

## ZL15 装载机工作装置连杆机构的优化设计

王瑞金

(杭州应用工程技术学院 机械系 杭州 310012)

**摘要** 根据 ZL15 装载机工作装置连杆机构的实际工作要求,提出能够满足多种要求和良好工作性能的优化计算方法,建立数学模型,编制优化计算程序,求得结果;并通过实际应用和电脑动态模拟,证明优化结果的正确性。

**关键词** 装载机 工作装置 连杆机构 优化

**中图分类号** TH243

装载机的性能主要取决于工作装置,如:卸载高度、卸载距离、提升过程的平稳性、生产率、料斗转角等。本文研究目的是:在不改变机身的基本形状、功能、尺寸情况下,只改变装载机连杆机构的尺寸,就可以达到甚至超过国内外优秀品牌的性能。

以下是一些中小型厂家对装载机工作装置连杆机构优化提出的具体要求:

- (1) 在满足卸载距离的条件下,适当提高卸载高度,以适应大吨位卡车装卸的需要。
- (2) 装载机工作装置连杆机构在装料后的举升过程中,料斗的斗面要基本保持水平(斗面与水平夹角  $< \pm 3^\circ$ )。
- (3) 卸载后装载机工作装置下降到装料位置时,料斗的底边与水平夹角恰好为装料角(一般为  $1^\circ \sim 5^\circ$ ),这样可以不操作翻斗缸便可铲料。
- (4) 对优化结果进行计算机动态模拟,以检验计算结果的正确性。

### 1 装载机工作装置连杆机构的位置分析

如图 1 所示的是装载机工作装置连杆机构在装好料后的位置和举升过程中的任一位置,根据复数矢量法<sup>[1]</sup>,对于装好料的位置有

$$l_1 + d + l_5 + l_4 + l_2 = 0 \quad (1)$$

$$\text{设} \quad \begin{cases} A_1 = l_2 \cos \theta_2 - l_1 \cos \theta_1 - d \cos \alpha_k \\ B_1 = l_2 \sin \theta_2 - l_1 \sin \theta_1 + d \sin \alpha_k \end{cases} \quad \begin{cases} A_2 = 2B_1 l_4 \\ B_2 = -A_1 l_4 \\ C_2 = l_5^2 + l_4^2 + A_1^2 + B_1^2 \end{cases}$$

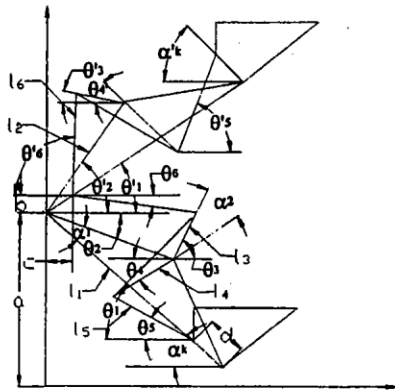


图1 工作装置举升过程位置分析

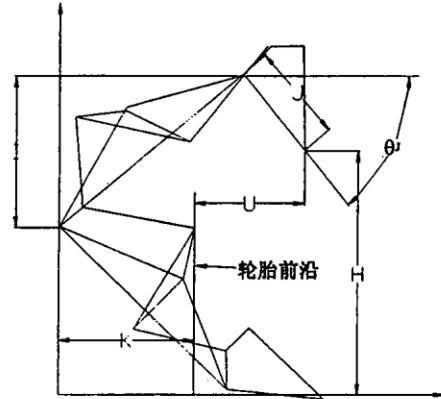


图2 工作装置下降到装料位置分析

其中  $\begin{cases} \theta_1 = \sin^{-1}((a-e)/l_1) \\ \theta_2 = \theta_1 - \alpha_1 \end{cases}$  所以有  $\begin{cases} \theta_4 = 2\tan^{-1}((A_2 + (A_2^2 + B_2^2 - C_2^2)^{1/2})/(B_2 - C_2)) \\ \theta_3 = \theta_4 - \alpha_2 \end{cases}$

再有  $l_6 + l_3 + l_2 + (b + ic) = 0$  (2)

设  $\begin{cases} A_3 = l_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos \theta_3 - c \\ B_3 = l_2 \sin \theta_2 - l_3 \sin \theta_3 + b \end{cases}$  则  $l_6 = A_3^2 + B_3^2$

同样在上升到任一位置时,有

$$l_6 + l_3 + l_2 + (b + ic) = 0 \quad (3)$$

设  $\begin{cases} A_6 = l_2 \cos \theta'_2 - c \\ B_6 = l_2 \sin \theta'_2 + b \end{cases}$   $\begin{cases} A_5 = 2B_6 l_3 \\ B_5 = A_6 l_3 \\ C_5 = -l_6^2 + l_3^2 + A_6^2 + B_6^2 \end{cases}$  且  $\begin{cases} \theta'_1 = \cos^{-1}(H/l_1) \\ \theta'_2 = \theta'_1 + \alpha_1 \end{cases}$

其中  $H$  可从图2中可知,于是有  $\begin{cases} \theta'_3 = 2\tan^{-1}((A_5 + (A_5^2 + B_5^2 - C_5^2)^{1/2})/(B_5 - C_5)) \\ \theta'_4 = \theta'_3 - \alpha_2 \end{cases}$

再有  $l_1 + d + l_5 + l_4 + l_2 = 0$  (4)

设  $\begin{cases} A_4 = l_1 \cos \theta'_1 - l_2 \cos \theta'_2 - l_4 \cos \theta'_4 \\ B_4 = l_1 \sin \theta'_1 - l_2 \sin \theta'_2 + d \sin \theta'_4 \end{cases}$  再设  $\begin{cases} A = -2B_4 d \\ B = -A_4 d \\ C = -l_5^2 + d^2 + A_4^2 + B_4^2 \end{cases}$

则  $\alpha'_k = 2\tan^{-1}((A + (A^2 + B^2 - C^2)^{1/2})/(B - C))$  (5)

这样,装载机工作装置连杆机构在提升过程中各杆及铰支的位置,就可以计算了。

同理,根据图2,也可以求得装载机工作装置连杆机构下降到装料位置时各杆及铰支的位置。这样,可以编程计算目标函数值和计算约束。

## 2 优化数学模型的建立

由于是在原有的装载机基础上进行设计的,所以优化设计的变量只限制在装载机工作装置连杆机构的参数,以及改变比较方便的举升缸和翻斗缸的位置参数。所以优化变量为:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}\}^T = \{l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, \alpha_1, \alpha_2, a, b, c\}^T \quad (6)$$

约束条件涉及到很多方面,主要有以下5个(以下符号的意义可见图1、图2)

(1) 连杆极限尺寸的约束为

$$\begin{cases} l_{1\max} \geq l_1 \geq l_{1\min} \\ l_{2\max} \geq l_2 \geq l_{2\min} \\ l_{3\max} \geq l_3 \geq l_{3\min} \\ l_{4\max} \geq l_4 \geq l_{4\min} \\ l_{5\max} \geq l_5 \geq l_{5\min} \\ l_{6\max} \geq l_6 \geq l_{6\min} \\ \alpha_{1\max} \geq \alpha_1 \geq \alpha_{1\min} \\ \alpha_{2\max} \geq \alpha_2 \geq \alpha_{2\min} \end{cases} \begin{cases} 2180 \geq l_1 \geq 1950 \\ 1250 \geq l_2 \geq 1100 \\ 495 \geq l_3 \geq 485 \\ 650 \geq l_4 \geq 610 \\ 1000 \geq l_5 \geq 850 \\ 500 \geq l_6 \geq 1500 \\ 0.10 \geq \alpha_1 \geq 0.75 \\ 0.20 \geq \alpha_2 \geq 0.75 \end{cases}$$

(2) 油缸和动臂的安装极限位置约束为

$$\begin{cases} a_{\max} \geq a \geq a_{\min} \\ b_{\max} \geq b \geq b_{\min} \\ c_{\max} \geq c \geq c_{\min} \end{cases} \begin{cases} 1520 \geq a \geq 1580 \\ 200 \geq b \geq 320 \\ -35 \geq c \geq +35 \end{cases}$$

(3) 满足最小卸载距离时的卸载高度约束为

$$\begin{cases} U_{\max} \geq l_1 \cos \theta'_1 + J \cos \theta_J - K \geq U_{\min} \\ H_{\max} \geq l_1 \sin \theta'_1 + J \sin \theta_J + a \geq H_{\min} \end{cases} \begin{cases} 1200 \geq l_1 \cos \theta'_1 + J \cos \theta_J - K \geq 875 \\ 2650 \geq l_1 \sin \theta'_1 + J \sin \theta_J + a \geq 2380 \end{cases}$$

(4) 避免死点产生的约束为

$$\begin{cases} |\theta'_6 - \theta'_3| \geq \Psi \\ |\theta'_5 - \alpha'_k| \geq \Psi \end{cases} \quad \text{其中 } \Psi \text{ 为摩擦角, 一般 } < 1.5^\circ.$$

(5) 整机不倾覆约束为  $(l_1 + P) \times G \leq [M]$

其中  $G$  为装料重量(为 1800kg),  $[M]$  为许用倾覆力矩,  $P$  为动臂端到料斗质心的距离。

目标函数主要考虑两点:一是在提升过程中,料斗斗面保持水平,二是卸载后不操作翻斗缸,下降到装料位置时,可以直接铲料。即

$$\begin{cases} F_1 = |\alpha'_k \text{ 装料后 } - \alpha'_k \text{ 提升时任一位置}| \\ F_2 = |\alpha'_k \text{ 卸料时 } - \alpha'_k \text{ 下降到装料位置}| \end{cases} \quad (7)$$

为了兼顾 2 个目标函数,考虑加权系数法,则可有目标函数

$$F = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 \quad (8)$$

其中  $\beta_1, \beta_2$  为加权系数,按厂家的要求,  $\beta_1 = 0.8, \beta_2 = 0.2$

最后是求得目标函数的最小值  $\min(F)$ ;求最小值的方法很多,但由于目标函数极其复杂,根本无法用一个解析式来表达,对目标函数的求导更是困难,考虑到本题所涉及的问题不很复杂,所以用坐标轮换法和复合型法。通过这两个方法都计算,发现坐标轮换法比复合型法收敛速度要快,且坐标轮换法的编程较为简单。

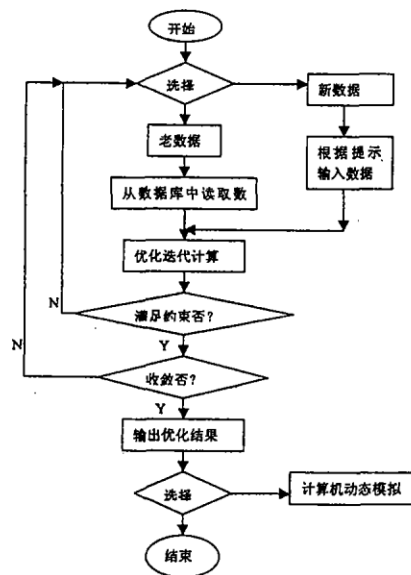


图 3 优化程序设计框图

### 3 优化程度的编制及计算结果

在优化程序设计中,主要考虑以下几个问题:

(1) 考虑到目标函数有2个,相互之间有影响,所以在优化是否结束的判别时,终止判据要减小。

(2) 在许多约束条件和目标函数中,都用到了上升和下降过程中的数据,为了取得较为精确的数据,必须减小步距,但这样加大计算工作量。

(3) 由于所有的约束都是不等式约束,优化过程没有进行无约束化处理,虽然这会降低优化的收敛速度,但由于这问题的计算量不大,影响并不明显。

(4) 为了操作和计算的方便,所有的原始数据的输入都可更改。

优化程序的框图<sup>[2]</sup>可见图3。

优化计算的结果可见表1:

表1 优化计算结果

| 杆件尺寸    | 结果/mm    | 位置参数 | 结果/mm   | 杆件夹角       | 结果/rad | 性能指标    | 计算结果    |
|---------|----------|------|---------|------------|--------|---------|---------|
| $l_1$   | 2150.17  | $a$  | 1560.23 | $\alpha_1$ | 0.5495 | 上升平稳性   | 0.0428  |
| $l_2$   | 1230.38  | $b$  | 307.88  | $\alpha_2$ | 0.5495 | (rad)   |         |
| $l_3$   | 484.59   | $c$  | 17.52   |            |        | 下降到位    | 0.0785  |
| $l_4$   | 624.95   |      |         |            |        | 程度(rad) |         |
| $l_5$   | 888.08   |      |         |            |        | 最小卸距    | 875.00  |
| $l_6^*$ | 924.20   |      |         |            |        | 最大卸高    | 2548.00 |
|         | /1108.13 |      |         |            |        | (mm)    |         |

\* 2个数据924.20和1108.13分别为举升过程和下降过程的翻斗缸的长度

### 4 结 论

通过合理的分析和合理的优化方法的运用,作者得到了较为满意的计算结果,上升平稳程度和到位程度都满足厂家的要求;下降到位程度为:与水平夹角 $<4.5^\circ$ ,举升平稳程度为:举升过程中,料斗斗面与水平夹角的绝对值 $<2.5^\circ$ ;而且在保证卸载距离的同时,也适当提高了卸载高度.通过实际应用和电脑动态模拟,检验了计算结果,证明了其正确性。

### 参 考 文 献

- 1 耿迎元. 装载机连杆机构举升过程的运动分析. 工程机械, 1994, (5): 7~11.
- 2 Herbett schildt. C语言大全. 戴健鹏译. 北京: 电子工业出版社, 1995, 21~325
- 3 王永生编著. 最新C语言应用绘图程序与图形. 北京: 科学出版社, 1996, 42~242

(下转第21页)

(上接第15页)

## Optimal design of the linkage of the working equipment for the loader type ZL15

Wang Ruijin

(Dept. of Machinery, Hangzhou institute of applied engineering, Hangzhou 310012)

**Abstract** Based on the actual requirements of the working linkage of loader ZL15, the author puts forward the optimum calculating method that is supposed to be effective in different ways. The author also sets up a mathematical model, makes the optimum program and finds out the results. In practice and dynamic computer simulation, the validity of the results is proved.

**Key words** loader working equipment linkage optimization