

气动助力机械手的设计及平衡力分析

■ 大连营辉机械制造有限公司 (辽宁 116000) 韩建亮

摘要: 本文简要介绍了自行设计制造的气动助力机械手的机械结构及气控原理,通过Excel详细计算了机械手在运动过程中的平衡力大小,并运用VBA编程,模拟出运动过程中平衡位置对应平衡力的关系图,找到了最佳的结构及使用状态。

我公司现需要设计一台辅助设备夹持重量在15~60kg的电力矩扳手,将其精确移载,能够在有效范围内平稳的提升、下降或平移。

经过反复的研究对比,决定借鉴气动助力机械手的结构,自行开发设计一套符合使用工况的助力机械手。气动助力机械手(又称反力臂、平衡器、平衡吊、气动助力器、手动移载机等)是一种运用负载检测及气压反馈原理对重物实现自动平衡的设备。它

巧妙地应用力的平衡原理,使操作者对重物进行相应的推拉,实现在空间内平衡移动,并通过实施很小的操作力(行业内以小于2.5kg为判断标准)破坏其气压平衡,将重物高效快速地从一个工位移到另一个工位。另外该机械手制造成本低廉,操作使用简单,不需电驱动,仅靠气体就可实现半自动化。

1. 结构设计方案

根据作业场地条件,我们决

定采用立柱式直接连接于地面的方案,如图1所示。主体有两个机



图1 结构设计方案

束后,再通过VEIRCUT软件中的AUTO-DIFF功能进行比较,将仿真加工后的模型与零件的原始模型进行比较,可以查看两者在哪些区域有过切或欠切现象产生。如果有过切或欠切区域,通过点击生成报告,则会给出自检报告,显示出错的次数以及程序号、过切位置及过切坐标点等相关信息,从而对相应的程序进行调整。

4. 加工验证

在程序经过NX软件后置处理,VERICUT软件仿真确认没有过切、碰撞的情况下,在五轴加

工中心C40U进行了试加工验证。零件试加工完毕后,叶形做三坐标计量。计量结果显示:叶形符合设计图样规定的公差要求。零件抛光后的效果如图9所示。

5. 结语

经过NX生成程序,在

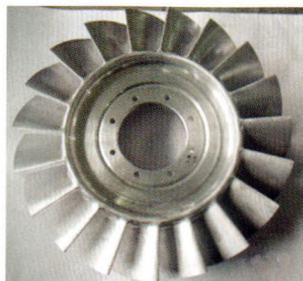


图9 零件最终抛光后的效果

VERICUT实体仿真切削验证正确后,毛坯在五轴机床上进行试切加工。加工后的零件经尺寸、位置度检验和叶形的三坐标计量符合图样要求,确定为合格零件。证明了程序编制的正确性和加工的可行性。

参考文献:

- [1] 文杰书院. UG NX 8.5中文版基础教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2014.
- [2] 杨胜群. VERICUT数控机床加工仿真技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2010.

MW (收稿日期: 20161225)

机械臂，三个旋转关节。立柱与大臂可旋转 300° ，大臂与小臂可旋转 300° ，小臂可上下摆动 $30^\circ \sim 44^\circ$ （由气缸行程决定）。如图2所示的小臂四连杆机构由气缸驱动实现机械手的上下运动，有效保证了力矩扳手在起升过程中状态的一致性。机械手前部为连接法兰，用来夹持力矩扳手。工作时，操作人员将机械手拉到工作区域，操作该扳手完成工作。结束后操作人员稍微施加外力，通过两个旋转关节上的复位装置自动返回原位，进入固定装置中。电动力矩扳手为某品牌外购件，在这里不对其进行过多描述。

2. 气控系统

如图3所示连接气路，注意将精密调压阀3处于关闭状态，此时与阀7、换向阀9处于断路，整个

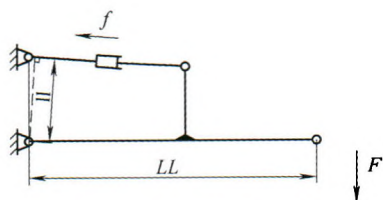


图2 小臂四连杆机构及受力图

机械手处于自锁状态。当通入气源后，只有气管5有气进入，与阀7、换向阀9仍不工作，机械手同样处于自锁状态。当调节精密调压阀3的压力调节旋钮，压力表数值逐渐增大。气管4、5同时输出气体，与阀7打开工作（取低压输出），气缸8处于工作状态。继续调节精密调压阀3直至负载与气缸8气缸输出力达到平衡，使小臂处于“悬浮”状态。此时整个系统已调节好，使用时只需拉动操作工具到需要位置即可。该气路系统最主要的优点是与阀7、换向阀9的配合使用，当不接气源或只有单一气路输出时锁闭气缸，力臂不会因漏气等原因下降，保证了整个系统时刻处于安全状态。

3. 平衡力计算与分析

负载重量确定后，将主体结构设计了三种规格，来满足不同的承重要求。选择了三个型号的普通气缸，缸径分别为 $\phi 60\text{mm}$ 、 $\phi 80\text{mm}$ 和 $\phi 100\text{mm}$ 。各结构尺寸初步确定后，最为关键的是保证整个运动过程平稳、操作负载均

匀、实现任意调整且达到最优的使用效果。通过几何推倒与计算分析，利用Excel辅助VBA编程，实现数据的自动计算及分析。

以缸径为 $\phi 100\text{mm}$ 标准型气缸为例，介绍一下计算步骤及模拟方法。图4所示为 $\phi 100\text{mm}$ 气缸对应的机械手小臂端结构尺寸简图（大臂只增加范围，不影响平衡力），O为坐标原点，粗实线为起始位置，双点划线为运动过程的任意位置。

（1）计算：已知前支点高度 $a=253\text{mm}$ ，后支点高度 $b=305\text{mm}$ ，前支点水平位置 $d=547.4\text{mm}$ ，小臂长 $L=1000\text{mm}$ ，缸径 $d_c=\phi 100\text{mm}$ ，活塞杆直径 $d_p=\phi 25\text{mm}$ ，压力表数值 $P=0 \sim 0.6\text{MPa}$ （启动压力 0.02MPa ，推荐压力 $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$ ），气缸伸长量 $e=0 \sim 150\text{mm}$ 。

经计算，起始位置前后支点距离 $c=\sqrt{(b-a)^2+d^2}=549.86\text{mm}$ ，原点到前支点距离 $r=\sqrt{a^2+d^2}=603.04\text{mm}$ ，气缸前支点到后支点距离 $R=c+e$ ，起始前支点与小臂夹角 $aa=\arcsin(a/r)=24.81^\circ$ ，前支点运动y坐标 $y=a^2-e \times c/b-e^2/2b$ ，前支点与小臂夹角 $bb=\arcsin(y/r)$ ，前支点相对起始位置夹角

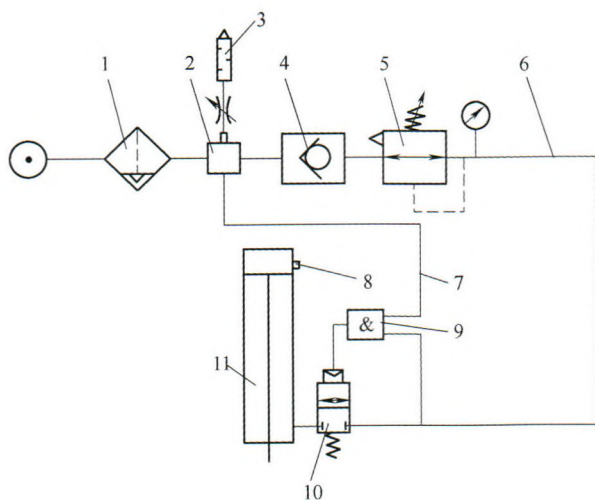


图3 气控原理图

1.过滤器 2.四通 3.节流消音器 4.单向阀 5.过滤器 6、7.气管 8.消音器 9.与
10.换向阀 11.气缸

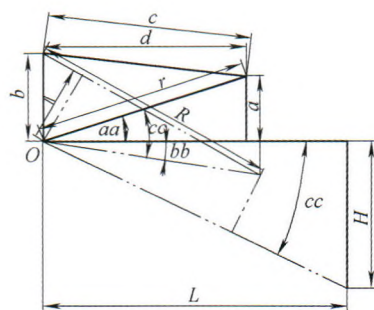


图4 气缸运动几何关系简图

变化值 $cc=aa-bb$ ，小臂前端下降量 $H=L \times \sin cc$ ， $p=(b+R+r)/2$ ， $S=\sqrt{p(p-b)^2 \times (p-R)}$ ，气缸力矩 $ll=2S/R$ ，小臂前端 x 坐标 $LL=L \times \cos cc$ ，气缸拉力 $f=0.25P \times \pi(dc^2-dp^2)$ ，根据杠杆原理： $f \times ll=F \times LL$ ，所以 $f=F \times LL/ll$ 。

在Excel中编辑以上公式，任意输入图5所示各已知参数，便可自动计算出气缸拉力及平衡位置等参数，通过对不同参数的试验，寻找其中规律，确定最终的数值。若气缸伸长量在0~150mm范围内连续取值，会得到各参数的一组数据，利用该组数据可以描述出相关曲线，确认平衡力的趋势。Excel可以自动处理数据，挑出最大值、最小值、平均值等，并将各数值描绘为曲线，将极值标在曲线上，非常方便和直观。

1	变量	数值	备注	计算
2	a:	253.00	前支点高度	
3	b:	305.00	后支点高度	
4	d:	547.40	前支点位置	气缸行程 150
5	e:	150.00	气缸行程	计算步距 1
6	L:	1000.00	臂长	
7	P:	0.30	空气压力	
8	dc:	100.00	缸径	
9	dp:	25.00	活塞杆径	
10				
11	o:	549.86	最大平衡力	671
12	y:	-54.31	最大力位置	0
13	r:	603.04	最小平衡力	660
14	R:	699.86	最小力位置	303
15	aa:	24.81	平均平衡力	663
16	bb:	-5.17	平均力位置	
17	cc:	29.97	平衡力偏差	±7.43
18	H:	500	平衡力偏差	1.12%
19	p:	803.95		
20	S:	91589.70		
21	ll:	261.74		
22	LL:	866.26		
23	f:=	2208.93	气缸拉力	
24	F:=	667.41	平衡力	
25				

图5 Excel计算演示图

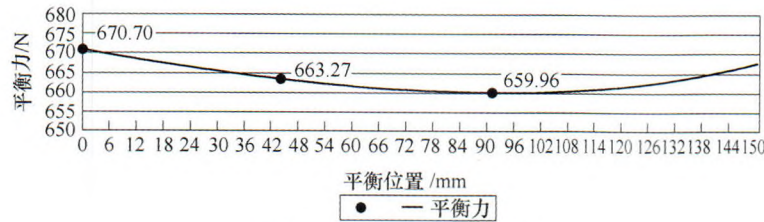


图6 平衡力与平衡位置关系

(2) 数据分析：各参数通过Excel计算得出后，需要进一步确定气缸运动到每个位置的平衡力大小，并找出极大、极小值。由此可以判断出气缸运动过程力输出的平稳性，进而验证结构设计的合理性。我们在Excel上编制了VBA语句。将“气缸行程”设为150mm，“计算步距”设为1，代表将气缸等分为150份，即气缸每伸出1mm运算一次。单击计算后，开始运算并采集数据，得出每个位置对应的平衡力大小。平衡力数据进而关联到图表选项中，自动生成平衡力与平衡位置的关系图。如图6所示，非常直观的看到，最大平衡力发生在起始位置，最小平衡力大致位于运动的2/3阶段，平衡力范围为660~671N。虽然总体成曲线分布，但偏差不大，平衡力输出相对稳定，验证了该结构可实现平衡要求。平衡条件为：平衡力 F =小臂自重+气缸自重+操作部分重量。

获得了上述结论后，确定几个关键参数对最终性能的影响：①前支点水平位置 d 决定了水平下降量 H 及前支点相对起始位置夹角变化值 cc ， d 越大，平衡力偏差越小。②气缸伸长量 e 越大平衡力越大，平衡力偏差也大。③压力表数值 P 越大平衡力越大，至气缸完全拉回到起始位置。此时继续增大，想要机械手向下运动，

只能靠外加负载破坏平衡。

4. 结语

通过Excel自动计算，并编写简单的VBA语句，轻松的获得了所需的平衡力、平衡偏差和极值等数据，避免了繁琐的计算过程，为设计工作提供了准确的依据，利用该方法可以为设计的计算工作带来极大便利，特别适用于新结构的设计计算。目前制造的三种型号的气动助力机械手已在我公司投入应用。经过测量，操作时最小驱动力仅为1.5kg，优于行业标准，接近理论值，且制造成本控制较好，仅为采购设备的1/2。该机械手大大减轻了工人的劳动强度，提高了生产效率和自动化程度。

未来我们将运用以上设计思路进一步拓宽气动助力机械手使用领域，通过使用先导调压阀及“或”阀优化气路，并辅助其他机械结构，适应不同工位角度及重量可变的负载，广泛应用于搬运、码垛、翻转及上下料等工作中。

参考文献：

[1] 成大先.机械设计手册[M].北京：化学工业出版社，2002.
[2] 朱耀详，浦林祥.现代夹具设计手册[M].北京：机械工业出版社，2010.
[3] 肖立军，米学宁.气动平衡助力机械手的原理及应用[J].制造业自动化2011，33（6）.
[4] SMC(中国)有限公司.现代实用气动技术[M].北京：机械工业出版社，2008.

MW（收稿日期：20170113）