

WYD390 液压挖掘机工作装置运动学及动力学分析

韩 帅, 李爱峰, 李 洪, 李 光

(太原重工股份有限公司技术中心, 山西 太原 030024)

摘 要: 由于液压挖掘机具有结构紧凑、操作方便、运动灵活及易于维护保养等优点, 大型矿用液压挖掘机在国外已经得到了很广泛的应用。现对太原重工研发设计的国内首台400 t级矿用液压挖掘机的工作装置进行了运动学和动力学分析, 为本产品工作装置的优化设计及今后的相关产品的研发提供了理论参考。

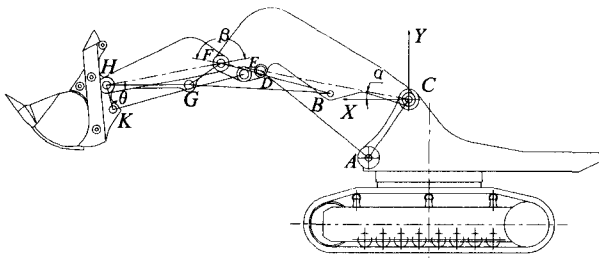
关键词: 工作装置; 运动学分析; 动力学分析; 挖掘力

中图分类号: TD422.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-773X(2012)05-0053-03

0 引言

在矿山调研过程中用户普遍反映进口液压挖掘机价格非常昂贵, 而且设备维护费用高, 供货周期长, 因此研发大型矿用液压挖掘机已迫在眉睫。WYD390 矿用液压挖掘机是太原重工自主研发的标准斗容为 22 m³ 的国内首台 400 t 级矿用液压挖掘机。

WYD390 的工作装置主要由铲斗、斗杆和动臂等三个机构组成, 通过三个机构之间合理配合来实现整机的作业功能。挖掘作业主要是由斗杆机构和铲斗机构来配合完成的; 举升作业基本是由动臂机构来独立完成; 卸载作业由通过操纵开斗油缸来实现; 平推作业通过铲斗、斗杆和动臂三个机构之间的配合实现。



α - 动臂与水平方向的夹角; β - 动臂与斗杆的夹角;
 θ - 斗杆与铲斗的夹角

图1 WYD390 正铲液压挖掘机工作装置简图

WYD390 正铲液压挖掘机工作装置机构简图如图1所示, 该工作装置主要由动臂、动臂缸、斗杆、斗杆缸、铲斗、铲斗缸六个部件组成。该工作装置具有两个运动特点: 一是动臂在动臂油缸的作用下能够实现浮动; 二是在某一瞬时位置, 四边形EFHK为一个近似平行四边形。

1 工作装置的运动学分析

动臂的位置由动臂油缸的长度决定^[1], 动臂油缸的长度与动臂和水平方向的夹角的关系如式(1)所示^[2]。

$$L_{AD}^2 = L_{CA}^2 + L_{CD}^2 - 2 \times L_{CA} \times L_{CD} \cdot \cos(\alpha + \angle XCA)$$

$$\text{即 } \alpha = \cos^{-1} \left(\frac{L_{CA}^2 + L_{CD}^2 - L_{AD}^2}{2 \times L_{CA} \times L_{CD}} \right) - \angle XCA. \quad (1)$$

现假设动臂油缸的最短安装尺寸 $L_{AD} = L_{AD\min}$, 动臂油缸全伸出时的长度 $L_{AD} = L_{AD\max}$, 则按式(2)、式(3)可求出 α 的域值为 $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$

$$\alpha_{\min} = \cos^{-1} \left(\frac{L_{CA}^2 + L_{CD}^2 - L_{AD\min}^2}{2 \times L_{CA} \times L_{CD}} \right) - \angle XCA. \quad (2)$$

$$\alpha_{\max} = \cos^{-1} \left(\frac{L_{CA}^2 + L_{CD}^2 - L_{AD\max}^2}{2 \times L_{CA} \times L_{CD}} \right) - \angle XCA. \quad (3)$$

同理, 斗杆油缸的位置取决于斗杆油缸的长度, 斗杆油缸的长度和斗杆与动臂的夹角 β 的关系如式(4)所示。

$$L_{BG}^2 = L_{FG}^2 + L_{BF}^2 - 2 \times L_{FG} \times L_{BF} \cdot \cos(\beta - \angle BFC)$$

$$\text{即 } \beta = \cos^{-1} \left(\frac{L_{FG}^2 + L_{BF}^2 - L_{BG}^2}{2 \times L_{FG} \times L_{BF}} \right) + \angle BFC. \quad (4)$$

现假设斗杆油缸的最短安装尺寸 $L_{BG} = L_{BG\min}$, 斗杆油缸全伸出时的长度 $L_{BG} = L_{BG\max}$, 则按式(5)、式(6)可求出 β 的域值为 $[\beta_{\min}, \beta_{\max}]$

$$\beta_{\min} = \cos^{-1} \left(\frac{L_{FG}^2 + L_{BF}^2 - L_{BG\min}^2}{2 \times L_{FG} \times L_{BF}} \right) + \angle BFC. \quad (5)$$

$$\beta_{\max} = \cos^{-1} \left(\frac{L_{FG}^2 + L_{BF}^2 - L_{BG\max}^2}{2 \times L_{FG} \times L_{BF}} \right) + \angle BFC. \quad (6)$$

WYD390 液压挖掘机铲斗油缸的布置方式为一端的铰接点 E 连接到了动臂的端部, 此种特殊的布置方式使得铲斗机构增加了一个自由度。由此可知, 铲斗的位置同时受到了斗杆与动臂的夹角 β 和铲斗与斗杆的夹角 θ 的影响, 即 β 与 θ 存在相互牵连的运动关系, 具体分析如下:

$$L_{FK}^2 = L_{HK}^2 + L_{FH}^2 - 2 \times L_{HK} \times L_{FH} \cdot \cos \theta. \quad (7)$$

$$\frac{L_{FK}}{\sin \theta} = \frac{L_{HK}}{\sin \angle HFK} \Rightarrow \angle HFK = \arcsin \left(\frac{L_{HK} \sin \theta}{L_{FK}} \right). \quad (8)$$

$$L_{DK}^2 = L_{FK}^2 + L_{FD}^2 - 2 \times L_{FK} \times L_{FD} \cdot \cos(\beta - \angle HFK - \angle EFC). \quad (9)$$

由式1-7、式1-8和式1-9可以明显看出铲斗油缸

长度同时受到了 θ 和 β 的影响,即 L_{DK} 是 θ 和 β 的函数,可表示为 $L_{DK}=f(\theta, \beta)$ 。

2 工作装置的动力学分析

WYD390 液压挖掘机的工作装置主要采用斗杆油缸进行挖掘作业,铲斗油缸在作业过程中主要起调整切削角度和破碎岩石的作用,若不考虑下列因素:

1) 物料重与工作装置的自重;2) 连杆机构与液压系统的效率;3) 油缸的背压。

则工作油缸作业时由该油缸理论推力所能产生的斗齿切向挖掘力称为该油缸的理论挖掘力。

2.1 斗杆油缸的理论挖掘力

斗杆油缸的理论挖掘力为^[3,4]:

$$F_d = \frac{F_{dg} \cdot L_{F,BG}}{L_{F,F_d}} \quad (10)$$

其中, F_d : 斗杆油缸的理论挖掘力; F_{dg} : 斗杆油缸最大工作压力, $F_{dg} = P_{dg} \times A_{dg} \times n$, P_{dg} 为斗杆油缸工作压力, $P_{dg} = 35\ 000\ \text{kPa}$; A_{dg} 为斗杆油缸大腔面积, $A_{dg} = 70\ 650\ \text{mm}^2$; n 为斗杆油缸数量, $n = 2$; $L_{F,BG}$: 斗杆油缸 BG 对斗杆与动臂铰接点 F 的力臂; L_{F,F_d} : 力 F_d 对 F 点的力臂。

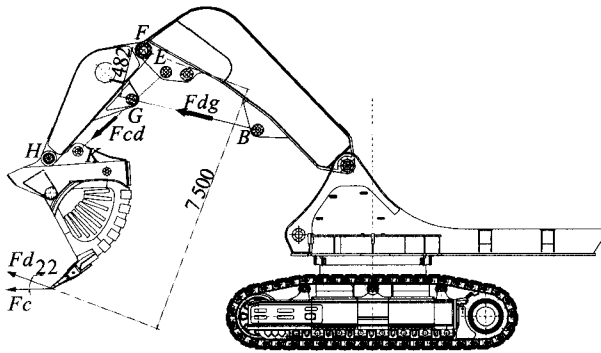


图2 斗杆油缸最大理论挖掘力工况图

如图2所示当 $L_{F,BG}$ 取最大值 $L_{F,BG\max}$, 即 $L_{F,BG} = FG = 1\ 482\ \text{mm}$ 时; L_{F,F_d} 取最小值 $L_{F,F_d\min}$, 即在满足铲斗与斗杆不发生干涉和铲斗油缸不小于最小安装距离的情况下,斗齿尖到斗杆与动臂的铰接点 F 的距离最短, $L_{F,F_d\min} = 7\ 500\ \text{mm}$, 将数据代入式(10), 可得:

$$F_d = \frac{F_{dg} \cdot L_{F,BG}}{L_{F,F_d}} = \frac{3.5 \times 10^7 \times 70\ 650 \times 10^{-6} \times 2 \times 1\ 482 \times 10^{-3}}{7\ 500 \times 10^{-3}} = 977.2\ \text{kN}.$$

2.2 铲斗油缸的理论挖掘力

铲斗油缸的理论挖掘力为:

$$F_c = \frac{F_{cd} \cdot L_{H,EK}}{L_{H,F_c}} \quad (11)$$

其中, F_c : 铲斗油缸的理论挖掘力; F_{cd} : 铲斗油缸最

大工作压力, $F_{cd} = P_{cd} \times A_{cd} \times n$, P_{cd} 为斗杆油缸工作压力, $P_{cd} = 35\ 000\ \text{kPa}$, A_{cd} 为斗杆油缸大腔面积, $A_{cd} = 70\ 650\ \text{mm}^2$, n 为斗杆油缸数量, $n = 2$; $L_{H,EK}$: 铲斗油缸 EK 对斗杆与铲斗铰接点 H 的力臂; L_{H,F_c} : 力 F_c 对 H 点的力臂。

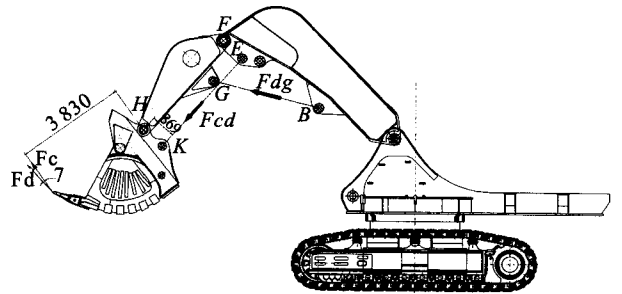


图3 铲斗油缸最大理论挖掘力工况图

如图3所示,当 $L_{H,EK}$ 取最大值时,即 $L_{H,EK} = HK = 869\ \text{mm}$ 时, L_{H,F_c} 为定值,即 $L_{H,F_c} = 3\ 830\ \text{mm}$ 。将数据代入式(11), 可得:

$$F_c = \frac{F_{cd} \cdot L_{H,EK}}{L_{H,F_c}} = \frac{3.5 \times 10^7 \times 70\ 650 \times 10^{-6} \times 2 \times 869 \times 10^{-3}}{3\ 830 \times 10^{-3}} = 1\ 122\ \text{kN}.$$

虽然由于根据不同的标准所计算出的斗杆挖掘力和铲斗挖掘力有所差别,但是液压挖掘机所能发挥的最大挖掘力除了取决于液压系统的工作压力外,还受到整机的稳定性和平衡的制约,因此,液压挖掘机的工作装置在不同工作位置所能发挥出来的最大挖掘力是不同的,换言之,即液压挖掘机不可能在任何位置都具有最大挖掘力。

3 结论

1) 得出了 WYD390 液压挖掘机的动臂、斗杆和铲斗位置的函数表达式,由于 WYD390 液压挖掘机铲斗油缸采用了特殊的布置方式,所以斗杆油缸动作会牵连铲斗油缸的一起动作。

2) 计算出了 WYD390 液压挖掘机斗杆油缸和铲斗油缸的最大挖掘力,为本产品的改进和今后同类型新产品的开发提供了参考。

参考文献

- [1] 史青录. 液压挖掘机[M]. 北京:机械工业出版社,2012.
- [2] 孙旭国,黄池灼. 液压挖掘机工作装置动力学建模与分析[J]. 建筑机械化,2007(7):33-37.
- [3] 刘鹏虎,张勇,张强. 液压挖掘机工作装置的动力学分析及控制[J]. 中国工程机械学报,2007,5(1):37-47.
- [4] 杨莹,孙进,张石强,等. 正铲液压挖掘机工作装置优化设计[J]. 工程机械,2008(2):40-44.

(下转第56页)

道成形不良,脱渣性能差;层间温度太低,会使焊道熔透性差,熔覆层易产生裂纹。

4 工艺实施测试

1) 对精加工后的辊子熔覆表面进行DT(渗透剂检验),未发现夹渣、气孔、裂纹等熔覆缺陷。

2) 对辊子表面进行VT(超声波探伤),未发现裂纹和其他缺陷。

3) 对进行工艺测试的40套弯曲段自由辊,沿轴线方向各取若干点,进行硬度测定,硬度参数测试见表3。所有硬度值均达到设计要求,熔覆效果明显改善。

表3 硬度参数测试数据

辊号	表面硬度	辊号	表面硬度	辊号	表面硬度	辊号	表面硬度	辊号	表面硬度
1	44.7	11	44.9	21	44.3	31	45.7	41	44.1
2	43.9	12	44.7	22	44.6	32	43.9	42	44.5
3	44.1	13	45.7	23	45.7	33	44.1	43	44.7
4	44.5	14	46.4	24	46.4	34	44.5	44	45.7
5	44.3	15	46.2	25	44.7	35	45.7	45	45.7
6	44.6	16	45.9	26	44.3	36	46.4	46	43.9
7	45.7	17	45.7	27	44.9	37	46.2	47	45.7
8	46.1	18	43.9	28	44.7	38	45.9	48	43.6
9	45.9	19	44.1	29	46.1	39	45.7	49	46.2
10	44.3	20	44.5	30	45.7	40	43.9	50	45.9

5 工艺研究结论

通过试验分析,造成熔覆缺陷以及硬度不均匀的主要原因有:

1) 熔覆材料不清洁。焊剂未烘干或烘干不彻底,焊丝表面和辊子表面有油、锈和水分,都会使熔池中含氢量显著增高而产生气孔。

2) 母材不清洁。辊子表面有铁锈、油和其他杂质,不注意清理。

3) 焊渣壳、袋屑等夹入焊剂,也会在焊道中造成气孔。

4) 焊剂层太薄、熔覆电压过高或网路电压波动较大时,电弧可能穿出焊剂层,使熔池金属受外界空气污染而造成气孔。

5) 熔覆速度过快或熔覆电流过大,在辊面顶端产生的熔池随辊转动约90°位置时,熔池表面及渣壳没有完全凝固而流淌,空气进入熔池。

6) 焊剂粒度太细时,熔池内的气体不易逸出。

7) 母材中有富硫层状偏析,或母材有分层缺陷会产生气孔。母材含硫量高、硫化物夹杂多时,熔覆过程中会产生较多气体而形成气孔。

8) 埋弧熔覆过程中,由于熔池凝固是非平衡结晶,冷却速度很大,在结晶过程中,化学成分来不及扩散,合金元素的分布是不均匀的,出现偏析现象。此外,在焊道金属中往往含有较多的杂质,这些杂质主要是焊剂在熔池中反应产生的氧化物、氮化物、硫化物等。

9) 在熔覆过程中,必须严格保持层间温度在200~250℃,层间温度的均匀将直接影响到熔覆辊表面的组织性能及硬度的均匀性。层间温度太高会使焊道成形不良,脱渣性能差;层间温度太低焊道熔透性差,熔覆层易产生裂纹。

通过此次针对性极强的工艺研究、优化,并且对以上实施过程进行严格控制管理,对于选取产品参数的确定将起到决定性的作用。

参考文献

- [1] 李富帅. 连铸辊长寿命技术研究[G]//连铸学术会议论文集汇编. 海口:中国金属学会学术委员会,2007:31.
- [2] 刘成俊,范培耕. 板坯连铸辊失效原因及其修复技术[J]. 重庆钢铁高等专科学校学报,1998(4):12-14.
- [3] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,1993.

Stainless Steel Casting for Bending Roll System Cladding Process Optimization Research

HAN Rui, LI Zhong-ping

(Shanxi Buyeasy Machine Equipment Manufacture Co., Ltd, Taiyuan 030003, China)

Abstract: Based on the stainless steel casting for bending $\phi 150$ free roller repair cladding characteristic analysis, proposed to the surface heat resistant alloy cladding repair technology was improved to repair the roll surface defect of the stomata overall control, solve the problem of uneven hardness, avoid cladding process heat transfer phenomena make cladding surface is more wear-resisting, high temperature resistant, resistant to corrosion fatigue performance.

Key words: free roller; cladcling; process; optimization

(上接第54页)

Kinematics and Dynamics Analyzing of the WYD390 Working Device

HAN Shuai, LI Ai-feng, LI Hong, LI Guang

(Taiyuan Heavy Industry Co.,Ltd, Technology Center, Taiyuan 030024, China)

Abstract: With the advantages of compact structure, convenient operation, flexible movement and easy maintenance, hydraulic excavator has been a very wide range of applications in large-scale mine at home and abroad. The working device that Taiyuan Heavy Industry independent research and development of China's first 400-ton mine hydraulic excavator has been analyzed about kinematics and dynamics. So it provides theoretical reference for the product optimization design and future product development.

Key words: working device; kinematics; dynamics; crowd-force