

气泡雾化喷嘴水平喷射特性的研究

北京航空航天大学 范全林* * 郭志辉 梁学萍 徐 行 顾善建

【摘要】 研究了一种喷嘴的雾化与流场特性。在喷嘴上游以一定方式将空气或其它种类的气体注入液体中形成两相流动,用水在常温、常压下进行试验。研究了水平喷射时,喷嘴的气体注入方式、气孔大小、锥形收敛段的结构尺寸及气液比对喷嘴雾化和流场特性的影响。试验结果表明,气泡雾化喷嘴水平喷射与竖直向下喷射存在明显的差别,喷射方向不同,喷嘴内的两相流动不同,因而雾化特性不同,收敛段的结构对雾化特性也有影响。该喷嘴的显著特点是在小气液比下可获得较好的雾化效果,因而具有深入研究的价值。

主题词: 喷嘴 气泡雾化 性能分析

分类号: V232.23

1 引 言

Lefebvre A H 等人先后研究过气泡雾化喷嘴的液体喷射压力、气液比与喷孔直径对液体雾化颗粒平均直径和尺寸分布的影响^[1],气体注入孔尺寸的影响^[2],气体注入形式的影响,以及喷嘴的流量特性^[3],外界反压的影响^[4]等(试验均是在竖直向下喷射时完成)。气液两相流动不同于单相流动^[5],喷嘴水平与竖直放置对喷嘴内的两相流动状态会有显著影响,并产生不同的流型,进而可能产生不同的雾化效果。此外,在实际应用中,大多数喷嘴是水平与竖直向上安装的,也有的以一定倾斜角度安装。因此,对气泡雾化喷嘴的特性作进一步研究很有必要。

2 试验装置与测试方法

试验所用气泡雾化喷嘴(A)见图 1。试验设计有 3 种气泡发生器:多孔(20 个直径为 1.0

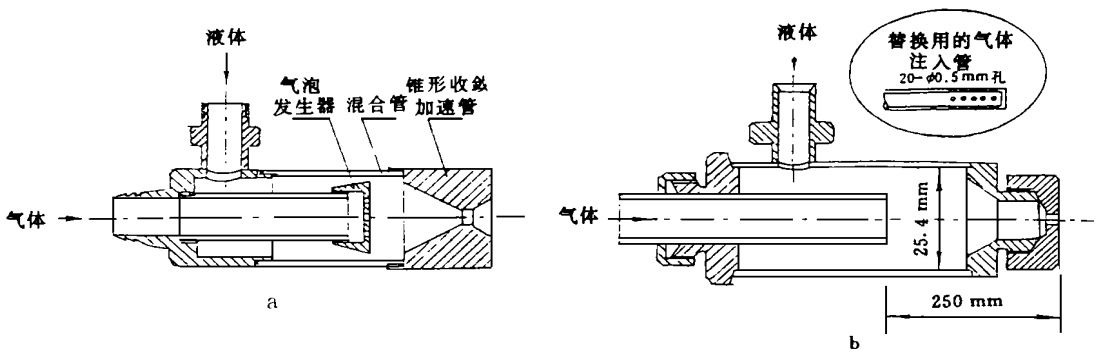


图 1 气泡雾化喷嘴(A)和(B)

mm 的端孔)、单孔 I 型(1 个直径为 2.2 mm 的端孔)和单孔 II 型(1 个直径为 3.8 mm 的端孔);加速段结构有 40° 、 60° 、 90° 、 120° 四种类型。其中喷嘴的混合段及加速段均由有机玻璃制成,便于观察喷嘴内部的两相流动。图 1B 是文献[1-4]中提到的气泡雾化喷嘴,其气体注入管的内径为 6 mm,开口端位于喷孔上游 250 mm 处;另一种气体注入管的结构也画在图 1B 中,它是由 20 个直径为 0.5 mm 的侧孔组成的。A、B 两种气泡雾化喷嘴的喷孔直径均为 2 mm。喷雾试验台是由供液、供气、测量及排雾系统组成。其中液体、气体流量由浮子流量计测定,排雾系统两侧安装有光学玻璃,可观察和记录喷雾射程。

用激光粒子动态分析仪(PDA)对气泡雾化喷嘴进行了测量。PDA 利用光学多谱勒效应实现对测量体的测量。PDA 是当前最先进的光学液雾测量仪器,它可同时提供所测颗粒的直径和速度信息,通过 SIZEware™ 软件,还可给出湍流度、频谱、相关性等大量的流场特性数据^[6,7]。在喷嘴

下游 200 mm 处,与喷射轴线方向垂直的横截面上对气泡喷嘴的雾化特性及速度分布进行了测量,测试点的选取原则见图 2。图中 O 表示喷嘴(雾)轴线位置;箭头方向是对喷雾进行测试时,PDA 位移机构的移动方向。

本试验是在常温、常压下进行的,所用的液体是水,其与雾化有关的参数为:粘度 $\mu = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,表面张力 $\sigma = 0.0734 \text{ kg/s}^2$,密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$,所用的气体是压缩空气。

3 试验结果及分析

3.1 喷嘴水平与竖直向下喷射的对比

对在整个 B 型气泡雾化喷嘴水平喷射试验范围内,无论怎样匹配气液参数,均未能观察到文献[1-4]中所描述的均匀泡状流动。喷嘴内部始终为半管水、半管气,气液分层明显。

对于水平喷射的 B 型气泡雾化喷嘴,上述现象是由于在喷嘴内部较长的气液两相作用距离上(250 mm),从气泡发生器产生的气泡受浮力的作用,易贴近上部管壁,聚合成一大气泡,从而使喷嘴内部的两相流态发生了从泡状流向分层流及塞状流的转变所致^[5]。

当加大液体喷射压力,维持气液比不变时,分层流更明显。此时喷嘴虽然能形成雾化,但其工作状态相当不稳定,存在有间歇的脉动,并且喷嘴对安装位置的水平度非常敏感,稍微偏离就易导致雾化消失,液体成流股从喷孔射出。但即使这种不稳定的雾化状态,也不是气泡雾化的结果,而是混合管上半部的气体对两相接触面的液体的卷吸作用而形成的雾化;降低气液两相压差,减小气液比,使整个混合管充满水时,会形成“液封”,这时虽然间断有气泡从气泡发生器产生,但数量少,其能量不足以完成气泡雾化,喷嘴出口为液体射流。这表明,喷射方向对气泡喷嘴内的两相流态及其雾化特性有显著影响。

B 型气泡雾化喷嘴竖直向下喷雾的试验数据已在文献[1-4]中给出,图 3 是对该喷嘴水平分层流时雾化效果的测量。由于喷雾对称性,这里只给出了沿 X 方向半径距离 SMD 变化的数据。从图 3 中可以看出,随着气液比的增大,空气助雾化作用加强,SMD 曲线下移;SMD 值

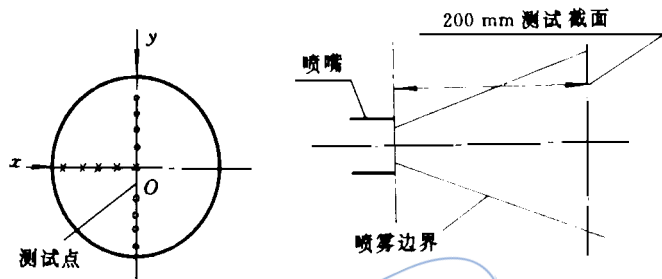


图 2 测试点的选取

呈喷雾外围大、中心小的原因是: 液体颗粒从喷孔射出后, 在惯性力的作用下, 大粒子穿透力强, 电向喷雾外侧, 而小粒子则集中于喷雾中心的缘故(图 3 的喷嘴压降 $\Delta P_L = 3.4 \times 10^5 \text{ Pa}$; 液体质量流量 $m_L = 200 \text{ kg/h}$)。

3.2 气体注入方式与气孔尺寸对气泡雾化喷嘴特性的影响

应用新设计的气泡雾化喷嘴(A), 改变气体的注入方式后, 均实现了在气泡喷嘴水平方向喷射时稳定、连续地雾化。试验发现, 气泡发生器产生的连续、大量的气泡和从它与混合管形成的环缝中‘回流’来的液体达到了较好的掺混, 强烈的湍流效应已把液体重力及气泡浮力使气液两相分层的倾向抑制到了最低程度。从气泡发生器端面至喷孔的混合、加速区域里已基本形成了均匀的泡状两相流动。图 4 和图 5 是对该型喷嘴雾化质量及速度的测量结果(喷嘴压降 $\Delta P_L = 2.9 \times 10^5 \text{ Pa}$, 液体质量流量 $m_L = 80 \text{ kg/h}$, 气液质量比 $ALR = 65\%$)。

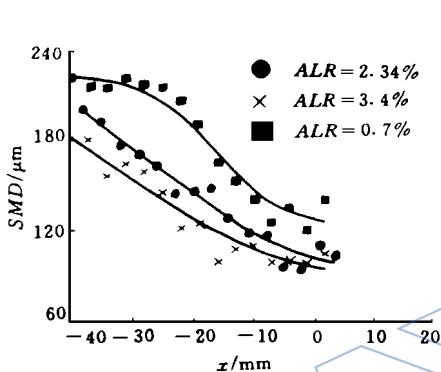


图 3 喷嘴(B)水平喷射时雾化特性

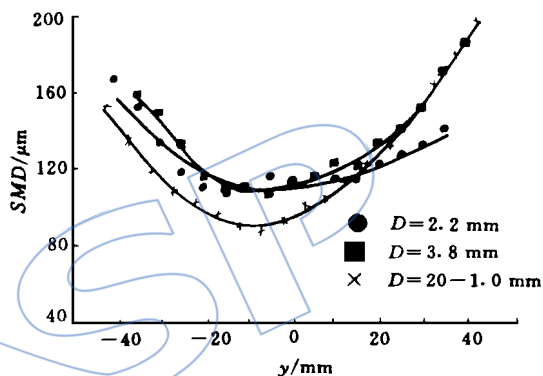


图 4 气体注入孔喷嘴(A)水平喷射对雾化特性的影响

图 5 的 SMD 数据表明, 改变气体的注入方式后, 不论气泡发生器采用多孔型方案还是单孔型方案, 都获得了较好的雾化效果。由于单孔($\Phi 2.2$ 型)及多孔方案产生的气泡密集度高, 泡状两相流均匀性好, 从图 4 可看出它们的 SMD 值小, 而且多孔注气的雾化质量表现了比单孔更好的倾向: 雾化液滴 SMD 的最小值出现在该方案中。试验时还注意到, 单孔 $\Phi 3.8$ 型方案的气泡发生器后始终有一个较大的气泡存在, 使得小气泡密集度降低, 一定程度上削弱了泡状两相流的均匀性, 结果雾化效果变差, 其在图 4 中 SMD 曲线位置最靠上。这说明, 气泡发生器注气孔的尺寸对泡状两相流的均匀性有影响, 其孔径过大, 会降低气泡在液体中散布的均匀程度, 不利于雾化。

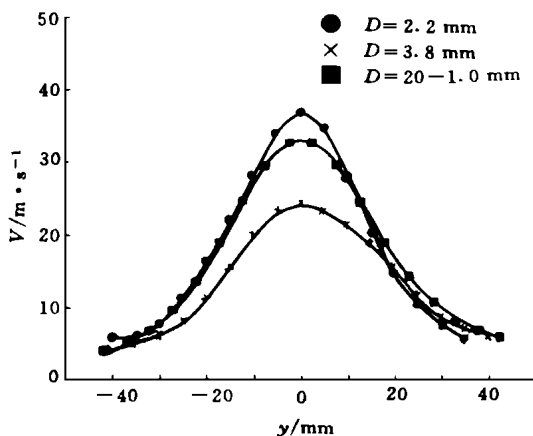


图 5 气体注入孔结构对气泡雾化喷嘴(A)水平喷射时喷嘴下游 200 mm 处速度分布的影响

从图 5 的水平喷射时, 喷嘴(A)下游 200 mm 处速度分布曲线可以看出, 气泡雾化的液滴

速度分布与喷雾中心对称,中间速度高,外围速度低,且粒子速度呈现出自中心轴线向喷雾边界逐渐衰减的趋势。这种现象是雾化液滴从喷口射出后,受到周围环境空气阻力作用的结果。喷雾边界的颗粒与环境静止的空气发生动量交换,使得粒子速度迅速下降,并且这种作用逐步向喷雾中心发展,从而使气泡雾化的液滴颗粒速度分布表现出上述规律。

图 5 的速度分布曲线同时表明,喷嘴内部气泡散布的均匀性也影响着喷嘴下游的喷雾速度。单孔($\Phi 2.2$ 型)及多孔方案实现了气泡在液体中的均匀散布,被离散的液相在随后的收敛段得到加速,使得喷雾获得了高的平均速度及峰值,而单孔 $\Phi 3.8$ 型气泡发生器后大气泡的存在削弱了气泡散布的均匀性,因此在图 6 中,其喷雾平均速度及峰值都比前两种方案的低。

3.3 收敛加速段对气泡雾化喷嘴的影响

图 6、图 7 给出了锥形加速段对喷嘴雾化质量及喷雾射程的影响。从图 6 可以看出,随着

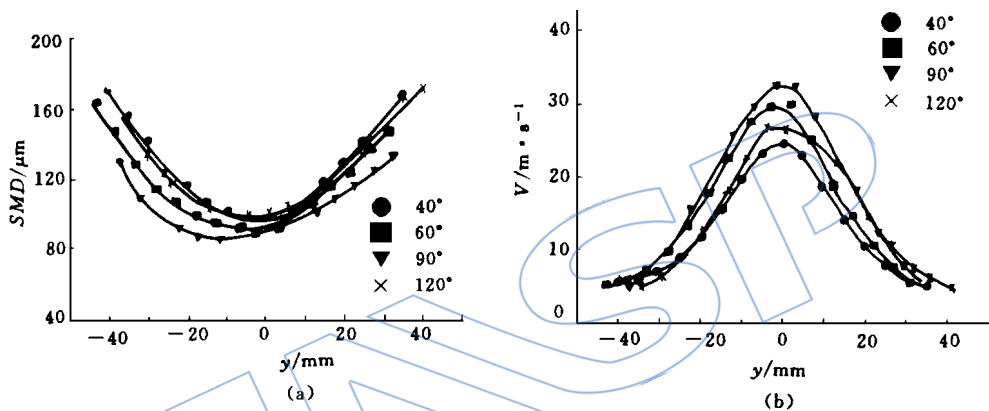


图 6 A 型喷嘴加速段收敛角度对雾化质量(a)及喷雾速度(b)
($ALR=4.9\%$; $\Delta P_L=3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$; $m_L=80 \text{ kg/h}$)

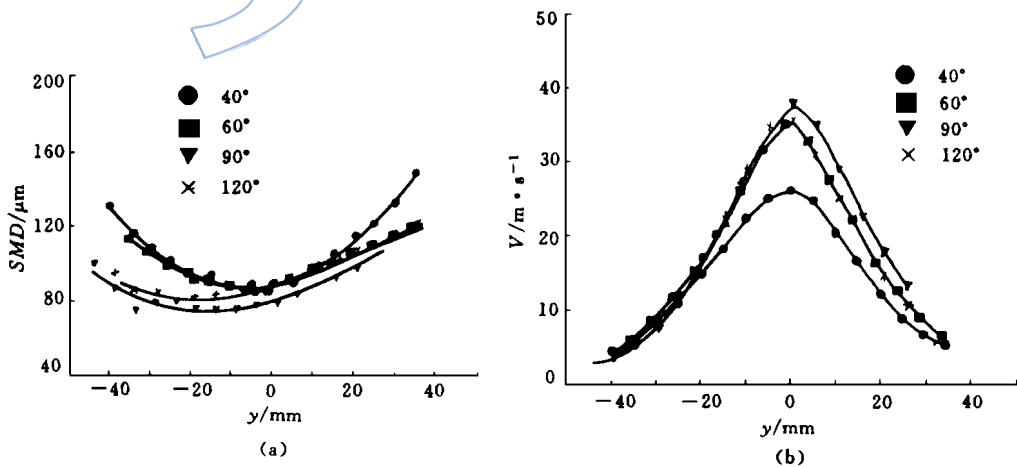


图 7 气液比增大后加速段收敛角度对 A 型喷嘴雾化质量(a)及喷雾速度(b)的影响
($ALR=12\%$; $\Delta P_L=3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$; $m_L=50 \text{ kg/h}$)

加速段收敛角度的增大,从 40 到 60 到 90°,SMD 曲线下移,变化趋于平坦。这说明雾化颗粒的

平均直径不断减小,雾化得到改善。当收敛角度增大至 120 时, SMD 曲线反而上移, 曲线也变陡, 意味着喷雾质量变差。两种截然相反的变化倾向表明, 气泡雾化喷嘴对泡状两相流的加速, 存在一最佳收敛角度: 收敛角过小, 使得泡状两相流的流程变长, 增大了小气泡碰撞合并为大气泡的机率, 可能影响雾化; 相反, 收敛角过大, 使气泡在液体中的散布时间过短, 特别是气泡生成率较高时(参见图 7(a), 气液比较大时), 气相未来得及和液相很好作用就喷出喷嘴, 对雾化也是不利的。

图 6(b) 和图 7(b) 分别给出了两种工况下, 喷嘴下游 200 mm 处的喷雾速度分布。尽管它们的气液比差别较大(4.9% 和 12%), 安装有 90 锥形加速段的喷嘴都获得了最大喷雾中心速度, 喷雾射程最远。它也暗示, 对泡状两相流的加速的确存在一最佳收敛角度, 合适选取它, 在获得较好雾化质量的同时, 也能得到较远的喷雾射程。

从图 6、图 7 中也能得出气液比对喷嘴雾化及速度特性的影响。随着气液比的增大, 喷嘴内气泡密集度增加, 更多小气泡在喷嘴外的“爆炸”会改善雾化效果, SMD 值减小, 表现为图 7(a) 中的 SMD 曲线与图 6(a) 中的对应曲线相比, 位置普遍下移; 同时 SMD 曲线变化都趋于平坦。另一方面, 气液比增大, 也改善了气泡在液体中的散布, 使离散均匀的液体随后能较好地被加速, 因此在图 7(b) 中, 4 种收敛加速方案的喷雾粒子平均速度及峰值均比图 6(b) 中的对应值大。

4 结 论

基于对水平喷射的气泡雾化喷嘴内部两相流动观察和试验数据分析, 得出以下结论: (1) 喷射方向不同, 喷嘴内部的两相流动状态不同, 因而会导致不同的雾化特性。(2) 如何形成气泡在液体中均匀散布的两相流是实现气泡雾化的关键。不同的喷嘴结构形成了不同的两相流动与雾化结果。(3) 气体注入孔的尺寸对雾化特性有一定的影响。(4) 喷孔前收敛角度不同, 会对两相流产生不同的加速效果, 进而得到不同的雾化效果。(5) 该喷嘴在小气液比下就能获得较好的雾化效果, 有进一步深入研究的价值。

参 考 文 献

- 1 Lefebvre A H, Wang Spray X F. Characteristics of Aerated- Liquid Pressure Atomizers. AIAA Paper 87- 0063
- 2 Roesler T C, Lefebvre A H. Studies on Aerated- Liquid Atomization. International Journal of Turbo and Jet - Engines, 1989, 6(3- 4): 221- 229
- 3 Wang X F, Chin J S, Lefebvre A H. Influence of Gas- Injector Geometry on Atomization Performance of Aerated- Liquid Nozzles. International Journal of Turbo and Jet - Engines, 1989, 6(3- 4): 271- 279
- 4 Chen S K, Lefebvre A H. Influence of Ambient Air Pressure on Effervescent Atomization. Journal of Propulsion and Power, 1993, 9(1)
- 5 Hewitt G F. Liquid- Gas System. Handbook of Multi- Phase System Part II, Gad Hetsroni, 1st ed., 1982
- 6 PDA User's Manual 1992, DANTEC Measurement Technology
- 7 SIZEware Installation and User's Guide, DANTEC Measurement Technology, 1992

(责任编辑 杨再荣)

IMPROVEMENT OF PRESSURE FIELD IN S- SHAPED DIFFUSER AT HIGH INCIDENCE BY VARIABLE LIP

Weng Peifen

(*Shanghai Inst. of Appl. Math. and Mech., Shanghai University, Shanghai 200030*)

Guo Rongwei

(*2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016*)

ABSTRACT

The effects of a variable lip on pressure field in an S- shaped air intake at high angle of attack have been investigated experimentally. The measurements of wall and exit static pressures were made at the range of incidence from 0 ° to 80 ° of lip angle from 0 ° to 50 °. With increasing angle of the variable lip, two effects exist: (1) the incidence seems to reduced, (2) a door with the same effect as auxiliary air intake door (AAID) occurs behind this lip because of its rotation, which allows air flow with a high kinetic energy into the diffuser. The results show that the pressure promotion is obtained in this kind of intake with the help of the variable lip technique.

Key Words Engine inlets Flow distortions Fluidics

REGULARIZATION PROCESSING OF INPUT DATA IN INVERSE HEAT TRANSFER PROBLEM AND ITS INFLUENCE ON THE SOLUTION

Zhou Jingwei and Cheng Shangmo

(*Dept. of Power Eng., Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074*)

Li Wenjun and Li Xijing

(*Engineering Thermophysics Lab., China Institute of Metrology, Hangzhou 310034*)

ABSTRACT

The major difficulty of the inverse problem lies in the fact that its solution does not depend continuously on the data and therefore is ill- posed. Based on Tikhonov's regularization method, a numerical procedure is provided for processing the input data in the inverse heat transfer problem, so that a uniform approximation is obtained both for the data function and its derivative. The effectiveness of the methods illustrated through simulated experiments using inexact data. The results demonstrate that the accuracy and stability of the inverse problem solution are significantly improved. The influence of the time step and the regularization parameter is also investigated. In addition, it is also shown that such a regularizing smooth procedure is obviously superior to the ordinary least square approximate method.

Key Words Heat transfer Regularization Precision Stability

A STUDY ON HORIZONTAL EJECTION CHARACTERISTICS OF EFFERVESCENT ATOMIZERS

Fan Quanlin, Guo Zhihui, Liang Xueping, Xu Hang, Gu Shanjian

(*4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083*)

ABSTRACT

The atomizing and flow field characteristics of a novel type of inject-

tor have been investigated. Essentially, the injector is a plain-orifice atomizer with injecting air or gas into the liquid upstream of the final discharge orifice. Measurements of mean drop size and drop-size distribution and velocity characteristics of the spray are obtained with the aid of Particle Dynamic Analyzer (PDA). The liquid employed is water and all tests are carried out at normal atmospheric pressure and temperature. The injecting pressures of water range from 1.5×10^5 to 5.5×10^5 Pa, and air/liquid mass ratios from 0 to 0.12. Investigations are focused on the influence of gas-ejecting methods and the convergent angles on atomization performance of horizontally ejecting effervescent atomizer. The results show that atomization quality changes obviously at horizontally and downwards injecting of the atomizer. Different two-phase flow patterns lead to various atomization effects.

Key Words Atomizers Pneumatic atomization Performance analysis

TECHNICAL NOTES

EFFECTS OF MECHANICAL HETEROGENEITY ON FATIGUE CRACK GROWTH IN WELDED JOINTS

Li Xiaoyan

(Welding Division, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

Xu Tang, Gao Deping, Fan Yinhe

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Zhu Hongguan and Tian Xitang

(Welding Division, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

ABSTRACT Welded joints were simplified as sandwiched crack bodies of CCP type. By means of experiments and elastic-plastic finite element method, the law of fatigue crack propagation in the simplified models both with and without mechanical heterogeneity was researched. It is found that, fatigue crack growth not only depends on material properties of crack tip region, but also on material properties adjacent to the crack tip seriously. The shape of plastic zone and distribution of stress and strain in heterogeneous cracked body magnificently differ from these of homogeneous one. It can be considered that the essential effect of mechanical heterogeneity on the fatigue crack growth life is its effect on crack closure.

Key Words Welding joints Fatigue Crack propagation Heterogeneity

SOFTWARE PACKAGE SRMICAD FOR DESIGNING SRM IGNITER

Zhang Weihua, Li Qinnian, Hou Zhongxi, Shi Lihua, Guo Jian

(1st Dept. National University of Defense Technology, Changsha 410073)

ABSTRACT The design methods of four kind of commonly used igniters of Solid Rocket Motor (SRM) are considered in this paper. C Language is used to complete software programming. A software package has been worked out for designing the igniters of SRM, which uses Chinese interface, window input and drawing show. The software package