

纺织机械压力容器的强度分析

何 平

刘雪芬

刘正国 刘 唯

(上海纺织机械研究所) (上海航天局 811 研究所)

(上海第二工业大学)

【摘要】 本文介绍和讨论用有限元对某些纺织机械压力容器进行强度分析的方法, 并通过对结果的分析, 对这类压力容器的标准、设计、安装、强度进行了一些探讨, 提出了一些建议。

近几年来, 作者对以下压力容器进行了有限元强度分析, 它们是: MF246-5 染色机热交换器、HEIZKASTEN 加热箱、MB231-0100-3A 染槽部件、HV452-0300-1A 纺丝箱、HV451-0300-1 纺丝箱和 VD406-0200-1B 纺丝箱。这些压力容器的特征是结构复杂, 一般为箱形与圆柱形的结合体。载荷为内压、自重、温度, 其内压不高, 一般为 0.2~0.4MPa, 温度较高, 一般为 300℃。

一、有限元单元的选择与应力分析中的设定

用 8-21 节点等(次)参三维实体单元, 应力分析中有以下几点设定:

1. 在正常工作过程中, 认为容器受压为恒定、均匀的, 温度为恒定的。
2. 对细小结构与尺寸进行了圆整和简化。
3. 由于实际容器有多种焊缝类型, 在计算中都被认为焊接程度为透焊。
4. 计算中不包括对密封件密封能力的校核。

二、有限元网格粗细与其对分析结果的影响

作者根据一般情况与经验, 对结构外形的突变处与约束处网格画得细一点。对纺丝箱一般取 1100 个节点, 600 个单元。图 1 为 HV452-0300-1A 纺丝箱的网格俯视图。

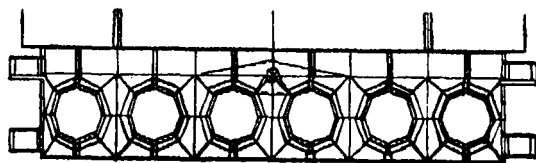


图 1 HV452-0300-1A 纺丝箱的网格俯视图

在几个容器的分析计算结果中, 凡是应力过大, 应力集中的点都能显示出来, 不过应力值偏大一点, 点的位置与实际位置有一定的误差, 在进一步的分析计算以前, 细化应力值偏大区域的网格, 再经过计算, 各应力值有所降低。以本文所用的网格粗细程度, 应力超标点不会被漏掉, 且工作量不很大, 一般经过一至两次计算, 便可得到满意的结果。

三、压力容器的强度校核

1. 应力类型的分类：经计算的压力容器具有内压、自重与温度载荷，因有限元计算是数值计算，没有解析公式出现，故难以定量分析一次应力与二次应力的大小。为解决这一问题，在计算中共设两种载荷情况：a. 内压、自重、温度，这为实际工况；b. 内压、自重，这不是实际工况。第一种情况为一次应力与二次应力之和，包括了温度应力，大体上可认为二次应力由温度应力组成；而第二种情况仅为一次应力。这样大体对一次与二次应力有一个量的度量。另外根据各个单元的应力大小，同一个单元在容器外壁与容器内壁上的点的应力大小，经过分析也可大体衡量一下一次薄膜应力、局部薄膜应力与一次弯曲应力的大小。为强度校核提供了依据。

2. 温度应力：《压力容器的应力分析与强度设计》中的强度校核标准为：a. 一次应力与二次应力之和的应力强度应小于 $3[\sigma]$ ；b. 一次应力的应力强度小于 $[\sigma]$ 。根据几个压力容器的分析结果可知，一次应力的应力强度普遍较小，一般都小于 $[\sigma]$ ，而二次应力较大，一部分点的一次应力与二次应力之和的应力强度略小于 $3[\sigma]$ ，也有少量峰值应力超过 $3[\sigma]$ ；这是由这类压力容器内压较小而温度较高的载荷特征所决定的。

温度应力主要由二大原因引起：(1) 结构各部分的温度不同而引起的温差应力；(2) 结构在边界上受到的外部约束阻碍了结构的热膨胀所引起的温度应力。第一种原因已引起了足够的注意^[1,2]，而第二种原因还没引起足够的注意，原因可能是这个引起温度应力的原因要经过有限元分析或其他现代分析方法才能被深刻认识。按资料^[1]的第一册第24页上所述，如容器的温差小，可不进行温度应力分析。在第三册84页上虽提到容器结构的热膨胀或收缩受到约束时可引起温差应力，但作者所说的约束是指由于结构各部分的温差引起的各部分

之间的约束，而不是指在边界上受到其他物体的约束。资料^[2]在热应力一节中提出“由于温度引起的变形受到某种外部约束或限制时可产生热应力”，但只举了一个两端固定的管道的例子，而重点讨论的是温差应力，并在结论中指出：对于有良好保温层的容器来说，其内、外壁温度趋于一致，从而使热应力大大减小，因而可以不考虑热应力的影响。现今大部分单位对于保温条件好、内外壁温差小的内压力容器不进行热应力校核。作者要指出的是：即使容器满足温差很小的条件，如结构的边界上存在着外部结构对它的约束，温度应力可能还是很大的，应进行热应力校核；纺机压力容器正是属于这种情况。

3. 各种外部结构约束：由于要减小热能损失，纺机用压力容器一般采用较好的保温手段，故温差很小。但根据这类压力容器的使用情况，总是存在着外部结构约束的，原因如下：

- (1) 容器安装时总要有一定程度的固定，如纺丝箱的支座要以某种方式固定在机架上。
- (2) 容器总要与其它机器联接，这种联接一般为管道联接，这些管道对容器起到了约束作用。

根据几个容器的分析计算结果可知，外部约束的方式大大地影响着温度应力的大小与分布。图2是容器的几种固定方式。

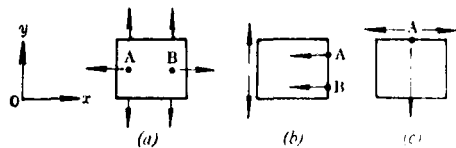


图2 容器的几种固定方式

图2为三种纺丝箱固定在机架上的方式。A、B为固定点，箭头表示各种约束所允许的热膨胀方向。在(a)中，结构在AB两点之间的部分在x方向的热膨胀受到了约束，从而引起了温度应力。同理，(b)中的AB之间的部分在y方向上受到约束，而(b)的温度应力小于(a)，因为(b)中的AB点是沿着纺丝箱的宽

度方向上设置的, 而(a)中的AB点是沿长度方向上设置的, 而长度方向上因温度引起的热膨胀量大于宽度方向, 因此 AB 约束引起的作用大。HV452-0300-1A型纺丝箱就是图(b)的方式固定的。图(c)中只有A一点约束, 这种固定方式引起的温度应力最小, HEIZKASTEN 加热箱以这种方式固定。

图 3 为管道联接的约束形式。

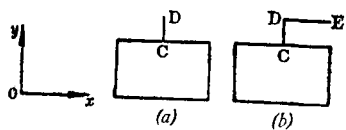


图 3 中 CD、CDE 为管道, D 与 E 点联接到其他

设备上或为固定。图(a)中的 CD 管道对纺丝箱在 y 方向的热膨胀约束很大, 因为管道沿轴线方向的刚度很大, 而(b)的形式就好得多, 是因为 DE 管在 y 方向的弯曲允许纺丝箱在 y 方向发生相当的热膨胀。在计算 HV452-0300-1A 纺丝箱时, 取了不同的管道联接形式, 从结果中可知管道联接形式对热应力的影响很大。

4. 对纺机类压力容器的设计安装提出的建议:

(1) 建议在标准中列入由于外部约束引起的热应力这一项, 以及所采取的分析方法与措施。

(2) 在设计压力容器时, 尽量用图 2(c) 的一点固定方式。若要用两点固定方式, 则两点间的距离要尽量小, 如图 2(b)那样。

(3) 压力容器的外部联接管的设置要如图 3(b)一样, 管道中至少要有一个弯头, 且每一段管道的长度不能太小。

(4) 作者到纺机压力容器使用厂调研的结

果表明, 第一线工人在安装压力容器时一般都将四个支座牢牢固定, 没有其中有些支座要放松以减小温度应力这一概念。建议压力容器生产厂在产品说明书中要明确规定支座的固定形式, 使用厂也应在操作规程中作相应的规定。

四、结论

纺织机械类压力容器的热应力较大, 这种应力不是由内部温差引起的, 而是由外部结构对容器的约束引起的, 这种温度应力的计算要依赖于现代分析方法, 如有限元方法等。其计算结果也仅提供了一些设计者可用来提出假设与分析的资料。如根据分析结果, 为减小温度应力对结构进行了修改, 修改的效果一定要再经有限元计算才能知道, 切不可想当然。作者在分析 MF246-5 染色机热交换器时, 发现热交换器的尾部温度应力偏大, 就认为可能是尾部的壁厚较厚引起的, 便将壁厚改薄, 再经计算, 温度应力反而有所增加。根据作者的经验, 如在设计与安装压力容器时, 按照上面的建议进行, 压力容器的温度应力便可大大地减小。总之, 由外部约束引起的温度应力是很复杂的, 对它的进一步认识有赖于各种现代分析方法的应用与科学工作者不断的实践。

参考资料

- [1] 全国压力容器标准化技术委员会: 《钢制压力容器国家标准—GB150-89》, 学苑出版社, 1989。
- [2] 范钦珊: 《压力容器的应力分析与强度设计》, 原子能出版社, 1979。
- [3] R.D.库克: 《有限元分析的概念和应用》, 科学出版社, 1981。

请购纺织学报一九九二年度合订本

《纺织学报一九九二年合订本》, 第十三卷(1992年1~12期)精装每套24元; 平装每套20元(包括邮费); 其他各卷尚有少量余额, 欢迎购阅。

中国纺织工程学会《纺织学报》编辑部

地址: 上海市乌鲁木齐北路197号; 邮编: 200040

帐号: 工商银行上海分行静办静分处 255-08913573