

液压挖掘机结构应力测试研究

Research on Structural Stress Measurement of Hydraulic Excavator

黄武勇 赖其勇 周草草 刘兴鑫

Wuyong Huang Qiyong Lai Caocao Zhou Xingxin Liu

广西柳工机械股份有限公司 中国·广西柳州 545007

Guangxi Liugong Machinery Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi, 545007, China

摘要: 液压挖掘机工作装置、回转平台以及行走架都比较大,目前很少能在台架上进行应力测试和疲劳寿命试验,尤其是中大型挖掘机。而受工艺、材料等影响,有限元分析并不能完全替代结构件实际受力情况,所以常规在整机上进行应力测试是验证结构设计合理性的重要方法,也是了解工作装置受力情况的重要途径之一。而在整机上进行应力测试有太多不确定因素,尤其是动态应力测试,影响数据的再现性和一致性等。所以在应力测试过程中,通过加入油缸位移、液压系统执行元件压力、关键部位振动加速度等辅助参数,提升测试的一致性,很大程度上提高了测试的准确性和有效性,尤其是静应力测试。

Abstract: The working device, rotary platform and walking frame of hydraulic excavator are relatively large. At present, few stress tests and fatigue life tests can be carried out on the bench, especially for medium and large excavators. Due to the influence of process and materials, finite element analysis can not completely replace the actual stress condition of structural parts, so conventional stress test on the whole machine is not only an important method to verify the rationality of structural design, but also one of the important ways to understand the stress condition of working device. There are too many uncertain factors in the stress test on the whole machine, especially the dynamic stress test, which affects the reproducibility and consistency of the data. Therefore, in the process of stress test, auxiliary parameters such as cylinder displacement, hydraulic system actuator pressure and vibration acceleration at key parts are added to improve the consistency of the test and greatly improve the accuracy and effectiveness of the test, especially the static stress test.

关键词: 应力测试; 一致性; 辅助参数; 准确性

Keywords: stress test; consistency; auxiliary parameters; accuracy

DOI: 10.12346/etr.v3i8.3999

1 引言

液压挖掘机主要结构一般分为工作装置、回转平台、行走架等,其结构疲劳寿命直接影响到挖掘机的使用周期以及安全性能等,所以各关键结构的疲劳寿命尤为重要。为进行挖掘机结构应力测试方法的研究,在各个机型上进行应力测试验证,将挖掘机结构应力测试方法与有限元分析相结合,充分验证其结构应力情况及疲劳寿命周期。从有限元分析到应力测试,对挖掘机工作装置、回转平台、行走架等结构进行充分应力测试,再通过应力测试结果结合有限元分析,可以更加准确地识别结构件的受力情况。

结构件的应力集中情况直接影响其疲劳寿命周期,所以应力测试数据的准确性和有效性就尤为重要。论文即在应力

测试过程中,对应力测试方法进行研究改善,从位移、压力、振动等方面提升测试的一致性,提高测试的准确性等。应力测点的选择布置,是否能够直观反应实际受力大小及趋势,是准确识别结构受力情况的关键。论文通过多个测点的测试,将测试结果与有限元分析结果对应,结果发现,各测点的测试结果与有限元分析结果趋势一致,一方面能够反映测试的一致性和准确性,另一方面能够准确地识别出结构件的应力集中区域。由于实际加载的负荷与有限元分析加载有理论性和实际上的差异,实际加载不能保证每次加载的统一,所以测试值和有限元分析结果会存在偏差,通过增加油缸位移、液压系统执行元件压力、关键部位振动加速度等辅助参数,在13~90t级别挖掘机进行测试,且通过多次测试后发现,

【作者简介】黄武勇(1992-),男,中国广西柳江人,本科,助理工程师,从事挖掘机试验技术研究。

测试值和有限元分析能够保持良好的一致性，从而直观反应结构的应力受力情况。在挖掘机应力测试方法研究上也是有了进一步的提升，为工程机械应力测试提供参考依据^[1]。

2 应力测试工况

应力测试是通过对机器在工作状态下结构件的应变进行测量，并计算出应力的过程^[1]。结构应力测试有静态应力测试和动态应力测试。静态应力测试是在结构件承受载荷处于恒定状态或对特定状态下的应变进行采集，得出单一应力值。动态应力测试是指机器在典型工况下，结构件承受的载荷在测试期间随时间明显变化，在结构件上产生的应力也相应发生明显变化。对过程的应变进行连续采集，并得出应力值随时间变换或空间变化的坐标数据^[2]。

3 油缸位移与静态应力测试研究

挖掘机油缸位移是确定工作装置位置姿态的关键参数，从各个油缸位移参数可以判断受力时斗杆、动臂及铲斗的位置，结合挖掘机姿态关键参数的控制，提升测试结果的一致性。所以在测试时，将油缸位参数值调整至相同数值，确保测试的一致性。

如图 1 所示，为某机型挖掘机工作装置静态应力测试数据，该测试为铲斗挖掘工况静态应力测试。从图 1 中可以看出，当工作装置受力时，应力值随铲斗油缸位移变化而变化，具体的数据如表 1 所示。

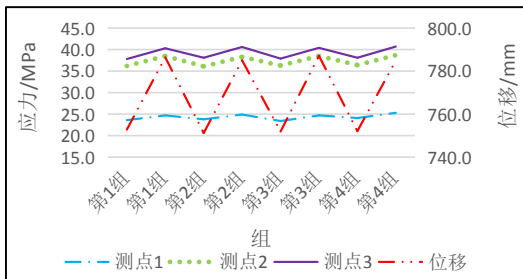


图 1 某机型静态应力测试及油缸位移数据

表 1 某机型静态应力测试及油缸位移数据

项目	位移 / mm	测点 1 / MPa	测点 2 / MPa	测点 3 / MPa	位移 / %	测点 1 / %	测点 2 / %	测点 3 / %
第 1 组	752.8	23.6	36.2	37.8	4.46%	4.66%	6.35%	6.61%
第 1 组	786.4	24.7	38.5	40.3	4.50%	4.62%	6.09%	6.56%
第 2 组	751.2	23.8	36.1	38.1	4.68%	4.70%	6.06%	6.60%
第 2 组	785.0	24.9	38.3	40.6	4.36%	4.56%	6.32%	6.54%
第 3 组	751.9	23.4	36.3	37.9	4.36%	4.56%	6.32%	6.54%
第 3 组	787.1	24.5	38.5	40.4	4.36%	4.56%	6.32%	6.54%
第 4 组	752.1	24.1	36.4	38.2	4.36%	4.56%	6.32%	6.54%
第 4 组	784.9	25.2	38.7	40.7	4.36%	4.56%	6.32%	6.54%

从表 1 测试的结果看，各测点应力值随位移变化的具有一定比例，测试结果具有良好的一致性，且差异小。工作装

置在不同姿态下受力情况有所不同，而通过油缸位移参数可以确定工作装置的位置情况，从而判断应力值的变化是否是油缸位移发生变化而导致的，排除静态应力测试时，油缸位移对测试的影响，进而提高测试的准确性。

4 液压系统执行元件压力与静态应力测试研究

液压挖掘机液压系统执行元件如马达、油缸等在不同压力下输出的扭矩和推力也不同，所以除了确保每次测试姿态的一致性，还需要增加关键的液压系统执行元件压力，了解其压力对测试应力值的影响。

如图 2 所示，为某机型挖掘机工作装置静态应力测试斗杆油缸压力以及应力数据，该测试为斗杆挖掘工况静态应力测试。从图 2 中可以看出，当调整油缸压力变化时，其应力值也随之变化，具体的数据如表 2 所示。

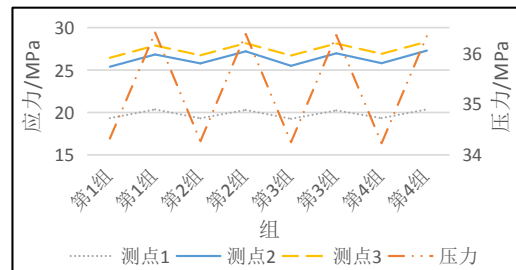


图 2 某机型静态应力测试及油缸压力数据

表 2 应力和压力数据

项目	压力 / MPa	测点 1 / MPa	测点 2 / MPa	测点 3 / MPa	压力 / MPa	测点 1 / %	测点 2 / %	测点 3 / %
第 1 组	34.3	19.3	25.4	26.4	6.07%	5.31%	5.68%	5.48%
第 1 组	36.4	20.4	26.8	27.9	6.14%	5.07%	5.50%	5.31%
第 2 组	34.3	19.3	25.8	26.7	6.14%	5.13%	5.77%	5.30%
第 2 组	36.4	20.3	27.2	28.2	6.16%	5.31%	5.75%	5.29%
第 3 组	34.2	19.3	25.5	26.7	6.16%	5.31%	5.75%	5.29%
第 3 组	36.4	20.2	27.0	28.1	6.16%	5.31%	5.75%	5.29%
第 4 组	34.2	19.3	25.8	26.9	6.16%	5.31%	5.75%	5.29%
第 4 组	36.3	20.4	27.3	28.3	6.16%	5.31%	5.75%	5.29%

测试结果表明，当压力按一定变量增大时，各测点应力值也按一定比例增大。经过 13~90t 多个机型的反复验证，得出相同的结论。所以将液压系统执行元件压力数据作为必要的辅助参数加入到应力测试当中，提高应力测试的一致性和准确性^[3]。

5 振动加速度与动态应力测试研究

冲击测试作为动态应力测试的一种工况，在冲击测试中，增加振动加速度测试，从各次测试冲击量确保输入量的一致性，保持数据的重复性和再现性，如图 3 所示为某机型冲击测试应力与振动加速度关系。

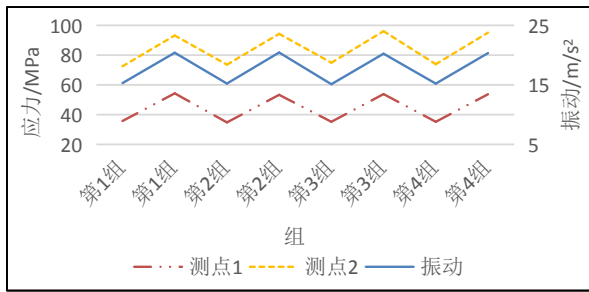


图3 应力与振动加速度关系

从图3中可以看出,当振动量增大时,应力值也相应变大,具体的数据如表3所示。

表3 应力与振动加速度数据

项目	振动 /m/s ²	测点 1/MPa	测点 2/MPa
第1组	15.3	35.7	72.5
第1组	20.4	54.3	93.2
第2组	15.2	34.8	73.6
第2组	20.4	53.3	94.3
第3组	15.1	35.2	74.9
第3组	20.2	53.8	96.1
第4组	15.2	35.2	73.9
第4组	20.3	53.7	95.1

从表3数据可以看出,测试的应力值随振动加速度变化算而变化,测试结果表明应力值与振动加速度具有一定的关联性,所以增加振动加速度测试可以作为冲击应力测试数据一致性的一个判定条件^[4]。

6 应力测试与有限元分析对比验证

综合上述加入的各辅助参数,对13~90t级别挖掘机进行应力测试,将测试值与有限元分析对比验证,如图4所示,为某机型斗杆的有限元分析。

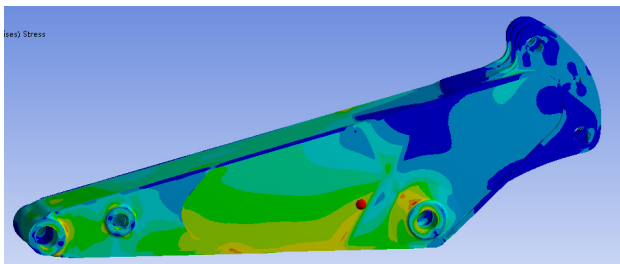


图4 某机型斗杆有限元分析

结合各辅助参数,将测试姿态、输出压力、挖掘力等参数调整至与有限元分析输入一致,同时采集振动加速度数据,确认整机晃动情况等。在13~90t多个机型进行测试验证,将测试值与有限元分析结果对比。以某机型斗杆为例,有限元分析如图4所示,对应选取测点X1到X14共14个测点进行静应力测试验证,测试结果如表4所示。

表4 某机型斗杆静应力测试与有限元分析(单位:MPa)

测点	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
有限元	35.1	46.5	-114.1	-100.9	16.8	-74.4	-52.3
均值	34.9	47.3	-114.6	-100.9	15.6	-75.4	-51.8
测试1	36.2	48.5	-116.1	-101.7	15.2	-76.2	-50.7
测试2	33.0	46.4	-113.1	-101.6	16.2	-74.7	-52.8
测试3	35.5	46.9	-114.5	-99.5	15.6	-75.3	-51.9
测点	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
有限元	-13.6	18.7	20.3	26.9	23.1	42.9	-44.6
均值	-13.8	18.5	21.0	27.0	23.3	42.7	-44.7
测试1	-13.7	17.9	19.9	26.7	22.7	43.2	-46.6
测试2	-13.8	18.8	22.0	27.5	21.8	42.7	-43.2
测试3	-14.0	18.7	21.2	26.7	25.6	42.1	-44.2

从表4中可以看出,当严格控制应力测试各辅助参数时,测试结果一致性非常好,同时多次测量取均值后与有限元分析结果吻合度非常高。如果经过多次测试后得出的数值一致,将对差异性较大的有限元分析值进行修正,作为计算其疲劳寿命的输入,其数值拟合如图5所示。

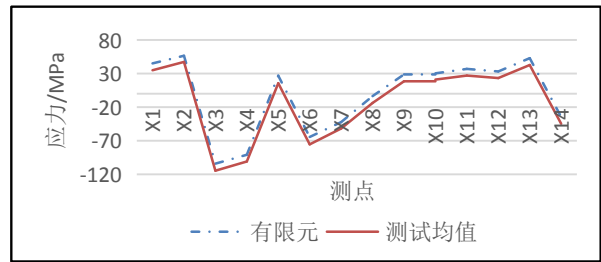


图5 某挖掘机斗杆应力测试与有限元分析对比

将有限元数值均加上10,将两条曲线错开。从图5拟合图中可以看出,不管是各次测试值还是平均值,与有限元分析结果都非常接近,一致性也很好。同时验证了增加各测试辅助参数的必要性,提高了测试的准确性及有效性。通过上述的辅助参数,可以判断在测试过程数据是否存在异常情况,对数据进行更精确地筛选分析,有效地避免、减少不必要的重复测试^[5]。

7 实际挖掘工况动态应力测试

一般的应力测试都是静态应力测试和动态的冲击应力测试,而动态应力测试中,最为复杂的是实际作业过程中的应力测试。实际作业过程中,挖掘机工作装置姿态、液压系统各执行元件的压力以及各操作人员操作习惯导致的振动等因素具有不确定性,通过加入相关的辅助参数监控,可以判断数据的有效性。如图6所示,为某机型实际挖掘应力测试曲线数据,上中下三条曲线分别为微应变($\mu\epsilon$)、压力(MPa)、位移(mm),横坐标为时间(s)^[6]。

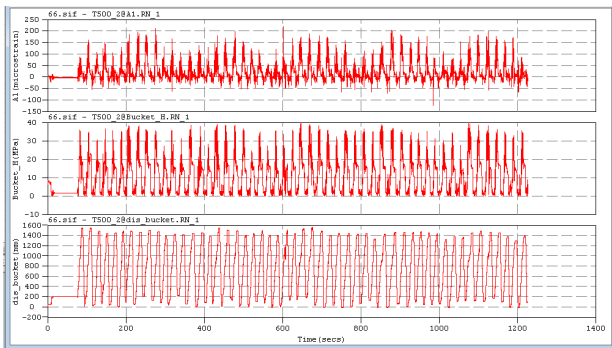


图6 某机型实际挖掘应力测试曲线数据

从图中我们可以看出,实际作业过程中的数据不像静态应力测试数据和冲击应力测试数据那样一致,在极端姿态、压力异常、振动大等情况下,应变值会有较大的差异,但绝大部分数据都有一定的规律性。

应力测试采集数据为应变,应力与应变的关系式如下^[7]:

$$\sigma = E\varepsilon$$

其中, σ 为应力; E 为弹性模量; ε 为应变。

8 结语

挖掘机应力测试是挖掘机结构件疲劳寿命分析数据的主

要来源之一,数据的准确性和有效性直接影响分析结果。在应力测试过程中,通过加入油缸位移、液压系统执行元件压力、关键部位振动加速度等辅助参数综合分析,且在13~90t多个机型进行验证,通过测试数据表明,有效地提高了测试的一致性,很大程度上提高了测试的准确性和有效性^[7]。

参考文献

- [1] 仇伟,马连刚.赤泥与磷石膏制备胶凝材料的激发研究[J].广东化工,2021,48(14):34-36.
- [2] 王海玲.液压挖掘机工作装置应力测试与有限元分析[J].机械工程与自动化,2020(1):49-51.
- [3] 冯豪,杜群贵,孙有平.基于子模型的挖掘机结构瞬态动力学研究[J].华南理工大学学报(自然科学版),2018,46(3):29-34+57.
- [4] GB/T 33941.3—2017 土方机械结构件应力测试方法第3部分:装载机、挖掘机和挖掘装载机的的工作装置和附属装置[S].
- [5] GB/T 33941.1—2017 土方机械结构件应力测试方法第1部分通则[S].
- [6] 任志贵,陈进,王树春,等.液压挖掘机的动应力测试与瞬态分析[J].华南理工大学学报(自然科学版),2014,42(1):22-28.
- [7] 傅顶和.液压挖掘机工作装置强度测试分析[J].建设机械技术与管理,2011,24(8):99-101.

(上接第13页)

用电机具设备的绝缘性能,防止漏电触电事故发生^[3]。

⑥当桩孔开挖深度超过5m时,每日班前要用气体检测仪放入孔内检测有无毒害气体或者二氧化碳等不可呼吸气体,检查无误后仍要利用鼓风机或空压机向孔内送风至少5min,风量不宜少于25L/min,使孔内混浊空气排出;且开挖过程中不断向孔内输送新鲜空气,一般至少2人同时进行(孔外必须设置一人值守),孔外操作人员需定时联系孔内操作人员,防止意外发生,定时换岗。

⑦孔内必须设置应急爬梯,以防止施工过程中停电或者其他紧急状况。

5 结语

西固黄河大桥3号墩桩基采用水磨钻工艺得到良好的效果,总结出以下结论:

①当施工场地狭小,且大型成孔设备无法进场时,可采

用水磨钻进行施工。

②水磨钻施工工艺适用于对震动干扰较敏感结构物附近的桩基施工,以及对噪音控制很严格区域(如临近铁路既有线、市政工程施工等)。

水磨钻工艺具备诸多优点,但施工过程中小型机具较多,管线较多(水磨钻进水管、电源线、照明电源线、供水泵电源线水管等),做好绝缘防护措施,防止触电事故,施工前应进行合理的规划,保证现场文明施工。

参考文献

- [1] 王东.水磨钻在既有有线市政道路桩基施工中的应用[J].路桥建设,2015(1):22-23.
- [2] 叶年进.水磨钻在铁路桥梁桩基施工的应用[J].工程建设,2014(2):34-35.
- [3] JTG/T F50—2011公路桥涵施工技术规范[S].