

某钢烟囱塔架结构的优化设计

张化振 胡长明 曾凡奎

刘广立*

(西安建筑科技大学 西安 710055) (中冶集团建筑研究总院 北京 100088)

摘要 结构优化是一个复杂的非线性多目标优化问题。在塔架结构设计中,引用优化结构设计方案,优化采用齿行法;在 ANSYS 有限元程序中,利用参数优化,减小其重量,节省材料,使其结构受力性能提高,结构的整体安全性、稳定性能提高。

关键词 结构优化设计 塔架 齿行法——准则法

STRUCTURAL OPTIMUM DESIGN OF A STEEL CHIMNEY TOWER

Zhang Huazhen Hu Changming Zeng Fankui

(Xi'an University Architecture and Technology Xi'an 710055)

Liu Guangli

(Central Research Institute of Building and Construction of MCC Group Beijing 100088)

ABSTRACT Structural optimum design is a complex nonlinear multicriteria decision problem. In structural design of tower, the scheme of optimum is introduced, and zigzag method and parameters optimum are used in the structural optimum design base on ANSYS. The results show that this optimum scheme can not only reduce self-weight, save material, but also enhance the forced performance general security and stability of structure.

KEY WORDS structural optimum design tower zigzag-criteria method

0 引言

结构优化是一个复杂的非线性多目标优化问题,在保证正常功能的前提下,选择适当的结构形式,设计合理的构件尺寸,使工程结构系统费用降低,可靠性、安全性满足设计要求。一般设计人员根据自己的理论知识和工程设计经验经过不断的选择、试算、分析、校核,直至结构达到设计要求为止。多数情况下,设计人员只注意安全,而没有从经济的角度考虑,这样对一些大型的结构会造成材料的巨大浪费。而结构优化设计是把数学的最优化理论应用于结构设计的一种设计方法,是在既定的条件下,在众多的可行方案中寻找最佳方案的设计思想。

结构优化设计,是在刚度、位移、应力等约束条件下,对结构整体稳定性,结构整体受力性能的优化,使结构受力更合理,稳定性、安全性更高。因此,结构优化设计有很好的前景,但结构优化设计的发展偏重于理论和方法的研究,在实际应用中却远远落后于理论。目前实际应用的优化设计主要是飞机及少数输电塔,在土木与建筑工程界的应用还不广泛,原因有:

1) 结构优化数学模型与我国设计规范不相符,

结构优化数学模型与实际工程情况有差距;

2) 优化理论方法有待进一步完善;

3) 设计人员不能熟练地运用优化理论和方法;

4) 现有的管理体制和价值理念使人们缺乏对结构优化的动力,更没有对结构工程优化人员的激励机制;

5) 没有统一的计算优化软件可供应用。

1 工程概述

北京郊区某工程,需要在主厂房屋顶安装钢烟囱,如图 1。钢烟囱塔架模型如图 2。塔架模型主钢烟囱位于屋顶标高 35.60 m 基础台座上,钢烟囱高 25.90 m;空气热交换器拔风钢烟囱位于标高 43.60 m 屋顶平台上,高 18.20 m。

烟囱采用 12 mm 厚的复合钢板卷筒焊接而成,环筒内径 2.2 m。筒身四周用八边形塔架作为烟囱的稳定支撑,支撑塔架高 18.45 m(从标高 35.60 m 开始)。八边形塔架的底面外接圆半径 3.3 m,顶面

* 刘广立系本文第二作者。

第一作者:张化振 男 1983 年 7 月出生 硕士研究生

Email:zhz_xa@163.com

收稿日期:2008-04-02

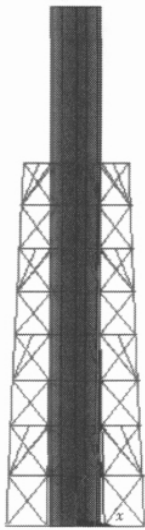


图1 钢烟囱塔架模型

外接圆半径 2.5 m。塔架由普通碳素钢或低合金钢焊接而成,与混凝土台座采用铰接支座,塔架与烟囱的连接点采用滑动支座,塔架按空间桁架设计计算。由于混凝土台座厚度达 5 m,刚度可认为无穷大。

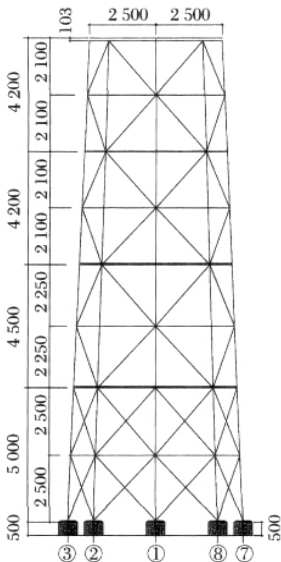


图2 塔架模型

本工程中需要确定的是结构杆件截面尺寸,为此本文分析结构模型,采用有限元与优化结构方法对塔架结构进行优化设计。

2 塔架优化设计

优化设计时根据既定的结构类型、工况、材料和规范的各种约束条件(例如强度、刚度、频率、尺寸以及结构构件许用的离散集等),提出优化的数学模型(目标函数、约束条件和设计变量),其模式是根据优

化设计的理论和方法求解优化模型,最后达到材料的合理分配,使结构设计满足经济与安全性的要求。概括结构优化的步骤:建立数学模型(目标函数、约束条件和设计变量);选择一种合理的、有效的优化计算方法;编制通用计算机程序。

由于约束条件不同,寻求优化的方法不同,产生了很多优化方法。依据优化制定的不同目标,将结构优化分为截面尺寸优化、形状优化、拓扑优化、布局优化和结构选型优化。本文结合实际工程,对结构进行优化的目标是:成本降低、结构总重量最轻、材料最省。约束条件:满足强度、刚度、可靠性和安全性要求。

结构布置形式多种多样,到目前为止,还没有统一的有限元软件或计算方法对各种结构进行非线性结构优化设计。最优化设计,即优选法是用最高的效率来求解问题的最优解答,解决基本尺寸、几何形状方面的决策优化。

2.1 荷载工况组合

本工程考虑下列 4 种工况:工况 1 与工况 2 属正常运行加严重环境的作用效应组合;工况 3 为正常运行加极端环境的作用效应组合;工况 4 为异常运行加严重环境下的作用效应组合。

1) 正常运行加严重环境的作用效应组合

荷载工况 1:

1.5 永久荷载 + 1.5 活荷载 + 1.5 地震荷载 ($F_x + F_y + F_z$)。其中, F_x, F_y, F_z 分别为地震作用下同一个力 F 在 3 个方向的分力值。

荷载工况 2:

1.5 永久荷载 + 1.5 活荷载 + 1.5 严重环境荷载。

2) 正常运行加极端环境的作用效应组合

荷载工况 3:

1.0 永久荷载 + 1.0 活荷载 + 1.0 正常运行或停工期间温度荷载 + 1.0 除重力以外的设备作用 + 1.0 极限安全地震产生的地震作用 + 1.0 极限安全地震下产生的设备或管道反力。

3) 异常运行加严重环境下的作用效应组合

荷载工况 4:

1.0 永久荷载 + 1.0 活荷载 + 1.0 极限安全地震产生的地震作用 + 1.0 极限安全地震下产生的设备或管道反力 + 1.0 事故工况下内部压力荷载 + 1.0 事故工况下温度荷载 + 1.0 事故工况下设备或管道作用在结构上的反力。

2.2 杆件优化

杆件优化的目标:降低成本、结构总重量最轻、材料最省。约束条件:满足强度、刚度和可靠性,安全性要求。

在实际工程设计中,设计者往往根据经验和直觉选择杆件的截面尺寸,这种直觉来自设计者在结构设计方面的知识和设计实践经验。在结构设计分析中设计者调整截面尺寸以满足设计要求,这很容易造成部分结构强度不足,其余部分强度储备太大,结构的安全度不高,整体稳定性不好,也不安全。本工程采用齿行法——准则法进行优化设计。

2.2.1 数学模型设计

以结构重量作为优化目标,基于可靠度的优化问题可表述为非线性规划问题: n 个杆件在 m 个约束条件下,以塔架结构最轻为优化目标设计的数学模型,以求出杆件的横截面面积 A_i 的最小值。

$$\min W = \sum_{i=1}^n \rho_i A_i l_i \quad (1)$$

$$\sigma_{im} = \sigma_{\max} \quad (2)$$

$$u_{ji} \leq u_{ji}' \quad (3)$$

$$A_i \geq A_{i\min} \quad (4)$$

式中, i 为杆件序号($i=1,2,\dots,n$); j 为节点自由度序号($j=1,2,\dots,J$); m 为节点工况序号($m=1,2,\dots,M$); u 为节点位移; u' 为节点允许位移; A 为杆件横截面面积; W 为塔架总重量; ρ 为杆件材料的密度; l 为杆件的长度; σ_{im} 为 m 工况下 i 杆件应力。

2.2.2 计算方法

ANSYS具有开发功能,优化者可编写优化模块,用于塔架的优化。

1) 初选杆件截面面积 A_0 ,求出各杆件的内力 Z 和应力比 K 。

2) 在 K 的各个元素中,选择其中最大者 $K_{\max} = K_m$ 。

3) 用 K_m 乘初始截面向量,得出新的截面 $A_1 = K_m A_0 = [K_m A_i]$ 。由于所有的杆件都乘以相同的常数 K_m ,所以 Z 不变,并且杆件 m 处于满应力状态,计算目标函数 W_1 。

4) 对 A_1 进行应力比调整,得出截面 $A_2 = KA_1^T = [K_i A_i]$ 。由于此时应力比 $K_m = 1$,在 A_2 中,杆件 m 的截面未变。

5) 令 A_2 为 A_0 ,作为新的出发点,回到步骤1),重复调整过程直到目标函数再度回升为止,计算流程如图3,计算流程图的二维空间几何表述如图4。

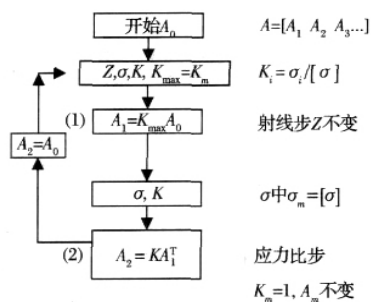


图3 计算流程

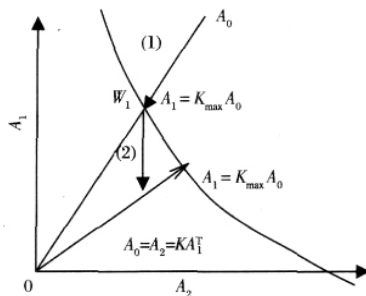


图4 计算流程图的二维空间几何表述

2.3 优化结果

优化前结构重量 228.9 kN, 优化后结构重量 211.5 kN。节省钢材 1.74 t, 占总用钢量的 7.7%。

3 结语

本文研究的是一个工程实例,文中对塔架的优化设计还是很初步的,有许多问题有待于进一步研究。随着优化理论和方法的不断完善,优化设计在工程中会更加实用、更加广泛。但是本文结构优化方法离工程实际运用还存在着一定的差距,有待进一步完善。

参考文献

- 1 韦鹤平. 最优化技术应用. 上海: 同济大学出版社, 1987: 81—82
- 2 江爱川. 结构优化设计. 北京: 清华大学出版社, 1987
- 3 李著璟. 工程优化技术. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 12—15
- 4 苏国驻, 王永焕. 异型高耸塔架结构优化设计. 工业建筑, 2005, 35(2): 57—59
- 5 李旻, 胡云昌. 结构优化. 天津: 天津城市建设学院学报, 2002, 8(4): 269—272
- 6 戴烽滔, 尹邦信. 框架结构优化设计. 西南科技大学学报, 2003, 18(4): 40—43
- 7 韩圣章, 梅传书. 工程结构优化设计的CGA算法研究. 应用基础与工程科学学报, 2004, 12(2): 197—205
- 8 高险峰, 何敏娟. 基于可靠度的塔架结构最优化设计研究. 结构工程师, 2002(1): 1—5

欢迎订阅《钢结构》杂志, 邮发代号: 82—850