的全蒸发处理的U型管蒸汽发生器	—	—	3.15×10 ⁹ (0.085)	3.00×10 ¹¹ (8.1)

注：1) 所有数据均以单堆功率 3 400 MW(热)为依据。

2) 预期活度是依据美国核学会标准 ANS-18.1/N237《轻水堆正常运行情况下的放射性源项》计算的。

3) 一回路至二回路的冷却剂泄漏率的预期值为 45 kg/d, 设计基准值为 550 kg/d。

4) 不适用于一次通过型蒸汽发生器。

5) 惰性气体设计基准量是按照 1%燃料元件破损率和额定反应堆热功率为依据的。

表 2 压水堆放射性废气处理系统设计基准进气量

废气来源	组成	数 量		
		正常范围		年排量
		m ³ /h	L/s	m ³ /a
容积控制箱 连续吹扫除气 间隙吹扫除气	H ₂ ¹⁾	1.19~2.38 ²⁾	0.3~0.6	8 500 ³⁾
	H ₂ 、N ₂ 或混合气	0~6.80	0~2	85
脱气塔(除气器) 翻回收脱气塔(间隙排气) 化容控制系统下泄除气器(连续排气)	H ₂	0.43~2.28	0.11~0.6	100
	H ₂	0.51~1.36	0.13~0.36	4 200

续表 2

废气来源	组成	数 量		
		正常范围		年排量
		m ³ /h	L/s	m ³ /a
反应堆冷却剂疏水箱	H ₂ 、N ₂ 或混合气	0~8.50	0~2	6
随控制液位间断排气				
随变液位排气	H ₂ 、N ₂ 或混合气	0~8.50	0~2	340
稳压器卸压箱 ⁴⁾	N ₂	0~68	0~20	60
燃料检验 ⁴⁾	N ₂	6.80	2	

注：1) 在停堆除气期间，改为 100% 氮气。

2) 由流入复合器的最大气量 20 L/s(压缩机能力)和复合器排气中的最大氢浓度 4% 决定。

3) 根据一次启动和停堆操作。

4) 对于某些核电厂，没有此项。

表 3 沸水堆放射性废气处理前的碘⁻¹³¹、惰性气的预期量和设计基准量 Bq/a(Ci/a)

废 气 来 源	放射性活度 ¹⁾			
	惰性气体 ²⁾		碘 ⁻¹³¹	
	预期量 ³⁾	设计基准量	预期量	设计基准量
主冷凝器排气	5.55×10 ¹⁶ (1.5×10 ⁶)	不采用 ⁴⁾	1.85×10 ¹¹ (5.0)	9.25×10 ¹¹ (25)
压盖密封排气	5.55×10 ¹³ (1.5×10 ³)	—	7.40×10 ⁸ (0.02)	—
用一回路蒸汽时				
用洁净蒸汽时	—	—	—	—
机械真空泵排气	Xe ¹³³ 1.30×10 ¹³ (350)	—	1.11×10 ⁹ (0.03)	—

注：1) 以单堆功率 3 400 MW(热)为依据。

2) 放射性惰性气体同位素的混合物。

3) 预期量是经 30 min 衰变后的。

4) 采用 1.11×10¹⁶ Bq/s(3.0×10⁵ μCi/s)(连续 30 d)作为设计基准量。

表 4 沸水堆放射性废气处理系统设计基准进气量

废气来源	组成	正常流量	
		m ³ /h	L/s
主冷凝器排气系统	H ₂ +O ₂	0.10/MW(热)	0.03 MW(热)
	漏入空气	51 ¹⁾	14
	初始空气	425 ²⁾	120
	水蒸气	系统设计条件下的饱和值	
压盖密封排气系统	蒸汽和空气	按汽轮机缝隙的两倍条件	
机械真空泵排气系统	空气 空气+H ₂ +O ₂	流量按泵额定能力，总量按冷凝器容积，正常运行每年 40 h 考虑	
初始抽真空排气时			
运行期间再启动或使用			

注：1) 空气漏入量，按每套冷凝器为 17 m³/h 考虑。

2) 按空气喷射器技术规定考虑。

5.1 压水堆放射性废气的来源

压水堆放射性废气处理系统的废气来源有几个,其中有的是间断的,有的是连续的。表1和表2示出各废气源的设计基准值和预期值。

5.1.1 容积控制箱

反应堆冷却剂系统中的氢浓度是由容积控制箱中添加氢气来控制的。反应堆冷却剂中有放射性气体,容积控制箱的气体空间也会积存不同浓度的放射性气体。这些气体可以被连续吹扫或定期排至废气处理系统。

5.1.2 反应堆冷却剂疏水箱

反应堆冷却剂疏水箱用于收集一回路冷却剂受控引漏系统的流出液。气体在反应堆冷却剂疏水箱中不断积累,并由排气口排至放射性废气处理系统。该气源中的放射性浓度变化很大。

5.1.3 脱气塔

脱气塔(或除气器)用于除去液体中的溶解气,并将其排至放射性废气处理系统。气源的流量和放射性浓度,与系统设计有关。

5.1.4 覆盖气

覆盖气用于充入贮槽(例如容积控制箱、疏水箱等)上部空间以防止漏入空气,限制水中的氧浓度或防止其与氢生成爆炸气体。

5.1.5 稳压器卸压箱

由稳压器卸压阀排出的放射性气体经稳压器卸压箱排至废气处理系统。

5.1.6 其他

燃料检验等排气,都应送至放射性废气处理系统。

5.1.7 空气喷射器排气

主冷凝器空气喷射器排气是由空气和水蒸气组成的。蒸汽发生器管子泄漏时,水蒸气可能含有放射性物质。本气源一般不属放射性废气处理系统处理。

5.1.8 蒸汽发生器排污扩容器排气

核电厂运行期间,由蒸汽发生器排污扩容器排出的闪蒸蒸汽,可能含有放射性气体、放射性碘和呈微粒状的放射性物质,通常要返回二回路系统。

5.1.9 设备排气集气系统

贮有放射性液体的设备的排气,可以用管道输送到一个单独的集气系统。这种排气都可能含有放射性惰性气、放射性核素以及放射性微粒。

5.2 沸水堆放射性废气来源

表3和表4示出各个气源的设计基准值和预期值。

5.2.1 主冷凝器排气

主冷凝器排气的组成为堆水辐解产生的氢和氧、漏入主凝器的空气、水蒸气、放射性气体裂变产物和活化产物。

5.2.2 压盖密封排气

压盖密封排气包括吸入汽轮机密封的空气和密封蒸汽中的不凝气。

如果采用主蒸汽作为密封,则密封排气会带有惰性气、气体活化产物以及放射性碘和微粒。如果采用洁净蒸汽作为密封,则密封排气中的放射性量可以忽略不计。

压盖密封系统中的蒸汽和空气的进入量可按汽轮机说明书给出的密封间隙的两倍空气内漏量来考虑。如果采用主蒸汽作为密封蒸汽,则密封蒸汽量约为主蒸汽流的0.1%,因此,设计基准条件下放射性物质的进料量亦为主蒸汽的0.1%。压盖密封排气的放射性物料量示于表2中。

如果采用洁净蒸汽作为密封,蒸汽用量如前述,但放射性物质的含量仅为蒸汽冷凝液中所含的氡量。冷凝液中的其他放射性物质可以忽略。

5.2.3 机械真空泵系统排气

用于主冷凝器排空的机械真空泵也会使少量放射性物质排入环境,排出的放射性核素组成及数量与停堆后的衰变时间有关。

空气的排出量及排气率取决于冷凝器容积、机械真空泵能力以及与时间、温度有关的真空度,设计基准值示于表 3 和表 4 中。

6 系统要求

6.1 压水堆废气处理系统工艺设计

压水堆废气来源及数量见表 1 和表 2,通常,这些废气是合并处理的。达到“运行目标”的工艺过程可以有多种,图 1~图 4 示出四个典型的流程,其中三个采用箱式贮存法,一个采用活性炭吸附法。图 2 和图 3 中使用复合器,它可使废气中氢与外加氧化合成水,这样既可减少废气量(或衰变箱的贮存容积),也可增加贮存衰变时间。

反应堆冷却剂的除气方法有两种:一种是利用氢气连续吹扫,除去容积控制箱中的裂变产物气;另一种是利用安装在冷却剂净化回路上的脱气塔连续地将裂变气除去。

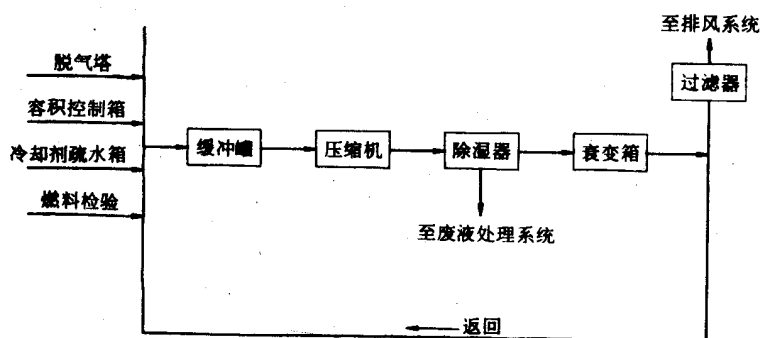


图 1 压水堆废气贮存处理系统

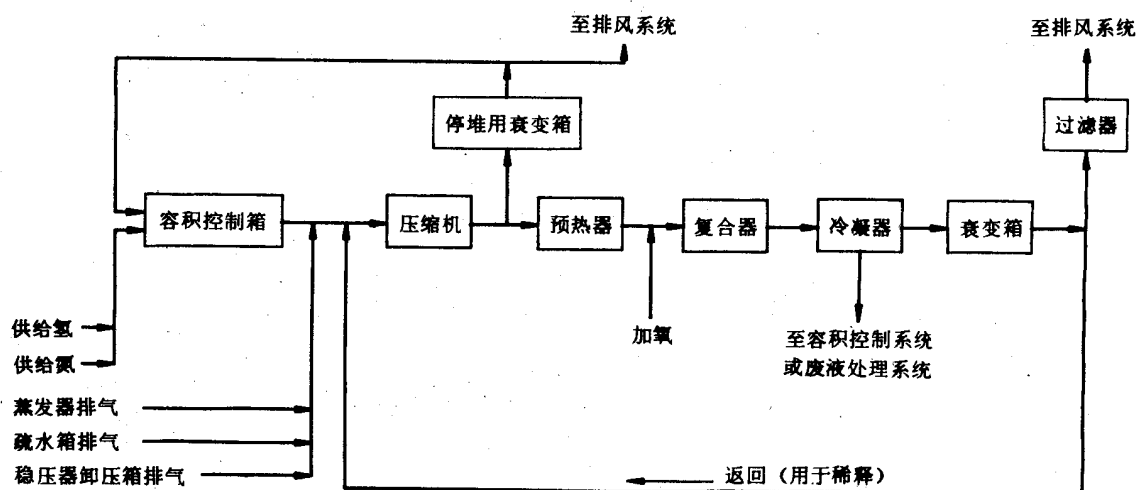


图 2 用于容积控制箱除气的压水堆废气减容-贮存处理系统

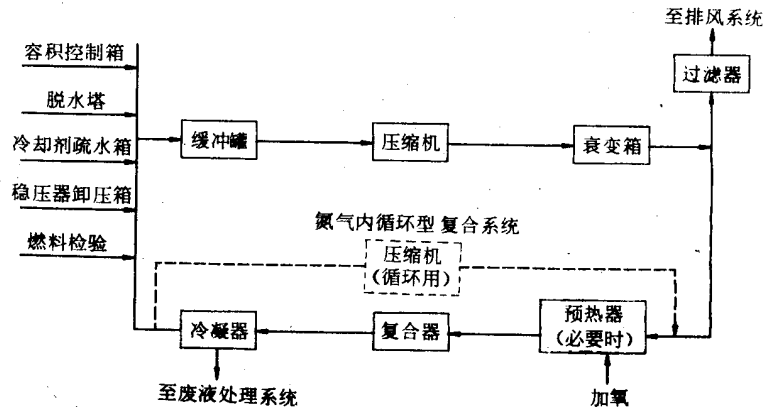


图3 用于化容控制系统除气的压水堆废气减容-贮存处理系统

6.1.1 加压贮存处理系统

图1是一个未设复合器的贮存箱式处理放射性废气的示意流程。贮存系统先将含有氢和氮的放射性废气收集在缓冲罐内，然后，将它压缩贮存在衰变箱内。废气经一段时间衰变并取样分析后，返回循环或经监测排放。

6.1.1.1 工艺过程要求

加压贮存处理系统必须具有下列工艺特点：

- 能将废气由一个贮存箱转移到另一个贮存箱。
- 能检测潜在的氢氧爆炸性混合物的形成和积累，并能发生报警信号。
- 能对贮存箱内气体取样。
- 能用一种惰性气体吹扫每个贮存箱。
- 能在排放前对废气进行分析，及在排放期间监测。

6.1.1.2 可采用的工艺设计方法

设计加压贮存处理系统可以采取如下措施：

- 放射性废气在排放前应经高效过滤器过滤。
- 吹扫气在通过一个闭合管路系统后送往监测排放口。
- 系统应至少备有三个气体衰变箱。
- 在保证不引起燃烧的条件下排放气体。

6.1.2 复合减容系统

利用一台复合器使废气中的氢与外加氧反应的工艺过程有数种。图2和图3就是其中的两种。

6.1.2.1 用于容积控制箱除气的减容-贮存处理系统

图2示出供容积控制箱连续吹扫操作的、带有复合器装置的示意流程。在堆正常运行期间，用氢吹扫，将容积控制箱内的废气带入密闭回路的废气处理系统。在停堆期间，继续用氢吹扫，以降低一回路冷却剂中的放射性浓度。但在停堆前，则用氮吹扫，以排除冷却剂中的氢气。

本流程系属氮气循环的闭合回路，它可以保证氢与加入氧的混合浓度稀释至低于氢氧燃爆范围，也可以通过氢-氧复合法除氢，以减少爆炸危险和废气体积，最后，进行废气贮存衰变以降低其放射性。

6.1.2.2 用于化容控制系统除气的减容-贮存处理系统

图3示出一个间歇操作的用于反应堆化容控制系统除气的复合减容处理流程。在衰变箱逐个注满后，箱内气体依次送往氮气内循环的复合系统，排出气返回缓冲罐。

为了减少气体贮存体积和爆炸危险，本系统设置压缩机和复合器。操作时，首先分析衰变箱内气体中的氢和氧含量，然后将废气送往复合器加以处理。进入复合器的气体要用内循环氮气稀释，使氢处于低浓度。混合气在预热和按化学计量加入氧后，借助催化剂床进行氢氧复合。通过冷凝器分离水蒸气后，

剩余气(主要为氮和惰性气)返回缓冲罐。这一操作一直进行到供气衰变箱中的压力降至预定低值时为止。复合器的排出气注入另一个气体衰变箱。

复合器可设置在衰变箱之前或后。另一台压缩机不用于废气压缩,只供循环氮气和供给稀释气用。衰变箱内气体在取样分析后,在有利气象条件下监测排放。

6.1.2.3 工艺过程要求

复合减容处理系统必须具有下列工艺特点:

- a. 能充分处理在停堆、启动及正常运行期间排出的废气。
- b. 在所有运行工况下,整个系统中的氢和氧浓度都应保持在燃爆范围之外。
- c. 保证不会在催化剂床内有凝结水产生。
- d. 能使氢和氧复合以减少燃爆危险性。
- e. 可由多个贮存箱提供衰变所需的贮存量。
- f. 能使废气由一个衰变箱转移到另一个衰变箱。
- g. 可使衰变箱内的气体在取样后经监测排放口排放。
- h. 能用一种惰性气吹扫整个系统。
- i. 对未设计成抗爆的贮存系统,必须能探测其中的潜在爆炸性混合气的形成,并能发出报警信号。
- j. 放射性废气在向环境排放之前,须经高效过滤器过滤。
- k. 废气在排放之前能受到监测。

6.1.2.4 可采用的工艺设计方法

设计复合减容系统可采用如下措施:

- a. 借助合适的稀释剂控制氧浓度(或除氢),以保持氢的低浓度。
- b. 用具有抗爆能力的可靠设备进行氢氧催化复合反应。
- c. 借助冷却和分离水分来控制气体的湿度。
- d. 用蒸汽加热法预热。若在系统的后段加氧,而电气故障引起着火的可能性又很小时,也可采用电加热法预热。
- e. 吹扫气通过闭合的管路系统被送往监测排放口排放。
- f. 在不引起燃烧的条件下排放气体。

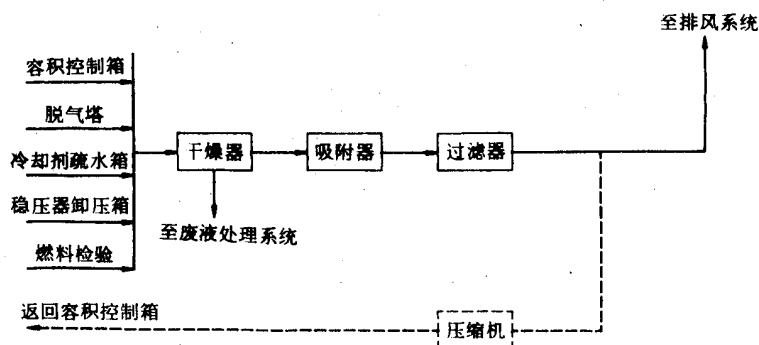


图4 压水堆废气吸附处理系统

6.1.3 吸附处理系统

图4示出一个吸附处理流程,它可以处理化容控制系统的脱气塔排气、容积控制箱吹扫气和无氧槽排气。这些含氢为主的废气,首先经除湿,再经活性炭吸附床滞留衰变,然后向环境排放或返回循环使用。如废气返回容积控制箱,则还须将其压缩。

6.1.3.1 工艺过程要求

吸附处理系统必须具有下列工艺特点：

- a. 能除去废气中的水分,以达到吸附剂的湿度要求。
- b. 炭吸附床能提供符合第4章“目标”的足够的滞留时间。
- c. 对未设计成抗爆的吸附系统必须能探测其中的潜在爆炸性混合气的形成和积累,并能发出报警信号。
- d. 能用一种惰性气吹扫整个系统。

6.1.3.2 可采用的工艺设计方法

- a. 利用冷却、干燥剂干燥或低温析出等方法控制废气湿度。
- b. 活性炭吸附可作为滞留衰变的主要方法。
- c. 采用高效过滤器过滤放射性微粒。
- d. 通过闭合管路系统将吹扫气送往监测排放口排放。
- e. 在正常运行期间,干燥器再生时不向大气排气。

6.1.3.3 活性炭吸附床滞留时间

炭吸附滞留时间必须按第4章“目标”要求的去污系数确定。吸附过程关系见下式：

$$T = kdM/F$$

式中： T ——平均滞留时间,s；

kd ——动态吸附系数, cm^3/g ；

M ——吸附剂重量,g；

F ——气体流量, cm^3/s 。

上述参数均为运行条件值。氮和氩的动态吸附系数值与活性炭类型、相对湿度、温度、压力以及其他影响因素有关,所以在设计吸附床时必须选定所用炭的类型、数量及系统运行条件,以达到设计基准要求的滞留时间。

6.2 沸水堆废气处理系统工艺设计

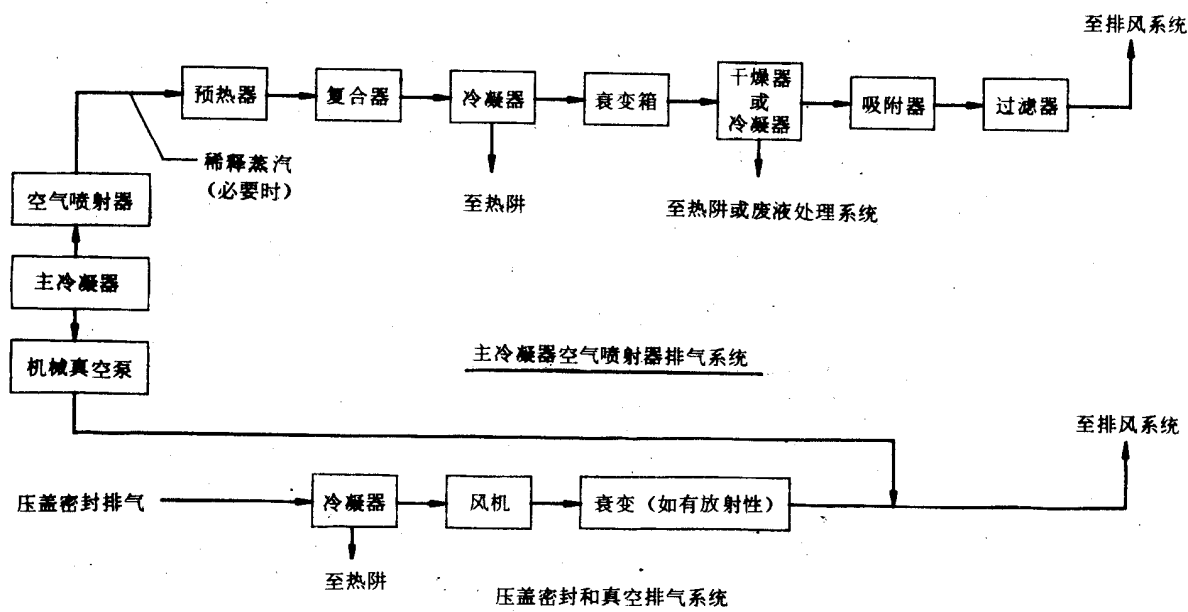


图5 沸水堆废气处理系统

为达到第4章“目标”的工艺流程有多种。图5示出一个由主冷凝器排气系统、压盖密封排气系统和机械真空泵排气系统三部分组成的沸水堆废气处理系统。

6.2.1 主冷凝器排气系统

主冷凝器排气系统处理主冷凝器的排出气,用以降低由燃料元件泄漏的气体裂变产物的放射性,同时也衰变掉一些短寿命的放射性气体。活性炭吸附床是一种常用的处理装置,它可以在室温到 -18°C (或以下)的范围内运行。

6.2.1.1 工艺过程的要求

主冷凝器排气系统必须具有下列工艺特点:

- 在所有运行工况下,系统各处的氢浓度都必须保持在4%(体积)以下。
- 保证不会在催化剂床内有水蒸气凝结水产生。
- 能使氢和氧复合以减少燃爆危险性。
- 在正常运行和瞬态工况(即恢复失去或降低的主冷凝器真空度)期间,借助干燥法或冷却法(或两者结合)除去水蒸气,以符合吸附剂所需的运行条件和达到设计选定的吸附系数(见6.1.3.3)。
- 滞留衰变放射性气体。
- 吸附废气经过滤除去放射性微粒。
- 为备用复合器设有干燥空气吹扫的设施。
- 在任何时间(包括零功率时)加入复合器的蒸汽都是过热的,因此,要求稀释蒸汽和空气喷射器排气始终也是过热的。

6.2.1.2 可采用的工艺设计方法

设计主冷凝器排气系统可采取如下措施:

- 采用合适的稀释气或除氢法,保持氢的低浓度。
- 用蒸汽加热法预热。若用电加热法预热时,则设计电加热器时必须考虑无潜在的着火源。
- 凝结水被送至主冷凝器热阱或放射性废液处理系统加以处理。
- 采用延迟管线或中间活性炭床进行中间滞留,以衰变短寿命的氦和氙的同位素。
- 对炭床排出的气体,可采用高效过滤器或中间炭床过滤,以除去短寿命惰性气衰变产生的子体微粒。
- 炭床排气中的湿度可以采用冷却、干燥剂干燥(或两者结合)的方法加以控制。
- 如果空气喷射器喷射夹带出大量小水滴(当复合器的入口操作温度低于 $170\sim 182^{\circ}\text{C}$ 时),则应在喷射器与预热器之间设置汽水分离器。

6.2.2 压盖密封排气系统

如果采用一回路蒸汽作为密封蒸汽,则压盖密封排气的不凝气中就可能含有微量的放射性。排气管必须能使放射性气体滞留衰变到第4章“目标”要求。如果采用洁净蒸汽作为密封蒸汽,则无须进行滞留衰变。

6.2.3 机械真空泵排气系统

由于机械真空泵运行的次数较少,排气的活性浓度和排气量也很低,所以一般不要求处理,但是排气必须进行监测后排放。如果机械真空泵排气通过压盖密封排气管排放,则排气管的设计必须使压盖密封的排气和机械真空泵的排气畅通,两者不会相互影响。

本系统的设计,要考虑当反应堆功率高到能使真空泵处产生可爆性混合气时,必须保证及时停泵。泵还须与主蒸汽管线上辐射监测器连锁,一旦发生高辐射报警时可以及时停止运行。

6.3 系统设计和建造

6.3.1 抗震设计

贮存衰变放射性废气设备的支承结构和安装这种设备的厂房结构,都必须设计成在系统运行期间能够承受运行基准地震的影响。对于通常运行在大于 0.15 MPa (1.5 绝对大气压)下的系统,所有隔离

阀、设备、连接管道,以及位于前、后隔离阀之间的各个部件(例如压水堆系统中的废气贮存箱)都要符合运行基准地震的设计要求。对于基本上在常压下运行并须滞留气体在炭吸附床上的系统,只有某些设备支承构件和安装某些设备(例如炭滞留床)的场所才需要按照抗震设计的要求设计。

6.3.2 材料

工艺系统各受压和低温部件的材料必须按照《钢制石油化工压力容器设计规定》¹⁾选择。不得采用可锻熟铁或铸铁。受压部件必须符合有关制造、检验、维修和出厂合格证等所有必须遵循的要求。在0℃以下使用的钢材,必须进行低温冲击韧性试验。

注: 1) 由石油化工总公司、化学工业部、机械工业部联合发布。化学工业出版社 1985 年出版。

6.3.3 焊接

放射性废气处理系统的受压部件和管道都必须尽量采用焊接结构,所有焊接都必须按照 JB 741《钢制焊接压力容器技术条件》和 GBJ 235《工业管道工程施工及验收规范》要求进行。焊接人员必须取得合格证后方可进行焊接。所有工艺管道的连接均须采用对接焊和套接焊,但下列情况除外:

- a. 采用法兰连接和快速拆卸接头比焊接更利于维修和运行时。
- b. 仪表管采用螺纹连接比焊接更利于维修时。

对所有放射性设备与管道的焊缝,根据其重要性和所在位置,应提出透视检查的不同要求。

6.3.4 取样

在放射性废气排放期间,必须定时取样和分析。在系统的某些部位,为了确定某个设备(或部件)的性能,还应能对工艺过程中的气体进行取样。

根据待取样的气体的放射性浓度和成分(微粒和卤素),取样时可采用过滤或吸附取样盒(或者两者结合)。分析后的样品气应返回放射性废气系统,但吸附尾气可以直接排至监测排风系统。

加压贮存系统高放射性部分的定时取样连接件必须全是焊接的,并须配备双阀门另加外罩,以减少泄漏的可能性。每个取样阀必须与邻近设备屏蔽隔开。

6.3.5 防爆设计

系统中如可能存在爆炸性的氢-氧混合气,则应设置具有自动控制功能的双重²⁾气体分析仪,既能探测爆炸混合气的形成和积累,也能就地或在主控室报警,或者将整个处理系统设计成抗爆的。

减少爆炸可能性的要点:

- a. 保持混合气为非爆炸性的。
- b. 减少潜在的着火源。
- c. 系统和设备在检修前,一定要吹扫干净,以保证混合气为非爆炸性的。
- d. 通过行政管理和操作规程的执行来保证上述 a、b、c 三点的实施。

注: 1) “双重”系指连续操作的两个独立的气体分析仪,提供两种独立测量,以确定氢和(或)氧达到可能爆炸的浓度。

6.3.6 仪表校准及试验

放射性废气处理系统必须设计成能对仪表进行定期校准,以评价仪表的所有主动部件的可运行性和功能特性。

6.4 质量保证

6.4.1 设计和订购

a. 设计文件和订购文件的管理

设计文件和订购文件必须由同一个设计部门中的非起草人员审校。对这些文件的修改也应审核。

b. 订购材料、设备和供货的管理

必须规定一些措施,以保证设备、材料的供应部门和制造部门按照订购文件中所规定的质量要求供货。这一点可以通过对供应产品的测试或鉴定来做到。

c. 装卸、贮存和运输的管理

必须对设备和材料的装卸、贮存、运输和保管加以说明,以防损伤、变质或降低清洁度。

6.4.2 制造

a. 检查

必须由检查执行部门制定并执行一项质量检查工作大纲,以评定是否符合设计文件(说明书、规程和图纸)中规定的全部质量要求。这个工作大纲必须包括各部件在装配前后以及在其修整、钝化之后的外观检查。

b. 检验、试验和状态的显示

必须制定措施,对已经满意地通过检验与试验要求的项目予以鉴定。

c. 对不合格项目的鉴定与补救措施

必须制定措施,按订购文件或现行规范要求审核项目,并对不合格项目规定出相应的补救措施。

7 设备要求

7.1 加压贮存箱(仅用于压水堆)

7.1.1 安全阀排气

加压贮存箱安全阀的排出气必须用管道送至厂房排风系统或送至能够容纳所排气量并有监测的其他系统。

7.1.2 吹扫系统

加压贮存箱的设计必须保证能用氮气吹扫或清扫死角,以便除去残留气中的放射性或可燃性气体。吹扫气和排气应该用管道送至邻近厂房的通风排气系统或有监测的其他排气口。如果吹扫气和排气返回放射性废气处理系统,则在连接管上应该安装双阀门,以减少泄漏。

7.1.3 排水

加压贮存箱的设计必须保证能排水。排水管应位于箱底部,以便将水排尽。

7.2 活性炭吸附器

吸附床的安装应使气流垂直向上,其设计必须采用法兰连接。

床体容器的设计应使活性炭的装卸尽可能简便;通过活性炭的气流表面线速度大于 0.1 cm/s,但不宜太大,以免产生流化现象。

7.3 氢复合器

7.3.1 催化剂的更换

复合器设计必须使操作人员能够在受照射最少的情況下移出和更换催化剂(例如采用气动输送法移出)。

7.3.2 催化剂粉末和颗粒

必须采取措施,防止部分催化剂粉末和颗粒转移到复合系统内可能存在爆炸性混合气的区域(例如沸水堆空气稀释循环系统)。

7.3.3 最小稀释空气量

对于沸水堆排气系统复合器,为了保证在漏入少量空气时能使废气流得到充分稀释,必须提供足够的稀释空气量。

7.3.4 催化剂支承结构

催化剂支承结构必须能承受湿催化剂的重量荷载和启动气流瞬变现象引起的压降。

7.4 压缩机

7.4.1 密封

压缩机必须采用优质、可靠的密封垫,以减少泄漏,并在不受油污染的条件下压缩气体。如果使用膜式压缩机,则应能检漏。

7.5 高效过滤器

7.5.1 过滤芯的移出

过滤器框架和内部的结构,必须便于过滤器芯移出和更换。过滤器框架应该能使芯子定位在框架内的导向机构上。过滤器芯应该直立安装,并使气流向上。过滤器应该设计得能从上部移出芯子。

框架必须设计成能排尽水。相关管道的布置必须便于过滤器的解体,以便移出滤芯。

7.5.2 过滤器芯子

过滤器的过滤介质必须符合高效耐火的要求。

7.5.3 过滤器试验

过滤器必须备有一些连接件,以供检验过滤单元密封性和进行效率试验。对已安装好的过滤系统必须进行现场检漏试验,但对活性炭过滤器和催化复合器之前的前置过滤器不必进行效率试验。

7.6 气体干燥器(吸附型)

7.6.1 真空设计

干燥器的外部压力边界应能承受高真空。

7.6.2 干燥剂再生

再生循环必须是一个闭合回路,再生气排入邻近装置(例如沸水堆冷凝器)或通过监测排放系统排放。

7.6.3 吸附介质的移出

干燥器必须设计成能使操作人员在移出吸附介质(可以采用气动输送法)时不会受到强放射性的照射。

7.6.4 对再生用风机的要求

每台风机必须采用可靠的高质量密封垫,以减少泄漏和保持在不受油污染的情况下输送气体。封装在密封壳内的风机必须有较高的可靠性,为使马达充分散热还须设有冷却措施。

7.7 热交换器

7.7.1 列管与管板的连接

热交换器的泄漏将会导致放射性物质进入环境,因此,列管与管板的连接必须是焊接密封的。

7.7.2 堵管

为了使操作人员移开人孔盖接近管板,在设计热交换器壳体时,必须考虑到将人孔盖移开后能堵住任何一根出现泄漏的列管。

7.7.3 排气和排水

必须保证,在每个热交换器启动和维修时能排尽管侧和壳侧的水和气。在每个蒸汽加热的预热器中,必须保证在运行期间不会有不凝性气体积聚。

7.8 阀门

为了减少泄漏,必须采用波纹管阀、隔膜阀或具有相同密封性能的阀门。如果采用填料阀,它必须具备有双层阀杆填料密封的引漏管。引漏管必须与一个封闭的收集系统相连或配备一个高于系统压力的外部无油洁净气源。

8 仪表和控制装置

仪表和控制装置系指所有的敏感元件、操作设备与阀门的手动开关、设备与阀门运行状态指示灯、工艺测试仪表以及保证安全和可靠运行的所有自控设备。仪表必须能显示或记录、监测或控制工艺系统及设备所需的各参数。仪表还必须能对不利于系统排放或系统(或设备)运行的反常现象或不良状态(按表5和表6)予以显示或报警、或既显示又报警。仪表及控制装置应该集中布置,以便于对系统进行管理和观察。为了减少潜在的着火源(即系统外的可燃性气体),在可能因泄漏产生爆炸条件的区域或工艺系统中的所有仪表、电气控制设备应该是防爆的。接触工艺气流的仪表,必须设计成使可能存在爆炸性混合气的可能性减至最小。

气体分析仪或相应的其他分析仪器必须具有自动报警和控制的功能,以监测系统的非蒸汽稀释段中可能存在的爆炸性混合气。

在所有经常操作的阀门和设备上,必须安装带有状态指示灯的自控-手控开关。

8.1 压水堆仪表和控制装置

放射性废气处理系统必须备有足够的仪表和控制装置,以便在Ⅰ或Ⅱ类辐射区内(见表7)启动、运行、监测和停车。要求操作员必须操作无误,以实现向环境的可控排放。

表5列出对仪表和控制装置的一些最低要求和建议,以便在系统启动、运行和停车期间提供控制方法和下列数据:

- a. 氢浓度或氧浓度(或两者)数据。
- b. 系统或设备的压力数据(为防止超压和保持原定的流量)。
- c. 加压贮存箱内的积液量数据(以便必要时进行排放)。
- d. 冷却水、油、空气和其他辅助系统的运行数据(为保证各设备的准确运行,并能判断是否出现故障)。
- e. 热交换器进、出口气体温度,气体冷凝器液位,气体调节设备出口气含湿量以及吸附床温度(以评定这些设备性能,并及时调节)。
- f. 复合器运行数据。
- g. 排放气流量数据(为使排放气达到足够扩散,并确定放射性的排放率)。
- h. 放射性浓度数据(以确定向大气的排放率、滞留时间和设备性能,并在必要时能自动截止排放。用于自动截止排放的阀门,必须设计成在万一停电时仍能自动关闭)。

8.2 沸水堆仪表和控制装置

沸水堆主冷凝器排气系统必须备有足够的仪表和控制装置,以便在主控室进行启动、运行、监测及停车。此外,还必须将Ⅰ或Ⅱ类辐射区(按表7)内的就地仪表板加以集中布置,以便于维修或操作。

表6列出对仪表和控制装置的一些最低要求和建议,以便在系统启动、运行和停车期间提供控制方法和下列数据:

- a. 氢气浓度数据。
- b. 系统或设备的压力数据(以供在启动和正常运行期间防止超压和性能评定)。
- c. 冷却水、油、空气和其他辅助系统的运行数据(以保证各设备出口气含湿量以及吸附床温度等以评定这些设备性能并及时调节)。
- d. 复合器运行数据。
- e. 排放气流量数据(以确定漏入主冷凝器空气量和放射性排放率)。
- f. 放射性浓度数据(以确定燃料泄漏率、活性炭吸附器性能以及向大气的排放率,并在必要时能自动截止排放。用于自动截止排放的阀门,必须设计成在万一停电时仍能自动关闭)。

8.3 工艺过程和排放气的辐射监测

排放气辐射监测装置必须设计成,能连续监测和记录由沸水堆主冷凝器排气系统和压水堆放射性废气处理系统通过正常排放途径排向大气的全部气体的放射性。在高于预定值排放时,这两个系统中的排放辐射监测仪必须能自动截止气体的排放。在主控室里,必须设置监测读数(显示)装置。为了便于系统控制,在集中控制区可设置另一台显示装置。

必须备有定期校验辐射监测仪的仪表和测量设备,它们必须对于在规定值范围内排放气体放射性的测量具有足够的灵敏度。

工艺过程辐射监测仪,可以安装在沸水堆主冷凝器排放系统或压水堆放射性废气处理系统中,以便监控选定的工艺运行条件。

为了评定放射性废气处理系统设备是否处于完好状态,还必须备有固定式或携带式的辐射监测设备。

9 系统布置

放射性废气处理系统各个设备或部件的定位和布置,都必须保证工作人员在运行和维修期间所受照射符合第4章“目标”要求。系统和设备的设计、就位和布置必须限制工作人员进入辐射区Ⅲ和更高辐射区。

9.1 屏蔽和布置准则

屏蔽计算应按表1和表2列出的设计基准进行。放射性气体处理设备与部件的屏蔽和布置,必须由工作人员在运行、检查、试验和维修时所需靠近的程度来决定。在维修、检查或试验期间,需要接近的设备和部件,应布置在相应的辐射区内,不允许布置在更高的辐射区内。为此,应利用距离或屏蔽(或两者并用)¹⁾隔离设备。

注:1)附录A为可供选用的设备布置和屏蔽准则。

9.2 操作对布置的要求

为了指导布置和屏蔽的设计,提出下列要求和建议:

- a. 一切操作均应在Ⅰ或Ⅱ区内进行。
- b. 对放射性物料的管道、设备和部件的屏蔽,必须使辐射剂量率降低到通常可接近的Ⅰ(或Ⅱ)区水平。
- c. 除装在设备上的部件(例如热电偶)外,所有的仪表均须安装在设备室外的Ⅰ、Ⅱ或Ⅲ区内。
- d. 非放射性阀门和设备,例如冷却吸附床用的乙二醇-水致冷系统设备、仪表用气和维修用气以及其他有关辅助设施均应布置在Ⅰ或Ⅱ区内。就地控制盘也必须布置在Ⅰ或Ⅱ区内。
- e. 工艺监测仪和采样设备必须用屏蔽与人行通道隔开,必要时,也可设置就地屏蔽,以减少对取样人员的照射。工艺监测仪的电讯号部分在布置上应该与屏蔽部分隔开或置于远处,以便工作人员在非直接照射下进行监护。
- f. 所有手动阀门和阀门操作件均须布置在便于操作和维修的地方。
- g. Ⅳ、Ⅴ区在布置设计上,必须与其他区隔离,以免操作人员误入。
- h. 在所有屏蔽区的入口处均应设置迷宫屏蔽。
- i. 穿墙管线不得布置在与放射性设备成一条直线的位置上,应位于辐射源的上方、下方或一侧,以减少射线的射出。
- j. 当为每个区域划分辐射范围和分隔设备小室时,应该考虑到通过该区的管道内的放射性物料量。
- k. 一回路冷却剂洗提(除去)气或其他高放射性气的管道,必须加以管理,按其表面剂量率将它置于与它通过的辐射区相一致的屏蔽内。
- l. 应该对系统中各部件,包括带放射性物料的架空管位置予以认真考虑,因为这些部件的位置决定着所在设备区的辐射场。
- m. 为了维修沸水堆废气处理系统中停运的干燥器再生设备(除干燥器外),应该将干燥器和所有运行的放射性设备按要求用屏蔽隔开。
- n. 为了减少可能出现的积液,各排水管应保持一定的坡度。回路排气必须送至监测排气系统。设备排水也必须是封闭式排放的(即不通过敞口漏斗排放)。

9.3 维修对布置的要求

为了保证人员在维修期间受到的照射保持在可合理达到尽量低的水平,厂房和设备的布置应满足下列要求:

- a. 在设备(或部件)布置时,要留有合适的间距,以保证进行维修。管道、导管和电缆套管的走向应布置得便于接近和维修。有的地方,还须配梯子和平台,以便接近。
- b. 为了维修或更换某一设备或部件,在可能需要拆卸更换它们的地方,管道、导管、导线管以及 H

或 V 形管道等必须布置得不会妨碍这种拆换,也不应将它们附在或装在待拆换的设备或部件上,妨碍维修或更换工作。

c. 在设置局部屏蔽时,防护屏不应依附在被屏蔽的设备或部件上,并要布置得便于设备或部件的拆卸或更换。

d. 为迁移重型设备或部件应配备起吊环和提升装置。在所有的设备区还须设有足够的照明。

9.4 带放射性积累设备的维修

对于拆卸带放射性积累的设备,除 9.3 条要求外,还须有几种可以实现(或方便)这种维修(包括拆换如催化剂、干燥剂或活性炭之类的填充物)的方法:

a. 隔离操作法

这是一种利用加长柄工具和一些屏蔽设备的方法,以便减少对人体的照射。

b. 移动式屏蔽法

这是一些使相邻放射源进行屏蔽或使直接维修人员所受的照射减至最少的方法。在确定屏蔽要求时,应当把在安装临时屏蔽时所受照射剂量增量也考虑在内。

c. 就地去污

就地去污就是利用水冲洗或化学去污的方法。

d. 拆除带放射性填充物

如果填充物为放射性和可拆卸的,则应将其移出后进行维修。

e. 转移维修部件

如果维修部件的邻近有放射源设备,则维修应在其移到低辐射区后方可进行,以减少对维修人员的照射。

f. 屏蔽维修部件

先将维修部件本身屏蔽,然后对其可接近部分进行维修。

g. 隔离衰变

如果大部分放射性核素为短寿命的,则在维修前的一种有效方法,就是将维修部件隔离起来,直到放射性降低到许可进行维修的水平。

10 系统的处理能力和备用

10.1 系统的处理能力

压水堆和沸水堆放射性废气处理系统的设计基准量,可分别参见表 1~表 2 和表 3~表 4。

10.2 设备的备用

设备的备用应该依据提供备用设备所耗的成本与由于无备用设备而造成系统停车、误工,两者的经济比较来确定。在确定放射性废气处理系统设备的最低备用要求时,应考虑下列因素:

a. 设备的可靠性

应估计每个设备在核电厂运行期间停机的可能性。

b. 故障的类型

设备出现的故障可能有两类:一类是事先不可预见的;另一类是事先有足够估计的逐渐形成的。后一类故障的设备在计划停车期间可以予以更换或维修。

c. 故障的影响

带故障的设备是不能继续运行的。

d. 维修问题

维修或更换关键设备的难易程度和所需时间。

e. 备用设备投资

备用设备的总投资中应包括基建和维修两部分费用。

f. 其他费用

其他费用包括由于某一设备的停运而造成系统停工、工厂停工、维修人员受照等一切损失费用。若备用可增加系统可靠性,而产生的收益能弥补所耗的费用,则应采取备用。

在考虑“a”因素时,还应该考虑到由于设备故障而引起系统不定期停车的总时间。但对于通过预先维修可以避免的一些故障,可以不予考虑。系统不定期停车的经济损失费用与“e”因素备用费的比较,应当是在同等经济基础上进行的。一个设备,若由于备用而增加了系统的有效运行时间,其价值可与备用相当,则应采取备用。

在沸水堆系统中,备用的设备应该至少有:预热器、复合器、氦分析仪、乙二醇泵、乙二醇系统的致冷设备和干燥剂再生回路。活性炭吸附器可以无备用。

在压水堆系统中,应该至少备用气体压缩机。

11 运行和维修

11.1 维修计划

为了保证设备的运行,减少不定期维修的次数,应该研究并制定一个预防性的维修计划,所有维修工作均应仔细列出,以减少对电厂运行的干扰,并使维修人员所受照射最少。在维修时,维修人员应遵循操作规程。在规程中,应制定旨在保护维修人员免遭伤害和射线照射的内容。为了降低射线照射,应当采取缩短在高辐射区的工作时间和减少射线强度的办法。

11.2 人员培训

放射性废气处理系统一旦出现误操作,就会导致非正常运行。减少这种误操作的最有效办法,就是针对每个主要设备的功能及操作特点,对每个参加运行和从事放射化学工作的人员进行专门培训,让他们知道主要设备故障或误操作的后果,在一旦出现系统故障时也能使他们熟练地采取改正措施。

另外,必须及时让操作人员了解修改后的工艺系统和设备、操作规程和要求以及前几班系统运行遇到的故障和系统中各类气体的特性等内容。

11.3 维修技术培训

维修人员在工作之前应该了解系统中各个可能污染设备的布置和结构设计,然后,按照维修规程接受维修技术培训,以便在最少受照射情况下以尽可能短的时间完成维修工作。

11.4 操作规程

编制的操作规程应包括每个主要设备及操作,所有预定的操作程序和正确调整阀门等方面的说明,还应有简明的、供复杂或不常见类型操作时使用的一览表。

11.5 设备标志

所有阀门、管道、容器、压缩机、泵和其他相关的设备均须有清楚的标志,以便每个运行和维修人员均能易于识别,以减少人为故障的可能性。

11.6 工艺流程及设备布置图

在紧靠控制盘的地方,应配备一幅清晰的工艺流程图,以供运行和维修人员使用。在图中,应示出系统操作中所有常用的重要阀门、管道、容器、泵和仪表(仅操作的)等。流程应是及时反映任何变更后的最新流程。此外,在图上还应标出各设备的布置位置及上述各项所处的辐射区域。

12 运行前的试验与清洗

12.1 系统完整性试验

工艺系统或各个部分的设备在安装后必须经受压力试验,以检验其承压后的完整性。管道系统压力试验必须按照 GBJ 235《工业管道工程施工及验收规定》进行。试验压力不得低于 0.5 MPa(表压, 5 kgf/cm²)并停压至少 30 min。最大泄漏率必须低于表 8 中列出的限值。如对活性炭容器和复合器容器进行水压试验,则应在装入活性炭或催化剂之前严格除净容器中的残留水分。

12.2 建造期间的清洁度控制

系统建造期间,必须对安装的管道和设备进行吹扫或清理,使之保证内部清洁。清洁度控制应按 GBJ 235 中的管道吹扫要求控制。

12.3 可运行性和功能性检验

安装后的系统均须尽可能按实际工况进行预试验,以验证其可运行性和功能特性。

表 5 压水堆放射性废气处理系统仪表和控制

设备或部件	测量参数	功 能				自动控制
		记录	指示	高限报警	低限报警	
膜式压缩机 (油驱动膜片)	冷却水流量		(√)		(√)	停运压缩机
	排气压力		√			
	油液位				√	停运压缩机
	膜片泄漏			√		停运压缩机
	排气温度		√	√		停运压缩机
加压贮存箱	压力		√	√		
	液位		(√)	(√)		
	压差	(√)	√	(√)		转移气流
过滤器						
系统气体分析仪	H ₂ % (体积)	(√)	√	(√)		
	O ₂ % (体积)	√	√	√		
活性炭吸附床	气体温度		(√)	√		
	进气湿度		(√)	(√)		
	系统排气温度		√			
系统排放管线	气体流量	√	√			
	放射性活度	√	√	√		停止排放
催化复合器	进气流量	(√)				
	预热器出口温度或 加氧端温度		√	√		停止加氧
	催化床出口温度		√	√		停止加氧
	催化床温度分布	(√)		(√)	(√)	
	预热器进口流量		√		√	停止加氧
	水分离器(冷却器) 入口温度	(√)	√	√		停止加氧
	水分离器(冷凝器) 液位		√	√	(√)	控制排水阀
	水分离器出口氢气的 浓度	√	√			控制加氧量
	水分离器出口氧气的 浓度	(√)	(√)	√		
	循环风机出口压力		√			
	水分离器(冷凝器) 出口压力		√			控制复合器操作压力
气体干燥或除湿设备	排气含湿量			√		
	冷排气温度		√	√		
干燥剂再生设备	热排气温度		√	√		加热器输入功率
	加热器温度		√	√		

注:表内符号:√表示要求,(√)表示建议。

表6 沸水堆冷凝器排气系统仪表及控制

设备或部件	测量参数	功 能				
		记录	指示	高限报警	低限报警	自动控制
空气喷射器最后级排放	排气压力		✓		✓	
稀释蒸汽管线	蒸汽流量	(✓)	✓		✓	隔离喷射器
复合器	预热器加热蒸汽压力		(✓)			调节压力
	预热器出口气温度	✓			✓	
	催化床温度分布	(✓)		(✓)	(✓)	
	冷凝器排气温度		✓	✓		
	冷凝器排水温度		✓			
	冷凝器液位		✓	✓	✓	液位控制器
	复合器压差		✓	✓		
冷却冷凝器	排气温度	✓		✓	✓	
	排气放射性	✓	✓	✓		
气体干燥或除湿设备	排气含水量	✓		✓		
	冷排气温度		✓	✓		
	热排气温度		✓	✓		加热器输入功率
	加热器温度		✓	✓		
气体冷却器	排气温度		✓			
	压差		✓	✓		
活性炭吸附系统	炭床温度	✓		✓		
	压差		✓	✓		
过滤器	压差		✓	✓		
系统气体分析仪	H ₂ % (体积)	✓		✓		
复合器排放管线	不凝气流量	✓		✓	✓	
乙二醇冷却系统	乙二醇贮槽液位				✓	
	冷乙二醇温度	✓		✓	✓	
	乙二醇泵出口压力		✓			
系统排放管线	放射性	✓	✓	✓		
	温度		(✓)	✓		

注：表内符号：✓表示要求，(✓)表示建议。

表7 放射性厂房的剂量分区

辐射区域	最大设计剂量率	
	mrem/h	mSv/h
I	<1.0	$<1.0 \times 10^{-2}$
II	<2.5	$<2.5 \times 10^{-2}$
III	<1.5	$<1.5 \times 10^{-1}$
IV	<100	<1.0
V	≥ 100	≥ 1.0

表8 运行工况下工艺气体向大气的最大泄漏率

设备名称	最大泄漏率 ¹⁾ (mL/s)	
	单个设备	区域总值
压水堆废气处理系统		
受压容器	10^{-3}	
工艺阀门	10^{-3}	
压缩机	10^{-3}	
低温分离装置	10^{-5}	
活性炭吸附容器	2×10^{-4}	
氢复合器	1.0^{-3}	
乙二醇冷却器	2×10^{-4}	
气体分析仪	1.0	
热交换器	10^{-3}	
沸水堆废气处理系统		
主冷凝器排气系统阀门	10^{-2}	
仪表控制盘	10^{-6}	
所有工艺阀门	10^{-6}	
空气喷射器末级至复合器	10^{-3}	10^{-2}
复合器入口至气体干燥器或冷却器出口	10^{-4}	10^{-3}
气体干燥器或冷却器的以后部分	10^{-4}	10^{-2}

注：1) 最大泄漏率是指在标准大气压、标准温度条件单位时间内的最大泄漏量。

附录 A

设备的屏蔽和布置

(参考件)

图 A1 是一个在运行和维修期间用于确定屏蔽要求的示意布置图。屏蔽可分为带放射性积累设备的屏蔽和不带放射性积累设备的屏蔽两种。

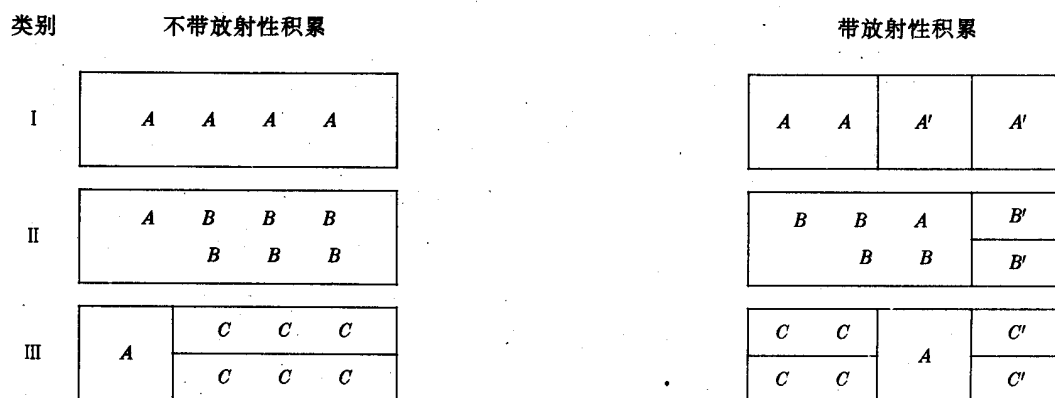


图 A1 设备的屏蔽和布置示意图

图中示出三类情况。用字母 A、B、C 代表一组具有相互关系的不同可靠性的设备或部件(包括阀门)。由于它们均用于处理放射性气体,所以在操作时假设均需要屏蔽。此外,所有设备(或部件)都会因功能下降、维修、校准、检验或运行周期(例如干燥剂再生)而要经受长短不等时间的停运。

图中符号, A 代表具有高度可靠性的设备,总停机率小于 1 次/年,例如热交换器或活性炭吸附器。B 代表总停机率大于 1 次/年、小于 1 次/半年的设备,通常,这种设备应有备用,可以运行到换料停堆时维修。C 代表总停机率大于 1 次/半年的设备,维修应当在备用设备投入运行后的合适时间内进行,因此这种设备在电厂运行期间均要求可接近的,例如气体干燥剂的再生设备。带撇“'”字母代表带放射性物质积累的设备,例如干燥器、活性炭吸附器或因沉积而可能积累放射性的设备,即使在其停运后还会对邻近设备或部件的维修人员造成很大的照射。

图中示出三类情况, I 类为都用字母 A 表示的相关设备; II 类为用字母 A 和 B 混合表示的相关设备(为简化起见,只示出一个字母 A); III 类为用字母 A 和 C 混合表示的相关设备(也可以用字母 A、B、C 混合表示)。

凡带放射性积累(带“'”)的设备,应利用屏蔽或距离与邻近设备隔离。I 类设备需要外加屏蔽墙。II 类设备也需要外加屏蔽墙,也许还要有一道隔离几个平行设备的中间屏蔽墙。III 类设备必须要有一道中间屏蔽墙,以便在一个设备运行时,能对另一个设备进行维修。

图中明显表明,所有带放射性物质积累的设备集中置于整个屏蔽的一端,可能是最节省屏蔽。布置和屏蔽方案的最终确定,应该从维修角度来考虑。但是,在确定屏蔽和配管(包括设备位置)之间关系时,也需要考虑如配管要求等其他因素。

为了直观说明,在此只介绍了四种不同可靠性的单体设备和部件,但是提出的示意图可以推广应用于更多组相关的单体设备和部件。

由滑动底板组装的组合装置,很可能有一些可靠性不同的设备和部件混在一起(也可用一个通用字母代表),这种组合装置的可靠性为最小,它的布置和屏蔽要求也必须由这一点来确定。

附录 B

可供选用的工艺方法及推荐 (参考件)

本附录介绍几种从废气中减少或去除放射性物质的工艺方法。

B1 可供选用的工艺方法

B1.1 惰性气体处理

B1.1.1 贮存衰变

B1.1.1.1 箱式贮存系统

箱式贮存系统通常由压缩机和几个供废气向环境排放前贮存衰变用的加压贮存箱组成。系统所要求的贮存容量与厂址气象条件有关,但系统只要设计得具有足够的贮存容量,就可不受影响。

在设计箱式贮存系统时,可以考虑进一步的处理方法,例如采用氢-氧复合器可以减少总的贮存气体体积;也可将放射性液体贮槽中的覆盖气经贮存衰变处理后复用以减少其排放量。

B1.1.1.2 活性炭吸附系统

惰性气体在活性炭上比起氢、氧和氮等一些较轻气体更易被吸附,并在通过活性炭时截留下来。通常,提供的活性炭量,可以有足够的滞留时间,让惰性气体衰变到期望的放射性水平。增加滞留时间可以采用降低温度、湿度和增加处理气压力等方法达到。但是,吸附系统对于滞留长寿命同位素⁸⁶Kr并不有效。

B1.1.2 惰性气体分离

惰性气体分离法有低温蒸馏、选择性吸收和低温间隙吸附等。

B1.1.2.1 低温间隙吸附

本方法采用几个可以平行操作的吸附床。吸附床在达到饱和和吸附后停止运行,并升温再生。解吸气被送往贮存。如果首先将原料气中的二氧化碳和水汽除去(若吸附剂为活性炭,还须除氧),吸附床还可以在冷冻温度下运行。但是,随着吸附剂吸附惰性气体的浓度不断增加,吸附床的滞留能力也下降。

B1.1.2.2 低温蒸馏

低温蒸馏法需先进行预处理以去除废气中的少量二氧化碳、水汽、臭氧和碳氢化物。经预处理的废气在压缩、冷却成液态(除氢和氦外)后,通入低温蒸馏柱中,分离惰性气体同位素。

B1.1.2.3 选择性吸收

选择性吸收,就是在低温高压下利用液态碳氟化物或二氧化碳作溶剂,选择性地吸收除去惰性气体。吸收后的惰性气体由解吸柱从溶剂中解吸出来。

B1.2 去除碘

除碘通常采用具有高效去除率的某种活化浸渍过的活性炭或金属沸石(银沸石)吸附法。

在废气处理系统中,除碘往往会受到处理惰性气体的一些相同机理的影响,例如滞留惰性气体的活性炭床或加压贮存箱也会对放射性碘有滞留作用,只要提供足够的贮存衰变时间,反应堆冷却剂去除气或其他小体积废气中的碘是很容易去除的。

一个典型的除碘过滤系统一般由预过滤器、高效过滤器、除碘过滤器、高效过滤器以及排风机组成(按次序)。为了降低相对湿度和增加除碘效率,在预过滤器之前也可以设置除湿器、加热器或冷凝器。

B1.3 去除微粒

微粒去除装置通常是高效过滤器。为了去除一些污染物,延长高效过滤器使用寿命,在高效过滤器之前可设置预过滤器。

B2 推荐几个现行使用的方法

B2.1 惰性气体处理

压水堆排气系统中一般应采用加压贮存法或活性炭吸附法,而在沸水堆主冷凝器排气系统中一般应采用活性炭吸附法。

如果需要长期现场贮存惰性气体,则可采用低温间断吸附法、低温蒸馏法和选择性吸收法,但一般认为采用这些方法可能成本较高。

B2.2 去除碘

在需要除碘而惰性气体处理设备又不能胜任的系统中,应采用浸渍活性炭或金属沸石吸附除碘。

B2.3 去除微粒

在需要去除微粒的系统中,应采用预过滤器和高效过滤器。

附加说明:

本标准由国家环境保护局和核工业部提出。

本标准由北京核工程研究设计院负责起草。

本标准主要起草人张耀华、谈德清。

本标准由国家环境保护局负责解释。