

文章编号: 1005-0523(2004)04-0113-03

# 桥式起重机箱形主梁的优化设计

程贤福

(华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:**介绍了桥式起重机箱形主梁的优化设计方法,以重量为设计目标,以强度、刚度和稳定性为主要约束条件;并结合一具体实例分析,优化的结果是很有有效的。

**关键词:**桥式起重机;主梁;优化设计

中图分类号:TH215

文献标识码:A

## 0 引言

目前,由于桥式起重机产品相对定型,通常主梁的尺寸根据《起重机设计手册》中推荐的截面进行选择,一般工厂设计不做计算,且结构与尺寸一旦确定,往往很长时间不作改动.有时截面尺寸越选越大,造成起重机的质量、大车驱动机构、厂房基础投资增大,造成很大浪费.随着起重机向大吨位、低噪声、减小振动及轻型化方向的不断发展,原有产品越来越不能适应当前要求.在双梁小车式桥式起重机结构中,以箱形主梁居多.在设计时,应该选择最佳结构参数,使产品达到最佳经济和技术性能指标,降低自重,提高产品的性能价格比.确定主梁最佳截面尺寸,可将主梁作为一个系统来考虑,采用优化方法确定主梁截面最佳尺寸,其效果最好.

## 1 数学模型

### 1.1 目标函数的确定

桥式起重机桥架或主梁的自重是起重机设计好坏的一个重要指标,因而选取主梁自重作为追求目标进行优化设计,而重量主要决定于截面结构尺寸.如图 1 和图 2 所示桥式起重机的箱形主梁,其主

要部件为上、下翼缘板和腹板,为了保证必要的刚度,还加有加筋板或角钢.影响主梁重量的因素主要有:主梁跨度  $L$ , 腹板的高度  $h$ , 主梁翼缘板的宽度  $b_0$ , 左右腹板的内间距  $b$ , 上翼缘板的厚度  $\delta_0$ 、下翼缘板的厚度  $\delta_1$ , 腹板的厚度  $\delta_2$  和加筋板的厚度  $\delta_3$ . 这些参数中跨度  $L$  是给定的, 而附加构件, 如短加筋板、水平加筋板和轨道等的重量只与跨度有关, 与截面关系很小. 故设计变量取为:

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]^T = [h, b, \delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3]^T \quad (1)$$

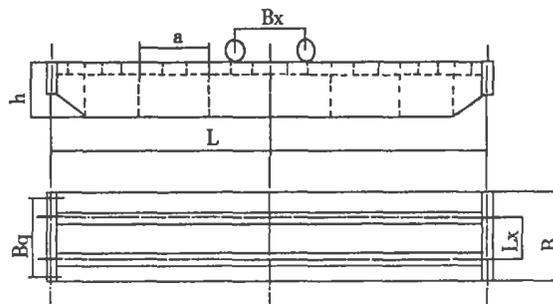


图 1 桥式起重机桥架的结构图

以主梁重量建立目标函数

$$F(X) = L\rho[\delta_0 b_0 + \delta_1 b_0 + 2h\delta_2 + bh\delta_3/\alpha] + Lw_2 \\ = L\rho[(x_3 + x_4)b_0 + 2x_1x_5 + x_2x_1x_6/\alpha] +$$

收稿日期: 2003-08-30

作者简介:程贤福(1975-),男,江西广丰人,华东交通大学讲师.

$Lw_2$

(2)

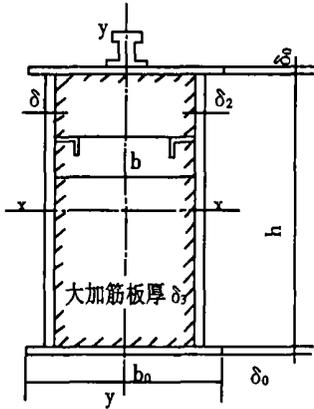


图2 箱形主梁及断面

式中:  $\rho$ ——材料比重;  $w_2$ ——主梁附加组成构件的均布重量;  $\alpha$ ——大加筋板间距, 它与腹板高度的比值根据腹板局部稳定性要求确定, 一般取为  $\alpha/h=1\sim 2$ ;  $b_0$ ——主梁翼缘板的宽度,  $b=b_0-(40\sim 60)\text{mm}\geq 30\text{mm}$

### 1.2 约束条件的确定

桥架主梁应满足强度、刚度和稳定性的要求, 同时也应满足制造方面的要求. 对起重机主梁的优化设计所加的限制条件有:

1) 正应力约束条件 主梁跨度中间断面上的最大正应力必须不大于许用应力值, 即

$$\sigma = \frac{M_v}{S_{xx}} + \frac{M_H}{S_{yy}} \leq [\sigma] \quad (3)$$

式中  $M_v$ ——由作用在主梁上的载荷引起的最大垂直弯矩;  $M_H$ ——大车运行起、制动时, 由水平惯性力在主梁中引起的最大水平弯矩;  $S_{xx}$ 、 $S_{yy}$ ——分别为主梁计算断面对水平轴  $x-x$  和垂直轴  $y-y$  的抗弯断面系数. 故得正应力约束条件

$$g_1(X) = \frac{[\sigma] - \left( \frac{M_v}{S_{xx}} + \frac{M_H}{S_{yy}} \right)}{[\sigma]} \geq 0 \quad (4)$$

2) 剪应力约束条件

$$g_2(X) = \frac{[\tau] - (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)}{[\tau]} \geq 0 \quad (5)$$

式中  $\tau_1$ ——由主梁支承处剪切力引起的剪应力;  $\tau_2$ ——偏心扭矩产生的剪应力;  $\tau_3$ ——水平惯性力对主梁引起的偏心扭矩产生的剪应力.

3) 垂直静刚度约束条件

$$g_3(X) = \frac{[f_v] - f_v}{[f_v]} \geq 0 \quad (6)$$

4) 水平静刚度约束条件

$$g_4(X) = \frac{[f_H] - f_H}{[f_H]} \geq 0 \quad (7)$$

5) 动刚度约束条件 当起重机小车卸载时, 为了保证桥架的稳定性, 主梁在空载时的衰减振动周期  $T$  应不超过允许值, 即

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \leq [T] \quad (8)$$

式中  $K$ ——桥架垂直方向的刚度;  $M$ ——桥架和小车的当量质量.

故动刚度约束条件为

$$g_5(X) = \frac{[T] - 2\pi(M/K)^{\frac{1}{2}}}{[T]} \geq 0 \quad (9)$$

6) 腹板的高度比值约束条件

$$g_6(X) = \frac{m_1 - (h/\delta_2)}{m_1} \geq 0 \quad (10)$$

式中  $m_1$  取值与纵向水平加筋板的数目有关.

7) 翼缘板的宽厚比值约束条件

$$g_7(X) = \frac{m_2 - (b/\delta_1)}{m_2} \geq 0 \quad (11)$$

式中  $m_2$  可按设计规范确定.

8) 主梁的跨高比值和跨宽比值约束条件

$$g_8(X) = \frac{m_3 - (L/h)}{m_3} \geq 0 \quad (12)$$

$$g_9(X) = \frac{m_4 - (L/b)}{m_4} \geq 0 \quad (13)$$

式中  $m_3$  可取为  $14\sim 20$ ;  $m_4$  可取为  $50\sim 60$ .

9) 横向加筋板的厚度约束条件, 它们的厚度主要受小车轮压引起的局部应力所限制:

$$\sigma_j \leq \frac{P_j}{(b_2 + 2d_1)n\delta_3} \leq [\sigma]_j \quad (14)$$

式中  $P_j$ ——计算轮压;  $b_2$ ——小车轨道底宽;  $n$ ——考虑加筋板添加块数的系数.

于是得约束条件式

$$g_{10}(X) = \frac{[\sigma]_j - \frac{P_j}{(b_2 + 2d_1)n\delta_3}}{[\sigma]_j} \geq 0 \quad (15)$$

10) 设计变量的边界约束条件 从工艺要求出发, 各设计变量应遵循一定的规范, 相应有

$$\begin{aligned} g_{11}(X) &= h - h_{\min} \geq 0; & g_{12}(X) &= b - b_{\min} \geq 0; \\ g_{13}(X) &= \delta_1 - \delta_{1\min} \geq 0; & g_{14}(X) &= \delta_{1\max} - \delta_1 \geq 0; \\ g_{15}(X) &= \delta_2 - \delta_{2\min} \geq 0; & g_{16}(X) &= \delta_{2\max} - \delta_2 \geq 0; \\ g_{17}(X) &= \delta_3 - \delta_{3\min} \geq 0; & g_{18}(X) &= \delta_{3\max} - \delta_3 \geq 0; \end{aligned} \quad (16)$$

## 2 优化方法

根据上述目标函数和约束条件, 可知此优化设计是一个具有 18 个约束条件的 6 维非线性规划问题. 根据上述数学模型的特点, 采用内点惩罚函数法求解. 从而以原目标函数和约束条件构成新的目

标函数:

$$\varphi(X, r^{(k)}) = f(X) + r^{(k)} \sum_{u=1}^{18} \frac{1}{g_u(X)} \quad (17)$$

式中  $r^k$ —惩罚因子,是递减的正数序列.

主梁的优化过程,就是求随着惩罚因子  $r^k$  的递减序列,使惩罚函数的无约束极值点  $X^*(r^k)$  从可行域的内部向原目标函数的约束最优点逼近,直到达到最优点.在求解时采用 Powell 法.程序流程图见图 3,用 C 语言来实现.

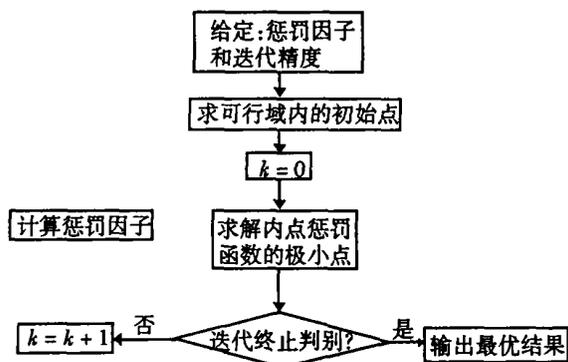


图3 内点惩罚函数法流程图

### 3 实例分析

以上海起重机械运输厂生产的桥式起重机为例,已知:工作级别为 A5,起重量  $Q=20\text{ t}$ ,跨度  $L=19.5\text{ m}$ ,大车轮轴距  $B_q=440\text{ cm}$ ,小车轨距  $L_x=200\text{ cm}$ ,小车轮距  $B_x=240\text{ cm}$ ;大车运行机构重  $G_1=7840\text{ N}$ ,主梁主要构件的均布重量  $w_1=25.48\text{ N/cm}$ ;主梁附加构件的均布重量  $w_2=11.76\text{ N/cm}$ ;走台及导线等的均布重量  $w_3=3.43\text{ N/cm}$ ;小车自重  $G_x=88.2\text{ KN}$ .材料采用 Q235 钢,弹性模量  $E=2.1 \times 10^7\text{ N/cm}^2$ ,比重  $\rho=7.8 \times 10^{-2}\text{ N/cm}^3$ ,许用应力  $[\sigma]=170\text{ MPa}$ ,  $[\tau]=95\text{ MPa}$ ;许用挠度  $[f]_y=L/700$ ,  $[f]_H=L/2000$ ;振动衰减周期  $[T]=0.3\text{ s}$ ,比值  $m_1=240$ ,  $m_2=40$ ,  $m_3=20$ ,  $m_4=60$ ;设计变量的边界值:  $h_{\min}=800\text{ mm}$ ,  $b_{\min}=300\text{ mm}$ ,  $\delta_{0\min}=\delta_{1\min}=6\text{ mm}$ ,  $\delta_{0\max}=\delta_{1\max}=20\text{ mm}$ ,  $\delta_{2\min}=\delta_{3\min}=5\text{ mm}$ ,  $\delta_{2\max}=\delta_{3\max}=10\text{ mm}$ .

初始点采用《起重机设计手册》中推荐的截面尺寸,如表 1 所示,表中同时给出了优化结果数据,结果表明:主梁重量可减轻 11.4%,可见优化设计后效果是很显著的.

表 1 主梁优化设计的结果

| 设计方案 | 设计变量值(mm) |          |                 |                 |                 |                 | 目标函数值(N)  |
|------|-----------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
|      | $h(x_1)$  | $b(x_2)$ | $\delta_0(x_3)$ | $\delta_1(x_4)$ | $\delta_2(x_5)$ | $\delta_3(x_6)$ | $F(X)$    |
| 原设计  | 1 150     | 450      | 8               | 8               | 6               | 6               | 41 854.0  |
| 优化设计 | 1 130.24  | 438.412  | 6.567           | 6.566           | 5.011           | 5.018           | 37 082.16 |

#### 参考文献:

- [1] 张质文,等. 起重机设计手册[M]. 北京:中国铁道出版社,1998.
- [2] 叶元烈. 机械优化理论与设计[M]. 北京:中国计量出版社,2001.
- [3] 崔华林. 机械优化设计方法与应用[M]. 辽宁:东北工学院出版社,1989.
- [4] 高崇仁,等. 双梁桥式起重机的主梁截面尺寸优化[J]. 太原重型机械学院学报,1999(2),161~167.

## Optimization of Main Girder Section for Overhead Crane

CHENG Xian-fu

(School of Mechanical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** In this paper, the optimization design method of main girder for overhead crane is introduced. The weight is used as design index, the strength and stiffness and stability are used as main restraint condition. Based on an example of crane, the result shows that the optimization method is available.

**Key words:** overhead crane; girder; optimization design