

ICS 27.100

F 23

备案号: 15359-2005

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 956 — 2005

代替 SD 223 — 1987

---

## 火力发电厂停（备）用热力设备 防 锈 蚀 导 则

Guide for lay-up of thermal power equipment in fossil fuel power plant

2005-02-14 发布

2005-06-01 实施

---

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发 布

## 目 次

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 前言                                   | II |
| 1 范围                                 | 1  |
| 2 规范性引用文件                            | 1  |
| 3 总则                                 | 1  |
| 4 停(备)用锅炉的防腐蚀方法                      | 4  |
| 5 停(备)用汽轮机的防腐蚀方法                     | 14 |
| 6 停(备)用高压加热器的防腐蚀方法                   | 16 |
| 7 停(备)用低压加热器的防腐蚀方法                   | 17 |
| 8 停(备)用除氧器的防腐蚀方法                     | 18 |
| 9 停(备)用凝汽器的防腐蚀方法                     | 18 |
| 10 停(备)用闭式冷却器、轴冷器、冷油器和发电机内冷水系统的防腐蚀方法 | 18 |
| 11 停(备)用锅炉烟气侧的防腐蚀方法                  | 18 |
| 附录 A (规范性附录) 各种防腐蚀方法的监督项目和控制标准       | 20 |
| 附录 B (资料性附录) 气体湿度的测定方法(干湿球温度计法)      | 22 |
| 附录 C (资料性附录) 气体温度相对湿度换算表             | 23 |
| 附录 D (资料性附录) 转轮除湿机工作原理               | 26 |
| 附录 E (资料性附录) 气相缓蚀剂碳酸环己胺的测定方法         | 27 |

## 前 言

本标准是根据原国家经济贸易委员会《关于下达 2000 年度电力行业标准制、修订计划项目的通知》（电力〔2000〕70 号文）的安排修订的。

SD 223—1987《火力发电厂热力设备停（备）用防锈蚀导则》于 1987 年首次制定颁发，对防止热力设备停（备）用防锈蚀起到重要的指导作用。十多年来，我国电力工业发展迅速，机组容量不断增大，机组运行参数增高，机组运行方式也发生了变化，频繁启动、调峰运行及备用的机组增多，这些都要求采用更为方便、可靠的停（备）用防锈蚀措施。因此，SD 223—1987 已经不能满足我国电力工业发展的需求，应对其进行修改。

本标准对原标准 SD 223—1987 主要进行了如下修订：

- 删除了引言，增加了前言。
- 增加了范围和规范性引用文件。
- 增加了停（备）用防锈蚀工作考核方法和指标。
- 增加了停（备）用防锈蚀效果评价指标。
- 增加了锅炉、汽轮机和高压加热器停（备）用新的防锈蚀保护方法。
- 增加了闭式冷却器、轴冷器、冷油器和发动机内冷水系统的防锈蚀方法。
- 增加了锅炉烟侧、凝汽器水侧防锈蚀保护方法。

本标准的附录 A 为规范性附录。

本标准附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电厂化学标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：西安热工研究院有限公司、湖北电力试验研究院。

本标准主要起草人：柯于进、朱兴宝、詹约章、张维科。

本标准自实施之日起，代替 SD 223—1987。

# 火力发电厂停（备）用热力设备防腐蚀导则

## 1 范围

本标准规定了火力发电厂热力设备停（备）用防腐蚀的基本要求、方法以及选用方法的原则。

本标准适用于火力发电机组的锅炉、汽轮机、加热器、凝汽器等热力设备的停（备）用防腐蚀保护。

本标准可供核电站二回路热力设备停（备）保护参考使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 6904.3 锅炉用水和冷却水分析方法 pH 的测定

GB/T 6906 锅炉用水和冷却水分析方法 联氨的测定

GB 8978 污水综合排放标准

GB/T 12145—1999 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量

GB/T 12146 锅炉用水和冷却水分析方法 氨的测定 苯酚法

DL/T 561—1995 火力发电厂水汽监督导则

## 3 总则

### 3.1 火力发电厂热力设备停（备）用期间应采取有效的防腐蚀措施

### 3.2 火力发电厂热力设备防腐蚀监督和工作制度

热力设备防腐蚀监督和工作制度为：

- 停（备）用热力设备的防腐蚀保护措施应由当值班长组织实施，并实行操作票制度；
- 化学专业应负责制定保护方案，检验防腐蚀药剂，进行加药和保护期间化学监督，并对保护效果进行检查、评价和总结；
- 热机专业应负责防腐蚀设备和系统的安装、操作和维护，并建立操作台账。

### 3.3 停（备）用热力设备的防腐蚀率和防腐蚀指标合格率

各火力发电厂应统计停（备）用热力设备的防腐蚀率和防腐蚀指标合格率，并达到如下要求：

- 停（备）用热力设备防腐蚀率达到 80% 及以上，防腐蚀率（ $\eta$ ）按式（1）计算，即：

$$\eta = (d_t/d_i) \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\eta$ ——防腐蚀率，%；

$d_t$ ——防腐蚀时间，d；

$d_i$ ——停（备）用时间，d。

- 防腐蚀指标合格率达到 90% 及以上。

防腐蚀指标合格率指主要监督指标的合格率，根据所采用的防腐蚀方法，主要监督指标可为溶解氧浓度、除氧剂浓度、缓蚀剂浓度、pH 值、相对湿度、氮气压力或纯度等。

### 3.4 热力设备在停（备）用期间的防腐蚀方法的选择

3.4.1 防腐蚀方法分类

根据防腐蚀原理不同，防腐蚀方法有：

- a) 阻止空气进入热力设备水汽系统；
- b) 降低热力设备水汽系统的相对湿度；
- c) 加缓蚀剂；
- d) 除去水中的溶解氧；
- e) 使金属表面形成保护膜。

根据热力设备在停（备）用期间的防腐蚀所处状态不同，防腐蚀方法分为干法和湿法两大类。

3.4.2 防腐蚀方法的选择原则

主要选择原则是：机组的参数和类型，机组给水、炉水处理方式，停（备）用时间的长短和性质，现场条件，可操作性和经济性。另外还应考虑下列因素：

- a) 停（备）用所采用的化学条件和运行期间的化学水工况之间的兼容性。
- b) 防腐蚀保护方法不会破坏运行中所形成的保护膜。
- c) 防腐蚀保护方法不应影响机组按电网要求随时启动运行。
- d) 有废液处理设施，废液排放应符合 GB 8978 的规定。
- e) 冻结的可能性。
- f) 当地大气条件（例如海滨电厂的盐雾环境）。
- g) 所采用的保护方法不影响检修工作和检修人员的安全。

一般情况下，可参考表 1 选择合适的停（备）用防腐蚀方法。

表 1 停（备）用热力设备的防腐蚀方法

| 防腐蚀方法                  |           | 适用<br>状态 | 适用<br>设备      | 防腐蚀方法的<br>工艺要求                  | 停用时间 |      |      |           |           | 备注   |
|------------------------|-----------|----------|---------------|---------------------------------|------|------|------|-----------|-----------|------|
|                        |           |          |               |                                 | ≤3 天 | <1 周 | <1 月 | <1 季<br>度 | >1 季<br>度 |      |
| 干法<br>防<br>锈<br>保<br>护 | 热炉放水余热烘干法 | 临时检修、小修  | 锅炉            | 炉膛有足够余热，系统严密，放水门、空气门无缺陷         | √    | √    | √    |           |           | 应无积水 |
|                        | 负压余热烘干法   | 大、小修     | 锅炉            | 炉膛有足够余热，配备有抽气系统，系统严密            |      | √    | √    | √         |           | 应无积水 |
|                        | 邻炉热风烘干法   | 冷备用大、小修  | 锅炉            | 邻炉有富余热风，有热风连通道，热风应能连续供给         |      | √    | √    |           |           | 应无积水 |
|                        | 干风干燥法     | 冷备用大、小修  | 锅炉、汽轮机        | 备有干风系统和设备，干风应能连续供给              |      |      | √    | √         | √         | 应无积水 |
|                        | 热风吹干法     | 冷备用大、小修  | 锅炉、汽轮机        | 备有热风系统和设备，热风应能连续供给              |      | √    | √    | √         | √         | 应无积水 |
|                        | 干燥剂去湿法    | 冷备用、封存   | 小容量、低参数锅炉、汽轮机 | 设备严密，内部空气相对湿度应不高于 60%           |      |      |      | √         | √         | 应无积水 |
|                        | 气相缓蚀剂法    | 冷备用、封存   | 锅炉和高、低压加热器    | 要配置热风气化系统，系统应严密，锅炉、高、低压加热器应基本干燥 |      |      | √    | √         | √         | 应无积水 |

表 1 (续)

| 防腐蚀方法   |           | 适用状态    | 适用设备          | 防腐蚀方法的工艺要求                                                                                   | 停用时间 |     |     |      |      | 备注   |
|---------|-----------|---------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-----|------|------|------|
|         |           |         |               |                                                                                              | ≤3天  | <1周 | <1月 | <1季度 | >1季度 |      |
| 干法防腐蚀保护 | 氨、联氨钝化烘干法 | 冷备用大、小修 | 锅炉、给水系统       | 停炉前 2h, 无铜系统加氨提高给水 pH 值至 9.4~10.0, 有铜系统给水 pH 值至 9.0~9.2, 联氨浓度加大到 0.5mg/L~500mg/L, 热炉放水, 余热烘干 | √    | √   | √   | √    |      | 应无积水 |
|         | 氨水碱化烘干法   | 冷备用大、小修 | 锅炉、无铜给水系统     | 停炉前 4h, 加氨提高给水 pH 值至 9.4~10.0, 热炉放水, 余热烘干                                                    | √    | √   | √   | √    |      | 应无积水 |
|         | 吹灰排烟通干风法  | 冷备用、封存  | 锅炉烟气侧         | 配备吹灰、排烟气设备和干风设备                                                                              |      |     | √   | √    | √    | 应无积水 |
|         | 通风干燥法     | 冷备用大、小修 | 凝汽器水侧         | 备有通风设备                                                                                       |      | √   | √   | √    | √    | 应无积水 |
| 湿法防腐蚀保护 | 蒸汽压力法     | 热备用     | 锅炉            | 锅炉保持一定的压力                                                                                    | √    | √   |     |      |      |      |
|         | 给水压力法     | 热备用     | 锅炉及给水系统       | 锅炉保持一定的压力, 给水水质保持运行水质                                                                        | √    | √   |     |      |      |      |
|         | 维持密封、真空法  | 热备用     | 汽轮机、再热器、凝汽器汽侧 | 维持凝汽器真空, 汽轮机轴封蒸汽保持使汽轮机处于密封状态                                                                 | √    | √   |     |      |      |      |
|         | 氨水法       | 冷备用、封存  | 锅炉和高、低压给水系统   | 有配药、加药系统                                                                                     |      |     | √   | √    |      |      |
|         | 氨—联氨法     | 冷备用、封存  | 锅炉和高、低压给水系统   | 有配药、加药系统和废液处理系统                                                                              |      |     | √   | √    | √    |      |
|         | 充氮法       | 冷备用、封存  | 锅炉和高、低压给水系统   | 配置充氮系统, 氮气纯度应符合附录 A 要求, 系统有一定严密性                                                             |      | √   | √   | √    | √    |      |
|         | 成膜胺法      | 冷备用大、小修 | 锅炉、汽轮机和高压给水系统 | 配有加药系统, 停机过程中实施                                                                              |      |     | √   | √    | √    |      |
|         | 通蒸汽加热循环法  | 热备用     | 除氧器           | 维持水温高于 105℃                                                                                  | √    | √   |     |      |      |      |
|         | 循环水运行法    | 备用      | 凝汽器水侧         | 维持水侧一台循环水泵运行                                                                                 | √    |     |     |      |      |      |

3.5 机组停（备）用期间化学监督

3.5.1 防锈蚀保护用化学药品、气体等，在使用前，应对其纯度进行检测，防止有害杂质进入热力系统。

3.5.2 在防锈蚀保护过程中，应根据各防锈蚀方法要求进行监督。监督项目和控制标准见附录 A。

3.6 停（备）用防锈效果的评价

3.6.1 应根据机组启动时水汽质量和热力设备腐蚀检查结果评价停用保护效果。

3.6.2 停（备）用机组启动时的水汽质量。

3.6.2.1 保护效果良好的机组在启动过程中，冲洗时间短，水汽质量应符合 GB/T 12145 和 DL/T 561 要求。

3.6.2.2 锅炉启动后，并汽或汽轮机冲转前的蒸汽质量，可参照表 2 的规定控制，且在机组并网 8h 内达到正常运行的标准值。

表 2 汽轮机冲转时的蒸汽质量标准

| 炉型  | 锅炉过热蒸汽压力<br>MPa | 电导率（氢离子交换后 25℃）<br>μS/cm | 二氧化硅  | 铁   | 铜   | 钠   |
|-----|-----------------|--------------------------|-------|-----|-----|-----|
|     |                 |                          | μg/kg |     |     |     |
| 汽包炉 | 3.8~5.8         | ≤3.0                     | ≤80   | —   | —   | ≤50 |
|     | 5.9~18.3        | ≤1.0                     | ≤60   | ≤50 | ≤15 | ≤20 |
| 直流炉 | —               | ≤0.5                     | ≤30   | ≤50 | ≤15 | ≤20 |

3.6.2.3 锅炉启动时，给水质量应符合表 3 的规定，且在机组并网 8h 内达到正常运行的标准值。

表 3 锅炉启动时给水质量标准

| 炉型  | 锅炉过热蒸汽压力<br>MPa | 硬度<br>μmol/L | 电导率（氢离子交换后 25℃）<br>μS/cm | 铁    | 溶解氧 | 二氧化硅 |
|-----|-----------------|--------------|--------------------------|------|-----|------|
|     |                 |              |                          | μg/L |     |      |
| 汽包炉 | 3.8~5.8         | ≤10          | —                        | ≤150 | ≤50 | —    |
|     | 5.9~12.6        | ≤5.0         | —                        | ≤100 | ≤40 | —    |
|     | 12.6~18.3       | ≤5.0         | ≤1.0                     | ≤75  | ≤30 | —    |
| 直流炉 | —               | ≈0           | ≤0.5                     | ≤50  | ≤30 | ≤30  |

3.6.3 机组检修期间，应对重要热力设备进行腐蚀检查，如对锅炉受热面进行割管检查，对汽包、除氧器、凝汽器、高压加热器、低压加热器、汽轮机低压缸进行目视检查，这些部位应无明显停用腐蚀现象。应将检查结果与上次检查结果和其他机组检查结果相比较，完善停用保护措施。

4 停（备）用锅炉的防锈蚀方法

4.1 热炉放水余热烘干法

4.1.1 技术要点

锅炉停运后，压力降至锅炉制造厂规定值时，迅速放尽锅内存水，利用炉膛余热烘干锅炉受热面。  
图 1 是碳钢在大气中的腐蚀速度与相对湿度关系。该图表明，当空气相对湿度高于临界值 60% 时，碳钢的腐蚀速度急剧增大，高相对湿度（RH：60%~100%）下碳钢的腐蚀速度是低相对湿度（RH：30%~55%）下的 100 倍~1000 倍。

4.1.2 保护方法

4.1.2.1 停炉后，迅速关闭锅炉各风门、挡板，封闭炉膛，防止热量过快散失。

4.1.2.2 固态排渣汽包锅炉，当汽包压力降至 0.6MPa~1.6MPa 时，迅速放尽炉水；固态排渣直流锅炉，

在分离器压力降至  $0.6\text{MPa} \sim 2.4\text{MPa}$  时，迅速放尽炉内存水；液态排渣锅炉可根据锅炉制造厂要求执行热炉带压放水。

4.1.2.3 放水过程中全开空气门、排汽门和放水门，自然通风排出锅内湿气，直至锅内空气相对湿度达到 70% 或等于环境相对湿度。

4.1.2.4 放水结束后，一般情况下应关闭空气门、排汽门和放水门，封闭锅炉。

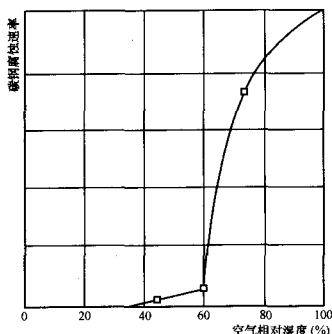


图 1 碳钢腐蚀速率与空气相对湿度的关系

#### 4.1.3 注意事项

a) 在烘干过程中，应定时用湿度计或参照附录 B 和附录 C 的测定方法测定锅内空气相对湿度。

b) 炉膛温度降至  $105^{\circ}\text{C}$  时，测定锅内空气相对湿度仍低于控制标准，锅炉应点火或辅以邻炉热风，继续烘干。

c) 汽包锅炉降压、放水过程中，应严格控制汽包上、下壁温差不超过制造厂允许值；直流锅炉降压、放水过程中，应控制联箱和分离器的壁温差不超过制造厂允许值。

### 4.2 负压余热烘干法

#### 4.2.1 技术要点

负压余热烘干法原理与余热烘干相同。锅炉停运后，压力降至锅炉制造厂规定值时，迅速放尽炉内存水，然后立即对锅炉抽真空，加快锅内湿气的排出，提高烘干效果。

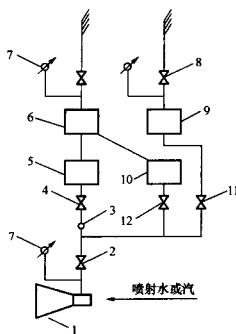
#### 4.2.2 保护方法

4.2.2.1 锅炉停运后，按 4.1.2.1 和 4.1.2.2 的规定放尽炉内存水，然后立即关闭空气门、排汽门和放水门。

4.2.2.2 无中间再热的锅炉，可参照图 2 抽气系统启动抽气器抽真空；有中间再热的锅炉，可参照图 3 抽气系统抽真空，即先将锅炉本体部分抽真空，待主蒸汽压力降至零、温度降至  $350^{\circ}\text{C}$  时，再通过疏水管道将一次蒸汽系统和二次蒸汽系统抽真空；当机组有一、二级启动旁路时，可打开启动旁路，利用凝汽器抽真空系统对锅炉再热器、过热器和水冷系统进行抽真空。

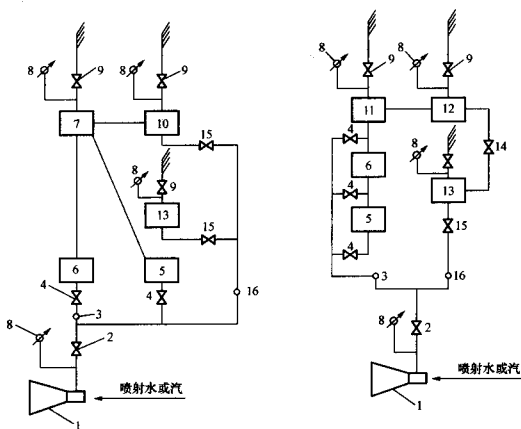
4.2.2.3 当炉顶真空度达到  $0.053\text{MPa}$  以上、锅内空气湿度不再明显降低时，可全开空气门或排汽门约 1h，用空气置换锅内残存湿气。然后关闭空气门，使真空度回升。

4.2.2.4 继续抽真空  $0.5\text{h} \sim 1.0\text{h}$  后，全开空气门或排汽门，用空气置换锅内的残余湿气，直至锅内空气相对湿度降到 70% 或等于环境相对湿度。



1—抽气器；2—真空连通门；3—排污母管；4—排污门；5—水冷壁；6—汽包；7—真空表；  
8—空气门（或排汽门）；9—过热器；10—省煤器；11—疏水门；12—省煤器放水门

图2 无中间再热锅炉的抽气系统示意



(a) 汽包炉系统

(b) 直流炉系统

1—抽气器；2—真空联络门；3—高压放水母管；4—放水门；5—省煤器；6—水冷壁；  
7—汽包；8—真空表；9—空气门（或排汽门）；10—过热器；11—低温过热器；  
12—高温过热器；13—再热器；14—一级旁路；15—疏水门；16—中压放水母管

图3 有中间再热锅炉的抽气系统示意

#### 4.2.3 注意事项

- a) 汽包锅炉降压、放水过程中，应严格控制汽包上、下壁温差不超过制造厂允许值；直流锅炉降压、放水过程中，应控制联箱和分离器的壁温差不超过制造厂允许值。

- b) 抽气器必须有足够的抽气能力，抽气器的工作水或蒸汽流量应满足要求，压力要稳定，以防止水或蒸汽被吸入锅炉。
- c) 锅炉系统应严密，抽气系统尽可能设置为固定系统，并有可靠的隔离措施。

#### 4.3 邻炉热风烘干法

##### 4.3.1 技术要点

邻炉热风烘干法原理与余热烘干相同。热炉放水后，为补充炉膛余热的不足，辅以运行邻炉热风，继续烘干。

##### 4.3.2 保护方法

4.3.2.1 锅炉停运后，按 4.1.2.1 和 4.1.2.2 的规定放尽锅内存水，烘干锅炉。

4.3.2.2 当炉膛温度降至 105℃ 时，微开锅炉有关挡板，使炉膛烟道自然通风。然后开启总风道连通门或热风管道上的挡板，向炉膛送入 220℃~300℃ 的热风，继续烘干，直至锅内空气相对湿度降到 70% 或等于环境相对湿度。停止送入热风后，应封闭锅炉，以维持锅内的干燥状态。

##### 4.3.3 注意事项

- a) 锅炉在备用状态下，当周围环境湿度高于 70% 时，为保持锅内的干燥状态，以连续通入热风为宜；
- b) 由运行邻炉引出热风时，应保证运行炉的风量，送风机电流严禁超过额定值；
- c) 其他项目同 4.1.3。

#### 4.4 干风干燥法

##### 4.4.1 技术要点和特点

- a) 干风干燥法原理是保证热力设备内相对湿度处于免受腐蚀的干燥状态。将常温空气通过一专门的除湿设备（转轮吸附除湿设备和冷冻除湿设备，转轮除湿设备的工作原理参见附录 D）除去空气中的湿分，产生的常温干燥空气（干风）。将干风通入热力设备，除去热力设备中的残留水分，使热力设备表面达到干燥而得到保护。
- b) 干风干燥法的特点是采用常温空气，因而设备内部处于常温状态，有效减轻了因温度降低引起相对湿度升高而发生的锈蚀。与热风干燥相比，干风干燥法所消耗的能量要少得多。

##### 4.4.2 保护方法

4.4.2.1 锅炉停运后，按 4.1.2.1 和 4.1.2.2 的规定放尽锅内存水，烘干锅炉。

4.4.2.2 根据锅炉实际情况设计并连接干风系统，图 4 和图 5 是两种连接示例。

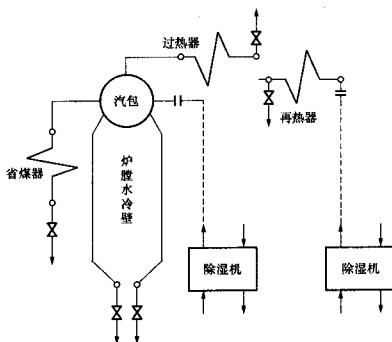


图 4 开放式干风干燥系统示意

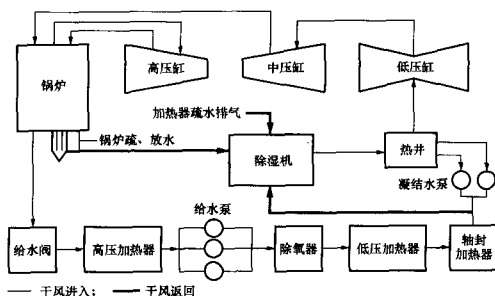


图5 循环式干风干燥系统示意

4.4.2.3 启动除湿机，对锅炉进行干燥。在停（备）保护期间，维持锅炉各排气点的相对湿度在30%~50%之间，并由此控制除湿机的启停。

#### 4.4.3 注意事项

- 应尽量提高锅炉受热面放水压力和温度，但应严格控制管壁温差不得超过制造厂允许值；
- 根据每小时置换锅炉内空气5次~10次的要求选择除湿机的容量；
- 定期用相对湿度计监测各排气点的相对湿度；
- 除湿机可供多台机组共用，每台机组预留专门的通干风接口。

### 4.5 热风吹干法

#### 4.5.1 技术要点

在停炉过程中，先在较高压力下排汽，再按锅炉规程进行放水，然后启动专用的正压吹干装置，将脱水、脱油、滤尘的热压缩空气经锅炉适当的部位吹入，适当部位排出，从而吹干锅炉受热面，达到干燥保护的目的。

#### 4.5.2 保护方法

4.5.2.1 停炉后，迅速关闭锅炉各风门、挡板，封闭炉膛，防止热量过快散失。

4.5.2.2 当汽包锅炉汽包压力降至1.0MPa~2.5MPa、直流锅炉分离器压力降至2.0MPa~2.5MPa时，打开过热器、再热器对空排汽、疏放水门和空气门排汽。

4.5.2.3 自然降至锅炉规定压力、温度后进行热炉放水。

4.5.2.4 放水结束后，启动专用的正压吹干装置将180℃~200℃热压缩空气，参照图6系统依次吹干再热器、过热器、水冷系统和省煤器。监督各排气点空气相对湿度，相对湿度小于或等于当时大气相对湿度为合格。

4.5.2.5 锅炉短期停用时，停炉时吹干即可；长期停用，一般每周启动正压吹干装置一次，维持受热面内相对湿度小于或等于当时大气相对湿度。

#### 4.5.3 注意事项

- 锅炉受热面排汽和放水过程中，应严格控制管壁温度差不超过制造厂允许值。
- 锅炉过热器、再热器对空排汽压力、温度尽量高，使垂直布置过热器、再热器下弯头无积水；排汽、放水、吹干三个步骤应紧密联系，一步完成。
- 正压吹干装置的压缩空气气源可以是仪用或杂用压缩空气，压力为0.3MPa~0.8MPa，流量为5m³/h~10m³/h。
- 定期用相对湿度计监测各排气点的相对湿度。

e) 多台机组可设计共用一套正压吹干装置，热压缩空气吸入管道应保温。

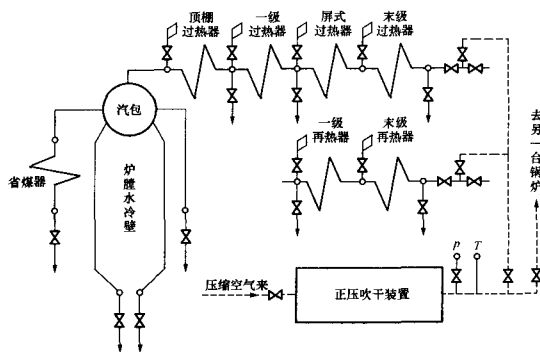


图6 汽包炉热风吹干系统示意

## 4.6 气相缓蚀剂法

### 4.6.1 技术要点

锅炉停炉后，热炉放水，余热烘干。当锅内空气相对湿度（室温值）小于90%时，采用专用设备向锅内充入气化了的气相缓蚀剂；气相缓蚀剂浓度达到 $30\text{g}/\text{m}^3$ 后，停止充气相缓蚀剂，封闭锅炉。

### 4.6.2 保护方法

4.6.2.1 锅炉停运后，烘干锅炉，最好使锅内空气相对湿度小于90%。

4.6.2.2 采用热炉放水余热烘干法时，气化了的气相缓蚀剂从锅炉底部的放水管或疏水管充入，使其自下而上逐渐充满锅炉。

4.6.2.3 采用负压余热烘干法时，气化了的气相缓蚀剂，则从锅炉顶部的空气管或排气管充入，使其自上而下逐渐充满锅炉。

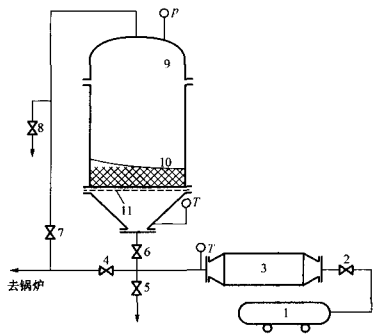
4.6.2.4 充入气相缓蚀剂时，最好有辅助抽气措施，并使抽气量和进气量基本一致。

4.6.2.5 气相缓蚀剂气化系统参见图7。充入气相缓蚀剂前，参照图7用不低于 $50^\circ\text{C}$ 的热风，经气化器旁路先对充气管路进行暖管，以免气相缓蚀剂遇冷析出，造成堵管。当充气管路温度达到 $50^\circ\text{C}$ 时，停止暖管并将热风导入气化器，使气相缓蚀剂气化并充入锅炉。

4.6.2.6 当锅内气相缓蚀剂含量达到控制标准时，停止充入气相缓蚀剂并迅速封闭锅炉。

### 4.6.3 注意事项

- 锅炉停用保护使用的气相缓蚀剂一般为碳酸环己胺和碳酸铵，它们对铜部件有腐蚀，应有隔离措施。
- 气相缓蚀剂气化时，应有稳定的压缩空气气源，其压力在 $0.6\text{MPa}\sim 0.8\text{MPa}$ ，气量不小于 $6\text{m}^3/\text{min}$ ，且能连续供气。
- 锅内气相缓蚀剂含量控制大于 $30\text{g}/\text{m}^3$ ，测定方法参见附录E。
- 碳酸环己胺为白色粉末状物质，有氨味。当它与人体直接接触时，有轻微刺激感。使用时，操作人员应注意保护，切勿使其溅入眼内。
- 碳酸环己胺为可燃物，不应与明火接触，并做好安全措施。
- 实施气相缓蚀剂保护的锅炉，当需要人进入汽包时，必须首先进行通风换气。



1—空气压缩机；2—调节阀；3—电加热器；4—旁路门；5—疏水门；  
6—进气门；7—出气门；8—取样门；9—气化器；10—气相缓蚀剂；11—底部孔板

图 7 气相缓蚀剂气化充气系统示意

4.7 氨、联氨钝化烘干法

4.7.1 技术要点

锅炉停炉前 2h，利用给水、炉水加药系统，向给水、炉水加氨和联氨，提高 pH 值和联氨浓度，在高温下形成保护膜，然后热炉放水，余热烘干。

4.7.2 保护方法

4.7.2.1 汽包锅炉停炉前 2h，加大给水和凝结水氨、联氨的加入量，使省煤器入口给水 pH 值和联氨含量达到：无铜系统给水 pH 值至 9.4~10.0，有铜系统给水 pH 值至 9.0~9.2，联氨浓度为 0.5mg/L~10mg/L。

4.7.2.2 炉水采用磷酸盐处理时，停炉前 2h 停止向炉水加磷酸盐，改为加浓联氨，使炉水联氨浓度达到 200mg/L~400mg/L。停炉过程中，在汽包压力降至 4.0MPa 时保持 2h。然后继续降压，按 4.1.2.2 的规定放尽锅内存水，余热烘干锅炉。

4.7.2.3 直流锅炉在锅炉停炉冷却到压力为 4.0MPa 时，加大给水和凝结水氨、联氨加入量。无铜系统给水 pH 值调至 9.4~10.0，有铜系统给水 pH 值调至 9.0~9.2；除氧器入口给水联氨浓度为 0.5mg/L~10mg/L，省煤器入口给水联氨浓度见表 4。然后继续降压，按 4.1.2.2 的规定放尽锅内存水，余热烘干锅炉。

表 4 停炉保护时间与联氨浓度关系

| 保护时间     | 联氨浓度      |
|----------|-----------|
| 小于一周     | 30mg/L    |
| 1 周~4 周  | 200mg/L   |
| 5 周~10 周 | 50mg/L×周数 |
| 大于 10 周  | 500mg/L   |

4.7.3 注意事项

- a) 停炉期间每小时测定给水、炉水 pH 值和联氨浓度；
- b) 在保证金属壁温差不超过制造厂允许值的前提下尽量提高放水压力和温度；
- c) 当锅炉停用时间长，可利用凝汽器抽真空系统，对锅炉抽真空，以保证锅炉干燥；

d) 在保护期间, 宜将凝结水精处理系统旁路。

#### 4.8 氨水碱化烘干法

##### 4.8.1 技术要点

给水采用加氨处理 (AVT (O)) 和加氧处理 (OT) 机组, 在机组停机前 4h, 停止给水加氨, 加大给水氨的加入量, 提高系统的 pH 值, 然后热炉放水, 余热烘干。

##### 4.8.2 保护方法

4.8.2.1 给水加氨处理机组, 在停机前 4h, 加大凝结水精处理出口加氨量, 提高省煤器入口给水 pH 值至 9.4~10.0。锅炉停运后, 按 4.1.2.1 和 4.1.2.2 的规定放尽锅内存水, 烘干锅炉。

4.8.2.2 给水加氧处理机组, 在停机前 4h, 停止给水加氨, 加大凝结水精处理出口加氨量, 提高省煤器入口给水 pH 值至 9.4~10.0。锅炉停运后, 按 4.1.2.1 和 4.1.2.2 的规定放尽锅内存水, 烘干锅炉。

##### 4.8.3 注意事项

- a) 停炉期间每小时测定给水、炉水和蒸汽的 pH 值;
- b) 在保证金属壁温差不超过制造厂允许值的前提下, 尽量提高放水压力和温度;
- c) 当锅炉停用时间长, 可利用凝汽器抽真空系统, 对锅炉抽真空, 以保证锅炉干燥;
- d) 在保护期间, 宜将凝结水精处理系统旁路。

#### 4.9 充氮法

##### 4.9.1 技术要点

充氮保护的原理是隔绝空气, 锅炉充氮保护有两种方式:

- a) 氮气覆盖法。锅炉停运后不放水, 用氮气来覆盖汽空间。锅炉压力降至 0.5MPa 时, 开始向锅炉充氮, 在锅炉冷却和保护过程中, 维持氮气压力在 0.03MPa~0.05MPa 范围内。
- b) 氮气密封法。锅炉停运后必须放水, 用氮气来密封水汽空间。锅炉压力降至 0.5MPa 时, 开始向锅炉充氮排水, 在排水和保护过程中, 保持氮气压力在 0.01MPa~0.03MPa 范围内。

##### 4.9.2 保护方法

4.9.2.1 短期停炉充氮方法。锅炉停炉后不换水、维持运行水质, 当过热器出口压力降至 0.5MPa 时, 关闭锅炉受热面所有疏水门、放水门和空气门, 打开锅炉受热面充氮门充入氮气, 在锅炉冷却和保护过程中, 维持氮气压力在 0.03MPa~0.05MPa 范围内。

4.9.2.2 给水采用加联氨处理的机组中、长期停炉充氮方法。锅炉停运后, 用给水更换炉水冷却。当锅炉压力降至 1.6MPa 时, 汽包炉利用炉水磷酸盐加药系统向锅炉加入 5mg/L~10mg/L 联氨, 直流炉利用给水加药系统加入 5mg/L~10mg/L 联氨。在锅炉压降至 0.5MPa 时, 关闭锅炉受热面所有疏水门、放水门和空气门, 打开锅炉受热面充氮门充入氮气, 在锅炉冷却和保护过程中, 维持氮气压力在 0.03MPa~0.05MPa 范围内。

4.9.2.3 给水加氨或加氧处理机组中、长期停炉充氮方法。锅炉停运后, 加大给水加氨量, 提高给水 pH 值至 9.4~10.0, 用给水置换炉水冷却。当锅炉压降至 0.5MPa 时, 停止换水, 关闭锅炉受热面所有疏水门、放水门和空气门, 打开锅炉受热面充氮门充入氮气, 在锅炉冷却和保护过程中, 维持氮气压力在 0.03MPa~0.05MPa 范围内。

4.9.2.4 锅炉停炉需要放水时的充氮方法。锅炉停运后, 用给水置换炉水冷却降压, 当锅炉压力降至 0.5MPa 时停止换水, 打开锅炉受热面充氮门充入氮气, 在保证氮气压力在 0.01MPa~0.03MPa 的前提下, 微开放水门或疏水门, 用氮气置换炉水和疏水。

当炉水、疏水排尽后, 检测排气氮气纯度, 大于 98% 后关闭所有疏水门和放水门。保护过程中, 维持氮气压力在 0.01MPa~0.03MPa 范围内。

##### 4.9.3 监督和注意事项

- a) 使用的氮气纯度以大于 99.5% 为宜, 最低不应小于 98%。
- b) 充氮保护过程中应定期监测氮气压力、纯度和水质, 压力为表压。

- c) 机组应安装专门的充氮系统, 配备足够量的氮气。锅炉受热面应设计多个充氮口, 充氮管道内径一般不小于 20mm, 管材宜采用不锈钢。
- d) 氮气系统减压阀出口压力应调整到 0.5MPa, 当锅炉汽压降至此值以下时, 氮气便可自动充入。
- e) 氮气不能维持人的生命, 所以实施充氮保护热力设备需要人进入工作时, 应先用空气彻底置换氮气, 并用合适的测试设备来分析需要进入的设备内部的大气成分, 以确保工作人员的生命安全。
- f) 当设备检修完后, 应重新进行充氮保护。

#### 4.10 氨水法与氨—联氨法

##### 4.10.1 技术要点

锅炉停运后, 放尽锅炉存水, 用氨溶液或氨—联氨溶液作为防锈蚀介质充满锅炉。

##### 4.10.2 保护方法

4.10.2.1 锅炉停运后, 压力降至锅炉规定放水压力时开启空气门、排汽门、疏水门和放水门, 放尽锅内存水。

4.10.2.2 氨水法用除盐水配制含氨量为 500mg/L~700mg/L 的保护液; 氨—联氨法用除盐水配制联氨含量至 200mg/L~300mg/L, 并用氨调整 pH 值至 10.0~10.5。

4.10.2.3 用专用保护液输送泵或电动给水泵将保护液先从过热器疏水管、减温水管或反冲洗管充入过热器, 过热器空气门见保护液后关闭, 由过热器充入的保护液量应是过热器容积的 1.5 倍~2.0 倍。

4.10.2.4 过热器内充满保护液后, 再经省煤器放水门和锅炉反冲洗同时向锅炉充保护液, 直至充满锅炉(汽包锅炉汽包水位至最高可见水位, 空气门见保护液; 直流锅炉分离器水位至最高可见水位, 最高处空气门见保护液)。

##### 4.10.3 注意事项

- a) 充保护液过程中, 每 2h 分析联氨浓度和 pH 值一次, 保护期间每天分析一次。
- b) 保护期间如发生汽包或分离器水位下降, 应及时补充保护液。必要时可向汽包、分离器或过热器出口充入氮气, 维持氮气压力在 0.03MPa~0.05MPa 范围内。
- c) 氨保护液对铜质部件有腐蚀作用, 使用时应有隔离铜质部件的措施。
- d) 过热器、再热器充保护液时, 应注意与汽轮机的隔离, 并考虑蒸汽管道的支吊。
- e) 保护结束后, 宜排空保护液, 再用合格的给水冲洗锅炉本体、过热器和再热器。
- f) 保护液必须经过处理至符合排放标准后才能排放。

#### 4.11 蒸汽压力法

##### 4.11.1 技术要点

锅炉短时间停运, 炉水水质维持运行水质, 用炉膛余热、引入邻炉蒸汽加热或间断点火方式以维持锅炉压力在 0.4MPa~0.6MPa 范围内, 锅炉处于热备用状态。

##### 4.11.2 保护方法

4.11.2.1 停炉后, 关闭炉膛各挡板、炉门、各放水门和取样门, 减少炉膛热量散失。

4.11.2.2 中压汽包锅炉自然降压至 1MPa, 高压及其以上汽包锅炉自然降压至 2MPa 时, 进行一次锅炉底部排污, 排污时间可为 0.5h~1h, 排污时应及时补充给水以维持汽包水位不变。

4.11.2.3 利用炉膛余热、引入邻炉蒸汽加热或间断点火方式维持锅炉压力在 0.4MPa~0.6MPa 范围内。

##### 4.11.3 注意事项

- a) 锅炉在热备用期间应始终监督其压力, 并使之符合控制标准(见附录 A);
- b) 汽包锅炉应保持汽包水位。

#### 4.12 给水压力法

##### 4.12.1 技术要点

锅炉停运后, 用符合运行水质要求的给水充满锅炉, 并保持一定的压力及溢流量, 以防止空气漏入。

#### 4.12.2 保护方法

4.12.2.1 汽包锅炉停运后，保持汽包内最高可见水位，自然降压至给水温度对应的饱和蒸汽压力时，用符合运行水质要求的给水质换炉水。炉水磷酸盐处理的锅炉，当炉水的磷酸根小于  $1\text{mg/L}$ ，水质澄清时，停止换水。

4.12.2.2 直流锅炉停运后，加大给水加氨量提高给水 pH 值到 9.2~9.6。

4.12.2.3 当过热器壁温低于给水温度时，开启锅炉最高点空气门，由过热器减温水管或反冲洗管充入给水，至空气门溢流后关闭空气门。在保持锅炉压力为  $0.5\text{MPa} \sim 1.0\text{MPa}$  条件下，使给水从饱和蒸汽取样器处溢流。溢流量控制在  $50\text{L/h} \sim 200\text{L/h}$  的范围内。

#### 4.12.3 注意事项

锅炉在防锈蚀保护期间，应定期对给水品质和锅炉压力进行监督，使其符合控制标准。

#### 4.13 成膜胺法

##### 4.13.1 技术要点

机组滑参数停机过程中，当锅炉压力、温度降至合适条件时，向热力系统加入成膜胺（一种长链有机胺类物质，如十八胺、咪唑啉等），在热力设备内表面形成一层单分子或多分子的憎水保护膜，从而达到阻止金属腐蚀的目的。

#### 4.13.2 保护方法

##### 4.13.2.1 汽包锅炉保护方法

a) 单元制机组汽包锅炉保护方法：停炉前，应停止向炉水加磷酸盐，并停止向给水加联氨。在机组滑参数停机过程中，主蒸汽温度降至  $500^\circ\text{C}$  以下时，利用锅炉磷酸盐加药泵、给水加药泵或专门的加药泵向热力系统加入成膜胺。锅炉停运后，按 4.1.2.1 和 4.1.2.2 的规定放尽锅内存水。

b) 母管制机组汽包锅炉保护方法：停炉前，应停止向炉水加磷酸盐。停炉后，汽包压力降至  $2\text{MPa} \sim 3\text{MPa}$  时，降低汽包水位至最低允许水位后，再小流量补水，并从省煤器入口处加入成膜胺，加药、补水和锅炉底部放水同步进行。加药完毕后开大过热器对空排汽门，让成膜胺充满过热器。锅炉停运后，按 4.1.2.1 和 4.1.2.2 的规定放尽锅内存水。

##### 4.13.2.2 直流锅炉保护方法

直流锅炉停炉前，停止向给水加联氨，调节给水加氨量使省煤器入口给水 pH 值为 9.2~9.6。机组滑参数停机过程中，主蒸汽温度降至  $500^\circ\text{C}$  以下时，利用给水加药泵或专门的加药泵向热力系统加入成膜胺。锅炉停运后，按 4.1.2.1 和 4.1.2.2 的规定放尽锅内存水。

#### 4.13.3 注意事项

a) 确定使用成膜胺前，应充分考虑成膜胺及其分解产物对机组运行水汽品质、精处理树脂可能造成的影响。

b) 给水采用加氧处理的机组不宜使用成膜胺。

c) 有凝结水精处理的机组，开始加成膜胺前，凝结水精处理系统应该退出运行；实施成膜胺保护后，机组启动时，只有确认凝结水不含成膜胺后，方可投运凝结水精处理系统。

d) 实施成膜胺保护前，应将一些不必要的化学仪表（溶解氧表、硅表、钠表、联氨表和磷酸根表）隔离。

e) 实施成膜胺保护过程中，每 30min 监测一次水汽的 pH 值、电导率和氢电导率，每 1h 测定一次水汽中的铁、铜含量。

f) 实施成膜胺保护过程中，应保证炉水或分离器出水 pH 值大于 9.0，如果预计成膜胺会造成 pH 值降低时，汽包锅炉应提前向炉水加入适量的氢氧化钠，直流锅炉应提前加大给水加氨量，提高 pH 值至 9.2~9.6。

g) 实施成膜胺保护时，停机和启动过程中给水、炉水、蒸汽的氢电导率会出现异常升高现象。

h) 实施成膜胺保护时，停机和启动过程中热力系统含铁量有时会升高，可能会发生热力系统取样

和仪表管堵塞现象。

- i) 成膜胺加完后, 加药箱应立即用除盐水冲洗, 并继续运行加药泵 30min~60min, 充分冲洗加药管道。
- j) 热力系统使用成膜胺保护后, 应该确认凝结水不含成膜胺, 才能作为发电机冷却水的补充水。
- k) 使用成膜胺保护后, 应放空凝汽器热井; 在汽轮机冲转后应加强排放。
- l) 在使用成膜胺过程中, 如果出现异常停机, 应立即停止加药, 并充分冲洗系统。
- m) 成膜胺加药后, 应保持有足够的给水流量和循环时间, 以防止成膜胺在局部发生沉积。

## 5 停(备)用汽轮机的防锈蚀方法

### 5.1 机组停用时间在一周之内的保护方法

#### 5.1.1 凝汽器真空能维持的保护措施

机组停用时, 维持凝汽器汽侧真空度, 提供汽轮机轴封蒸汽, 防止空气进入汽轮机。

#### 5.1.2 凝汽器真空不能维持的保护措施

5.1.2.1 隔绝一切可能进入汽轮机内部的汽、水系统并开启汽轮机本体疏水阀。

5.1.2.2 隔绝与公用系统连接的有关汽、水阀门, 并放尽其内部剩余的水、汽。

5.1.2.3 主蒸汽管道、再热蒸汽管道、抽汽管道、旁路系统靠汽轮机侧的所有疏水阀门均应打开。

5.1.2.4 放尽凝汽器热井内部的积水。

5.1.2.5 有条件时, 高、低压加热器汽侧和除氧器汽侧进行充氮, 否则放尽高、低压加热器汽侧疏水。

5.1.2.6 高、低压加热器和除氧器水侧充满运行水质的给水。

5.1.2.7 给水泵汽轮机的有关疏水阀门打开。

5.1.2.8 注意监视汽轮机房污水排放系统是否正常, 防止凝汽器阀门坑满水。

5.1.2.9 汽轮机停机期间应保证其上、下缸, 内、外缸的温差不超标。

5.1.2.10 冬季机组停运, 应有可靠的防冻措施。

### 5.2 机组停用时间超过一周的保护方法

#### 5.2.1 压缩空气法(汽轮机快冷装置保护法)

##### 5.2.1.1 技术要点

汽轮机停运后, 启动汽轮机快冷装置, 向汽缸通热压缩空气, 在汽缸降温的同时, 干燥汽缸。

##### 5.2.1.2 保护方法

5.2.1.2.1 汽轮机停止进汽后, 加强汽轮机本体疏水, 当汽缸温度降低至允许通热风时, 启动汽轮机快冷装置, 加快汽缸冷却并保持汽缸干燥。

5.2.1.2.2 汽轮机高、中、低压缸可按表 5 所示注入点向汽缸充入一定量的压缩空气。

5.2.1.2.3 注入汽缸内的压缩空气经过轴封装置, 高、中压缸调节阀的疏水管, 汽轮机本体疏水管, 以及凝汽器汽侧人孔和放水门排出。

表 5 汽轮机停(备)用压缩空气保护充气点和量

| 部 位 | 充 气 点 | 压缩空气参考流量<br>m <sup>3</sup> /h |
|-----|-------|-------------------------------|
| 高压缸 | 放气管   | 70                            |
| 中压缸 | 抽气管   | 70                            |
| 低压缸 | 抽气管   | 260                           |

### 5.2.1.3 注意事项

- a) 保护期间定期用相对湿度计测定汽轮机排出空气的相对湿度，应小于 50%。
- b) 所使用的压缩空气应是仪用压缩空气，或纯度应满足：杂质含量小于  $1\text{mg}/\text{m}^3$ ，含油量小于  $2\text{mg}/\text{m}^3$ ，相对湿度小于 30% 的压缩空气。
- c) 汽轮机压缩空气充入点应装有滤网。

## 5.2.2 热风干燥法

### 5.2.2.1 技术要点

停机后，放尽与汽轮机本体连同管道内的余汽、存水。当汽缸温度降至一定值后，向汽缸内送入热风，使汽缸内保持干燥。

### 5.2.2.2 保护方法

5.2.2.2.1 停机后，按规程规定，关闭与汽轮机本体有关的汽管道上的阀门。阀门不严时，应加装堵板，防止汽水进入汽轮机。

5.2.2.2.2 开启各抽汽管道、疏水管道和进气管道上的疏水门，放尽余汽或疏水。

5.2.2.2.3 放尽凝汽器热水井内和凝结水泵入口管道内的存水。

5.2.2.2.4 当汽缸壁温度降至  $80^\circ\text{C}$  以下时，从汽缸顶部的导汽管或低压缸的抽汽管，向汽缸送温度为  $50^\circ\text{C}\sim 80^\circ\text{C}$  的热风。

5.2.2.2.5 热风流经汽缸内各部件表面后，从轴封、真空破坏门、凝汽器人孔门等处排出。

5.2.2.2.6 当排出热风湿度低于 70%（室温值）时，若停止送入热风，则应在汽缸内放入干燥剂，并封闭汽轮机本体。如不放干燥剂，应保持排气处空气的温度高于周围环境温度（室温） $5^\circ\text{C}$ 。

### 5.2.2.3 注意事项

- a) 在干燥过程中，应定时测定从汽缸排出气体的相对湿度（按湿度计法或附录 B、附录 C 规定的测定方法），并通过调整送入热风风量和温度来控制由汽缸排出空气的相对湿度，使之尽快符合控制标准（见附录 A）；
- b) 汽缸内风压宜小于  $0.04\text{MPa}$ 。

## 5.2.3 干风干燥法

### 5.2.3.1 技术要点

停机后，放尽汽轮机本体及相关管道、设备内的余汽和积水。当汽缸温度降至一定值后，向汽缸内送入干风，使汽缸内保持干燥。

### 5.2.3.2 保护方法

5.2.3.2.1 停机后，按规程规定，关闭与汽轮机本体有关的汽管道上的阀门。阀门不严时，应加装堵板，防止汽水进入汽轮机。

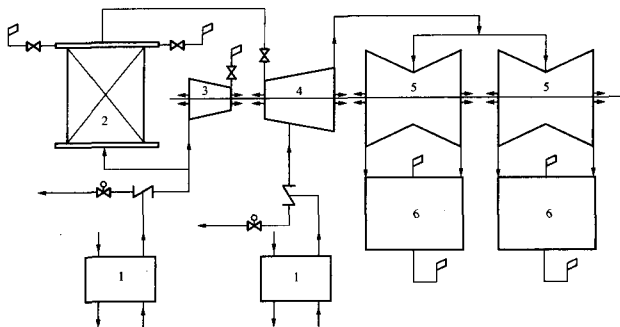
5.2.3.2.2 开启各抽汽管道、疏水管道和进汽管道上的疏水门，放尽余汽或疏水。

5.2.3.2.3 放尽凝汽器热水井内和凝结水泵入口管道内的存水。

5.2.3.2.4 当汽缸壁温度降至  $100^\circ\text{C}$  以下时，参考图 5 或图 8 的方式向汽缸通干风，当设备排出口空气的相对湿度在 30%~50% 时，即为合格。

### 5.2.3.3 注意事项

- a) 在干燥和保护过程中，应定时用湿度计测定排气的相对湿度，当相对湿度超过 50% 时启动除湿机；
- b) 根据每小时置换汽缸内空气 5 次~10 次的要求选择除湿机的容量，除湿机所提供的风压应为  $150\text{Pa}\sim 500\text{Pa}$ ；
- c) 汽轮机除湿系统可设计成开路或循环方式；
- d) 为了简化临时系统，可以选择多台除湿机；
- e) 每台机组预留专用干风接口，除湿机为多台机组共用。



1—除湿机；2—再热器；3—高压缸；4—中压缸；5—低压缸；6—凝汽器

图8 汽轮机、再热器、凝汽器干风保护参考流程示意

## 5.2.4 干燥剂去湿法

### 5.2.4.1 技术要点

停运后的汽轮机，经热风干燥法干燥至汽轮机排气相对湿度（室温值）达到控制标准后，停送热风。然后向汽缸内放置干燥剂，封闭汽轮机，使汽缸内保持干燥状态。

### 5.2.4.2 保护方法

5.2.4.2.1 按 5.2.2.2 的规定先对汽轮机进行热风干燥，当汽轮机的排气相对湿度达到 70% 时，停送热风。

5.2.4.2.2 将用纱布袋包装好的变色硅胶按  $2\text{kg}/\text{m}^3$  计算需用数量，从排汽缸安全门稳妥地放入凝汽器的上部后，封闭汽轮机。

### 5.2.4.3 注意事项

- 本法适用于周围环境湿度较低（大气湿度不高于 70%）、汽缸内无积水的封存汽轮机防锈蚀保护；
- 应定期检查硅胶的吸湿情况，发现硅胶变色（即失效）要及时更换；
- 要记录放入汽缸内硅胶的袋数，解除防锈保护时，必须如数将硅胶取出。

## 5.2.5 成膜胺保护法

汽轮机停用的成膜胺保护与锅炉的停用成膜胺保护同时进行。

## 6 停（备）用高压加热器的防锈蚀方法

### 6.1 充氮法

#### 6.1.1 技术要点

高压加热器停运后，当水侧或汽侧压力降至  $0.5\text{MPa}$  时开始进行充氮。保护过程中维持氮气压力在  $0.03\text{MPa}\sim 0.05\text{MPa}$  范围内，阻止空气进入。

#### 6.1.2 保护方法

##### 6.1.2.1 水侧充氮

停机后，关闭高压加热器的进水门和出水门。开启水侧空气门泄压至  $0.5\text{MPa}$  后，开始充氮。当需要放水时，微开底部放水门，缓慢排尽存水后，关闭放水门，放水及保护过程中维持氮气压力在  $0.01\text{MPa}\sim 0.03\text{MPa}$  范围内；当不需要放水时，维持氮气压力在  $0.03\text{MPa}\sim 0.05\text{MPa}$  范围内。

##### 6.1.2.2 汽侧充氮

停机后，关闭高压加热器汽侧进汽门和疏水门，待汽侧压力降至  $0.5\text{MPa}$  时，开始充氮气。需要放

水时，微开底部放水门，缓慢排尽存水后关闭放水门，放水及保护过程中维持氮气压力在 0.01MPa~0.03MPa 范围内；当不需要放水时，维持氮气压力在 0.03MPa~0.05MPa 范围内。

### 6.1.3 监督和注意事项

- 使用的氮气纯度以大于 99.5% 为宜，最低不应小于 98%；
- 充氮保护过程中应定期监测氮气压力、纯度和水质，压力为表压；
- 应安装专门的充氮系统，配备足够量的氮气；
- 氮气不能维持人的生命，所以实施充氮保护的高压加热器需要人进入工作时，必须先用空气彻底置换氮气，并用合适的测试设备来分析需要进入的高压加热器的大气成分，以确保工作人员的生命安全；
- 当设备检修完后，重新进行充氮保护。

## 6.2 氨—联氨法

### 6.2.1 技术要点

停机后，放去水侧（或汽侧）存水，用氨—联氨剂溶液充满高压加热器的水侧（或汽侧）进行防锈蚀保护。

### 6.2.2 保护方法

6.2.2.1 停机后，汽侧压力降至零，水侧温度降至 100℃ 时，开启水侧（或汽侧）放水门和空气门，放去水侧存水（或汽侧疏水）。

6.2.2.2 用加药泵将联氨含量为 30mg/L~500mg/L（加氨调整 pH 值为 10.0~10.5）的溶液，从底部水侧（或汽侧）放水门充入高压加热器的水侧（或汽侧），至水侧管系顶部（汽侧顶部）空气门有药液溢流时，关闭空气门和放水门，停止加药。为防止空气漏入，高压加热器顶部应采用水封或氮气封闭措施。

### 6.2.3 注意事项

- 充保护液过程中，每 2h 分析联氨浓度和 pH 值一次，保护期间每 48h 分析一次。
- 保护期间如发生高压加热器水位下降，应及时补充保护液。必要时可向汽侧或水侧充入氮气，维持氮气压力在 0.03MPa~0.05MPa 范围内。
- 汽侧充联氨时，应打开各加热器汽侧空气门，并有保护液不会经过抽汽系统进入汽轮机本体的措施。
- 保护结束后，先将保护液排空，再用合格的给水冲洗高压加热器汽侧和水侧。
- 高压加热器采用充联氨防锈蚀保护时，应设置一套专用设备系统。

## 6.3 氨水法

加氨或加氧处理机组，机组停运前加大凝结水精处理出口加氨量，提高给水 pH 值至 9.4~10.0，停机后不放水，有条件时，向汽侧和水侧充氮密封。

## 6.4 干风干燥法

高压加热器停用的干风干燥保护与汽轮机停用干风干燥保护同时进行。

## 6.5 成膜胺法

高压加热器停用的成膜胺保护与锅炉的停用成膜胺保护同时进行。

## 7 停（备）用低压加热器的防锈蚀方法

### 7.1 碳钢和不锈钢材质低压加热器的防锈蚀方法

碳钢和不锈钢材质低压加热器停（备）用时，其保护方法可参见高压加热器的保护方法。当低压加热器汽侧与汽轮机、凝汽器无法隔离时，无法充氮或充保护液，其保护方法应纳入汽轮机保护系统中。

### 7.2 铜合金低压加热器的防锈蚀方法

铜合金材质低压加热器停（备）用时，水侧应保持还原性环境，以防止铜合金的腐蚀和铜腐蚀产物的转移。

湿法保护时, 将联氨含量为  $5\text{mg/L} \sim 10\text{mg/L}$ 、pH 值为  $8.8 \sim 9.2$  的溶液充满低压加热器, 同时辅以充氮密封, 保持氮气压力在  $0.03\text{MPa} \sim 0.05\text{MPa}$  范围内。

干法保护时, 可参考汽轮机干风干燥法, 保持低压加热器水、汽侧处于干燥状态; 也可以考虑用氮气或压缩空气吹干法保护。

低压加热器停用的成膜胺保护与锅炉的停用成膜胺保护同时进行。

## 8 停(备)用除氧器的防腐蚀方法

### 8.1 机组停运时间在一周之内

当机组停运时间在一周之内, 并且除氧器不需要放水时, 除氧器宜采用热备用, 向除氧器水箱通辅助蒸汽, 定期启动除氧器循环泵, 维持除氧器水温高于  $105^{\circ}\text{C}$ 。

对短期停运, 并且需要放水的除氧器, 可在停运放水前, 适当加大凝结水加氨量提高除氧器水的 pH 值至  $9.4 \sim 10.0$ 。

### 8.2 机组停用时间在一周以上

当机组停用时间在一周以上时, 可用下列方法保护:

- a) 充氮保护;
- b) 水箱充保护液, 充氮密封;
- c) 通干风干燥;
- d) 成膜胺法。

## 9 停(备)用凝汽器的防腐蚀方法

### 9.1 凝汽器汽侧

短期(一周之内)停用时, 应保持真空。不能保持真空时, 应放尽热井积水。

长期停用时, 应放尽热井积水, 隔离可能的疏水, 并清理热井及底部的腐蚀产物和杂物, 然后用压缩空气吹干, 或将其纳入汽轮机干风保护系统之中。

### 9.2 凝汽器循环水侧

#### 9.2.1 停用三天以内

凝汽器循环水侧宜保持运行状态, 当水室有检修工作时可将凝汽器排空, 并打开人孔, 保持自然通风状态。

#### 9.2.2 停用三天以上

宜将凝汽器排空, 清理附着物, 并保持通风干燥状态。

#### 9.2.3 注意事项

- a) 在循环水泵停运之前, 应投运凝汽器胶球清洗装置, 清洗凝汽器管;
- b) 在夏季循环水泵停运的前 8h, 应进行一次杀菌灭藻处理。

## 10 停(备)用闭式冷却器、轴冷器、冷油器和发电机内冷水系统的防腐蚀方法

### 10.1 机组短期停运时, 维持运行状态。

### 10.2 与循环水接触的换热器停用防腐蚀方法参见凝汽器水侧的停用防腐蚀方法。

### 10.3 发电机内冷水系统长期停用时, 应放尽内部存水后, 用仪用压缩空气吹干、干风干燥、充氮保护等方法进行保护。

## 11 停(备)用锅炉烟气侧的防腐蚀方法

### 11.1 燃煤锅炉停运前应对所有的受热面进行一次全面彻底的吹灰。

### 11.2 锅炉停运冷却后, 应及时对炉膛进行吹扫、通风, 以排除残余的烟气。

11.3 锅炉长期停（备）用时，应将烟道内受热面的积灰清除，防止在受热面堆积的积灰因吸收空气中的水分而产生酸性腐蚀。积灰清除后，应采取措施保持受热面金属的温度在露点温度以上。

11.4 海滨电厂和联合循环余热锅炉长期停（备）用可安装干风系统对炉膛进行干燥，干风装置容量以每小时置换炉膛内空气 1 次～3 次为宜。

附 录 A  
(规范性附录)

各种防锈蚀方法的监督项目和控制标准

各种防锈蚀方法的监督项目和控制标准见表 A.1。

表 A.1 各种防锈蚀方法的监督项目和控制标准

| 防锈蚀方法     | 监督项目    | 控制标准                           | 监测方法或仪器                        | 取样部位            | 其他                                            |
|-----------|---------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|
| 热炉放水余热烘干法 | 相对湿度    | <70%或不大于环境相对湿度                 | 干湿球温度计法<br>(参见附录 B、附录 C)、相对湿度计 | 空气门、疏水门、放水门     | 烘干过程每小时测定 1 次，停(备)用期间每周 1 次                   |
| 负压余热烘干法   | 相对湿度    |                                |                                |                 |                                               |
| 邻炉热风烘干法   | 相对湿度    |                                |                                |                 |                                               |
| 干风干燥法     | 相对湿度    | <50%                           | 相对湿度计                          | 排气门             | 干燥过程每小时测定 1 次，停(备)用期间每 48h 测定 1 次             |
| 热风吹干法     | 相对湿度    | 不大于环境相对湿度                      | 干湿球温度计法<br>(参见附录 B、附录 C)、相对湿度计 | 排气门             | 干燥过程每小时测定 1 次，停(备)用期间每周 1 次                   |
| 气相缓蚀剂法    | 缓蚀剂浓度   | >30g/m <sup>3</sup>            | 参见附录 D                         | 空气门、疏水门、放水门、取样门 | 充气过程每小时测定 1 次，停(备)用期间每周 1 次                   |
| 氨、联氨钝化烘干法 | pH、联氨   |                                | GB/T 6904、GB/T 6906            | 水、汽取样           | 停炉期间每小时测定 1 次                                 |
| 氨碱化烘干法    | pH      |                                | GB/T 6904                      | 水、汽取样           | 停炉期间每小时测定 1 次                                 |
| 充氮覆盖法     | 压力、氮气纯度 | 0.03MPa~0.05MPa;<br>>98%       | 气相色谱仪或氧量仪                      | 空气门、疏水门、放水门、取样门 | 充氮过程中每小时记录 1 次氮压，充氮结束测定排气氮气纯度，停(备)用期间每班记录 1 次 |
| 充氮密封法     | 压力、氮气纯度 | 0.01MPa~0.03MPa;<br>>98%       |                                |                 |                                               |
| 氨水法       | 氨含量     | 500mg/L~700mg/L                | GB/T 12146                     | 水、汽取样           | 充氨液时每 2h 测定 1 次，保护期间每天分析 1 次                  |
| 氨—联氨法     | pH、联氨含量 | pH 值 10.0~10.5; 联氨<br>≥200mg/L | GB/T 6904、GB/T 6906            | 水、汽取样           | 充氨—联氨溶液时每 2h 测定 1 次，保护期间每天分析 1 次              |

表 A.1 (续)

| 防锈蚀方法 | 监督项目            | 控制标准                                     | 监测方法或仪器                    | 取样部位  | 其他                             |
|-------|-----------------|------------------------------------------|----------------------------|-------|--------------------------------|
| 成膜胺法  | pH、成膜胺含量        | pH 值 9.0~9.6; 成膜胺使用量由供应商提供               | GB/T 6906; 成膜胺含量测定方法由供应商提供 | 水、汽取样 | 停机过程测定                         |
| 蒸汽压力法 | 压力              | >0.5MPa                                  | 压力表                        | 锅炉出口  | 每班记录 1 次                       |
| 给水压力法 | 压力, pH、溶解氧、氢电导率 | 压力值为 0.5MPa ~ 1.0MPa; 满足运行 pH、溶解氧、氢电导率要求 | 压力表、GB/T 6904、GB/T 6906    | 水、汽取样 | 每班记录 1 次压力, 分析 1 次 pH、溶解氧、氢电导率 |

## 附录 B

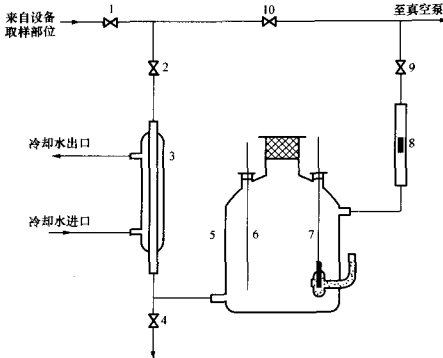
(资料性附录)

## 气体湿度的测定方法(干湿球温度计法)

用专用真空泵,参照图 B.1 并按附录 A 所规定的取样部位,从锅炉或汽轮机内抽取气体。气体经冷却器冷却至室温,再导入湿度测量瓶。测量瓶内并列插入两支普通水银球温度计。一支温度计靠近气体入口端(称为干球温度计),另一支温度计靠近气体出口端(称为湿球温度计)。靠近出口端的温度计水银球,用一块薄棉纱布包扎,纱布的末端浸入盛有水的玻璃器皿内。当水蒸发时,包棉纱布的温度计球即被冷却,此时这支湿球温度计所指示的温度,将低于并列一侧干球温度计所指示的温度。被测气体湿度越低,纱布湿套水分蒸发越快,水银球被冷却越低,两支温度计所指示的温度差也越大。在水蒸气饱和的大气中,纱布湿套的水分不再蒸发,两支温度计所指示的温度也相同。根据干球温度计和湿球温度计的读数,在附录 C 给出的温湿换算表中,可查得气体的相对湿度。

在抽气取样时,用真空泵从锅炉或汽轮机内抽出的空气,按图 B.1 所示的气体湿度测定系统,先流经旁路,以置换掉抽气管路内原存的空气。经 3min~5min 后,微开测量管路的进气门和出气门,并调整阀门开度,使抽出气体流经测量瓶的流量控制在 2L/min~3L/min 的范围内。向冷却器内通入冷却水,调整冷却水流量,使气体进入测量瓶内后,干球温度计所指示的温度尽量等于或接近周围环境温度,同时记录湿球温度计值。根据两支温度计所指示的温度差,在附录 C 中查得的数值即为设备冷却后,内部空气的相对湿度。

当周围环境湿度较高(如相对湿度大于 70% 时),备用锅炉采用邻炉热风干燥法进行防锈蚀保护,或备用汽轮机采用热风干燥法进行防锈蚀保护,或干风干燥时,在测定湿度时不须投用冷却器,直接在附录 C 中查得的数值,即为烘干保护过程中设备内部的空气湿度。



1—截止门; 2—进气门; 3—气体冷却器; 4—疏水门; 5—湿度测量瓶; 6—干球温度计;  
7—湿球温度计; 8—气体流量计; 9—出气门; 10—旁路门

图 B.1 气体湿度测定系统示意

## 附录 C

(资料性附录)

## 气体温度相对湿度换算表

气体温度相对湿度换算表见表 C.1。

表 C.1 气体温度相对湿度换算表

| 干球<br>温度<br>℃ | 干湿球温度差<br>℃ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|               | 1           | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 1             | 81          | 64 | 46 | 29 | 13 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2             | 81          | 64 | 47 | 30 | 14 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3             | 81          | 65 | 47 | 31 | 16 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4             | 81          | 65 | 48 | 32 | 18 | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 5             | 82          | 65 | 48 | 33 | 20 | 5  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6             | 82          | 66 | 49 | 33 | 22 | 6  | 5  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 7             | 82          | 66 | 49 | 33 | 23 | 7  | 6  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8             | 82          | 66 | 50 | 33 | 24 | 8  | 7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 9             | 83          | 67 | 50 | 35 | 26 | 9  | 8  | 7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 10            | 83          | 67 | 51 | 36 | 28 | 11 | 9  | 8  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 11            | 84          | 68 | 52 | 37 | 30 | 12 | 10 | 9  | 8  | 6  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12            | 84          | 68 | 52 | 38 | 32 | 13 | 11 | 10 | 9  | 7  | 6  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13            | 84          | 69 | 53 | 40 | 33 | 15 | 12 | 11 | 10 | 8  | 7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 14            | 84          | 69 | 53 | 41 | 35 | 17 | 14 | 12 | 11 | 9  | 8  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 15            | 85          | 70 | 54 | 42 | 36 | 19 | 16 | 14 | 12 | 10 | 9  | 7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16            | 85          | 70 | 55 | 43 | 37 | 20 | 18 | 16 | 13 | 11 | 10 | 8  | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 17            | 86          | 71 | 56 | 44 | 38 | 22 | 20 | 18 | 15 | 12 | 11 | 9  | 5  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18            | 86          | 71 | 57 | 45 | 40 | 24 | 22 | 20 | 17 | 15 | 12 | 10 | 6  | 5  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 19            | 87          | 72 | 58 | 46 | 41 | 26 | 24 | 22 | 19 | 17 | 13 | 11 | 7  | 6  | 5  |    |    |    |    |    |    |    |
| 20            | 87          | 72 | 59 | 47 | 42 | 28 | 26 | 24 | 20 | 18 | 15 | 12 | 8  | 7  | 6  |    |    |    |    |    |    |    |
| 21            | 87          | 73 | 60 | 48 | 43 | 30 | 28 | 26 | 22 | 19 | 17 | 14 | 9  | 8  | 7  |    |    |    |    |    |    |    |
| 22            | 88          | 74 | 61 | 50 | 44 | 32 | 30 | 28 | 23 | 20 | 18 | 16 | 10 | 9  | 8  | 5  |    |    |    |    |    |    |
| 23            | 88          | 74 | 62 | 51 | 45 | 34 | 32 | 30 | 25 | 22 | 19 | 18 | 12 | 10 | 9  | 6  | 4  |    |    |    |    |    |
| 24            | 88          | 75 | 63 | 52 | 46 | 36 | 33 | 31 | 26 | 24 | 21 | 19 | 14 | 11 | 10 | 8  | 5  | 3  |    |    |    |    |
| 25            | 89          | 76 | 64 | 53 | 47 | 36 | 34 | 33 | 28 | 25 | 22 | 20 | 16 | 12 | 11 | 9  | 6  | 4  |    |    |    |    |
| 26            | 90          | 77 | 65 | 55 | 48 | 38 | 36 | 35 | 30 | 26 | 23 | 21 | 18 | 13 | 12 | 11 | 7  | 5  | 2  |    |    |    |
| 27            | 90          | 77 | 66 | 56 | 50 | 39 | 38 | 37 | 32 | 27 | 24 | 22 | 20 | 14 | 13 | 12 | 8  | 6  | 3  |    |    |    |
| 28            | 90          | 78 | 67 | 58 | 51 | 40 | 39 | 38 | 33 | 28 | 25 | 23 | 21 | 16 | 14 | 13 | 9  | 7  | 4  |    |    |    |
| 29            | 91          | 79 | 68 | 59 | 52 | 41 | 40 | 39 | 34 | 29 | 26 | 24 | 22 | 18 | 15 | 14 | 10 | 8  | 5  | 1  |    |    |
| 30            | 91          | 80 | 69 | 60 | 54 | 42 | 41 | 40 | 35 | 30 | 27 | 25 | 23 | 19 | 16 | 15 | 11 | 9  | 6  | 2  |    |    |

表 C.1 (续)

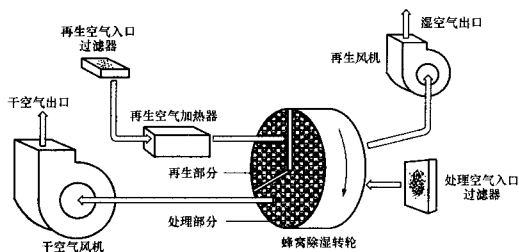
| 干球<br>温度<br>℃ | 干湿球温度差<br>℃ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|               | 1           | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 31            | 91          | 81 | 71 | 61 | 55 | 43 | 42 | 41 | 37 | 31 | 28 | 26 | 24 | 21 | 17 | 16 | 12 | 10 | 7  | 3  |    |    |
| 32            | 92          | 82 | 72 | 62 | 56 | 44 | 43 | 42 | 38 | 32 | 29 | 27 | 25 | 22 | 18 | 17 | 13 | 11 | 8  | 4  | 2  |    |
| 33            | 92          | 82 | 73 | 63 | 58 | 46 | 45 | 43 | 39 | 33 | 30 | 28 | 26 | 23 | 19 | 18 | 14 | 12 | 9  | 5  | 3  | 1  |
| 34            | 92          | 83 | 74 | 64 | 59 | 48 | 46 | 44 | 40 | 34 | 31 | 29 | 27 | 24 | 20 | 19 | 15 | 13 | 10 | 6  | 4  | 2  |
| 35            | 92          | 83 | 75 | 64 | 60 | 50 | 48 | 45 | 41 | 35 | 32 | 30 | 28 | 25 | 21 | 20 | 16 | 14 | 11 | 7  | 5  | 3  |
| 36            | 93          | 84 | 76 | 66 | 61 | 51 | 49 | 46 | 42 | 37 | 33 | 31 | 29 | 26 | 22 | 21 | 17 | 15 | 12 | 8  | 6  | 4  |
| 37            | 93          | 84 | 77 | 67 | 62 | 52 | 50 | 47 | 43 | 38 | 35 | 32 | 30 | 27 | 23 | 22 | 18 | 16 | 13 | 9  | 7  | 5  |
| 38            | 93          | 85 | 78 | 68 | 63 | 53 | 51 | 48 | 45 | 39 | 36 | 33 | 31 | 28 | 24 | 23 | 19 | 17 | 14 | 10 | 8  | 6  |
| 39            | 93          | 85 | 79 | 69 | 64 | 54 | 52 | 49 | 46 | 40 | 38 | 34 | 32 | 29 | 25 | 24 | 20 | 18 | 15 | 11 | 9  | 7  |
| 40            | 93          | 85 | 80 | 70 | 65 | 56 | 53 | 50 | 48 | 41 | 39 | 35 | 33 | 30 | 26 | 25 | 21 | 19 | 16 | 12 | 10 | 8  |
| 41            | 94          | 86 | 81 | 71 | 66 | 58 | 55 | 51 | 49 | 42 | 40 | 36 | 34 | 31 | 27 | 26 | 22 | 20 | 17 | 13 | 11 | 9  |
| 42            | 94          | 86 | 82 | 72 | 67 | 60 | 57 | 52 | 50 | 43 | 41 | 37 | 35 | 32 | 28 | 27 | 23 | 21 | 18 | 15 | 12 | 10 |
| 43            | 94          | 87 | 82 | 73 | 68 | 61 | 59 | 53 | 51 | 45 | 42 | 38 | 36 | 33 | 29 | 28 | 24 | 22 | 19 | 16 | 13 | 11 |
| 44            | 94          | 87 | 83 | 74 | 69 | 62 | 60 | 54 | 52 | 46 | 43 | 39 | 37 | 34 | 30 | 29 | 25 | 23 | 20 | 17 | 14 | 12 |
| 45            | 94          | 88 | 83 | 74 | 70 | 63 | 61 | 55 | 53 | 48 | 45 | 40 | 38 | 35 | 32 | 30 | 26 | 24 | 21 | 18 | 15 | 13 |
| 46            | 95          | 88 | 84 | 75 | 71 | 64 | 62 | 56 | 54 | 50 | 46 | 42 | 39 | 36 | 33 | 31 | 27 | 25 | 22 | 19 | 16 | 14 |
| 47            | 95          | 88 | 85 | 76 | 72 | 66 | 63 | 58 | 55 | 51 | 47 | 43 | 40 | 37 | 34 | 32 | 28 | 26 | 23 | 20 | 17 | 15 |
| 48            | 95          | 89 | 85 | 76 | 73 | 67 | 64 | 60 | 56 | 52 | 48 | 45 | 41 | 38 | 35 | 33 | 29 | 27 | 24 | 21 | 18 | 16 |
| 49            | 95          | 89 | 85 | 79 | 74 | 69 | 65 | 61 | 57 | 53 | 49 | 46 | 42 | 39 | 36 | 34 | 30 | 28 | 25 | 22 | 19 | 17 |
| 50            | 95          | 89 | 85 | 79 | 75 | 70 | 66 | 62 | 58 | 54 | 50 | 47 | 43 | 40 | 37 | 35 | 31 | 29 | 26 | 23 | 20 | 18 |
| 51            | 95          | 89 | 85 | 80 | 75 | 71 | 66 | 62 | 59 | 54 | 50 | 47 | 44 | 41 | 38 | 36 | 32 | 30 | 26 | 24 | 21 | 19 |
| 52            | 95          | 89 | 85 | 80 | 75 | 71 | 66 | 62 | 59 | 54 | 50 | 47 | 44 | 41 | 38 | 36 | 32 | 30 | 26 | 24 | 21 | 19 |
| 53            | 95          | 89 | 85 | 80 | 75 | 71 | 66 | 62 | 59 | 54 | 50 | 47 | 44 | 42 | 38 | 37 | 32 | 31 | 27 | 25 | 22 | 20 |
| 54            | 95          | 89 | 85 | 80 | 75 | 71 | 66 | 62 | 59 | 54 | 50 | 48 | 45 | 43 | 39 | 37 | 33 | 31 | 27 | 26 | 22 | 20 |
| 55            | 95          | 89 | 85 | 80 | 75 | 71 | 67 | 62 | 60 | 55 | 51 | 48 | 45 | 43 | 39 | 37 | 33 | 31 | 28 | 26 | 22 | 20 |
| 56            | 95          | 89 | 85 | 80 | 75 | 71 | 67 | 62 | 60 | 55 | 51 | 48 | 46 | 45 | 40 | 38 | 33 | 32 | 28 | 26 | 23 | 21 |
| 57            | 95          | 89 | 85 | 80 | 76 | 71 | 67 | 63 | 60 | 55 | 51 | 48 | 46 | 45 | 40 | 38 | 34 | 32 | 28 | 26 | 23 | 21 |
| 58            | 95          | 89 | 85 | 80 | 76 | 71 | 67 | 63 | 60 | 56 | 51 | 49 | 46 | 45 | 40 | 38 | 34 | 33 | 29 | 27 | 23 | 22 |
| 59            | 95          | 89 | 85 | 80 | 76 | 72 | 67 | 63 | 61 | 56 | 52 | 49 | 46 | 45 | 41 | 39 | 34 | 33 | 29 | 27 | 23 | 22 |
| 60            | 95          | 89 | 85 | 80 | 76 | 72 | 67 | 64 | 61 | 56 | 52 | 49 | 47 | 45 | 41 | 39 | 35 | 34 | 30 | 27 | 24 | 24 |
| 61            | 95          | 90 | 85 | 80 | 76 | 72 | 68 | 64 | 61 | 57 | 52 | 50 | 47 | 46 | 42 | 40 | 35 | 34 | 30 | 28 | 25 | 24 |
| 62            | 95          | 90 | 85 | 80 | 76 | 72 | 68 | 65 | 62 | 57 | 52 | 50 | 47 | 46 | 42 | 40 | 36 | 35 | 30 | 28 | 25 | 25 |
| 63            | 95          | 90 | 85 | 80 | 76 | 72 | 68 | 65 | 62 | 58 | 53 | 50 | 48 | 46 | 42 | 40 | 36 | 36 | 31 | 29 | 25 | 25 |
| 64            | 95          | 90 | 85 | 80 | 76 | 72 | 68 | 65 | 62 | 58 | 53 | 51 | 48 | 46 | 43 | 41 | 37 | 36 | 31 | 29 | 26 | 26 |
| 65            | 95          | 90 | 85 | 80 | 77 | 73 | 69 | 65 | 62 | 58 | 53 | 51 | 48 | 46 | 43 | 41 | 37 | 36 | 32 | 29 | 27 | 27 |
| 66            | 96          | 90 | 85 | 81 | 77 | 73 | 69 | 65 | 63 | 59 | 53 | 52 | 49 | 46 | 43 | 41 | 38 | 36 | 32 | 30 | 27 | 27 |
| 67            | 96          | 90 | 85 | 81 | 77 | 73 | 69 | 66 | 63 | 59 | 54 | 52 | 49 | 47 | 44 | 42 | 38 | 37 | 32 | 30 | 28 | 27 |
| 68            | 96          | 90 | 85 | 81 | 77 | 73 | 69 | 66 | 63 | 59 | 54 | 52 | 49 | 47 | 44 | 42 | 39 | 37 | 33 | 31 | 28 | 28 |
| 69            | 96          | 90 | 85 | 81 | 77 | 73 | 70 | 66 | 64 | 60 | 54 | 53 | 49 | 47 | 44 | 43 | 39 | 37 | 33 | 31 | 29 | 28 |
| 70            | 96          | 90 | 85 | 81 | 77 | 73 | 70 | 66 | 64 | 60 | 55 | 53 | 50 | 48 | 44 | 43 | 39 | 38 | 34 | 32 | 29 | 28 |

表 C.1 (续)

| 干球<br>温度<br>℃ | 干湿球温度差<br>℃ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|               | 1           | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 71            | 96          | 90 | 86 | 82 | 78 | 74 | 70 | 67 | 64 | 60 | 55 | 53 | 50 | 48 | 45 | 43 | 40 | 38 | 34 | 32 | 30 | 29 |
| 72            | 96          | 90 | 86 | 82 | 78 | 74 | 70 | 67 | 64 | 61 | 55 | 53 | 50 | 48 | 45 | 44 | 40 | 38 | 34 | 33 | 31 | 29 |
| 73            | 96          | 90 | 86 | 82 | 78 | 74 | 71 | 67 | 65 | 61 | 56 | 54 | 50 | 49 | 45 | 44 | 41 | 39 | 35 | 33 | 32 | 29 |
| 74            | 96          | 90 | 86 | 82 | 78 | 74 | 71 | 67 | 65 | 62 | 56 | 54 | 51 | 49 | 47 | 44 | 41 | 39 | 36 | 34 | 33 | 30 |
| 75            | 96          | 90 | 86 | 82 | 78 | 74 | 71 | 68 | 65 | 62 | 56 | 54 | 51 | 49 | 47 | 44 | 41 | 39 | 36 | 34 | 34 | 31 |
| 76            | 96          | 91 | 86 | 82 | 78 | 74 | 71 | 68 | 65 | 62 | 57 | 54 | 51 | 50 | 47 | 45 | 42 | 40 | 36 | 35 | 34 | 32 |
| 77            | 96          | 91 | 86 | 82 | 78 | 74 | 71 | 68 | 66 | 62 | 57 | 55 | 52 | 50 | 47 | 45 | 42 | 40 | 37 | 35 | 34 | 32 |
| 78            | 96          | 91 | 87 | 83 | 78 | 74 | 71 | 68 | 66 | 63 | 57 | 55 | 52 | 51 | 48 | 46 | 43 | 41 | 37 | 35 | 35 | 32 |
| 79            | 96          | 91 | 87 | 83 | 78 | 75 | 72 | 69 | 66 | 63 | 58 | 55 | 53 | 51 | 48 | 46 | 43 | 41 | 38 | 36 | 35 | 33 |
| 80            | 96          | 91 | 87 | 83 | 78 | 75 | 72 | 69 | 66 | 63 | 58 | 55 | 53 | 51 | 48 | 46 | 44 | 42 | 38 | 36 | 35 | 33 |
| 81            | 96          | 91 | 87 | 83 | 78 | 75 | 72 | 69 | 67 | 64 | 59 | 56 | 53 | 52 | 48 | 47 | 44 | 42 | 39 | 36 | 35 | 33 |
| 82            | 96          | 91 | 87 | 83 | 78 | 75 | 72 | 70 | 67 | 64 | 59 | 56 | 54 | 52 | 49 | 47 | 45 | 43 | 39 | 37 | 36 | 34 |
| 83            | 96          | 91 | 87 | 83 | 78 | 75 | 73 | 70 | 67 | 64 | 59 | 56 | 54 | 53 | 49 | 48 | 45 | 43 | 39 | 37 | 36 | 34 |
| 84            | 96          | 91 | 87 | 83 | 78 | 75 | 73 | 70 | 67 | 64 | 60 | 57 | 54 | 53 | 49 | 48 | 45 | 43 | 40 | 38 | 36 | 34 |
| 85            | 96          | 91 | 87 | 83 | 78 | 76 | 73 | 70 | 67 | 65 | 60 | 57 | 54 | 53 | 49 | 49 | 45 | 44 | 40 | 38 | 37 | 34 |
| 86            | 96          | 92 | 87 | 84 | 79 | 76 | 73 | 70 | 67 | 65 | 60 | 57 | 55 | 54 | 50 | 49 | 46 | 44 | 40 | 38 | 37 | 35 |
| 87            | 96          | 92 | 88 | 84 | 79 | 76 | 73 | 71 | 67 | 65 | 61 | 58 | 55 | 54 | 50 | 49 | 47 | 44 | 41 | 39 | 38 | 35 |
| 88            | 96          | 92 | 88 | 84 | 79 | 76 | 73 | 71 | 68 | 65 | 61 | 58 | 55 | 54 | 50 | 50 | 47 | 45 | 41 | 39 | 38 | 35 |
| 89            | 96          | 92 | 88 | 84 | 79 | 76 | 73 | 71 | 68 | 65 | 61 | 58 | 55 | 54 | 51 | 50 | 47 | 45 | 41 | 39 | 38 | 35 |
| 90            | 96          | 92 | 88 | 84 | 79 | 76 | 74 | 71 | 68 | 65 | 62 | 58 | 56 | 55 | 51 | 50 | 47 | 46 | 42 | 40 | 38 | 36 |
| 91            | 96          | 92 | 88 | 84 | 79 | 77 | 74 | 71 | 68 | 65 | 62 | 59 | 56 | 55 | 51 | 50 | 48 | 46 | 42 | 40 | 39 | 36 |
| 92            | 96          | 92 | 88 | 84 | 79 | 77 | 74 | 72 | 68 | 66 | 62 | 59 | 56 | 55 | 51 | 51 | 48 | 46 | 42 | 40 | 39 | 37 |
| 93            | 96          | 92 | 88 | 84 | 79 | 77 | 74 | 72 | 69 | 66 | 62 | 59 | 57 | 55 | 52 | 51 | 48 | 46 | 43 | 41 | 39 | 37 |
| 94            | 96          | 92 | 89 | 85 | 79 | 77 | 74 | 72 | 69 | 66 | 63 | 60 | 57 | 56 | 52 | 52 | 49 | 47 | 43 | 41 | 39 | 37 |
| 95            | 96          | 93 | 89 | 85 | 79 | 78 | 75 | 72 | 69 | 66 | 63 | 60 | 58 | 56 | 53 | 52 | 49 | 47 | 44 | 42 | 40 | 38 |
| 96            | 96          | 93 | 89 | 85 | 80 | 78 | 75 | 72 | 70 | 67 | 63 | 60 | 58 | 56 | 53 | 52 | 49 | 47 | 44 | 42 | 40 | 38 |
| 97            | 96          | 93 | 89 | 85 | 80 | 78 | 75 | 73 | 70 | 67 | 64 | 61 | 58 | 57 | 53 | 53 | 49 | 47 | 44 | 43 | 40 | 39 |
| 98            | 96          | 93 | 89 | 85 | 80 | 79 | 75 | 73 | 70 | 67 | 64 | 61 | 58 | 57 | 54 | 53 | 50 | 48 | 45 | 43 | 41 | 39 |
| 99            | 96          | 93 | 89 | 85 | 80 | 79 | 75 | 73 | 70 | 67 | 64 | 61 | 59 | 57 | 54 | 53 | 50 | 48 | 45 | 43 | 41 | 39 |
| 100           | 96          | 93 | 89 | 85 | 80 | 79 | 75 | 73 | 70 | 67 | 64 | 61 | 59 | 57 | 54 | 53 | 50 | 48 | 45 | 43 | 41 | 39 |

**附录 D**  
(资料性附录)  
**转轮除湿机工作原理**

图 D.1 转轮除湿机主要由蜂窝除湿转轮、干空气风机、处理空气过滤器、再生空气风机、再生空气过滤器、再生空气加热器、转轮驱动电动机和控制系统组成。蜂窝除湿转轮以缓慢的速度（约 10min 一圈）转动，待处理的湿空气通过转轮，湿分被吸附，产生干燥空气；加热到一定温度再生空气通过除湿转轮，将转轮湿分带出，从而使除湿机连续工作。



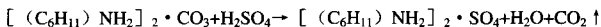
**图 D.1 转轮除湿机工作原理**

## 附录 E

(资料性附录)

## 气相缓蚀剂碳酸环己胺的测定方法

碳酸环己胺  $[(C_6H_{11})NH_2]_2 \cdot CO_3$  是一种有机碱性物质, 它能吸收于硫酸溶液中, 并与硫酸进行反应, 释放出二氧化碳, 生成硫酸环己胺, 即有:



因此可用氢氧化钠标准溶液对硫酸吸收溶液进行滴定, 分析碳酸环己胺的浓度。

为了充分吸收碳酸环己胺的气体, 应使吸收液始终保持酸性状态。本测定方法是将抽出的含碳酸环己胺的气体, 定量地通入已知容积和浓度的硫酸吸收溶液中。然后根据气体通过吸收液(硫酸溶液)前后酸液浓度的变化值, 计算出气体中碳酸环己胺的含量。

碳酸环己胺气体的取样:

用专用真空泵, 参照图 E.1 并按附录 A 所规定的取样部位, 从锅炉内抽出气体, 先使气体通过吸收瓶 3, 当观察到除盐水(含有酚酞指示剂)变红时, 即表明被抽出的气体中含有了碳酸环己胺。随后就可关闭气体吸收瓶 3 的进气和排气门, 开启吸收瓶 5 的进气和出气门, 使气体通过吸收瓶 5 吸收碳酸环己胺。当气体通过吸收瓶时, 应立即记录时间, 并迅速调整阀门开度使其流经吸收瓶 5 内气体的流量控制在  $0.2L/min \sim 0.3L/min$  范围内(通过浮子流量计显示)。在气体通过吸收瓶 5 的时间达到 20min 时, 立即关闭吸收瓶 5 的进气和出气门, 从系统中取出吸收瓶 5, 封存待测。再次测定气体中碳酸环己胺含量, 应将吸收瓶 5 用除盐水洗净并烘干或吹干, 重新放入硫酸吸收液。一般吸收瓶中硫酸吸收液的放入量为 600mL(浓度为  $0.01mol/L$ )。

碳酸环己胺含量的分析和计算:

从气体吸收瓶 5 中取出吸收液 100mL, 放入 250mL 三角瓶内, 加入 2 滴~3 滴甲基橙指示剂, 用浓度为  $0.02mol/L$  的氢氧化钠标准溶液滴定至溶液呈橙色终点, 记录消耗氢氧化钠的体积数, 碳酸环己胺含量可按式(E.1)计算, 即:

$$C = \frac{n(V_0 - V_1) \times 1000 \times 0.6 \times 242}{V_2 Q t} \quad (E.1)$$

式中:

$C$ ——气体中碳酸环己胺含量,  $g/m^3$ ;

$n$ ——氢氧化钠标准溶液浓度,  $mol/L$ ;

$V_0$ ——滴定空白硫酸吸收液所消耗的氢氧化钠标准液的体积,  $mL$ ;

$V_1$ ——滴定吸收了碳酸环己胺的硫酸吸收液所消耗的氢氧化钠标准液的体积,  $mL$ ;

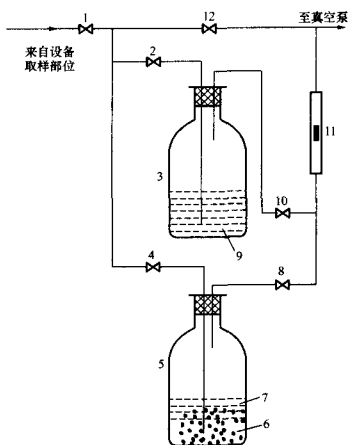
$V_2$ ——取硫酸吸收溶液分析的体积,  $mL$ ;

$Q$ ——通过吸收瓶 5 的气体的流量,  $L/min$ ;

$t$ ——气体通过吸收瓶 5 的时间,  $min$ ;

242——碳酸环己胺  $[(C_6H_{11})NH_2]_2 \cdot CO_2$  的分子量;

0.6——放入吸收瓶 5 内硫酸溶液的体积,  $L$ 。



1—截止门；2、4—进气门；3、5—气体吸收瓶；6—玻璃小球或陶瓷环；7—气体吸收液；  
8、10—出气门；9—加酚酞的除盐水；11—气体浮子流量计；12—旁路门

图 E.1 气体中碳酸环己胺含量测定系统示意