

压力容器基础知识讲义

第三卷 工艺制造

(试用本)

劳动人事部 鍋 爐 安全杂志社
压力 容器

目 录

第四篇 压力容器制造

第一章 压力容器制造概论.....	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 压力容器制造技术条件.....	(3)
第二章 压力容器制造工艺装备.....	(6)
第一节 划线、下斜、边缘准备.....	(6)
第二节 筒节成型.....	(10)
第三节 容器组装及焊接.....	(12)
第四节 封头成型.....	(14)
第三章 压力容器的制造工艺.....	(18)
第一节 单层卷焊压力容器.....	(18)
第二节 热套压力容器.....	(23)
第三节 多层包扎压力容器.....	(30)
第四节 绕带容器.....	(37)
第五节 球形容器制造.....	(39)

第五篇 压力容器焊接

第一章 压力容器焊接概况.....	(43)
第一节 概述.....	(43)
第二节 压力容器常用焊接方法.....	(46)
第三节 金属材料可焊性及其试验方法.....	(59)
第四节 焊接接头的组织与性能.....	(54)
第五节 与压力容器焊接有关的规程和标准.....	(56)
第二章 压力容器用钢的焊接.....	(60)
第一节 低合金钢的焊接.....	(60)

第二节 奥氏体不锈钢的焊接.....	(95)
第三节 钛的焊接.....	(68)
第四节 焊接材料及其选择.....	(70)
第三章 典型结构压力容器的焊接.....	(76)
第一节 中、低压容器的焊接.....	(77)
第二节 单层和热套压力容器的焊接.....	(84)
第三节 多层式压力容器的焊接.....	(93)
第四节 球形容器的焊接.....	(98)
第四章 压力容器的焊接缺陷及防止措施.....	(107)
第一节 焊接接头的缺陷.....	(107)
第二节 焊接中的气孔.....	(109)
第三节 热裂纹及其防止措施.....	(112)
第四节 冷裂纹及其防止措施.....	(113)
第五节 再热裂纹及其防治.....	(118)
第五章 压力容器的补焊.....	(120)
第一节 尿素合成塔的补焊.....	(120)
第二节 多层容器的补焊.....	(123)
第三节 球形容器的补焊.....	(124)
第四节 不用焊后热处理的补焊.....	(125)
第五节 小结.....	(126)
第六章 压力容器焊接技术进展.....	(127)
第一节 压力容器用材可焊性的改善.....	(127)
第二节 窄间隙焊接在压力容器制造中的应用.....	(131)
第三节 电子束焊接在压力容器制造中的应用.....	(135)
第四节 大型压力容器现场组焊.....	(137)

第四篇 压力容器制造

第一章 压力容器制造概论

第一节 概述

一、压力容器制造质量与安全可靠性

压力容器制造质量的好坏对容器的安全使用影响极大，特别是随着压力容器向大型化发展，容器的直径、壁厚和体积均大大增加，促使采用各种低合金高强度钢，这就增加了压力容器制造的难度。因此，必须十分重视压力容器的制造工艺，才能获得良好的制造质量，以保证压力容器的安全可靠性。

压力容器制造质量的低劣，会造成严重的后果，轻则出现容器损伤事故，影响使用；重则造成容器破坏事故，引起人员伤亡，甚至造成全厂灾难。我国在十年动乱期间，由于企业的规章制度不健全，管理混乱、粗制滥造，加上运行方面的问题，发生了许多触目惊心的重大事故，造成人身伤亡和经济损失极为严重。

影响压力容器质量的因素很多，有设计、选材、加工、焊接、热处理、检验等各个方面。其中制造质量的好坏起着关键的作用。所以，各国对压力容器制造质量控制十分注意。国际焊接学会（IIW）的锅炉、压力容器、管道委员会质量保证工作组起草了一份压力容器制造全过程的质量控制要点，如表1—1所示。从表1—1可见：从容器的设计审查、材料验收直到容器出厂的各个制造环节，均应严格控制才能保证容器的制造质量。目前我国的压力容器制造只着重对焊后检验，忽略了许多预防性的质量控制与检验工作，这是今后必须加强的。

表 1—1 压力容器制造质量控制要点

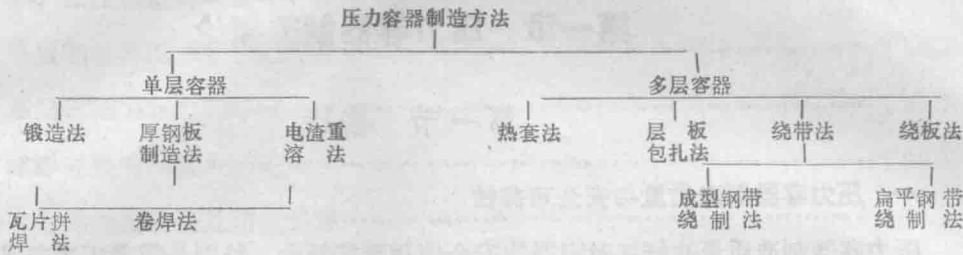
控 制 项 目	检 验 要 点
计划与计算书审核	6
母材验收与控制	20
焊材等消耗材料验收与控制	20
焊接工艺评定	30
焊工评定	23
焊前准备工作控制	4
焊接过程控制	15
焊后控制	20
热处理控制	20
出厂前试验（水压试验等）	6

二、压力容器结构与制造

压力容器要求严格、制造技术复杂，因此压力容器结构的发展与容器制造技术的发展紧

密相关。在本世纪30年代，压力容器的生产全靠锻造，其大小受钢锭尺寸和锻造能力的限制。后来随着焊接技术的发展，出现了卷焊容器，多层容器、绕带容器等多种结构的压力容器。到目前为止，可将压力容器按制造方法分成两大类、若干品种。见表1—2所示。下面对几种主要的容器制造法的特点及应用范围做简要说明：

表 1—2 压 力 容 器 分 类



1. 整锻容器：在大型水压机上将钢坯锻成圆筒形，然后加工组装成容器。此法可以采用较高强度的钢材，但需具备大型冶炼，锻造及热处理设备，金属切削量大，成本较高。整锻容器多用于压力较高、尺寸较小，壁厚较大的容器，如超高压聚乙烯反应器。

2. 锻焊容器：在水压机上将钢坯锻成若干筒节，然后组装焊接。可用较小的钢锭及锻造、热处理设备。如：日本制钢所用此法生产壁厚为180毫米以下的筒体。

3. 厚板卷焊容器：用厚板在大型卷板机上卷成筒节，焊接纵缝，然后组装焊接成容器。此法生产效率高、工序少、工艺简单，是现代压力容器的主要生产方法。但是，生产厂必须配备大型卷板机、电渣焊机、埋弧焊机以及大型热处理设备等。这种结构的容器可用于氨合成塔，加氢反应器，核反应堆容器等。

4. 热套容器：用25~40毫米的中厚钢板卷焊后，采用热套法制造筒节。不考虑利用过剩量形成的预应力。套合后需经热处理，把各层过大的套合预应力降低到低的水平。此种容器可用中板取代厚板，用一般制造卷焊容器的设备来制造大型厚壁容器。

此类容器可做氨合成塔，尿素合成塔，甲醇合成塔等。

5. 成型绕带容器：在筒外面以一定预应力热绕数层具有特殊断面的钢带。这种方法取消了深厚焊缝。制造工艺大部分机械化，生产率高。但是，钢带尺寸公差要求严格，缠绕技术要求高。需要专用设备。

绕带容器可做氨合成塔等化工容器。

6. 扁平绕带容器：在内筒外面倾角错绕数层扁平钢带。材料来源广泛，工艺简单，生产周期短，成本低。近年来，在小化肥容器方面得到广泛的应用。

7. 多层包扎容器：内筒外用6—12毫米钢板逐层包扎成筒节，然后组装焊接成容器。此种容器的制造条件要求不高，设备简单。但是生产周期较长，钢板材料利用率低。多层容器的筒壁内应力沿壁厚分布均匀。由于层板纵焊缝错开，焊缝削弱影响小，破坏时无碎片，安全性高。可做化肥、化工压力容器。

8. 绕板容器：在内筒外面连续绕上多层厚3.2—5毫米的薄钢板制成筒节，再组装焊接成容器。这种方法制造工艺简单，没有纵焊缝，材料利用率高达90%以上，但需要宽卷材，否则环缝太多。此法生产的压力容器主要用于氮肥工业。

上述几种压力容器制造法,国内均已采用,但是,近年来生产的大型压力容器以热套容器和单层卷焊容器为主。

三、《第四篇 压力容器》内容简介

压力容器制造涉及的内容很多,本篇主要介绍下列两方面的内容:

1. 压力容器制造工艺装备:介绍一些通用的工艺装备,如钢板下料设备,坡口加工设备,水压机,卷板机,焊接设备等。

2. 各种结构的压力容器制造工艺:介绍几种常见类型的压力容器(单层卷板式、热套式、多层包扎式、绕带式)的制造方法及专用制造设备。

第二节 压力容器制造技术条件

由于压力容器事故会产生灾难性的后果,所以若干年来各国都对压力容器制订工程规范以控制压力容器的设计、制造、选材、检验和使用、监督。许多国家的压力容器规范已发展得很完善,如美国机械工程师学会ASME在1914年出版了压力容器规范,在使用中逐年修改,不断更新、补充,现已发展成为由十一部分组成的巨著,也是国际上通用的规范。

我国目前还没有统一的国家标准级的压力容器规范。压力容器设计主要依据一机、石油、化工三部制定的“钢制石油化工压力容器设计规定”,压力容器制造主要依据一机、石油、化工三部制定的几个压力容器技术条件。另外,还有若干涉及选材、焊接、检验等不同级别的标准,也为压力容器制造部门所采用。

涉及压力容器制造技术的标准很多,本节仅对几个与压力容器制造直接有关的技术条件做简要介绍。

一、钢制焊接压力容器技术条件简介

1. 概述:这份技术条件是针对石油、化学工业用压力容器的制造技术提出的。因为石油、化学工业工艺特点如:压力、温度、腐蚀、低温等,对所使用的容器除在设计上的要求外,对容器的制造又有必要的技术要求,它的主要部分就构成了这份技术条件的内容。

此技术条件适用于石油、化学工业用设计压力 $P \leq 320$ 公斤力/厘米²的碳素钢、低合金钢和不锈钢制焊接结构的单层容器,其中包括复合钢板制造的压力容器,无缝钢管作筒身的容器,但不包括衬里容器。

这个技术条件包括材料、冷热加工、焊接、热处理、检验等8项内容,共46条。下面只介绍与低合金钢制压力容器制造密切有关的内容。

2. 冷热加工成型:冷热加工是压力容器制造的重要环节之一,对低合金高强度钢应注意其冷热加工的特点。

(1) 高强度钢的坡口加工,可采用机械方法也可采用火焰切割。由于高强度钢淬硬倾向大,所以如果火焰切割工艺不合适时,可能在坡口边缘造成裂纹、分层、夹渣等缺陷。而坡口上这些缺陷的存在,会引起焊缝缺陷。所以,标准第五条规定对 $\sigma_s > 40$ 公斤力/毫米²的钢材经火焰切割的坡口表面应作磁粉或渗透检查,坡口表面不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷。

(2) 压力容器是受压设备,容器几何形状的不规则,如错边、不圆度,棱角度等均会引起附加应力,这对容器的安全性是不利的。但是,在制造中要绝对避免几何形状的不规则是做不到的,只能尽量减小它。因此,标准中对于几何形状的偏差做了若干规定。如标准第10

条第(1)款规定按壁厚分等的环焊缝对口错边量,当两个筒节板厚相等时应符合以下规定:

(1) 壁厚 $S \leq 6$ 毫米时, $b \leq 25\% S$

(2) 壁厚 $6 < S \leq 10$ 毫米时, $b < 20\% S$

(3) 壁厚 $S > 40$ 毫米时, $b \leq 10\% S + 1$ 毫米。且不大于6毫米。(b—对口错边量)

第10条第(3)款规定,对接环焊缝处形成的棱角度 $E \leq 0.1S + 2$ 毫米,且不大于5毫米。

(3) 螺栓、螺柱和螺母是保证容器法兰和平盖密封的关键零件,因此对螺栓、螺柱、螺母的加工要求较高,为此,标准中有若干规定。如螺纹精度按2a级要求,光洁度不低于 $\nabla 5$ 。

3. 焊接:焊缝质量的优劣对容器质量影响极大,所以标准中对焊工、焊接工艺、焊缝质量、焊缝返修、检验等均做了规定。

4. 热处理:

(1) 为了清除焊接残余应力,改善焊接接头性能,容器焊后应进行热处理。由于焊接残余应力的大小与焊缝厚度,钢材强度级别有关,所以标准按板厚和钢材强度规定了热处理界限,如碳素钢板厚 > 34 毫米需要进行热处理,而15MnVR钢板厚 > 28 毫米就应进行热处理。

(2) 为了消除冷成型对钢材的硬化倾向,标准也规定了冷成型后的热处理界限,按钢材强度和变形程度划分:

碳素钢, 16Mn及相类似的材料 $S \geq 0.03Dg$ 。

15MnVR, 18MnMoNbR, 14MnMoVg及类似的材料 $S \geq 0.025Dg$ 。

5. 检验:容器的制造质量要经过各种检验手段来鉴定其优劣。标准规定了以下几方面的内容:

(1) 试板与试样:该标准的第五部分详细规定了产品焊接试板的要求和做法,通过产品带的焊接试板来检验焊缝的性能。

(2) 无损探伤:容器壳体、封头及其主要受压部件的焊缝经外观检验合格后,还要进行无损探伤以检验焊缝内部质量。所以,该标准对应检查的部位和评定标准在第六部分中做了规定。如对于钢材 $\delta_s > 40$ 公斤力/毫米²的压力容器焊缝应进行100%的射线和超声波探伤;而对16Mn类型的钢制压力容器焊缝,则规定厚度 > 38 毫米的情况才进行100%无损探伤。

评定标准是沿用探伤的专业标准而规定其级别,如规定:焊缝超声波探伤按JB1152—73“钢制压力容器对接焊缝超声波探伤”,其检查结果应符合纵焊缝I级,环焊缝II级的规定才认为合格。

6. 压力试验:容器全部制成后,要进行整体压力试验来最后鉴定容器的质量。通常采用1.25倍的设计压力进行水压试验,并且规定了压力试验时的介质温度,以防止因试验温度低而造成压力容器在试压过程中破坏。(见该标准第41条)

气压试验具有一定的危险性,所以该标准规定应在有关部门的监督下进行,而且对升压过程做了详细规定。(见标准第42条)

二、三个组合式压力容器制造技术条件简介

JB1149—80“扁平钢带压力容器技术条件”, JB754—80“多层压力容器技术条件”和 JB2532—80“热套压力容器技术条件”均以JB741—80“钢制焊接压力容器技术条件”为基础,又结合该类容器的结构特点规定了相应的制造要求。

1. 多层容器和扁平钢带容器制造技术条件的特点:这两种容器的结构特点是在内筒外

边包扎层板或缠绕钢带制成，因此在制造要求上有类似之处，而又不同于单层容器。主要特点归纳如下：

(1) 内筒的制造要求较高：多层容器和扁平钢带容器的外层是不连续的。因此，内筒的任何部位泄漏，都会使容器停止使用。这两个标准对于内筒的要求，许多地方高于JB741—80的规定。

a. 用于内筒的钢板均需经过超声波探伤，结果应符合JB1150—73“压力容器用钢板超声波探伤”规定的Ⅰ级。而JB741—80规定，超过一定厚度的钢板才做超声波探伤，其结果对低合金钢要求符合JB1150—73规定的Ⅱ级。

b. 内筒的几何形状公差要求较高，否则会影响与外层的贴紧强度。例如：该二标准规定纵焊缝的对口错边量应不大于1.5毫米，环缝对口错边量应不大于3毫米，这均比JB741—80的类似规定要严格。

c. 由于多层结构的容器不做整体热处理，以免外层层板（或钢带）的松动。所以，要求内筒纵缝（包括扁平钢带容器的环缝）焊后进行消除应力热处理。

d. 内筒的焊缝要求100%射线或超声波探伤，而JB741—80规定只对壁厚较大的容器、钢材强度较高的容器才能进行100%的无损探伤。

e. 内筒外表面的焊缝要修磨光滑，以利层板包扎或钢带的缠绕。

f. 扁平钢带容器制成后，难于对内筒进行修理。因此，要求缠绕钢带前，做内筒水压试验，鉴定内筒质量。

(2) 容器外层制造的要求：为了保证各层之间的贴合，提出以下的要求：

a. 层板（或钢带）表面要求无铁锈和影响钢带贴合的杂物。

b. 限制层间的松动面积。JB1149—80规定每根钢带的松动面积不得超过该钢带总面积的15%，JB754—80规定公称直径 D_g 大于1000毫米的容器，每个有松动的部位环向不超过300毫米，轴向不超过600毫米。

c. 多层容器的层板纵缝修磨后做外观检查，对于 $\sigma_s > 40$ 公斤力/毫米²的层板纵缝，修磨后应做磁粉探伤或渗透探伤检查，不得存在裂纹和密集气孔。这对高强度钢特别重要，过去在生产中曾发现过因焊接工艺不当而出现的层板纵缝横向裂纹。

2. 热套容器技术条件的特点：热套容器单层筒的制造工艺和单层容器大致相同，因此该标准以JB741—80为基础，又根据热套容器制造特点提出了若干补充条款，这些内容主要有以下几方面：

(1) 热套容器用钢板的要求：大型热套容器的套合面大多不经过机械加工。因此，对钢板表面质量要求较高。钢板表面过大的凹坑、划痕、波浪度及瓢曲度的存在，都会造成各层之间贴合不良，影响整个筒体的应力状态。所以，热套容器用的钢板表面质量要求较高，标准第2条规定钢材需检查厚度，表面质量及波浪度，瓢曲度。其中第(3)款规定了波浪度与瓢曲度的公差范围，要符合GB709—65“热轧厚度钢板品种”第9条中关于优质钢板的规定即每米波浪度和瓢曲度应不大于10毫米。

(2) 单层筒的要求：为了保证热套容器各层之间贴合良好，标准规定了单层筒不圆度、平直度的要求。并规定不经机加工的套合面需进行喷砂处理。纵缝区的内外表面须经机械加工或砂轮打磨，去除焊缝加强高。

(3) 套合操作规定：套合加热温度的选择，应以不影响钢材的性能为原则。例如使用调

质钢时、其套合加热温度应低于钢材回火温度。

套合操作应靠筒体重量自由套入，不允许强力压入，以免产生不允许的轴向划痕。

标准还规定各层筒体的纵焊缝要错开，这样做的好处在于可减少在连续套合中的不圆度，调整靠近纵缝两侧的曲率。

(4)层间贴合度的控制：实践证明，热套容器的应力分布状况和层间间隙的径向尺寸及面积大小有关。所以，在制造中必须控制热套筒节的层间间隙。目前的检测手段只能检查筒节两端的层间间隙，故标准规定筒节环缝坡口加工后用塞尺检查套合面的间隙。径向间隙尺寸在0.2毫米以上的任何一块间隙面积不得大于套合面面积的0.4%。

(5)套合应力的消除：这个标准的热套容器是采用过盈配合以保证层间贴紧，但由于容器直径大，套合应力无法控制，所以设计时未考虑，因此，这部分套合应力须经过热处理尽量消除。这一项工序允许和消除焊接应力热处理同时进行。

第二章 压力容器制造工艺装备

第一节 划线、下料、边缘准备

一、划线

划线是下料的第一道工序，最简单的方法是手工划线，放样。目前，手工划线仍在普遍采用，国外在近几年已发展了新的划线设备：电子计算机数控划线和电子照相划线。

1、手工划线要点：

(1)检查钢板的来料情况。如果原料是毛边钢板，应在板边画内40—100毫米的切割线以便去除钢板在轧制过程中，在边缘形成的夹层等缺陷。

(2)划线时，对筒节、封头的展开尺寸、应以平均直径为计算依据，并考虑加工过程中的伸长量。

(3)划线时应考虑到以后加工过程中所需的加工余量，如机械加工坡口的余量。

(4)按照图纸划好线后，为了便于下料切割后的检验工作，在切割线的内侧、相距20毫米处，需划出一条检验基准线，并打上冲眼。

(5)每张钢板划好线后，应在钢板右侧的任一端打上钢印。目的是便于以后查考。

2、电子照相划线：其工作原理与复制资料所用的静电复印机一样，是利用氧化锌的光导电性的一种静电照相方法。电子照相划线的工作原理见图2—1所示，分为五个工序：

(1)涂敷感光剂：目前、工业生产上，电子照相划线所采用的感光剂大都是以氧化锌为主体，以环氧树脂为粘结剂的高绝缘感光涂料。

(2)带电：目的是使涂料产生感光性，这道工序要在暗室中进行。平行布置的线条形电极和被加工材料之间加上数千伏的直流电压（例如采用10千伏的电压，二者间距为30—40毫米），这样电极和钢板之间就产生电晕放电，感光剂面上获得负电荷，表面电位在300—400伏。感光剂面上开始显示出感光性。

(3)曝光：曝光是与普通洗印照片一样，曝光时间也仅几秒钟。使带电的感光剂面受

光，由于氧化锌的光电效应，受光部分电荷从感光剂面上消失了，不受光的部分电荷仍然留下，这就是静电潜像。

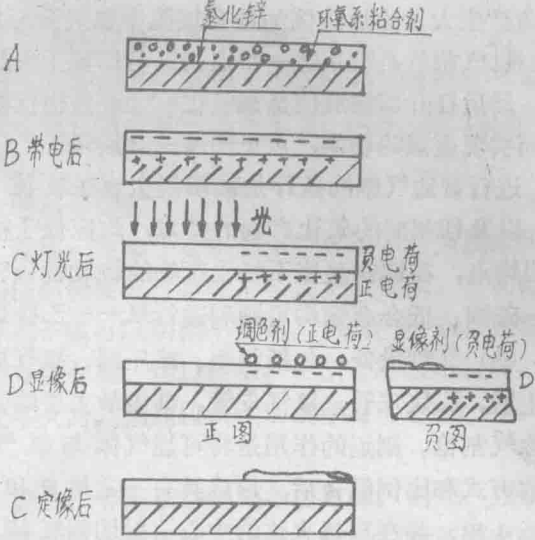


图2—1 电子照相划线原理

(4) 显影：静电潜像肉眼不能见到，必须使其显出。电子照相划线所用的显影剂是称为“托那”的带色树脂粉末。使显影剂强制带上正电荷，喷洒于感光剂涂复面上。由于正负电荷相吸，显影剂就附着于高电位的画像部分，形成要求的图形。

(5) 定影：显影剂在显影工序时，仅是微弱的静电吸引使其附着于图线上。在其上用三氯代乙烯喷洒后，使上述显影剂溶解，固定，整个划线工序就完成了。

电子照相划线由于利用1:10放大关系，所以在划线精度上不如计算机

划线精确。但是，在工程上，这种精确度已安全能满足要求。而在划线速度上，要比计算机划线快得多，平均一块钢板只要7—8分钟就可划完，并且不受图形复杂程度的影响，所需设备及材料价格也便宜。因此，电子照相划线近来得到比较广泛的采用。

3. 电子数控划线：此法常与数字程序控制气割机联合使用，电子计算机按照图纸要求，打成纸带输入计算机，由计算机控制切割嘴直接割出所需的形状。

二、下料

工业生产中比较广泛应用的下料方法有三种：机械切割，火焰切割和等离子切割。机械切割主要使用剪床，生产率高，切口光洁，适用于中、薄板的下料。火焰切割主要用在碳钢、低合金钢厚板的下料。等离子切割多用于不锈钢下料。

1. 龙门式剪床：它的剪切情况如图2—2所示。被切割的钢板放在上下两把剪刀之间，为了不使钢板在剪切时翻倒，依靠压具把钢板压紧在工作台上、开动剪床的电动机、通过传动机构使上剪刀向下移动。原时，上下剪刀均压入钢板内，并产生了剪切力，当产生的剪切应力超过钢板材料的抗剪切强度时，钢板就被剪断。由钢板的剪切断口观察可知：断口的上下各有一个狭窄的光滑区，具有金属光泽，这是由于上下剪刀压入钢板中形成的：断口的中间部分粗糙无光，是在剪切力作用下，钢板被剪断的部分。

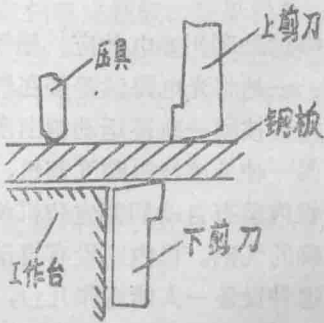


图2—2 龙门式剪床切割示意图

龙门式剪床由于其生产率高，剪切质量较好等优点，在容器制造中得到广泛应用。但是，它只能切割直线边缘，切割长度也受到机床跨距的限制，通常最大切割长度可达2000—2500毫米。龙门剪床可剪切的钢板厚度也有一定限制。我国容器制造厂用的龙门剪床一般可

剪切钢板厚度在20毫米以下。

2. 火焰切割:

(1) 原理: 一些金属在氧气中燃烧会产生大量的热。例如铁在氧流中燃烧会形成 FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 等产物, 并放出大量的热量。气割就是利用这一特点来进行切割工作的。气割时先用预热火焰把金属表面加热到燃点, 然后打开切割氧使金属氧化燃烧而放出巨热, 同时将燃烧生成的氧化熔渣从切口吹掉, 从而实现金属的切割, 可见图2—3所示。

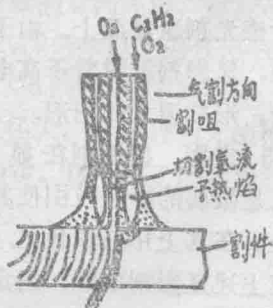


图2—3 气割示意图

进行普通气割的条件是被切割金属在氧流中的燃点, 以及切割时的氧化产物的熔点, 均应低于被切割金属的熔点, 在切割温度下氧化产物的流动性应较好。

碳钢、低合金钢均可顺利进行氧—乙炔切割。

(2) 气割设备: 包括割炬、减压阀、氧气瓶, 乙炔发生器, 乙炔皮管, 氧气皮管。其中最主要的是割炬, 也称气割枪。割炬的作用是将可燃气体与氧气, 以一定的方式和比例混合后, 形成具有一定热能和形状的预热火焰, 并在预热火焰的中心喷射切割氧流进行气割。

小车式半自动切割机比手工切割, 生产率高, 劳动强度低, 气割质量高, 在生产上已得到广泛应用。半自动切割机由切割小车、导轨、割炬、气体分配器、自动点火装置及割圆附件等组成。切割小车采用直流电动机驱动, 应用可控硅控制进行无级调速。

仿形气割就是在气割时不用划线, 使割炬按照样板的形状移动来实现切割过程。目前应用较广的是摇臂式仿形气割机, 它是利用电磁法进行仿形气割的。在机头上装有一个具有强磁性的磁轮, 样板用铁磁性物质制作。当磁轮与样板边缘相接触, 就能牢牢地吸在样板的边缘上。磁轮与运动机构相连接, 当磁轮转动时, 它就沿着样板边缘移动, 从而带动割炬运动, 其运动轨迹与样板的几何形状相同。摇臂式仿形气割机生产率很高, 能精确切割任意形状的零件, 切割表面光洁度好, 特别适用大批生产同种零件的气割, 在生产上已得到广泛应用。

(3) 光电跟踪和数控切割: 这是国外在下料方面采用的新技术, 已为容器制造厂较普遍采用。

光电跟踪是利用光电效应, 使气割机割炬按光电跟踪器所走的轨迹, 割出所需形状。有两种型式: 一是将光电跟踪器装在气割机架上, 割炬则装在机架一边。跟踪器按图形轨迹行走, 控制割炬按同一轨迹运动割出所需零件。这就是一般采用的1:1仿形切割, 其特点可减少误差。另一种是迹线跟踪气割机, 光电跟踪器直接装在割炬前方, 这种气割机不需要机架和道轨。机内装有自动切割定位机构, 能沿钢板所划的直线或最小半径为800毫米以上的曲线进行正确的气割。机内还设有自动停割机构, 万一钢板上的迹线被擦去或中断, 机器会自动停止。这种设备一人能操作几台, 故生产效率高。

数控气割机是利用电子计算机控制的气割机。世界上较大的一台数控气割机是西德制造的, 型号为Sicomat14/3。该气割机总宽19.5米, 装有20个割炬, 可以同时切割2.5米宽的钢板5块。切割板厚为3—300毫米, 20个割炬中, 有2个是作坡口加工的, 即可以装成自动, 可转的三割炬组合装置。其余18个割炬则作为单独使用。各割炬均装有自动点火及割炬高度自

动调节装置。

该气割机还可以同时用于氧——乙炔和等离子切割，所以迅速变化范围为0.1—6.8米/分。

在该机上还特别考虑采用简单手动设置程序的装置。如对于直线，只要决定出直线末端对于起始点的座标值，对圆弧或正圆只要定出末端与圆心的座标值与起始点的关系，另外，数控系统还装有自动角隅延迟装置，使割炬在到达尖陡的转弯点前自动降低割切速度，以防产生缺陷。

2. 等离子切割：

(1) 原理：等离子切割是用等离子弧将金属熔化，并立即把它吹掉形成切口，所以其电弧功率和压缩程度都比焊接用等离子弧要强。其切割原理见图2—4所示。

用等离子弧可以切割不锈钢、高合金钢、铸铁、铝、铜等有色金属。切口较窄，切割边的质量较好，当切割厚度不大时，割速较快。切割厚度可达150~200毫米。

(2) 设备：等离子切割设备由电源、割炬、控制系统、气路系统及水冷系统等组成。机动切割还带有速度可调的切割小车。

电源采用直流、正接极性（电极接负）。为建立稳定电弧，应有较高的空载电压及在工作范围内需具有陡降的外特性。按不同的工作气体及切割厚度，空载电压应在150~200伏以上，专用电源常采用300、400伏或更高。

割炬由上体（电极夹持、调节及导电部分）、绝缘柱及下体（喷嘴和气室）等组成。提高电极与喷嘴孔的同心度对于保证切割过程正常，提高切口质量和喷嘴寿命极为重要，为了便于电极对中，宜采用中心可调式割炬。

(3) 切割工艺：等离子弧切割的过程包括：给气，用高频高压或脉冲高压在电极和喷嘴间先引燃电弧，然后把电弧转移到电极和切割件之间、供给较大的电流进行切割。自动切割还需控制割炬的行走速度和轨迹。

等离子切割所用的气体为纯氮或氮氢混合气，也可以用氩或氩氢、氩氮混合。氮的纯度应不小于99.5%，否则电极烧损严重及影响喷嘴寿命。因氢是导热较好的高热容量气体，对电弧有强烈的压缩作用，故采用加氢的混合气体时，等离子弧的电压上升而功率增大，电弧高温区加长，可提高切割效率和切割厚度。

电极材料，以钨钨极为好。

在切割规范的选择上，在一定功率下，要注意气体流量和切割速度的匹配，控制在一定范围内，才能消除切口底部挂渣，并保持较高的切割效率。

三、边缘准备

坡口加工最常用的方法是用刨边机，和火焰切割、机械加工等。视其坡口的不同部位而选择不同的方法。

1、刨边机床：适用于加工钢板的直边坡口。英国Hugh Smith公司生产的18米刨边机

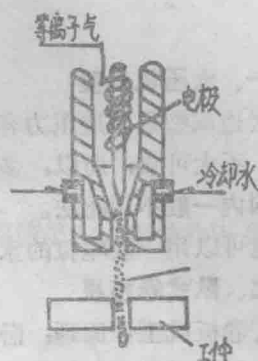


图 2—4 等离子弧切割原理

可以加工长度为18米的钢板焊缝坡口，加工最大厚度为75毫米，切割速度为1.5—3米/分。
目前，国内各主要容器制造厂都有自制的刨边机。

2. 筒节环缝坡口加工：可以用火焰切割方法加工，也可以在卧式车床或大型立式车床上加工。

火焰切割环缝坡口，也可使用一些专用设备。例如：用类似卧式车床的设备气割筒节环缝坡口，筒节固定于中间支座上，二边有二个类似卧式车床的花盘，花盘上装有夹持装置用以支持割炬，切割借助于花盘的旋转来进行。这种装置可以加工I形、X形和V型坡口。

封头的环缝坡口加工与加工筒节环缝相反，即封头夹持于可转工作台上。而将割炬夹持于固定杆上，旋转的工作台是由电机驱动，类似立式车床的工作台。切割坡口可为直边，V形或X形。

第二节 筒节成型

一、水压机成型

锻造成型是制造压力容器的古老方法。容器大型化以后，采用整体锻造需要的加工能力过大，不大可靠，所以，多是用水压机锻造筒节，再组焊成容器。但是，需要大型水压机，所以国内一般不用此法。

也可以用一般吨位的水压机，将钢板压成二个半圆，再对焊成筒节。

二、卧式卷板机

1. 卷板机工作原理：卧式卷板机是压力容器制造厂进行筒体成型的常用设备。

一般的三辊卷板机都是三辊按正三角形布置，上辊筒可以升降。下辊筒传递钢板运动。这种型式卷板机的最大缺点是需要予弯，即费工，又费材料，还要另外配备较大的压弯机。所以，又出现了可以在设备上进行预弯的四辊卧式卷板机。这二种卷板机的工作原理见图2—5和图2—6所示，国内所用的卷板机即属于这二种类型。国内容器制造厂现有的大型四辊卷板机，可冷卷厚度为40毫米以下的钢板；热卷最大钢板厚度为100~120毫米，可成型筒节的最小内径为920毫米。

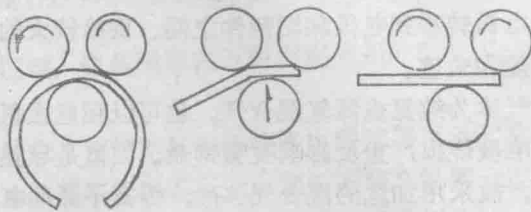


图2—5 三辊卧式卷板机工作原理

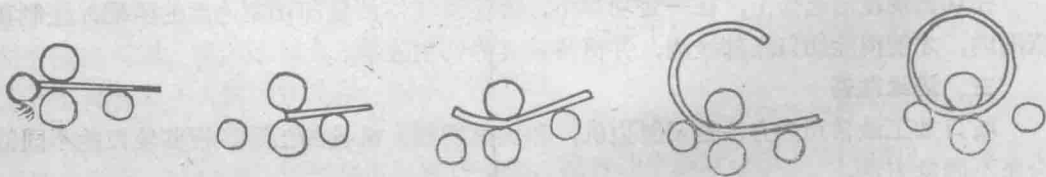


图2—6 四辊卧式卷板机工作原理

2. 可预弯的三辊卷板机：由于粗大的卷板机辊筒是由昂贵的高级合金钢锻造的，加工要求很高。如果能用三辊卷板机来完成预弯，就可以用比较价廉的三辊卷板机取代四辊卷板机。近年来，国外设计制造了多种可以进行预弯的三辊卷板机。下面介绍二种可预弯的三辊卷板机工作原理。

a. 二个大辊可以单独作垂直方向运动的三辊卷板机，这种卷板机用下辊上升的办法进行预弯，操作较简单、机构不复杂，较为常用，工作原理见图 2—7。

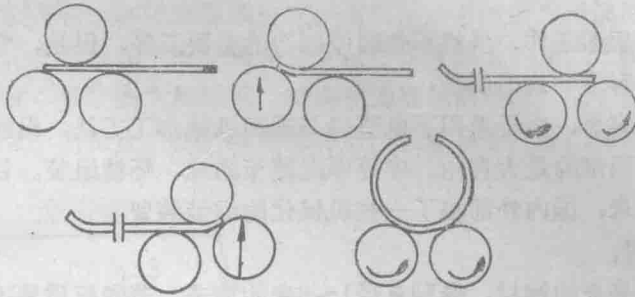


图 2—7 可预弯的三辊卷板机工作原理

b. 上辊可作水平方向移动的三辊卷板机，这种卷板机调节辊筒最少，但结构不易处理，该结构为日本森工业（株）的专利，工作原理如图 2—8 所示。

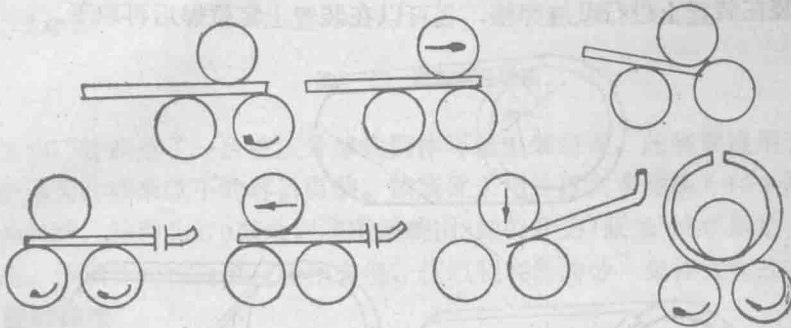


图 2—8 工作原理

从卷制厚板筒节的经验看，由于钢板宽度受到炼钢厂钢坯尺寸和钢厂轧辊宽度的限制，当钢板厚度增加到100毫米以上时，钢板宽度很少超过4米。所以，国外新生产的大型卷板机的宽度都定为3.6米。例如：日本石川岛播磨重工（株）横滨第三工厂配备的三辊卷板机。卷机能力为：冷卷最大120毫米，热卷最大300毫米，宽度最大为3.8米。

3. 立式卷板机：这是国外一种新型的卷板机，它的优点在于卷制大型厚壁筒时，氧化皮不会卷入辊筒与钢板之间以免形成压痕，这种压痕一直是卧式卷板机最难处理的问题。立式卷板机在卷制大直径较薄壁筒节时，钢板也不会因本身刚度不足而下塌。其缺点在于钢板在卷制过程中与地面产生磨擦，较薄壁大直径容器筒节有时会被拉成上，下圆弧不一致。

立式卷板机的工作原理类似压弯机，它除了弯曲筒体外，还可以作钢板校平、弯曲型钢及卷锥体等。立式卷板机工作原理见图 2—9 所示。

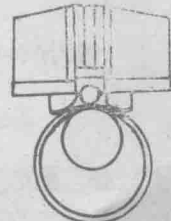


图 2—9 立式卷板机工作原理

英国Hugh Smith公司曾为美国制造了一台1200吨立式卷板机,该设备主辊直径为597毫米。也可换成直径423毫米的小辊。弯卷能力:内径为533毫米时,冷卷钢板厚度为84毫米,热卷钢板厚度为178毫米。

第二节 容器组装及焊接

一、筒节组装

压力容器的筒节组装工作,虽然不是容器制造的主要工序,但是,它的质量优劣,直接影响到焊接质量以及容器的表面质量。

对于厚壁的大型容器,由于采用了电渣焊与端面机械加工方法,纵缝与环缝都能较容易达到质量要求。比较困难的是大直径、中等厚度筒节的纵、环缝组装。目前,筒节组装仍以手工操作为主,近年来,国内外都搞了一些机械化的组装装置。

1. 纵缝组装装置:

对于板厚20~45毫米的钢材,卷制直径1~6米的筒节,若卷板质量不高,就会产生一些如图2-10所示的偏差,在组装时就比较费事。手工操作时可采用图2-11的工具,但随着产量的增加就必须采用机械化的装置。

英国的一台筒节纵缝组装装置利用液压原理来进行筒节纵缝组装。将筒节纵缝向下放在装置上,利用液压驱动,使装置在三个方向运动,以纠正卷板产生的偏差。筒节纵缝对装后,可以直接装在装置上进行纵缝焊接,也可以在装置上定位焊后再取下。

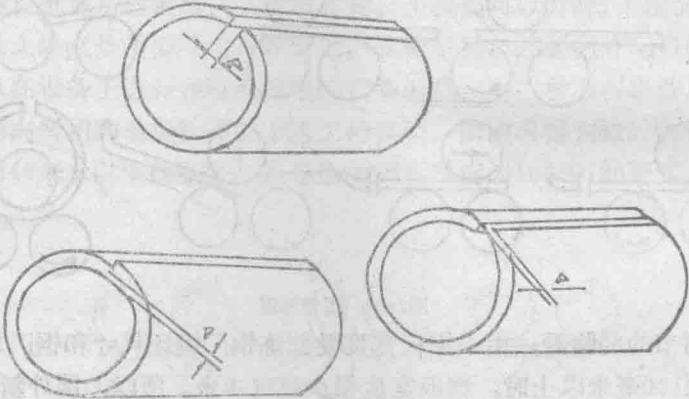


图2-10 卷板偏差

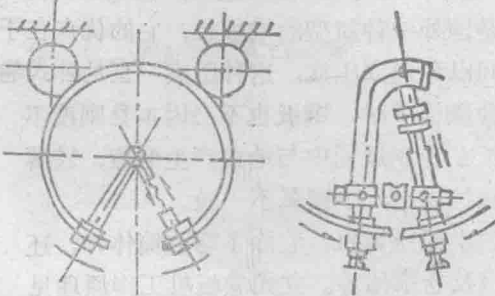


图2-11

2. 环缝组装：环缝组装机械化比纵缝要困难些，各国都设计了一些环缝组装装置。

图2—12所示的环缝组装装置是比较典型的一种。图2—12(a)中：1为可摆动框架，2为可旋转圆环，用真空吸持器3将容器封头背面吸住在环2上，环2与吸持器3沿框架上下调节。当将封头调整至预定位置后，即依靠支架4与吸持器的作用，吸住封头并用液压装置将框架旋转至垂直位置。在组装时，封头可按自身的中心轴旋转至所要求之位置，然后与筒节定位焊。

美国某公司设计制造的一种环缝组装装置，借助于一套液压千斤顶与装置两旁的可调节滚轮架来进行组装的。先用可调节滚轮架将二个筒节支承起来，使二个筒节相互对准。筒节的对接缝经千斤顶系统（多个头）加压后，得到较为准确的圆形，便于进行定位焊。该装置自己可以驱动、搬运至所需位置，在组装定位焊后，装置易于打开，使容器从上部取出。

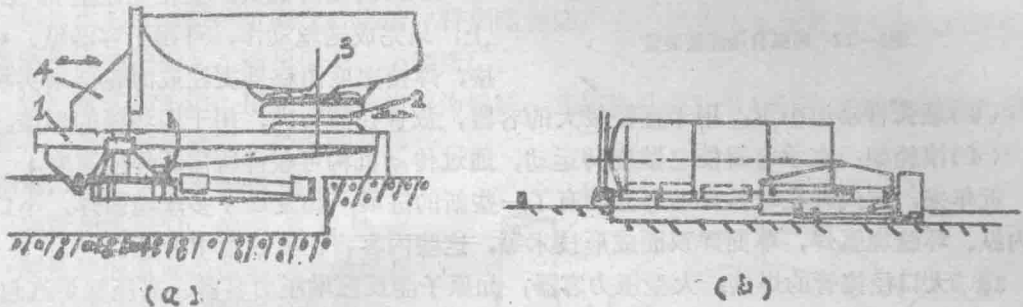


图2—12 环缝组装装置

北京金属结构厂曾制造了一台液压外撑式筒体环缝组装装置。此装置适用于直径为1000~3200毫米，壁厚为60毫米以下的容器组装。该装置采用外撑式多油路（10个油缸）组成。每缸承受压力为21吨，行程为470毫米。液压系统由210公斤力/厘米²油泵供给，电动机为30千瓦，无级变速。该设备结构简单，操作方便，使组装容器的劳动条件大大改善。

二、主焊缝的焊接

1. 电渣焊：由于其生产率比埋弧自动焊高出20—30倍，坡口为I型便于加工，质量稳定。所以至今仍被压力容器制造厂采用。主要用于厚壁容器纵焊缝的焊接。国内使用的电渣焊设备都是固定式的，整个装置比较庞大，要将筒节吊运到电渣焊工作台上进行焊接。

近年来，国外出现了一些立柱式，可移动式电渣焊设备，甚至改成工件自身支承式的装置。使用灵活，可以较好地满足容器大型化的要求。如美国制造的可移动立柱式电渣焊装置。可移向大型容器筒节，避免了重型筒节的往复吊运。

英国设计了一种钢板自身支承的熔嘴电渣焊机，可焊接直线和曲线焊缝，垂直焊丝长度可达6米。该设备采用的规范如下：

焊接电流	900安培	焊接电压	48~50伏特
焊接速度	835毫米/小时		

可以焊接筒节纵缝和大球形封头的拼接缝。

2. 埋弧自动焊：主要用于厚壁压力容器焊缝焊接，采用多层多道焊法，通过下一焊道对前一焊道的回火作用，来提高焊缝金属的韧性。生产实践表明，埋弧自动焊用于容器环缝

的焊接，既可保证质量，又可提高生产率。

对于中、薄板容器，埋弧焊也用于容器纵缝的焊接，拼板焊缝的焊接。

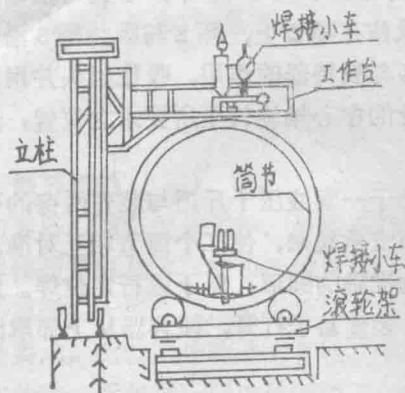


图2—12 埋弧自动焊按装置

大型容器的焊接设备，多是升降架式，焊接机头放在升降架上，升降架本身可沿轨道移动（有龙门式、单臂式），容器放在滚轮架上进行焊接。图2—13是国内常用的一种埋弧焊装置。整个装置由四部分组成：

（1）可移动的立式支柱：能在轨道上做直线运动，通过调速机构可使立柱获得各种速度，以适应焊接容器纵缝时所需要的焊接速度的要求，在立柱上有可升降的工作台。

（2）自动焊机头：装在立柱上的工作台上，只完成送丝动作，可用于容器纵、环缝焊接，焊接速度由移动支柱或滚轮架来实现。

（3）埋弧自动焊小车：用于直径较大的容器，放置在筒节内，用于内环缝的焊接。

（4）滚轮架：支承容器使之做旋转运动，通过传动机构可获得所需的焊接速度。

近年来，国内外在埋弧自动焊方面有了一些新的进展，如发展了多丝埋弧焊，小口径容器内纵、环缝埋弧焊，单面焊双面成形技术等，这些内容将在第五篇中介绍。

3. 大口径接管的焊接：大型压力容器，如原子能反应堆压力容器、高压锅炉汽包，都有很多大直径的接管。接管相对直径很大，与筒体的接缝呈马鞍形，由于形状复杂，以往都采用手工焊，遇到的困难是：

（1）焊接工作量大。开孔多的容器要2、3个星期才能焊好。

（2）采用低合金高强度钢以后，焊接预热温度高，操作条件恶劣。

因此，国外在发展机械化、自动化焊接法来解决大口径管的焊接问题。按其焊接位置，可分成内焊式与外焊式二种，具体结构有多种类型。

美国的Cypress公司制造的大口径接管焊机，为外焊式，有如下一些特点：

a. 结构简单，搬运与装配均较方便；

b. 可以连续在马鞍形、平面的圆周上进行焊接，如经过调整，还可用于焊接椭圆形焊缝；

c. 可以用埋弧自动焊、 CO_2 气保护焊、惰性气体保护焊及金属极惰性气体保护焊；

d. 由于连续及自动焊接，焊接效率高、质量好、安装连接方便，可以减小工时。

英国、日本、瑞士等国也都研制了不同型号的大接焊管机，国内也在进行这方面的研究工作。

第四节 封头成型

压力容器的封头，除大型锻件平封头由重型厂锻造供应毛坯外，其它形式的封头，如球形封头、椭圆形封头等，都需要容器制造厂加工制造。

制造封头的方法很多，可采用人工锤打法，落锤冲击法、冲压成型法、爆炸成型法及旋压成型法等。目前，广泛应用的是冲压成型封头。