



球罐瓣片的冷压成形及其质量控制

中国石化集团北京燕山石油化工有限公司 (102500) 李敬东

随着我国石油化学工业的发展和科学技术的进步,大型钢制球形储罐被广泛地用于石化行业,用来作为液化石油气、液化天然气、液氨、液氮等易燃易爆气体或液体的储存容器。球形储罐与通常立式圆筒形储罐相比,在相同容积和相同压力的情况下,球罐的表面积最小;在相同直径的情况下,球罐壁内应力最小且受力均匀,承载能力比圆筒形容器大1倍,而球罐的板厚只需圆筒形容器板厚的一半。因而,钢铁、石化等行业大都把承受压力的储罐做成球罐形式,以节约钢材,减小占地面积。

球罐一般是由球体、支柱及平台、喷淋装置、消防管网等附件组成,大型球罐还有内转扶梯等。球体是由压制成圆弧形球面的许多瓣片焊接组装而成,是储存物料、承受物料工作压力的构件。球体构成方式一般有环带式、足球瓣式和混合式三种。本文主要介绍环带式球罐,其球体主要是由赤道带板、上下温带板和上下极板构成。

下面以一个 800m^3 球体为例,介绍瓣片相应尺寸及其构成。 800m^3 球体由19片赤道带板(内皮弧长尺寸 $1647/1647\text{mm} \times 6022\text{mm} \times 28\text{mm}$,单片质量 2145kg)、19片上温带板、19片下温带板(内皮弧长尺寸 $1647/562\text{mm} \times 4296\text{mm} \times 28\text{mm}$,单片质量 1098kg)、两片上极板和两片下极板(内皮弧长尺寸分别为 $5742/3429/2404\text{mm} \times 28\text{mm}$, $4940/3429/1048\text{mm} \times 28\text{mm}$,单片质量分别为 1415kg , 935kg)构成,共计61片球体瓣片。

球体瓣片的成形方法主要有冷压法和热压法。热压成形是把经过检查合格、带有切割余量的钢板在反射式加热炉中加热。当炉温升至规定温度时开始测温,恒温一定时间后出炉,用卷扬机快速将板料经滚道拖至下胎,并用吊锤即上胎冲打成形。冷压成形是指在常温下把经过检查合格、带有切割余量的钢板在特制的上下胎具中进行冷加工成形。热压成形具有坯料可塑性好、压延后残余应力小的优点;其缺点是球体瓣片精度差,板材机械强度降低,钢板附加量大,必须扣除大量氧化皮,燃料消耗多且工人劳动强度大。冷压成形具有设备简单、

工人劳动条件好,加工精度高、质量好、劳动生产率高,球体瓣片可以大型化的优点。高强度调质低合金板材的广泛采用,将极大地促进冷压成形的发展。在此,笔者主要介绍冷压成形的加工方法。

一、板材回弹量的确定

在对板材进行弯曲冷加工时,应力最初在弹性范围内变化;进一步弯曲时,应力进入塑性区;当弯曲停止时,留下一部分永久变形,屈服点低的钢材回弹量小,屈服点高的钢材回弹量大。当对屈服点高的钢材进行弯曲加工时,需加大压力进行压制。采用这种强力压制时,为了不使局部产生变形,防止钢板厚度减薄,必须多次反复才能最终成形。

在球体瓣片冷压过程中,确定板材回弹量是冷压成形中的关键。试验指出:影响回弹量的因素很多,如材料的屈服强度、压延应力、弯曲半径、板材厚度及压延板材的幅面大小等。这些因素又是相互制约的,如在同样条件下,材料的屈服强度越高,回弹量越大;压延力越大,回弹量越小;曲率半径越大、板材厚度越小、板幅越大则回弹量越大,反之越小。

通过反复试验所得出的数据表明,冷压球体瓣片材料的回弹量一般应控制在球体名义半径的15%~19%。回弹量计算可按以下公式进行:

$$E = (R - r) / R$$

式中 E ——球体瓣片的回弹量, %

R ——样板曲率半径, mm

r ——胎具曲率半径, mm

回弹量还与压延方法有关,对于同样尺寸的球体瓣片,采用点压成形工艺的回弹量要比采用局部成形工艺的回弹量大2%~3%。这主要是因为点压成形时,单位压延面积内所受抗张应力较大。

二、冷压设备的选择及胎具的设计

1. 冷压主要设备

冷压成形的主要设备是压力机和胎具,一般采



用水压机和油压机，以及用焊接法或铸造法制造的胎具。压力机的形式主要有龙门式或悬臂式两种，而压力机能力的选用与板材的性能、压制方法及球体瓣片的厚度有关。

目前，我们主要采用陕西压延设备厂制造的8000kN悬臂式油压机进行压制。

2. 胎具的设计

对于同一台球罐而言，冷压胎具的实际尺寸要比工件的名义尺寸小。因为冷压加工时材料的弹性变形使钢板在离开胎具后产生回弹，因而在设计冷压胎具时要根据设备条件确定压延方法，即采用局部成形法还是采用点压成形法；而选择胎具材料、结构形式及胎具强度时，应力求胎具本身加工方便，对某些结构部位的设计应留有修改、加工的余地。800m³球体瓣片压制胎具的设计如下：

根据回弹量计算出上、下胎具的曲率半径：

上胎具曲率半径： $R_1 = R(1 - E)$

下胎具曲率半径： $R_2 = R_1 + \delta + C$

式中 E ——回弹量，%

R ——工件名义半径，mm

δ ——工件厚度，mm

C ——上下胎具配合间隙，mm

根据前文所述，取回弹量 $E = 18\%$ ， C 在 2~4mm 之间，取 $C = 3\text{mm}$ ，球体名义半径 $R = 5750\text{mm}$ ，工件厚度 $\delta = 28\text{mm}$ 。计算得出： $R_1 = 5750 \times (1 - 18\%) \text{mm} = 4715\text{mm}$ ， $R_2 = (4715 + 28 + 3) \text{mm} = 4756\text{mm}$ 。

考虑到加工的方便，胎具采用钢板组焊结构，胎头做成活动式，如图1所示。

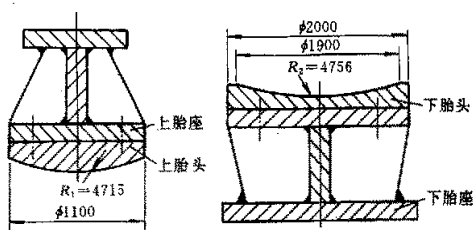


图1 冷压成形胎具的结构及尺寸

三、冷压加工成形

1. 加工工艺

按压制方法，球体瓣片的冷压成形可分为局部成形法和点压成形法。前者加工效率较高，尤其是

在初始阶段更为明显，但需要较大能力的设备；后者由于压延面积较小，对压力机能力要求不高，但效率较低。这两种方法国内均有采用，国外较多采用点压成形法。根据本厂的设备能力和实际情况，我们主要采用点压成形法。

点压成形法是将钢板在常温下逐点、逐遍顺序压制成形的方法。采用点压成形法，可以用同一套胎具压制不同曲率的瓣片，边压延边校正曲率，如图2所示，按“S”方向顺序行压。

实践操作分4遍进行，前3遍使用不同的压力普压，第4遍进行局部修整。在第一遍压制时，钢板以平板状态进入，此时不要一次压到底，

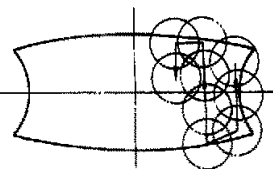


图2 点压成形法行压顺序

这样可以避免工件产生过大的突变和折痕，坯料复压一次移动一次，并应有一定的重叠面，且为上胎头截面的1/3，这个重叠面沿压延顺序方向尽量保持一致，以使曲面均匀。第二、第三遍普压是在第一遍普压的基础上，逐点改变位置，调试出压力机合适的压力，仍沿着“S”方向顺序压制；一面压延一面校正，这时球体瓣片的曲率已基本接近和符合样板的曲率，成形状况良好，一般间隙在2~3mm，且成形较均匀，但局部间隙仍为4~6mm，此时需进行第4遍局部调整，对瓣片的曲率进行校正。校正时，可在上下胎具间加垫板进行，用条形扁钢、扁钢圈、圆钢板作垫，通过上下两组垫板的时而靠拢，时而分开，并借以适当的压力校正曲率。垫板的四周应磨钝，以防止瓣片被压剪成折皱痕迹。经过第4遍的局部修整，可以达到瓣片成形后的间隙标准在2~3mm以内。局部修整如图3所示。

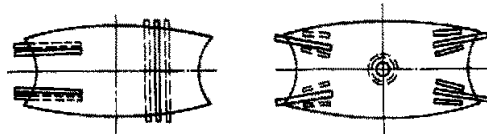


图3 局部修整

2. 曲率的检查

球体瓣片曲率允许偏差 $e \leq 3\text{mm}$ ，通过检查样板进行检测。根据国家标准规范：当瓣片弧长大于

或等于 2000mm 时, 检查样板的弦长不得小于 2000mm。在压制过程中制作了两个检查样板, 大样板弦长 4800mm, 小样板弦长 2200mm, 曲率的检查如图 4 所示。

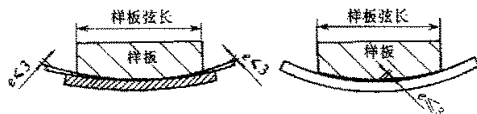


图 4 卡弧样板检查曲率

通过压制球体瓣片的实践可以看出: 瓣片变形的规律是长度方向延伸增长, 宽度方向收缩。长度方向的延长量与宽度方向的收缩量除与瓣片的几何尺寸有关外, 还与板材厚度、材质及压制工艺等因素有关。因此在一般下料时, 长度方向缩短 2~3mm, 宽度方向增加 1~2mm, 其余可在坡口间隙中调节。

3. 瓣片成形的质量控制

根据以往压制球体瓣片的经验和对调查搜集到的各种信息、资料进行分析整理, 结合具体压制条件, 笔者排出影响瓣片成形质量的矩阵图, 如下表所示。

影响因素		球体曲面成形质量缺陷		
		曲率超差	曲面不均匀	扭曲度过大
人	缺乏压制经验	★	★	★
	相互配合不协调	□	△	□
设备及胎具	油压机压力不稳	△	△	□
	胎具曲率半径大小合适	★	★	△
	起吊设备不好用	□	□	□
方法	压力大小掌握不好, 部位不当	△	★	★
	局部修复法不合适	△	□	△
	压制顺序、遍数不合适		△	★
材料	胎具物料硬度不够, 偏软	□	□	

注: ★主要因素关系; □次要因素关系; △一般因素关系。

由以上矩阵图可以看出: 球体瓣片曲面成形质量的主要缺陷有曲面不均匀、曲率超差和扭曲度过大三个方面。而造成这三个方面缺陷的主要因素是缺乏压制经验、胎具曲率半径不合适及压制方法不妥等。

球体瓣片弧面不均匀, 以及瓣片曲率偏大的主要原因:

(1) 操作者方面 操作者责任心不强, 思想未能完全集中, 致使压力控制不稳; 压制经验不足, 未能熟练掌握压制规律; 手工操作效率低, 操作时间长等。

(2) 压制设备及胎具方面 下胎具边缘过大、棱角大、曲率半径不合理, 致使胎具不好用; 起吊设备工具差、龙门吊使用笨重、不方便; 电动葫芦进料不稳定, 胎具硬度不够、料偏软等。

(3) 操作方法 压制不均匀; 压制遍数不合理; 搭接量不合适; 个别部位重叠多、局部修复方法不当等。

4. 质量改进措施

针对以上原因, 在后续压制过程中相应制定了一些改进性措施, 对压制出合格产品取得了一定的成效。首先, 加强操作人员质量意识的教育, 明确分工责任, 制定工作纪律, 在思想意识上重视瓣片压制质量工作, 统一要求, 统一压制方法, 注意观察、记录瓣片变形规律, 总结积累实际操作经验。其次, 改进胎具直径, 把下胎具加大到合适的尺寸, 增大胎具边缘的过渡圆角 R , 确定准确的回弹量及胎具的曲率半径。再次, 改进局部修整方法, 确定合理的压制重叠量, 加强压制时的观察记录。最后, 根据存在的质量问题, 具体实施相应的对策, 采用固定的压力、固定的部位、固定的遍数和固定的顺序, 制定出一套 800m³ 球体瓣片标准化、规范化和制度化的压制方法。

(1) 标准化 将成熟的工艺固定下来, 列为标准。压制瓣片时全部使用统一的样板、卡具、量规及垫板, 压制时第一遍行压 4000kN, 第二、第三遍行压 6000kN, 压板材四角时的压力为 7000kN。压制顺序采用“S”形, 横向压 4 下, 纵向压 9 下, 重叠三分之一胎具截面直径。每张板材普压三遍, 局部修整一遍, 四角增压一遍。

(2) 规范化 将各种操作方法统一作为规范。液压机的压力控制均以压力表初次到位为准。

(3) 制度化 制定必要的管理制度, 促进工人提高压制质量。①奖惩制度: 对违反工艺要求而造成质量问题的操作者, 给以经济处罚。②讲评制度: 技术人员及班长利用班前工作会讲评工作质量, 提出工日要求。③学习制度: 每星期集中半小



板体的锻造工艺及模具设计

沧州市化工机械厂 (河北 061000) 王秀卫 夏 辉 李秀华

板体是坦克履带上的一个配件, 材料为 20CrMnSiNi2, 抗拉强度 $\sigma_b = 800\text{MPa}$, 属于高强度、低塑性材料。由于该零件腹部太薄, 增加了锻造难度。经过一个多月的试制, 我们摸索出了一套成功的工艺, 即: 锯床下料→反射炉加热→制坯→加热→成形→第一次切边→加热→终锻→第二次切边→表面清理。

因尺寸太小可不锻出; 由于零件材料为合金, 氧化脱碳比较严重, 为保证长度尺寸 218mm, 加工量要比理论值大, 此处公差取 3mm。另外, 零件底面 F 虽然不要求加工, 但翘曲度不能大于 1mm。考虑到 4mm 的底部厚度太薄, 极易变形, 因此, 在其底部增加 3mm 的机械加工余量, 待锻造后再加工掉。

1. 绘制热锻件图

(1) 确定分模面

根据分模面确定的基本原则, 即①锻件分模位置应选在具有最大投影尺寸的位置上。②应争取获得锻粗成形良好效果。③锻件易出模。于是, 我们选定锻件的 E—E 面为分模面, 如图 1 所示。

(2) 确定机械加工余量 该零件有两处需加工: 2— $\phi 34\text{mm}$ 通孔,

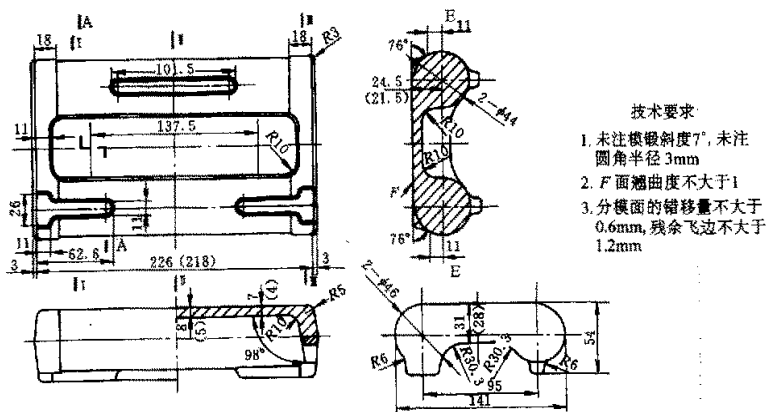


图 1 板体热锻件图

时学习一次, 总结一周工作情况, 加强质量意识。

四、存在的问题及建议

球体瓣片的压制成形, 在国内各个厂家采用的方法各不相同, 但已有冷压成形法逐步代替热压成形法的发展趋势, 这在我国是球罐建造技术上的一项突破。影响球体瓣片压制质量的环节及因素还有很多, 也存在着一些实际困难有待解决, 主要体现在以下几个方面:

(1) 压制加工手段不完善, 压力机能力不配套, 有时存在用大压力机压小型板产生浪费或大型瓣片小型压力机无法压制的现象。

(2) 劳动生产率较低。目前, 各制造厂冷压加工设备均较笨重, 起吊均采用行车, 一个作业班组需 6~7 人配合, 而每班只能加工 3~4 块瓣片, 工

作效率较低。实践表明: 每完成一次工作行程压力机动作只需 3~4min, 而挪动钢板、上下起吊、对准位置则需 4~7min, 明显影响工作效率。

(3) 对各种钢材的冷压回弹量尚缺乏系统的实践研究, 缺乏准确数据。

针对存在的问题, 特提出以下建议:

(1) 建立球罐制造生产流水线, 每一工序由专人专职负责。

(2) 根据各设备制造厂的生产能力, 配备不同类型的压力机及各种标准球罐的下料、压制胎具和检查样板, 以适应不同体积的球罐的制造任务。

(3) 增加压制经验, 通过压制各种不同材料的球体瓣片, 掌握多种材料的回弹量。

(4) 设计制造机械手, 改进吊装设备, 综合提高劳动生产率。

(20030912)