

ICS 27.010

CCS F 01

# 团 体 标 准

T/EES 004—2023

## 基于增汽机的火力发电厂乏汽余热回收供热系 统设计规范

Specification for design of steam waste heat recovery  
heating system for thermal power plants based on steam  
ejector

2023-9-21 发布

2023-9-21 实施

中关村现代能源环境服务产业联盟 发布

EESIA



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构。除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以任何形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可与发布机构获取。

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 概述 .....	3
5 基本要求 .....	3
6 主要设备选型 .....	5
7 设计要求 .....	5
附录 A（资料性） 系统安装与调试 .....	8
附录 B（资料性） 增汽机调试运行维护和检修保养 .....	10
参考文献 .....	11

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由联合瑞升（北京）科技有限公司提出。

本文件由中关村现代能源环境服务产业联盟归口。

本文件起草单位：联合瑞升（北京）科技有限公司、北京智为蓝科技有限公司、华益智控（北京）科技有限公司、中国能源建设集团山西省电力勘测设计院有限公司、内蒙古能源发电投资集团有限公司电力工程技术研究院、内蒙古京能盛乐热电有限公司、包头铝业有限公司热电厂、内蒙古京海煤矸石发电有限责任公司、内蒙古工业大学、内蒙古哈伦能源集团有限责任公司、国家电投集团内蒙古白音华煤电有限公司赤峰新城热电分公司、内蒙古能源发电兴安热电有限公司、山西漳山发电有限责任公司、宁夏电投银川热电有限公司、内蒙古能源发电金山热电有限公司。

本文件主要起草人：介智华、郭清温、王为、乌兰其其格、丁健、王斌、郝冰、王柳、黄治坤、智凯龙、谢琴、闫凤奎、蒲晖、杜洪岩、郝相俊、张伟鹏、马瑞明、贺江颂、聂彬宇、张亚明、葛冠杰、王广富、杨盛武、魏晋、赵卫国、王坤、蒋生俊、赵亮、刘伟光、肖鹏、冯海龙、郎鑫焱、汤拥华、崔海林、和洪、张宝宁、程海涛、李俊勇、张河。

# 基于增汽机的火力发电厂乏汽余热回收供热系统设计规范

## 1 范围

本文件规定了基于增汽机的火力发电厂汽轮机组乏汽余热回收供热系统的基本要求、主要设备选型、设计要求等内容。

本文件适用于基于增汽机的火力发电厂汽轮机组乏汽余热回收供热系统（以下简称“乏汽余热回收供热系统”）的设计及工程验收。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12145—2016 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量

GB/T 20801.5 压力管道规范 工业管道 第5部分：检验与试验

GB/T 37753 表面式凝汽器性能试验规程

DL 5009.1 电力建设安全工作规程 第1部分：火力发电

DL 5009.2 电力建设安全工作规程 第2部分：电力线路

DL 5009.3 电力建设安全工作规程 第3部分：变电站

DL/T 5175 火力发电厂热工开关量和模拟量控制系统设计规程

JB/T 10085 汽轮机表面式凝汽器

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**增汽机** steam ejector

蒸汽喷射器，蒸汽引射器，压力匹配器，热压机，蒸汽引射汇流装置等设备的统称。

### 3.2

**汽轮机乏汽** turbine exhaust steam

汽轮机低压缸排出的不具备做功能力的负压蒸汽。

### 3.3

**乏汽余热** exhaust steam waste heat

汽轮机乏汽所携带的低品质热量。

3.4

乏汽余热回收 recovery of steam waste heat

汽轮机乏汽所携带的低品质热量的回收利用。

3.5

前置凝汽器 pre-condenser

火力发电厂乏汽余热回收供热系统中，设置在增汽机凝汽器之前的热网水加热设备。

3.6

增汽机凝汽器 steam ejector condenser

火力发电厂乏汽余热回收供热系统中，跟增汽机匹配的热网水加热设备。

3.7

热网加热器 steam water heat exchanger

供热系统中利用高品质蒸汽的加热设备。

3.8

增汽机动力蒸汽 power steam of steam ejector

具有一定温度和压力且可作为增汽机动力源的正压蒸汽。

注：增汽机动力蒸汽一般为汽轮机中压缸排汽（简称中排蒸汽），压力为正压。

3.9

增汽机排汽 exhaust steam of steam ejector

增汽机排汽口形成的一定温度和压力的负压过热蒸汽。

3.10

乏汽引出 extraction of exhaust steam

将汽轮机乏汽引出并送到前置凝汽器进汽口和增汽机乏汽接口。

注：对于直接空冷机组，乏汽一般从排汽装置之后、通往空冷岛的乏汽主管道上开孔引出；对于间接空冷机组和水冷机组，乏汽一般从凝汽器喉部开孔引出。

3.11

增汽机升压比 Increase pressure ratio

增汽机排汽压力与吸入乏汽压力之比，压力为绝对压力。

3.12

增汽机膨胀比 expansion ratio

增汽机动力蒸汽压力与吸入乏汽压力之比，压力为绝对压力。

### 3.13

#### 增汽机引射比 ejection ratio

增汽机吸入乏汽流量与动力蒸汽流量之比，流量为质量流量。

## 4 概述

乏汽余热回收供热系统能增加电厂在供热工况下的发电和供热能力，其基本原理为：在采暖期，适当抬高汽轮机运行背压，使得汽轮机排汽温度高于热网回水温度，用汽轮机乏汽加热热网回水，回收利用汽轮机乏汽的汽化潜热，节约具有做功能力的中排蒸汽，从而有效提高机组热利用率、降低煤耗、节能减排。

乏汽余热回收供热系统一般为三级加热系统（如图1所示）：第一级为前置凝汽器，第二级为增汽机凝汽器，第三级为热网加热器，系统安装与调试参考本文件附录A执行。

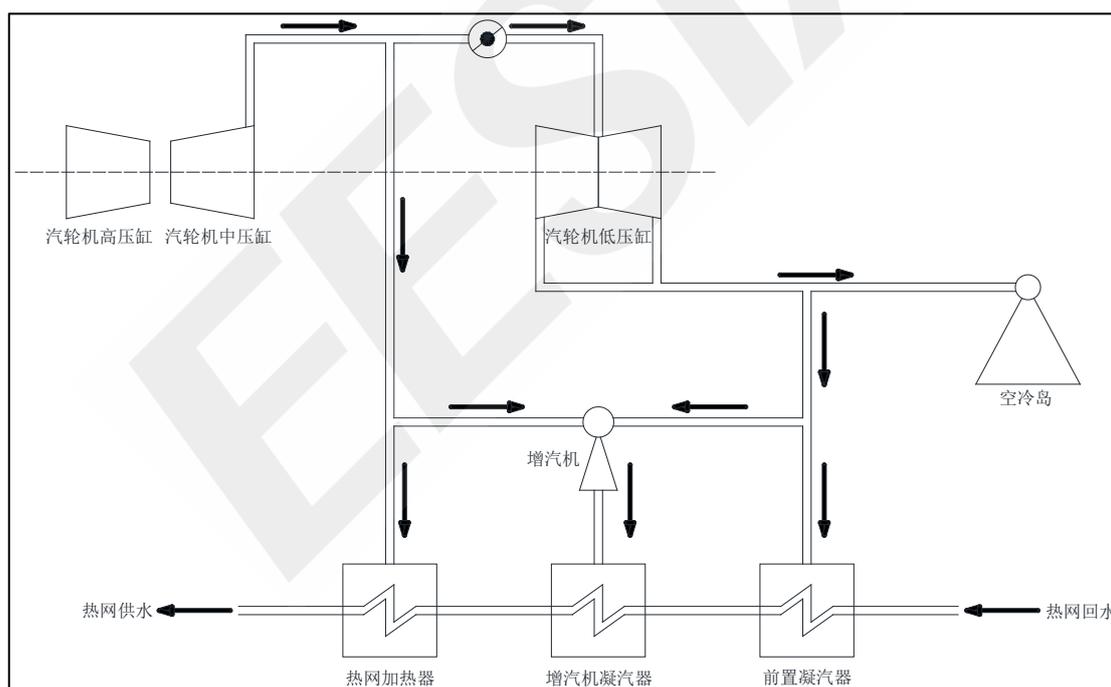


图1 火力发电厂乏汽余热回收供热系统示意图（直接空冷机组）

## 5 基本要求

### 5.1 一般要求

5.1.1 乏汽余热回收供热系统应留有扩建接口，整体设计应符合 DL/T 5175—2021 相关规定。

5.1.2 乏汽余热回收系统设计时，应兼顾电厂原有主汽轮机负荷变化。

5.1.3 乏汽余热回收供热系统应根据热网需求调节供热负荷。

5.1.4 乏汽余热回收供热系统设计时，应兼顾原机组冷端防冻系统并做相应的改造，以确保原机组冷端系统能够安全可靠运行。

## 5.2 参数设定

### 5.2.1 供热面积

供热面积确定时应考虑以下因素：

- 在设计之初应对供热区域的热负荷需求进行分析，确定当下和远期供热面积；应兼顾当下与远期供热面积；
- 乏汽余热回收设备的容量、规格等参数选择时，应兼顾当下与远期供热面积；
- 乏汽余热回收供热系统应能在当下工况和远期工况有效运行。

### 5.2.2 发电负荷

发电负荷确定时应考虑以下因素：

- 应对本电厂发电负荷进行全面的分析，确定供热季的最大和最小发电负荷；
- 应根据确定的发电负荷计算新的热平衡图；
- 应根据新的热平衡图确定乏汽余热回收供热系统动力蒸汽和乏汽参数。

### 5.2.3 热网水

热网水温度及水量应根据以下因素确定：

- 改造工程，根据往年运行数据确定热网供（回）水温度；新建工程，根据热网设计参数确定热网供（回）水温度；
- 根据当地供热指标（ $W/m^2$ ）、供热面积及供（回）水温度，计算热网水量。

### 5.2.4 增汽机主要参数

增汽机主要参数应符合表1的要求。

表1 增汽机主要参数

序号	项目	单位	参数
1	动力蒸汽	压力	MPa. a
		温度	℃
2	吸入乏汽	压力	MPa. a
		温度	℃
3	排出蒸汽	压力	MPa. a
		温度	℃
4	升压比	—	1.2~2.0
5	引射比	—	0.5~1.8
6	膨胀比	—	5~30

### 5.3 其他

乏汽余热回收供热系统设计时，还应考虑场地布置、噪声、施工、设备利旧及既有设备和系统之间的连接等因素。

## 6 主要设备选型

### 6.1 增汽机

增汽机选型应符合以下要求：

- a) 应具有可调节功能；
- b) 输出功率应与火力发电厂的需求相匹配；
- c) 运行过程中的排放（比如噪声）应符合环保标准；
- d) 应与现有的设施（如现有 DCS 集散控制系统等）兼容。

### 6.2 凝汽器

凝汽器选型应满足以下要求：

- a) 凝汽器端差应在  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内，其他部分应符合 JB/T 10085 的要求；
- b) 凝汽器布置应紧凑，满足场地布置要求；
- c) 凝汽器进汽口蒸汽温度设计值应在  $100\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内；
- d) 凝汽器换热管应满足热网循环水质要求；
- e) 凝汽器管板和水室应同时满足水侧设计压力和水锤压力；
- f) 凝汽器仪表和接口及其配套阀门应满足运行要求。

## 7 设计要求

### 7.1 乏汽系统

#### 7.1.1 总要求

乏汽系统应满足以下要求：

- a) 乏汽应方便顺利引出，方便施工；
- b) 乏汽引出设计应避免不必要弯头，减少沿程阻力；
- c) 乏汽系统应加装隔离阀门，以确保乏汽余热回收系统停运时冷端系统的严密性；
- d) 乏汽系统应做好支吊架、膨胀节，以确保乏汽管道稳定可靠；
- e) 乏汽系统管径和流速应满足乏汽流速相关规范的要求。

#### 7.1.2 乏汽引出

乏汽引出包含以下3种形式：

- a) 直接空冷机组乏汽引出：从送往空冷岛的乏汽主管道上引接乏汽引出母管，配置相应的阀门及其控制系统，将乏汽送至前置凝汽器蒸汽入口和增汽机乏汽吸入口；
- b) 间接空冷机组乏汽引出：从凝汽器喉部引接乏汽引出母管，配置相应的阀门及其控制系统，将乏汽送至前置凝汽器蒸汽入口和增汽机乏汽吸入口；
- c) 水冷机组乏汽引出：与间接空冷机组乏汽引出方式一致。

## 7.2 动力蒸汽系统

动力蒸汽系统应满足以下要求：

- a) 原则上为汽轮机中排蒸汽；
- b) 动力蒸汽管道上应加装隔离阀门；
- c) 动力蒸汽管径和流速应满足相关规定的要求；
- d) 动力蒸汽管道保温应满足相关规定的要求。

## 7.3 增汽机系统

### 7.3.1 概述

增汽机主要由拉法尔喷嘴、负压腔、文丘里管三部分组成（见图2）。动力蒸汽经过拉法尔喷嘴后，压力能转化为动力能，流速急剧升高，其四周的静压力将随着流速升高急剧降低，形成负压区，具备了抽吸乏汽的能力。将乏汽吸入负压腔后，乏汽会随着高速汽流向文丘里管方向流动，经过混合加速，通过文丘里喉管后扩容降速升压，以高于乏汽被吸入时的压力从增汽机排汽口排出。

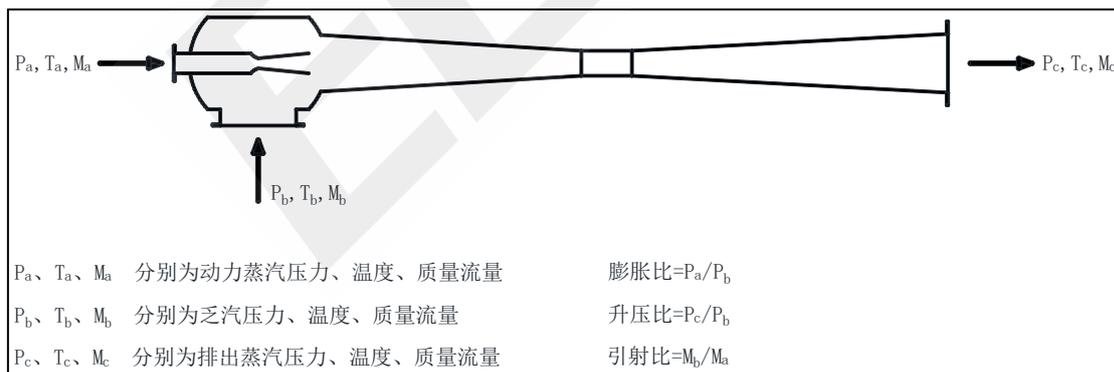


图2 增汽机示意图

### 7.3.2 要求

- 7.3.2.1 增汽机排汽口宜与增汽机轴向方向保持一致。
- 7.3.2.2 增汽机出口到增汽机凝汽器之间不宜设置弯头。
- 7.3.2.3 增汽机应采取降噪措施，常用降噪措施有隔音，吸声，消声等。
- 7.3.2.4 增汽机调试运行维护和检修保养参考本文件附录 B 执行。

#### 7.4 凝汽器系统

凝汽器系统包含前置凝汽器和增汽机凝汽器以及跟凝汽器相匹配的抽真空系统、凝结水系统、循环水系统等。

#### 7.5 喷淋系统

喷淋系统包括两种，分别为增汽机排汽喷淋和增汽机动力蒸汽喷淋，应符合以下要求：

- a) 增汽机排汽喷淋应设置在增汽机出口处直段或增汽机凝汽器喉部；动力蒸汽喷淋应设置在动力蒸汽管道内；应采用凝结水为喷淋水；
- b) 进入增汽机凝汽器的排汽温度应在  $120\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内；
- c) 动力蒸汽喷淋后的蒸汽温度宜在  $200\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 260\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内。

#### 7.6 热网水系统

热网水系统中，前置凝汽器、增汽机凝汽器、热网加热器应可独立运行和串联运行。

#### 7.7 空冷岛（或冷却塔）防冻系统

乏汽余热回收供热系统设计应充分考虑到机组冷端防冻，机组冷端防冻应遵循以下原则：

- a) 机组应留够一定量的上岛（塔）乏汽量或者热量，以确保空冷岛（塔）防冻；上岛（塔）乏汽量或者热量不小于机组最小防冻流量值；
- b) 直接空冷机组空冷岛保留一至两列散热管运转；
- c) 间接空冷机组空冷塔保留一至两个冷却扇区运行；
- d) 水冷机组本机冷却塔停止运行，本机冷却水并入邻机冷却水系统。

## 附录 A

(资料性)

### 系统安装与调试

#### A.1 系统安装

按照DL 5009.1—2014、DL 5009.2—2013、DL 5009.3—2013的有关规定执行。

#### A.2 调试

##### A.2.1 概述

乏汽余热回收供热系统调试主要包含单体设备调试、系统严密性试验、凝汽器清洗和系统调试四个环节；调试过程中，应密切注意的运行参数的变化；如果增汽机不能正常引射，应立即关闭。

##### A.2.2 单体设备调试

在调试的过程中应检查如下内容：

- a) 在进行第一次调试之前，所有管线应清洁、无污染；
- b) 在调试之前，应确保连接部位密闭性良好；
- c) 调试乏汽系统、动力蒸汽系统、热网水系统、凝结水系统、抽真空系统等阀门，确保切换自如；
- d) 调试电气系统、控制系统、各个仪表，确保接线和程序正常；
- e) 增汽机投运条件：
  - 1) 开车前各阀门应处于关闭状态，且阀门动作正常；
  - 2) 各仪表均可正常工作；
  - 3) PLC 柜处于带电状态；
  - 4) 增汽机执行器可正常动作；
  - 5) 所有蒸汽管线排空。
- f) 运行步骤：
  - 1) 缓慢打开吸入乏汽阀门；
  - 2) 打开增汽机头部手动排污阀，暖管结束后关闭；
  - 3) 打开增汽机动力管线阀门；
  - 4) 根据电厂的指令调整增汽机执行器，使增汽机平稳引射。
- g) 执行机构：
  - 1) 应严格按照执行器的操作说明书调试，可调节式增汽机动力蒸汽入口的压力值不应低于设计最小值；
  - 2) 必要时可调整动力蒸汽管路上的关断部件；

- 3) 在第一次单体设备调试后所有螺丝都应再紧一遍。

### A. 2.3 真空严密性试验

乏汽余热回收供热系统真空严密性试验包括前置凝汽器、增汽机凝汽器和乏汽管道系统三个部分，凝汽器真空严密性试验方法按照GB/T 37753的规定执行，乏汽管道真空严密性试验方法按照GB/T 20801.5的规定执行。

### A. 2.4 凝汽器清洗

凝汽器清洗主要包含前置凝汽器汽侧清洗和增汽机凝汽器汽侧清洗两种情况，清洗方式如下：

- a) 前置凝汽器汽侧清洗，增汽机不投运：前置凝汽器通热网水，打开乏汽管道上的阀门，乏汽进入前置凝汽器，观察前置凝汽器热井液位，液位到规定位置时，关断乏汽，打开真空破坏阀，把前置凝汽器热井里的凝结水排掉；同时，测量凝结水化学成分；凝结水水质应符合 GB/T 12145-2016 中第 6 章要求；
- b) 增汽机凝汽器汽侧清洗，增汽机投运：增汽机凝汽器通热网水，观察增汽机凝汽器热井液位，液位到规定位置时，关断增汽机，打开真空破坏阀，把增汽机凝汽器热井里的凝结水排掉，同时，测量凝结水化学成分；凝结水水质应符合 GB/T 12145-2016 中第 6 章要求。

### A. 2.5 系统调试

系统调试包括以下内容：

- a) 整个乏汽余热回收系统全都投入运行；
- b) 调试各个系统之间的协调运行及其稳定性，调试所有性能参数之间的匹配及其合理性。

### A. 3 关机

操作人员应严格按照以下的顺序关机：

- a) 关闭动力蒸汽管线上的切断阀；
- b) 关闭吸入乏汽管线的阀门；
- c) 增汽机动力喷嘴复位到开度为 0° 状态。

## 附录 B

(资料性)

### 增汽机调试运行维护和检修保养

#### A.1 概述

乏汽余热回收供热系统增汽机是一种可调节式增汽机。增汽机使用可调节式喷嘴、执行机构和集散控制系统,可根据机组负荷和供热负荷进行调节,实现机组负荷和供热负荷的匹配。增汽机安装就位后,可动作的只有增汽机喷针杆和疏水阀门两个部件。为保证增汽机的正常运行,日常的管理工作主要分为两个方面:增汽机调试和运行以及增汽机维护和检修保养。

#### A.2 增汽机调试和运行

增汽机调试和运行应按以下要求进行:

- a) 增汽机投运前,先打开增汽机疏水阀。疏干净水之后,关闭增汽机疏水阀;
- b) 可调节式增汽机通过执行机构调节喷针,通过执行机构行程位置实现增汽机流量调节;
- c) 增汽机投运时,喷针设定一个初始开度,先确保增汽机投上,然后再慢慢增大开度,增加增汽机流量;
- d) 增汽机退出时,逐渐关小增汽机喷针开度,直至喷针开度为 $0^{\circ}$ 状态;
- e) 增汽机正常运行时,如果电厂发电负荷和供热负荷稳定在某一个值时,一般不需要调节动作增汽机喷针开度。如果电厂发电负荷变化或者波动,需要调节动作增汽机喷针开度,以满足供热负荷和温度要求;
- f) 在增汽机运行期间,运行人员要充分了解增汽机的操作极限和运行程序,还要密切关注增汽机的运行状况,防止不必要的故障发生。

#### A.3 增汽机维护和检修保养

增汽机维护和检修保养应按照以下规定进行:

- a) 增汽机动力喷嘴复位通过切断执行器电源和工作现场的设备信号来关闭执行机构;
- b) 在工作现场受到霜冻天气影响需要按以上程序关机时,可调节式增汽机、乏汽吸入管线和排汽管线要被彻底排空,以防冷凝物凝结;
- c) 对执行机构和定位器,严格按照执行机构和定位器的操作手册操作;
- d) 如果要长时间停机,所有部件都排空并清洗。

## 参 考 文 献

- [1] GB 50016 建筑设计防火规范
- [2] GB 50019 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
- [3] GB 50040 动力机器基础设计标准
- [4] GB 50660 大中型火力发电厂设计规范
- [5] GB 55016 建筑环境通用规范
- [6] DL/T 1290 直接空冷机组真空严密性试验方法
- [7] DL 5022 火力发电厂土建结构设计技术规程
- [8] DL/T 5035 发电厂供暖通风与空气调节设计规范
- [9] DL/T 5054 火力发电厂汽水管道设计规范
- [10] GB/T 20801.5-2020 压力管道规范 工业管道 检验与试验
- [11] JB/T 3344 凝汽器 性能试验规程
- [12] ANSI/ASME B31.1—2020 动力管道 (ASME B31.1 Power Piping)
- [13] ASTM A249/A249M—18a—2023 焊接奥氏体钢锅炉、过热器、换热器和冷凝器管的标准规范  
(ASTM A249/A249M-18a Standard Specification for Welded Austenitic Steel Boiler, Superheater, Heat-Exchanger, and Condenser Tubes)
-