

第六代空分冷箱管道设计新技术的应用

周海如

(杭州制氧集团有限公司设计研究院)

摘要 文章应用 MSC/Nastran 软件对杭钢新一代“6000”空分冷箱进行应力分析,为设计人员选择合适的型钢材料提供了依据。同时介绍了低温配管在工艺上所要注意的问题,着重强调低温管道应仔细进行应力分析。最后阐述了传统应力分析存在的不足,并详细分析了应用计算机软件实现空分设备配管三维设计的优点。

关键词: 空分设备 冷箱 低温管道 应力分析 计算机 设计

第一部分 冷箱部分

1 杭氧公司引进 MSC/Nastran 的目的

1.1 以前由于资料不全,所以无法开展广泛的应用。

1.2 以前的软件前后处理功能差,建模时间太长,应用时不方便。

1.3 MSC/Nastran 可以根据现代设计的要求,作进一步的分析计算,如非线性分析、热应力分析、最优化设计计算等。

2 对 MSC/Nastran 的消化和掌握

MSC/Nastran 已有近三十年的开发和发展历史,并通过 50000 多个最终用户的长期工程应用验证, MSC/Nastran 是目前应用最广泛的 CAE 软件之一,它广泛地应用于世界上许多国家的航空航天、汽车、造船、建筑工程等领域,是世界知名的大型通用的有限元分析软件。杭氧于 1996 年初引进该软件,经过将近半年的学习,已经基本上掌握了 MSC/Nastran 解决实际问题的方法。

3 解决工程设计中的计算问题

冷箱作为壳体,要承受风载、内压、珠光砂等载荷,同时作为工业建筑,也需考虑地震载荷。随着全精馏制氩流程的采用,冷箱的高度在不断提高。邯钢钢厂新一代“15000”

空分冷箱高为 60 米,因此非常有必要对冷箱进行应力分析,选择合适的型钢规格,为冷箱设计提供可靠的依据。以杭钢新一代“6000”空分冷箱为例,进行应力分析大约只需十天左右,是以前计算时间的三分之一,而且可以由几个人交互式进行,为设计人员提供了很大的方便。现结合杭钢“6000”空分冷箱,将计算步骤介绍如下:

3.1 原始数据的准备

基本风压: $W_0 = 490 \text{ N/m}^2$

冷箱充气内压: $P_0 = 490 \text{ N/m}^2$

珠光砂比重: $V_0 = 980 \text{ N/m}^3$

Q235 钢特性:

弹性模量: $E = 2.058 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

泊松比 $\gamma = 0.3$

质量密度: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

设计应力: $[\sigma] = 2.152 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

冷箱允许最大变形量: $\mu = 9 \times 10^{-2} \text{ m}$

3.2 载荷计算

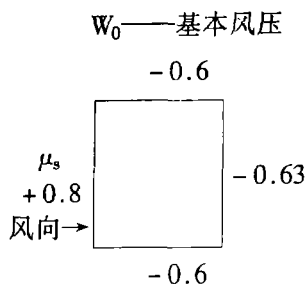
3.2.1 风载计算(根据 GB89-87)

$$W = \beta_z \times \mu_s \times \mu_e \times W_0$$

式中 β_z ——Z 高度处的风振系数

μ_s ——风荷载体型系数

μ_e ——风压高度变化系数



3.2.2 珠光砂载荷

$$P_V = V \times \rho (1 - e^{-h \times f \times k}) / (f \times h)$$

式中 V ——珠光砂比重

ρ ——水力半径

k ——物料侧压系数

h ——物料至所考虑截面测得距离

f ——物料对冷箱壁的摩擦系数

3.3 应用 MSC/Nastran 建立冷箱模型

空分冷箱由骨架及板组成,骨架采用 CBAR 单元模拟,板采用 CQUAD4 和 CTRI - A3 单元,其有限元模型,总计节点为 630 个,梁单元 924 个,板单元 637 个。

3.4 计算及结果分析

应用 MSC/Nastran 计算风载为 $-Z$ 方向工况下的结果为:

3.4.1 梁的最大应力 $\sigma = 1.236 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

3.4.2 梁的最大垂直挠度 $= 2.418 \times 10^{-2} \text{ m}$

3.4.3 冷箱屈曲分析的特征值 $\lambda = -6.0$,负号表示屈曲方向同载荷方向相反。因此,对正常工况下受内压为主的箱体,稳定性是较好的。

3.4.4 另外还计算出了前三个冷箱的固有频率,以供设计时参考:

2.787057E+00 3.141606E+00

4.585793E+00

4 冷箱部分结论

4.1 MSC/Nastran 软件,其精度是可靠的。应用以上所介绍的方法对简单模型计算的结果同手算结果是吻合的。

4.2 根据以上计算结果,无论是强度还是刚度,同许用应力及允许变形有余量,以上按正

常工况计算,而实际也可能是变工况,因此上述有余度也是有必要的。

第二部分 管道部分

低温管道是空分设备的重要组成部分。随着空分设备规模的不断扩大,冷箱高度的不断上升,对管道配置提出了新的要求;同时,全精馏制氮流程的开发成功,冷箱内容器越来越多,配管也越来越复杂。因此空分设备中合理的管道配置,对设备的安全运行、降低能耗、节约材料有重大意义。本部分就此问题在理论上,并结合自己的实践,作以下三个方面的探讨。

1 管道配置需满足工艺过程本身特点及要求

1.1 流程计算确定后,可以根据气量及流速来确定管径。流速选择高,可以减少管道直径,但会增加流体阻力,增加能耗。特别对全低压流程更为明显。另外,对氧气管路还须考虑安全问题。在主冷温差一定时,上塔压力每提高 0.01MPa,则下塔压力提高 0.03MPa,压缩机消耗功率就显著增加。因此,希望上塔纯氮和污氮管道(包括所通过的设备)阻力尽可能小,因为它将直接影响到上塔压力。

1.2 管路布置须紧凑,这样可以确保支架的经济性,减少跑冷损失及减少阻力降。同时为了防止冷热管之间的热传导,冷热管之间不应该靠近,原则上,相距应大于 200mm。各种液体管或冷管,应尽量靠近内部冷容器,而气体管道可在液体管道的外围。气体管路与冷箱壁也须保持一定的距离。液氧管路在配置时,不要有过多的弯曲,尤其下弯处易造成死角,形成乙炔等碳氢化合物的浓缩和积累。液体排放管为避免液体的汽化而增加冷损,必须设置气封。

2 低温管路需考虑热补偿

低温管道的应力,主要是由于管道承受

内力和外部载荷以及热膨胀而引起的,在这些载荷作用下的应力是很复杂的。进行应力分析与计算,是研究管道在各种载荷作用下产生的力、力矩和应力,从而作出对于管道安全性的评价,并满足所连接的设备对推力的限定,使设计的管道尽可能经济合理。由于需作应力分析,因此要借助一定的强度理论来判断。应用有限元方法,对于线单元(一维单元)我们用最大剪应力强度理论,对于面单元(二维单元)我们用变形能强度理论(Von mises 准则)。

将管道按线单元处理,比较方便,缺点是精度不是很高。如实际可能,也许管道只是在上局部区域产生屈服,这并不意味着管系就会失效或破坏,少量屈服部分被周转的弹性所包围,还可继续加载工作。按线单元计算,就认为整个管子已进入屈服,不能工作了。如按面单元计算,就不存在这个问题,管子的每一部分应力都可精确计算出来。同时也可以作振动分析,稳定性分析。

管道的应力一般分为一次应力、二次应力、峰值应力。由内压和持续外载产生的应力属于一次应力,它始终随所施加的外部载荷而变,没有自限性的特征,对于一次应力验算采用极限分析。管道由于热胀冷缩等变形约束而产生的应力属于二次应力,它具有自限性特征,当它超过材料的屈服极限时,由于局部屈服和产生少量的塑性变形,会使二次应力降低下来,管道上的应力重新分布,一般采用安定分析的理论。一次应力、二次应力可以分别判断,也可以一起判断。

空分设备的管路配管都是在常温下进行的,却在低温下运行,冷箱内大部分管道内介质都处于 -170°C 以下,温度的变化会引起管道的热胀和冷缩。由于固定的约束,限制了自由伸缩的可能性,这样一来便产生了热应力。如果应力超过了强度极限,管道便有断裂的危险。因此需要对管路进行应力分析。

一般情况下,管系符合下列条件之一时,可以不考虑应力分析:

- 该管系与运行正常的管系相同或无大的改变。

- 该管系同分析过的管系进行比较能迅速判断。

对于同一直径、两端固定无分支,满足下面的判断式,可以认为该管满足自补偿条件,二次应力(即温度应力)在许用范围以内。

$$(D_N \Delta) / (L - U)^2 \leq 0.2083 S_A / E_0$$

式中 D_N ——公称直径, m

L ——管系在两固定点间的展开长度, m

U ——管系在两固定点间的直线距离, m

Δ ——管系总变形量, m

S_A ——许用应力范围, N/m^2

E_0 ——常温时管材的弹性模量, N/m^2

大部分具有分支的管路,我们用 MSC/ NASTRAN 软件作应力分析。随着空分设备规模的不断扩大,冷箱高度的不断上升,应力分析越来越复杂,需综合考虑。邯郸钢厂 $15000\text{m}^3/\text{h}$ 空分设备,冷箱高度达 60m,塔的冷缩量很大。根据分析,我们有如下体会:上塔至过冷器之间的产品氮管道,由于塔往下缩,管道也往下,因此弯管可以考虑少一点,这一类管子还有污氮管(上塔与过冷器之间)、膨胀后空气送上塔管道等。主塔与氩塔连接的管子,一般弯头要多一点,容器与阀门连接的管子,弯头也需要多一点,以防阀门拉坏。流体管道(如液空、液氮、液氩)应仔细考虑由于自重(管道自重、液体自重)及外载(珠光砂压力)造成的一次应力。当一次应力超过许用应力时,需考虑支架。同时,支架设置的位置需仔细分析由于二次应力产生的管路变形,因此可以考虑采用弹性支架。

总之,管路的柔性要适当,弯头设置太多,温度应力比较小,一次应力可能上升,同

时流体阻力增加,能耗增加,而且管材浪费;弯头设置太少,容易造成温度应力太大,管子被拉断,因此需仔细分析。

3 应用计算机软件实现空分设备配管的三维设计

管道图的绘制是管道基础设计之后的详细设计,一般在设备平面图完成后进行。以前我们一般绘制管道平面布置图及立体布置图,而国外管道平面图的使用已日趋减少。由于模型设计制作成本和运输成本大,所以国内很少采用。而仅根据平面图,施工单位的工作量将很大,因为他们需将平面图转化为管线图(即单线图)。对于设计人员,平面图设计工作量也大,不直观,且图面管线复杂。现在我们已应用计算机实现空分设备三维实体造型,根据模型可以输出平面图、轴测图、管线图,可以将上色的模型图由绘图机输出,也可以模型照相,提供给施工单位。

计算机模型设计的优点如下:

3.1 成本低。

3.2 容易看清管道的布置情况,配管更经济,布置更合理。

3.3 有效地避免管路的碰撞。

3.4 有利于全面地考虑操作、检修、安全的需要。

3.5 统计材料方便、准确、只需考虑 5% 的余量。

3.6 设计周期缩短,是平面设计工作的 1/2

应用计算机三维设计,我们已经完成天津石化 1000m³/h 空分设备改造,上钢五厂 12000m³/h 空分设备,邢台钢厂 6000m³/h 空分设备等塔内管道设计,其中邢台钢厂“6000”、上钢五厂“12000”空分设备,已于 1998 年 9 月、11 月顺利出氧,用户、施工单位对管路三维设计均感满意。

总之,应用该软件技术我们已经完成了由传统的管路平面设计进入三维立体设计的新阶段,为产品设计达到国际先进水平奠定了基础。

(1998 年 12 月)

杭氧三大套第六代空分设备相继开车成功并通过考核

杭州制氧机集团有限公司,积极采用新技术,最近,三大套第六代空分设备相继在衢州、邢台、上海开车成功并通过性能考核。

●1998 年 10 月 10 日,由杭氧负责设计、改造的浙江衢州化学工业公司合成氨厂 2# 6000m³/h 空分设备一次开车成功。改造项目:新增空冷塔上段、新增分子筛纯化系统、用新型增压透平膨胀机替换旧膨胀机、用规整填料上塔更换原来的筛板上塔、设置辅助冷凝蒸发器和增压膨胀换热器。实测值:气氧 6800m³/h, 99.8%;液氧 100m³/h, 99.8%;气氮 > 10000m³/h, 5~6ppmO₂, 已通过性能考核。

●1998 年 10 月 18 日,由杭氧设计、制造提供邢台钢铁集团有限公司制氧厂的一套第

六代 6000m³/h 空分设备,一次开车成功,最高达到:氧 7400m³/h, 99.8%;氮 13100m³/h, O₂ ≤ 1.5ppm;氩 210m³/h, O₂ ≤ 1ppm, 采用规整填料上塔和无氢制氩,散堆填料水冷塔。已通过性能考核。

●1998 年 11 月 18 日,由杭氧设计、制造提供上海第五钢铁厂制氧分厂的一套第六代 12000m³/h 空分设备,开车出氧,产质量达到:氧 12000m³/h, 99.8%;氮 13000m³/h, O₂ ≤ 0.6ppm;氩 300m³/h, O₂ ≤ 0.9ppm(氩产量还在调试中)。该套空分设备,采用规整填料上塔和无氢制氩、散堆填料空冷塔、无氢制氩流程低温泵(杭氧新开发)等新技术。

顾福民