

航空静电喷雾在林业病虫害防治上的应用

茹煜¹, 周宏平¹, 舒朝然²

(1. 南京林业大学机械电子工程学院, 江苏省 南京市 210037 2. 国家林业局森林病虫害防治总站, 辽宁省 沈阳市 110034)

摘要: 将航空静电喷雾技术应用于森林病虫害的防治有着广泛的前景, 本文设计了航空静电喷雾系统, 该系统包括航空喷嘴、高压直流电源、内嵌式圆柱电极感应充电装置, 具有使雾滴雾化均匀、荷电充分的特点。本文在实验室开展了静电喷头喷雾角、喷雾场、雾滴粒径、荷质比等性能研究, 并将航空静电喷雾系统与蜜蜂飞机配套进行了松毛虫防治试验研究。试验结果显示, 航空静电喷头在压力为 0.35Mpa, 喷孔直径为 0.8mm 时, 喷雾角度为 96°, 雾流速度较高并且均匀, 荷质比最大可达到 2.26 mC/kg; 与常规扇形航空喷雾相比, 雾滴沉积平均提高 18 个/cm², 不仅作业时间短, 使用农药量减少 5.22L/hm², 而且有效防治率提高了 33.8%。研究结果表明了航空静电喷雾技术的应用能使雾滴分布均匀, 雾滴的沉积效果好, 减少环境污染, 有效提高农药利用率, 在森林病虫害防治上将起到非常重要的作用。

关键词: 病虫害防治; 航空静电喷雾; 静电喷头

Application of Aerial Electrostatic Spraying Technique in Forestry Diseases and Pests Control

(1. Ru Yu¹ Zhou Hongping¹ Shuchaoran²)

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037; 2. General Station of Forest Pest Management of China, Shenyang 110034)

Abstract: It has a broad prospect that the aerial electrostatic spraying technique is applied to the control of forest diseases and insect pests. The paper design aerial electrostatic spraying system, electrostatic nozzle, electrostatic power and Embedded cylindrical electrode inductive charging apparatus. The system have some charactericetic with the droplet uniform atomization, charged fully. The paper develops test such as the electrostatic nozzle spray angle, spray, droplet size, charge to mass ratio and performance study in lab. The comparative test of pine caterpillars

control had been carried out on the improved electrostatic nozzle mounted on the light bee plane with the original electrostatic nozzle and the traditional fan nozzle. The results showed that when the improved aerial electrostatic nozzle applied in pressure of 0.35Mpa, diameter of 0.8mm, spray angle of 96 °, the flow rate was high and even and the maximum charge-to-mass ratio reached 2.26mc/kg. When compared with the conventional aerial fan nozzle, the droplet deposition increased 18/cm², not only the operation time was shorten, but also the pesticide quantity was reduced 5.22L /hectare and the effective prevention rate was improved 33.8%. The results indicated that the aerial electrostatic spraying technique application enables droplet distribution, droplet deposition effect, reduce the pollution of the environment, effectively improve the utilization of pesticides. It will play a very important role In forest pest and disease control.

Keyword: pest control, aerial electrostatic spraying, electrostatic nozzle

1. 引言

森林病虫害严重危害当今世界的林业生产及生态环境。而中国是世界上病虫害发生较为频繁的国家之一。近几年来，中国农作物病虫草害发生的面积也不断扩大，并且来势凶猛，呈爆发性、突发性态势。航空静电喷雾技术不仅具有静电喷雾所拥有的雾滴尺寸均匀、沉积性能好、飘移损失小、雾群分布均匀，尤其是在植物叶片背面也能附着雾滴等优点^[1-2]，还具有航空喷雾防治效率高、可及时控制大面积病虫害的优点，该技术在森林病虫害防治中的应用越来越广泛。美国喷雾系统公司自 20 世纪 90 年代就将航空静电喷雾器械在各种中小型螺旋桨飞机和直升机挂载，广泛应用于森林、草原、果园及农作物的航空喷洒作业^[3-4]。2007 年南京林业大学和国家森林病虫害防治总站共同研制开发了航空静电喷雾系统^[5]，开发了双喷嘴航空静电喷头、内嵌式单喷嘴航空静电喷头挂载在国产 Y5B 农用飞机、美国 R44 直升飞机、蜜蜂 B-0061 飞机上，针对杨小舟蛾、草原蝗虫、松毛虫等森林病虫害进行了 2000 多亩的防治试验。结果表明，相比常规航空喷雾来说，航空静电喷雾效率提高近 10 倍，特别是在叶片背面采用航空静电喷雾得到的雾滴覆盖优势明显^[6]。

2. 装置和方法

2.1 航空静电喷雾系统

根据大面积防治病虫害的要求，在理论分析和试验的基础上，设计出应用在 Y5B 固定翼飞机（输入 28v）、旋翼机（输入 24v）和蜜蜂机（输入 12v）上的航空静电喷雾系统，如图 1。这个系统包括可以同时输出正、负高压静电的直流高压开关电源和两组喷嘴。直流高压

开关电源安装在飞机里，通过低压输入分流控制器与飞机直流发电系统相连接，可以输出常用的 8-10 kV 的电压。直流高压开关电源与飞机直流发电系统共地，在驾驶舱里可以控制每个高压电源，调整喷雾的输出电压。

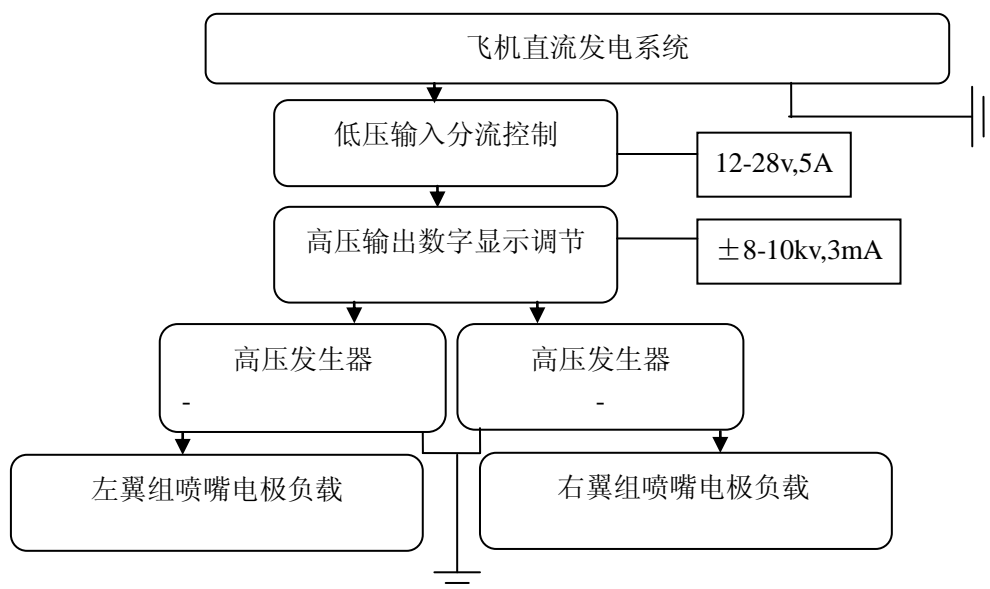


图 1 航空静电喷雾系统

安装时，从飞机的腹部向两侧伸出两个横喷管，两组喷嘴分别通过快速旋拧方式连接到飞机左、右横喷管上，喷嘴上安装有金属电极，各组喷嘴的金属电极与相应的直流高压开关电源的正、负输出端并联连接，这样，第一组喷头所有电极带的电压和第二组喷头所有电极带的电压极性相反。两个电源的另一端接地到飞机的机架上。在飞机的下面安装有药箱，通过风动泵（固定翼）或者电动泵（旋翼机、蜜蜂机）给喷雾装置提供药液，实现航空喷洒作业。

工作时，当喷头上的电极被通上正电，电极将产生负高压感应电场，使喷嘴喷出的雾滴经过感应区时带上负电荷。反之，雾滴被带上正电。喷头上的电流穿过横喷管延伸到机架上，这样，整个飞机带电为 0。荷电雾滴在电场的作用下作定向运动飞向地面靶标植物，受植物表面异性电荷的吸引，很易被植物表面所俘获。这样，雾滴在植物表面各个部位的沉积率就会显著提高，尤其是植物叶片背面和冠体内叶片；而且由于雾滴所带电荷相同，在到达植物表面后不会产生聚集效应，从而其分布的均匀性大为改善。同时雾滴飘移损失显著减少，从而达到提高有效药量，降低成本，减少环境污染的目的。

2.2 航空静电喷头

静电喷头是航空静电喷雾装置中最重要的部件。其结构设计的好坏直接关系着喷洒效果以及农林病虫害的防治效果（如图 2、3）。为了达到最佳的喷雾效果，设计了管状电极静电喷头，采用感应充电方法可以提供 8—10kV 高压，管状电极安装在雾滴通过的感应静电场域，并与喷嘴轴心成同一轴线安装，电极的外边缘距孔口表面一定距离，这个距离是由圆管状电极的大小以及喷嘴雾化角度决定的，目的是可以促使静电电荷充分地感应到被喷出的液体上。圆管状电极内壁与喷嘴前体有足够的径向间隙，可以允许空气层流通过电极。喷头主要由喷嘴帽、旋拧接头、喷嘴体、电极、电极支撑座和止回阀组成。其中喷嘴体可以提供一个空心锥的喷雾模式。喷嘴体腔后部安装有一个溢流阀，起到调节喷嘴喷雾压力和防滴漏的作用，喷嘴体通过旋拧接头与溢流阀连接。喷头的零件采用所设计的模具进行加工制作，这样喷嘴的通用性和安装更为方便，安装时，飞机两侧的两组喷头数量相等。



图 2. 双喷嘴静电喷头

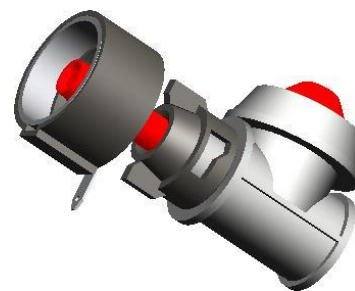


图 3. 单喷嘴静电喷头外形

2.3 高压静电

发生器

高压电源设备采用了新一代功率器件如功率场效应晶体管 MOSFET（其实质就是 MOS 代表金属—氧化物—半导体）绝缘栅双极晶体管 IGBT、准谐振变频技术（实现电源频率达到 2500Hz）和多级硅整流倍压技术，为典型的 DC-DC 模式的直流高压开关电源。同线性电源也就是工频电源相比较，这种高频开关电源的突出特点是，效率高，体积小，重量轻，反应快，储能少，设计制造周期短。

高压发生器可产生 $\pm 2 \sim \pm 7\text{kV}/3\text{mA}$ 直流高压源（供电电源为 12V，供电电流为 5A，与轻型农用旋翼飞机直流发电系统输出匹配），调控、显示以及正、负高压输出均组合安装在一个调控显示盒内，调控显示盒内含控制开关、分路供电保险、微调电位器、故障显示 LED、两块 $\pm \text{HV}$ 显示数字表以及数显表供电电源；这个调控显示盒体积小，尺寸只有 $25\text{cm} \times 21\text{cm} \times 10\text{cm}$ 大小，重量轻，只有 3.5kg 左右重量，可以自由移动，可安放在驾驶舱内，非常方便于飞行员监控并手动调节。如图 4 所示。



图 4. 高压静电发生电源

3. 试验

本文建立了如图5所示的航空静电雾化装置试验系统，包括试验台架、雾化装置、测试仪器和操纵控制等五大部分。主要测量不同型式下的雾化装置的性能参数有：喷雾角、雾流场、雾滴粒径、雾滴荷质比等。通过PIV测量系统、激光粒度仪测试系统、荷质比测试系统等先进手段进行试验研究^[7-9]。试验所用喷头为改进后的航空静电喷头，喷头孔径为0.8mm，充电电压7kV。

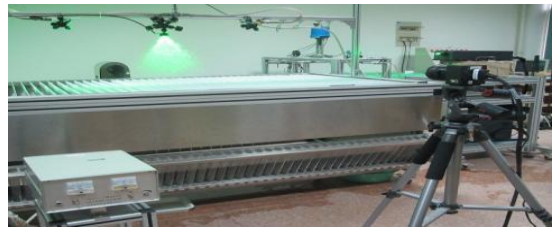


图 5 喷头雾化性能测试系统

2011年8月21-22日，在辽宁省通辽市大青沟进行了B-0061型蜜蜂机航空喷雾沉积效果和防治松毛虫试验（图6）^[10-11]。试验所用喷洒装置分别为常规扇形喷头和静电喷头，试验分两组完成，每组将24个喷嘴安装在蜜蜂飞机两机翼上的横喷管上。试验均采用0.35MPa的喷雾压力，荧光素作为示踪剂。将采样用复印纸铺设在喷雾幅宽内的地面上进行雾滴沉积的采集。然后用农药高氯菊酯进行了松毛虫防治作业，共9架次，近1万亩松树林。



a. 扇形喷头



b. 航空静电喷头

图 6. 航空喷头的雾滴沉积试验

4. 结果与讨论

4.1 喷雾角及雾流谱测试

(1) 实验通过 PIV 测得喷雾角 (如图 7), 试验结果如表 6:

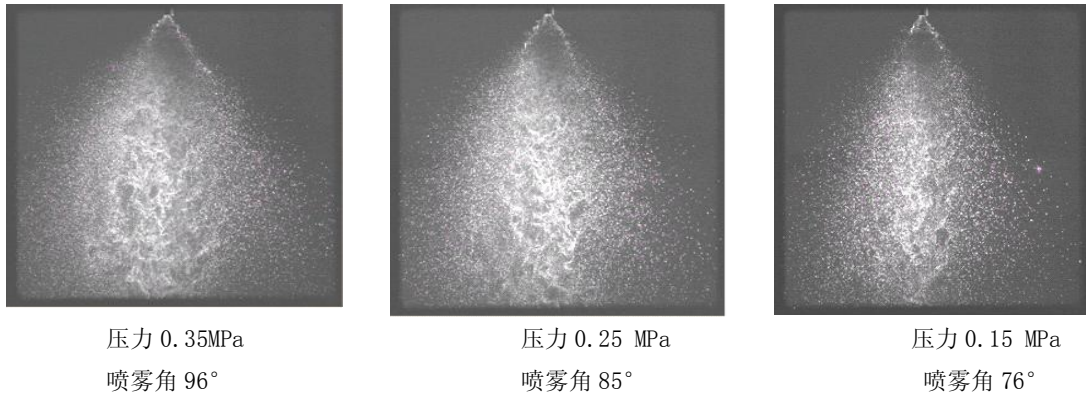


图 7 喷雾角测量结果

(2) 实验通过 PIV 测得雾流谱的图 (如图 8):

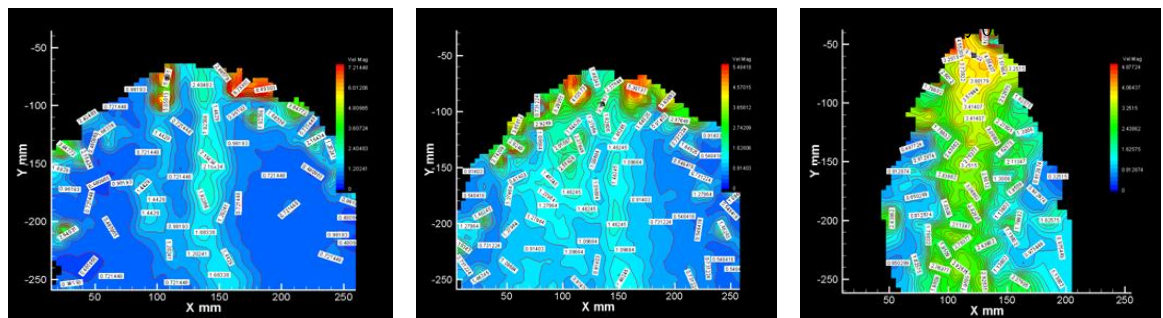
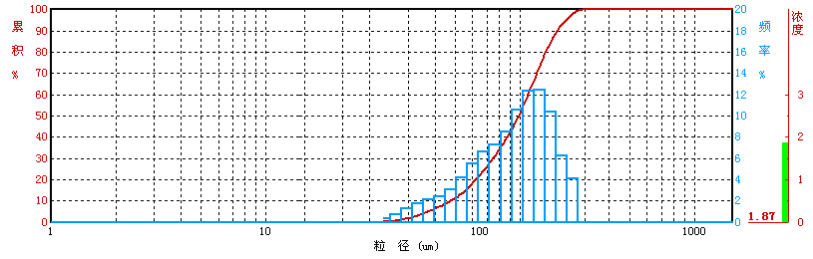


图 8 雾流谱结果

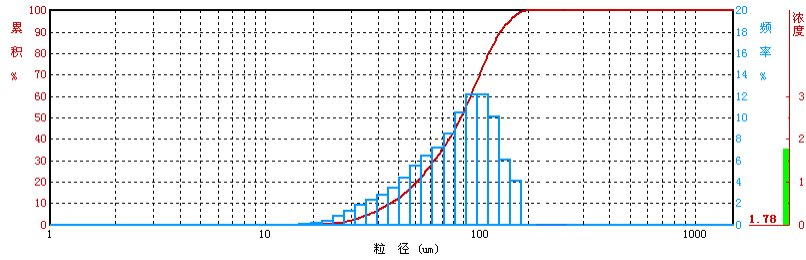
用 PIV 测试系统对静电喷头进行了喷雾角和雾流谱的测试。从试验结果可知, 当压力越大时, 喷头的喷雾角越大, 雾滴的速度增加, 且雾型较好, 雾滴谱均匀, 喷雾效果佳。对于航空静电喷雾来说, 设计喷头的雾化压力为 0.35MPa, 喷雾量为 0.8 L/min 可以产生的比较满意的喷雾效果。

4.2 雾滴粒径测试测试

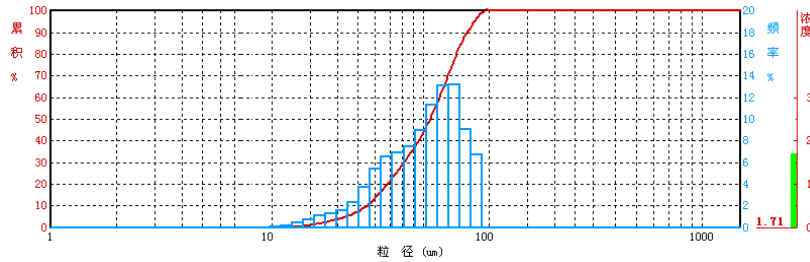
雾滴发生单元如同上文所述。选用激光粒度分析仪进行雾滴粒径测量和雾滴谱分析。工作过程中在距离喷头2m处分别对非静电、静电 (4Kv)、静电 (7 Kv) 三种喷雾方式的雾滴体积中径进行了测量。



a. 非静电 (平均粒径 $D_{av} = 215.6\mu m$)



b. 静电 5kv (平均粒径 $D_{av} = 102.8\mu m$)



c. 静电 7kv (平均粒径 $D_{av} = 82.6\mu m$)

图9 雾滴粒径数据采集结果

用激光粒度分析专家系统采集数据,结果如图9所示,以相同浓度的水剂作为测量介质,非静电喷雾时的体积中径 $D_{av} = 215.6\mu m$, 静电(4kV)时的体积中径 $D_{av} = 102.8\mu m$, 静电(7kV)时的体积中径 $D_{av} = 82.6\mu m$ 。加上静电后(比较图9中的a和b),b中的图形左移,说明粒径明显变小。小粒径的雾滴数量明显增多,比较均匀;随着电压的增加(比较图9中的b和c),c中的图形进一步左移,说明雾滴进一步细化,雾滴尺寸集中在平均体积中径附近,雾滴尺寸更均匀。

4.3 荷质比测试

本文采用网状目标法对航空静电喷头的荷质比进行了测量^[12-14]。在测量系统的前端距离喷嘴1m、2m、3m的3个位置分别进行了荷质比测量。试验结果如图10所示。

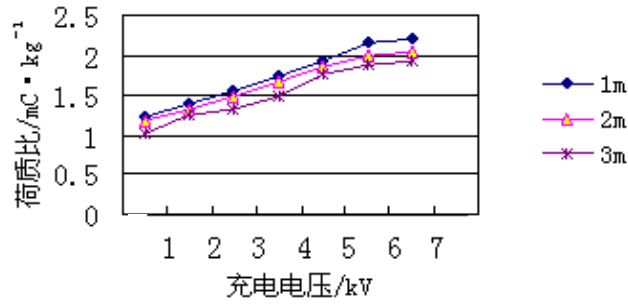


图 10 雾滴荷质比测量结果

从试验结果可以看出：随喷雾距离的增加，荷质比虽然下降，但是下降的并不快，三条曲线的形态非常类似，说明虽然随着测量点距离喷头的位置位置越远电荷由于电场的减少有损失，但是由于荷电雾滴在运行过程中还伴有雾滴质量损失，荷质比变化不大，在较远距离处甚至即将到达目标处的雾滴仍然有电荷存在。航空静电喷雾的荷质比至少应该是 0.8mC/kg，最大可达到 2.26mC/kg，试验证实该航空静电喷头可以满足航空静电喷雾防治病虫害的需要。

4.4 应用试验

试验结果如表 1，结果表明静电航空喷雾比常规航空喷雾产生的雾滴沉积分布更均匀，雾滴飘移的可能性小，提高了农药使用率，防治效率明显提高。

表 1. 三种喷头对地面靶标表面沉积效果和灭虫效果之比较

喷头选用	喷雾流量 (L/min)	有效喷 幅(m)	平均雾滴密 度(个/cm ²)	雾粒均匀 度	有效防治效 率	每公顷用药量 (L)
扇形喷头	2.4	32.0	4.0	0.45	62%	10.68
静电喷头	0.8	32.6	22.0	0.90	95.8%	5.46

注：平均粒径为加权平均值。

5. 结论

本文在设计航空静电喷雾系统及装置的基础上，开展了航空静电喷雾雾化装置的设计和实验研究。在实验室内对该喷头产生的喷雾角、雾流谱、雾滴粒径、荷质比进行了测试研究，将该喷头挂载在蜜蜂机上开展了雾滴沉积分布和防治松毛虫的实验研究。主要的研究结论有：

- (1) 从航空静电喷雾系统、静电喷头、高压静电电源等几个方面进行改进设计，喷头

更加美观、结实、耐用，安装方便。

(2) 航空静电喷头在压力为 0.35Mpa，喷孔直径为 0.8mm 时，喷雾角度为 96°，雾滴流速较高，雾流谱速度均匀，可以达到比较满意的喷雾效果。

(3) 航空静电喷头产生的雾滴粒径随电压的增加而减小，雾滴粒径分布随电压的增加更趋于均匀；荷质比随电压的增加而增加，最大可达到 2.26 mC/kg，并在电压为 7kV 时趋于饱和；相对喷头的轴向距离对荷质比的影响不大，在较远处仍然有电荷的存在。

(4) 与常规扇形航空喷雾相比，静电喷雾能使雾滴沉积平均提高 18 个/ cm²，静电喷雾下的雾滴分布更均匀，单位面积上的雾滴沉积量较多。

(5) 运用航空静电喷雾装置防治大面积的松毛虫有良好的防治效果，与常规扇形航空喷雾相比，不仅作业时间短，每公顷使用农药量减少 5.22 升，而且有效防治率提高了 33.8%。

参考文献

- [1] Law, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century. *Jour. of Electrostatics* 2001,51(1):25-42.
- [2] Law, S. Edward and Steven C. Cooper. 2004. Electrostatic spray nozzles for abrasive and conductive liquids. European Patent No. EP 0 837 735. Issued Feb. 25. European Patent Office, Munich, Germany.
- [3] Carlton J.B. Technique to reduce chemical usage and concomitant Drift From Aerial Sprays [P]. United States, 5975425, Nov.2,1999.
- [4] Kirk.I.W, Hoffmann.W.C, Carlton.J.B. Aerial electrostatic sprary system performance[J]. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers* 2001. 44(5): 1089-1092.
- [5] 茹煜.农药航空静电喷雾系统及其应用研究[D].江苏.南京林业大学.2009.
- [6] 茹煜; 周宏平; 贾志成; 吴小伟; 范庆妮.航空静电喷雾系统的设计及应用[J].*南京林业大学学报(自然科学版)*,2011,35(1):91-94.
- [7] 茹煜; 郑加强;周宏平;舒朝然; 航空双喷嘴静电喷头的设计与试验[J];*农业机械学报*,2007,38(5): 58-61.
- [8] Hongping Zhou;Yu Ru;Jiaqiang Zheng;etc; Design and experiments of aerial electrostatic spraying system Assembled in Helicopter; 2009,ASABE(6):paper number(097378)
- [9] 何雄奎, 严苛荣, 储金宇等. 果园自动对靶静电喷雾机设计与试验研究[J].*农业工程学报*,2003,19(6):78-80.
- [10] 梁成杰, 赵玲, 黄金义等. 航空喷洒设备及监测技术的研究(1.喷洒设备性能测试)[J].*林业科学研究*, 1998,11(6): 607~611.
- [11] 黄向东,方志蓉. 超轻型直升飞机与固定翼飞机在森林病虫害防治应用中的比较研究[J].*长沙电力学院学报(自然科学版)*,1999,8: 279-281.
- [12] 吴春笃; 王黎光; 杨超珍. 静电喷雾雾滴荷电特性的试验研究[J]. *农机化研究*, 2011,(10):147-150.
- [13] Law, S. E. Air-assisted, electrostatic-induction, crop-spraying technology: Review of basic physics and engineering underlying the reduced-volume, reduced-diameter deposition process[J]. *American Chemical Society Picogram* .2010.78(AGRO 302):142.
- [14] 金晗辉; 王军锋; 王泽; 罗惕乾;. 荷电气-液两相同轴圆射流的 LDV 研究[J]. *江苏理工大学学报*,1999,20(5): 47-49.