

压电式喷墨印刷中液滴喷射参数分析

宋波, 唐正宁

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 油墨液滴体积大小是影响喷墨成像质量的直接因素, 对喷墨印刷中液体喷射情况进行了分析与研究。以一套压电式喷液设备, 进行了乙二醇液体的液滴喷射实验, 观察并探讨了操作频率、脉冲时间、脉冲电压、脉冲形态等实验参数对液滴喷射过程的影响。实验表明: 改变不同的参数会影响到液滴的形成机制, 分别对每个参数进行观测, 以求找到液滴喷射的最佳条件。

关键词: 喷墨印刷; 压电式; 液滴喷射; 乙二醇

中图分类号: TS803.6; TS853⁺.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)19-0093-04

Parameter Analysis of Droplet Ejection of Piezoelectric Ink-jet Printing

SONG Bo, TANG Zheng-ning

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Size and stability of droplet directly influence the quality of ink-jet imaging, so analysis and research on droplet ejection of ink-jet printing is very necessary. Ethylene glycol droplet ejection experiment was carried out using a set of piezoelectric ink-jet printing device. The influence of operating frequency, pulse time, pulse voltage, pulse shape and other experimental parameters on droplet ejection effect was studied. The experiments showed that changing different parameters will affect the droplet formation mechanism. Each of parameters was observed separately, in order to find the best conditions for droplet ejection.

Key words: ink-jet printing; piezoelectric; droplet ejection; ethylene glycol

由于喷墨印刷无需接触、无需压力、无需印版, 可以喷射各种材料的液滴至任何承印物上, 来形成所需要的图案或产品, 即是可控的印刷过程, 所以对于喷墨印刷来说, 液滴喷射是最基本的问题^[1]。液滴喷射技术是近年来发展起来的快速成型技术, 主要应用于喷墨打印、生物医学、微电子等多个领域^[2-3]。

1 压电式喷墨印刷理论分析

1.1 压电式喷墨技术的原理

在腔室的底部或是两侧, 加有压电陶瓷体元件, 加于底部的称为底压式, 加于两侧的称为挤压式。对压电陶瓷体加以电压, 会使压电体瞬间膨胀或缩小而改变其体积, 压电陶瓷体受到电压后体积的改变见图1。

由于压电体和腔室是紧密接触的, 所以随着压电

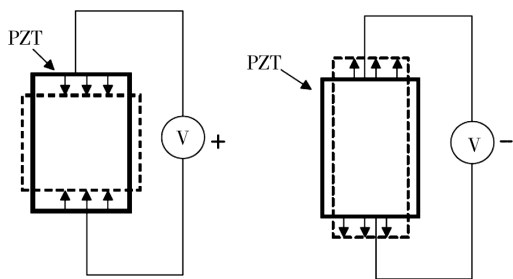


图1 正或负电压作用后 PZT 的变形

Fig. 1 Schematic of deformation of PZT after positive or negative voltage is applied

体体积瞬间的改变, 腔室的体积也会跟着改变。腔室体积瞬间变大, 会使腔室内的液体压力瞬间变为负值, 使液体从喷孔回缩; 而腔室体积瞬间变小, 会使腔室内的液体压力瞬间变为正值, 使液体从喷孔喷出, 液体喷出后损失的体积会由液体补充区来补充。

收稿日期: 2011-06-30

作者简介: 宋波(1985—), 男, 天津人, 江南大学硕士生, 主攻喷墨印刷系统的分析与研究。

1.2 挤压式压电喷头的喷射原理

挤压式压电喷头的结构见图 2^[4]。在喷头的左

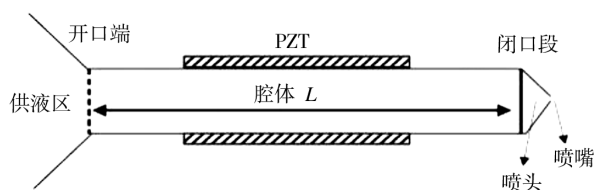


图 2 挤压式压电喷墨头的结构

Fig. 2 Schematic of a squeeze mode piezoelectric inkjet printing head

边为液体补充区,而腔室右边直径急速缩小的区域称为喷嘴,液体喷出的地方为喷孔。液体补充区为开口端,而喷嘴为闭口端。图 2 中 PZT 即为压电陶瓷体,铅锆钽氧化物 PbZrTaO_3 , PZT 在示意图看起来压电体是在两侧,事实上是一个环状的压电环,包覆在腔室的外围。

对 PZT 施加的单脉冲电压见图 3,在电压上升的

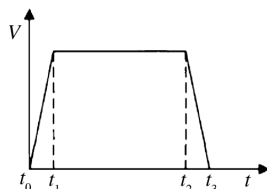


图 3 施加于 PZT 上的单脉冲电压

Fig. 3 The single pulse imposed on PZT

$t_1 \sim t_0$ 时间段, PZT 的体积会迅速变小,相应地腔室的体积随之变大,腔室内的液体压力瞬间变为负值,此时,由于液体压力小于大气压力,会有液滴回缩现象的发生;当正电压维持的 $t_2 \sim t_1$ 时间段, PZT 保持不变,腔室体积、压力均不改变;而在电压下降为零的 $t_3 \sim t_2$ 时间段, PZT 回到初始状态,并给予液体一个正压力,当液体突出的正压足够大时,液滴就会喷出。

1.3 挤压式压电喷头的波传导理论

在腔室中央,由于受到 PZT 的挤压,所以具有最大的压力,而随着距离 PZT 位置的增大,压力逐渐减小。并且波会随时间的变化一分为二,分别向开口端和闭口端传导。根据 Bogy 提出的波传导理论^[6-7],一个传导中的压力波,传导至开口端会发生异弧反射,而传导至闭口端,则会发生同弧反射,见图 4(图中直线之上的为正压力波,直线之下的为负压力波,

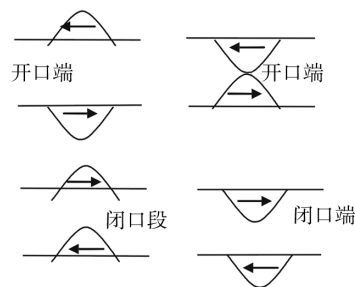


图 4 开口端和闭口端压力波的反射

Fig. 4 Schematic of pressure waves reflected from open end and close end

都是相对于大气压力而言的)。

正压力波传导到开口端会变成负压力波反弹回去,负压力波传导到开口端会变成正压力波反弹回去;而正压力波传导到闭口端会维持正压力波反弹回去,负压力波传导到闭口端会维持负压力波反弹回去。

定义一个波传导时间为 t_{opt} ,表达式为: $t_{\text{opt}} = L/C$,其中 L 为腔室长度, C 为波在此液体中的传导速度,即波传导时间为一个压力波由腔室的一端传导至另一端所需的时间^[7],也刚好可以使一个在腔室中间产生的压力波,一分为二且分别向两边传导后,又在中间会合。由此可以得到不同时间段内压力波的反射和传递,见图 5。

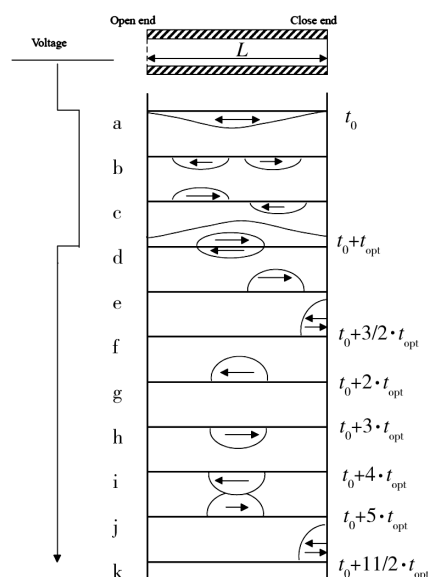


图 5 开-闭挤压式腔体内压力脉冲的反射和传递

Fig. 5 Schematic of propagation and reflections of initial pressure pulse in an open-closed squeeze tube

图 5a 表示在腔室中,因为 PZT 的突然收缩,使腔室突然膨胀,而产生的初始负压力;图 5b 表示此时压力波一分为二,向两端传导,而振幅也减为一半;图 5c 表示向两端传导的压力波,反弹回来的形态;图 5d 表示 2 个压力波传导了 L 的长度之后,在中间相遇,这 2 个压力波在此一瞬间会互相抵消;但是在此时, PZT 的归位,使腔室体积瞬间变小,而产生一个正的压力波,会使向左传的负波被抵消,而向右传的正波振幅会加倍,加倍的正波仍会向右端传导(图 5e)。由图 5a 产生的初始负压力波,会变成图 5e 的向右传导的一个正压力波,随着时间到了 $t_0 + 3/2 \cdot t_{opt}$ 时,压力波传导到了喷嘴区,喷嘴区的压力大小的绝对值等于初始负压力的绝对值。此时此正压会将液体由喷孔挤出,造成一个突出;而如果正压够大的话,会将液体由喷孔喷出,形成一个液滴。如果之后没有其它电压的加入,则压力波就会在腔室内传导、来回振荡,见图 5g—k。值得注意的是,在 $t_0 + 11/2 \cdot t_{opt}$ 时,喷嘴区的压力又再度达到最大,此时有可能会再次导致液滴的再一次喷出。

2 实验

探讨实验参数操作频率 f 、脉冲时间以及脉冲电压,在单脉冲电压下,对于乙二醇液体液滴喷射的影响。由图 3 可知 t_1, t_2, t_3 分别为电压对应的不同时间,则设脉冲电压初始上升时间为 $t_{rise} = t_1 - t_0$;正电压 U 维持时间为 $t_{dwell} = t_2 - t_1$;下降时间为 $t_{fall} = t_3 - t_2$ 。为方便起见,表示参数条件时,将以 $[t_{rise} _ t_{dwell} _ t_{fall} _ U _ f]$ 的方式来表示。

2.1 操作频率对液滴喷射型态的影响

操作频率 f 定义为在一秒钟之内,重复电压脉冲循环的次数。该研究以 $[3_13_3_40 \text{ V} _ f]$ 来探讨操作频率对于乙二醇液滴喷射的影响。 f 由 1 000 Hz 变化至 16 000 Hz 液滴在不同频率时的影像见图 6。

通过对图 6 中液滴喷射型态的观察,不难发现频率在 12 kHz 以内,乙二醇其液滴型态及平均速度皆大致相同,而频率在 12 kHz 以上,就会产生混乱状态。

过大的频率会产生混乱的喷射,所以频率不可无限制地加大,因为在上一个压力波还没有衰减到一定程度,又再施以一个电压脉冲,则此尚未衰减的压力波会对新的电压脉冲产生的压力波造成干扰,而混乱

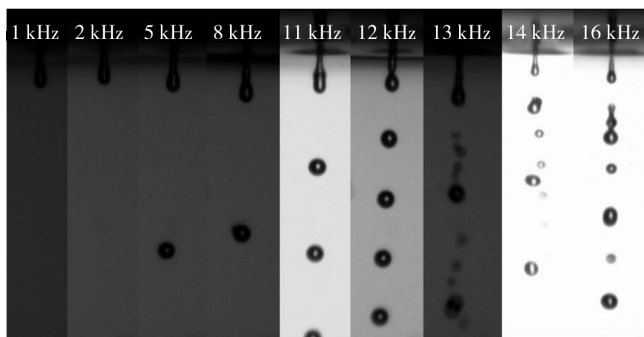


图 6 不同操作频率下液滴喷射的状态

Fig. 6 Droplets of ethylene glycol under different operating frequency

了腔室内的压力状况,影响到液滴的喷射型态。

2.2 脉冲时间对液滴喷射型态的影响

脉冲时间由 $t_{rise}, t_{dwell}, t_{fall}$ 3 部分构成,该研究以 $[3_T_3_40 \text{ V} _ 12 \text{ 000 Hz}]$ 来探讨脉冲时间对于乙二醇液滴喷射的影响。正电压维持时间由 $7 \mu\text{s}$, 变化至 $16 \mu\text{s}$, 截取液滴在不同脉冲时间下的影像见图 7。

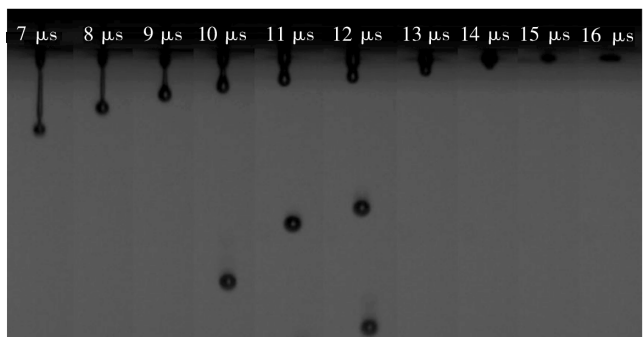


图 7 不同脉冲时间下液滴喷射的状态

Fig. 7 Droplets of ethylene glycol at different pulse time

由图 7 可以发现乙二醇液滴在此喷射条件下,正电压维持时间从 $7 \mu\text{s}$ 到 $16 \mu\text{s}$ 的液滴型态皆大致相同,差异在于液滴的速度,过长或过短的正电压维持时间都没有喷出液滴,液滴在 $12 \mu\text{s}$ 时出现最大速度。

2.3 脉冲电压对液滴喷射型态的影响

研究以 $[3_12_3_U _ 12 \text{ 000 Hz}]$ 探讨电压对液滴喷射型态的影响。电压设定为 40, 42, 44 及 46 V, 以此 4 组实验做讨论, 40 V 的喷液结果见图 8a, 42 V 的喷液结果见图 8b, 44 V 的喷液结果见图 8c, 46 V 的喷液结果见图 8d, 39 V 的电压也进行测试,但无法喷出液滴。

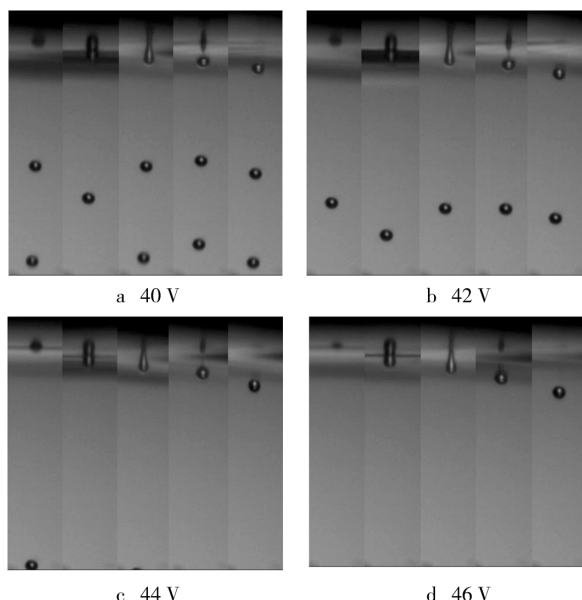


图8 液滴在不同脉冲电压下的喷射状态

Fig. 8 Ejecting state of droplets under different pulse voltage

40 V 为此脉冲条件下的最小喷出电压,4 个电压下的液滴都在 $30\mu\text{s}$ 时开始喷出,但喷出速度不同。液滴约在 $70\mu\text{s}$ 时开始颈缩,4 种电压下的液滴都在约 $130\mu\text{s}$ 时断裂,断裂后飞行的主液滴在形状上并没有产生振荡,所以都没有附属液滴产生。

在液滴体积方面,随着电压的增大,液滴体积也跟着变大,4 种电压都在 $40\mu\text{s}$ 时出现最大速度,而且电压越大,液滴的最大速度及最大加速度越大。

3 结论

1) 乙二醇以单脉冲 $[3_13_3_40\text{ V}_f]$ 喷出,衰减所需的时间大约只需要 $1\text{ s}/12\text{ kHz} = 83\mu\text{s}$ 。频率太高会有干扰的情况发生,虽然较低的频率不会扰乱腔室内的压力状况,但是频率较低则每秒喷出的液滴较少,喷出一定量液滴的时间就会拉长,从而降低了喷射效率,所以在操作频率的设定上,不可以过大,也不可以太小。以设定在不影响液滴喷射的条件下,最大的操作频率为最佳。

2) 液滴的飞行速度从较短的正电压维持时间开始,随着正电压维持时间的增加而越来越大,到达一最大值之后,又随着正电压维持时间的增加而越来越小。乙二醇液滴在正电压维持时间为 $12\mu\text{s}$ 时出现最大速度,得到较佳的喷射型态,为较佳喷射条件。

3) 脉冲电压越大,会使 PZT 对腔室施加的压力越大,产生的最大正压力越大,而将更多的液体喷出,使液滴的体积变大。液滴的飞行速度同样受到最大正压力的影响,将液滴以越快的速度喷出,液滴的飞行速度会变得越大。电压越大,主液滴的断裂时间也越早,而过大的电压则会有附属液滴或二次液滴产生。

综上实验设备可得到的乙二醇最佳喷射型态的喷射条件为 $[3_12_3_40\text{ V}_f]$ 。越小的液滴体积以及无附属液滴或二次液滴,可以得到越高的解析度;越快的飞行速度,可以缩短液滴的飞行时间,减少不必要的效应;越大的操作频率,则每秒可喷出越多的液滴,可以提高印刷的速度。

参考文献:

- [1] 王灿才. 喷墨印刷质量的分析与研究[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 55—57.
- [2] HEINZL, HERTZ C H. Ink-jet Printing, Advances in Electronics and Electron Physics [J]. Hewlett-Packard Journal, 1985, 65: 91—171.
- [3] COOLEY P, WALLACE D, ANTOHE B, et al. Applications of Ink-jet Printing Technology to BioMEMS and Microfluidic Systems[J]. Proceedings, SPIE Conference on Microfluidics and BioMEMS, 2001, 7(5): 177—188.
- [4] 林建桦. 挤压式压电制滴喷墨头的微液滴喷射行为动力分析研究[D]. 台湾: 国立成功大学, 2004.
- [5] SHIELD T W, BOGY D B, TALKE F E. Drop Formation by DOD in Inkjet Nozzles: A Comparison of Experiment and Numerical Simulation[J]. IBM J Res Develop, 1987, 31(1): 96—110.
- [6] WIJSHOFF H. Structure and Fluid Dynamics in Piezo Inkjet Printheads [D]. Netherlands: the Research and Development Department of Oc'e Technologies B V, 2008.
- [7] BOGY D B, TALKE F E. Experimental and Theoretical Study of Wave Propagation Phenomena in Drop on Demand Devices[J]. IBM Journal of Research and Development, 1984, 28(3): 314—321.
- [8] 王振宁, 唐正宁. 液体表面张力和粘度对压电喷射液滴形成过程影响的数值模拟[J]. 包装工程, 2010, 31(13): 24—27.