

文章编号:1673-9469(2010)01-0021-04

## 整体搭设的门式钢管脚手架稳定性分析

何文佳,曾庆敦

(华南理工大学 土木与交通学院,广东 广州 510640)

**摘要:**运用有限元 ANSYS 软件,根据某门式钢管脚手架设计书的具体参数,建立了一个三跨六步的理论计算模型,通过对模型整体施加 200kN 的荷载,校核整体模型的稳定性,并与真型试验进行了对比,验证了所建模型的合理性。继而扩展模型,校核了当门架搭设高度为 30m 和 45m 时门架整体的稳定性。从而提出了运用 ANSYS 软件校核脚手架整体稳定性这种可行的方法。

**关键词:**脚手架;稳定性;有限元

**中图分类号:** TU328

**文献标识码:** A

## The stability analysis of whole building steel tube scaffolds

HE Wen-jia, ZENG Qing-dun

(School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangdong Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** According to the specific parameters of a scaffold design drawings, a theoretical calculation model with three spans and six steps is built by using ANSYS software. Then a load of 200kN is applied to the whole model and the stability is calculated. The result is compared with the true type test. By expanding the model, the stability of the scaffolds with height being 30m and 45m is calculated. Thus a feasible method of using ANSYS software to analyze the overall stability of scaffold is proposed.

**Key words:** scaffold; stability; finite element

门式钢管脚手架是 20 世纪 80 年代初从国外引进的一种多功能型脚手架,它应用范围非常广泛。既可作为高层建筑、高耸构筑物施工用的结构和装修用脚手架,又可用于结构、设备安装等满堂脚手架,还用于建筑、桥梁、隧道、地铁等工程施工的模板支撑架。正因为脚手架在现在的工程建设中应用的如此广泛,所以建立合理的理论计算模型,采用正确的分析方法来校核整体搭设门架的稳定性,对于避免脚手架整体坍塌事故具有重要意义。本文建立的有限元模型依据是广州市番禺某脚手架厂所生产的外墙专用门式钢管脚手架的设计图纸,该厂生产的脚手架主要用于外墙脚手架装饰工程、主体工程和模板支撑系统。

### 1 计算模型

#### 1.1 门架材料的基本参数

根据《建筑施工门式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ128-2000),在计算模型中统一采用 Q235 钢,杨氏模量取  $2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ,泊松比取 0.3,密度取  $7.85 \text{ g/cm}^3$ 。模型实例常量按实际取 5 种截面常数,具体对应如下:

脚手架四个立杆为  $\phi 42 \times 2$  钢管,平拉杆与交叉拉杆为  $\phi 22 \times 1.3 \text{ mm}$  钢管,门型架横杆为  $\phi 42 \times 1.7$  钢管,门型架拱形加强杆为  $\phi 28 \times 1.1$  钢管,脚踏板等效简化为 2 根  $\phi 50 \times 7$  钢管(其质量与实际的脚踏板的质量相同),单樞门架高 1,900mm,门架之间的跨度为 1,830mm。

#### 1.2 有限元计算模型

在实际施工中,脚手架置于混凝土地面或托

架上,支撑条件只能视为铰接,因此,在理论分析中,支座按铰接处理。

上、下层门架是通过连接芯棒承插式连接,芯棒外径与门架立杆内径存在一些间隙,门架之间的连接介于半刚性和刚性之间,在本文中上下门架之间的连接全部采用刚接。如何对节点的半刚性进行模拟,建立更精细的分析模型是一个有待进一步解决的问题。

交叉支撑是挂在立杆的锁销上的,两交叉支撑之间使用螺栓连接,可以自由转动,因此,交叉支撑只能看作是二力杆,各节点均视为铰接。

放置脚手板时,用半圆形的挂扣固定在门架横杆上,起到约束相邻两樘门架相对位置变化的作用,但无法传递弯矩,这种情况假定为铰接节点。

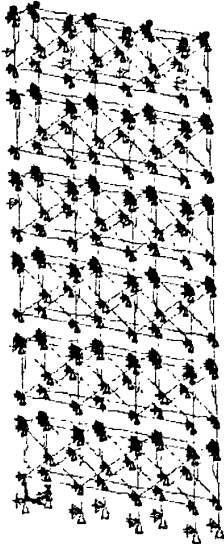


图1 三跨六步门架结构的理论计算模型简图

Fig.1 Theoretical calculation model with three spans and six steps

连墙件是将门架与房屋主体结构相连的杆件,只起到传递拉力和压力的作用,可简化为二力杆。为了简化模型,在计算模型中并未建出连墙件的单元,只是在连墙件的布置位置增加了一个铰接点,以约束脚手架和墙体之间的位移。

门架立杆、横杆、加强杆件是通过焊接而成,可视为一个整体,各节点假定为刚性节点。

根据上述具体参数和计算模型说明,运用有限元软件 ANSYS 所建立的三跨六步门架理论计算模型简图如图 1 所示。

### 1.3 门架稳定性分析

稳定性分析的方法和基本原理:为了对所建立的门架模型进行失稳计算,采用特征值屈曲分析的方法,来获取所搭设的脚手架整体结构的失稳极限荷载。该分析方法的基本原理为:在整体门架上施加指定荷载,通过计算,当获得的一阶屈曲特征值为 1 时,施加的荷载皆为模型的失稳荷载;当获得的一阶屈曲特征值大于 1 时,施加的荷载则还未达到失稳荷载,整体结构还是稳定的。

特征值屈曲分析的基本步骤:特征值屈曲分析一般由以下 4 个步骤组成:(1)建立模型。与大多数分析相似,在这一步中,应该确定工作文件名、分析标题,然后使用前处理器定义单元类型、单元实常数、材料的性质以及几何模型等。(2)获得静力解。该步骤与一般静力分析过程相一致,但是需要注意必须激活预应力影响 PSTRES,特征值屈曲分析需要计算应力刚度矩阵。(3)获得特征值屈曲解。获得特征值屈曲解的步骤:其一,进入 ANSYS 求解器;其二,定义分析类型和分析选项;其三,定义载荷步选项;其四,开始进行求解;其五,退出求解器。(4)拓展结果如果想要观察屈曲的变形结果,必须对结果进行拓展。

## 2 门架整体稳定性计算

### 2.1 稳定性计算结果

采用逐步加载法,当在三跨六步门架结构模型(如图 1 所示)上施加 200kN 的荷载时(200kN 荷载在模型 8 根立杆上均布施加,如图 1 黑点所示),同时对该结构施加自重,可计算出屈曲一阶特征值为 1.002,此时模型失稳。模型的一阶失稳

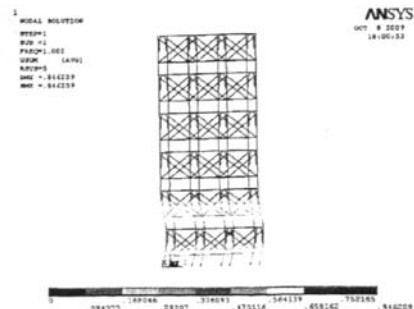


图2 三跨六步门架一阶失稳模态立体图

Fig.2 The first order three-dimensional figure of instability mode of the modal with three spans and six steps

模态图如图2所示。

从图2可知,模型门架在平面内失稳,一阶失稳模态平面内最大的位移发生在第一层门架和第二层门架的连接处。一阶失稳特征值为1.002,略大于1,因此门架的极限失稳荷载略大于200kN。

国家建筑工程质量监督检验中心对该脚手架进行了三跨六步的真型试验,试验结果表明,当施加至200kN的荷载时,结构发生了较明显的屈曲变形,但卸载后结构的变形基本恢复。本文的计算结果表明,采用屈曲分析获得的三跨六步门架模型的模拟失稳极限荷载与试验结果比较吻合,因此,本文所建立的三跨六步门架有限元计算模型是可行的,可以较准确地预估整体搭设门架的稳定性问题或极限承载力。

## 2.2 稳定性分析

门架架荷载标准如下:

1) 结构自重产生的轴向力标准值  $N_{\alpha 1}$ : 广州某单位生产的外墙专用门式钢管脚手架立杆选用  $\phi 42 \times 2$  钢管,单位长度质量为1.973 kg/m,横杆选用  $\phi 42 \times 1.7$ ,单位长度质量为1.690 kg/m,加固件采用  $\phi 28 \times 1.1$  钢管,单位长度质量为0.730 kg/m。故结构自重产生的单根立杆的轴向力标准值为  $N_{\alpha 1} = 0.027 \text{ kN/m}$ 。

2) 附件自重产生的轴向力标准值  $N_{\alpha 2}$ : 脚手板为挂扣式轧钢脚手板,重14.35kg/个,按最大量同时全部铺设。十字拉杆长2198mm,单位长度质量0.664kg/m,水平拉杆长1830mm,单位长度质量0.664kg/m,连接棒长200mm,采用  $\phi 34 \times 1.7$  钢管,单位长度质量1.354kg/m。密目安全网产生于计算单元上的线载采用《建筑结构荷载规范》(GBJ-9)标准,取0.061 kN/m,基本风压值  $w_0 = 0.55 \text{ kN/m}^2$ 。

根据以上参数,可算得附件自重产生的单根立杆的轴向力标准值。其中外力杆  $N_{\alpha 2\text{外}} = 0.124 \text{ kN/m}$ ; 内立杆  $N_{\alpha 2\text{内}} = 0.062 \text{ kN/m}$ 。

3) 施工荷载产生的轴向力标准值: 采用两个作业层同时作业,由规范(JGJ128-2000)标准取  $\sum Q_k = 5.0 \text{ kN/m}^2$ ,内外立杆各承担一半,故施工荷载产生的单根立杆的轴向力标准值为  $\sum N_{Qk} = \frac{1}{2} \sum Q_k \times b \times l = 3.66 \text{ kN}$

式中  $\sum Q_k$ —各施工层施工荷载产生的轴向力标准值总和;  $l$ —门架跨距;  $b$ —门架宽度。

4) 风荷载对脚手架产生的轴向力标准值: A类地区搭设高度30m时的风压高度系数可由《建筑结构荷载规范》(GBJ-9)中查表得  $\mu_z = 1.8$ , 45m时由插值法求得  $\mu_z = 1.975$ , 挡风面积根据规范(GBJ-9)规定计算。

门架的  $b = 0.80 \text{ m}$ ,  $h_0 = 1.90 \text{ m}$ , 跨距  $l = 1.83 \text{ m}$ , 交叉支撑长度  $l_1 = 2.198 \text{ m}$ , 水平杆长  $l_2 = 1.83 \text{ m}$ , 故挡风面积为  $0.352 \text{ m}^2$ 。其中考虑固件的加大系数为1.2。

因此挡风系数  $\Phi$  为:  $\Phi_1 = \text{挡风面积}/\text{迎风面积} = 0.10134$

立网挡风系数按网目  $3.5 \text{ cm} \times 3.5 \text{ cm}$ 、绳径按  $3.2 \text{ mm}$  计算

$$\Phi_2 = 2 \times 3.5 \times 0.32 / (3.5 \times 3.5) = 0.183$$

则立网全封闭脚手架风荷载体型系数为(参照标准取  $\mu_d = 1.2\phi$ )

$$\mu_{sw} = (\phi_1 \times 2 + \phi_2) \times 1.2 = 0.463$$

式中  $\mu_{sw}$ —按桁架确定的风荷载体型系数。

故风荷载标准值根据规范(JGJ128-2000)为  $w_k = 0.7\mu_z\mu_{sw}w_0 = 0.321 \text{ kN/m}^2$

作用于脚手架计算单元的风荷载标准值为  $q_k = w_k \times l = 0.587 \text{ kN/m}$

风荷载对脚手架计算单元产生的弯矩标准值,按规范(JGJ128-2000)有  $M_k = q_k H^2 / 10 = 2.115 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

单根立杆的最大轴向力设计值  $N$ 。作用于一榀门架的最大轴向力设计值由规范(JGJ128-2000)的规定求出,其值应进行两种荷载组合的计算,即对于不组合风荷载和组合风荷载两种情况进行计算,取两种工况计算结果的最大值作为最不利轴力。

当鼎立外墙专用门式钢管脚手架的搭设高度设定为  $H = 30 \text{ m}$  时,有如下计算结果。

组合风荷载时,应参照规范(JGJ128-2000)式(5.2.1-3)计算

$$N_{\text{外}} \leq 1.2(N_{\alpha 1} + N_{\alpha 2\text{外}})H + 0.85 \times 1.4 \sum (N_{Qk} + M_k/b) = 12.95 \text{ kN}$$

$$N_{\text{内}} = 1.2(N_{\alpha 1} + N_{\alpha 2\text{内}})H + 0.85 \times 1.4 \sum (N_{Qk} + M_k/b) = 10.72 \text{ kN}$$

当门式钢管脚手架的搭设高度设定为  $H = 45 \text{ m}$  时,与上述计算步骤类似,求得考虑风荷载组合的单根立杆的最大轴向力设计值为  $N_{\text{外}} = 15.98 \text{ kN}$ ,  $N_{\text{内}} = 12.63 \text{ kN}$ 。

稳定性计算结果:为了分析当门架搭设高度为30m和45m时门架整体的稳定性,分别建立了一个八跨十六步和一个十二跨二十四步的计算模型。采用特征值屈曲分析的方法来获取所建模型的一阶失稳特征值。依据第2节的计算结果,模型的加载情况如下:在八跨十六步模型的9根内杆(即靠近墙面的9根立杆)上分别施加10.72kN的荷载,在9根外杆上分别施加12.95kN的荷载;在十二跨二十四步模型的9根内杆上分别施加12.63kN的荷载,在9根外杆上分别施加15.98kN的荷载。

按照特征值屈曲分析的步骤,通过计算可以算出在上述加载条件下两个模型的一阶失稳特征值。模型的一阶失稳模态图如图3和图4所示。

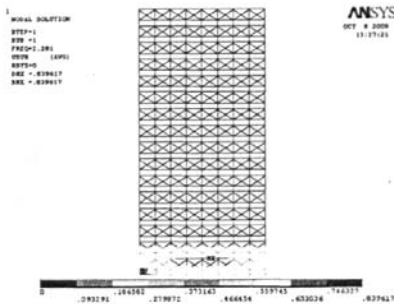


图3 八跨十六步模型一阶失稳模态正立面图

Fig.3 The first order positive figure of instability mode of the modal with eight spans and sixteen steps

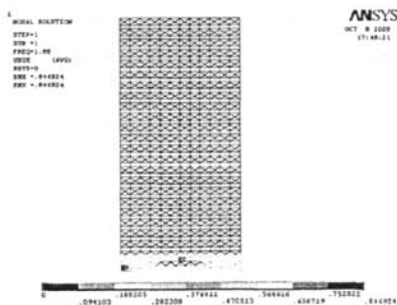


图4 十二跨二十四步模型一阶失稳模态正立面图

Fig.4 The first order positive figure of instability mode of the modal with twelve spans and twenty-four steps

从图3和4可以看出,在所加荷载的作用下,门架均在平面内失稳,平面内最大位移都发生在

第一层门架和第二层门架的连接处。一阶失稳特征值分别为2.28和1.88,均大于1。因此,在实际工况下,模型不会发生失稳,即在A类地区实际工况下,门架搭设高度为30m和45m时,满足稳定性要求。

这里需要说明的是:对于图3和图4所给出的结构失稳模态图,并非是实际的失稳模态图。因为每次计算特征值时,无论所加荷载是多少,采用这种屈曲分析的方法都要算到失稳时才能得出在所加荷载下对应的特征值,其对应的图始终是失稳模态图,只是在不同的荷载作用下其特征值会有所不同。所以,并不能说在所加的荷载下结构就发生失稳了,具体要看特征值是多少。如果得出的特征值小于或等于1,则结构发生屈曲破坏(丧失稳定性);如果得出的特征值大于1,则结构不会发生屈曲破坏。

### 3 结语

本文通过对所建三跨六步理论计算模型的稳定性分析,并与国家建筑工程质量监督检验中心所做的真型试验进行对比,验证了所建计算模型的合理性。据此将模型进行拓展,校核了当搭设高度为30m和45m时门架整体在实际工况下的稳定性,结果表明,运用ANSYS软件校核脚手架整体稳定性是一种可行的方法。

### 参考文献:

- [1] JGJ128-2000, 建筑施工门式钢管脚手架安全技术规范[S].
- [2] GB5009-2001, 建筑结构荷载规范[S].
- [3] 李建方. 拱构型门式钢管脚手架结构安全分析[D]. 长沙:中南大学,2007.
- [4] 盛和太,喻海良,范训益. ANSYS有限元原理与工程应用实例大全[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [5] 张忠. 关于搭设双管落地脚手架的计算[J]. 中国高新技术企业,2009(21):152-153.
- [6] 张厚先,徐奋强,张德恒,等. 用ANSYS分析扣件式钢管脚手架整体稳定承载力[J]. 建筑技术,2009(6):555-557.
- [7] 易桂香,辛克贵,高秋利,等. 双排碗扣式钢管脚手架稳定承载力分析[J]. 工业建筑,2009(39):1130-1133.

(责任编辑 刘存英)