

# 热水锅炉运行与检验

张培亭 赖春阳 主编



黑龙江科学技术出版社

# 热水锅炉运行与检验

张培亭 赖春阳 主编

黑龙江科学技术出版社

## 前 言

我国现有工业锅炉40多万台，其中有10多万台是热水锅炉。热水锅炉主要用于采暖、工业生产及生活用热水。尤其在我国冬季供暖热水锅炉需求量很大，为节约能源和发展集中供热事业及减轻环境污染，热水锅炉的应用量还在逐年增加。与蒸汽锅炉相比，我国热水锅炉的安全监察与技术管理工作起步较晚，从事热水锅炉技术管理及运行操作人员的技术水平有待进一步提高。然而，目前尚缺乏系统而又完整的论述热水锅炉运行管理方面的资料。为适应我国热水锅炉技术的发展，提高热水锅炉司炉工、检验人员及管理人員的技术水平，我们特编写此书以飨读者。

本书注重理论与实际的有机结合，为满足不同层次读者的需求，在保证全书通俗易懂的基础上，对书中内容的深度和广度，进行了合理的安排。本书知识面广、理论分析充分、图文并茂、通俗易懂。通过阅读本书，读者基本上能够对热水锅炉的运行与检验，以及相关方面的知识，有一个比较系统的了解。

全书共分为十二章，主要介绍了热水锅炉的基本知识、热水锅炉的结构与炉型、热水采暖系统、热水锅炉房、热水锅炉的运行、热水锅炉的检验修理以及热水锅炉常见事故的处理。

本书第十、十一、十二章由赖春阳同志编写；第一、三、八、九章由孙庆斌、梁红军，哈尔滨市劳动局锅检所高玉宽、王永武，鹤岗市热力公司姜大力同志编写；第二、四、五、六、七章由张培亭同志编写。全书由王守江高级工程师主审。

本书编写过程中，得到了哈尔滨工业大学陈崇枢教授，黑龙江省劳动局锅炉处曹福满老师的大力支持和指导，在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中错误之处在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 第一章 热水锅炉基本知识

- 第一节 热水锅炉的分类····· ( 1 )
- 第二节 水的性质····· ( 6 )
- 第三节 压力和阻力····· ( 10 )
- 第四节 流量和流速····· ( 12 )
- 第五节 热水锅炉水循环····· ( 13 )
- 第六节 燃料和燃烧····· ( 16 )
- 第七节 热量的传递····· ( 21 )

## 第二章 热水锅炉的结构

- 第一节 自然循环热水锅炉····· ( 25 )
- 第二节 强制循环热水锅炉····· ( 35 )
- 第三节 蒸汽锅炉的改装····· ( 41 )
- 第四节 省煤器及空气预热器····· ( 56 )

## 第三章 热水锅炉供热系统

- 第一节 热水采暖的优点····· ( 61 )
- 第二节 自然循环热水采暖系统····· ( 62 )
- 第三节 机械循环热水采暖系统····· ( 69 )
- 第四节 高温水采暖系统····· ( 77 )
- 第五节 高温水系统的定压方法····· ( 81 )

第六节	常压热水锅炉供暖系统·····	( 90 )
第七节	热水采暖中的回水加热系统·····	( 92 )
第八节	停电时热水锅炉及系统的保护·····	( 94 )

#### 第四章 热水采暖系统的附属设备

第一节	循环水泵及补给水泵·····	( 98 )
第二节	热水锅炉的鼓引风机·····	( 106 )
第三节	排气装置·····	( 117 )
第四节	膨胀水箱·····	( 119 )
第五节	氮气加压膨胀罐·····	( 123 )

#### 第五章 热水锅炉房

第一节	热水锅炉的选择·····	( 126 )
第二节	锅炉房的能源管理·····	( 130 )
第三节	管道及阀门·····	( 139 )
第四节	烟囱·····	( 156 )
第五节	热水锅炉的上煤与除渣·····	( 159 )
第六节	锅炉的使用登记·····	( 169 )
第七节	司炉工的培训考核·····	( 173 )
第八节	锅炉房规章制度·····	( 176 )

#### 第六章 热水锅炉的燃烧设备

第一节	煤的燃烧过程·····	( 180 )
第二节	手烧炉·····	( 185 )
第三节	双层炉排手烧炉·····	( 189 )
第四节	链条炉·····	( 195 )

第五节	往复推动炉	( 206 )
第六节	其他机械化燃烧设备	( 211 )

## 第七章 热水锅炉的运行

第一节	系统的冲洗与充水	( 217 )
第二节	烘炉与煮炉	( 218 )
第三节	锅炉点火前的准备	( 224 )
第四节	点火与升温	( 228 )
第五节	锅炉的正常运行	( 230 )
第六节	供热调节	( 234 )
第七节	燃烧设备的运行	( 240 )
第八节	汽水两用锅炉的运行	( 272 )
第九节	水处理设备的运行	( 276 )
第十节	热水锅炉的保养	( 285 )

## 第八章 热水锅炉常见事故与处理

第一节	热水锅炉事故分类及产生原因	( 290 )
第二节	事故处理的一般原则及报告办法	( 293 )
第三节	热水锅炉的爆炸事故	( 295 )
第四节	热水锅炉的爆管事故	( 299 )
第五节	汽化事故	( 300 )
第六节	循环中断事故	( 304 )
第七节	超压事故	( 305 )
第八节	省煤器管损坏事故	( 306 )
第九节	水击事故	( 308 )
第十节	燃烧室、烟道爆燃及尾部	

烟道二次燃烧事故·····	( 310 )
第十一节 炉墙及拱的损坏现象·····	( 312 )

## 第九章 热水锅炉的水质处理

第一节 天然水中的杂质·····	( 314 )
第二节 水质的主要指标·····	( 316 )
第三节 水垢的形成及危害·····	( 320 )
第四节 水垢的清除·····	( 323 )
第五节 低压锅炉水质标准·····	( 329 )
第六节 锅内水处理·····	( 330 )
第七节 炉外水处理·····	( 338 )
第八节 给水除氧·····	( 344 )
第九节 热水锅炉的水质监督·····	( 350 )

## 第十章 热水锅炉安全附件

第一节 安全阀·····	( 355 )
第二节 压力表·····	( 365 )
第三节 温度测量仪表·····	( 371 )
第四节 超温报警器·····	( 376 )

## 第十一章 消烟除尘及设备

第一节 烟尘危害及排放标准·····	( 379 )
第二节 降低烟气黑度及有害气体的措施·····	( 385 )
第三节 热水锅炉除尘设备·····	( 388 )
第四节 运行时除尘器常见故障及处理·····	( 398 )



## 第十二章 热水锅炉检验及维修

第一节	常用的检验方法及工器具·····	( 402 )
第二节	热水锅炉的检验内容及检验工艺·····	( 408 ] )
第三节	热水锅炉常见缺陷及处理·····	( 434 )
第四节	腐蚀和裂纹的修理·····	( 459 )
第五节	挖补的技术要求·····	( 462 )
第六节	变形突起部位的复位修理·····	( 467 )
第七节	管子修换的技术要求·····	( 469 )
第八节	省煤器及空气预热器的检修·····	( 471 )
附录一	锅炉房安全管理规则·····	( 475 )
附录二	锅炉司炉工人安全技术考核管理办法·····	( 483 )
附录三	国际单位制与工程单位制的换算·····	( 488 )
附录四	水的物理性质表·····	( 491 )
附录五	国产散热器主要技术参数·····	( 492 )

# 第一章 热水锅炉基本知识

## 第一节 热水锅炉的分类

用以生产热水的锅炉称为热水锅炉。热水锅炉是利用燃料燃烧放出的热量加热给水，使水温升高供用户取暖的热能转换设备。

表示热水锅炉的基本参数：

额定供热量—指热水锅炉在额定进口水温、额定进水压力和额定循环水量长期连续运行时应予保证和最大供热量。常以符号“Q”表示，单位是“MW”，过去采用的工程单位是“kcal/h”。换算关系为  $1\text{MW}=85.9845\times 10^4\text{kcal/h}$ ，一般0.7MW相当 $60\times 10^4\text{kcal/h}$ 。

额定出口水温—指热水锅炉在额定进口水温、额定进水压力和额定循环水量长期连续运行时应予保证的出口热水温度，也称额定供水温度。常以符号“ $t_2$ ”表示，单位是“ $^{\circ}\text{C}$ ”。

额定进口水温——指供热系统中循环水在锅炉进口处的温度，也称额定回水温度。常以符号“ $t_1$ ”表示，单位是“ $^{\circ}\text{C}$ ”。

额定出水压力——指热水锅炉在额定出水温度和额定循环水量长期连续运行时的出水压力。常以符号“P”表示，单位是“MPa”，过去采用的工程单位是“ $\text{kgf/cm}^2$ ”。换算关系为  $1\text{MPa}=0.102\text{kgf/cm}^2$ 。

额定循环水量—指热水锅炉在额定供热量、额定出水压

力和额定进口、出口水温长期连续运行时应予保证的循环水量。常用符号“G”表示，单位为“kg/s”或t/h。上述四项基本参数确定后，额定循环水量可用下式计算：

$$G = \frac{Q}{C(t_2 - t_1)}$$

式中 C—水的比热，可取 4.187kJ/kg·℃，过去采用工程单位时取 1 kcal/kg·℃。

例如：一台额定供热量 2.8MW 的热水锅炉，出口水温为 95℃，进口水温为 70℃，则循环水量为

$$G = \frac{Q}{C(t_2 - t_1)} = \frac{2.8 \times 10^3}{4.187(95 - 70)} = 26.75 \text{ kg/s} \\ = 96.3 \text{ t/h}$$

热水锅炉按其出口水温可分为出口水温小于 120℃ 的低温水热水锅炉和出口水温大于或等于 120℃ 的高温水热水锅炉。

热水锅炉按其工作原理可分为依靠水温度不同引起的重度差实现水的循环的自然循环热水锅炉和依靠专门的循环水泵迫使水在锅炉受热面中流动的强制循环热水锅炉。

热水锅炉按其结构型式可分为锅壳式热水锅炉和水管式热水锅炉。锅壳式热水锅炉的型式及代号见表 1—1；水管式热水锅炉的型式及代号见表 1—2。

表1—1 锅壳式热水锅炉型式及代号

锅炉整体型式	代 号
立 式 水 管	LS(立、水)
立 式 火 管	LS(立、火)
卧 式 内 燃	WN(卧、内)

表1—2 水管式热水锅炉型式及代号

锅炉整体型形式	代 号
单锅筒立式	DL (单、立)
单锅筒纵置式	DZ (单、纵)
单锅筒横置式	DH (单、横)
双锅筒纵置式	SZ (双、纵)
双锅筒横置式	ZH (双、横)
纵横锅筒式	ZH (纵、横)
强制循环式	QX (强、循)

热水锅炉按其燃烧方式分类及代号见表 1—3。

热水锅炉按其燃用的燃料种类分类及代号见表 1—4。

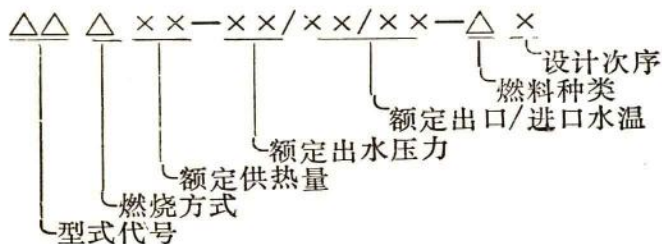
表1—3 燃 烧 方 式 及 代 号

燃烧方式	代 号	燃烧方式	代 号
固定炉排	G (固)	下饲炉排	A (下)
活动手摇炉排	H (活)	往复推动炉排	W (经)
链条炉排	L (链)	沸 腾 炉	F (沸)
抛 煤 机	P (抛)	半沸腾炉	B (半)
倒转炉排加抛煤机	D (倒)	室 燃 炉	S (室)
振动炉排	Z (振)	旋 风 炉	X (旋)

表1—4 燃 料 种 类 及 代 号

燃料种类	代 号	燃料种类	代 号
I 类石煤煤矸石	SI	褐 煤	H
II 类石煤煤矸石	SII	贫 煤	P
III 类石煤煤矸石	SIII	木 柴	M
I 类无烟煤	WI	稻 糠	D
II 类无烟煤	WII	甘 蔗 渣	G
III 类无烟煤	WIII	油	Y
I 类 烟 煤	AI	气	Q
II 类 烟 煤	AII	油母页岩	Y <sub>M</sub>
III 类 烟 煤	AIII		

热水锅炉的型号表示方法如下：



热水锅炉型号由三部分组成：

第一部分表示锅炉型式、燃烧方式和额定供热量。

其中第一段用两个汉语拼音字母代表锅炉整体型式，如表1—1、表1—2所示；第二段用一个汉语拼音字母代表燃烧方式，如表1—3所示；第三段用阿拉伯数字表示额定供热量，单位是“MW”。各段连续书写，互相衔接。

第二部分表示热水的参数，分两段，中间以斜线相连。第一段用阿拉伯数字表示额定出水压力，单位是“MPa”；第二段用阿拉伯数字表示额定出口和进口水温，中间也以斜线相连，单位是“℃”。

第三部分表示燃料种类和设计次序。第一段用汉语拼音字母代表燃料种类，如表1—4所示；第二段以阿拉伯数字表示设计次序，若为原型设计，则无第二段。

例如：(1) SHW2.8—0.7/95/75—A II 表示双锅筒横置式往复推动炉排热水锅炉，额定供热量为2.8MW。额

定出水压力为0.7MPa，额定出口/进口水温为95℃/70℃，燃用Ⅱ类烟煤，为原型设计。

(2) QXL4.2-1.0/130/70-AⅢ2表示强制循环链条炉排热水锅炉，额定供热量为4.2MW，额定出水压力为1.0MPa，额定出口/进口水温为130℃/70℃，燃用Ⅲ类烟煤，为第二次设计。

根据国家标准 GB3166-88，热水锅炉产品的参数系列见表1-5。

表1-5 热水锅炉产品参数系列

额定供热量 (MW)	额定出口/进口水温(℃)									
	95/70		115/70		130/70		150/90		180/110	
	额定出水压力(MPa)									
	0.4	0.7	1.0	0.7	1.0	1.0	1.25	1.25	1.6	2.5
0.1	△									
0.2	△									
0.35	△	△								
0.7	△	△		△						
1.4	△	△		△						
2.8	△	△	△	△	△	△	△	△		
4.2		△	△	△	△	△	△	△		
7.0		△	△	△	△	△	△	△		
10.5					△		△	△		
14.0					△		△	△	△	
29.0					△		△	△	△	△
46.0								△	△	△
58.0								△	△	△
116.0								△	△	△

## 第二节 水的性质

水是一种自然界广泛存在的物质，由于其具有价格低廉、使用方便、污染少等优点，最适用于作为锅炉的热媒。但水的物理、化学性质对热水锅炉及热水系统的设计和运行有着直接影响，必须予以充分注意。

### 1. 密度 $\rho$ 、比容 $\gamma$

单位容积的工质质量称为密度，单位为 $\text{kg}/\text{m}^3$ ；单位质量工质所占的容积称为比容，单位为 $\text{m}^3/\text{kg}$ 。纯水在 $15^\circ\text{C}$ 和大气压力下密度 $\rho=999\text{kg}/\text{m}^3$ ，比容 $\gamma=0.001\text{m}^3/\text{kg}$ 。

密度和比容互为倒数，即 $\rho=\frac{1}{\gamma}$ 、 $\gamma=\frac{1}{\rho}$ 。水的密度、比容均与温度、压力有关。压力相同时，水的温度越高，密度越小，比容越大；反之，亦然。温度相同时，压力越高，水的密度越大，比容越小。但这个规律仅在 $4^\circ\text{C}$ 以上才适用。在 $4^\circ\text{C}$ 时水的密度达到最大值，比容达最小值。

### 2. 水的三种状态

水在自然界中可以三种形态存在，即固态、液态和气态。一般认为，水在 $0^\circ\text{C}$ 以下为固态， $0^\circ\text{C}$ 以上为液态，常压下 $100^\circ\text{C}$ 以上为气态。水由固态变为液态，一般需吸收融解热 $334.9\text{kJ}/\text{kg}$ ；由液态变为固态时要放出同量的融解热。水在常压下由液态变为气态，需吸收 $2256\text{kJ}/\text{kg}$ 汽化潜热；由气态变为液态要放出同量汽化潜热。

### 3. 比热容 $C_p$

比热容是热容被质量除，即1g物质温度升高1℃时所需吸收的热量，单位是 $J/(kg \cdot ^\circ C)$ 。水的比热容随温度的升高而加大，如水在60℃时为 $4.186kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ ，而在150℃时为 $4.32kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ ，230℃时为 $4.69kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ 。实际工程计算时，由于供、回水比热容差值很小，近似取为 $4.186kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ 。水的比热容远大于饱和蒸汽和过热蒸汽的比热容，因而热水具有更大的蓄热能力，可以采用较小管径输送较大热量。另外，出水温度越高，同样管径输送的热量越大。可以，采用热水供暖、尤其是高温水供暖，可以降低采暖系统的一次投资。

#### 4. 运动粘度系数 $\nu$

运动粘度系数是流体粘性大小的一种量度，反映粘性对流体运动的影响，单位为 $m^2/s$ 。对于水，随着温度升高，运动粘度系数降低，如水在在80℃时运动粘度系数为 $0.368m^2/s$ ，而在200℃时运动粘度系数降到 $0.161m^2/s$ ，减少约43.7%，可使摩擦阻力降低10~15%。可见采用高温水采暖系统可以降低输送热水的动力损耗。

#### 5. 导热系数 $\lambda$

水的导热系数较一般流体大，较同温度饱和蒸汽高近30倍。但作为水本身，导热系数仍较小，如静止状态时，相邻水层间热流很小，容器下部较低温度水层很难从上部较高温度水层吸热热量。因此，在设计热水锅炉或热水采暖系统时，要充分注意水的良好循环。

#### 6. 体积膨胀系数 $\beta_t$

当压力不改变时，水温每升高1℃时单位体积水的体



积相对增加量称为水的体积膨胀系数，单位为  $1/k$ （或  $1/^\circ\text{C}$ ）。水的体积膨胀系数随温度的升高而增加，一般采暖设计推荐水的体积膨胀系数为  $0.0006 1/k$ （或  $1/^\circ\text{C}$ ）。采暖系统设计及运行中应充分注意这一问题，否则，因设计考虑不周，或运行时膨胀管冻结或装设阀门，水的膨胀会造成严重后果；热水锅炉在烘、煮炉及启动时也要注意这一问题，进、出口阀门关闭状态下烘、煮炉或启动，也会造成严重后果。

### 7. 压缩系数 $\beta$

一般认为水是不可压缩的，利用这一特点，人们广泛用来做压力试验。但严格讲水不是绝对不可压缩的，压缩性大小常用压缩系数来量度。压缩系数表示在温度不变时，每升高一个单位的压力，水的体积的缩小量，单位为  $\text{m}^3/\text{N}$ 。一般，压力每增加  $0.1\text{MPa}$ ，水的体积仅减小  $0.000 05$ 。

$(\frac{1}{20\ 000})$ 。反之，当水的体积被压缩  $0.000 05$  时，压力将上升  $0.1\text{MPa}$ 。如果一刚性容器（绝无变形）内充满水（绝无气空间），容器及管道、阀门又绝无泄漏，此时水被加热升高  $1^\circ\text{C}$ ，其体积膨量为  $0.000 6$ ，在刚性容器内相当于被压缩  $0.000 6$ ，则压力上升  $1.2\text{MPa}$ ，可见在系统无膨胀设施或进出口阀门关闭的情况下，启动或烘、煮炉的严重性。

### 8. 压力与温度的关系

水的一个重要性质是一定的温度对应一定的饱和压力，见表 1—6。在一定温度下，水达到沸腾时的压力叫饱和压力。此种状态叫饱和状态。这个温度称为该压力下的饱和温