

交通指路牌的抗风能力分析

王路珍

(盐城工学院 基础教学部, 江苏 盐城 224003)

摘要:通过研究路面交通指示牌的结构特点和载荷,利用 ANSYS 对结构及其抗风性能进行了分析,得到了指路牌的强度、稳定性和动力学特征。在允许的条件下,对指路牌的结构进行了重新设计,得到了符合安全、经济双重标准的新式交通指路牌。

关键词:指路牌;抗风;强度;稳定性

中图分类号: O16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2008)02-0019-04

随着我国近年来道路建设方面的发展,指路牌的作用也越来越大。在交通标志的设置上就更加要求指路牌规范、合理。1999 年我国发布实施了道路交通标志和标线,对高速公路和城市快速路的指路牌作了规定^[1]。由于指路牌在现实生活中的特殊地位,我们既要保证它在工作中的可靠性,又要尽量减轻指路牌的自重,便于安装,做到既经济又安全。这些都要要求我们对指路牌的强度、刚度、稳定性以及动力特征有一个深入的、系统的、科学的、完整的分析研究,不断地进行比较,找出最为合理的模型。

风荷载是各种工程,特别是高、大、细、长等柔性工程结构的主要设计荷载。由于全世界风灾引起的损失每年大约 100 亿美元以上,而且有日渐增加的趋势,我国又是风灾严重国家,而工程损伤

和破坏又是风灾损失的重要成分,因此工程能否抗风是工程安全的重要因素。

1 指路牌的结构分析

1.1 指路牌结构的特点

指路牌是由与地面相连的一根立柱和立柱一侧的一些杆件构成。因为结构比较高,在垂直于指路牌方向荷载的作用之下,容易产生较大的变形和振动,受其影响立柱在垂直于指路牌方向的位移会比较大。

本文将计算模型简化成一端固定的悬臂梁,并以此为理论基础,对指路牌进行分析研究。

1.2 指路牌的结构优化

1.2.1 指路牌原型

我们常见的指路牌的结构尺寸如图 1 所示。

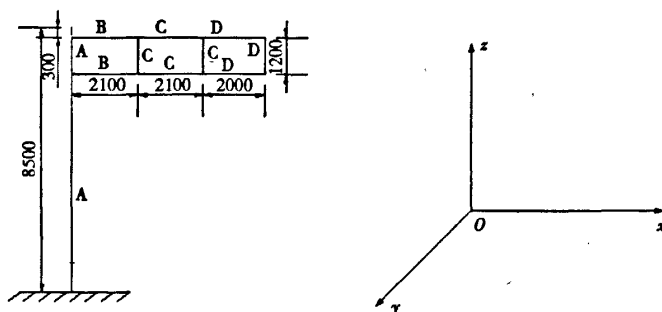


图 1 指路牌结构尺寸及坐标示意图(mm)

Fig. 1 Sketch map of the size and Coordinate on guiding plate(mm)

收稿日期:2008-02-28

作者简介:王路珍(1982-),女,山西应县人,硕士,助教,主要研究方向为采动岩石力学及灾害性防治。

由钢结构设计规范可知其最大设计强度为 160 MPa。

图中标志的 A、B、C、D、E(将在下文中出现)分别是 4 种不同材料,具体数据见表 1。

表 1 材料型号及其尺寸

Table 1 Material models and their size

材料	材料型号	数量	质量 kg/根	内径 mm	壁厚 mm
A	$\phi 219 \times 10$	1 根	438.09	99.5	10
B	$\phi 89 \times 5$	2 根	21.76	39.5	5
C	$\phi 76 \times 5$	2 根	18.36	33.0	5
D	$\phi 60 \times 5$	2 根	11.6	25.0	5
E	$\phi 48 \times 4$	2 根	6.51	20.0	4

1.2.2 指路牌的优化结构

(1) 对结构进行第 1 次优化 我们知道,三角形结构最稳定,可以考虑将指路牌中的支臂撑竖杆改为斜杆,优化后的结构如图 2 所示。

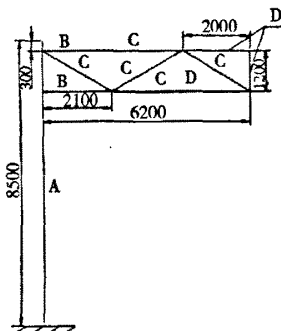


图 2 第 1 次优化的结构示意图(mm)

Fig.2 Sketch map of the first optimized structure (mm)

(2) 对结构进行第 2 次优化 为了加强结构的强度,在后面多加了一个支臂结构,如图 3,其中支臂结构的材料型号如图中所示。

(3) 对结构进行第 3 次优化 对第二次优化后的支臂结构再次进行优化,改变其尺寸。优化后的支撑尺寸结构见图 4。

(4) 对结构进行第 4 次优化 为了节省材料,我们可以改变支臂和支撑的材料,改变后的结构如图 5。

(5) 对结构进行第 5 次优化 为降低材料成本,减轻结构的重量,将主柱材料由 $\phi 219 \times 10$ 改为 $\phi 159 \times 10$ 。

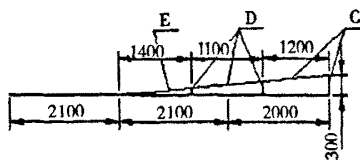


图 3 第 2 次优化的支撑尺寸及结构示意图(mm)

Fig.3 Sketch map of the second optimized size of support and structure (mm)

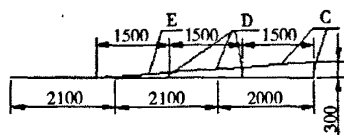


图 4 第 3 次优化的支撑尺寸及结构示意图(mm)

Fig.4 Sketch map of the third optimized size of support and structure (mm)

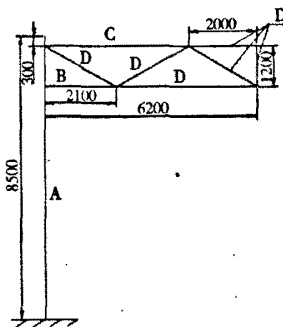


图 5 第 4 次优化的结构示意图(mm)

Fig.5 Sketch map of the fourth optimized structure (mm)

2 指路牌的力学分析

2.1 指路牌的荷载分析

指路牌所受的荷载有:风荷载、重力荷载、裹冰荷载、雪荷载、地震作用、温度变化、基础不均匀沉降、自重和各种偶然性的事故荷载等等。

指路牌的主要荷载是风荷载,其他荷载只是在某些特定的条件下才予以考虑,本文也仅研究指路牌在风荷载作用下的特性。

对于工程结构设计计算来说,风力作用的大小最好直接以风压来表示,风速越大,风压越大。低速运动的空气可作为不可压缩的流体看待,可用对于不可压缩理想流体质元作稳定运动的伯努利方程来分析。当它在同一水平线上运动时,伯努利方程为^[2]:

$$\omega_a \cdot V + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \text{const} \quad (1)$$

式(1)中: ω_a 为单位面积上的静压力; V 为空气质元的体积; v 为风速; m 为运动流体质元的质量; $\omega_a \cdot V$ 为静压能; $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ 为动能。

将(1)式两边除以 V , 伯努利方程为:

$$\omega_a + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const} \quad (2)$$

由自由气流的风速提供的单位面积上的风压力为:

$$\omega = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} \quad (3)$$

在气压为 101.325 kPa (即 76 mmHg), 常温 15 °C 和绝对干燥的情况下, $\gamma = 0.012\ 08\ \text{kN/m}^3$, 在纬度处, 海平面上的重力加速度 $g = 9.8\ \text{m/s}^2$ 。代入式(3), 得:

$$\omega = \frac{v^2}{1\ 630} (\text{kN/m}^2) \quad (4)$$

由于风压与大气压边界层内地表粗糙度和高度有关, 又考虑到: 一般建筑物都是钝体, 即都是非流线性, 当气流绕过建筑物时会产生分离、汇合等现象, 引起建筑物表面压力分布不均匀。为了反映建筑结构上平均风压受到各种因素和情况影响, 同时又能便于工程抗风设计之应用, 我国荷载规定把结构上的平均风压计算公式规定为:

$$P = K_z \beta \mu \omega_2 \quad (5)$$

式(5)中, P 为作用在结构单位面积上的风荷载(风压); K_z 为重现期调整系数, 一般取 1; β 为风振系数, 根据《高耸结构设计手册》的规定, 我们将风振系数取为 1.3; μ 为风载体型系数, 一般在计算时出于安全角度考虑, 取 $\mu = 1.2$; ω_2 为建筑物所在地区的基本风压, 根据某地区要求: 标志牌、建筑结构等具有抗 8 级风(最大风速为 20.7 m/s)的能力, 代入式(4), 计算出风压的大小为 263 Pa。

指路标志上焊接了一块长方形的铁板, 这块铁板是指路标志受风荷载影响的主要因素。这块铁板为长 4 m, 宽 2.6 m, 采用完全焊接的方式固定在指路标志上。根据式(5), 可以计算出风压为: $P = 1.0 \times 1.3 \times 1.2 \times 263 = 410\ \text{Pa}$

那么, 铁板所受的等效力为: $F = PA = 410 \times 2.6 \times 4 = 4\ 264\ \text{N}$

简化到每个节点的力为: $F_i = F/4 = 1\ 066\ \text{N}$

2.2 指路牌的稳定性分析

由材料力学相关知识, 可确定该模型是一个纵横弯曲问题, 根据前面的假设, 将结构简化成悬臂梁。对于悬臂梁有:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i} \quad (6)$$

$$\text{其中: } \mu = 2, i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{\sqrt{(D^2 + d^2)}}{4}$$

将各常数代入式(6)得: $\lambda = 225 \geq \lambda_p = 100$

利用欧拉公式计算出悬臂梁的压应力: $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = 41.4\ \text{MPa}$ 。

指路牌的主柱所受的压力产生于其自重、侧杆及标志牌的重力, 故有:

$$\sigma = \frac{G_{柱} + G_{杆} + G_{牌}}{A_{柱}} 19.6\ \text{MPa} \leq \sigma_{cr}$$

又根据稳定性校核公式: $n = \frac{F_{cr}}{F} \geq n_{st}$, 其中 F 是工作压力。

由于指路牌主要受风载荷作用, 竖向只受自重, 即工作压力 F 很小, 所以安全系数 n 远大于 n_{st} , 指路牌的稳定性符合要求。

2.3 指路牌的动力学分析

这里仅以第 5 次优化的结构为例来分析指路牌的振动情况, 并与原结构对比。表 2 和表 3 分别是原结构和第 5 次优化结构的前 6 阶振型频率。

表 2 原结构的前 6 阶频率 (Hz)

Table 2 The first six frequency bands of the original structure (Hz)

振型	1	2	3	4	5	6
频率	1.915 7	4.054 9	4.583 6	6.956 1	9.545 3	10.688

表 3 第 5 次优化结构的前 6 阶频率 (Hz)

Table 3 The first six frequency bands of the fifth optimized structure (Hz)

振型	1	2	3	4	5	6
频率	2.324 0	2.423 4	5.606 1	11.322	13.874	16.592

风的卓越频率在 0.05 Hz - 0.016 7 Hz 之间, 与指路牌的固有频率相比相差很大, 不会发生共振破坏。通过原结构和第 5 次优化结构的前 6 阶振型频率比较可知: 第 5 次优化后结构的固有频率比设计结构的固有频率略有提高, 更加不可能因风载荷的影响而引起共振。

3 指路牌的 ANSYS 模拟结果分析

根据有限元法的基本思想^[3-4],利用 ANSYS 有限元分析^[5-6]软件建立模型,并对结构进行耦合,得到计算结果。

显然,第 1 次优化增加了结构的强度,这里不再列出它们的分析结果比较。重点考虑后 4 次优化间的比较,见表 4。结合指路牌的实际情况,Y 方向(参见图 1)的位移远大于其他两方向的位移,同时,结构的最大工作应力关系到其安全性,因此仅考虑 Y 方向的位移(图 6)、结构的最大应力(图 7)和最小应力。

表 4 指路牌优化设计 ANSYS 结果比较

Table 4 Results comparison of optimal design on guiding plate by ANSYS

输出参数	结构模型			
	第 2 次优化	第 3 次优化	第 4 次优化	第 5 次优化
Y 方向的位移(cm)	14.13	12.16	11.77	13.58
最大应力(MPa)	30.2	30.0	31.0	27.2
最小应力(MPa)	-17.5	-13.1	-14.6	-13.3

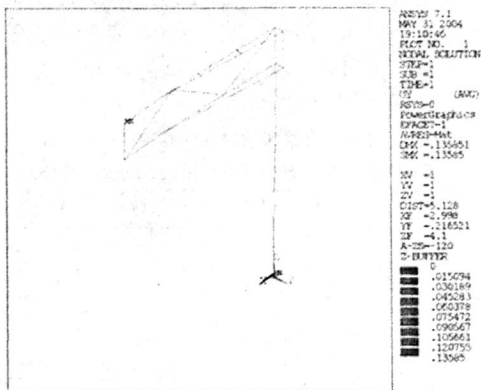


图 6 优化后结构的 Y 方向的位移

Fig. 6 Y direction displace of optimized structure

由表 4 可见:

经过对结构的 5 次优化比较,在材料、结构改变前后,结构在 Mises 屈服条件下的等效力均小于 160 MPa,满足强度要求,结构不会发生破坏。

第 5 次优化改变了部分材料的长度,与第 2 次优化的结果相比较,结构的变形更小;第 4 次优

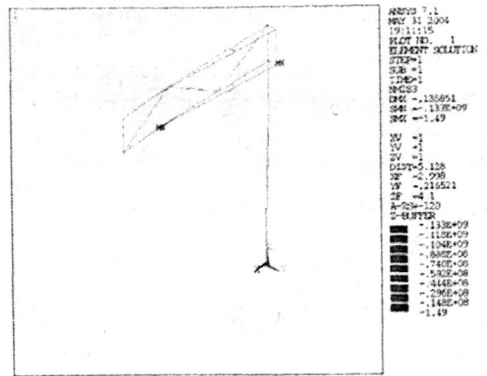


图 7 优化后结构的最大应力

Fig. 7 Maximum stress of optimized structure

化改变了部分材料的型号,与第 3 次优化的结果相比较,虽然 Y 向位移和最大、最小应力无明显变化,但节省了材料,重量比第 3 次优化的结果减少了 33.81 kg;第 5 次优化结构的最大工作应力较前 3 次明显降低,重量比第 4 次优化的结果减少了 125.71 kg。因此可认为第 5 次优化的结构是相对比较合理的优化结果。

4 结论

本文主要应用有限元思想,借助 ANSYS 软件,对悬挂式巨幅指路牌进行分析、优化。主要结论有:

(1)对指路牌结构进行优化,将指路牌中的支撑竖杆改为斜杆,框架由矩形结构改为三角形结构,并加入斜撑,使指路牌结构更加稳定;

(2)对指路牌进行了载荷分析,得出了风载荷的大小;通过对结构的稳定性分析,认为优化后的指路牌是稳定的;通过对原来的和优化的指路牌的前 6 阶固有频率的计算和比较,得到:8 级大风的卓越频率与指路牌的固有频率的差距很大,不会发生共振破坏。

(3)对指路牌斜撑的尺寸、支臂和主柱的材料进行修改后,数值模拟表明第五次优化后的结构相对比较合理,指路牌的最大位移减小到 11.77 cm,用料减少了 159.52 kg,使结构更加安全、更加经济。

(4)本文的分析结果可为实际工程提供理论依据。

(下转第 26 页)

Research on Mathematical Models of New Type Ball – end Milling Cutter

HAN Zheng-feng

(College of Mechanical Engineer and Automation, Guizhou University, Guizhou Guiyang 550003, China)

Abstract: The analysis of the existing ball – milling cutter grinding on the basis of methods, a new ball – milling cutter flank before the grinding method, based on this relationship in accordance with movement, established a mathematical model of the method are given flank before the equation. The method and the existing problems and the need to continue to examine the contents were discussed.

Keywords: Ball-end Milling Cutter; grinding; movement relation; front blade of the cutter

(上接第 22 页)

参考文献:

- [1] 道路交通标志和标线(GB5768 – 1999)[M]. 北京:中国标准出版社,1999.
- [2] 张相庭. 工程结构风荷载理论和抗风计算手册[M]. 上海:同济大学出版社,1989.
- [3] 王勖成,邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京:清华大学出版社,1995.
- [4] 张洪信. 有限元基础理论与 ANSYS 应用[M]. 北京:机械出版社,2006.
- [5] 叶先磊,史亚杰. ANSYS 工程分析软件应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [6] 徐鹤山. ANSYS 建筑钢结构工程实例分析[M]. 北京:机械出版社,2007.

Analysis of the Ability of Traffic Guiding Plate Fighting a Wind

WANG Lu-zhen

(Department of Fundamental Courses Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China)

Abstract: Through research into the features of the structure and loads about the guiding plate, the structures and its capacity of fighting a wind is analyzed by ANSYS, and its strength, stability and kinetical natures obtained. The guiding plate's structure is redesigned under certain conditions, a new guiding plate obtained which is safe and economy.

Keywords: guiding plate; fighting a wind; strength; stability