

# 火电厂热交换器

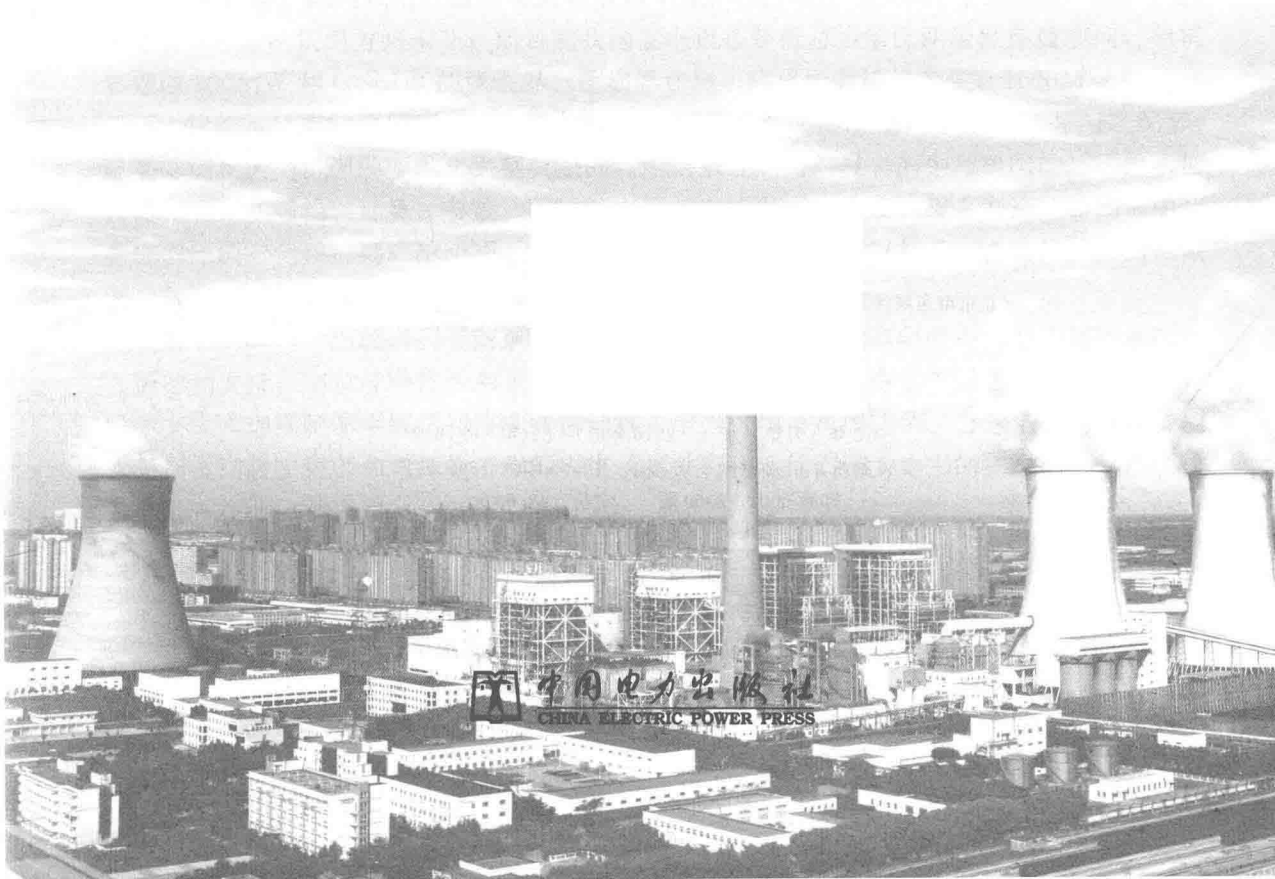
蔡文钢 蔡锡琮 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 火电厂热交换器

蔡文钢 蔡锡琮 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

火电厂使用的热交换器有许多种类, 高压给水加热器是其中重要的一项, 它利用从汽轮机抽出的蒸汽来加热锅炉给水, 以提高电厂循环效率。热交换器对电厂的安全、经济发电和环保起到重要作用。本书以 300MW 及以上大型机组加热器为对象编写, 阐述了高压加热器的工作原理、分类和构造、性能、技术特性, 高压加热器的热力计算、阻力计算, 高压加热器的结构、制造、保护、调节和附件, 同时介绍了低压给水加热器的相关知识, 以及火电厂其他热交换器知识。

本书既可作为火电厂高、低压加热器设计、制造、检修、维护人员的参考用书, 也可供高等院校相关专业师生参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

火电厂热交换器/蔡文钢, 蔡锡琮编著. —北京: 中国电力出版社, 2016.5

ISBN 978-7-5123-8787-4

I. ①火… II. ①蔡… ②蔡… III. ①火电厂-换热器-介绍 IV. ①TK172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 006479 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 365 千字

印数 0001—2000 册 定价: 48.00 元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



## 前 言

火力发电厂使用的热交换器有许多种类，高压给水加热器是其中重要的一种热交换器。

高压给水加热器是火力发电厂汽轮机系统的一项重要设备，它利用从汽轮机抽出的蒸汽来加热锅炉给水，以提高电厂循环热效率，对电厂的安全、经济运行和环保起到重要的作用。其他热交换设备在电厂的各个环节也发挥着重要作用，都是电厂不可或缺的设施。

出版于1995年的《高压给水加热器》一书是论述高压给水加热器的专著，但是近20年来高压加热器的技术有了很多发展和变化，本书可反映这些年来高压给水加热器技术的发展情况，同时将论述范围扩大，除对低压给水加热器也作出叙述以外，还编写了电厂其他热交换器的相关内容。

20年以前，国内发电设备的单机容量以中型的200MW和135MW超高压机组为主，大型的300MW机组方兴未艾；而目前我国发电设备装机总容量已跃居世界最前列，单机容量以300MW和600MW的亚临界、超临界和超超临界压力机组为主，1000MW超超临界压力机组也已有较多使用。作为重要辅机的高压给水加热器经过不断发展并为之配套，已能够满足大型机组的要求。大型机组的高压给水加热器与过去的中型机组的高压给水加热器相比，在结构、计算、参数、附件等方面都有所发展、改变，很多制造所需的专用装备也都已国产化并得到广泛应用。本书反映了这些变化，并予以补充，在各计算方面提供了一些示例以对照演算。

本书的编写、出版得到了南京汽轮机集团泰兴宁兴机械有限公司总经理曹国和的巨大帮助和支持，副总经理曹晨和设计研究所所长何雨花审阅了本书并提出了宝贵意见；香港中文大学理学院学生邱竑翔协助并作计算；宁兴机械公司周桂荣、方建华、傅卫国、何永景四位高级工程师和曹辉堂工程师提供了相关资料。他们都为本书的编写出版做出了贡献，编者在此一并致谢。

作 者

2015年11月



# 目 录

前言	
<b>第一章</b>	<b>高压加热器的工作原理 ..... 1</b>
第一节	概述 ..... 1
第二节	加热器工作原理 ..... 2
<b>第二章</b>	<b>高压加热器的分类和构造 ..... 4</b>
第一节	高压加热器的分类 ..... 4
第二节	高压加热器的典型构造 ..... 5
第三节	高压加热器的典型规格 ..... 14
第四节	过热蒸汽冷却器和疏水冷却器 ..... 16
第五节	高压加热器展望 ..... 19
<b>第三章</b>	<b>高压加热器的性能和技术特性 ..... 24</b>
第一节	传热的分段和温度端差 ..... 24
第二节	疏水冷却段端差及其改善 ..... 25
第三节	排放空气 ..... 26
第四节	设计参数和特性 ..... 33
第五节	给水回热加热系统 ..... 36
第六节	高压加热器试验 ..... 41
<b>第四章</b>	<b>高压加热器的热力计算 ..... 42</b>
第一节	高压加热器的热平衡 ..... 42
第二节	单纯凝结段高压加热器传热计算 ..... 43
第三节	三段式高压加热器的传热计算 ..... 54
第四节	传热校核计算 ..... 70
第五节	大型水平管束传热计算 ..... 74
第六节	传热面积的简捷计算 ..... 75

<b>第五章</b>	<b>高压加热器的阻力计算</b> .....	<b>78</b>
第一节	给水阻力计算 .....	78
第二节	壳侧阻力损失 .....	87
第三节	节流孔板计算 .....	90
第四节	壳侧阻力计算示例 .....	92
第五节	节流孔板计算示例 .....	96
<b>第六章</b>	<b>高压加热器的结构</b> .....	<b>99</b>
第一节	零部件结构综述 .....	99
第二节	管子和管板的连接 .....	100
第三节	管系各零部件 .....	101
第四节	水室各零部件 .....	118
第五节	汽侧壳体 .....	134
第六节	给水加热器用 ASME 标准的材料 .....	141
第七节	管束振动计算 .....	143
第八节	接管载荷 .....	148
<b>第七章</b>	<b>高压加热器的制造</b> .....	<b>154</b>
第一节	胀管 .....	154
第二节	管端焊接 .....	156
第三节	管板 .....	157
第四节	给水接管自动焊机 .....	159
第五节	管端焊缝质量检验 .....	159
第六节	防腐措施 .....	160
第七节	300~1000MW 高压加热器保温 .....	162
<b>第八章</b>	<b>高压加热器的保护、调节和附件</b> .....	<b>163</b>
第一节	高压加热器自动保护 .....	163
第二节	安全阀 .....	172
第三节	疏水调节 .....	179
第四节	附件 .....	184
<b>第九章</b>	<b>低压给水加热器</b> .....	<b>193</b>
第一节	概述 .....	193
第二节	低压加热器的形式 .....	193
第三节	低压加热器的规格 .....	201
第四节	低压加热器结构 .....	202
第五节	低压加热器的保护、调节 .....	206

<b>第十章</b>	<b>其他热交换器</b> .....	<b>208</b>
第一节	概述 .....	208
第二节	生水加热器 .....	209
第三节	热交换器 .....	211
第四节	热网加热器 .....	215
第五节	凝结水回收器 .....	221
第六节	燃油加热器 .....	221
第七节	板式热交换器 .....	226
第八节	蒸发器 .....	230
第九节	热膨胀计算和膨胀节 .....	234
附录 A	高压加热器设计、制造、运行的主要规范和技术条件 .....	239
附录 B	管法兰公称压力对照 .....	241
附录 C	单位换算 .....	242
	<b>参考文献</b> .....	<b>245</b>



## 高压加热器的工作原理

### 第一节 概 述

火力发电厂的高压给水加热器简称“高加”，是利用从汽轮机抽取的蒸汽加热锅炉给水的装置。高压加热器可以提高电厂热效率，节省燃料，并有助于机组安全、稳定、环保、经济地运行。

在火力发电厂发电过程中，除锅炉、汽轮机、发电机三大主机起着主导作用以外，还配备有各种辅助设备，它们对电厂运行的可靠性和经济性也起着非常重要的作用。其中，高压加热器是汽轮机最重要的辅助设备之一，如果其发生故障停运，则给水只能通过旁通管道进入锅炉，这样将大大降低进入锅炉的给水温度，增加燃料消耗量，增加发电成本；如果进入锅炉的给水温度过低，则将威胁锅炉和汽轮机安全运行，缩短设备使用寿命，所以电厂在高压加热器停运时往往降低 10%~15% 发电负荷。

目前，电厂已普遍对高压加热器投运情况日益重视，大多数高压加热器投运初期都能较好地发挥其功效，但是有些高压加热器仍然存在设备可用系数不高、频繁泄漏损坏、使用寿命短等问题。电厂辅助设备出现故障的数量甚至可能超过主机，而高压加热器的故障仍然是电厂设备故障的一个重要方面。国内制造的绝大部分高压加热器，投运初期往往情况良好，但是运行两年以后，其管子与管板间连接焊缝会发生泄漏故障，影响高压加热器的性能。高压加热器需要经受住长期运行的考验，例如，泰兴宁兴机械公司制造的配 300MW 机组高压加热器，其运行时间最长已达 6 年，截止 2015 年年底，已有 60 余台投入运行，16 万个管端焊缝泄漏率为零。

图 1-1 是凝汽式发电厂热力系统简图。燃料在锅炉中燃烧，给水在锅炉中被加热成蒸汽，经管道送入汽轮机内做功后，从汽轮机出口排入凝汽器，被冷却水冷却后排汽（或称乏汽）就冷凝成主凝结水，之后被凝结水泵升压送入低压加热器等加热，再送入除氧器。热力除氧器是一个混合式加热器，也加热主凝结水，从除氧器流出的给水由给水泵升至高压，经高压加热器加热后作为锅炉给水流向锅炉，形成循环。

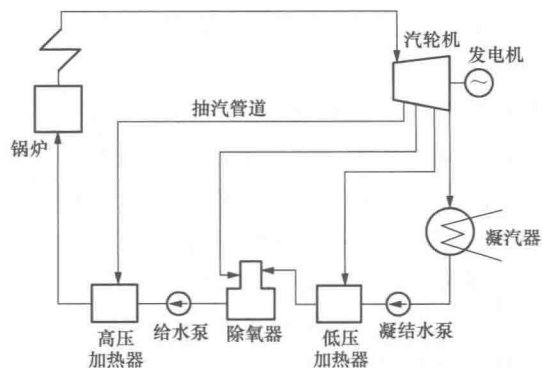


图 1-1 凝汽式发电厂热力系统简图

从汽轮机中抽出的一定数量做过部分功的蒸汽称为抽汽，用它加热主凝结水和给水的



过程称为回热过程，此过程中汽、水的热力循环及热力系统称为回热循环或回热系统。

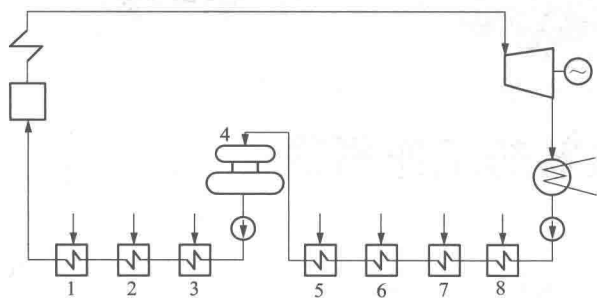


图 1-2 八级回热加热系统

现在典型的 200MW 超高压机组，以及典型的大型 300MW 和更大机组直至 1000MW 超超临界压力机组，都采用四台低压加热器、一台除氧器和三台高压加热器的配置形式，称为八级回热系统。回热加热设备的编号方法没有统一规定，目前较多采用按加热蒸汽压力从高到低顺次编号，如图 1-2 所示的八级回热系统中，1~3 号为高压加热器，4 号是除氧器，5~8 号为低压加热器。本书中若无特别提示，叙述时高压加热器均按此规定予以编号。

中，1~3 号为高压加热器，4 号是除氧器，5~8 号为低压加热器。本书中若无特别提示，叙述时高压加热器均按此规定予以编号。

## 第二节 加热器工作原理

热力学第二定律：热量必然自发地从高温物体转移到低温物体。高压加热器均为表面式加热器，以管子作传热面，汽轮机抽汽进入加热器壳内，在管子外面，给水在管内。蒸汽作凝结放热，蒸汽的放热量通过传热面金属管壁传递给管内给水，从而提高给水温度。

典型的高压加热器工作流程为：给水从进水口进入水室，因分程隔板的阻挡，给水转弯向下流入管板上的管端，由此进入管子，加热蒸汽（即汽轮机抽汽）的热量通过管壁传递给管内给水，给水流经 U 形管过程中被加热，之后进入水室的出口侧，经出水口流出加热器，被送往锅炉。加热蒸汽在壳体内被冷却凝结成疏水，从壳体底部的疏水出口流出，见第二章图 2-4。

从汽轮机中抽出一定数量的做过部分功的蒸汽用来加热锅炉给水的回热过程，可提高机组循环热效率。

这里以机组热力循环中热能的利用和损失情况为例子予以说明。图 1-3 所示为中压机组理论上的火电厂循环热能分配简图。燃料具有的化学能在转变为蒸汽热能的过程中，在锅炉内燃烧将要损失燃料全部热能的 14% 左右；蒸汽从锅炉送至汽轮机，在管道中散失热能约 0.9%；蒸汽进入汽轮机内做功时也消耗一部分热能；做功后的排汽从汽轮机排出至凝汽器时还具有相当多的热能，这部分热能在凝汽器内传给了冷却水而浪费掉，图 1-3 所示凝汽器的这项损失是所有损失中最主要的，约占燃料热能的 60% 以上。该图火电厂的燃料化学能转变为

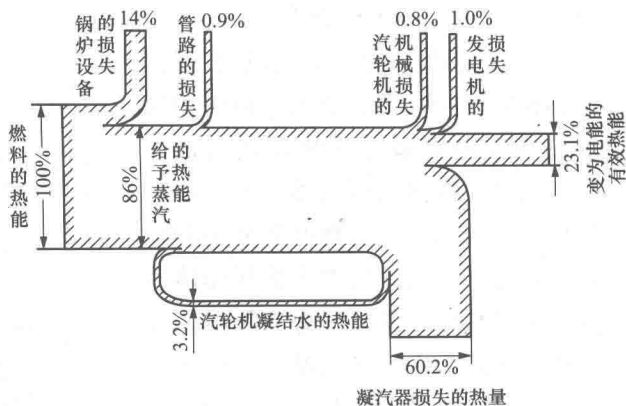


图 1-3 火电厂循环热能分配简图

变为电能的有效热能，图 1-3 所示凝汽器的这项损失是所有损失中最主要的，约占燃料热能的 60% 以上。该图火电厂的燃料化学能转变为



电能的有效热能仅占 23% 左右。高压和超高压以上参数火电厂该百分比将会大一些，目前，最高参数现代化的火电厂该百分比也不超过 50%，国内最高效率火电厂煤耗不到 280g/kWh 标准煤。

由此可见，热力循环中大部分热能被冷却水带走而损失掉，火电厂的热效率很低。为了提高循环热效率，减少汽轮机排汽所损失的热量，途径之一就是利用在汽轮机内已经做过部分功的蒸汽，从抽汽口抽出其中的一部分，用以加热给水。这部分抽汽在冷凝过程中把热量传递给了给水，又回到锅炉中去。它不排入凝汽器，其热量就不会被冷却水带走，而是由给水回收，这部分抽汽的热量就几乎全部被利用而没有损失。尽管进入汽轮机的大部分蒸汽最终被排入凝汽器，造成很大损失，而这小部分抽出的蒸汽却几乎没有热损失，这两部分蒸汽的热效率组成了整个循环效率，它比没有回热加热过程的循环热效率更高，该热效率相对提高 10%~12%，高的可达 15% 左右。其中高压加热器所占增益为 3%~6%。

使用加热器提高循环热效率是有限度的，仅由锅炉加热水（没有回热加热器）产生蒸汽去做功的循环属于基本朗肯循环。带有回热加热的循环比基本朗肯循环具有更高的热效率，每增加一个加热器就使热效率有一个小的增长，理论上加热器级数增至无限多级，其循环热效率相当于相同高、低温热源间的卡诺循环。卡诺循环是在相同的高、低温热源间的热效率最高的循环，这说明装设足够多级的加热器可达到接近于卡诺循环，但这在实际是不可能的，因为不可能设置无限多的加热器。可能获得更大效益的实际措施是汽轮机在循环中采用过热蒸汽，以及在部分的给水加热器中采用过热蒸汽过程（即加热器的过热蒸汽冷却段），使循环热效率有进一步提高。上述采用无限多级加热器回热循环理论上尽管是不可能实现的，但是它阐明了理论上给水加热回热是有极限的。

## 第二章

# 高压加热器的分类和构造

## 第一节 高压加热器的分类

### 一、按压力分类

高压加热器按照不同的管侧（给水侧）压力可分为高压加热器以及中压的高压加热器。

在电厂，凡属于给水泵出口以后的加热器都称为高压加热器。但是对制造厂而言，管侧设计压力大于或等于 9.8MPa 的加热器归属高压容器类，按容器分类属于三类容器。

超超临界压力机组的高压加热器管侧设计压力已超过 35MPa，管侧的部件如水室、管板等需按分析设计进行强度计算等。而对管侧设计压力小于 9.8MPa 的高压加热器，则归属中压容器类，按容器分类属于二类容器，在制造厂可称为中压的高压加热器。

高压加热器按压力分类可大致归纳如表 2-1 所示，仅供参考。

表 2-1 高压加热器按压力分类

高压加热器 分类	发电机组 参数	管侧（给水侧）		壳侧（蒸汽侧）	
		设计压力（MPa） ≤	设计温度（℃） ≤	设计压力（MPa） ≤	设计温度（℃） ≤
中压的高压 加热器	中压	6.5	180	1.5	350
	次高压	9.7	200	2.5	380
高压加热器	高压	19	240	4	410
	超高压	24	250	4.5	460
	亚临界	31	290	7	480
	超临界	35	320	9	490
	超超临界	40	340	9.5	500

### 二、按构造分类和安装布置分类

高压加热器按构造不同主要分为 U 形管管板式和螺旋管集箱式（俗称盘香管式）两大类。螺旋管集箱式又有腰圆形管集箱式和（圆）螺旋管集箱式之分。U 形管管板式可简称为 U 形管式或管板式。

高压加热器按安装布置分类有正置立式、倒置立式和卧式三种类型。



### 三、高压加热器安装布置和容量等现状

绝大部分高压加热器都采取 U 形管式，大型 300MW 机组高压加热器基本采用卧式 U 形管式，只有极少数机组采用倒置立式 U 形管式。

大型 600MW 和 1000MW 机组高压加热器全部采用卧式 U 形管式。

200MW 及更小机组高压加热器绝大部分采用正置立式 U 形管式。

只有少数 100MW 和更小机组高压加热器采用正置立式腰圆形管式。腰圆形管式最大曾应用于 135MW 机组高压加热器。

欧洲的 100~300MW 机组高压加热器，多采用倒置立式 U 形管式，倒置立式 U 形管式在欧洲最大使用至 500MW 机组上。

(圆) 螺旋形管高压加热器在中国已基本不采用，而俄罗斯现在仍然全部采用，包括用在大型高压加热器上。

## 第二节 高压加热器的典型构造

高压加热器有着各种构造形式，本节讨论常见的典型高压加热器的构造。

### 一、大型卧式高压加热器

300~1000MW 机组的高压加热器几乎都采用卧式，美国、日本等国也采用卧式，只有欧洲的 300MW 及 500MW 机组高压加热器采用倒立式。

卧式大型高压加热器如图 2-1 所示。水室为半球形封头，顶部为自密封四合环人孔，进、出水接管呈斜向布置。水室内装有分程隔板，将水室分为上、下两个腔室，给水有两行程，只经一次 U 形管。U 形管一般采用 SA-556 C2 碳钢管，外径采用  $\phi 16$ ，厚度在 2.2mm 左右。采用三段传热，分别是过热蒸汽冷却段-凝结段-疏水冷却段。蒸汽从顶部进入过热段包壳，正对着进汽管的包壳上焊有一不锈钢防冲板（薄形圆板），蒸汽进包壳后沿着通道流动至靠近管板处，包壳上开有长方形缺口，蒸汽经此缺口进入过热段管束区，在折流板（隔板）引导下呈弓字形流动，最终从包壳流出，进入饱和蒸汽凝结段。饱和蒸汽一直沿水平方向流向尾部，在此长度内蒸汽因折流板（隔板）引导，从上至下垂直流动，蒸汽被冷却成凝结水（即疏水）；凝结水也由上向下流动，最终积聚在底部形成水

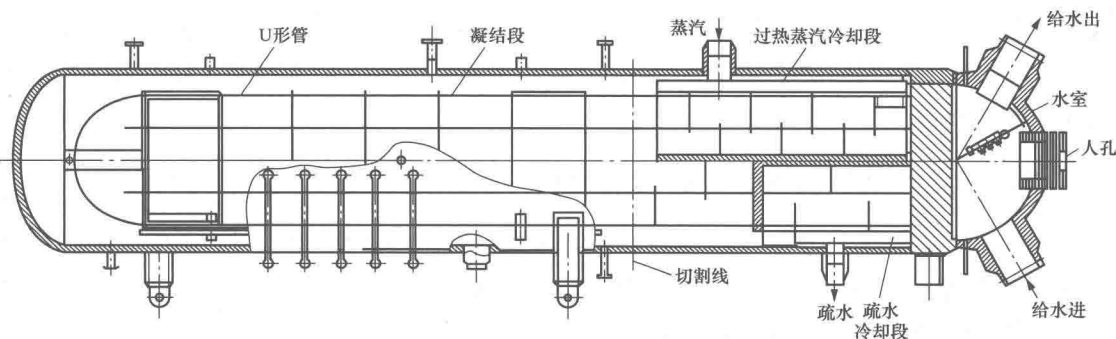


图 2-1 卧式大型高压加热器



位。疏水进入疏水冷却段，经折流板（隔板）引导呈弓字形流动，最后从疏水冷却段出口流出体外。为防止蒸汽从疏水冷却段末端管板管孔与管子之间的间隙流入疏水冷却段，液压胀管器胀头从管板管子中伸入到末端板的位置，把管子液压胀管膨胀到末端管板孔内，形成密封。配 300~1000MW 大型机组的高压加热器，其管束尾部的 U 形弯头一般均利用薄扁条片隔开并固定，以防止 U 形管尾部振动。2 号和 3 号高压加热器的前级疏水入口一般设在靠近尾端的顶部，壳体内设置防冲挡板，以防止疏水进入后扩容形成汽水两相流体，冲击管子造成损坏。沿凝结段长度在管束中心设有抽空气管子并将空气引出体外。

整个高压加热器有三个支点支撑在地基上，管板下面设有固定支座，在壳体中部和近尾部的下面设有两个滚动支座，中间的滚动支座安装时在理论上可以撤去，运行时只有固定支座和尾部滚动支座两个支点。在近疏水冷却段末端处附近标有切割线位置（见图 2-1），当必须检查管系时沿切割线割开壳体，装上中间滚动支座，此时割离的壳体依靠两个滚轮将它推向后面露出管系。而在实际操作中，安装公司往往按图纸仍安装上两个滚轮呈三点支承，这样没有坏处。

1000MW 机组高压加热器有双列布置的形式，即每级有 2 台高压加热器，每台的给水流量为总量的一半。1000MW 机组高压加热器一般分为三级，共有 6 台高压加热器。现在也有单列布置的，每台高压加热器流过全部给水量，一般分为三级，共有 3 台高压加热器。

国内已有双列高压加热器的运行经验，分析研究和实践经验都说明双列布置有很大缺点：占地庞大，运行操作繁复，特别是管道系统太多，每一级有 2 台高压加热器，不仅给水管路增加，而且蒸汽及疏水管路等数量均增加了一倍，众多的阀门附件又增加了泄漏的可能性，操作维修工作量加大，与一般单列布置比较显得落后。但在 1000MW 机组刚出现时，由于配套高压加热器过于庞大，制造上存在困难，因而采用双列布置，单个高压加

热器的体积减小一半，易于制造，因此采用双列布置是当时比较现实的做法。随着技术进步，现在单列布置的 1000MW 机组高压加热器已经出现。

大型高压加热器一般有 5 个水位报警点，如图 2-2 所示。除正常水位外，有高一（报警）、高二（危急疏水）、高三（高压加热器切除）水位；

低一（报警）、低二（下极限报警）水位。图 2-2 所示为一配 300MW 机组的高压加热器示例，图中数据仅为参考值。

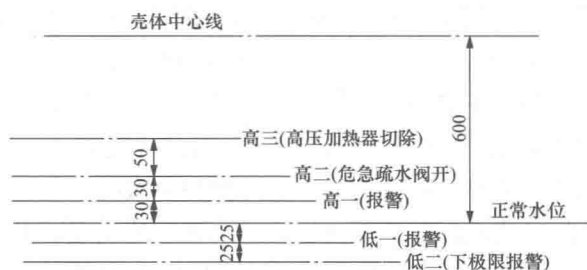


图 2-2 高压加热器报警点

## 二、正立式高压加热器（球形水室）

图 2-3 是一种为 200MW 和 135MW 超高压机组配套的高压加热器，U 形管式，过热蒸汽冷却段-凝结段-疏水冷却段三段传热。传热面材质为 20 号碳钢高压管（20G）或者美国 ASME 标准的 SA-556 C2，管子规格一般为  $\phi 16 \times 2.2$ 。管子液压胀管并焊接在管板上，管板的上边缘与水室相焊，下边缘与汽侧壳体相焊，呈焊接结构。水室顶部设有四合环自



密封（或称伍德密封）人孔，供检修时用，密封垫采用不锈钢丝-高强度石墨垫块，人孔盖可从人孔内取出。水室内装有分程隔板，进水口侧在管板以上一小段距离处装有稳流板以布散水流，防止水室内给水形成漩涡而磨损管端内壁。稳流板上开有很多小孔，它由多块拼成，以便从人孔取出。汽侧壳体的圆筒壳用 Q345R 容器锰钢板或碳素锅炉钢板卷焊制成。给水在管内为两流程，即只经一次 U 形管。给水从进水接管进入水室，经稳流板后再从管板上的管端流入 U 形管内。管外加热蒸汽的热量经管壁传递给管内流动的给水，被加热的给水流出 U 形管进入被分程隔板隔开的水室的出口侧，通过出水口流出加热器。加热蒸汽从壳体进汽口进入过热蒸汽冷却段（简称过热段）罩壳内，经通

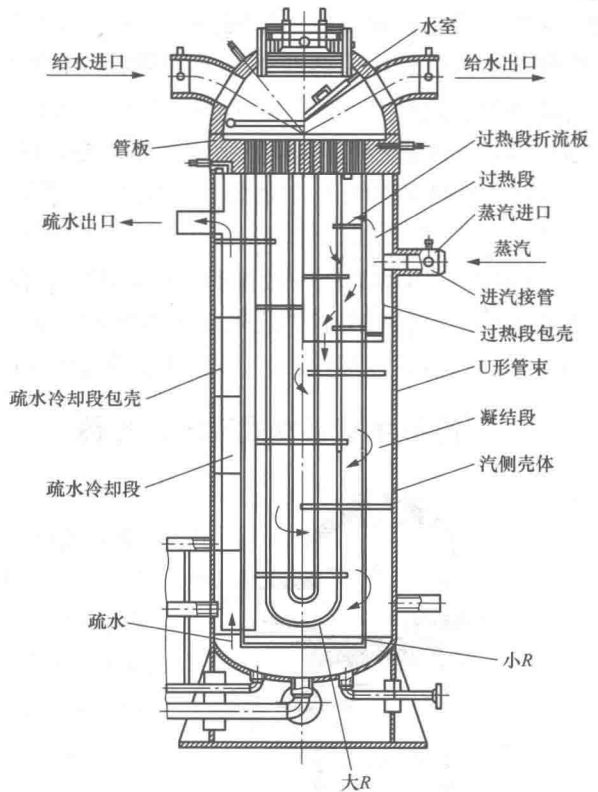


图 2-3 正立式高压加热器

道向上，由长方形缺口进入过热段，扫过管子外表面，经折流板导流多次转弯后流出罩壳至凝结段。靠近管板下表面处设有一遮热板，以阻挡高温的加热蒸汽，从而降低管板下表面的温度，减少管子 and 管板间焊缝的温度应力。在凝结段（即壳体）内，蒸汽自上而下流动，因折流板的导流而转弯，延长蒸汽在加热器内的停留时间，蒸汽逐渐被冷却凝结成疏水，它沿着折流板水平流向壳体内壁，再向下汇流到壳体底部。该高压加热器设置虹吸式疏水冷却段，疏水聚集在壳体底部，依靠加热器之间的压差，使疏水从疏水冷却段包壳下端开口进入包壳，沿包壳内向上，至上部疏水出口流出。疏水冷却段包壳由薄钢板制成，制造中要求包壳的所有焊缝均为全焊接结构，一般焊后需做磁粉或渗透检验，确保密封严密。一旦发生泄漏，蒸汽将漏入疏水冷却段内，破坏虹吸，疏水便会疏不出去，导致疏水冷却段失效。

壳体内下部设置有抽空气管，运行中可不断抽出蒸汽中携带的空气等不凝气体。壳体下部装设有前级疏水进口管，前级疏水从此管端进入。壳体内设有防冲挡板，前段疏水在此处闪蒸扩容。

该型高压加热器给水阻力损失不大，每台为 10m 水柱左右（约为 0.1MPa）。此外，水室、汽侧壳体及接管处还装有壳侧安全阀、压力表、温度计、磁翻板液位计、电接点水位计、平衡容器（接差压变送器为疏水调节用）、放水和放气用的截止阀等附件，并设有保护装置及水侧安全阀。壳体底部设有裙式支座，固定在混凝土基础上。

无疏水冷却段的该型高压加热器，其疏水从底部封头的中心向下流出，并由弯头引出，再水平转弯向旁引出疏水。其优点是疏水出口和壳侧放水口均处在混凝土基础之上，



便于操作，但是需要占去一定的高度空间。另有一种高压加热器的布置形式是把疏水出口和壳侧放水口将疏水引向基础之下，需要从地沟引出，给阀门的操作带来不便，但是节省了高度空间。这种 200MW 和 135MW 机组的高压加热器，除三段传热外，还有两段传热的结构形式，即设有过热段-凝结段两段传热，疏水出口接管设在底部。

对于 135MW 机组，其系统一般设有两台高压加热器，可能是三段传热，也可能是两段传热。

200MW 机组的系统一般设有三台高压加热器，均为两段传热，但是仅有 2 号高压加热器疏水出口另装有外置独立的疏水冷却器，蒸汽在进入 3 号高压加热器前先进入外置独立的蒸汽冷却器，以加热 1 号高压加热器最终出口的给水，详见图 3-12。

### 三、圆筒形水室正立式高压加热器

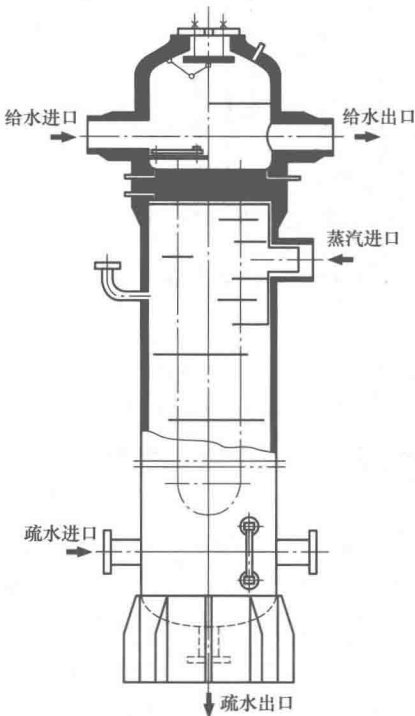


图 2-4 正立式高压加热器（圆筒形水室）

图 2-4 所示为一种正立式 U 形管式高压加热器。这种结构设有圆筒形水室，一般适用于高压机组中 100MW 及更小机组的高压加热器。其水室内径一般不大于  $\phi 1100$ ，为  $\phi 1000 \sim \phi 1100$ ，有的甚至为  $\phi 900$ 。其管系情况与上述正立式高压加热器（球形水室）相似，一般为过热段-凝结段两段传热布置形式。

水室、管系、壳体采用焊接连接。水室顶部设置自密封人孔，供检修用。密封垫片采用铝平垫片，也可采用石棉橡胶板。人孔盖无法从人孔中取出来，而是用铰链固定在水室封头内壁。水室内装有分程隔板，出水侧分程隔板顶部为半圆形，由多块钢板拼接而成，采用螺栓连接，以便检修时从人孔中取出。进水侧的管板向上一小段距离处装有稳流板，以布散水流。水室主体为圆柱形筒体，顶部一般为椭圆形曲线封头，水室下部与管板相焊。进水和出水接管布置在圆筒体两侧，接管用厚壁锻件制造，以便改善开孔对接管强度造成的削弱。

### 四、正立式高压加热器（大开口顶盖）

图 2-5 为正立式 U 形管式高压加热器。它设有大开口顶盖，一般为高压机组的小型乃至中型高压加热器所采用，适合于水室直径为  $\phi 900$  或  $\phi 800$  甚至更小的内径。中型 135MW 及 200MW 机组的高压加热器也有根据用户需要采用此构造的情况。

小型高压加热器的管系情况如正立式高压加热器，一般为纯凝结一段式，也有过热段-凝结段两段传热。其水室顶盖与水室内径相匹配，是四合环自密封结构，大开口是俗称，属于化工行业的伍德式密封。这种结构采用高强度石墨和不锈钢丝制作的圆环状垫块（过去或用铜丝石棉）作为密封垫料。圆环状的四合环分成四块，嵌在水室环槽的内侧，盖板





箍可以防止四合环向内脱落。水室内的给水高压力向上推压顶盖，顶盖向外推压密封垫料和金属密封圈，密封圈被推压顶住四合环，密封垫料便受挤压变形，达到自密封的目的。水室压力越高，密封挤压力越强。

大开口顶盖高压加热器的管板、水室圆筒短节、顶盖、四合环等均为锻件，制造成本昂贵，仅适于小型高压加热器。其优点在于不仅卸开顶盖后散热速度快，而且水室内空间宽敞，有利于检修操作，因此有些电厂用户更倾向于大开口形式高压加热器。但是作为制造厂，减少检修工作量的根本在于保证高压加热器管子和焊缝的高技术、高质量，少损坏、少检修。直径较大的高压加热器，例如 135MW 及 200MW 机组的高压加热器，采用大开口形式，则成本太高，而且对密封、检修操作也不利，不宜采用。

### 五、倒立式高压加热器

图 2-6 所示为典型的 300MW 机组大型倒立式 U 形管高压加热器。500MW 机组倒置立式高压加热器也是这种结构，为过热段-凝结段-疏水冷却段三段式传热，西欧一些国家也采用这种形式。

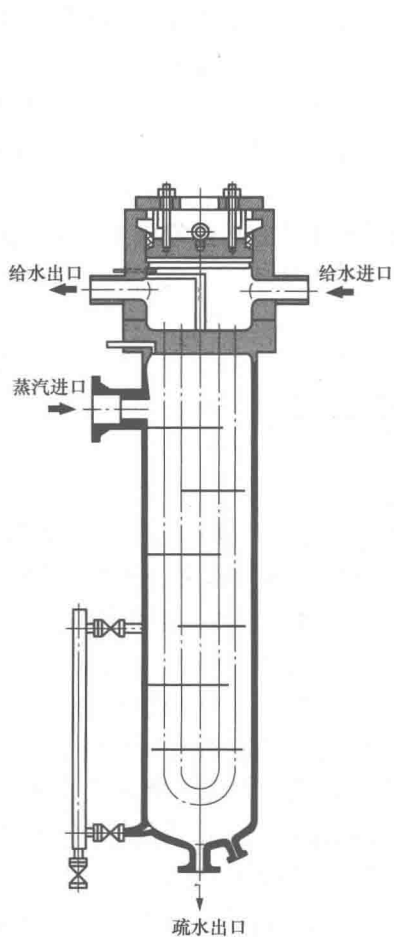


图 2-5 正立式高压加热器（大开口顶盖）

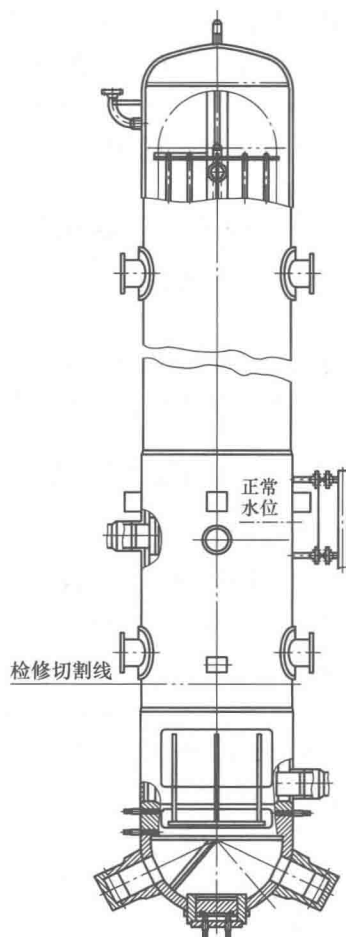


图 2-6 大型倒立式高压加热器



高压水室倒置在高压加热器的底部，水室设有可拆卸的四合环自密封人孔（即伍德密封），水室呈半球形，与管板直接焊接，进、出水接管斜向与管道相焊。倒 U 形换热管连接在管板上，进汽口设在汽侧壳体的下半部，它连接至壳体内部的过热蒸汽冷却段包壳，蒸汽进入包壳后在管束外分为上、下两路，流经过热段以后向上折弯水平流出包壳，再向上流动即为凝结段。过热段顶上的末端板管孔把管子液压胀接在管孔内，以防止末端板上的凝结水从缝隙向下流入过热段，从而避免过热段内蒸汽温度降低。蒸汽流出过热段向上流动，然后沿着折流板水平流动，凝结水积聚在折流板上，在疏水冷却段半圆内流向壳体内壁，再向下流向下方的疏水冷却段，进入疏水冷却段包壳，把热量传递给给水后从疏水冷却段出口流出体外。凝结段的折流板上，在蒸汽冷却段一侧半圆位置焊有圈板，以阻挡折流板上的凝结水流由该半圆位置向下流动。在倒 U 形弯头尾部有薄片扁条阻隔管子，防止弯头尾管振动。沿着整个凝结段长度方向，在管束断面中心位置平行布置有抽空气管。管上开有众多小孔，使空气等不凝气体进入空气管中，被抽向壳体外。壳体的上部和下部各设有两个圆柱形吊耳，供安装时起吊用，也是为了在必须检修管系而沿切割线割开壳体后向上起吊壳体用。

管束两旁的管系设有左右两根结实的槽钢，作为管系的骨架，槽钢焊接在管板上。在壳体上部和中部设有数个螺栓，螺栓端部接近管系的槽钢，以防止管系振动。壳体外中部设有 4 个防振架，防振架接触到壳体外平台的井字形钢架，以防止整个高压加热器壳体振动。管板及其相连的壳体短节上焊有两个悬挂式支座，整个高压加热器依靠这两个支座固定在钢结构上。

在过热蒸汽冷却段底部管板上，过热蒸汽经给水冷却后在管板上已接近饱和温度，可能产生凝结水积聚在此处，因此在过热段包壳范围内的底部设有放水接管，凝结水可从该处排出。

这种倒立式高压加热器的正常水位和允许最高水位都必须高于疏水冷却段包壳，并低于过热蒸汽冷却段包壳，以防止过热蒸汽冷却段包壳满水并倒流到汽轮机中去。

## 六、核电高压加热器

核电站常规岛的高压加热器，其特点是机组容量大，大多在 600MW 和 1000MW 等级机组上使用。给水流量大，但管侧（水侧）的压力却并不大，例如 10MPa，仅达到高压。从汽轮机来的抽汽过热度低，接近饱和蒸汽，因此一般为饱和蒸汽凝结段-疏水冷却段两段式布置形式。

图 2-7 所示为一核电高压加热器的结构。卧式布置的 U 形管管板式，采用两行程，管子一般使用低碳钢，例如 SA-556 C2 等。给水从水室下进水侧的接管进入水室内，一次经过 U 形管被加热后进入水室上侧，从出水接管引出。加热蒸汽从壳体中间的顶部进入壳体内，经不锈钢防冲挡板阻挡折向两旁水平流动，然后由折流板引导垂直向下，疏水也垂直向下滑落并积聚在底部形成水位。疏水从冷却段进口进入，由折流板引导呈弓字形流动，被冷却后从疏水冷却段出水口流出，经疏水调节阀调节后流向下一级高压加热器或除氧器。

核电的高压加热器虽然设计压力、温度并不是很高，但是却要满足核电专业的要求，以