

液压挖掘机动力臂结构优化设计研究

丁旭

(安徽博一流体传动股份有限公司 安徽 合肥 230031)

摘要: 该液压挖掘机动力臂设计要求为可操控挖掘一定厚度和重量的土石方。通过减薄被剪土石方的厚度,可以操控挖掘其他强度的土石方。再依照给出的设计技术要求,初步拟定设计方案:包含整体结构、机械传动方案和液压系统方案;设计出最为详细合理的结构,绘制液压挖掘机动力臂的总装配图、零部件图且完成有关的设计和计算;挑选出典型零件,设计零件工作图;完成液压原理图。整个液压挖掘机动力臂在各部件的设计选用方面,必须按照一定的顺序:计算液压挖掘机动力臂的力学性能参数,确定液压缸,从而确定液压泵的压力和流量大小,最后实现液压挖掘机动力臂的设计任务。

关键词: 液压挖掘机动力臂; 液压系统; 结构设计

1 液压挖掘机动力臂的发展和现状

1.1 液压挖掘机动力臂的介绍

液压挖掘机动力臂是通过使用运动和固定铲刀片的铲刃,在适宜的铲刀片间隙下,对固定在下铲刃座上不同厚度和重量的金属土石方,施加一定的操控挖掘力,按所需要的尺寸使土石方最终断裂分离的机械设备。液压挖掘机动力臂通常用来剪裁具有直线边缘的土石方毛坯,主要有切头锻压、切尾锻压和切边锻压三种锻压方式。液压挖掘机动力臂能保证被剪土石方的操控挖掘表面满足直线度和平行度要求,同时可以减少其扭曲程度,从而加工出高质量的工件。

随着科技的发展进步,市场竞争日益激烈,对液压挖掘机动力臂的生产设计制造提出了更高的要求。所以,当前在满足使用要求的前提下,对其进行液压挖掘机动力臂优化是很必要的。目前,锻压机械通常划分为8类,按汉语拼音顺序用大写字母来表示。液压挖掘机动力臂的操控挖掘机组代号为Q。当产品的总体结构相似时,主要使用大写字母A、B、C等来进行区分。处在类型代号间的2个数字是液压挖掘机动力臂组系列代号,如:01代表手动脚踏液压挖掘机动力臂,11代表普通的直线液压挖掘机动力臂(电动挖式和液压挖式),12代表摆式液压挖掘机动力臂,28代表角度操控挖掘机,等。Y表示液压传动,指液压挖掘机动力臂使用液压装置作为主传动。液压挖掘机动力臂代码数字编注用“剪大厚度×剪大板宽”来表示。

1.2 液压挖掘机动力臂的研究现状

国内针对数控液压挖掘机动力臂的研究最早起步于

20世纪80年代主要经历了以下几个发展阶段:初始阶段、高速发展阶段和发展完善阶段。对液压挖掘机动力臂的结构特性分析、动态仿真,操控挖掘理论等都展开了深入的研究。比如,在机床的机身方面进行结构优化、强度分析、静力学分析、优化设计等的研究。

国外方面,比如美国、德国等西方发达国家,早期在工业和制造业方面发展迅速。发展过程中,对于金属土石方的需求量非常大。故而在这方面展开了深层次的研究,如在传统的液压挖掘机动力臂结构基础上增加附件,丰富其功能。同时在设计过程中将计算机技术灵活运用其中。德国的机械工程师 Lucia 就为此开发设计出了一款新颖的剪板液压挖掘机动力臂,其特点是:其上铲刃架是凭借液压油缸来完成驱动,现实操作使用中该设备还可以操控挖掘较大规格的板料。

1.3 液压挖掘机动力臂的研究趋势

液压技术兴起得相对迟一点,20世纪50年代前后,我国才将其使用在机床和锻压机械设备生产领域,之后逐步向工业和制造业领域延伸。与其他传动方式,如机械、电能等相比,液压传动具有着一定的技术优势:液压传动可完成无级调速,并且调速的区间范围很大;液压传动使用油液作为介质,能长期运行,不需要定期润滑养护;液压传动可以实现无间隙传动,运转稳定。但其缺点也很明显:出现故障不易排查;当出现液压冲击和空穴时,运行不稳定产生振动。但整体评估,液压传动技术具有显著的优势和发展潜力,其弊端必将随着技术革新很快得以解决,功能会逐步完善。目前,各类液压挖掘机动力臂的自动化程度都有所提高,操控挖掘加工的工艺精度和操作性也有显著提高,操控

挖掘功能显著增强，可剪板料的尺寸逐渐增大、种类也变得更为丰富。液压挖掘机动力臂正逐渐取代传统机械传动式挖掘机动力臂，得到广泛使用。

液压挖掘机动力臂在操控挖掘过程中，支撑板料的工作台将承受一定的载荷，但是会受到压料油缸和液压油缸的作用，液压挖掘机动力臂的关键部位会出现应力集中和变形的情况，从而导致液压挖掘机动力臂在操作中出现焊缝开裂、精度降低和零件损坏等问题。液压挖掘机动力臂的设计好坏、品质优劣、可靠性、强度和刚度都会直接影响设备的制造成本和使用性能，因此液压挖掘机动力臂的结构设计非常重要。

现在，液压挖掘机动力臂设计大多选用的是机床的设计方法，主要是对液压挖掘机动力臂进行刚度和强度方面的模拟分析。针对在此基础上出现的某些问题，需要对液压挖掘机动力臂进行应力和应变的测试分析，但是考虑其在受力上的复杂性，在计算时需要对其模型进行简化，最后计算的精度无法得到准确值。计算过程越为复杂，需要花费的时间也会越长。所以，为了避免这种情形的出现，需要对液压挖掘机动力臂的设计和计算方法进行优化和改进。

2 液压挖掘机臂部机械结构设计方案

在本次课题研究中，对液压挖掘机动臂结构进行设计时，主要需要从液压挖掘机的动臂结构和机械理论着手，力求设计出机构合理且操作良好的机械。在对此设计的液压挖掘机动臂结构进行运动性分析时，可以通过 D-H 方法对液压挖掘机动臂结构进行运动学正逆问题的互动式求解。此外，在对此设计中的康复机械动臂进行控制系统选择时，主要设计出开关量控制模块、遥控控制模块和计算机控制模块，同时在设计的过程中需要对康复机械动臂进行反复调试和试验，进而使机械动臂实现最佳的运动模式。设计指标如表所示。

表 设计指标

规格	参数
工作介质	空气
额定流量 / (L/min)	55
使用压力 /MPa	0.05
运动速度 / (m/s)	1.2

2.1 体臂部机械结构整体方案

液压挖掘机动力臂机械主要由动臂固定机构、动臂摆动机构、动臂伸缩机构、液压挖掘机机械立板、液压挖掘机机械底板等部分组合而成，如图所示。

如图所示，液压挖掘机动臂的固定机构主要由 4 个底部制作配合 8 个内角螺钉组合固定而成，内角螺钉通常需要固定在立板的内侧区域；液压挖掘机的动臂摆动机构，在机械设计过程中主要是通过两个铰链机构与动臂的固定机构相连接，同时机械设计中的动臂摆动机构需要借助螺钉与支撑销进行联结；液压挖掘机动力臂机械中的伸缩机构需要安装在动臂摆动机构的内部，同时还需要配合 5 组不同形式的螺纹固定在传感器支架上方。

传感器需要选用六角螺钉进行固定，这样才可以在动臂的伸缩机构上将传感器牢固化管理，设计人员还可以根据液压挖掘机动力臂的实际需求，设计出 6 组相同的永磁铁，通过这些永磁铁便可以将传感器固定在支架的上方。同时也可以借助圆头螺钉将用磁铁支架固定在拨动板上方，这样便可以确保动力臂气动气缸与螺纹螺钉共同固定在两个不同的支架上。或者保证动力臂气动气缸与螺纹螺钉在固定期间的稳定性，需要采用圆头螺钉进行二次固定，这样才可以保证拨动板在液压挖掘机动力臂机械的使用过程中不会出现晃动。

在进行拨动板的设计过程中，需要对拨动板的活动段，利用动力臂支架和拨销进行共同控制，在此期间还需要借助圆柱销固定拨动板上方的动臂伸缩结构；对于液压挖掘机动力臂机器中的核心机构，液压挖掘机动臂驱动气缸需要采用 16 活塞连杆，并通过运用铰链连接的形式将使用活塞连杆气缸固定在液压挖掘机动力臂机械摆动机构的正下方。对底板进行固定的过程中，设计人员可以通过选用 5 个大小相同的外六角螺钉与底板进行固定，同时还可以搭配使用永磁体，借助磁力将液压挖掘机动力臂机械的摆动机构与支座相连接。

2.2 液压挖式液压挖掘机动力臂的操控挖掘原理

液压挖掘机动力臂的操控挖掘可理解为金属的塑性变形，其操控挖掘过程主要分为两个阶段：第一阶段为压入变形，第二阶段为操控挖掘滑移。在初始操控挖掘过程中，上挖刃与土石方接触后，对土石方施加操控挖掘力，同时压入土石方。因为在起始操控挖掘阶段操控挖掘力很小，土石方的操控挖掘抗力会远大于操控挖掘力，所以土石方只能在局部区域发生很小的塑性变形，这就是操控挖掘过程中的压入变形阶段。随着操控挖掘的继续进行，上挖刃继续向下移动，操控挖掘力逐步增加，当增加到比土石方的操控挖掘抗力大时，土石方断裂分离，此时土石方沿着操控挖掘面发生滑移，这是操控挖掘过程中的操控挖掘滑移阶段。随着操控挖掘的继续进行，操控挖掘力越来越小，

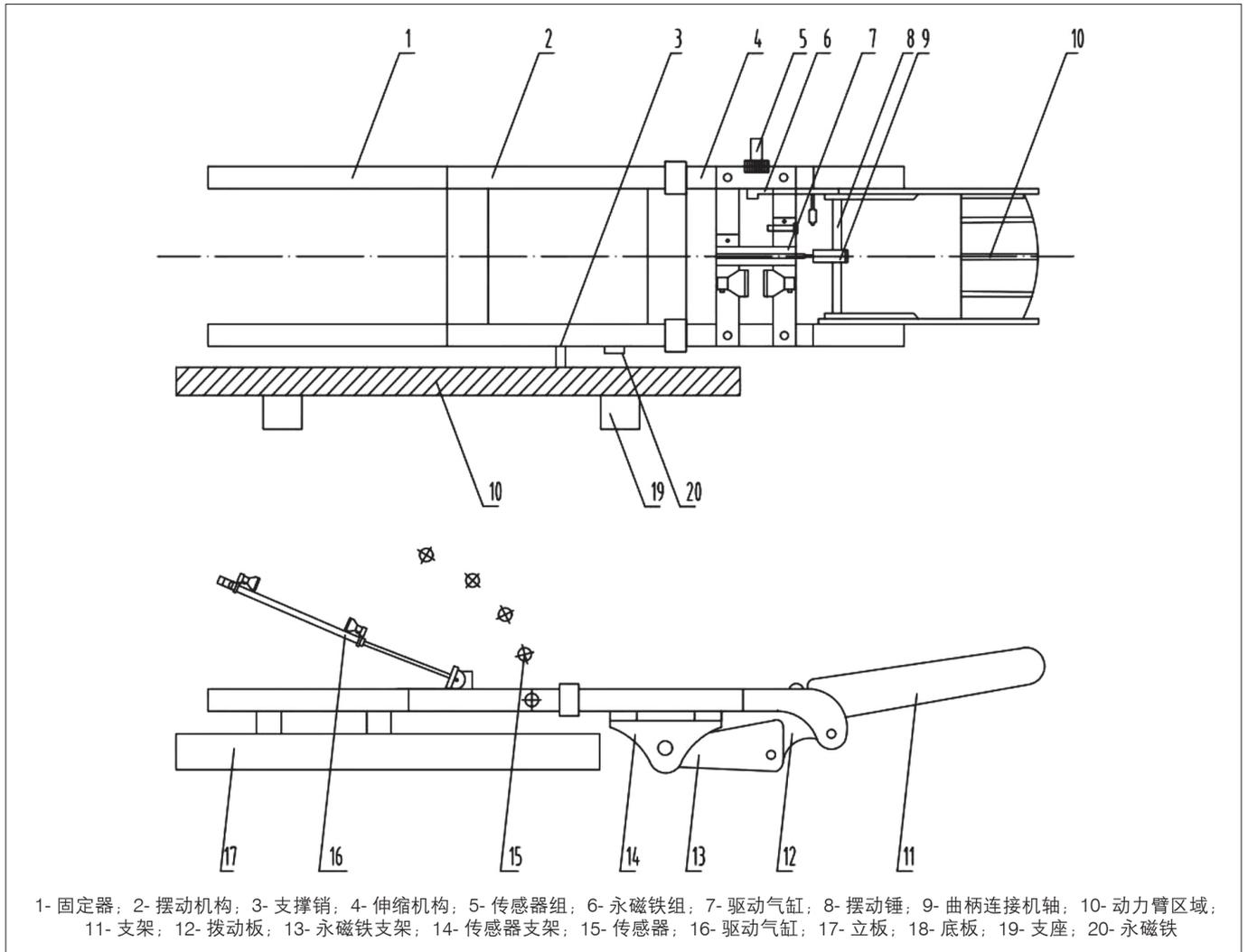


图 液压挖掘机动力臂机械示意图

当土石方完全被挖断时，操控挖掘力变为 0，这就是一个完整的操控挖掘过程。

液压挖掘机动力臂和传统动力臂对比，在产品性能、操控挖掘精度、结构等方面存在显著的优势：

(1) 挖式液压挖掘机动力臂选取的是矩形铲刀片，铲刀片 4 个刃口都能够投入加工中，使用周期很长。

(2) 操控挖掘角度可随实际的操控挖掘状况进行细微的调节，可以合理地缩减土石方错位变形，提高操控挖掘质量，改善产品的操控挖掘性能。

(3) 上铲刀架为内倾构造设计，方便落料。而摆式液压挖掘机的上铲刀架运用的是摆式操控挖掘设计，这种设计会使操控挖掘力臂较长，不仅会产生的噪音，还会导致机床受损，甚至影响精度。挖式液压挖掘机使用的是铅锤操控挖掘方式，铲刀刃和土石方之间是连续点接触，产生的噪声较小，机床受到的磨损较轻，同时操控挖掘精度高。

(4) 摆式液压挖掘机的液压缸为内嵌式设计，难于

润滑和修复；而挖式液压挖掘机的油缸里充斥着液压油，无需多余的润滑，使用周期更长。

(5) 挖式液压挖掘机选用三点支撑式滚动导轨的设计方案，该方案可以有效减小支撑间隙，同时还具备分段操控挖掘功能，提高操控挖掘质量。

(6) 液压挖式液压挖掘机动力臂的液压传动系统选用的是集成式操控系统，能有效减少液压管路安装使用，缝隙处选用密封圈的封闭类型，大大增强了液压挖掘机动力臂设备的操作稳定性，且外观上美观大方，简洁明了。

3 结语

通过研究液压挖掘机动力臂结构优化设计工作，可以进一步提高液压挖掘机动力臂在操作中的应用效率，提高施工质量。此外，在合理设计液压挖掘机动力臂结构的过程中，还需要进一步提高液压挖掘机动力臂在操作中的可靠性，加强液压挖掘机对金属土石方毛

坏的裁断速度，并积极引进先进液压挖掘机动力臂设计模式，结合国内工程开采的实际情况进行结构设计，提高我国自主研发的液压挖掘机动力臂的技术水平。

参考文献:

[1] 管琪明, 解思状, 贺福强, 等. 基于 RecurDyn 和 ANSYS 的液压挖掘机动臂结构优化设计 [J]. 机械设计与制造, 2021(1): 167-170.
 [2] 黄建娜, 王璇, 刘松林. 液压挖掘机动臂有限元分析及优化设计 [J]. 拖拉机与农用运输车, 2019, 46(4): 29-32.
 [3] 徐元亮, 林述温. 基于相似应力特征分布的挖掘机动臂应力预测模型 [J]. 机械制造与自动

化, 2017, 46(1): 78-83.

[4] 张永明, 余翊妮, 宁晓斌. 基于虚拟样机的液压挖掘机工作装置最大挖掘力分析 [J]. 机电工程, 2014, 31(9): 1132-1135.
 [5] 郭艳坤, 胡志勇, 李金龙. 基于 ANSYS Workbench 的挖掘机动臂有限元分析 [J]. 内蒙古科技与经济, 2017(6): 85+87.
 [6] 向琴, 张华, 胡晓莉, 等. 基于 ANSYS 和神经网络的液压挖掘机动臂轻量化设计方法研究 [J]. 机床与液压, 2015, 43(1): 136-140.
 [7] 花海燕, 林述温. 基于知识引导遗传算法的挖掘机动臂结构优化新方法 [J]. 机械工程学报, 2014, 5(5): 211.

(上接第 12 页)

4.2 拆机分析

由于本次是针对输出级齿轴修形设计后齿面接触强度的验证，所以拆机分析是本次试验的重点环节。

- (1) 箱体内润滑油颜色稍深，但属于正常范围内，同时不存在刺鼻异味情况，油内成分分析 Fe、Cr 含量以及 PQ 指标在标准范围内。
- (2) 检查输出级以及输入级齿轮齿轴齿轮级中间级伞齿轮组，只有正常啮合痕迹。先前出现问题的输出级齿轴在啮合区域没有再出现点蚀区域，如图 7 所示。



图 7 问题齿轴试验后齿面外观

(3) 检查所有滚动轴承，无磨损。滚子轴承内外圈没有明显的磨损痕迹。

综上，根据拆解结果，箱体内的零部件没有发现异常，在现场发生问题的同样的型号再更严格的工况下没有出现润滑油颜色异常以及齿轴表面积点蚀情况。

5 结语

本次的优化设计始于直交轴式减速电机在用户现场发生的噪音、温升过高的宏观失效问题，通过逐步对根本问题进行剖析，从齿轮微观层面解决了这个问题。整个过程中得到如下结论：

- (1) 减速机在运行一段时间后发生噪音过大、温度过高问题，很大可能伴随内部零部件失效，尤其是润滑油变质、齿类零件的过度磨损情况；
- (2) 承载端齿类零件失效风险非常大，虽然宏观强度校核可以解决这一问题，但是一些恶劣工况下需要在宏观校核前提下利用的修形来增强寿命；
- (3) 对斜齿轮的螺旋角及压力角的修正可以在一定程度上改善齿面应力分布载荷，提高齿面接触强度。

到此，基于失效对减速电机的优化设计介绍完毕。在产品的研发初期，由于多种因素制约不可能考虑所有的工况条件，大多是采用极限法来进行评估，这就需要后期根据工况的变化来进行闭环的完善优化，本次优化过程也给后续相关产品开发和优化提供了思路和经验。

参考文献:

[1] ISO/TR 14179-2:2001(E), Gears-Thermal capacity part 2: Thermal load-carrying capacity[S].
 [2] ISO 281:2007, Rolling bearings Dynamic load ratings and rating life[S].
 [3] ISO 76:2006/AMD 1:2017, Rolling bearings — Static load ratings[S].
 [4] JB/T 5558-2015, 减(增)速器试验方法[S].