

李之光 王昌明 王叶福 编著

常压热水锅炉 及其供暖系统

机械工业出版社

(京) 新登字054号

DU46/18

本书介绍了可从根本上消除汽水爆炸事故的常压热水锅炉及其供暖系统的国内外发展情况。对这种新型供暖系统的工作原理、调节特点、调整方法、自动控制、阻力损失以及可能出现的各种问题进行了详细分析与讨论,并给出有关计算方法,还提供了各种典型系统示例。本书详细介绍了国内外各种常压热水锅炉的结构与性能;对这种新型热水锅炉的设计方法,包括强度、热力、空气动力、水动力设计等做了介绍并给出计算示例。

本书供从事锅炉与供暖的设计、安装、运行人员使用,也可作为大专院校、中等技术学校锅炉、暖通专业的教学参考书。

常压热水锅炉及其供暖系统

李之光 王昌明 王叶福 编著

责任编辑:蒋克 版式设计:胡金瑛

封面设计:郭景云 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $6^{5/8}$ ·字数140千字

1992年6月北京第1版·1994年8月北京第1次印刷

印数 0 001—2 900·定价:8.50元

ISBN 7-111-03323-X/TK·132

前 言

常压热水锅炉[⊖]及其供暖系统，由于从根本上消除了锅炉爆炸（汽水爆炸）事故的可能性，从而给锅炉带来许多突出优点，如检验与监督可以基本免除、节省钢材、简化工艺、安装地点不受限制、报废锅炉再用等，因此，近些年在国内有较大发展。但同时也给供暖系统带来一些新问题，例如系统中一些部位负压的防止、循环能耗问题、循环泵入口汽化的防止等等。

为使从事常压热水锅炉设计、制造、安装、运行的工程技术人员全面了解这种新型热水锅炉及其供暖系统的特点与应注意的问题，曾在有关刊物上发表过一些文章^[1~4]并举办两次研讨会；还举办一次全国大型学习研讨班，详细讲解与研讨了常压热水锅炉设计问题以及采用这种锅炉给供暖系统可能带来的各种问题与解决方法。

根据以前写的文章、讲稿与研讨总结，并在进一步收集国内外有关资料与计算分析基础上，写成此书，供锅炉与供暖专业人员参考之用。

本书由机械电子工业部北京电工综合技术经济研究所李之光教授、王昌明高级工程师，哈尔滨市北方锅炉厂厂长王叶福工程师联合撰写。大连市锅炉压力容器检验研究所所长鹿道智高级工程师、哈尔滨市锅炉压力容器检验研究所所长

⊖ 此种锅炉国内称为常压热水锅炉（简称常压锅炉）或无压热水锅炉（简称无压锅炉），日本称为无压锅炉。本书统称为常压热水锅炉或常压锅炉。

吴志刚高级工程师给本书提供许多有意义的启示与帮助，日本广岛工业大学刘建平博士为此书提供了一些日本情况与资料，在此一并深表谢意。

由于编著者水平有限，恳请读者对不够深入及错误之处给予补充、指正。

编著者

1992年2月

符号说明

A	支撑面积, cm^2
B	燃料消耗量, kg/h
b	大气压力, Pa 、 mmHg
C	附加壁厚, mm
c	比热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$
D_n	内径, mm
D_w	外径, mm
D_P	平均直径, mm
d	直径、内径, mm
d_w	外径, mm
E'	$t^\circ\text{C}$ 时的弹性模量, MPa
e	螺纹深度, mm
F	流通截面积, m^2
f	流通截面积, m^2 ; 截面积, cm^2
G	流量、循环流量, m^3/h 、 m^3/s
g	重力加速度, m/s^2 ; 流量, m^3/h
H	受热面积、散热面积, m^2 ; 水泵扬程, Pa 、 mH_2O ; 风机电压头, Pa
h	高度、水静高度、高差, m
Δh	阻力损失, Pa
K	传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$
L	长度, m 、 mm
N	功率, W 、 kW
n	安全系数

p 压力, MPa、Pa

p_a 大气压力, Pa、mmHg

$p_d = \frac{w^2}{2g} \gamma$ 动压, Pa

Δp 阻力损失, Pa

Q 热量、供热量, MW、W

Q_s 散热量, MW、W

q 热流密度, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 热损失, %

R 水头损失, Pa、 mH_2O ; 炉排面积, m^2

r 容积份额

S 壁厚, mm

t 温度, $^{\circ}\text{C}$; 螺纹节距, mm

t_b 饱和温度, $^{\circ}\text{C}$

t_h 回水温度, $^{\circ}\text{C}$

t_r 热水温度、锅炉出水温度, $^{\circ}\text{C}$

Δt 温压、温差, $^{\circ}\text{C}$

T 温度, $^{\circ}\text{C}$

V 烟风流量, m^3/h ; 容积, m^3

V_P 膨胀水箱有效容积, m^3

V_S 系统水容, m^3

W 能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$

w 流速, m/s

Z 位置水头, Pa、 mH_2O

α 放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$

β 容积膨胀系数, $1/^{\circ}\text{C}$

γ 重度, N/m^3

Δ 水位, m

η 效率、修正系数

X

λ 导热系数, $\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$; 沿程阻力系数

λ_0 1 m 长度沿程阻力系数, $1/\text{m}$

μ 动力粘度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ 运动粘度, m^2/s

ξ 局部阻力系数; 沾污系数

$\rho = \frac{\gamma}{g}$ 密度, kg/m^3

σ_s 20°C时的抗拉强度, MPa

σ'_s t °C时的屈服限, MPa

$[\sigma]$ 许用应力, MPa

$[\sigma]_b$ 基本许用应力, MPa

φ 减弱系数、保温系数

ψ 有效系数

Gr 葛拉晓夫准则

Nu 努谢尔特准则

Pr 普朗特数

Re 雷诺数

St 斯坦顿数

目 录

前言

符号说明

1 常压热水锅炉及其供暖系统的发展概况	1
1.1 我国发展概况	1
1.2 国外发展概况	5
2 有压热水锅炉供暖系统的有关问题	9
2.1 机械循环热水供暖系统	9
2.2 系统内水的膨胀与收缩的补偿	15
2.3 静压水头线与定压点	17
3 常压热水锅炉供暖系统	24
3.1 常压热水锅炉单点定压供暖系统	24
3.2 常压热水锅炉双点定压供暖系统	30
3.3 不同压力型热水锅炉供暖系统的性能对比	35
4 常压热水锅炉供暖系统的工作特性	43
4.1 循环回路特性	43
4.2 单点定压系统的工作特性与调节	47
4.3 双点定压系统的工作特性与调节	50
4.4 常压热水锅炉供暖系统安装后的调整	52
4.5 常压热水锅炉供暖系统的简易自控	56
5 常压热水锅炉供暖系统的阻力损失等问题	60
5.1 系统阻力损失问题	60
5.2 循环泵入口汽化与耐温问题	62
5.3 锅炉氧化腐蚀问题	69
5.4 高原地区锅炉出水温度偏低问题	71

VI

6 常压热水锅炉供暖系统示例	72
6.1 典型实例	72
6.2 典型系统	82
7 常压热水锅炉的结构设计	88
7.1 结构设计	88
7.2 强度计算示例	93
8 常压热水锅炉的热力与空气动力设计	102
8.1 热力与空气动力计算	102
8.2 热力计算示例	105
8.3 空气动力计算示例	114
9 常压热水锅炉的水动力设计	119
9.1 水动力问题	119
9.2 水动力计算方法	123
10 水-水热交换式与汽-水热交换式常压热水锅炉	128
10.1 水-水热交换式常压热水锅炉	128
10.2 汽-水热交换式常压热水锅炉	140
11 我国常压热水锅炉结构与性能示例	149
11.1 水火管式常压热水锅炉	150
11.2 门拱形常压热水锅炉	152
11.3 圆筒形常压热水锅炉	160
11.4 方箱式常压热水锅炉	165
11.5 立式常压热水锅炉	167
12 常压热水锅炉及其供暖系统的发展前景	172
附录	178
附录 A 常用单位换算表	178
附录 B 全国主要城市大气压力	180
附录 C 常用物性表	182
附录 D 供暖系统主要部件水容	184
附录 E 常用阀门	185

附录 F	管道中水速与沿程阻力损失	188
附录 G	管路局部阻力损失	193
附录 H	动压	194
附录 I	最大允许水速	195
参考文献		195

1 常压热水锅炉及其供暖系统的发展概况

1.1 我国发展概况

1971 年冬，我国辽宁凌源，475 厂施工工地三栋三层楼房（供暖面积约为 5000m^2 ）， 104kW 兰开夏热水锅炉供暖系统（图 1-1 a）因严重失水导致带气运行，致使循环泵明显振动。

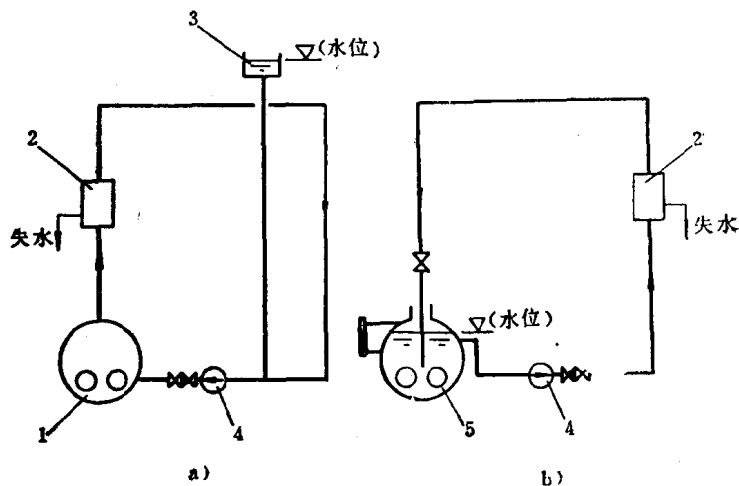


图1-1 热水锅炉供暖系统改装示意图（凌源）

■ a) 常规有压热水锅炉供暖系统 b) 常压热水锅炉供暖系统

1—有压热水锅炉 2—散热器 3—膨胀水箱 4—循环泵

5—常压热水锅炉

当时，该厂梁佩生同志大胆改为“倒拉”系统——循环泵改在锅炉出水侧，锅炉开口并有水位运行（图1-1b）。由于系统中的空气可由锅炉水面逸出，泵前不再带气，遂消除了振动现象。图1-2为该常压热水锅炉供暖系统简图，图1-3为实况图[⊖]。该厂主管供暖技术员韩德发同志从技术上加以总结提升，并肯定了开口系统的可行性，这样，一种违反常规的常压热水锅炉供暖系统于20年前在我国凌源诞生了。这种锅炉由于开口运行，可从根本上消除汽水爆炸的可能性，故从安全考虑具有重大优越性。

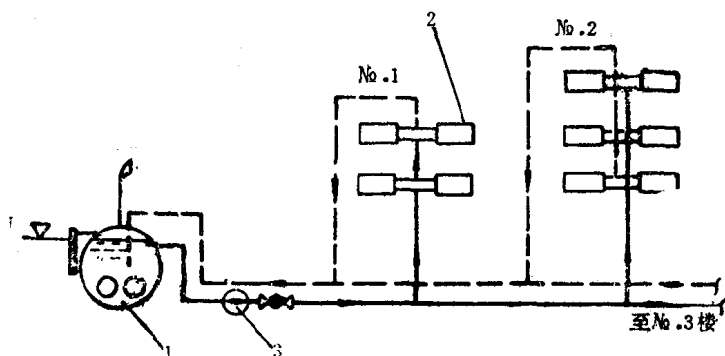


图1-2 常压热水锅炉供暖系统简图（凌源）

1—常压热水锅炉 2—散热器 3—循环泵

1971年至1979年期间，由韩德发同志主持将原有兰开夏、考克兰、康尼许、机车、铸铁、水火管等型锅炉30余台改为常压锅炉，其中一部分运行至今；以后，还专门设计生产了常压热水锅炉；于1979年、1980年、1983年，分别在中国兵工学会、成都工厂热能利用学会、辽宁省能源学会的学术会议上，作了介绍与交流^[5]并在有关刊物上也作了报

⊖ 本书以后主要给出类似图1-1所示的示意图，这不影响对问题分析的结果。

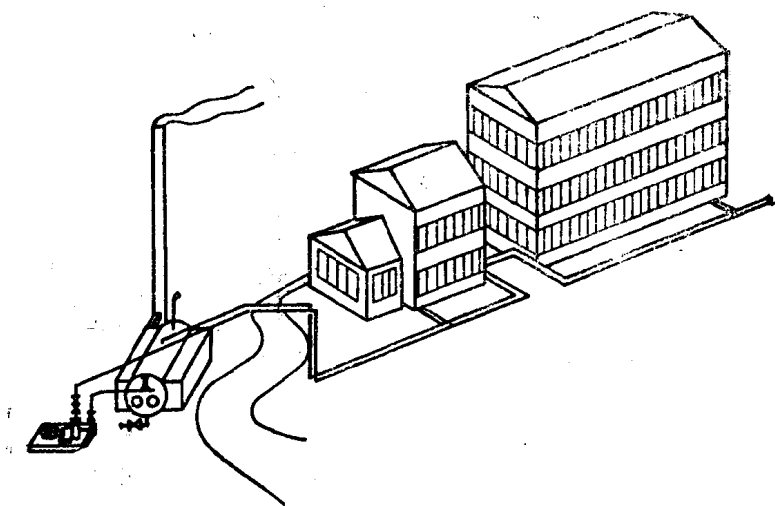


图1-3 常压热水锅炉供暖系统实况图（凌源）

导[6]。

大连市在10年以前，也曾出现热水锅炉“倒拉”系统，但锅炉没有水位，而在系统最高处设开口水箱并直接与锅炉相连，如图1-4所示，称之为静压热水锅炉供暖系统。锅炉承受水箱水位以下水柱静压力，如系统不高，水箱与锅炉的连通管有足够截面积且不冻时，锅炉也不会发生爆炸事故。

1983年辽宁省能源学会学术会议之后，大连市劳动局鉴于常压热水锅炉只承受锅炉水位以下水柱静压力，即锅炉承压与系统高度无关，从安全考虑比静压热水锅炉更优越，给予了高度评价并与该局锅炉压力容器检验研究所一起予以热情关注并加以推动。遂于1985年，旅顺锅炉厂王兆群同志发展成图1-5所示的另一种常压热水锅炉供暖系统。与图1-1 b所示系统相比，散热器置于下行管路，系统最高处设高位水

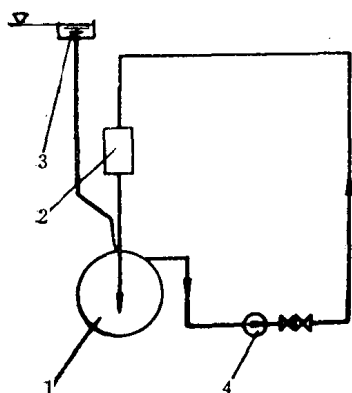


图1-4 静压热水锅炉供暖系统示意图（大连）

1—静压热水锅炉 2—散热器
3—高位水箱 4—循环泵

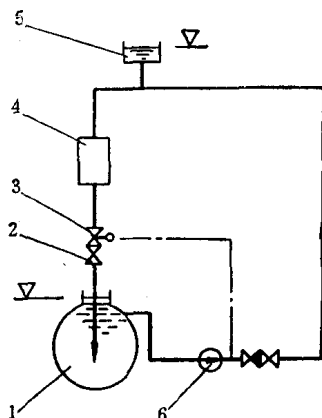


图1-5 常压热水锅炉供暖系统示意图（旅顺）

1—常压热水锅炉 2—阻力调节阀
3—启闭阀 4—散热器 5—高位水箱 6—循环泵

箱，回水下行管路进入锅炉之前设启闭阀与阻力调节阀。散热器置于下行管路，因热水上进下出，要比散热器置于上行管路热水下进上出的传热条件明显改善，因而得到广泛采用。

常压热水锅炉供暖系统由于从根本上消除了爆炸的可能性并带来许多突出优点，因而，在国内得到很大发展。近几年，许多部门在发展常压热水锅炉供暖系统上作了不少工作，一般都侧重于启闭阀上，如由液压控制改为电磁控制、浮球控制、弹簧控制等；为减小浮球尺寸，又将一般浮球启闭阀改为液压浮球启闭阀，等等，但供暖系统的工作原理没有根本性改变。

近期，国内出现一种汽-水热交换式常压热水锅炉供暖

系统 $\ominus$ ，如图1-6所示。锅炉汽空间的水封管使蒸汽压力与大气压基本相等。燃烧热量首先传给中间介质（锅水）使其汽化，再靠冷凝方式将中间介质（蒸汽）的热量传给系统回水。这种锅炉也能消除爆炸的可能性，而供暖系统与常规有压热水锅炉供暖系统无本质差别。由于增设汽-水热交换管，使锅炉钢耗有一定增加。

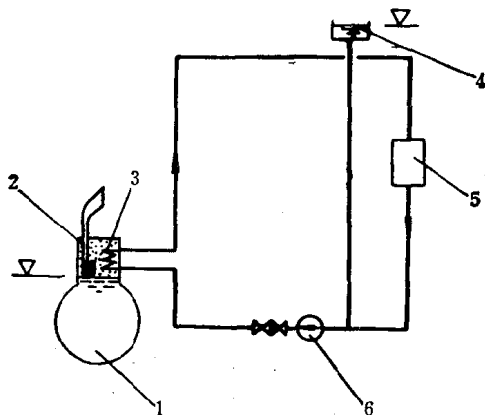


图1-6 常压热水锅炉供暖系统示意图（张家口）

- 1—常压热水锅炉 2—水封管 3—汽-水热交换管
4—膨胀水箱 5—散热器 6—循环泵

1.2 国外发展概况

约15年前，在日本出现一种负压热水锅炉——真空相变热水锅炉供暖系统〔7〕，如图1-7所示。此种锅炉中，燃烧热量首先传给中间介质（锅水）使其汽化，中间介质处于负压条件下，绝对压力约为0.07MPa，饱和温度为88℃。然后，靠冷凝方式将中间介质（蒸汽）的热量传给系统回水，使其

$\ominus$ 张家口市锅炉厂刘彦西同志首创。

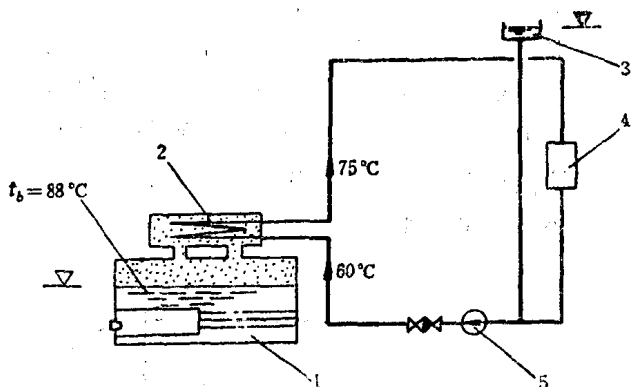


图1-7 负压热水锅炉及其供暖系统示意图（日本）

1—负压热水锅炉 2—水-水热交换管 3—膨胀水箱 4—散热器 5—循环泵

温度由60°C提高到75°C。

由于锅炉在负压条件下运行，中间介质温度低于常压下饱和温度，则炉胆、锅壳破裂，不会导致急剧汽化，因而消除了爆炸的可能性。另外，中间介质（锅水）的温度较低，可使排烟温度下降，锅炉效率提高，从而达到节能目的。锅炉是全气密式的，为保证中间介质的压力不上升，需采取多种措施，如采用可靠自控手段使燃料放出热量与回水吸收热量严格平衡、增设易熔塞等。另外，在锅炉制造时，需进行严格的气密性试验，如采用氦气检漏等，这样，才能防止锅炉运行时，空气不至于漏进锅炉，破坏冷凝换热效果。还应注意排烟温度很低，当燃料含硫量较多时，会导致露点腐蚀。锅炉汽空间的汽-水热交换管如发生漏泄，管内水的压力可使中间介质由负压变为正压，若系统高度30m，则正压可达0.3MPa。

日本在近些年，常压热水锅炉供暖系统得到很大发展。

日本常压热水锅炉与我国的不同,靠锅炉内增设的水-水热交换管吸收热量传给系统回水。采暖系统与常规有压热水锅炉供暖系统无本质差别,见图1-8。这种常压热水锅炉不存在上述负压锅炉可能变为正压的缺点,因为即使锅炉内的水-水热交换管漏泄,由于锅炉开口而不会升压。锅炉只承受不大的水静压力,日本规定不进行监检。

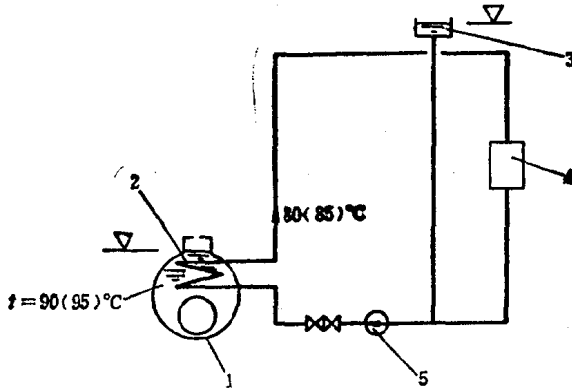


图1-8 常压热水锅炉及其供暖系统 (日本)

1—常压热水锅炉 2—水-水热交换管 3—膨胀水箱 4—散热器 5—循环泵

这种锅炉的中间介质温度比负压锅炉要高一些,一般为 90°C ,最高可达 95°C ,则锅炉出水温度比负压锅炉也高一些,一般为 80°C ,最高可达 85°C ,因而在锅炉供热量相同条件下,循环泵的功率比负压锅炉供暖系统要低一些。当然,锅炉排烟温度比负压锅炉要高一些,锅炉效率比负压锅炉低一些。

铸铁的抗拉强度较低,正适于制作常压锅炉。各铸铁锅片之上连一共同开口水箱,水-水热交换管置于锅片之中或置于专门的热交换器中。这种铸铁常压热水锅炉在日本也得