

航空施药旋转液力雾化喷头性能试验

茹 煜, 金 兰, 周宏平, 贾志成

(南京林业大学机械电子工程学院, 南京 210037)

摘 要: 无人机航空喷雾将会在未来几年的植物病虫害防治作业中发挥重要作用。为实现无人机低空、低量、高功效的喷洒需求, 该文针对兼备液力雾化和离心雾化优点的旋转液力雾化喷头进行了性能试验研究, 利用喷头雾化性能测试系统对喷孔直径、喷雾压力、电机转速因素对喷头雾滴粒径、沉积分布、喷幅和功率消耗的影响进行了试验研究。结果显示, 喷头旋转电机电压相比喷孔直径、喷雾压力参数对雾滴粒径影响更显著, 随着电机电压增加, 雾滴粒径变小, 雾化效果好; 电机电压对幅宽也有明显影响, 随着电极电压增加, 喷雾角度变大, 幅宽明显增加, 雾滴沉积量在喷幅范围内呈现正态分布。通过试验结果优选出适合无人机的旋转液力雾化喷头的最佳工作参数: 电机电压为 10 V, 喷雾压力为 0.35 MPa, 喷嘴孔径是 0.7 mm, 该工作参数下, 液泵功率消耗率最低, 雾滴平均粒径为 112.35 μm , 喷幅为 3.88 m, 电机功率消耗为 8.6 W。该文的研究结果为开发适用于无人机的新型喷洒雾化装置, 提高无人机作业质量和喷洒功效提供理论依据和技术支持。

关键词: 病虫害防治; 喷头; 喷雾; 无人机; 旋转液力雾化; 最佳参数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.03.007

中图分类号: S252

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-03-0050-06

茹 煜, 金 兰, 周宏平, 等. 航空施药旋转液力雾化喷头性能试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 50—55.
Ru Yu, Jin Lan, Zhou Hongping, et al. Performance experiment of rotary hydraulic atomizing nozzle for aerial spraying application[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(3): 50—55. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

中国的粮食生产和经济作物每年都在不同程度的遭受病虫害的侵袭, 年均病虫害发生面积近 47 000 万 hm^2 , 造成粮食损失近 250 亿 kg、约占总产量的 20% 左右, 造成经济作物损失达 175 多亿 kg^[1]。农药防治病虫害依旧是保证粮食生产的重要手段。

小型无人机因具有作业灵活、自动控制能力强、雾滴飘移少, 旋翼气流辅助药液穿透作物冠层等诸多优点, 非常适合于中小田块的病虫害防治或是大田块内局部的精准施药^[2]。日本雅马哈公司的无人直升机具有 30 多年的研发历史, 使得 YAMAHA RMAX 无人直升机的施药应用技术比较成熟, 植保作业效率为 7~10 hm^2/h , 占总防治面积的 80% 以上。日本耕地情况与中国南方相似, 借鉴日本经验, 运用小型无人驾驶直升机喷洒农药, 是中国农药喷洒机械化的一种比较现实可行的方

法之一。

近几年来, 无人机远程控制施药技术、低空低量喷洒技术、航空喷洒系统等研究方向在中国均取得了很多研究成果。雾化部件作为无人机作业的关键部件, 在航空喷施装备方面必须满足轻量化、低量喷施、均匀喷施的要求, 许多学者就无人机专用的雾化喷头尝试进行了设计和实验研究。日本的无人直升机施药系统是采用专用的离心雾化喷头和液力雾化扇形喷头。范庆妮^[3]设计了适合天鹰 3 号小型无人直升机低空低量喷洒的液力喷头, 并确定了最佳匹配参数; 周立新等^[4]开展了航空施药用电动离心喷头的试验研究, 分析雾化盘电机电压和喷头流量两个主要因素对电动离心喷头喷洒性能的影响。茹煜等^[5]基于德国 VARIO 公司的多用途无人直升机航空喷雾系统开发了航空喷洒离心雾化器件并开展相关性能参数试验研究, 获得了离心雾化喷头的最佳作业参数。

就无人机而言, 由于载重量有限, 就必须对其雾化装置进行创新设计和优化。就 2 种型式的雾化装置而言, 液力雾化喷头结构相对简单, 但其雾滴粒度较大 (一般为 150~500 μm), 流量也大 (1~2 L/min), 不容易实现低量喷洒^[6]; 而离心雾化喷头可以获得较小的雾滴粒径 (40~150 μm), 但影响其雾化效果的因素较多, 参数

收稿日期: 2013-06-04 修订日期: 2013-12-25

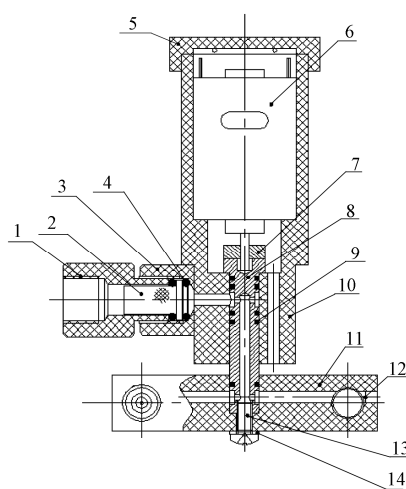
基金项目: “十二五”农村领域国家计划课题 (2012BAD19B08); 江苏省自然科学基金面上资助项目 (BK20131422); 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD); 江苏省高校优秀中青年教师和校长境外研修项目。

作者简介: 茹 煜 (1973—), 女, 博士, 副教授, 主要从事植保机械和先进农药使用技术研究。南京 南京林业大学机械电子工程学院, 210037。Email: superchry@163.com

调整变换较困难。因此,本文针对兼备2种雾化装置的优点的旋转液力雾化喷头进行了性能试验研究,测试喷头结构参数(喷孔直径)、喷雾参数(喷雾流量、喷雾压力)和作业参数(电机转速)对喷头雾化效果和沉积量分布的影响,分析各因素与雾滴粒径、功率消耗之间的相关性,以期适用于无人机的新型喷洒雾化装置的设计和高效喷洒应用提供依据。

1 旋转液力雾化喷头的结构及工作原理

如图1所示,旋转式液力雾化喷头包括电动机、输液轴(垂直)、输液横杆(水平)和2个完全相同的液力喷嘴组成^[7],考虑为了根据不同的喷雾要求便于更换喷嘴,喷嘴与输液横杆采用螺纹相连方式;输液横杆与输液轴的底端通过十字槽盘头螺钉连接并固定,垂直和水平方向孔口对接,输液横杆与输液轴的内部孔道相通。输液轴的另一端通过电动机联轴器与直流电动机连接,在电动机的驱动下,输液轴、输液横杆和2个液力喷嘴一起旋转。输液轴的内部孔道通过快插接头、过滤器和内接头与安装在飞机上的输液管相通。



1. 快速接头 2. 过滤器 3. 内接头 4. 密封圈 5. 密封盖 6. 电动机 7. 联轴器 8. 输液轴 9. 密封环 10. 支撑体 11. 输液横杆 12. 喷嘴 13. 螺钉 14. 垫片
1. Quick coupler 2. Filter 3. Inner joint 4. Sealing ring 5. Sealing cover 6. Motor 7. Coupling 8. Send liquid shaft 9. Sealing ring 10. Support body 11. Beam for sending liquid 12. Nozzle 13. Screw 14. Gasket

图1 旋转液力雾化喷头

Fig.1 Nozzle with rotating hydraulic atomization way

工作时,来自飞机药箱的液体流经输液管和过滤器进入输液轴的内部孔道,再经输液横杆的内部孔道后分两支分别到达2喷嘴,经雾化后随着喷嘴做圆周运动喷出,旋转线速度方向与雾滴沿喷嘴喷出的速度方向相反(如图2所示),在离心力的作用下进一步细化了雾滴粒径。

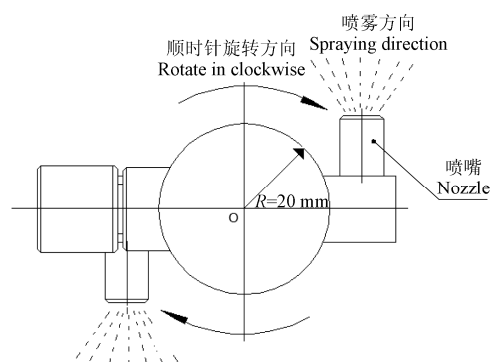


图2 旋转液力雾化原理图

Fig.2 Principle of rotating hydraulic atomization

2 试验装置与试验设计

2.1 试验装置

如图3所示,旋转液力雾化性能测试系统主要由喷雾控制单元、电机控制单元、雾化喷头及试验台和激光测试单元4部分组成,其中喷雾控制单元一方面通过水箱、柱塞泵、管道、溢流阀、过滤器组成了供液系统,另一方面可以通过控制台的压力和流量调节旋钮,以及流量传感器和压力变送器的数据显示可定量调节喷雾过程中喷雾压力和喷雾流量值^[8]。电机控制单元通过改变直流电机电压,从而调节电机转速。激光测试单元为LPSA(laser particle size analyzer,型号SYMPATEC HELOS-VARIO,德国,测量粒径范围 $0.1\sim 875\mu\text{m}$),测量喷头雾化后的雾滴粒径。试验台为V型槽接收装置,长度为4m,通过试验台下置的试管来收集雾滴,可以获得喷头在幅宽范围的流量分布特性。飞机实际作业高度为 $1\sim 3\text{m}$,实验室的喷头至V型槽的距离设为 1.6m 。此外,对雾滴的运动方向起决定作用的是旋翼产生的向下气流,该气流是比较复杂的气流场。为了简化模拟,系统采用在喷头上方设有1个小型风机提供1个向下的气流(喷头位置处的风速为 12m/s),意在改变旋转雾化后的雾滴水平面运动方向为抛物线向下的运动方向。

2.2 试验设计

2.2.1 雾滴粒径谱测定

用激光粒度仪LPSA测量并分析喷雾参数(喷雾压力、喷雾流量),喷头结构参数(喷嘴孔径),作业参数(电机电压)对雾滴粒径(即,雾滴体积中径volume median diameter, VMD)的影响^[9-11]。因喷雾流量与喷雾压力呈一一对应关系,为测量方便,将喷雾压力 P 作为试验预设参数,进行了3因素4水平的雾滴谱测试试验。具体的试验测试参数确定见表1,测试过程中室温恒定,试验介质为清水,每组试验重复3次。

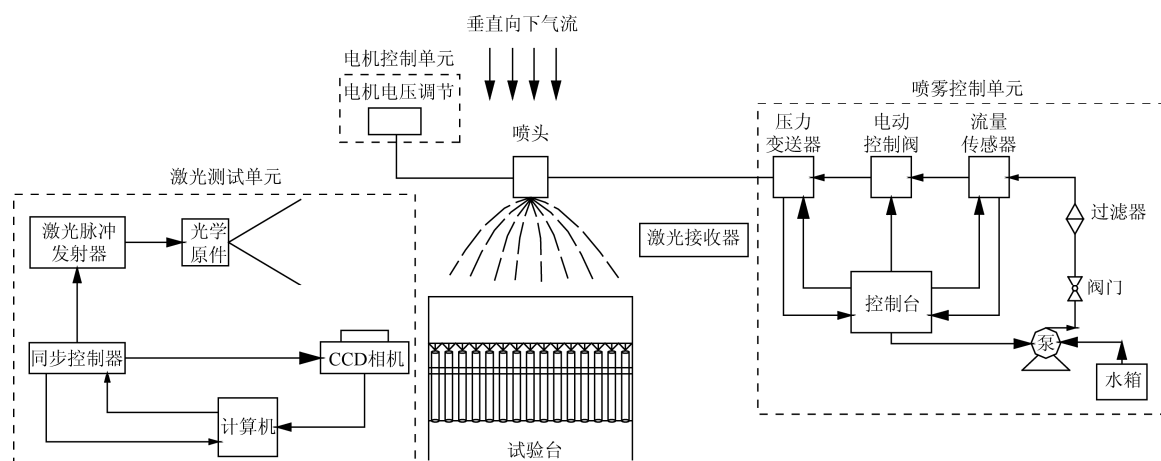


图3 旋转液力雾化试验系统布局示意图

Fig.3 Schematic diagram of experimental layout for performance measurement of rotary hydraulic atomization

表1 测量雾滴粒径谱的3因素4水平的试验设计
Table 1 Three-factor and four-level experiment design to measure droplet size spectrum

水平 Level	因素 Factors		
	电压 Voltage/V	喷嘴孔径 Nozzle aperture/mm	喷雾压力 Pressure/MPa
1	5	0.5	0.15
2	8	0.7	0.25
3	10	0.9	0.35
4	12	1.2	0.45

2.2.2 喷幅及雾滴沉积量分布测定

试验中设定试验喷雾压力为 0.35 MPa, 选择喷嘴孔径为 0.7 mm 的喷嘴作为试验对象, 改变电机电压, 分析电压对喷幅和雾滴沉积量分布的影响。接收装置位于喷嘴的正下方, 是一个由试管架、导流槽组成的试验台^[12], 导流槽截面为三角形, 目的是为了防止雾滴飞溅。测试时, 先移开试管架, 待喷雾稳定后移入试管架开始计时, 喷雾时间为 5 min, 改变作业参数, 重复上述步骤。

2.2.3 功率消耗测定

无人机喷雾的动力来自于 1 个 12 V 的蓄电池, 因此要使无人机能够长时间的进行病虫害作业, 就必须要考虑喷雾装置对功率消耗的影响。消耗蓄电池功率的是电动液泵和驱动喷头转动的直流电动机, 其中电动液泵功率消耗与喷嘴直径、喷雾压力有关; 而喷头转动电机的消耗功率与电机电压有关。本文运用国产的 DR4615A 型电机功率测试仪对不同喷嘴直径、不同喷雾压力、不同电机电压条件下的电动液泵功率和喷头转动电机的功率进行了测量。

3 结果与分析

3.1 不同工作条件对雾滴粒径的影响

从表 2 可知, 旋转液力喷头工作时产生的雾滴

粒径范围在 78.24~200.45 μm , 尽管当雾滴粒径小于 50 μm 时, 极易被侧风吹走发生飘移; 只有当雾滴粒径至少 150 μm , 才会在远处也具有运动功能^[13]。但是考虑飞机旋翼产生的向下气流相比侧风 (1~3 m/s) 可以有效减少雾滴飘移, 因此认为该喷头产生的雾滴尺寸可以满足航空喷雾的需求。

表2 不同参数下的雾滴粒径
Table 2 Droplet size for different parameters

电机电压 Motor voltage/V	喷嘴孔径 Nozzle aperture/mm	不同喷雾压力下的雾滴粒径/ μm			
		0.15 MPa	0.25 MPa	0.35 MPa	0.45 MPa
5	0.5	178.24	154.32	123.57	110.48
	0.7	185.46	167.81	142.38	123.65
	0.9	189.34	172.56	148.45	134.24
	1.2	200.45	182.36	156.32	145.18
8	0.5	153.46	136.78	112.42	98.32
	0.7	168.62	156.87	130.54	106.28
	0.9	173.25	164.86	140.23	110.26
	1.2	182.47	168.43	150.38	123.64
10	0.5	132.36	124.62	106.24	90.32
	0.7	143.25	135.82	112.35	96.43
	0.9	156.78	140.26	123.61	102.56
	1.2	160.42	152.73	135.28	108.26
12	0.5	112.34	100.44	88.47	78.24
	0.7	124.57	112.69	100.56	90.54
	0.9	128.92	118.34	106.43	96.32
	1.2	135.74	124.38	112.78	108.23

注: 雾滴粒径为雾滴的体积中径。

Note: Droplet size is refer to droplet volume median diameter(VMD).

此外, 电机电压、喷嘴孔径以及喷雾压力对雾滴粒径都有不同程度的影响。随着电机电压变大, 电机转速增加, 切向力使得雾滴进一步破碎, 雾滴粒径变小; 相同喷雾压力条件下, 喷雾流量与喷嘴孔径相关。譬如, 设定喷雾压力为 0.15 MPa, 当电机电压低 (5 V)、流量小 (孔径 0.5 mm) 的工况是雾滴粒径为 178.24 μm , 而电机电压高 (12 V)、流量大 (孔径 1.2 mm) 的工况产生的雾滴粒径为 135.74 μm , 说明电机电压相比喷雾流量而言, 与雾

滴粒径的相关性更明显,也就是说,即使喷雾流量变大,但是只要电机转速够大,也能使雾滴粒径进一步细化。此外,随着喷雾压力的增加,雾滴粒径有变小的趋势,最小粒径出现在电机电压为 12 V,喷嘴直径为 0.5 mm,喷雾压力为 0.45 MPa 时。优选电机电压和喷雾压力值,可以使无人机施药达到很好的效果。

3.2 电机电压对喷幅和雾滴沉积量分布特性的影响

在喷嘴孔径为 0.7 mm、喷雾压力为 0.35 MPa 条件下改变电极电压,得到如图 4 所示的雾滴分布图。可以看出,相同喷雾时间下,电机转速对喷雾流量本身没有什么影响,但对喷雾幅宽有明显的影响。随着电机电压的增加,电机转速增加,雾滴的切向速度变大,使得雾滴受到的离心作用力更大,喷雾角变大,雾滴分布更宽。此外,雾滴沉积量分布基本呈现正态分布曲线^[14-15],符合旋转液力雾化喷头的雾滴分布特性。

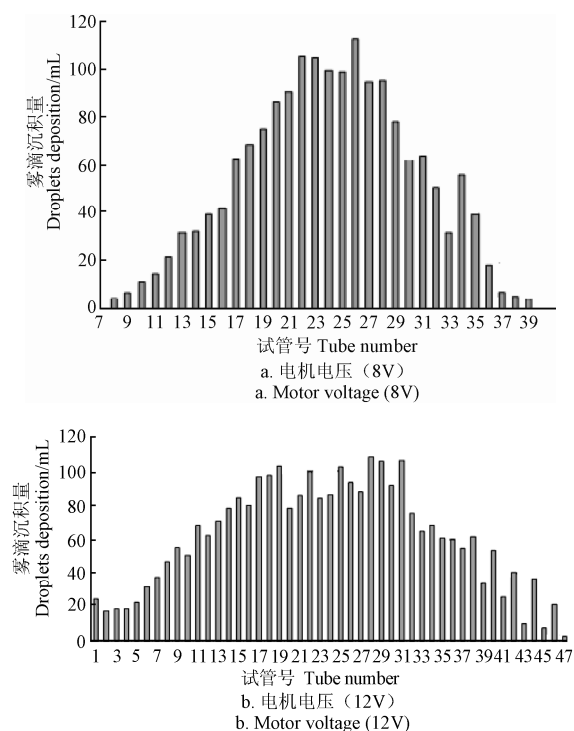


图 4 不同电压条件下的雾滴分布
Fig.4 Droplet distribution for different motor

3.3 不同雾化参数对液泵电机功率消耗的影响

不同喷头雾化参数(喷嘴孔径、喷雾压力)对液泵的功率消耗是不同的,测量结果显示在表 3 中。选择合理的液泵功率消耗下的喷头雾化参数(喷嘴孔径、喷雾压力)对减少无人机的能源消耗,提高喷雾功效有重要意义。从表 3 中可以看出,随着喷雾压力或者喷孔直径变大,喷雾流量明显增加,需要液泵提供更大的动力将更多的液体从水箱中泵出并送入喷嘴当中,液泵电机消耗功率也随之变

大。在喷雾流量相似的情况下,不同的喷雾参数,液泵电机功率消耗也不尽相同,如喷雾压力是 0.35 MPa,喷嘴孔径是 1.2 mm 时喷雾流量为 1 260.4 mL/min,液泵电机功率消耗为 21.7 W;而喷雾压力是 0.45 MPa,喷嘴孔径是 0.7 mm 时,喷雾流量为 1 245.6 mL/min,液泵电机功率消耗为 14.6 W,流量相差 14.8 mL,动力消耗相差 7.1 W。考虑无人机喷雾动力蓄电池分配给工作部件的功率有限,应该在保证施药量(800~1 000 mL/min)满足要求的情况下尽量使液泵电机消耗功率最低。应用表 3 试验结果比较喷头不同雾化参数下的液泵电机消耗功率测试结果可知,喷雾压力为 0.35 MPa,喷嘴孔径是 0.7 mm 时的液泵电机功率消耗率在确保施药量前提下是最低。

表 3 不同喷雾参数对液泵电机消耗功率的影响
Table 3 Effect of spraying parameters on power of pump motor

喷雾压力 Spraying pressure/MPa	喷嘴孔径 Nozzle aperture/mm	喷雾流量 Flow rate/(mL·min ⁻¹)	液泵电机消耗功率 Power of pump motor/W
0.15	0.5	246.4	2.8
	0.7	348.6	3.9
	0.9	583.2	5.5
	1.2	675.4	8.6
0.25	0.5	438.2	4.8
	0.7	584.4	8.3
	0.9	753.6	13.6
	1.2	925.8	17.4
0.35	0.5	632.6	6.6
	0.7	904.2	8.5
	0.9	1056.8	16.6
	1.2	1260.4	21.7
0.45	0.5	912.8	9.4
	0.7	1245.6	14.6
	0.9	1489.2	18.3
	1.2	1575.4	29.8

3.4 优选喷头的最佳工作参数

以液泵电机功率消耗最低的喷雾压力和喷嘴孔径参数为依据(即喷雾压力为 0.35 MPa,喷嘴孔径是 0.7 mm 时),考虑电机电压对电机功率的影响,并结合表 2 和图 4 的试验结果可获得电机电压对喷头综合性能的影响,结果显示在表 4 中。

表 4 电机电压对喷头性能的影响
Table 4 Effect of different motor on performance of nozzle

电机电压 Motor voltage/V	雾滴粒径 Droplets size/ μ m	喷幅 Spray width/m	喷头电机 消耗功率 Power of nozzle motor/W
5	142.38	2.46	2.6
8	130.54	2.82	4.8
10	112.35	3.88	8.6
12	100.56	4.27	11.7

注:喷雾压力为 0.35 MPa,喷嘴孔径为 0.7 mm。
Note: Spray pressure is 0.35 MPa, diameter of tip is 0.7 mm.

增加喷幅, 可以提高工作效率; 减小雾滴粒径可以增加雾滴覆盖面。从表 4 可以看出, 随着电机电压的增加, 喷头的喷幅变大, 雾滴粒径变小, 但是同时驱动喷头旋转的电机功率消耗也明显增加, 比较电机为 10 和 12 V 的结果, 雾滴粒径从 $112.35\ \mu\text{m}$ 减小到 $100.56\ \mu\text{m}$, 而电机动力多消耗了 3.1 kW, 喷幅仅增加了 0.4 m, 这是不太经济的。因而综合分析试验结果, 优选喷头的最佳工作参数为电机电压为 10 V, 喷雾压力为 0.35 MPa, 喷嘴孔径是 0.7 mm。

本文试验用的旋转液力雾化喷头为自行开发研制, 因而试验结果仅为实测值, 无法和标准的喷头性能进行试验误差分析比较; 但是试验采用的喷头雾化性能测试系统已经进行了标定和误差分析, 试验系统误差不超过 1%^[16], 因而采用该试验台进行的实验结果是可信的。

4 结 论

1) 针对无人机用的旋转液力雾化喷头进行了性能试验, 电机电压、喷嘴直径和喷雾压力是决定喷头雾化性能的主要因素。电机电压相比其它参数对雾滴粒径影响更显著, 电机电压增加可以使雾滴粒径变小, 雾化效果好。

2) 电机电压对喷雾流量没有影响, 但对幅宽有明显影响, 随着电极电压增加, 喷雾角度变大, 幅宽明显增加, 雾滴沉积量在喷幅范围内呈现正态分布。

3) 喷雾压力和喷嘴直径对液泵功率消耗有明显的影响, 在液泵功率消耗最低的条件下, 分析电机电压对雾滴粒径、喷幅、电机功率的综合影响, 优选出适合无人机的旋转液力雾化喷头的最佳工作参数: 电机电压为 10 V, 喷雾压力为 0.35 MPa, 喷嘴孔径是 0.7 mm; 该工作参数下, 液泵电机功率消耗率最低, 雾滴平均粒径为 $112.35\ \mu\text{m}$, 喷幅为 3.88 m, 喷头电机功率消耗为 8.6 W。

4) 旋转液力雾化喷头在无人机上的实际应用效果还受到自然风速以及飞机飞行速度因素的交互影响, 同时雾滴沉积效果也受温度、湿度等环境因素及药液物理特性的影响, 下一步研究将旋转液力雾化喷头挂载在无人机上进行相关试验。

[参 考 文 献]

[1] 梁丽欢. 水稻病虫害防治技术分析[J]. 新农村, 2012, 23(7): 59—61.
Liang Lihuan. Analysis of Controlling rice diseases and insect pest technology[J]. New Rural, 2012, 23(7): 59—61. (in Chinese with English abstract)

[2] Huang Y, Hoffmann W C, Lan Y, et al. Development of a spray system an unmanned aerial vehicle platform[J]. Applied Engineering Agriculture, 2009, 25(6): 803—809.

[3] 范庆妮. 小型无人直升机农药雾化系统的研究[D]. 南京, 南京林业大学, 2011.
Fan qingni. The Research on the Pesticide Spray System Using for the Mini Unmanned Helicopter[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011. (in Chinese with English abstract)

[4] 周立新, 薛新宇, 孙竹, 等. 航空喷雾用电动离心喷头试验研究[J]. 中国农机化, 2011, 233(1): 107—111.
Zhou Lixin, Xue Xinyu, Sun Zhu, et al. Experimental study on electrical-driven centrifugal nozzle of aerial spray[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2011, 233(1): 107—111. (in Chinese with English abstract)

[5] 茹煜, 贾志成, 范庆妮, 等. 无人直升机远程控制喷雾系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 47—51.
Ru Yu, Jia Zhicheng, Fan Qingni, et al. Remote control spraying system based on unmanned helicopter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 47—51. (in Chinese with English abstract)

[6] 祁力钧. 优化液体农药喷施技术的研究[D]. 北京, 中国农业大学, 2000.
Qi Lijun. Study on Optimizing Liquid Pesticide Application Technology[D]. Beijing: China Agriculture University, 2000. (in Chinese with English abstract)

[7] 茹煜, 周宏平, 范庆妮, 等. 旋转式液力雾化喷头[P]. 中国专利: 201020139838.6, 2011-03-16.
Ru Yu, Zhou Hongping, Fan Qingni, et al. Rotary hydraulic spray nozzle[P]. China Patent: 201020139838.6, 2011-03-16. (in Chinese with English abstract)

[8] 吴小伟, 茹煜, 周宏平. 基于单片机的雾化装置控制系统设计[J]. 农机化研究, 2011, 32(5): 104—106.
Wu Xiaowei, Ru Yu, Zhou Hongping. Design of controlling system for atomization device based on singlechip microcomputer[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 32(5): 104—106. (in Chinese with English abstract)

[9] 周海燕, 杨学军, 严荷荣, 等. 风轮转盘式离心喷头试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 76—79.
Zhou Haiyan, Yang Xuejun, Yan Herong, et al. Experiment on rotary disc nozzle with impeller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(10): 76—79. (in Chinese with English abstract)

[10] 张慧春, 郑加强, 周宏平, 等. 转笼式生物农药雾化喷头的性能试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 63—70.
Zhang Huichun, Zheng Jiaqiang, Zhou Honhping, et al. Performance experiments of rotary cage atomizer for biological pesticide application[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(4): 63—70. (in Chinese with English abstract)

[11] 金春玉. 空心圆锥雾化喷嘴喷雾实验与数值研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
Jin Chunyu. Experimental and Numerical Investigation on Sprays of Hollow-Cone Pressure Nozzle[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2007. (in Chinese with English abstract)

[12] 宋坚利, 何雄奎, 杨雪玲. 喷杆式喷雾机雾流方向角对药液沉积影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 96—99.
Song Jianli, He Xiongkui, Yang Xueling. Influence of Nozzle Orientation on Spray Deposits[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(2): 96—99. (in Chinese with English abstract)

- [13] 宋吉林, 祁力钧, 孙小华, 等. 喷雾机雾滴大小和飞行时间的研究[J]. 农业机械学报, 2007, 38(4): 54—57.
Song Jilin, Qi Lijun, Sun Xiaohua, et al. Study on Flying Time and Distributing Characteristic of Droplets from Sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(4): 54—57. (in Chinese with English abstract)
- [14] 祁力钧, 傅泽田. 不同条件下喷雾分布试验研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 107—111.
Qi Lijun, Fu Zetian. Experimental study on spray deposition uniformity[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1999, 15(2): 107—111. (in Chinese with English abstract)
- [15] 贾卫东, 李萍萍, 邱白晶, 等. 农用静电喷雾雾滴粒径与速度分布的试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 17—21.
Jia Weidong, Li Pingping, Qiu Baijin, et al. Experimental study on droplet size and velocity distribution of agricultural electrostatic spray[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(2): 17—21. (in Chinese with English abstract)
- [16] 吴小伟. 雾化喷头试验台综合性能测试系统设计研究[D]. 南京, 南京林业大学, 2011.
Wu Xiaowei. Research on Spray Nozzle Comprehensive Performance Test System[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011. (in Chinese with English abstract)

Performance experiment of rotary hydraulic atomizing nozzle for aerial spraying application

Ru Yu, Jin Lan, Zhou Hongping, Jia Zhicheng

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Pests and plant diseases cause damage at different levels to China's grain production and economic crops every year. The annual area damaged by pests and diseases is about 470 000 000 hm², resulting in significant yield losses—about 20% of the total grain yield. A small-size unmanned helicopter has the advantages of flexible operation, strong automatic control ability, and less droplet drift. In addition, pesticides it sprays can penetrate a crop canopy assisted by rotor airflow. Hence, the agricultural chemical control for pests and diseases in medium and small sized fields using a small-size unmanned helicopter is an important means to guarantee grain production. It is one of effective methods for Chinese pesticide-spraying mechanization.

In order to realize the low-altitude, low-volume, and high-efficiency spraying demand of an unmanned aerial vehicle (UAV), its spray system, which is the key UAV part, must meet the requirements of lightweight, low-volume spraying and uniform spray. Based on the domestic and foreign UAV nebulization technology of agricultural chemical spray nozzles, we tested the performance of rotary hydraulic atomizers, which combined the advantages of both centrifuge atomization and liquid atomization, in this study. A comprehensive performance test system of nozzle atomization was applied to detect the effect of important factors including structure parameters (nozzle diameter), spray parameters (spray flow rate and pressure), and operating parameters (rotational speed) on nozzle atomization efficiency (droplet size), deposition distribution, and spray span. We analyzed the correlation between spray parameters and pump power consumption. Combined with the effect of motor voltage on motor power, the optimum nozzle working parameters were selected. The results showed that the voltage of a nozzle rotary motor had a more significant effect on droplet diameter than nozzle diameter and spray pressure parameters did. Along with the increase of motor voltage, droplets became smaller, giving a better atomization effect. Motor voltage also notably influenced spray span. The more the voltage was, the bigger the spray angle was, and the larger the span became. Droplet deposition presented normal distribution in the spray range. The best working parameters (10 V of motor voltage; 0.35 MPa of spray pressure; 0.7 mm of nozzle diameter) for UAV rotary hydraulic atomizers were determined by the comprehensive test results. When these parameters were applied, the pump power consumption rate was lowest, the average droplet size was 112.35 μm , the spray span was 3.88 m, and the motor power consumption was 8.6 W. The nozzle atomization performance test system adopted in the present study has been calibrated and analyzed for error in other literature. Its experimental system error displayed was less than 1%, so the test results obtained through this platform are reliable.

The results shown here provide a theoretical basis and technical support for the mounting of this novel UAV spray device—the rotary hydraulic atomizing nozzle—onto an UAV to perform relative experiments to improve UAV operating quality and spraying efficiency in the future.

Key words: pest control; nozzles; spraying; unmanned aerial vehicle (UAV); rotary hydraulic atomization; optimum parameters

(责任编辑: 刘丽英)