

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.05.021

铸铁烘缸椭圆人孔盖的计算

兰春林¹, 杜红亮²

(1. 轻工业杭州机电设计研究院, 浙江 杭州 310004; 2. 黑龙江建龙钢铁有限公司, 黑龙江 双鸭山 155100)

摘要:为了解决铸铁烘缸承压元件椭圆形人孔盖设计计算的困扰,设计人员基于国内规范结合 ASME 规范寻求一种新的设计计算方法,即利用 ASME 规范提供的数表找到适合于铸铁烘缸人孔盖材料的特性曲线,将此特性曲线提供的特性数值代入已经成熟的算例当中,从而计算出人孔盖的承压能力。此方法一旦成熟可以解决椭圆形人孔盖设计计算的难题,使铸铁烘缸人孔盖的设计进一步的优化。

关键词:造纸机械;铸铁烘缸;ASME 规范;特性曲线

中图分类号:TB114.32 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)05-0089-03

Calculation of Elliptic Manholes Cover of Cast Iron Dryer

LAN Chunlin¹, DU Hongliang²

(1. Hangzhou Project & Research Institute of Electro-mechanic in Light Industry, Hangzhou 310004, China;
2. Heilongjiang Jianlong Iron and Steel Co., Ltd., Shuangyashan, Heilongjiang 155100, China)

Abstract: In order to solve the problems of design and calculation of the oval manhole covers which cast iron dryers pressured element, design personnel based on domestic standard and ASME specification sought to find a new design and calculation method. That was using ASME specification providing the charts to find the characteristic curves suitable for cast iron manhole covers material, and to find features of the characteristic curves into the numerical example. And then the bearing capacity of cast iron manhole covers was gotten. Once this method can eliminate the design and calculation problem of elliptic manholes cover, and the design of cast iron manhole covers can be optimized.

Key words: papermaking machinery; cast iron dryer; ASME specification; characteristic curves

作为烘干纸张的重要部件,铸铁烘缸被普遍应用于造纸行业中。缸体、端盖和转轴是铸铁烘缸不可或缺的3个组成部分,其中,缸体宽大的表面是纸张烘干的直接热源,端盖支撑整个缸体并为缸体的转动传递动力。端盖包括操作侧端盖、传动侧端盖。为缸体内部安装及维修方便,需在操作侧端盖上开设人孔并配有人孔盖。传动侧端盖又名进气盖,或驱动侧端盖。转轴为缸体的转动提供直接动力。对于受现行法规、规范监管的承压元件,如果在设计、制造及使用过程中没有及时发现隐患,可能会造成烘缸端盖断裂甚至引起端盖爆炸事故^[1],基于这些原因端盖上人孔所配的人孔盖是本文所关注的重点。

铸铁烘缸是造纸机械中用作纸张烘干的关键部件,其数量约占造纸设备中压力容器数量的 $2/3$ ^[2-3]。

就现在成熟的造纸工艺条件下,烘缸的结构大部分沿用以前的设计,只是局部有所改进。而对于承压元件的人孔盖,受限于端盖结构要设计成椭圆形,且凸面承压。现行国标 GB 150.1~150.4—2011 对材料为铸铁、凸面受压且椭圆形人孔盖的计算方法没有明确表述,这对设计人员在结构设计中带来一定困难。

1 解决方案

限制凸面受压椭圆形人孔盖计算的因素有材料问题、结构问题。解决这样的计算可以从3个方面入手:①更换烘缸所用的材料;②改变人孔盖的结构;③寻找现有结构人孔盖的计算方法。

1) 烘缸材料选择

造纸机中铸铁烘缸的直径直径一般为1 500~3 660 mm,根据纸的品种和车速每台机上配备烘缸的

收稿日期:2014-11-11;修回日期:2015-07-01

作者简介:兰春林(1983),男,内蒙古四子王旗人,工程师,主要研究方向为轻工设备。E-mail:lanchunlin2006@163.com

数量不等。铸铁烘缸具有热稳定性好,不易变形,纸张剥离性好的优点,因此在普通长网纸机中采用铸铁烘缸。长网纸机上烘干部有多组烘缸组成,数量往往有几十个,质量占整台纸机的三分之二,成本占整台纸机的三分之一。虽然钢质烘缸承压能力优于铸铁烘缸^[4],但其受热易变形,影响纸张的张力,造成烘缸传动难以控制,因此仅仅为了提高人孔盖的承压能力,烘缸材质选用钢质烘缸,不仅增加成本而且增加技术难度,显然不合理。

2) 人孔盖

从图 1 可知,烘缸端盖受操作轴的固定、支撑及安装等要求的限制使其纵向空间相对较小,而横向空间受限少,因此人孔设计为椭圆形,相应的人孔盖也为椭圆形。因此改变人孔盖结构显然也行不通。

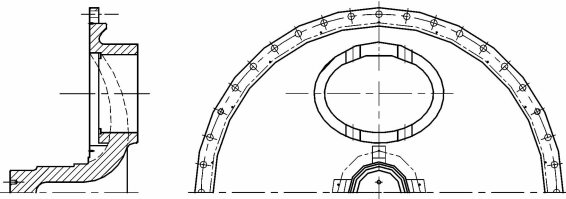


图 1 人孔盖结构

Figure 1 Structure of manhole covers

3) 人孔盖计算依据

根据近年内国家质量监督检验检疫总局公布的数据,截止到 2010 年底,全国现役压力容器 233.59 万台^[5],造纸机械用压力容器烘缸占现役压力容器的 1.7%~2.5%。造纸行业中铸铁烘缸作为压力容器的一个分支,自身的安全性要体现在设计、制造及使用中。基于这些原因只有找出相关依据对现有形式的人孔盖进行符合性计算,在 GB 150.1~150.4-2011《压力容器》及行业标准 QB/T 2556-2008《造纸机用铸铁烘缸设计规定》并没有讲述铸铁材料制压力容器承压元件——烘缸人孔盖的计算方法(现有人孔盖形式多为球面凸形盖,且多为凸面受压)^[6-7],因此参考美国机械工程师协会的 ASME 锅炉及压力容器规范(简称 ASME 规范),进行类似的计算。

2 求解方法

按照 ASME《锅炉和压力容器规范国际性规范》V III 卷第一册压力容器建造规则——强制性附录 1-6 球面凸形盖(用螺栓连接的封头)凸面受压的计算方法进行校核。但 ASME 规范中没有椭圆形球面凸形盖凸面受压的计算案例,鉴于此,以椭圆形的烘缸人孔盖长轴长为直径简化近似于圆形球面凸形盖凸面受压的

模型进行保守计算。

1) 烘缸人孔盖近似于球面凸形盖

人孔盖形状见图 2,其中推荐 R 的最小值为 $2t$ 。

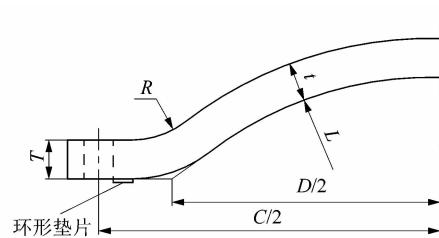


图 2 烘缸人孔盖形状

Figure 2 Shapes of elliptical manhole covers of cast iron dryers

2) 确定铸铁材料外压应变系数 A 值

为便于计算事先假设一个人孔盖最薄处厚度 t ,则 A 为

$$A = \frac{0.125}{R_0/t}$$

式中: R_0 为人孔盖球面部分外半径; t 为设人孔盖最薄处厚度。

3) 确定铸铁材料的外压应力系数 B 值

查图 ASME II D 篇 3 分篇 CD-1^[8]可知,若确定铸铁材料的外压应力系数 B 值,须知外压应变系数 A 以及材料的弹性模量。

查 TSG R0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》(以下简称固定容规)可知压力容器用球墨铸铁只允许选用 QT400-18R 以及 QT400-18L 这 2 种牌号^[9],查找国家标准 GB/T 1348-2009《球墨铸铁件》可知这 2 种牌号材料的弹性模量为 169 GPa^[10],由应变系数 A 及材料弹性模量在图 ASME II D 篇 3 分篇 CD-1 中查得对应材料的应力系数为 B 。但由于国内固定容规规定球墨铸铁室温下抗拉强度安全系数不小于 8.0,而 ASME 规范规定凸形封头受外压安全系数为 4.0,出于两国规范安全系数的对比以及更为安全保守的考虑,将查得的应力系数适当缩小后确定 B 值。

4) 求算此铸铁材料人孔盖凸面受压的最大许用工作压力值 p_0

$$p_0 = \frac{B}{R_0/t}$$

如计算出许用外压力 p_0 大于设计压力 p ,即认为人孔盖凸盖处厚度为合格。

5) 如图 2 所示的球面凸形盖法兰部分与球面部分受力不同,应分别计算这两部分厚度。环形垫片的带有圆形螺栓孔的球面凸形盖法兰厚度 T 计算如下:

$$Q \frac{pL}{4S} \left(\frac{C+D}{7C-5D} \right),$$

$$T = Q + \sqrt{\frac{1.875 \times M_0 (C+D)}{S \times D \times (7C-5D)}}.$$

式中: p 为设计压力; L 为烘缸人孔盖球面部分内半径; Q 为壁厚系数; T 为所需法兰厚度; S 为铸铁材料许用应力(行业标准 QB/T 2556-2008《造纸机用铸铁烘缸设计规定》); C 为法兰螺栓圆直径; D 为法兰内径; M_0 为总力矩,需要注意的是无论计算凹面受压或凸面受压总力矩其实际值可以是正也可以是负,但在上述计算中代入数值时皆取其绝对值。 M_0 的计算分为操作状态和预紧状态两种。

①操作状态

$$M_0 = p_D (h_D + h_C) + p_T (h_T - h_C).$$

式中: p_D 为作用于法兰内截面的端部静压力,且 $p_D = 0.785 \cdot D^2 \cdot p$; D 为法兰内径, p 为设计压力; h_D 为螺栓中心圆至 p_D 作用圆的径向距离,如 ASME 规范 V III 卷 第一册压力容器建造规则(以下简称 ASME 建造规则):强制性附录 2—表 2-6 所示; h_C 为垫片压紧力作用位置至螺栓中心圆的径向距离; $h_C = (C - G)/2$,其中 C 为法兰螺栓圆直径; G 为垫片反力载荷作用位置处的直径,如 ASME 建造规则:强制性附录 2—表 2-5.2 所示; p_T 为总的端部静压力与作用于法兰内截面的端部静压力之差, $p_T = p_L - p_D$,其中 p_L 为总的端部静压力,且 $p_L = 0.785 \cdot G^2 \cdot P$; h_T 为螺栓中心圆至 p_T 作用圆的径向距离,如 ASME 建造规则:强制性附录 2—表 2-6 所示。

②垫片预紧状态

$$M_0 = W \cdot h_C$$

式中: W 为操作或预紧状态下法兰设计的螺栓载荷,且 $W = \frac{A_{m2} + A_b}{2} \times S_a$; 其中 A_{m2} 为垫片预紧状态下所需的螺栓螺纹根部的总截面积或在应力作用下最小直径处的横截面积, $A_{m2} = W_{m1}/S_a$; W_{m1} 为操作状态下所需最小螺栓载荷,如 ASME 建造规则:强制性附录 2—表 2-5(c) 所示; S_a 为常温下螺栓材料许用应力; A_b 为螺纹根部直径或无螺纹部分最小直径处的螺栓横截面积,取较小者。

由上述公式可计算出烘缸人孔盖法兰需要厚度,

将此厚度与假设厚度相比较如小于假设厚度即认为合理,因为铸铁烘缸人孔盖法兰及凸形盖封头是一体的,只要其整体最薄处大于设定厚度且许用压力大于设计压力,即认为烘缸人孔盖为合格。

3 结语

综上所述行业内一直以来对人孔盖的设计、计算存在无规则可依的问题,造成人孔盖的设计一直沿用老旧的结构,基本没有什么大的优化,同时也存在潜在的安全风险。本文揭示一种近似又相对安全保守的计算方法,解决这一困扰业内设计人员多年的计算问题。本文是以椭球面的长径作为球面的直径进行设计计算,虽然偏于保守,但在安全上留有一定的裕量,至于今后能否找到烘缸人孔盖更加贴切的计算方法,有待于设计人员的共同努力以及国家或行业新标准、新规范的产生。总之本文的计算方法为常规烘缸人孔盖的设计计算无规则可依的现象提供了一种比较恰当解决方式,符合目前国家对设备安全总体越来越严格的要求。

参考文献:

- [1] 王军. 爆炸性安全环境评价与最新防爆技术及设备选用维护标准实务全书[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [2] 盛水平, 陈海云. 铸铁烘缸强度与硬度关系的探讨[J]. 中国造纸, 2008, 27(9): 70-72.
- [3] 刘鑫, 谢禹钧. 高压分离罐大开孔区的耦合应力强度评定[J]. 轻工机械, 2013, 31(4): 108-110.
- [4] 中国轻工业联合会. QB 2551-2008 造纸机械用铸铁烘缸技术条件[S]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局特种设备安全监察局. 关于 2010 年全国特种设备安全状况的情况通报[R]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2011.
- [6] 中国轻工业联合会. QB/T 2556-2008 造纸机械用铸铁烘缸设计规定[S]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
- [7] 全国锅炉压力容器标准化技术委员会. GB 150-2011 压力容器[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [8] 美国机械工程师协会. ASME II D-2010 ASME 锅炉及压力容器规范第 II 卷材料 D 篇: 材料性能(公制)[S]. 北京: 中国石化出版社, 2011.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. TSG R0004-2009 固定式压力容器安全技术监察规程[S]. 北京: 新华出版社, 2009.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 1348-2009 球墨铸铁件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.