

---

**CBWA**

中国锅炉与锅炉水处理协会  
团 体 标 准

T/CBWAXXXXX—202X

---

超临界二氧化碳布雷顿循环发电机组启动前  
吹管导则

Guide of gas blowing for super-critical CO<sub>2</sub> Brayton cycle power unit before start-up

(征求意见稿)

2022-××-××发布

2022-××-××实施

---

中国锅炉及锅炉水处理协会发布

---

## 目次

1 范围 .....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总则 .....	2
5 吹管参数选择.....	3
6 临时系统安装.....	3
7 吹管 .....	4
8 吹管质量标准.....	6
9 安全健康与环境管理.....	6
附录 A（规范性附录） .....	7

---

## 前言

本标准按 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由中国锅炉与锅炉水处理协会提出、归口管理和负责解释。

本标准起草单位：西安热工研究院有限公司、西安特种设备检验检测院、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、上海锅炉厂有限公司、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、华陆工程科技有限责任公司、中国特种设备检测研究院、华中科技大学、西安交通大学、哈电发电设备国家工程研究中心有限公司、西北电力建设第一工程有限公司。

本标准主要起草人：李红智、杨玉、张金阳、黄莺、张一帆、白文刚、闫凯、韦耿、苏宏亮、李涛、刘光奎、张磊、姚明宇、张纯、胡松、王利民、谢敏、杨悦。

本标准为首次制定。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国锅炉与锅炉水处理协会。

---

---

# 超临界二氧化碳布雷顿循环发电机组启动前吹管导则

## 1 范围

本标准规定了超临界二氧化碳布雷顿循环发电机组启动前吹管的基本方法和要求。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB150（所有部分） 压力容器

GB2900.46 电工名词术语 汽轮机及其附属装置

GB2900.48 电工名词术语 锅炉

GB12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 1711611 管道支吊架 第1部分：技术规范

DL/T 701 火力发电厂热工自动化术语

DL/T 868 焊接工艺评定规程

DL/T 869 火力发电厂焊接技术规程

DL/T 1113 火力发电厂管道支吊架验收规程

DL/T 5054 火力发电厂汽水管道设计技术规定

DL/T 1269 火力发电建设工程机组蒸汽吹管导则

## 3 术语和定义

### 3.1 预吹扫 pre-blowing

利用系统自带的二氧化碳工质、充装系统、储罐和阀门等，将管道中的焊渣等杂质吹扫出管道。

### 3.2 闭式稳压吹管 closed gas blowing with steady pressure

利用二氧化碳压缩机建立起系统工质循环，利用管道中工质循环流动的动能将杂质带起，然后用集粒器和过滤器将杂质收集下来，吹扫过程中二氧化碳工质不排空或少量排空。

### 3.3 冷态吹管 cold blowing

吹管过程中不启动锅炉或其他工质加热设备。

### 3.4 热态吹管 hot blowing

---

吹管过程中启动锅炉或其他工质加热设备。

### 3.5 吹管系数 coefficient of gas blowing

吹管工况和超临界二氧化碳布雷顿循环最大连续工质流量下的工质动量之比。

### 3.6 靶板及靶板器 target and target holder assembly

靶板按照本标准规定的材质和尺寸制作，用于检验吹管质量标准的金属板；靶板器是用于固定靶板的装置。

### 3.7 集粒器 particle collector

安装在过热器出口和再热器出口，用来收集集粒器前设备及管道吹扫工质所携带颗粒物的装置。

### 3.8 过滤器 particle filter

安装在压缩机进口管道、过热器出口管道或再热器出口管道，用于收集过滤器前设备及管道吹扫工质所携带的细小颗粒物的装置。

## 4 总则

4.1 承担超临界二氧化碳布雷顿循环发电机组吹管的单位应具备火力发电工程调试资质。

4.2 吹管临时系统应由建设单位委托有设计资质的单位设计。

4.3 吹管临时系统使用的压力容器应委托有资质的单位制造。

4.4 吹管调试措施、临时系统安装措施应经试运总指挥批准。

4.5 吹管范围应包括下列系统及管道：

- a) 过热器、再热器；
- b) 主气管道、再热气冷段及热段管道；
- c) 透平旁路系统管道；
- d) 透平和压缩机的干气密封管道；
- e) 压缩机进出口管道；
- f) 压缩机防喘回路管道；
- g) 二氧化碳储罐及与其连接的管道；
- h) 二氧化碳工质充装系统管道；

4.6 超临界二氧化碳布雷顿循环发电如有再热器，应在再热器前加装集粒器。

4.7 吹管结束后，应及时办理质量验收签证。

4.8 合格靶板应存档保管。

## 5 吹管参数选择

### 5.1 吹管系数计算公式 (1)

$$K = \frac{D_b^2 v_b}{D_0^2 v_0} \quad (1)$$

式中:

$K$  — 吹管系数;

$D_b$  — 吹管工况工质流量, t/h;

$v_b$  — 吹管工况工质比体积, m<sup>3</sup>/kg;

$D_0$  — 超临界二氧化碳布雷顿循环最大连续工质流量, t/h;

$v_0$  — 吹管工况二氧化碳工质比体积, m<sup>3</sup>/kg;

5.2 吹管参数的选择必须保证被吹扫系统各处的吹管系数均大于1。

5.3 吹管过程中, 应对系统各处吹管系数进行校核, 并根据实际情况对吹管参数进行必要的调整。

## 6 临时系统安装

### 6.1 阀门

6.1.1 透平旁路控制门应符合下列要求:

- a) 公称压力、设计温度应在满足系统吹管系数大于1时的吹管工况下设计;
- b) 公称直径应不小于主气管道内径的1/3。

6.1.2 透平主气门临时堵板、临时短管和法兰应由制造厂提供, 且设计参数和材料在在满足系统吹管系数大于1时的吹管工况下设计;

6.1.3 透平主气门的临时封堵装置必须安装牢固、严密, 并经隐蔽验收合格。

6.1.4 透平旁路控制门搭设操作平台, 实现远方操作。

### 6.2 管道及支吊架

6.2.1 临时管道设计应符合DL/T 5054的规定; 临时管道支吊架的设计、安装应符合GB/T 17116.1和DL/T 1113的规定。

6.2.2 临时管道内部应清洁、无杂物, 靶板前的临时管道在安装前宜进行喷砂处理。

6.2.3 临时管道焊接应符合DL/T 868、DL/T 869的规定, 焊口应进行100%无损检测; 异种钢焊接应符合DL/T 752的规定; 靶板前焊口应采用氩弧焊打底。

6.2.4 临时管道支吊架应设置合理、牢固可靠。

---

6.2.5 临时管道固定支架应安装牢固，滑动支架应满足管道膨胀要求，并验收合格。

6.2.6 临时系统恢复时，应防止二次污染。

### **6.3 集粒器**

6.3.1 集粒器设计应符合GB 150（所有部分）的规定，设计参数应在满足系统吹管系数大于1时的吹管工况下设计。

6.3.1 集粒器通流总截面积应不小于主气管道有效截面积的6倍。

6.3.2 集粒器应水平安装并搭设操作平台，且便于清理。

### **6.4 过滤器**

6.3.1 过滤器设计应符合GB 150（所有部分）的规定，设计参数应在满足系统吹管系数大于1时的吹管工况下设计。

6.3.1 过滤器通流总面积应不小于主气管道有效截面积的6倍。

6.3.2 过滤器的最低过滤尺度不应大于50微米。

6.3.3 过滤器应水平安装并搭设操作平台，且便于清理。

### **6.5 靶板器**

6.5.1 靶板器设计应符合GB 150（所有部分）的规定，设计参数应在满足系统吹管系数大于1时的吹管工况下设计。

6.5.2 靶板器宜采用法兰式或串轴式结构。

6.5.3 靶板器前直管段长度宜为管道直径的4倍~5倍，靶板器后直管段长度宜为管道直径的2倍~3倍。

## **7 吹管**

### **7.1 预吹扫**

7.1.1 预吹扫应具备的条件

a) 参与预吹扫的管路及临时管路安装验收工作应结束，典型的超临界二氧化碳布雷顿循环及其预吹扫系统参考附录A；

b) 管路化学清洗工作已完成；

c) 工质充装系统分部试运行工作已完成；

d) 工质充装系统及储罐的仪表调试完成；

e) 预吹扫所需的二氧化碳工质等物资应准备充足。

7.1.2 预吹扫程序要点



- 
- a) 系统中所有管道在安装之前需经过酸洗或喷砂处理；
  - b) 以充装系统为源头，按从上游到下游的顺序依次对充装系统管路、储罐、储罐下游的管路、压缩机前后管路、压缩机和透平的干气密封管路等进行吹扫；
  - c) 预吹扫的排空气体需接临时管引至室外安全处，并在排气口设置安全警示装置；
  - d) 用于预吹扫的二氧化碳工质压力不宜低于4MPa，每根管道的吹扫次数不宜少于3次，每次吹扫时间不低于3分钟。
  - e) 与二氧化碳储罐不直接相连的管路，可先按设计把管路连接成形，但不与上下游的设备连接，然后对这些管路进行喷砂处理，然后用高压CO<sub>2</sub>或压缩空气把管路中的焊渣等杂质吹出，最后将清理干净的路与上下游的设备连接起来。
  - f) 预吹扫结束后，应保证压缩机进口至上游过滤器之间管道是干净的，不应有新的焊口或引入二次污染。

## 7.2 闭式稳压吹管

### 7.2.1 闭式稳压吹管应具备的条件

- a) 吹管系统的安装验收工作应结束；
- b) 系统热源投运所需的设备系统分部试运工作已完成；
- c) 系统热工测量、连锁保护传动等工作已完成；
- d) 透平监视仪表（TSI）系统安装、验收已完成，防止透平进气的各项措施已落实。
- e) 透平应具备投盘车及抽真空的条件。若不具备盘车投入条件，应有效隔离透平进气管道与吹管系统。
- f) 吹管所需的工质、燃料等物资应准备充足。

### 7.2.2 闭式稳压吹管程序要点

- a) 在压缩机进口管路上加装过滤器，在透平位置的临时管路上安装集粒器和过滤器；
- b) 应完成设备系统的全面检查及各项试验；
- c) 正式投入工质加热器之前，需完成系统的冷态循环流动实验，达到最大连续工质流量，开始冷态吹管。冷态吹管过程中，监视集粒器和过滤器的压差，及时清理集粒器和过滤器，直至冷态吹管过程中集粒器和过滤器的压降不再显著增加。
- d) 首次冷态吹管宜加装靶板，检查吹管系统原始冷态脏污程度及靶板的使用性能。
- e) 冷态吹管完成后，按有关程序和措施进行热态试验，开始热态吹管。
- f) 热态吹管过程中，监视集粒器和过滤器的压差，及时清理集粒器和过滤器。

---

g) 热态吹管过程中应逐级增加加热功率和工质循环流量，确保系统中各位置的吹管系数大于1.0。

h) 热态吹管达到吹管系数后，每次持续时间应不少于15min。

i) 热态吹管过程中，应至少停机冷却两次，每次停机冷却时间不得小于12小时。

j) 吹管期间，应控制主要受热面各部分金属温度不超过规定值。

## 8 吹管质量标准

8.1 过热器、再热器吹管系数应大于1.0，压缩机进口管路的吹管系数应大于1.0。

8.2 过热器出口、再热器出口和压缩机进口管道应分别设置靶板。

8.3 靶板宽度应为靶板安装处管道内径的8%且不小于25mm，宽度不小于5mm，长度纵贯管道内径；靶板表面粗糙度应达到Ra100。

8.4 选用铝质材料靶板，应连续两次更换靶板检查，无0.8mm以上的瘢痕，且0.2mm~0.8mm范围内的瘢痕不多于8点。

8.5 采用钢、铜或其他材质的靶板，验收标准应参照参照制造厂的要求执行。

## 9 安全健康与环境管理

9.1 吹管期间，现场不宜进行高空作业。

9.2 吹管期间应有可靠的防火措施，备足消防器材。

9.3 吹管临时系统应有防止人员烫伤的保温措施。

9.4 在吹管范围内应设置警戒区，安装专人值班。

9.5 更换靶板和过滤器时，应切断靶板或过滤器的上下游关断阀，放空管道中残余气体，并有可靠的安全措施。

9.6 靶板、集粒器、过滤器等部位宜安装监控摄像头，并安排专人监视。

9.7 吹管工作人员应保持通讯畅通。

9.8 应按规定进行设备膨胀检查和记录。发现膨胀受阻，应立即停止升负荷，查明原因、消除缺陷后方可继续升负荷。

9.9 吹管过程中，应严密监视透平缸体金属温度，当金属温度超过150℃时，应立即停止吹管，查明原因。

9.10 应严密监视和控制再热器管道和临时管道金属温度不超温。

9.11 吹管期间的厂界噪声应符合GB 12348的规定。

典型的超临界二氧化碳布雷顿循环系统及预吹扫系统示意图

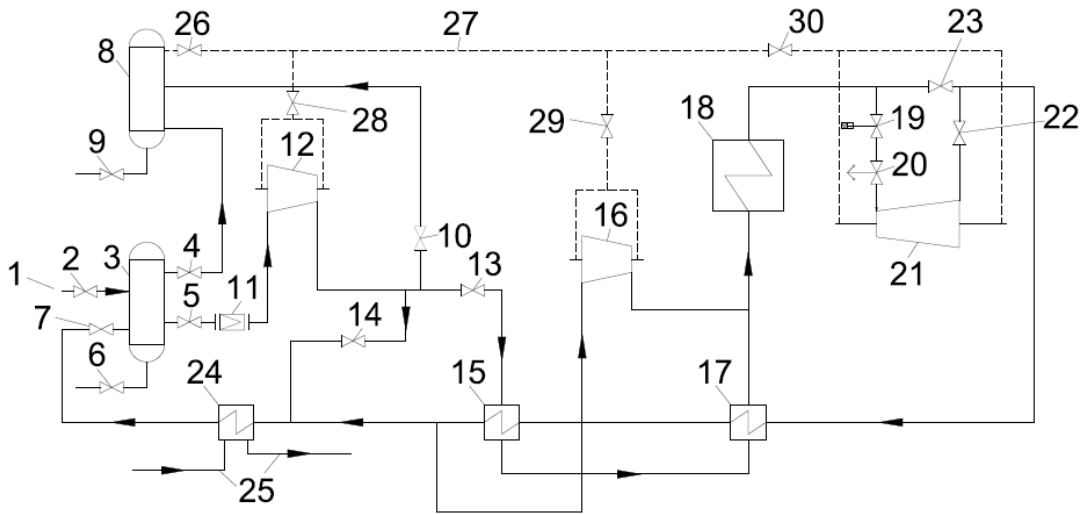


图1 典型的超临界二氧化碳布雷顿循环系统图

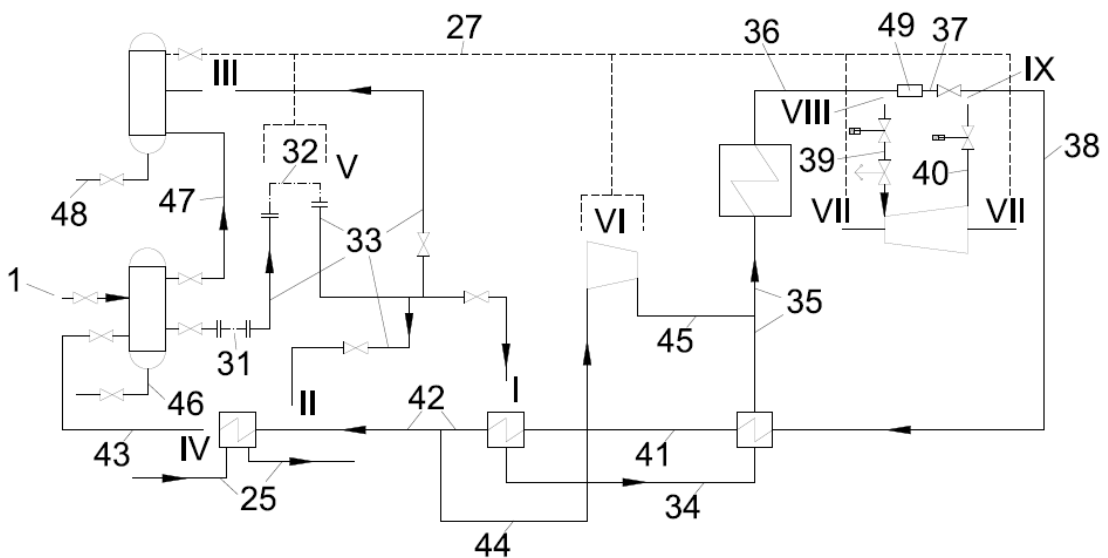


图2 典型的超临界二氧化碳布雷顿循环预吹扫示意图

1为工质进口、2为稳压罐进口关断阀a、3为稳压罐、4为稳压罐出口关断阀a、5为稳压罐出口关断阀b、6为稳压罐排污阀、7为稳压罐进口关断阀b、8为高压罐、9为高压罐排污阀、10为高压罐进口关断阀、11为过滤器、12为压缩机、13为压缩机出口关断阀、14为防喘阀、15为低温回热器、16为再压缩机、17为高温回热器、18为加热器、19为透平进口关断阀、20为透平进口调节阀、21为透平、22为透平出口关断阀、23为透平旁路调节阀、24为预冷器、25为循环冷却水管路、26为干气密封管路关断阀、27为干气密封管路、28为压缩机前干气密封气体关断阀、29为再压缩机前干气密封气体关断阀、30为透平前干气密封气体关断阀、31为过滤器段临时管、32为压缩机段临时管、33为压缩机进出口管、34为低温回热器至高温回热器高压侧连接管、35为高温回热器至加热器连接管、36为加热器出口管、37为透平旁路管、38为高温回热器低压侧连接管、39为透平进口调节阀、40为透平、41为透平出口关断阀、42为透平旁路调节阀、43为透平进口关断阀、44为透平进口调节阀、45为透平、46为透平出口关断阀、47为透平旁路调节阀、48为透平进口关断阀、49为透平进口调节阀、50为透平出口关断阀

---

压侧进口管、39为透平进口管、40为透平出口管、41为高温回热器至低温回热器低压侧连接管、42为低温回热器至预冷器连接管、43为预冷器至稳压罐连接管、44为再压缩机入口管、45为再压缩机出口管、46为稳压罐排污管、47为稳压罐至高压罐联络管、48为高压罐排污管、49为集粒器。

注： 1. 预吹扫的临时管方案：将压缩机入口的过滤器（11）用临时管（31）替代，将压缩机（12）用临时管（32）替代。在I位置断开压缩机出口管与低温回热器的连接，在II位置断开压缩机防喘管路与管路42的连接，在III位置断开压缩机出口至高压储罐的联络管，在IV位置断开43管路，在V位置断开干气密封管路（27）与压缩机干气密封系统的连接，在VI位置断开干气密封管路（27）与再压缩机干气密封系统的连接，在VII位置断开干气密封管路（27）与透平干气密封或冷却气系统的连接，在VIII位置断开透平进口管路，在IX位置断开透平出口管路。

2. 预吹扫工作流程为：

(a) 系统中所有管道在安装之前需经过酸洗或喷砂处理。将处理后的管道按设计要求连接。

(b) 通过稳压罐进口管路（1）向稳压罐（3）中充装吹扫气体至一定压力，然后关闭阀门（2）、（4）、（5）、（7），打开阀门（6），对稳压罐（3）及其排污管（46）进行吹扫。吹扫完成后，关闭阀门（6）。

(c) 通过管路（47）向高压罐（8）中充装吹扫气体至一定压力，关闭阀门（10）和（26），打开阀门（4）和（9），对高压罐（8）、管路（47）和管路（48）进行吹扫，吹扫完成后关闭阀门（4）和（9）。

(d) 将压缩机进出口管路（33）上的过滤器（11）和压缩机（12）分别用临时管（31）和（32）替代。向储罐（3）中充装扫气体至一定压力，打开阀门（13），关闭阀门（10）和（14），然后打开阀门（5）吹扫压缩机进出口管道（33），吹扫气体主要从断口I处喷出。向储罐（3）中充装扫气体至一定压力，打开阀门（14），关闭阀门（10）和（13），然后打开阀门（5）吹扫压缩机进出口管道（33），吹扫气体从断口II处喷出。向储罐（3）中充装扫气体至一定压力，打开阀门（10），关闭阀门（13）和（14），然后打开阀门（5）吹扫压缩机进出口管道（33），吹扫气体从断口III处喷出。向储罐（3）中充装扫气体至一定压力，打开阀门（10）、（13）和（14），然后打开阀门（5）吹扫压缩机进出口管道（33），吹扫气体同时从断口I、II和III处喷出。

(e) 向储罐（3）中充装扫气体至一定压力，保持与储罐（3）相连的管路上所有阀门处于关闭状态，然后打开阀门（7）吹扫管路（43），吹扫气体从断口IV处喷出。

(f) 通过稳压罐（3）向高压罐（8）充装气体至一定压力，打开阀门（28），关闭阀门（29）和（30），然后打开阀门（26）对压缩机干气密封管路进行吹扫，排气从断口V处排出；打开阀门（29），关闭阀门（28）和（30），然后打开阀门（26）对再压缩机干气密封管路进行吹扫，排气从断口VI处排出；打开阀门（30），关闭阀门（27）和（28），然后打开阀门（26）对透平干气密封或冷却气体管路进行吹扫，排气从断口VII处排出。

---

(g) 与稳压罐(3)或高压罐(8)不直接相连的管路:(34)、(35)、(36)、(37)、(38)、(39)、(40)、(41)、(42)、(44)和(45),可先按设计把管路连接成形,但不与上下游的设备连接,然后对这些管路进行喷砂处理,然后用高压CO<sub>2</sub>或压缩空气把管路中的焊渣等杂质吹出,最后将清理干净的管路与上下游的设备连接起来。

(h) 恢复管路(33)、(43)、(27),用过滤器(11)替换掉临时管(31),压缩机替换临时管(32),干气密封管路(27)恢复与压缩机(12)、再压缩机(16)和透平(21)的干气密封系统的连接。