

GUOLU YALI RONGQI HANJIE JI ZHILIANG KONGZHI

锅炉压力容器焊接及

质

量

控

制

刘政军 主编

冶金工业出版社

CHINA TANK MANUFACTURE 114417 1 2011ANKO WENZHONG

鋼制壓力容器焊接及

質

量

控

制

第二版 王 明 著

锅炉压力容器焊接及 质量控制

刘政军 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
1999

内 容 简 介

本书系统地介绍了锅炉、压力容器的基本知识, 锅炉、压力容器常用的焊接方法及焊接材料, 锅炉、压力容器焊接裂纹的产生机理及防止措施, 锅炉、压力容器用钢的焊接, 锅炉、压力容器焊接工艺评定试验, 锅炉压力容器焊接质量控制及焊接缺陷产生机理及防止措施等内容。分别介绍了各种焊接裂纹试验评定方法, 并列举了一些比较典型的锅炉、压力容器用钢焊接及焊接工艺评定实例。

本书是锅炉、压力容器进行焊接工艺设计、合理选材、合理施工以及焊接质量控制及管理方面的参考书, 可供焊接、锅炉压力容器专业的工程技术人员及其大中专院校师生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉压力容器焊接及质量控制/刘政军主编. -北京:
冶金工业出版社, 1999. 11

ISBN 7-5024-2374-5

I. 锅… II. 刘… III. ①锅炉-焊接 ②锅炉-焊接-
质量控制 ③压力容器-焊接 ④压力容器-焊接-质量控制
IV. TK226

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 14564 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 赵培德 美术编辑 李 心 责任校对 符燕蓉 责任印制 牛晓波
北京源海印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1999 年 11 月第 1 版, 1999 年 11 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 16 印张; 429 千字; 501 页; 1-2000 册

34.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64013877

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

锅炉、压力容器是生产和生活中广泛使用的承压设备，是工厂中的关键设备。锅炉、容器的质量好坏直接影响其使用寿命，一旦爆炸不但给国家财产造成极大损失，还可能造成人身的伤亡事故。因此，对锅炉、容器的制造特别是焊接过程的质量，应加以严格质量控制与管理。焊接质量控制是锅炉、容器质量保证的核心。

本书系统地论述了各种焊接裂纹和气孔缺陷产生的机理、影响因素以及防止措施；也比较全面地论述了各种常用的焊接方法，锅炉、容器用钢的焊接及焊接工艺评定试验；相应地分析了焊接质量控制的内容、方法及影响因素。

本书由沈阳工业大学刘政军主编。其中第1章由东北电力总公司李卫东编写，第2章由辽河油田油建二公司刘峰编写，第6章的6.1节和第7章的7.1节、7.2节由沈阳工业大学谢德深编写，第7章的7.3节、7.4节由上海发电设备成套设计研究所徐洪海编写，其他各章均由刘政军编写并统稿。

在编写过程中，得到学校和一些科研单位的支持，这里向有关单位及本书所引用文献的作者们表示深深谢意。

由于作者水平有限，书中疏漏和错误之处在所难免，诚恳欢迎广大读者批评指正。

编 者

1998.10

目 录

1 锅炉基本知识	1
1.1 锅炉的组成及主要工作过程	1
1.1.1 燃料的燃烧过程	1
1.1.2 烟气向水的传热过程	3
1.1.3 水的汽化过程	3
1.2 锅炉的技术规格和型号	4
1.2.1 锅炉规格	4
1.2.2 锅炉型号	4
1.3 锅炉安全的重要性	6
2 压力容器基础	7
2.1 压力容器基础知识	7
2.1.1 概述	7
2.1.2 压力容器的工艺参数	9
2.2 压力容器的分类与构成	11
2.2.1 压力容器的分类	11
2.2.2 压力容器的基本构成	14
2.3 压力容器常用材料	16
2.3.1 压力容器用材料的特点及一般要求	16
2.3.2 压力容器用钢板	21
3 锅炉、压力容器制造中常用的焊接方法	30
3.1 手工电弧焊	30
3.1.1 焊接电弧及其特性	30
3.1.2 电焊条	41
3.1.3 碳钢手工电弧焊焊接技术	55

3.1.4	手工电弧焊单面焊双面成形焊接技术	67
3.2	埋弧焊	73
3.2.1	概述	73
3.2.2	锅炉、压力容器筒体纵向焊缝和环向焊缝 的埋弧自动焊接装置	76
3.2.3	埋弧自动焊冶金特点	77
3.2.4	焊接过程中自动调节	82
3.2.5	埋弧自动焊所用的焊接材料	85
3.2.6	埋弧自动焊焊接工艺	109
3.3	钨极氩弧焊	113
3.3.1	钨极氩弧焊的特点及应用范围	113
3.3.2	钨极氩弧焊的工艺特性	114
3.3.3	氩气保护及焊枪结构	115
3.3.4	钨极氩弧焊工艺	122
3.3.5	氩弧焊操作技术	124
3.3.6	各种位置氩弧焊焊接	128
4	锅炉、压力容器的焊接裂纹及防止措施	131
4.1	焊接裂纹的危害、分类及特征	131
4.1.1	裂纹的危害性	131
4.1.2	焊接裂纹的分类	132
4.2	锅炉、压力容器焊接时结晶裂纹	139
4.2.1	结晶裂纹形成条件及特征	139
4.2.2	结晶裂纹产生的机理	140
4.2.3	影响结晶裂纹的因素	144
4.2.4	防止结晶裂纹的方法	153
4.2.5	结晶裂纹的测试及评定方法	158
4.3	锅炉、压力容器焊接冷裂纹	165
4.3.1	冷裂纹的一般特征	165
4.3.2	高强度焊接延迟裂纹的形成机理	167
4.3.3	延迟裂纹的影响因素及其防止方法	189
4.3.4	焊接冷裂纹的测试及评定方法	205

4.4	锅炉、压力容器焊接时的再热裂纹	218
4.4.1	再热裂纹的特征	218
4.4.2	再热裂纹的形成条件	220
4.4.3	再热裂纹的产生机理	220
4.4.4	影响再热裂纹的因素及其防止措施	226
4.4.5	再热裂纹的测试及评定方法	232
5	锅炉、压力容器用钢的焊接	238
5.1	低合金钢的焊接	238
5.1.1	低合金高强度钢的特征	238
5.1.2	低合金高强度钢焊接	244
5.2	典型低合金高强度钢的焊接	278
5.2.1	16Mn 钢的焊接	278
5.2.2	18MnMoNb 钢的焊接	278
5.2.3	15MnVR 钢的焊接	279
5.2.4	15MnVNR 钢的焊接	279
5.3	低温钢的焊接	280
5.3.1	低温用钢的成分和性能	280
5.3.2	低温用钢的焊接	285
5.3.3	焊接工艺要点	290
5.3.4	低温容器焊接注意事项	292
5.4	不锈钢的焊接	293
5.4.1	不锈钢的类型和特性	293
5.4.2	奥氏体不锈钢的焊接性	313
5.4.3	奥氏体钢焊接用填充材料	322
5.4.4	奥氏体钢的焊接工艺特点	333
5.5	异种钢焊接	357
5.5.1	异种钢焊接存在的问题	357
5.5.2	异种钢的焊接法	359
5.5.3	复合钢的焊接	361

6 锅炉、压力容器焊接工艺评定	364
6.1 焊接工艺评定内容、目的及试验特点	364
6.1.1 焊接工艺	364
6.1.2 焊接工艺评定的目的	366
6.1.3 焊接工艺评定试验的特点	367
6.2 焊接工艺评定的过程	368
6.2.1 编制焊接工艺指导书	368
6.2.2 试件的制备	369
6.2.3 理化检验	370
6.2.4 编制焊接工艺评定报告	370
6.2.5 编制焊接工艺规程	371
6.3 焊接工艺评定的规则	371
6.3.1 必须进行评定的焊缝	372
6.3.2 对母材分组焊接工艺评定的规则	372
6.3.3 焊接工艺适用有效范围规则	374
6.3.4 焊接工艺因素的变化及相应的规则	377
6.3.5 耐蚀层堆焊的重要因素	389
6.4 焊接工艺评定检验项目	391
6.4.1 对接焊缝	391
6.4.2 角焊缝	391
6.4.3 组合焊缝	392
6.4.4 耐蚀堆焊层	392
6.5 焊接工艺评定的试件、试样、检验和合格指标	393
6.5.1 对接焊缝	393
6.5.2 角接焊缝	404
6.5.3 组合焊缝	405
6.5.4 耐蚀堆焊层	407
6.6 焊接工艺评定实例	408
6.6.1 掌握焊件母材的焊接性	409
6.6.2 列出焊接工艺评定的项目	411
6.6.3 编制焊接工艺指导书	413
6.6.4 施焊试件	418

6.6.5	检验试件、力学性能的测试	418
6.6.6	填写焊接工艺评定报告	418
7	锅炉、压力容器的焊接质量保证及控制	423
7.1	锅炉制造中的焊接质量保证	423
7.1.1	从技术上保证锅炉的焊接质量	423
7.1.2	通过质量管理来保证锅炉的焊接质量	425
7.2	压力容器制造中的焊接质量保证	426
7.2.1	概述	426
7.2.2	压力容器焊接的质量保证	427
7.3	锅炉、压力容器的焊接质量控制内容	429
7.3.1	焊接质量控制的内容及其相互关系	429
7.3.2	必须对锅炉、压力容器焊接质量进行控制的原因	430
7.3.3	锅炉、压力容器焊接质量控制的标准	431
7.4	焊接质量控制的影响因素	432
7.4.1	结构设计与焊接质量控制的关系	432
7.4.2	材料对焊接质量控制的影响	426
7.4.3	焊接工艺对焊接质量控制的影响	444
7.4.4	施工对焊接质量控制的影响	451
7.4.5	检验对焊接质量控制的影响	453
8	焊接缺陷形成机理、影响因素及其防止措施	454
8.1	焊接气孔形成机理、影响因素及其防止措施	454
8.1.1	气孔类型及其分布特征	454
8.1.2	焊缝中形成气孔的机理和发生界限	547
8.1.3	影响生成气孔的因素	462
8.1.4	防止气孔产生的措施	477
8.2	焊缝金属中夹杂	488
8.2.1	非金属夹杂	488
8.2.2	焊缝中非金属夹杂物	489
8.2.3	焊缝中金属夹杂	491
8.2.4	防止焊缝中夹杂物的措施	491

8.3 未熔合及未焊透	492
8.3.1 未熔合及未焊透形成原因	493
8.3.2 未熔合及未焊透的影响因素	493
8.3.3 未熔合及未焊透防止措施	495
8.4 其他缺陷	496
8.4.1 咬边	496
8.4.2 焊缝余高过高	497
8.4.3 未焊满	499
8.4.4 焊瘤	499
8.4.5 烧穿	499
8.4.6 错边	500
参考文献	501

1 锅炉基本知识

现代锅炉是由许多零部件组成，是将燃料内蕴藏的能量，经过燃烧释放出的热能，使水加热乃至成为蒸汽，供生产和生活上使用的一种庞大而复杂的热能设备。

1.1 锅炉的组成及主要工作过程

锅炉是由锅炉的本身“锅”和“炉”以及为保证锅和炉正常运行所必须的附件（仪表以及附属设备等）三大部分组成。

锅（也叫汽锅），是指锅炉中盛放锅炉水和蒸汽的密封受压部分，是锅炉的吸热部分。其中包括锅筒（也叫汽包）、对流管（主炉管）、水冷壁、集箱（联箱）过热器和省煤器等。

炉是指锅炉中使燃料进行燃烧产生高温放出热能的部分，是锅炉的放热部分。其中包括燃烧设备、炉墙、炉拱和钢架等。燃料在炉内通过燃烧所产生的灼热烟气，经过炉膛和各部分烟道向锅炉受热面放热，最后从锅炉的尾部排出。

为了保证锅炉的正常工作和安全，蒸汽锅炉还必须装有安全阀、水位表、高低水位报警器、压力表、主汽阀、排污阀、逆止阀等。另外，还有用来消除受热面上积灰以利传热的吹灰器，其目的是提高锅炉运行的经济性。

锅炉的工作包括三个同时进行的过程：燃料的燃烧过程；烟气向水的传热过程；水的汽化过程。下面分项叙述。

1.1.1 燃料的燃烧过程

由图 1-1 所示，锅炉的炉子设置在汽锅的前下方，此种锅炉是供热锅炉中应用较为普遍的一种。燃料由加煤斗送入炉排面上，然后将燃料输入炉内。燃料一面燃烧，一面向后移动；再由风机向炉排腹中提供空气供氧，然后进行燃烧反应形成高温烟气，渣由除渣板来排掉。上述过程称为燃烧过程。燃烧过程进行得完善是

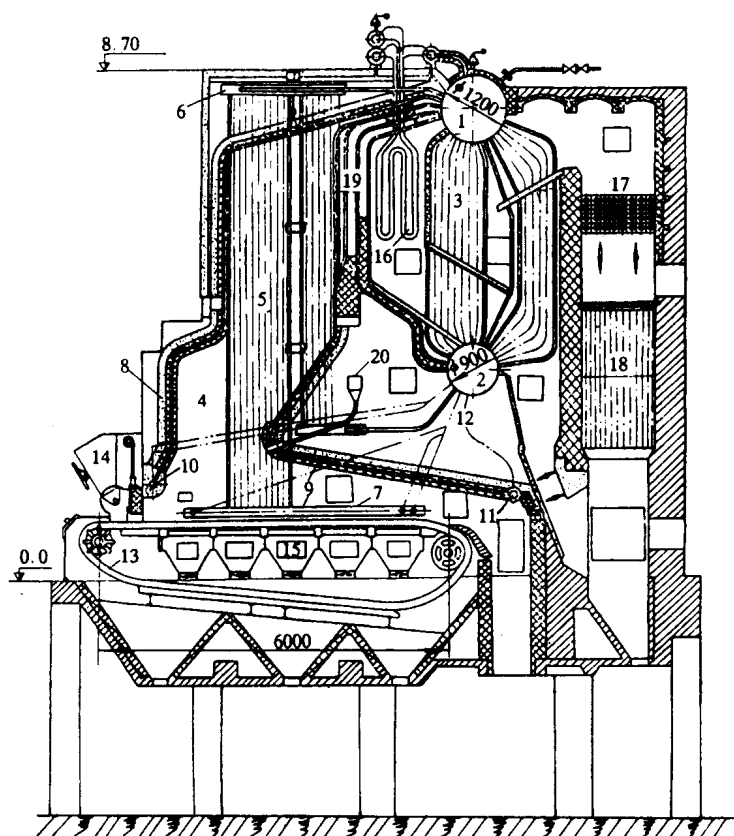


图 1-1 SHL10-13/350 型锅炉

- 1—上锅筒；2—下锅筒；3—对流管束；4—炉膛；5—侧墙水冷壁；
 6—侧墙水冷壁上集箱；7—侧墙水冷壁下集箱；8—前墙水冷壁；9—后墙水冷壁；
 10—前水冷壁下集箱；11—后水冷壁下集箱；12—下降管；13—链条炉排；
 14—加煤斗；15—风仓；16—蒸汽过热器；17—省煤器；18—空气预热器；
 19—出烟窗及防渣管；20—二次风管

锅炉正常工作的根本条件。要保证燃烧充分，必须有高温的环境、充足的空气量（氧气）、空气与燃料的良好混合。

1.1.2 烟气向水的传热过程

由于燃烧放热，炉内温度升高。炉膛内的高温烟气与水冷壁进行强烈的辐射换热，将热量传递给水冷壁管内的工作介质，然后烟气受引风机、烟囱的引力而向炉膛上方流动。烟气出烟窗通过防渣管后，就冲刷蒸汽过热器，使汽锅中产生的饱和蒸汽在其中受烟气加热而得到过热。烟气流过过热器后又掠过锅筒间的对流管束。在管束间设置了折烟墙，使烟气呈S形曲线地横向冲刷，再次以对流换热方式将热量传递给管束内的工作介质。随着路径降温的烟气，最后进入尾部烟道与省煤器和空气预热器内的工作介质进行热交换，再以最低的烟温排出锅炉。

1.1.3 水的汽化过程

水的汽化过程也是蒸汽的产生过程，主要包括水循环和汽水分离过程。锅炉给水是由水泵加压，先流经省煤器而得到预热，然后进入汽锅。锅炉工作时，汽锅中的工作介质是处于饱和状态下的汽与水混合物。位于烟温度较低区段的对流管束，因受热强烈，相应地工作介质的密度比较小，而密度较大的工作介质则往下流入下锅筒，密度较小的向上流入上锅筒，形成了锅内水的自然循环。此外，为了组成水循环和进行输导分配；一般还设有放置于炉墙外的不受热的下降管，借助于它将工作介质引入水冷壁的下集箱，而通过上集箱上的汽水引出管将汽与水混合物导入上锅筒。

借助上锅筒内装设的汽与水分离设备，以及在锅筒本身空间中的重力分离作用，使汽与水混合物得到了分离。蒸汽从上锅筒顶部引出后进入蒸汽过热器中去，而分离下来的水仍回落到上锅筒下半部的水空间。汽锅中的水循环，也保证了与高温烟气相接触的金属部件受热面得以冷却而不会烧坏，是锅炉能长期安全可靠运行的必要条件。而汽与水混合物的分离设备，则是保证蒸汽品质和蒸汽过热器可靠工作的必要设备。

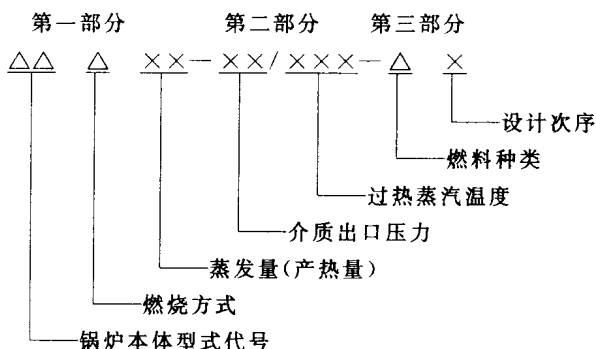
1.2 锅炉的技术规格和型号

1.2.1 锅炉规格

为满足工业生产需要，并利于辅机的配套生产，工业锅炉实行系列化和通用化生产。锅炉规格（系列参数）应符合《工业蒸汽锅炉参数系列》（GB1921—89）标准。

1.2.2 锅炉型号

我国供热（工业）锅炉产品型号由三部分组成，各部分之间用短横线相连，具体表示方法如下：



型号的第一部分分3段组成。第1段用汉语拼音的两个字母代表锅炉本体型式，其含义见表1-1；第2段用汉语拼音的一个字母代表燃烧方式（废热锅炉无燃烧方式代号），其含义见表1-2；第3段用阿拉伯数字表示蒸发量为若干 t/h（热水锅炉以产热量表示，单位为 kJ/h；废热锅炉以受热面表示，单位为 m^2 ）。

型号的第二部分分2段组成（中间以斜线分开）。第1段用阿拉伯数字表示额定工作压力为若干兆帕（表大气压）；第2段用阿拉伯数字表示过热蒸汽（或热水）温度。生产饱和蒸汽的锅炉，型号表示法中无第2段和斜线。

型号的第三部分由2段组成。第1段以汉语拼音字母代表锅炉用燃料的种类，见表1-3所示；第2段表示锅炉设计次序，用阿拉伯数字连续顺序编制，如果无数字即表示原型设计。例如：

SHL10—13/350—W,表示双锅筒横置式链条炉排,蒸发量为10t/h,出口蒸汽压力为13表大气压(1274kPa),出口过热蒸汽温度为350℃,适用于无烟煤,按原型设计制造的锅炉。

表 1-1 锅炉本体型式代号

火 管 锅 炉		水 管 锅 炉	
锅炉本体型式	代 号	锅炉本体型式	代 号
立式水管	LS (立、水)	单锅筒立式	DL (单、立)
		单锅筒纵置式	DZ (单、纵)
立式火管	LH (立、火)	单锅筒横置式	DH (单、横)
		双锅筒纵置式	SZ (双、纵)
卧式内燃	WN (卧、内)	双锅筒横置式	SH (双、横)
		纵横锅筒式	ZH (纵、横)
		强制循环式	QX (强、循)

表 1-2 燃烧方式代号

燃烧方式	代 号	燃烧方式	代 号
固定炉排	G (固)	下饲式炉排	A (下)
活动手摇炉排	H (活)	往复推饲炉排	W (往)
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 1-3 燃料品种代号

燃料品种	代 号	燃料品种	代 号
无烟煤	W (无)	油	Y (油)
贫 煤	P (贫)	气	Q (气)
烟 煤	A (烟)	木柴	M (木)
劣质烟煤	L (劣)	甘蔗渣	G (甘)
褐 煤	H (褐)	煤矸石	S (石)

1.3 锅炉安全的重要性

锅炉是一种受压又直接受火的特种设备，也是工业生产中常用设备，在工业的各个领域中都得到广泛的应用。如果管理不善，处理不当往往会引起事故，轻则停炉影响生产，重则发生爆炸，造成十分严重的人身和设备事故。因此锅炉的安全问题，必须引起高度警惕，应该特别加以注意。

许多发达国家，都把蒸汽锅炉列为特种设备，由专门机构进行安全监督，并颁发各项规范以供遵守。

根据锅炉的特点和多年来的实践经验，要确保锅炉的安全运行，应从锅炉的设计、制造、安装、使用、修理和改造等各个环节，全面进行管理和监察。

我国非常重视锅炉的安全问题。国务院已发布了《锅炉、压力容器安全监察条例》，为我国在锅炉和压力容器的安全工作制订了法律依据。近年来，国家各有关部门也先后发布了或即将发布一系列有关规程、规范和标准。

此外地方和基层单位还制定相应的具体规定，锅炉的各制造单位都有严格的质量保证体系。

我国先后设置了专门机构，负责锅炉的安全监察工作。国家在劳动人事部下设锅炉压力容器安全监察局，各省、市、县也相应设置了锅炉压力容器安全监察处或科，对锅炉的设计、制造、安装、使用、修理和改造等各个方面进行安全监察。此外，各有关部门还先后成立了各种研究机构，从事研究锅炉安全有关技术问题。