

41-44, 12

TH 049

压力容器制造的几个工艺问题

· 黄子昌 ·

提要 本文介绍压力容器生产中对一些工艺问题的具体处理办法。

关键词 压力容器 制造 工艺

利用船厂现有的机械加工设备和装配焊接方面的技术优势,生产压力容器,是船厂开展多种经营的有效途径之一。现将黄埔造船厂近年来生产压力容器工艺方面的几个问题介绍如下。

一、各类容器工艺卡的编写深度

工艺卡制度,是压力容器质保体系的重要组成部分。它包含压力容器制造过程中的工艺路线、工艺步骤、工艺方法及工艺精度指标,也包含工艺实施过程中的各种原始记录,使压力容器的制造具有规范性和产品质量的可追踪性。因此,工艺卡制度是产品质量的重要保证。

压力容器按照工作压力和工作介质的不同而划分为不同的类别,其制造的工艺及检验要求也有所不同。工艺卡过于简单,对施工工艺无法进行有效的控制,产品质量就不能获得保证;工艺卡过于烦琐,会束缚操作人员的手脚,也无法真正贯彻执行,还会增加产品的成本,降低经济效益。因此,各类容器的工艺卡,应有各自的适当的深度和工艺精度。据我们几年来对压力容器生产的有关规程实施中的体会和经验,以下提出的深度和精度,是劳动局的安全监督机构许可的,也是施工人员可以接

受,并能有效控制产品质量的。

(1) 对于Ⅲ类容器,由于制造要求特别严格,原则上,受压元件(即受到容器的工作介质的压力作用的元件)需要做到一件一卡,工艺卡内要有明确的工艺路线、工艺步骤、工艺方法、工艺精度指标及检验记录。

(2) I、Ⅱ类压力容器,主要受压件,如封头、筒节,要做到一件一卡,补强圈及对焊法兰(后者需要锻打)也要有工艺卡,但同一台容器上的同种规格的零件,可采用同一张工艺卡制造。

(3) 不论哪一类容器,都要有总装工艺卡。总装工艺卡,包括把合格的元件组装成整台压力容器、进行液压试验或气密性试验,直至油漆、包装发运的有关工艺及工艺实施的检验记录。

二、如何控制B类焊缝的对口错边量

在GB 150—89《钢制压力容器》中,根据结构型式和受力状态的不同,压力容器的焊缝分为A、B、C、D四类,如图1所示。其中A、B两类为对接焊缝。对接缝的对口错边量允差见该标准中的10.2.3.2的有关条文的

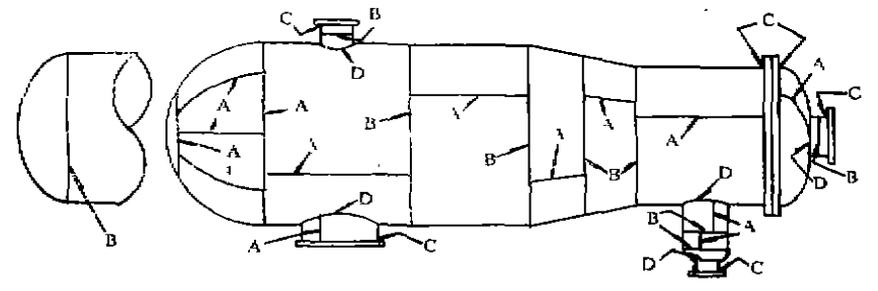


图 1

规定。对口错边量，在造船行业中称为对口不平度。在压力容器中，控制对口错边量的要求比较严格。

控制压力容器的对口错边量要求严格，是有其道理的。我们知道，当等厚的两板对接时，如图 2 所示，对口处的焊缝的受力状态最简单，

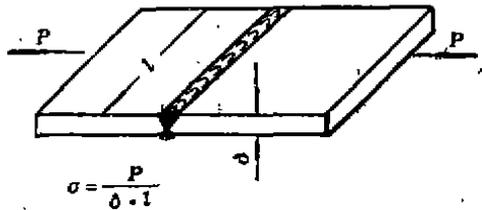


图 2

只有拉（压）应力。当两板搭接时，如图 3 所示，由于两力的作用线不在同一平面内，焊缝除受到拉（压）应力外，还伴随有一力偶的作用，并且以焊缝的剪断作为主要的破坏形式，

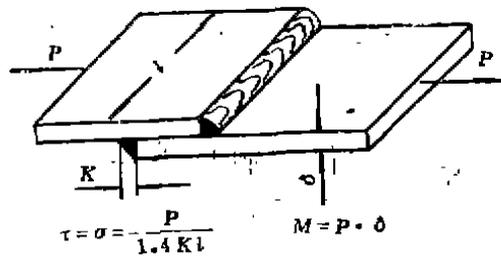


图 3

受力状态复杂，对工件不利。因此，工程上在重要的部位是很少采用搭接的。当两板的对接由于装配误差使错边量超差时，焊缝的受力状态介于对接与搭接之间。显然，由于压力容器受到介质的波动压力的作用，错边量超差带来的焊缝突变就容易造成疲劳破坏，产生灾难性的后果。

按 GB 150—89《钢质压力容器》的规定，压力容器的对接焊缝中，不允许存在十字焊缝。因此，压力容器的筒体不管由多少个筒节组成，为了便于施工，习惯上总是先做好单个筒节后，再把各个筒节拼接成长的筒体。所

以，单个筒节上的 A 类焊缝的对口错边量是很容易控制的，一般不会超差。但对 B 类焊缝则不然，稍不注意就可能局部超差。据我们的实践经验，以下三项措施对控制 B 类焊缝的对口错边量是行之有效的。

(1) 使相邻的筒节或封头的周长相匹配。显然，这是使 B 类焊缝错边量符合要求的先决条件。但是，周长相匹配还不能绝对保证错边量不超差，必须辅以后面的第 (2)、(3) 条措施。

(2) 分区控制，减少积累误差。具体做法是：将要对接的筒节与筒节或筒节与封头的外缘周长分为四等分（直径 D_0 2400 以上的可分为八等分），并在等分线处打上装配对合线标记，如图 4 所示。装配时，先对齐对合线标记，检查对合线处错边量符合要求后即先点焊，然后逐段对两条对合线之间的接缝校装点焊。这样，四周的错边量容易控制，且各处的错边量也很均匀。假如，不对外缘周长四等分而直接沿圆周装焊，最终周长的线度误差集中到一处反映为错边量，最大值为 Δ ，则四等分区控制后，各等分区内的误差可控制在 $\Delta/4$ 内。

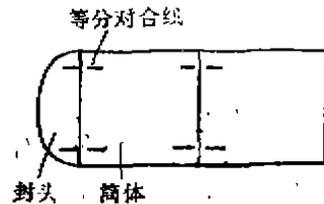


图 4

由此可见，将外缘周长分为若干等分实行分区控制后可避免装配到最后才发现积累误差太大带来 B 类焊缝对口错边量超差被迫返工的弊病。

(3) 用样板控制 B 类焊缝对口错边量。在压力容器中，封头与筒体的厚度往往不一样（多数是封头厚于筒体），因此，B 类焊缝的外侧往往是不平的，单凭肉眼直接观测很难控制错边量。用图 5 所示的样板（用白铁板制成）检查错边量较为简便可靠。

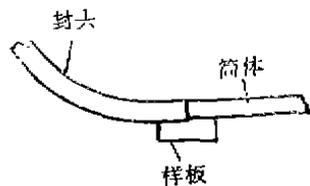


图 5

三、人孔筒节与对焊法兰对接工艺的改进

不少压力容器都有人孔。人孔都采用标准图。高中压容器人孔的人孔筒节与对焊法兰的对接，是按标准图设计的，如图 6 所示。显然，这种设计是不够完美的。如内侧不抠槽封底，不利于保证焊缝质量，有时拍片后要返工，如先焊外侧再从内侧抠槽，操作很不方便。我们将对接处改为如图 7 所示型式，利用人孔直径足够大的特点，开内坡口，焊完内侧后，再从外侧抠槽封底，符合造船行业的施工习惯，工作既方便质量又有保证。这种工艺上的改进，需要在工艺卡中具体指明，并在生产管理中加以实施。

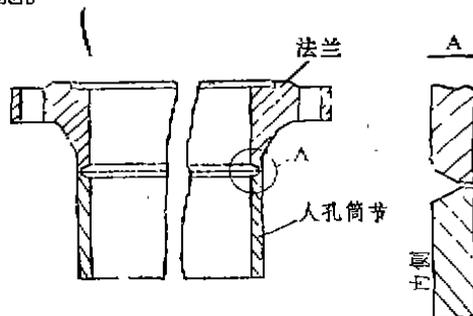


图 6

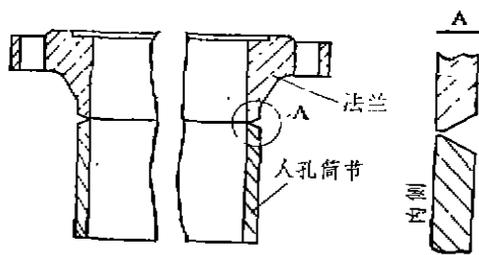


图 7

黄子昌：压力容器制造的几个工艺问题

四、补强圈的装焊工艺

在压力容器中，人孔及某些比较大的开口的管节，都根据计算的要求设有补强圈。这些补强圈在液压试验时有时会出现泄漏。虽然，按正规的步骤，在对容器进行液压试验前，要先用 $0.4 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ($4 \sim 5 \text{ kgf/cm}^2$) 的压缩空气对补强圈进行焊缝的密性试验，但是，有时补强圈与容器筒体内侧的连接缝的缺陷还是检查不到。因为按设计的要求，容器液压试验的压力往往大于 $0.4 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ，缺陷在液压试验时才暴露出来，而一旦出现泄漏，处理起来非常棘手，水从补强圈的试压工艺孔流出来，由于工艺孔是不允许用电焊堵住的，因此，无法进行规定的液压试验，只好暂停试压，降压排水后打开人孔从容器内侧补焊。但是，容器灌水后内侧焊缝有锈斑，很难找到缺陷点。我们曾遇到过由于补强圈泄漏而影响工程进度。因此，在装焊带补强圈的管节时，一定要注意焊缝质量。要避免上面所讲的泄漏，关键是防止水沿图 8 详图所示的虚线的方向渗透。采用下面的工艺有利于做到这一点。先安装补强圈，用 $\phi 3.2$ 焊条按图示的位置先焊一层焊道，仔细检查此焊道，确信无缺陷，然后插入管节，点焊后按常规顺序进行焊接，即先焊内侧，外侧清根后再焊接。每焊一道焊缝，都要认真观察熔池，如发现缺陷，应停焊，去除缺陷后再继续施焊。采用这样的工艺，可以减少焊缝的缺陷，有利于避免试压时发生补强圈泄漏。

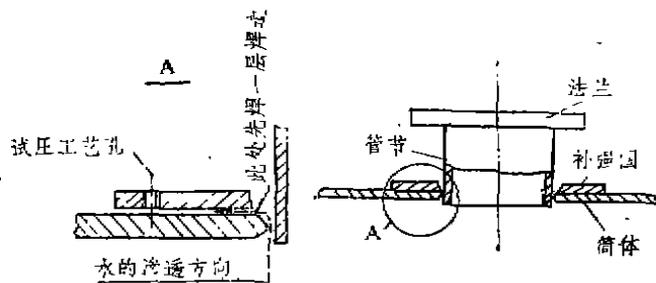


图 8

五、如何解决封头筒体配对 与生产进度的矛盾

由于压制整体椭圆封头的模具很容易磨损,因此,整体冲压的封头的实际尺寸与理论尺寸总会有一定的误差。为了保证封头与筒体之间的焊缝(B类焊缝)的错边量不超差,筒体与封头必须配对,即筒体的下料周长必须根据封头的实际尺寸来决定。由于客观条件的限制,我们所用的封头都是外协压制成的,外单位往往不能按我们的要求准时交货。封头不到厂,筒体就无法下料,以后的一些工作也无法开展。因此,往往由于筒体与封头的配对问题而影响生产进度。如精制液汽提塔($\phi 1600 \times 25000$ 、重13t),除上下端封头外,有11个筒节和2个锥体;抽提塔($\phi 1600 \times 18382$ 、重14t)有7个筒节;氮气罐($\phi 2800 \times 16964$ 、重44t)虽只有4个筒节,但板厚达32mm,焊接工作量大。在这些产品中,筒体与封头配对和生产进度之间的矛盾十分突出。我们是采用以下办法来解决这个矛盾的:两端与封头相连的筒节暂时不下料,其余的中间筒节按设计的理论尺寸下料并进行后面的各道工序,如单个筒节的辊圆、装配、焊接、矫正变形、拍片,并把中间各筒节对接等。这样就可以将工程进度往前赶。当封头的尺寸决定后,剩下的未下料的筒节的下料尺寸是这样确定的:其与封头相接的一端按封头的实际尺寸及错边量的公差值下料,另一端的下料尺寸,由筒体的理论尺寸及错边量公差值决定。

六、不锈钢压力容器的制造工艺

由于不锈钢压力容器有其工艺特殊性,制造难度比较大,因此,劳动局对颁发不锈钢压力容器生产许可证有特殊规定,即持有某类低碳钢压力容器生产许可证的单位不是理所当然的该类别不锈钢压力容器的生产单位,只有在特定条件具备后才能生产不锈钢压力容器。

不锈钢有马氏体不锈钢、铁素体不锈钢和奥氏体不锈钢三大类,在焊接结构中以奥氏体不锈钢用得最广泛,并以1Cr18Ni9Ti为代表。几年来,我们生产的不锈钢压力容器用的就是这种材料,其代表产品有三水啤酒厂的120m³锥形发酵罐、广州磁性材料厂的氧化铁还原炉及茂名炼油厂的二密床空气分布管等。

奥氏体不锈钢的一个显著特点是焊接变形大,特别是焊薄板($\delta=3\sim 5\text{mm}$)时非常突出。变形大的主要原因是:

(1) 导热系数比较小,约为低碳钢的 $\frac{1}{5}\sim\frac{1}{3}$,焊接时热量不易散发,冷却速度慢。

(2) 不锈钢的线膨胀系数比低碳钢大50%,热胀冷缩不均匀而引起的变形大。

为了减少焊接变形,可采用小规范即小电流快速焊来减少熔池过热,并采用逐步退焊法等措施。在制定工艺编绘排板图时,应尽可能采用大板,通过减少焊缝总量来减少变形。另一个有效的措施是预先拼板,焊后冷作矫正(不锈钢不允许火工矫正,如火工矫正,须重新固溶处理)。这样,使拼板引起的变形不会对容器造成总体的不利影响,容易保证制造尺寸精度及外形美观。虽然,由于在容器的制造中不允许存在十字焊缝,预先拼板对辊圆及辊圆后的拼装有一定难度,但总的来说利大于弊。在120m³发酵罐及氧化铁还原炉制造时,采用这种预先拼板及矫正(辊圆本身就是冷作矫正的过程)的工艺,收到良好的效果。

在焊接不锈钢时,氩弧焊优越于手工电焊。据专门的研究,奥氏体不锈钢的焊接存在以下七个主要的问题:合金元素的烧损;晶间腐蚀;应力腐蚀;热裂纹;气孔;“475℃”脆性及 σ 相析出脆化;焊接变形大。采用氩弧焊时,惰性的氩气不与不锈钢中的合金元素起化学作用,能减少铬、钛等有益元素的烧损量。氩气不溶于金属中,不会在焊缝中引起气孔。氩弧焊电弧温度高,热量集中,热影响区小,焊接变形小。氩气气流对焊缝有冷却作用,焊接接

[下转第12页]

合理的GPS, 外貌上很像生产设计, 实际上还有很大的差距。总之, 以现代化造船来衡量我国船厂, 当前仅仅是貌似而非神似, 这就是我国造船生产率低的根本原因。以总公司30万职工中只有5.5万人直接从事造船计算, 1990年度的人均船舶产量是国际先进水平的1/25。

由于篇幅限制, 本文不能讨论GPS的机理, 以证明它是从根本上改革造船生产体制、提高生产率的核心技术, 也不能逐一列举有关国内外成组技术科学的学术组织、国际工业研究机构、我国国防系统研究机构、国家计委和机电部等对GT作用的认识和评价。美国科学院全国研究委员会的一份研究报告评述指出: “造船工业中, 最有潜力和发展前途的两项技术是成组技术和计算机, 这两项技术的进一步发展将会聚于一点, 形成柔性制造系统。这不但会大大提高生产率, 而且还可把船厂业务扩大到金属加工和结构制造, 从而扩大市场。”^[9] 尽管我国船厂占有的市场已扩大到钢结构等非船产品, 但是, 工时消耗大, 生产效率低。这与应用柔性制造系统既快速造船、又高效生产非

船产品相比, 相差甚远。

最后, 以总公司张寿总经理对《造船成组技术》一书的题词为本文的结束语: “努力研究并应用成组技术, 提高造船工业水平”。

参 考 文 献

- 1 陈同庆. 成组技术在造船中应用研讨会. 造船技术, 1985, (11): 44
- 2 吴锦元. 生产设计与成组技术关系初析. 造船技术, 1991, (11): 5
- 3 高介浩. 生产设计与成组技术. 造船技术, 1991, (11): 10
- 4 稻井秀德(日本). 关于中国造船企业管理现代化的若干问题. 上海: 中国造船工程学会管理科学学术委员会等, 1988. 130~144
- 5 朱新民, 李永春, 周吉, 等. 现代管理科学词库. 上海: 上海交通大学出版社, 1987. 182~199
- 6 翁德伟, 徐学光, 陆伟东, 等编译. 造船成组技术. 上海: 上海交通大学出版社, 1990.
- 7 日本造船学会钢船工作法研究委员会. 钢船工作法. 新版第1版. 日本: 产报株式会社, 1975.
- 8 高介浩, 方双, 等编. 造船生产设计. 北京: 国防工业出版社, 1989.
- 9 美国科学院全国研究委员会. Toward more Productive Naval Shipbuilding. 华盛顿 D. C.: 海事委员会, 1985.
- 10 人见胜人, 中岛胜, 吉田照彦, 等(日本). 采用成组技术的生产管理系统. 北京: 机械工业出版社, 1983. 26~27

〔上接第44页〕

头在高温停留的时间短, 不容易产生晶间腐蚀。由此可见, 采用氩弧焊有利于解决奥氏体不锈钢焊接中的主要问题。

不锈钢焊接的另一个特点是焊缝有淬硬的倾向, 焊缝硬度大于低碳钢, 也大于不锈钢基体金属。不锈钢材料经常用于食品工业和制药工业的压力容器设备。为了便于清洗, 往往要将容器上的内侧焊缝整平甚至抛光。发酵罐和还原炉就是一例。整平焊缝的方法是比较讲究的, 不能像对付低碳钢那样, 用批铲来批。如果用批铲来批, 由于不锈钢焊缝太硬, 一块块批下来, 不但焊缝区内有低于表面的凹坑, 而且损伤了焊缝附近的基体金属。正确的做法是, 在满足工艺要求的前提下, 焊缝余高尽可能小(用氩弧焊有利于做到这点), 然后用砂轮将焊缝磨削至略高于基体, 再用抛光轮抛光。

不锈钢容器制造的另一个工艺要点是必须防止表面损伤。由于不锈钢板比较软, 表面光洁度又高, 不小心, 就会在表面产生明显的伤痕, 影响外观质量。因此, 不锈钢容器的生产场地要求也比较高, 必须在铺有木板或橡皮的地板上进行下料, 不能有砂粒铁渣等硬物, 工作鞋要干净; 下料、拼板时板料尽可能避免横拖, 以免划伤; 加工板料的机械的工作面如辊床的辊轴、折边机油压机的工作台要清洁, 不能有突起的颗粒; 装配时, 应用不锈钢锤、铜锤或木锤, 如要用铁锤时, 必须在敲击处加不锈钢垫板。

很多不锈钢产品, 表面抛光后还要进行酸洗钝化。这项技术不易掌握。一般应先按资料推荐的配方, 对不锈钢试板进行试验, 确认最佳浓度和最佳作用时间, 待掌握操作要领后, 再正式施工, 以确保酸洗钝化质量。