

钢质压缩天然气瓶式压力容器的有限元应力分析

□ 潘卫军

(宿迁学院 江苏·宿迁 223800)

摘要 本文采用线弹性有限元分析方法对钢质压缩天然气(CNG)瓶式压力容器不同结构进行应力分析,为钢质 CNG 瓶式压力容器的设计提供技术支持。

关键词 线弹性 有限元 应力分析 CNG 瓶式压力容器

中图分类号:TG26

文献标识码:A

文章编号:1672-7894(2007)01-177-02

1. 前言

天然气是一种清洁,高能值的气体热源和化工原料,我国天然气的储量丰富,随着我国新疆、内蒙天然气田的探测与开发,我国天然气的应用范围将越来越大。目前西气东输工程的迅速进展,越来越多的城市正将工业与居民的燃气由煤气或液化石油气转化为天然气,而众多输气管网所不及的广大城镇与乡村,如要使用天然气,就必须使用压力容器进行天然气的储运、灌装。钢质压缩天然气(CNG, Compressed Natural Gas)瓶式压力容器是一种较好的天然气储运装备,它的应用前景广阔,将受到天然气工业领域的关注。长期以来,钢制气瓶的设计依据是以屈服强度和常规五大指标为基础,给设计生产带来一定的不精确性,借助有限元分析方法,对钢质气瓶进行应力和形变(位移)分析,直观反应气瓶工作状态,为钢质 CNG 储气瓶制造商和编制钢质 CNG 储气瓶技术规范、标准提供参考,本文运用有限元分析软件 ANSYS 对钢质 CNG 瓶式压力容器不同情况的设计进行线弹性应力分析,生成应力等值线,应力等值线可以描绘应力在模型中的变化情况,较为迅速的确定模型中的危险区域,从而对钢质 CNG 瓶式压力容器的设计提供技术支持。

2. 有限元应力分析

2.1 分析对象及计算模型

现有钢质 CNG 瓶式压力容器的结构简图如图 1 所示:

该钢质 CNG 瓶式压力容器的外径为 $D = 560\text{mm}$, 壁厚为 30mm , 工作压力为 30MPa 。由高压无缝钢管拔制而成,其材料特性: $E = 2.1105 \times 10^5 \text{MPa}$, $\mu = 0.3$, 屈服限 $\sigma_s = 482 \text{MPa}$ 。

计算模型的选取: 钢质 CNG 瓶式压力容器是一个两端带进出

口的细长圆筒压力容器,取一定长度的圆筒(400 mm)及端部作为计算对象,同时由于结构的对称性,取其一半建模。计算单元类型采用 8 节点三维实体单元(SOLID45 号单元);采用的边界条件为:在对称面上施加对称约束,截面采用铰支固定;载荷:工作内压力 30MPa 及进(出)口断面上作用轴向应力 16.875MPa 。见图 2。

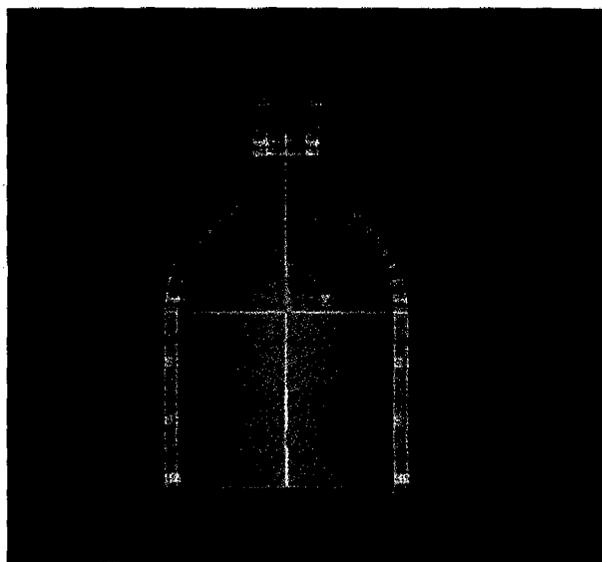


图 2 钢质 CNG 瓶式压力容器计算模型图

2.2 有限元网格的划分

现对外径 D 为 560mm , 壁厚为 30mm , 口径 d 为 90mm , 过渡圆弧半径 R 为 140mm 的钢质 CNG 瓶式压力容器进行有限元分析,网格划分如图 3。

网格划分时采用映射网格,沿钢质 CNG 瓶式压力容器厚度方向划分五层,整个计算模型共划分了 23200 个单元,28908 个节点。

2.3 计算软件的选取

本文钢质 CNG 瓶式压力容器的应力分析采用国际上唯一通过

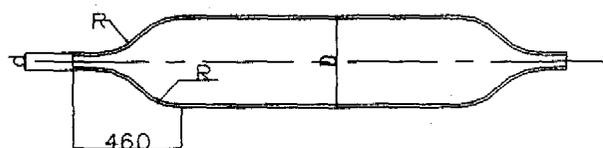


图 1 钢质 CNG 瓶式压力容器结构简图

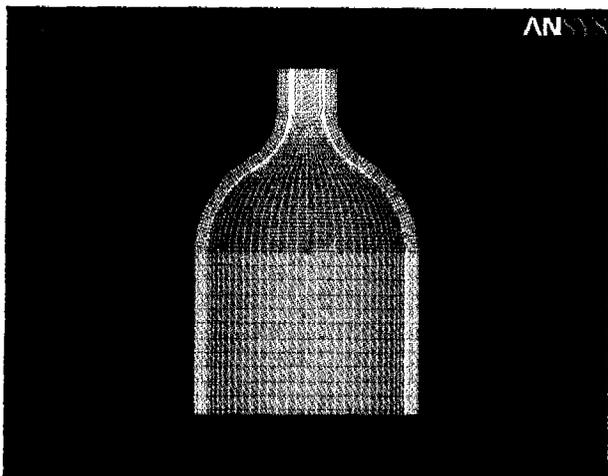


图3 钢质 CNG 瓶式压力容器的有限元模型网格划分图

ISO国际质量认证的,也是被我国压力容器标准化委员会推荐使用的大型结构分析软件 ANSYS。采用 ANSYS 的线弹性分析,把钢质 CNG 瓶式压力容器作为各向同性材料处理。

2.4 计算方案

对两种情况进行有限元应力分析:

(1) 钢质 CNG 瓶式压力容器的口径 d 保持不变,瓶颈处的过渡圆弧半径 R 取不同的数值,通过分析得到过渡圆弧半径 R 对应力分布的影响。取钢质 CNG 瓶式压力容器的口径 d 为 90mm,过渡圆弧半径 R 分别取 100mm、120mm、140mm、160mm。

(2) 瓶颈处的过渡圆弧半径 R 不变,钢质 CNG 瓶式压力容器的口径 d 取不同的数值,通过分析,得到口径 d 对应力分布的影响。过渡圆弧半径 R 取 140 mm,钢质 CNG 瓶式压力容器的口径 d 分别取 30 mm、60 mm、90 mm、120 mm。

2.5 计算结果

图 4 和图 5 表明 $d = 90 \text{ mm}$, $R = 140 \text{ mm}$ 时瓶式压力容器的应力云图。图 4 表明最大应力在圆筒内壁,其值为 257.088 MPa;图 5 表明瓶式压力容器瓶颈处的应力云图,其最大应力在瓶颈处的内壁,其值为 223.047 MPa。

(1) 对 d 不变的情况下,不同 R 的瓶式压力容器应力分析结果见表 1。

表 1

项目 \ $d(\text{mm})$	30	60	90	120
瓶颈处最大应力 (SMX) (MPa)	214.845	218.4	223.047	229.176

(2) 对 R 不变的情况下,不同的 d 瓶式压力容器应力分析结果见表 2。

表 2

项目 \ $R(\text{mm})$	100	120	140	160
瓶颈处最大应力 (SMX) (MPa)	227.955	225.277	223.047	221.781

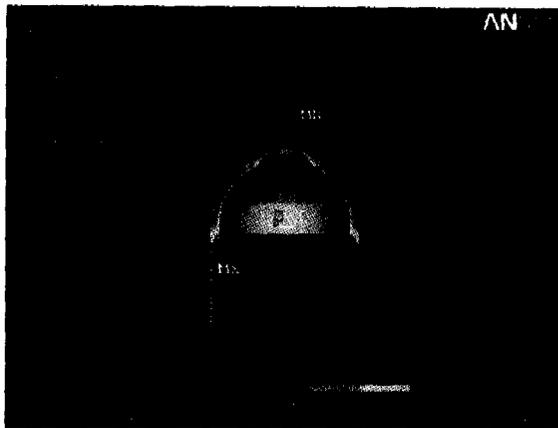


图4 钢质 CNG 瓶式压力容器的应力分布图

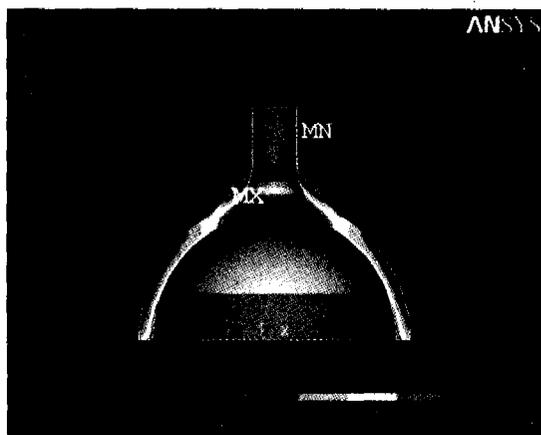


图5 钢质 CNG 瓶式压力容器瓶颈处的应力分布图

3. 结果与讨论

3.1 有限元应力分析可得到不同结构参数下瓶式压力容器的应力分布,由应力分布可知,在瓶颈处,圆弧过渡部分内壁出现最大应力,但由于圆弧过渡及口径缩小,该处的应力仍小于圆筒部分周向应力。

3.2 钢质 CNG 瓶式压力容器的口径 d 不变,过渡圆弧半径 R 越大,瓶颈处应力越小。

3.3 过渡圆弧半径 R 不变,钢质 CNG 瓶式压力容器的口径 d 越大,瓶颈处应力越大。

3.4 由应力计算结果来看,希望口径 d 小,过渡圆弧 R 大。但考虑制造和其他因素,口径 d 不宜太小,过渡圆弧 R 不宜太大。

3.5 该钢质 CNG 瓶式压力容器是由钢管拔制而成,在压力容器收口处(或瓶颈处)会存在残余应力,虽然拔制后经过热处理,但残余应力不可能完全消除。因此设计时应应对瓶颈处的残余应力和工作应力进行综合考虑。通常建议口径 d 取 $(1/5 \sim 1/6) D$, $R = (1.5 \sim 2.0) d$ 为宜。

参考文献:

[1] 许贤泽,李志明.基于有限元分析的钢质压缩天然气气瓶设计.机械设计与制造,2000:16
 [2] 王生红.有限元法基础及应用.长沙:国防科技大学出版社,1990.