

高地隙喷杆喷雾机底盘可靠性试验*

杨方飞 韩小进 段垚奇 田永卫 闫楚良
(北京飞机强度研究所,北京 100083)

摘要: 对高地隙喷杆喷雾机底盘结构可靠性进行了有限元仿真和实测试验,计算了底盘结构薄弱部位的积累损伤。基于 ANSYS 有限元软件分析底盘结构的应力分布并确定结构薄弱部位。对喷雾机底盘进行载荷谱实测试验,绘制了结构测试部位在典型使用工况下的载荷-时间历程。利用有限元软件计算结果,建立测试部位和薄弱部位载荷之间的关系方程。结合实测数据得到底盘薄弱部位的载荷-时间历程,采用雨流法进行数据统计处理,基于 Miner 线性损伤法则计算各个典型工况下底盘薄弱部位的积累损伤,根据喷雾机工作实际使用情况对典型工况下的损伤加权平均,得到底盘结构的实际使用寿命。

关键词: 喷雾机底盘 有限元 载荷谱 可靠性 损伤

中图分类号: S126; TB115 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)10-0073-05

引言

底盘是自走式喷雾机最主要的承力和传力部件,其可靠性的高低直接影响着整机的质量和使用安全^[1]。对农机底盘结构危险部位和积累损伤进行研究,具有重要的理论意义和工程价值^[2-3]。在底盘结构的失效形式中,应力集中区域局部的疲劳破坏是主要失效形式之一。自走式喷雾机在田间作业时,工作环境恶劣,在作业过程中底盘承受的载荷十分复杂^[4]。目前对底盘结构分析大多采用有限元软件进行力学计算^[5-8],无法准确仿真真实底盘结构在实际使用情况下复杂的受载形式。要合理地对待底盘结构的疲劳可靠性进行评定,必须对结构整体的载荷-时间历程进行实测和统计处理^[9-10],从而进行损伤计算,实现寿命估算。通过试验手段进行载荷谱实测可能会遇到无法确定应力集中部位,或者薄弱部位在结构内部无法直接布置测试仪器等问题。

本文以高地隙喷杆喷雾机为研究对象,采用有限元分析与载荷谱实测试验相结合的方法,对喷杆喷雾机薄弱部位的寿命进行预测。通过有限元软件确定结构薄弱部位,采用虚拟标定技术建立实测部位和薄弱部位载荷之间的关系方程,结合实测部位的实测数据得到薄弱部位的载荷-时间历程。将数据进行统计处理和损伤折算,最终得出典型使用情况下高地隙喷杆喷雾机实际使用时的损伤积累情

况。根据分析结果,给出喷雾机的使用建议和检修周期。

1 高地隙喷杆喷雾机底盘应力分布

对高地隙喷杆喷雾机底盘进行有限元仿真,可分析结构的受力情况,得出结构的应力集中部位,从而有效地预判结构薄弱部位,既为喷雾机的底盘测试应变计布置方案提供参考,又可以在喷雾机实际作业过程中对这些部位进行重点检查,防止结构发生破坏。

喷雾机底盘结构如图 1 所示。为了提高有限元计算效率,降低计算机负荷,将支腿与底盘车架分开,对二者分别进行受力分析,利用 ANSYS 软件计算结构受力分布情况和结构薄弱部位。结构材料为 35 号钢,采用八节点六面体单元对支腿和底盘车架进行有限元分析。

1.1 驱动轮支腿有限元分析

对计算模型进行简化,将机轮、轮轴以及液压驱动装置等非主要承力结构去除,仅对驱动轮支腿结构进行分析。底盘支腿与车架材料相同,假设结构满足胡克定律,变形均在线弹性范围内,对支腿结构进行有限元静力分析。

将支腿与底盘车架结合处固支约束,在支腿底面分别施加纵向、侧向和垂向 3 个方向的单向载荷 1 000 N,共计 3 个工况作为标定工况(记为工况 1~3)。分别计算支腿结构在各种载荷工况下的应变。

收稿日期: 2013-11-15 修回日期: 2014-01-14
* “十二五”国家科支撑计划资助项目(2011BAD20B01)
作者简介: 杨方飞,研究员,主要从事农业机械数字化设计与仿真研究,E-mail: Kingyff@163.com

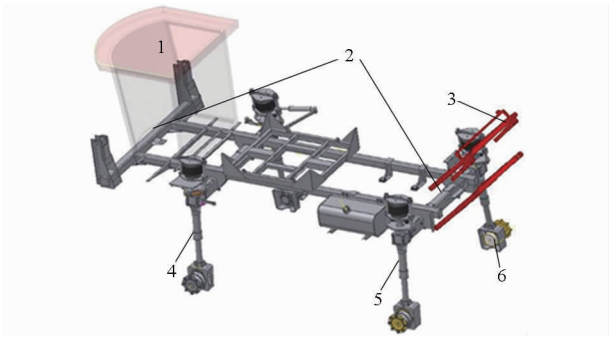


图 1 高地隙喷雾机底盘模型

Fig. 1 Model of high clearance sprayer chassis

1. 驾驶室 2. 车架前梁和后梁 3. 喷杆 4. 左前支腿 5. 左后支腿 6. 机轮轮轴

根据结构受力情况,对结构底面施加三向载荷(记为工况 4),分析结构应变分布。由图 2 的计算结果可以看出,在三向载荷的作用下,结构的应力集中部位主要分布在机轮支腿与车架结合部位。因此需重点关注该处的结构安全性。

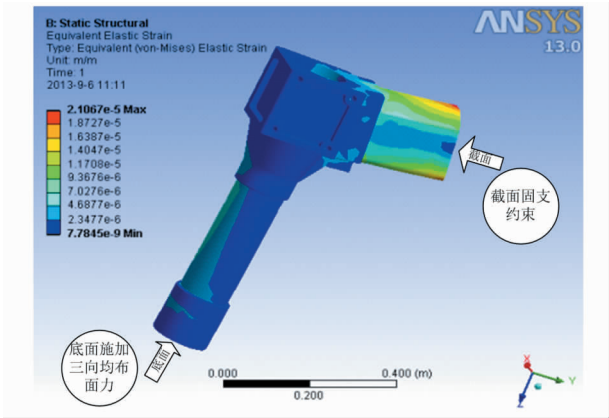


图 2 三向载荷作用下驱动轮支腿应变分布云图

Fig. 2 Strain distribution of pillar under three directional loads

1.2 喷雾机底盘车架有限元分析

控制机轮支腿与底盘车架结合面(图 2)的有限元网格划分,保证二者在截面上的网格完全一致。通过 ANSYS 后处理结果,计算结合面的支反力作为车架的边界条件,即提取支腿模型该截面上每个节点的三向应力,将其施加到车架模型截面上与之对应的节点上。由于支腿的加载点与结合截面有距离,对截面会产生力矩,根据模型尺寸计算支腿底部载荷对结合截面的力矩,并加到结合面上。

考虑喷雾机药箱、驾驶室、发动机、喷杆(全伸展状态)以及结构的自重,将工况 4 的支反力作为边界条件,对底盘车架结构进行有限元计算,计算结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出,车架结构的应力集中部位主要分布在前桥横梁与后桥横梁两端与机轮支腿结合

的部位,这是由于 4 个机轮支腿为整个底盘结构的支撑点,结合部位应力较大。此外,药箱满载时,药箱托架与底盘左、右纵梁结合处的应变较大,特别是纵梁中部上、下表面的弯曲载荷较大,为底盘车架结构的薄弱部位。考虑到喷杆打开后的自重以及弯曲载荷,纵梁后端与后梁结合部位也承受较大的载荷。计算结果与实际情况相符。

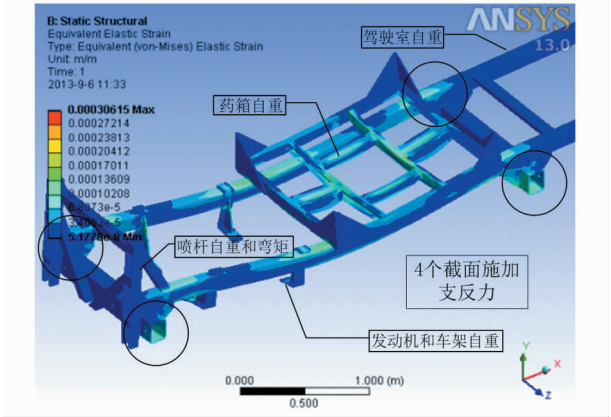


图 3 喷雾机底盘车架应变分布结果

Fig. 3 Strain distribution of sprayer chassis frame

综上所述,通过有限元计算,得出底盘结构的受载分布情况以及结构的关键薄弱部位,与用户反馈的实际情况相符,为喷雾机底盘载荷谱实测试验测试方案提供了参考。

2 底盘载荷实测试验与数据采集

2.1 底盘应变测试参数

根据有限元分析结果,驱动轮支腿上载荷分布均匀,支腿上端载荷相对较大,应变信号敏感,为理想贴片位置。车架前、后梁与支腿结合部位应变较大,但是实际结构此处线路很多且螺钉密集,考虑应变计布置部位的可操作性,选择较为平整的车架前、后梁中部切面作为测试切面,车架左、右梁选取应变较大的中部作为测试切面。在各测试切面布置弯矩测试电桥,测试弯矩并消除拉、压应力的影响。各测试参数部位如图 4 和图 5 所示。

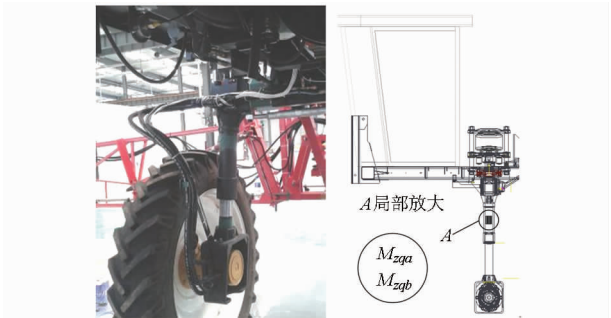


图 4 喷雾机底盘支腿测试参数位置

Fig. 4 Distribution of testing points on sprayer chassis pillar

图中参数命名规则:M 为弯矩,下标前两个字

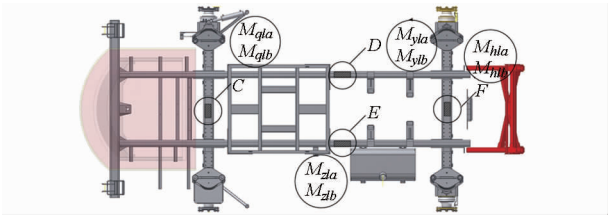


图 5 喷雾机底盘车架所测参数位置
Fig. 5 Distribution of testing points on sprayer chassis frame

母为应变片位置, zq 为左前; yh 为右后; 末字母为同一截面应变片编号: a 、 c 工作桥, b 、 d 备份桥, 例如 M_{zqa} , 为前驱动桥左轮纵向弯矩应变 A ; 下标 l 为梁, ql 即为前梁, 例如 M_{qla} , 为底盘前梁弯矩应变 A 。

2.2 喷雾机底盘典型工况的确定

农业机械的使用状态和作业环境十分复杂, 一次作业无法概括其全部典型工况。在对用户调查和实际作业过程分析的基础上, 确定出喷雾机的各种典型作业工况, 将作业过程分为两种主要作业状态, 即道路行驶与工作状态, 如表 1 所示。其中, 道路行驶速度为 18 km/h, 药箱满载为 3 000 L, 额定喷雾速率为 100 L/min。

表 1 喷雾机作业典型工况

Tab. 1 Typical using conditions of sprayer

工作状态	工作条件	机器状态	储药箱状态
道路行驶	柏油马路	行驶、刹车急停	满载
			空载
			半载
	乡间土路	正常行驶	满载
田间作业	满负荷	额定量直行喷雾	空载
			半载
田间作业	满负荷	额定量直行喷雾	初始满载

针对典型工况进行载荷谱实测试验, 通过有限次的具有代表性的典型工况试验, 经过数据处理后, 编制出全尺寸喷雾机底盘结构疲劳载荷试验谱。

2.3 实测应变-时间历程

将各测量部位的应变计接入数据采集设备, 实时采集每个工况下喷雾机测试部位的应变变化情况。本文以右后支腿为算例, 图 6 为田间喷雾作业工况下测得的右后桥支腿的应变-时间历程, 实测采样率为 100 Hz。

3 基于虚拟标定技术的薄弱部位应变

根据用户反馈和有限元分析结果, 底盘出现疲劳损坏的部位多集中在支腿与车架联接的部位, 该部位的实际结构复杂, 无平整表面, 无法粘贴应变片。因此, 本试验没有对薄弱部位应变进行直接测

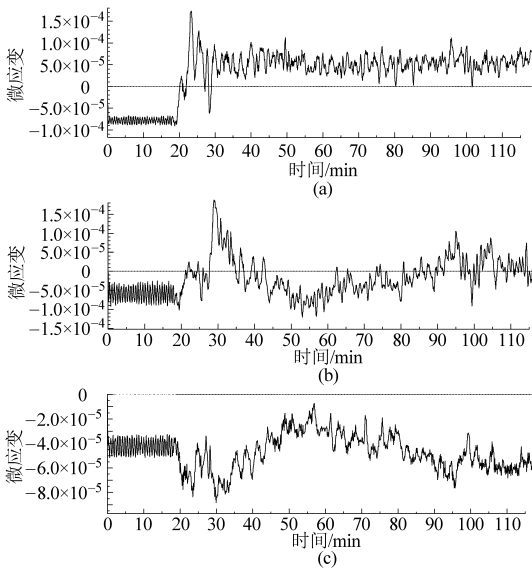


图 6 田间作业工况下右后桥支腿测试点应变-时间历程
Fig. 6 Time-strain history of testing points of the right rear sprayer chassis pillar in field condition

(a) 后驱动桥右轮弯曲应变 (b) 后驱动桥右轮弯曲应变
(c) 后驱动桥右支架弯曲应变

试。

本文采用有限元软件, 提取 3 个标定工况下支腿模型上相应贴片位置和薄弱部位的单元应变, 并转换成测试切面的弯矩应变。通过虚拟标定的方式, 建立贴片位置弯矩应变和薄弱部位 3 个方向应变之间的线性关系, 作为标定方程

$$P = KM \tag{1}$$

以右后支腿与车架结合处为例展开即

$$\begin{bmatrix} P_{yhx1} & P_{yhx2} & P_{yhx3} \\ P_{yhy1} & P_{yhy2} & P_{yhy3} \\ P_{yhz1} & P_{yhz2} & P_{yhz3} \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} M_{yha1} & M_{yha2} & M_{yha3} \\ M_{yhb1} & M_{yhb2} & M_{yhb3} \\ M_{hla1} & M_{hla2} & M_{hla3} \end{bmatrix} \tag{2}$$

式中 P_{yhx1} 、 P_{yhy1} 、 P_{yhz1} ——第 1 个工况薄弱部位 x 、 y 、 z 方向的应变

M_{yha1} 、 M_{yhb1} 、 M_{hla1} ——第 1 个工况, 右后轮和后梁 3 处应变片位置测量方向上的应变

K —— 3×3 的标定系数矩阵

将式(1)通过最小二乘法标定后的系数矩阵 K 的表达式为

$$K = PM^T (MM^T)^{-1} \tag{3}$$

计算得到右后支腿薄弱部位 3 个方向上的应变方程如表 2 所示。其中 P_{yhx} 、 P_{yhy} 、 P_{yhz} 为右后支腿薄弱部位 x 、 y 、 z 方向上的应变。

将实测得到的应变参数代入虚拟标定方程, 通过计算得到右后支腿薄弱部位实际疲劳等效应变 P_{yh} , 其应变-时间历程如图 7 所示。

表2 测试部位和薄弱部位应变关系方程

Tab.2 Relation equation between strain of testing points and weak positions

方向	关系方程
x	$P_{yhx} = 0.214M_{yha} - 0.442M_{yhc} + 1.443M_{hla}$
y	$P_{yhy} = -0.894M_{yha} + 2.47M_{yhc} - 6.113M_{hla}$
z	$P_{yhz} = 0.142M_{yha} - 0.454M_{yhc} + 1.341M_{hla}$

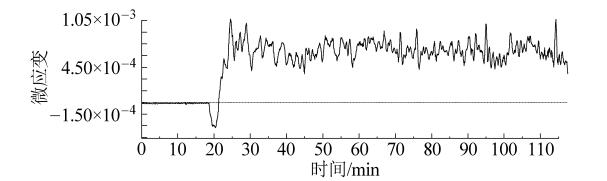


图7 田间作业工况下右后桥薄弱部位等效应变-时间历程

Fig.7 Time-strain history of weak position of the right rear sprayer chassis pillar in field condition

表3 参数 P_{yh} 田间作业工况下雨流计数单参数累加统计结果

Tab.3 Rain-flow counting single parameter cumulative statistics of P_{yh} in field condition

S_a	2.25×10^{-5}	6.75×10^{-5}	1.125×10^{-4}	1.575×10^{-4}	2.025×10^{-4}	2.475×10^{-4}	2.925×10^{-4}	3.375×10^{-4}	3.825×10^{-4}	4.275×10^{-4}	4.725×10^{-4}	5.175×10^{-4}	5.625×10^{-4}	合计
n	57.41	697.26	315.93	150.80	71.00	34.54	21.21	10.64	5.10	0.83	2.31	0.84	0	1367.88

4.2 损伤统计

在实际工程中常用 Miner 线性损伤累积理论^[15-16]来估算结构的疲劳寿命

$$\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = D \tag{5}$$

式中 n_i ——某级应力水平施加的循环数目
 N_i ——该级应力水平下直至发生破坏时所需的循环数目

表4 各支腿薄弱部位的累积损伤

Tab.4 Accumulative damages of weak positions of sprayer chassis pillar

工况	左前支腿 P_{zq}		左后支腿 P_{zh}		右前支腿 P_{yq}		右后支腿 P_{yh}	
	累积损伤	疲劳寿命/h	累积损伤	疲劳寿命/h	累积损伤	疲劳寿命/h	累积损伤	疲劳寿命/h
柏油路空载行驶	7.4×10^{-10}	5.2×10^8	2.7×10^{-8}	1.4×10^7	5.7×10^{-9}	6.8×10^7	7.4×10^{-7}	5.3×10^5
柏油路满载行驶	2.0×10^{-8}	3.9×10^6	6.2×10^{-7}	1.3×10^5	8.8×10^{-8}	9.1×10^5	9.9×10^{-9}	8.1×10^6
柏油路半载行驶	2.4×10^{-9}	4.3×10^7	6.9×10^{-8}	1.5×10^6	5.5×10^{-9}	1.9×10^7	7.6×10^{-7}	1.4×10^5
水泥路满载	1.3×10^{-8}	2.3×10^7	8.2×10^{-7}	3.7×10^5	1.9×10^{-7}	1.6×10^6	3.1×10^{-5}	9.7×10^3
土路空载行驶	3.2×10^{-9}	7.6×10^7	4.1×10^{-8}	5.8×10^6	4.5×10^{-8}	5.3×10^6	8.6×10^{-6}	2.8×10^4
土路满载行驶	2.1×10^{-6}	5.8×10^4	1.6×10^{-5}	7.4×10^3	1.9×10^{-6}	6.3×10^4	4.2×10^{-5}	2.9×10^3
土路半载行驶	7.7×10^{-6}	1.3×10^5	7.7×10^{-6}	1.3×10^4	7.2×10^{-8}	1.4×10^6	8.7×10^{-5}	1.2×10^4
田间直行喷雾	3.9×10^{-8}	3.3×10^7	5.1×10^{-5}	2.6×10^4	5.1×10^{-6}	2.6×10^5	5.0×10^{-6}	2.6×10^4
柏油路空载急停	4.9×10^{-9}	1.0×10^9 次	3.2×10^{-12}	1.5×10^{12} 次	6.2×10^{-9}	8.0×10^8 次	1.9×10^{-10}	2.7×10^{10} 次

4.3 底盘结构可靠性评定

由损伤累积统计结果可以看出：

结构4个支腿根部虽然都为薄弱部位,但是损伤累积不尽相同,后支腿寿命明显低于前支腿,这是由于喷杆处于底盘后部,后支腿载荷较大。结果与

4 试验数据处理和底盘可靠性评定

4.1 试验数据处理

对所有实测参数和计算参数进行雨流计数统计^[11-12],得到各次试验数据的雨流计数统计结果。根据材料可靠性手册^[13]查得结构材料在应力比 $R = -1$,应力集中系数 $k_t = 1$ 的情况下,50%可靠度寿命 $S-N$ 曲线为

$$N(S - 157.51)^{10.2896} = 1.888 \times 10^{28} \tag{4}$$

按照等寿命曲线的古德曼直线形式将载荷谱向均值零进行折算^[14],在等寿命曲线中,静强度极限取 588 MPa。对薄弱部位等效应变参数 P_{zq} 、 P_{yq} 、 P_{zh} 、 P_{yh} 各工况的雨流计数结果进行折算。表3为参数 P_{yh} 在工作状态直行喷雾工况下,11次作业累加统计结果, S_a 为组中值, n 为计数值。

根据材料的 $S-N$ 曲线和单参数雨流计数结果,计算每一级应力水平的损伤并进行叠加,得到各薄弱部位应变 P_{zq} 、 P_{yq} 、 P_{zh} 、 P_{yh} 的累积损伤 D 。由于农机作业一般是以工作小时作为寿命度量,将每次工况作业造成的积累损伤与作业时间的比值 D/t 作为该工况下单位时间的平均积累损伤,其倒数 t/D 即为结构在该工况下的疲劳寿命。计算后得到支腿薄弱部位的累积损伤如表4所示。

实际相符,同时也反映了虚拟标定与实测参数相结合方法的有效性。

累积损伤最大的工况为乡间土路满载行驶,其次为工作状态直行喷雾,因此建议使用时避免药箱满载直接去田间作业,尽量空载去田间附近后再灌

装农药。

根据不同地区实际使用情况,合理分配各个工况所占作业的比例,进行加权平均即可计算出喷雾机的实际使用寿命,本文以喷雾机某次农场作业为算例:空载柏油路行驶往返 1 h、土路 0.3 h,田间工作 2 h,其间到附近的水源地灌装农药,往返空载和满载土路行驶各 0.3 h,其间刹车 28 次,右后支腿最薄弱部位损伤计算结果为

$$D = \frac{1}{5.3 \times 10^5} + \frac{0.3 + 0.3}{2.8 \times 10^4} + \frac{2}{2.6 \times 10^5} + \frac{0.3}{2.9 \times 10^3} + \frac{28}{2.7 \times 10^{10}} = 1.34 \times 10^{-4}$$

该工作状态下喷雾机底盘最薄弱处寿命为 7 437 h。按照喷雾机每月工作 100 h 统计,底盘结构右后支腿与车架联接处在 7 a 以后可能出现疲劳破坏,届时需要对其进行重点检查,发现裂纹及时修复,以延长其使用寿命,保障喷雾机的使用安全。

5 结论

(1) 通过有限元仿真计算结构应力分布,确定底盘结构薄弱部位为支腿与车架联接处,与实际情况相符。

(2) 确定了喷雾机典型使用工况,对底盘进行了载荷谱实测,并绘制了实测应变参数的时间历程。采用虚拟标定技术,得到结构薄弱部位的应变-时间历程。

(3) 对各实测参数及计算参数进行了雨流计数统计,针对高地隙喷雾机各典型的使用工况,对支腿薄弱部位的疲劳寿命进行了估算,结果显示后支腿的受载比前支架严重,并显示出土路满载行驶是最恶劣的载荷使用工况。

(4) 根据实际使用情况,给出典型工作状态下底盘结构的寿命为 7 437 h,给出了该型喷雾机底盘典型工作状态下的检修周期为 7 a。

参 考 文 献

1 王志,阎楚良,牟仁生,等. 联合收割机可靠性评价方法的探讨[J]. 农业机械学报,2002,33(5):51-53.
Wang Zhi, Yan Chuliang, Mu Rensheng, et al. Discussion on evaluation method for reliability of a combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002,33(5):51-53. (in Chinese)

2 田兆峰,阎楚良. 基于资源管理和 Silverlight 的农业装备信息网络平台[J]. 农业机械学报,2008,39(11):151-155.
Tian Zhaofeng, Yan Chuliang. Agricultural equipment information network based on resource management and Silverlight[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(11):151-155. (in Chinese)

3 田志成,王东升,陈英杰. 国内外装载机可靠性与使用寿命分析[J]. 建筑机械,2005,31(11):63-68.
Tian Zhicheng, Wang Dongsheng, Chen Yingjie. Reliability and life analysis of loaders manufactured in domestic and foreign countries[J]. Construction Machinery, 2005,31(11):63-68. (in Chinese)

4 杨方飞,阎楚良. 基于视景仿真的联合收获机虚拟试验技术[J]. 农业机械学报,2011,42(1):79-83.
Yang Fangfei, Yan Chuliang. Virtual test of combine harvester based on visual simulation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(1):79-83. (in Chinese)

5 朱茂桃,陈昆山. 农用运输车后桥壳体的结构强度分析[J]. 农业机械学报,2001,32(2):21-23.
Zhu Maotao, Chen Kunshan. Structural analysis of the rear axle housing in a farm transport vehicle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001,32(2):21-23. (in Chinese)

6 吴岳,何永勇. 基于 ANSYS 的掘进装备典型结构可靠性分析[J]. 机械设计与制造,2010,22(9):49-51.
Wu Yue, He Yongyong. Reliability analysis of typical structure of entry-driving machine using ANSYS [J]. Machinery Design & Manufacture, 2010,22(9):49-51. (in Chinese)

7 Zheng Jianxiao, Li Bin, Yuan Sicong. Reliability analysis of the diesel engine crankshaft based on APDL language in ANSYS [J]. Advanced Materials Research, 2012,374-377:1916-1919.

8 张立香,刘守荣,毛恩荣,等. 基于 ANSYS 的农机底盘驱动桥壳可靠性分析[J]. 农业工程学报,2013,29(2):37-44.
Zhang Lixiang, Liu Shourong, Mao Enrong, et al. Reliability analysis of agricultural machinery chassis drive axle housing based on ANSYS[J]. Transactions of the CSAE, 2013,29(2):37-44. (in Chinese)

9 田兆峰,阎楚良,李树君. 农业装备可靠性试验数据绑定方法[J]. 农业机械学报,2010,41(12):169-173.
Tian Zhaofeng, Yan Chuliang, Li Shujun. Data binding method in agricultural equipment reliability experiment [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(12):169-173. (in Chinese)

10 Yan Chuliang, Liu Kege. Theory of economic life rediction and reliability assessment of aircraft structures[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2011,24(2):164-170.

11 徐宜,刘云鹏,卜树锋. 基于雨流法的机械疲劳分析[J]. 车辆与动力技术,2008,111(3):11-14.

12 Baek S H, Cho S S, Joo W S. Fatigue life prediction based on the rainflow cycle counting method for the end beam of freight car bogie[J]. International Journal of Automotive Technology,2008,9(1):95-101.

13 高镇同. 直升机金属材料疲劳性能可靠性手册[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1999.

Spray Drift Model of Droplets and Analysis of Influencing Factors Based on Wind Tunnel

Ru Yu¹ Zhu Chuanyin² Bao Rui¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China
2. Second Institute of Civil Aviation Administration of China, Chengdu 610041, China)

Abstract: Aerial spraying may easily lead to loss of droplets with the wind from crosswinds and influence of spray effect. This article analyzes related factors which influence spray drift behavior, and sets up the motion equations of the droplet in three-dimensional coordinate system. A prediction model of droplet drift under crosswind condition is received so that the droplet drift distance can be predicted by calculating. Spray drift experiments are done under different flow and spray conditions by using wind tunnel with the droplet concentration testing method. Actual droplet drift distance in the wind tunnel conditions are obtained through simulation of the linear regression method. Experimental results show that as the air velocity increases, spray drift distance increases significantly, and droplets with diameters less than 200 μm under crosswind are more prone to drift. For the large droplets with diameters bigger than 250 μm , although the drift along downwind direction of the wind tunnel still happen, the drift distance is shorter since the kinetic energy of the vertical direction is relatively larger. Through analyzing and comparing droplet drift distance from prediction model with the results of calculating and estimates, it is observed that the results meet the requirements. It is concluded that the motion model of droplet as the dominant expression of spray drift behavior is feasible.

Key words: Wind tunnel Droplet drift Prediction model Aerial spray



(上接第 77 页)

14 Yan Chuliang, Liu Kege. Theory of active reliability-based design for predetermined life of structures[J]. Advanced Materials Research, 2008,44-46:745-750.

15 刘克格, 阎楚良, 张书明. 模糊数学在疲劳寿命估算中的应用[J]. 航空学报, 2006,27(2):227-231.

Liu Kege, Yan Chuliang, Zhang Shuming. Fatigue life estimation for using fuzzy mathematics [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2006,27(2):227-231. (in Chinese)

16 高镇同. 疲劳应用统计学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986.

Reliability Experiment on High Clearance Boom Sprayer Chassis

Yang Fangfei Han Xiaojin Duan Yaoqi Tian Yongwei Yan Chuliang
(Beijing Aircraft Strength Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: The reliability of high clearance boom sprayer chassis was studied by simulation and experiment. The stress distribution and the weak positions of the chassis were simulated by software ANSYS. According to the finite element results, the relation equations between the load of testing points and weak positions were obtained. The load spectrum measurement experiments of spray machine chassis were carried out under typical using conditions. In data statistics processing, the rain-flow method was adopted. By means of the Miner's rule, the cumulative damages of weak positions of the chassis under various typical conditions were calculated. According to the actual use of the spray machine, the real life of the chassis was calculated by a weighted average of the damage under various typical conditions. The research method and the analysis results can provide guidance for reliability design of agricultural machinery.

Key words: Boom sprayer chassis Finite element Load spectrum Reliability Damage