

锅炉压力容器焊接

阎锡林 马彦玺 编著



宁夏人民出版社

最新焊工培训教材

锅炉压力容器焊接

阎锡林 马彦玺 编著

宁夏人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

锅炉压力容器焊接/阎锡林,马彦玺编著. - 银川:
宁夏人民出版社,1999.4
ISBN 7-227-01956-X

I. 锅…

II. ①阎… ②马…

III. ①锅炉-焊接②压力容器-焊接

IV. TK226

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 21758 号

锅炉压力容器焊接

阎锡林 马彦玺 编著

*

宁夏人民出版社出版发行

(银川市解放西街 47 号)

新华书店经销 宁夏科技印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 10.5 字数 260 千

1999 年 5 月第 1 版 1999 年 5 月第 1 次印刷

印数:1-3000 册

ISBN 7-227-01956-X/TK·2

定 价:19.60 元

《锅炉压力容器的焊接》

内 容 简 介

锅炉压力容器是在国民经济各部门及人民群众生活中广泛应用的、具有爆炸危险的特殊设备。焊接是其制造、安装、修理和改造的主要工艺方法。焊接质量对锅炉压力容器的安全可靠性及经济运行都有至关重要的作用。

作者总结多年来从事锅炉压力容器焊接及焊工培训考试工作的实践,在书中系统地论述了锅炉压力容器的结构特点、锅炉压力容器用钢、焊接材料、焊接工艺及焊接工艺评定、焊接设备、焊接接头的组成和性能、焊接变形和应力、焊接缺陷及焊接检验的基础理论知识以及手工电弧焊、埋弧自动焊、手工钨极氩弧焊和碳弧气刨的操作技术,低碳钢、低合金高强度钢、耐热钢、不锈钢的焊接和焊接安全技术。本书的显著特点是理论紧密结合实际,尽量采用最新的标准规程和技术知识,有很强的实用性。

本书可供锅炉压力容器、压力管道焊工培训考试使用,也可用于职业技能中高级焊工的培训考试。对于中等专业技术学校、技工学校焊接专业师生以及从事同锅炉压力容器、压力管道相关工作的人员,也具有良好的参考价值。

前 言

锅炉压力容器和压力管道是在国民经济各部门及人民群众生活中广泛应用的、具有爆炸危险的特殊设备。焊接是制造、安装、修理和改造的主要工艺方法。材料的使用、焊工操作技术水平、焊接质量对锅炉压力容器和压力管道的安全可靠及经济运行都有重要的影响。

本书是在总结多年来的锅炉压力容器焊接生产及焊工培训经验的基础上编写而成的。编写过程中遵循了以下原则：1. 突出一个“新”字。理论知识和实际经验，力求概括国内外的最新成果且能正确指导生产实践，所引用的标准、规程、规范等多为现行（最新）的。2. 坚持以实用为主，理论密切结合实际。不但可供焊工培训教学使用，而且在焊接人员解决生产中的疑难问题时，也能起到良师益友的作用。3. 力求做到图文并茂，文字简练。4. 理论知识的论述深度以满足中低压锅炉压力容器的焊接为标准，兼顾电站锅炉和高压容器受压元件的焊接需要。因此，本书可供锅炉压力容器、压力管道焊工培训教学使用，也可用于职业技能中高级焊工培训教学。对于中等专业技术学校、技工学校焊接专业师生以及相应的焊接工作者，本书也具有较好的参考价值。

本书第七章、第九章、第十一章、第十五章、第十六章由高级工程师马彦玺编著，其他各章均由高级工程师阎锡林编著。在编写

过程中得到宁夏人事劳动厅锅炉压力容器安全监察处、宁夏电力局中心试验研究所、宁夏锅炉压力容器检验所、银川市锅炉压力容器检验所、吴忠锅炉厂等单位以及呼宁平、韩鸿雁、谢生岐、陈旭东、陈山等同志的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中漏误之处在所难免,敬请读者批评指正。

本书援引了不少文献资料,要特别向这些文献资料的原作者表示衷心感谢,是这些文献资料充实了本书的内容。

编 者

1998年8月

目 录

第一章 锅炉压力容器的概况及结构特点	(1)
第一节 锅炉及压力容器的概况.....	(1)
第二节 锅炉压力容器的工作条件.....	(2)
第三节 锅炉压力容器受压元件的结构特点.....	(7)
第四节 影响锅炉及压力容器质量的因素.....	(9)
第二章 锅炉及压力容器用钢	(11)
第一节 钢材的性能	(11)
第二节 钢材的基础知识	(17)
第三节 锅炉压力容器用钢及其焊接性能	(29)
第三章 焊接材料	(49)
第一节 手工电弧焊用焊接材料	(49)
第二节 埋弧自动焊用焊接材料	(61)
第三节 手工钨极氩弧焊用焊接材料	(64)
第四章 焊接工艺及焊接工艺评定	(68)
第一节 焊接热源和热循环	(68)
第二节 焊接工艺与焊接工艺评定	(73)
第三节 焊接坡口和焊前准备	(76)
第四节 焊接工艺规范参数	(78)
第五节 预热、后热和焊后热处理.....	(79)

第五章 焊接设备	(85)
第一节 焊接电源	(85)
第二节 手工电弧焊设备	(92)
第三节 埋弧自动焊设备	(101)
第四节 手工钨极氩弧焊设备	(106)
第五节 气焊设备	(109)
第六章 焊接接头的组成和性能	(111)
第一节 焊接接头的组成及其特点	(111)
第二节 焊缝的组织 and 性能	(113)
第三节 熔合区、热影响区和热应变脆化区的组织与 性能	(121)
第四节 影响焊接接头性能的因素及其控制	(126)
第七章 焊接应力和变形	(134)
第一节 焊接应力和变形的产生	(134)
第二节 变形的种类和应力分布	(136)
第三节 防止变形的措施	(140)
第四节 焊接变形的矫正	(144)
第五节 焊接应力的降低和消除	(148)
第八章 焊接缺陷及焊接检验	(152)
第一节 常见焊接缺陷及其产生原因和预防措施	(152)
第二节 焊接缺陷的危害	(164)
第三节 焊接质量检验的要求和分类	(165)
第四节 非破坏性试验方法	(168)
第五节 破坏性试验方法	(177)
第九章 手工电弧焊操作技术	(183)
第一节 基本操作技术	(183)
第二节 各种位置的手工电弧焊操作技术	(188)
第三节 单面焊双面成形焊接技术	(190)

第四节	管子焊接技术	(197)
第十章	埋弧自动焊操作技术	(204)
第一节	埋弧自动焊原理及特点	(204)
第二节	埋弧自动焊工艺规范参数及其对焊缝形状和质量的影响	(206)
第三节	工艺因素对埋弧自动焊焊缝形状和质量的影响	(212)
第四节	埋弧自动焊常用辅助工艺装备	(220)
第五节	悬空双面埋弧自动焊的操作实践	(224)
第十一章	手工钨极氩弧焊操作技术	(231)
第一节	氩弧焊的基本知识、优点及其应用	(231)
第二节	手工钨极氩弧焊的电源选用、工具和材料	(233)
第三节	管道手工钨极氩弧焊工艺及操作技术	(240)
第四节	氩弧焊的卫生安全防护	(245)
第十二章	碳极电弧气刨	(246)
第一节	碳极电弧气刨的原理、特点及应用	(246)
第二节	碳极电弧气刨的设备和材料	(248)
第三节	碳极电弧气刨工艺	(254)
第十三章	低碳钢的焊接	(263)
第一节	低碳钢的焊接性能	(263)
第二节	低碳钢的焊接材料	(266)
第三节	低碳钢焊接工艺	(266)
第十四章	低合金高强度钢的焊接	(272)
第一节	概述	(272)
第二节	热轧钢、正火钢的焊接	(274)
第三节	低碳调质钢的焊接	(283)
第十五章	耐热钢、不锈钢的焊接	(289)
第一节	珠光体耐热钢的焊接	(289)

第二节	高铬热强钢的焊接·····	(299)
第三节	奥氏体不锈钢的焊接·····	(304)
第四节	异种钢的焊接·····	(310)
第十六章	焊接安全技术·····	(316)
第一节	焊接设备的安全技术·····	(316)
第二节	劳动保护·····	(320)
主要参考文献	·····	(327)

第一章 锅炉压力容器的概况及结构特点

第一节 锅炉及压力容器的概况

一、锅炉及压力容器的一般概念

(一) 锅炉

锅炉是利用燃料(包括煤等固体、油等液体及天然气等气体)燃烧释放的热能或其他热能加热水或其他工质,以获得规定参数(温度、压力)和品质的蒸汽、热水或其他工质的设备。

顾名思义,锅炉是由锅和炉所组成的。锅是盛装水、蒸汽或其他工质的,通常由钢板、钢管等金属材料组焊而成。炉是燃料燃烧的地方,由炉排以及锅筒、水冷壁管、下降管、集箱管等受压元件外壁,用耐火材料砌筑而成的。

炉内的燃料燃烧,放出大量的热和光,通过辐射、对流和传导,被受压元件金属壁吸收,又传给锅内的水、蒸汽或其他工质。

(二) 压力容器

指由压力介质和密闭空间组成的容器。从安全技术考虑,压力容器是指最高工作压力 P_w 大于或等于 0.1MPa、内直径大于或等于 0.15m,且容积 V 大于或等于 0.025m^3 ,介质为气体、液化气体或最高工作温度高于等于标准沸点的液体(以上条件同时具备)的容器。

压力容器种类繁多,一般都是用钢或有色金属材料组焊的壳体。其中壳体内部压力高于外部者称内压力容器,反之称外压力容器。设计压力低于 0.1MPa 或真空度低于 200mm 水柱的容器,称常压容器。真空度高于或等于 200mm 水柱的称真空容器。

按照压力容器在生产工艺过程中的作用原理,压力容器可分为反应容器、换热容器、分离容器和储存容器。

我国的压力容器,根据原国家劳动部颁发的《压力容器安全技术监察规程》,按其设计压力部分为低压、中压、高压、超高压四个压力等级,具体划分如下:

①低压容器: $0.1\text{MPa} \leq P < 1.6\text{MPa}$;

②中压容器: $1.6\text{MPa} \leq P < 10\text{MPa}$;

③高压容器: $10\text{MPa} \leq P < 100\text{MPa}$;

④超高压容器: $P \geq 100\text{MPa}$ 。

二、我国锅炉压力容器的制造情况

锅炉从诞生至今,已经有 200 多年的历史了,它对工业革命和社会发展发挥了积极作用。按照用途,锅炉可分为工业锅炉(含生活用锅炉)、电站锅炉。工业锅炉是供给化工、纺织、造纸、轻工业等工业部门生产用蒸汽或取暖用热水的。我国目前制造的不带发电机组工业锅炉有最大额定蒸发量 65t/h,额定出口蒸汽压力 2.5MPa 的蒸汽锅炉和最大额定热功率 116MW、工作压力 2.5MPa 的热水锅炉。

锅炉按所提供热载体又可分为:蒸汽锅炉、热水锅炉和有机热载体锅炉。

截至 1995 年底,我国有工业锅炉生产厂家 605 个。我国可以生产各种燃料、各种型号的低压(额定出口蒸汽压力 $P \leq 2.5\text{MPa}$)、中压($P = 3.8\text{MPa}$)、高压($P \geq 9.8\text{MPa}$)工业锅炉及电站锅炉,也生产超高压($P = 14\text{MPa}$)和配 300MW(蒸发量 1030 吨/时)及 600MW(蒸发量 2050t/h)发电机组的亚临界压力($P \geq 15.7\text{MPa} \sim 19.6\text{MPa}$,

我国为 $P = 16.7\text{MPa}$ 电站锅炉。

据我国有关部门统计,截至 1995 年底,全国锅炉装机容量达到 162.9 万蒸吨,计 50.4 万台,其中电站锅炉 43.1 万蒸吨,计 4600 台,工业锅炉 119.8 万蒸吨,计 49.9 万台。

在工业生产上,从 19 世纪末期就开始采用大型压力容器,但制造焊接结构的大型压力容器,还是本世纪 40 年代的事。美国和前苏联均在 40 年代初开始用焊接方法制造大型压力容器,我国从 1958 年开始采用先进的焊接方法制造大型压力容器。

改革开放十几年来,随着石油化工、化肥化纤、能源电力等工业的迅速发展,我国压力容器的制造,从品种到参数都有很大的发展。目前我国已制造使用的典型产品,有年产 30 万吨合成氨的氨合成塔、尿素合成塔等成套设备,内径 $\phi 2200\text{mm}$ 的热壁加氢反应器等。

我国压力容器量大面广,分布在全国各地。据统计,我国约有 1400 个化肥厂分布在全国各县市,每个厂有 80 台左右的压力容器。

据国家有关部门统计,截至 1993 年底,我国在用固定式压力容器有 109 万台,液化气体汽车罐车有 1.04 万辆,铁路罐车有 3500 辆,各种在用气瓶有 4500 万只,其中各种焊接气瓶及液化石油气钢瓶有 3786 万只。

三、我国锅炉压力容器的事故情况

70 年代,我国锅炉压力容器制造质量低劣,由于设计、制造、使用等各方面的原因,致使锅炉压力容器爆炸事故剧增。据有关方面的不完全统计,1978 年我国锅炉压力容器爆炸事故为 255 起,是日本同期爆炸事故的 13 倍。那个时期,我国锅炉压力容器事故造成的死伤人数之多,也是罕见的。例如,1979 年 9 月 7 日,浙江温州电化厂液氯钢瓶爆炸,死亡 59 人。1979 年 3 月 28 日,河南南阳柴油机厂浴室加热器发生爆炸,死 44 人,伤 37 人。1979 年 12

月 18 日,吉林煤气公司 102[#] 液化石油气贮罐接管破裂,起火爆炸,死伤 10 多人,直接经济损失 627 万元。

80 年代以来,通过治理整顿,国家强化了锅炉压力容器安全监察,从设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造各个环节上全方位加强管理,极大地遏止了恶性爆炸事故的发生,事故率和死亡人数都大幅度下降。据有关方面统计,我国锅炉和压力容器平均年万台爆炸事故率,分别由“七五”时期的 0.92 起和 1.29 起下降到“八五”时期的 0.64 起和 0.90 起,锅炉下降 30.4%,压力容器下降 30.2%。

但是,近年来,锅炉压力容器爆炸事故又有抬头的趋势。据国家有关部门统计,1995 年前后,每年有近 100 起锅炉压力容器爆炸事故,死伤在 600 人左右,直接经济损失约 2500 万元。

造成锅炉压力容器爆炸事故的原因是错综复杂的,从失效分析所累计的资料来看,主要是设计、制造和使用管理方面的原因。自 80 年代初期我国实行制造许可证制度以来,锅炉压力容器的设计制造质量得到了根本性的改善和保证。但近几年事故有所上升,这大都是无证制造和使用管理松懈造成的。

制造决定着锅炉压力容器的先天质量。影响制造质量的因素较多,从某种角度来看,最主要的因素还是焊接质量。众所周知,焊接是锅炉压力容器制造的主要工艺手段,焊接工艺纪律松弛,焊工未经认真培训,焊接技术水平不高,是造成焊接质量差的基本原因。因此,认真训练和考核焊工,努力提高焊工素质和技术水平势在必行。

第二节 锅炉压力容器的工作条件

锅炉压力容器的工作条件包括载荷、温度和介质等。

一、载荷

载荷即锅炉压力容器所承受的负荷,通常表现为压力。锅炉

压力容器主要承受静载荷,还承受低周疲劳载荷。

疲劳。通常情况下的锅炉压力容器,其工作应力并不太大,按照静强度设计的观点来看,应该是安全的,但由于工作应力的方向和方向交替变化,在这种交变载荷的作用下,锅炉压力容器受压元件的表面产生裂纹或断裂,这种现象称为疲劳,由此引起的破坏叫疲劳破坏。疲劳破坏的现象是比较普遍的,通常有高周疲劳、低周疲劳和热疲劳等。

高周疲劳是指低应力、高寿命(循环周次一般大于 10^5 次)的疲劳,是工程上最常见的一种疲劳破坏,简称为疲劳。如汽车后轿半轴、曲轴、弹簧等零件的破坏。

低周疲劳是指高应力(达到材料屈服极限)或高应变、低寿命(循环周次在 10^4 次 ~ 10^5 次以下)低频加载的疲劳,也叫塑性疲劳或应变疲劳。低周疲劳在锅炉压力容器服役过程中是常见的。由于锅炉压力容器制成及投入使用后,其受压元件经受水压试验、开停车调试、定期检修、工作时的温度及压力波动等变化载荷的作用,从而引起压变疲劳。

因此,要求锅炉压力容器所使用的材料应具有优良的常温力学性能,包括疲劳强度。对于承受高周疲劳载荷的元件,要求制造它的材料应具有较高的强度和一定的塑性与韧性。对于承受低周疲劳载荷的元件,要求制造它的材料应具有较高的塑性(高应变能力)和一定的强度与韧性。

二、温度

锅炉及压力容器都是在有一定工作温度的环境中工作。温度对金属材料的性能有着重要的影响。工作温度的升高,一方面影响材料的化学稳定性和组织稳定性,另一方面则影响材料的强度。比如,长期在高温环境下工作的元件,可能要起氧化皮或受介质侵蚀,或强度下降而致大量变形或断裂。当容器在低温下工作时,非奥氏体组织的材料有变脆的倾向,如果材料本身的脆性转变温度

较高(如高于工作温度),且韧性较差,那么容器就有可能发生低温脆性破坏。

一般,按工作温度的高低,可将压力容器分为低温容器、常温容器、中温及高温容器三种。

低温容器。按照我国的习惯,把设计温度低于 -20°C ,而高于 -196°C 的压力容器称为低温容器。当设计温度低于 -196°C 时,则归于超低温范畴,如空气分离设备上的容器等。

常温容器。工作温度为自然环境温度的容器。如空气压缩机储气罐等。

中温及高温容器。工作温度在 $100^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 及以下的压力容器。如炼油装置中的热壁加氢反应器。锅炉是一种特殊的高温容器(指其受压元件)。

对于在高温或低温下工作的容器,要求所使用的材料分别具有优良的高温性能(抗蠕变性以及持久强度)或低温性能(足够的韧性及低的脆性转变温度)。

三、工作介质

锅炉压力容器受压元件内部盛装的工作介质种类繁多,有水、水蒸气、空气、硫化氢、液化石油气、液氨、液氯、各种工艺流体等,因其在服役中的不同用途而介质有所不同。由于这些介质在工作条件下对锅炉压力容器受压元件有着不同性质和不同程度的腐蚀作用,所以对接触腐蚀介质的容器,还要求所使用的材料具有优良的抗腐蚀性能。

由上可知,锅炉压力容器是承受气压、液压或气—液压的特种设备,其工作条件十分恶劣,一旦发生破坏事故,将是灾难性的,往往造成重大的经济损失和人员伤亡。因此,对于锅炉压力容器,不仅设计上要技术先进、经济合理、强度充裕、结构可靠,更重要的是要制造质量优良,以确保使用时安全可靠。

第三节 锅炉压力容器受压元件的结构特点

一、锅炉压力容器受压元件的结构型式

锅炉压力容器有多种形式,其主要受压元件可以是塔、交换器、贮罐、管道和锅筒等。最常见的结构为圆柱形、球形和锥形三种。常见容器的典型形式如图 1—1 所示。大多数的锅炉压力容器是由封头、端盖、筒(壳)体、管板、接管、管系和管接头所组成。这些零部件以及整个产品采用冷热加工成型及焊接的方法进行制造,是一种典型的焊接结构。

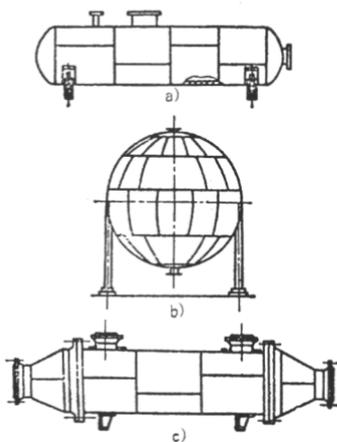


图 1—1 各种容器的典型形式
a)圆柱形 b)球形 c)圆锥形

二、锅炉压力容器受压元件焊接接头形式

按照我国标准 GB150《钢制压力容器》,受压元件的焊缝按其受力情况和所处的位置分为 A、B、C、D 四类,如图 1—2 所示。

因而,其焊接接头也大致可分为四种类型:

A 类接头为对接接头,其焊缝系受压部分的纵向焊缝、各种凸形封头的所有拼接焊缝、球形封头与圆筒连接的环形焊缝以及嵌入式接管与圆筒或封头对接连接的焊缝。