

新型锅壳锅炉原理与设计

李之光 李柏生 著



 中国标准出版社

新型锅壳锅炉原理与设计

李之光 李柏生 著

中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

新型锅壳锅炉原理与设计/李之光,李柏生著. —北京:中国标准出版社,2008

ISBN 978-7-5066-4819-6

I. 新… II. ①李…②李… III. ①锅炉-理论②锅炉-设计 IV. TK22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 092219 号

中国标准出版社出版发行

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 48 插页 4 字数 1 175 千字

2008 年 8 月第一版 2008 年 8 月第一次印刷

*

定价 130.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

序

20 余年来,本书作者一直主持并亲自参与新型锅壳锅炉的研究、开发、设计与制造、安装等工作,曾不断进行技术总结并写出大量论文发表于不同刊物上。由于这种新型锅炉的钢耗、外形尺寸等性能指标较为突出,加之数量很大,所以许多工厂与大量工程技术人员,要求将上述技术资料整理成册,以便于参考应用。基于此要求,对已公开发表与尚未发表的所有资料加以系统整理与补充,使理论更加严谨,分析更加清晰,内容更加翔实。另外,将最新开发的大量典型锅炉图纸(总图、本体图、主要节点图)、设计计算实例以及设计时所需常用数据也一并纳入,使本书实用性更强。

撰写本书的基本想法是,无保留地将 20 余年来已掌握的全部技术公之于众,借以避免同业人士的不必要重复性工作,以便将主要精力用于更新、更高水平的研究与开发工作中去。

在出版此书时,应着重指出:北京之光锅炉研究所王昌明高级工程师,长期以来在新型锅壳锅炉炉型与元件设计开发中,做了大量开创性工作,有力地推动了此型锅炉的发展。

东丰锅炉厂刘志起高级工程师、王化臣高级工程师,辽宁绿源锅炉厂(原营口锅炉厂)方有惠高级工程师,泰安锅炉公司周冬雷高级工程师,大连本德锅炉公司张伟高级工程师、夏洪敏高级工程师,天津大滩锅炉厂刘万仓高级工程师等,应用本书有关技术与北京之光锅炉研究所技术合作,设计开发出的许多先进新型锅壳锅炉,对我国工业锅炉的发展起了重要推动作用。

哈工大刘曼青教授、鲍亦令教授、孙恩召教授、王铨庆教授等,在

理论分析、实验研究与开发工作上都对新型锅壳锅炉的发展给予了全力支持。

除前述专家外,以下大量锅炉设计、制造专家对新型锅壳锅炉的发展与本书的形成也都起到了有力推动作用,在此一并深表诚挚谢意。他们是(以姓氏笔划为序):王玉和、王世昌、王世璋、王永栋、王光喜、王宝海、王顺祥、刘福仁、朱开城、李毅、李志强、李志宏、余传林、吴江全、许金明、周占魁、赵国强、陆燕荪、杨奇娟、范北岩、郝平、钟永明、赵洪彪、张勇、张英福、胡一民、倪志欣、徐金荣、徐甫、靳广义、顾兆龙、侯临泰、徐再山、徐克勤、曹西森、董芑、董德智、谭美健、阚润清、魏成军等。

大连本德锅炉公司刘峰工程师对本书热力、烟风阻力与强度计算进行了加工与校核,对插图绘制与修改以及部分文稿打字等做了大量工作,他对尽快出版此书给予了有力支持。

本书撰写分工:

上篇:第1章、第4章、第5章——李之光;

第2章——李之光、李柏生;

第3章、第6章、第7章——李柏生。

中篇:第8章~第14章——李之光。

下篇:第15章、第18章——李之光、李柏生;

第16章、第17章——李之光。

本书内容安排、技术校核、全文整理由李之光完成。

著 者

2008年4月

著者联系方式

李之光

电话 0411-82449684 13234062595 010-60252774

邮箱 li31wang32@sina.com.cn

李柏生

电话 0411-88553129 13236922291

邮箱 saifuer_x@sina.com

绪论	1
主要符号说明	4

上篇 结构与性能

第1章 容量 $\leq 7\text{MW}$ (10t/h)的新型水火管锅炉	9
1-1 旧型水火管锅炉概述	9
1-2 新型水火管锅炉概述	12
1-3 新Ⅰ型水火管热水与蒸汽锅炉	14
1-4 新Ⅱ型水火管热水与蒸汽锅炉	24
1-5 新Ⅲ型水火管锅炉(下集箱回水引射并取消前部下降管式热水锅炉)	27
1-6 新Ⅳ型水火管锅炉(相变换热式与水-水换热式热水锅炉)	28
1-7 新Ⅴ型水火管锅炉(取消前部下降管式蒸汽锅炉)	51
1-8 新Ⅵ型水火管锅炉(下集箱回水引射、取消前部下降管与水冷壁前边缘上升管冲刷高温管板式热水锅炉)	52
1-9 新Ⅶ型水火管锅炉(锅壳前部给水与后部引出蒸汽式蒸汽锅炉)	60
第2章 容量 $\geq 10.5\text{MW}$ (15t/h)的新型水火管锅炉	68
2-1 10.5MW~21MW 新型水火管热水锅炉	69
2-2 29MW~70MW“小排管”式新型水火管热水锅炉	77

2-3	29MW~70MW 八字烟道式新型水火管热水锅炉	89
2-4	容量 $\geq 15\text{t/h}$ 新型水火管蒸汽锅炉	106
第 3 章 新型锅壳锅炉的结构设计与技术经济分析		121
3-1	新型水火管锅炉的结构设计	121
3-2	新型水火管锅炉技术经济分析	129
3-3	新型锅壳锅炉的创新、发展和完善	136
3-4	新型水火管锅炉的优点、应注意事项与炉型对比	137
第 4 章 新型卧式内燃火管燃油-气锅炉		142
4-1	卧式内燃火管燃油-气锅炉的改革	142
4-2	新型卧式内燃火管燃油-气锅炉结构	145
4-3	新型卧式内燃火管燃油-气锅炉设计	148
4-4	系列化新型卧式内燃火管燃油-气锅炉结构与热力特性	159
第 5 章 螺纹烟管换热设备与余热锅炉		163
5-1	锅壳式螺纹烟管省煤器	163
5-2	螺纹钢管空气预热器	165
5-3	内螺纹外肋片铸铁空气预热器	167
5-4	热风炉用内螺纹外肋片铸铁换热器	173
5-5	余热锅炉用锅壳式螺纹烟管换热器	179
5-6	锅壳式螺纹烟管余热锅炉	184
第 6 章 链条炉排燃烧设备		193
6-1	链条炉排的燃烧过程及工作特点	194
6-2	链条炉排的种类	197
6-3	链条炉排比较	214
6-4	链条炉排中的一些结构	217
6-5	链条炉排用煤及炉膛	221
6-6	我国链条炉排制造业的发展与现状	226
第 7 章 制造、安装与运行		230
7-1	新型锅壳锅炉的制造	230
7-2	新型锅壳锅炉的安装	245
7-3	新型锅壳锅炉的运行	249

中篇 基本原理

第 8 章 螺纹烟管	267
8-1 螺纹侧放热与流阻	268
8-2 螺纹烟管磨损与积灰	287
8-3 螺纹烟管强度与刚度	295
8-4 螺纹烟管受热面设计	300
8-5 螺纹烟管几何参数与测量	302
第 9 章 凸形管板	307
9-1 烟管管板变革	308
9-2 无拉撑椭球形管板	311
9-3 无拉撑拱形管板	318
第 10 章 热水锅炉水动力	325
10-1 水动力概述	325
10-2 过冷沸腾	326
10-3 自然循环	330
10-4 强制循环	334
10-5 混合循环	335
10-6 上升管流速偏差	341
10-7 混合循环的改进	346
10-8 水动力系统的完善	353
第 11 章 蒸汽锅炉水动力与汽水分离	362
11-1 蒸汽锅炉水动力	362
11-2 蒸汽锅炉汽水分离	362
第 12 章 自身支撑	370
12-1 管系支撑	370
12-2 承载后拱管	390
12-3 承载风箱	392
第 13 章 强度分析	396
13-1 全面认识锅炉强度标准	396

13-2	安全系数与许用应力	399
13-3	无垢与有垢条件下的壁温	402
13-4	热应力对强度的影响	407
13-5	低周疲劳与试验	411
13-6	锅炉受压元件应力分类与控制要求	413
13-7	锅炉受压元件强度问题的解决方法	419
第 14 章 受压元件强度		425
14-1	锅壳强度计算与解析	425
14-2	炉胆、烟管强度(稳定)计算与解析	433
14-3	凸形封头强度计算与解析	438
14-4	平板强度计算与解析	442

下 篇 设 计 计 算

第 15 章 热力与烟风阻力计算		463
15-1	10t/h 新型水火管蒸汽锅炉热力计算与烟风阻力计算	465
15-2	29MW 新型水火管热水锅炉热力计算与烟风阻力计算	496
15-3	58MW 新型水火管热水锅炉热力计算与烟风阻力计算	524
第 16 章 水动力计算		551
16-1	29MW 新型水火管热水锅炉(下降管引射)水动力全面计算	552
16-2	7MW 新型水火管热水锅炉(下集箱引射)简单回路水动力计算	564
16-3	58MW 新型水火管热水锅炉(下降管引射)复杂回路水动力计算	569
16-4	2.8MW 新型水火管热水锅炉(锅外回水旁通)水动力计算	587
第 17 章 元件强度计算		604
17-1	10t/h 新型水火管蒸汽锅炉强度计算	604
17-2	29MW 新型水火管热水锅炉强度计算	622
17-3	58MW 新型水火管热水锅炉强度计算	646
第 18 章 螺纹烟管省煤器设计计算		671
18-1	设计与结构说明	671
18-2	热力与烟气阻力计算	674
18-3	强度计算	681

附录 1 常用数据表	685
(1) 常用单位换算	685
(2) 空气和平均成分烟气的物理特性	687
(3) 空气和烟气的平均比热容 c (由 0 至 $t^{\circ}\text{C}$)	688
(4) 1m^3 (标准状态) 空气和烟气以及 1kg 灰的焓	689
(5) 水和水蒸气的动力黏度系数 μ	690
(6) 水和水蒸气的导热系数 λ	692
(7) 水和水蒸气的普朗特数 Pr	694
(8) 干饱和蒸气以及饱和线上的水的比体积和焓	696
(9) 水的比容 (比体积) 和焓	699
(10) 锅炉钢材的化学成分与机械性能	701
(11) 锅炉钢材的物理性能	706
(12) 锅炉钢材的尺寸规格	707
附录 2 专用名词	715
(1) 专用名词中英对照	715
(2) 专用名词英中对照	721
附录 3 新型锅壳锅炉配用的链条炉排与螺纹烟管换热设备的规格、 技术参数和说明	727
附 1 各种链条炉排	727
附 2 螺纹烟管换热设备	742
参考文献	745

绪 论

1. 锅壳锅炉与水管锅炉

直径不大、厚度较小的管子可承受较高介质压力作用：以 $\phi 60 \times 3.5$ mm 低碳钢管为例，壁温达 300°C 时，允许承受内压 10.4MPa (106kgf/cm^2)，允许承受外压 2.33MPa (24kgf/cm^2)^{*}，另外，管子也便于加工(弯曲、焊接等)，因此，近代锅炉的主要受热面(传热面)基本皆由管子构成。管子分火管与水管两种：火管承受外压，水管承受内压。于是，锅炉按管子种类的不同出现两类锅炉：**火管锅炉**与**水管锅炉**。

主要受热面设置于锅壳内的锅炉统称**锅壳锅炉**，因锅壳内的受热面皆为火管(烟管)**故也称为**火管锅炉**。可见，锅壳锅炉即火管锅炉。

水火管燃煤锅炉与卧式内燃火管燃油-气锅炉是我国最常见的两种**锅壳锅炉**。火管内流动高温烟气，火管外为有压介质(水、汽等)，有压介质必须被锅壳所包围。锅炉容量较大时，火管数量很多，则锅壳直径也很大：20 蒸吨***新型卧式内燃火管锅炉的锅壳直径达 3.2m，同容量外燃新型水火管锅炉也不小，达 2.4m。锅壳壁厚与介质压力、锅壳直径二者的乘积成正比关系。为使壁厚不很大，锅壳锅炉的最高压力一般以 2.5MPa 为限，单台最大容量一般以 40 蒸吨为限。新型水火管锅炉当采用 2 或 3 个锅壳时，其单台容量相应可达 65 或 100 蒸吨。锅壳锅炉的上述最高压力与单台最大容量基本能满足生产与采暖等需要，故锅壳锅炉适用于工业锅炉。

以水管作为主要受热面的锅炉称**水管锅炉**。水管内流动有压介质，水管外为高温烟气，高温烟气被炉墙所包围。根据锅炉容量增大的需求，可任意增加水管数量，而水管又可承受很高内压力，因此，水管锅炉的容量与压力基本不受限制。故水管锅炉既适用于工业锅炉，更适用于发电锅炉。

2. 锅壳锅炉占我国工业锅炉总容量半数以上

据我国质检部门与锅炉权威单位近几年的统计^[1,2]：我国工业锅炉(采暖等生活用锅炉、生产用锅炉)的在用总台数为 55 万台****，在用总容量达 133 万 MW，年产总容量为 5~7 万 MW；发电锅炉的在用总台数为 0.59 万台，在用总容量为 68 万 MW。可见，我国工业锅炉明显多于发电锅炉：工业锅炉的在用总容量约为发电锅炉的 2 倍，而在用总台数则上百倍的多于发电锅炉。

我国工业锅炉中，锅壳锅炉多于水管锅炉，因为锅壳锅炉有许多突出优点：主要受热面(火管)置于锅壳内，使锅炉结构紧凑；锅壳锅炉结构与加工工艺也较简单；特别是，新型水火

* 各国锅炉强度标准均对承受外压作用的烟管给予较大安全裕度。

** 火管(fire tube)为平直烟管(plane fire tube)与螺纹烟管(corrugated fire tube)的通称。

*** 1 蒸吨相当于 0.7MW (热水锅炉)、 1t/h (蒸汽锅炉)。

**** 最新公布^[251]的 2006 年统计为 53.5 万台。



管锅炉将平直烟管改为螺纹烟管并采用自身支撑结构,使钢耗与成本明显下降,而且锅炉出力能够持续不变等。

在我国工业锅炉中,锅壳锅炉的总容量占半数以上;而在锅壳锅炉中,水火管燃煤锅炉与内燃火管燃油-气锅炉的总容量占95%以上。近20年来对这两种主要锅炉炉型进行了深入研究与不断改型,使我国锅壳锅炉的技术水平得到明显提高。

可见,我国锅炉总容量中,发电锅炉、锅壳锅炉(工业锅炉的一种)、其他工业锅炉各约占三分之一。由于工业锅炉实际运行热效率比发电锅炉低10%~20%,则工业锅炉的燃料总消耗量、总排尘量多于三分之二。而发电锅炉的单台容量、参数、科技含量远远高于工业锅炉。

3. 新型水火管锅炉(外燃)

水火管锅炉发展的第一阶段延续近20年(1965年~1983年)。1965年上海原中建锅炉厂(后改名为上海红旗锅炉厂、上海工业锅炉厂)开发出“红旗快装锅炉”。这是水火管燃煤锅炉的原型,它对我国工业锅炉炉型发展起了重要作用^[5]。这种锅炉由于在锅壳外燃烧,适于燃煤;由于以烟管作为主要受热面使锅炉十分紧凑,适于快装;锅炉热效率明显高于老式工业锅炉,锅炉工艺也较简单,因而得到广泛采用。但在大量使用中逐渐发现此炉型存在一些问题,几经改革仍存在水冷壁爆管、高温管板开裂、锅壳底部鼓包等事故率偏高、寿命较短现象^[6],热水型尤为突出,水质愈差,问题愈严重。尽管存在这些问题,但由于前述优点十分突出,因而,此型锅炉仍被广泛采用。国内锅炉主管部门对此种锅炉炉型能否进一步发展曾提出疑义。

笔者经多年考察并认真分析此炉型后,认为应积极采取技术措施克服上述缺点,进一步发扬其优点,使具有中国特色、由国内技术人员独立开发出的这一炉型继续发展下去才是适宜的*。于是水火管锅炉进入发展的第二阶段。从1984年开始,笔者先后在哈尔滨工业大学、机械工业北京电工研究所、北京之光锅炉研究所、营口锅炉厂、大连本德锅炉公司等单位不断研究开发至今。在此过程中,曾与50余个锅炉制造厂合作进行试验研究与运行考核。经20余年的努力,已形成新型水火管锅炉系列并使单台容量不断增大。

4. 新型单回程螺纹烟管燃油-气锅炉(内燃)

内燃火管燃油-气锅炉是各国广为应用的锅炉炉型,已有百余年历史。国内外容量约为1蒸吨以上的此型锅炉大多采用单回程炉胆,再配以双回程普通平直烟管的结构形式,一般称三回程卧式燃油-气锅炉。这种内燃火管燃油-气锅炉由于尺寸较小、便于安装,在国内外得到较多应用。在我国,目前内燃火管燃油-气锅炉约占工业锅炉总容量的15%。

20余年来,我国锅炉行业已成功应用了高效传热螺纹烟管,其传热系数接近普通平直烟管的2倍。因此,将双回程普通平直烟管用单回程螺纹烟管代替是完全可能的。北京之光锅炉研究所经多年努力,开发出1~20蒸吨单回程螺纹烟管卧式燃油-气锅炉系列。于是出现钢耗下降、工艺量减少、锅壳内剩余空间增加等许多优点,又对热水型水动力与蒸汽型锅内设备做了明显改进等。制造与运行实践证实,这种单回程螺纹烟管燃油-气锅炉的各项性能均较三回程卧式燃油-气锅炉有明显改进。这种单回程螺纹烟管卧式燃油-气锅炉已成

* 得到了原机械部陆燕荪副部长与主管工业锅炉的谭美健高级工程师的热情支持。



为一种发展新趋势。

5. 水质控制不严是工业锅炉事故率偏高的主要原因

笔者在数十年来从事工业锅炉研究开发工作中,深感我国工业锅炉行业随着国民经济的飞速发展而得到快步前进,许多工业锅炉制造厂与用户的技术水平与人员素质在不断提高。但同时也经常接触到一些难以容忍的粗制滥造、野蛮运行现象,导致锅炉发生事故或提前报废。最为严重的是一些锅炉用户对水质控制不严,甚至对补水不除硬度与不过滤。锅炉运行出现的问题大部分由此引发。这些非正常情况迫使锅炉设计者不得不采取结构措施尽量减少事故发生、延长使用期,但绝不可能完全适应这种粗制滥造、野蛮运行现象。

6. 工业锅炉寿命至少应达到 20~30 年

精心施工(制造、安装)、精心维护(运行、维修)的锅炉,其寿命至少可达 20~30 年。十分精心施工、维护的锅炉寿命有超过 50 年的实例,因为锅炉使用的低碳钢,在锅炉运行工作条件下不存在老化现象^[199]。

借此书出版机会,呼吁各有关方面对锅炉水质给予高度关注,彻底根除个别单位的粗制滥造、野蛮运行现象,以使我国工业锅炉寿命至少达到 20~30 年。

主要符号说明

一、主 码

1. 英文

- A* 尺寸, m; 系数; 面积, m^2 ; 灰分含量, %
- Ar* 阿基米德准则
- B* 燃料耗量, kg/h ; kg/s ; 有效加强宽度, mm
- B。* 波尔茨曼准则
- b* 宽度, m, mm; 当地大气压, Pa
- C* 系数
- c* 附加壁厚, mm; 比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 、 $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$
- c_p* 比定压热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
- D* 蒸发量, t/h; 直径, mm, m
- d* 直径, 管子外直径, 管子内直径, mm, m
- [*d*] 未加强孔的最大允许直径, mm
- E* 弹性模量, MPa
- e* 螺纹高度(由内壁起算), mm
- e'* 螺纹深度(由外壁起算), mm
- exp 以 *e* 为底的指数, 例如 $\exp(-0.005a/b)$ 表示 $e^{-0.005a/b}$
- F* 流通截面积、截面积, m^2
- f* 流通截面积, m^2
- G* 流量, t/h 、 m^3/h ; 载荷、重量, t, N
- g* 重力加速度, m/s^2 ; 流量, t/h 、 m^3/h
- H* 受热面积, m^2 ; 扬程、压头, Pa、mm H_2O
- h* 高度、水静高度, m
- I* 焓, kJ/kg
- i* 焓, kJ/kg
- J* 惯性矩, mm^4 、 cm^4
- K* 传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
- L* 长度, m
- l* 长度, m
- lg, log 以 10 为底的对数
- ln 以自然数 *e* 为底的对数
- M* 力矩、弯矩, $\text{N} \cdot \text{m}$; 质量, kg
- m* 质量, kg
- N* 力, N
- Nu* 努谢尔特准则
- n* 安全系数
- n_s* 以屈服限为准的安全系数, MPa
- n_b* 以抗拉强度为准的安全系数, MPa
- P* 力, N
- p* 压力, MPa
- p_{dy}* 动压, Pa
- p_{ld}* 流动压头, Pa
- p_{ys}* 引射动压, Pa
- p_{yx}*(或 *S*) 有效压头, Pa
- Pr* 普朗特数、普朗特准则
- Q* 热量、供热量, MW、kJ
- q* 热流密度、热负荷, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 热损失, %
- R* 炉排面积, m^2 ; 半径、圆角半径、曲率半径, mm
- r* 圆角半径、扳边内半径, mm; 汽化潜热, kJ/kg
- Re* 雷诺数、雷诺准则
- S* 有效压头, Pa
- St* 斯坦顿数
- s* 节距, mm; 有校辐射层厚度, m
- T* 绝对温度, K

t 厚度、壁厚, mm; 摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$

U 周界, m

V 体积流量, m^3/h 、 m^3/s ; 容积, m^3 ; 挥发分含量, %

v 比体积(比容), m^3/kg

V_0 理论空气量, m^3/kg

W 抗弯断面系数, mm^3 ; 能耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$; 波纹深度, mm; 水分含量, %

w 流速, m/s

X 介质混合程度系数

x 角系数

Y 系数

2. 希腊文

α 放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 、 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{h})$; 角度, $(^{\circ})$ (度)、 rad (弧度); 过剩空气系数

β 修正系数

γ 重度、比重, N/m^3

δ 伸长率、常温伸长率(10倍试件), %; 厚度、差值、间距, mm

δ_5 常温伸长率(5倍试件), %

Δ 差值、间距, mm

$\Delta\alpha$ 漏风系数

Δh 烟风阻力损失, Pa

Δp 阻力损失, Pa

Δt 温压(两种介质之间)、温差(一种介质或物体内部), $^{\circ}\text{C}$

ε 变形, mm

η 效率、热效率, %; 基本许用应力修正系数; 不均匀系数

θ 温度, $^{\circ}\text{C}$

λ 沿程阻力系数; 导热系数, $\text{kW}/$

$(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 、 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 、 $\text{kJ}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{h})$; 变形, mm

λ_0 1m 长的沿程阻力系数, $1/\text{m}$

μ 黏度、动力黏度、黏性系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; 稳定长度系数; 烟尘浓度, mg/m^3

$\nu = \mu/\rho$ 动黏度、运动黏度、动黏性系数, m^2/s

ξ 局部阻力系数; 沾污系数; 受热面利用系数

π 圆周率; 相似准则

Π 相似准则

$\rho = \gamma/g$ 密度, kg/m^3 ;

ρ 曲率半径, mm

Σ 总合

σ 表面张力系数, N/m

σ_s (常温)屈服限, MPa

$\sigma_{0.2}$ (常温)屈服限(残余变形为0.2%), MPa

σ_b (常温)抗拉强度, MPa

σ_w 弯曲应力, MPa

σ_e 二次应力, MPa

σ_m 膜应力, MPa

σ_{jm} 局部膜应力, MPa

$[\sigma]$ 许用应力, MPa

$[\sigma]_j$ 基本许用应力, MPa

τ 时间, h、s

φ 减弱系数; 保热系数

χ 水冷度

ψ 热有效系数; 温压修正系数

ω 炉排片冷却度; 蒸汽湿度, %

Ω 周界, m

二、副码(角标)

1. 符号

'(右上标) 入口; 饱和水、水

"(右上标) 出口; 蒸汽、空气

—(上标) (直)线段

^(上标) 弧线

2. 英文(下角标)

b 饱和; 八字烟道

bi 壁

d 当量;对流
e 额定
f 辐射
H 横梁
gl 锅炉
gs 给水
h 焊接、回水(锅炉进水)
g 垢;工作
J、j 假想圆;加强;加强圈;节流;计算
压力下;校核;下降;介质
k 空气
l 理论、炉膛、炉胆
lj 临界
lk 理论空气、冷空气
lw 螺纹
m 径向
max 最大
min 最小

n 内
p、pj 平均值
pg 排管
q 壳、汽
r 经向、径向、热水(锅炉出水)
s 上升
sm 省煤器
sz 水静
t(上或下角标) $t^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$) 时、非室温
时、非“常温”时
w 外、未
y 烟气;有效
yg 烟管
ys 引射
z 轴向、纵向

3. 希腊文(下角标)

θ 环向、纬向