快速引射充气系统引射器性能研究

朱松涛¹, 邱义芬^{1,*}, 张晓², 赵明洲¹, 柯传义², 高飞² 1. 北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100191 2. 航空工业航宇救生装备有限公司, 湖北 襄樊 441003

摘 要:为民用飞机应急滑梯充气系统中高压引射器设计提供依据,应用 Ansys Workbench 软件、计算流体力学(CFD)对一 种径向吸气的多喷嘴引射器进行建模与流体仿真计算。研究了喷嘴数、混合室长径比、混合室与喷嘴流通面积之比对该引 射器引射性能的影响。仿真结果表明,适当提高喷嘴数,提高长径比和在低背压时提高面积比都能有效提高引射器引射比, 其中面积比的影响最为显著:在 300 倍面积比、8.6kPa 背压时,引射比可达 2.49。但在高背压下,过大的面积比将使引射 器性能变差。此外,通过对仿真结果的云图分析,发现径向吸气引射器混合流量中心区域流速过高的缺陷,需要改善。

关键词:引射器,多喷嘴,引射比,计算流体力学,逃生滑梯

中图分类号: V244.2 文献标识码: A DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2018.03.008

民用飞机为应对突发情况,装备有应急滑梯系统,使机载人员能够快速逃离飞机抵达地面。应急滑梯系统利用引射器高引射比、高增压比的特点,给应急滑梯快速充气。应急滑梯充气系统主要由高压气瓶、稳压阀、高压软管、引射器以及滑梯气筒组成。由于气瓶内压力高、气瓶内工作流体有限、滑梯气筒充气时间非常短,因此,要求系统引射效率高、引射流量大、工作时间短。系统中引射器性能是气筒能否在规定时间内达到工作压力的关键。

1942年, Keenan和 Neumann^[1,2]建立了一维能量、质量 和动量守恒方程描述引射器流动分析过程,提出等压混合理 论与等面积混合理论。前者与实际工况更为接近,1950年 之后,等压混合理论得到进一步完善。1977年, Munday和 Bagster^[3]在等压混合理论基础上,考虑了激波对引射流、吸 入混合的影响。1985年, Huang等^[4]建立了一维临界工作 状况的理论模型,并提出喷嘴下游假想喉部的概念。1997 年,邱义芬等^[5]提出了多喷嘴引射器性能参数的理论计算 方法。随着引射器理论和 CFD 技术的逐步发展,为加快研 究速度和深度,国内外开始对引射器二维及三维模型展开仿 真研究^[6]。Hemidi^[7,8]和 Bartosiewicz^[9] 对单个拉法尔喷嘴 引射器在多种湍流模型下进行二维仿真,得到 k-e 和 k-w-SST 湍流模型的仿真结果与试验结果接近。Hany^[10] 应用 CFD 研究了引射压力对引射性能的影响。Mazzeli^[11] 在多种湍流模型下对二维及三维引射器模型进行仿真,得出三维模型下结果与试验更接近。Zhu^[12] 等应用 CFD 研究了吸入 室收缩角及喷嘴距混合室入口距离对引射器性能的影响。 兰江^[13] 等应用 Flowmaster 对多喷嘴引射器进行了仿真,并 通过试验验证了仿真模型的精确性。缪亚芹^[14] 等通过试验 与 Fluent 数值仿真,得到多喷嘴引射器引射流与吸入流间 压比越大,引射比越小的关系。

综上,应用于快速引射充气系统中的高压多喷嘴引射 器的研究较少,有必要针对系统中引射器的快速引射充气性 能进行仿真研究。本文主要利用 Ansys Workbench 软件,对 一种高压径向吸气多喷嘴引射器进行数值模拟,研究喷嘴 数、混合室长径比、混合室与喷嘴面积比三个参数对引射性 能的影响,并在引射器理论研究及仿真结果基础上,讨论分 析滑梯应急快速充气系统中引射器流动过程,为应用于应急 滑梯系统中的引射器设计提供依据。

1 CFD 建模仿真

径向吸气多喷嘴引射器按表1进行分组建模。表中长径比指混合室长度与直径之比,用*L/D*表示;面积比指混合室流通面积与喷嘴总流通面积之比,用AR表示。1~3组

收稿日期:2018-01-04 退修日期:2018-01-18; 录用日期:2018-03-05

基金项目:民用飞机专项科研(MJZ-2014-S-49)

*通信作者.Tel.: 010-82339277 E-mail: 18810652420@163.com

引用格式: Zhu Songtao, Qiu Yifen, Zhang Xiao, et al. Performance investigation of rapid ejecting inflation system[J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29 (03):08-14. 朱松涛,邱义芬,张晓,等. 快速引射充气系统引射器性能研究[J]. 航空科学技术, 2018, 29 (03): 08-14.

中,保持喷嘴总流通面积与混合室尺寸不变,更改喷嘴数目 与布局,研究不同喷嘴数下引射器引射性能变化情况;4~11 组中,保持喷嘴结构尺寸与混合室的面积比不变,更改混合 室长度,改变混合室长径比,研究混合室长径比对引射器引 射性能的影响,12~19组中,保持喷嘴结构尺寸与混合室长 径比不变,调整混合室直径、改变面积比,研究面积比与引射 器引射性能间的关系。

表1 引射器主要几何模型参数 Table 1 The major geometry model parameters of the ejectors

	组别	喷嘴数	喷嘴 直径 / mm	混合室 长度 / mm	混合室 直径/mm	长径比 <i>L/D</i>	面积比 AR
喷嘴数 影响	1	6	3.46	217	86	2.5	103
	2	12	2.5	217	86	2.5	103
	3	18	2	217	86	2.5	103
长径比 影响	4	6	3.46	172	86	2	103
	5	6	3.46	258	86	3	103
	6	6	3.46	344	86	4	103
	7	6	3.46	430	86	5	103
	8	18	2	172	86	2	103
	9	18	2	258	86	3	103
	10	18	2	344	86	4	103
	11	18	2	430	86	5	103
面积比 影响	12	12	2	140	56	2.5	66
	13	12	2	176	70	2.5	103
	14	12	2	234	94	2.5	183
	15	12	2	300	120	2.5	300
	16	18	2	172	69	2.5	66
	17	18	2	215	86	2.5	103
	18	18	2	286	115	2.5	183
	19	18	2	368	147	2.5	300

第3组中18喷嘴引射器三维模型如图1所示,喷嘴结构 如图2所示。其余组引射器几何模型建立方式与此相同。



图 1 18 喷嘴引射器三维模型 Fig.1 The 3D model of 18-nozzles ejector

图1中,1为高压软管,软管入口连接气瓶,出口连接引 射器喷嘴入口;2为喷嘴,共18个;3为吸入空气入口;4为 混合室,吸入流与引射流在此混合;5为混合室扩压段,连接 应急滑梯气筒。图2中,喷嘴由等截面段与扩张段组成。表 1 中喷嘴直径指的是等截面段喷嘴直径,扩压段出口直径始 终保持等截面段直径的1.35倍。各组中喷嘴长度保持不变。



图 2 喷嘴结构尺寸(单位:mm) Fig.2 The structural parameters of nozzle (unit: mm)

不同喷嘴数对应布局如图3所示,图中喷嘴均匀布置 在内外圈上。



图 3 引射器喷嘴布局 Fig.3 Nozzles layout of ejectors

由于此引射器结构模型较复杂,而非结构网格自适应 性好、网格质量较高、利于划分复杂的几何模型,故采用四面 体非结构网格对引射器进行网格划分。图4为引射器采用 非结构网格划分的结果,全局网格数量在300万左右。



图 4 引射器网格划分结果 Fig.4 Meshing result of ejector

利用 Fluent 对表 1 中的引射器模型进行仿真计算。流 动采用 Standard k-e 湍流模型,高压引射流为氮气与二氧化 碳混合物,质量比为0.5:0.5,吸入流为环境空气,高压引射 流及吸入流均按实际气体处理,边界条件见表2。混合室背 压模拟滑梯气筒内压力动态变化过程,随充气时间增加而增 大。本文分析计算引射器在 4s 充气时间内引射流与吸入流 的非稳态流动过程。

表 2 引射器边界条件设置 Table 2 The settings of ejector boundary condition

引射流入口	吸入流入口	引射流、吸入流	混合室
压力 /MPa	压力 /Pa	入口温度/K	背压
3.3	101325	300	—



图 5 混合室背压变化曲线 Fig.5 The curve of backpressure

2 仿真结果

2.1 不同喷嘴数下引射器仿真结果

对表1中1~3组所示的引射器进行仿真计算,研究在相同长径比、面积比条件下,喷嘴数量对引射器引射性能的影响。图6和图7分别为4s内引射器混合流量和引射流量变化曲线。



图 6 不同喷嘴数下混合流量曲线

Fig.6 Mixing mass flow rate curves of ejectors with different nozzle number



图 7 不同喷嘴数下引射流量曲线

Fig.7 Primary mass flow rate curves of ejectors with different nozzle number

2.2 不同混合室长径比下引射器仿真结果

对表1中4~11组所示的引射器进行模拟仿真,计算6 和18喷嘴引射器在面积比不变、长径比改变时引射器性能 的变化。图8和图9分别为4s内18喷嘴引射器在不同长 径比下混合流量和引射流量变化曲线。6喷嘴引射器混合 流量、引射流量随长径比变化规律相同。

2.3 不同混合室面积比下引射器仿真结果

对表 1 中 12~19 组所示的引射器进行模拟仿真,计算 12 和 18 喷嘴引射器在长径比不变、面积比改变时引射器性 能的变化情况。图 10 和图 11 分别为 4s 内, 12 喷嘴、18 喷 嘴引射器在不同面积比下混合流量变化过程。图 11 为 12 喷嘴引射流量变化情况,18 喷嘴引射流量变化情况与图 9 相同,引射流量不随混合室结构改变而改变。



图 8 不同长径比下混合流量变化曲线





图 9 不同长径比下引射流量变化曲线

Fig.9 Primary mass flow rate curves of ejectors with different aspect ratio



图 10 不同面积比下 12 喷嘴混合流量变化曲线

Fig.10 Mixing mass flow rate curves of 12-nozzles ejectors with different area ratio



图 11 不同面积比下 18 喷嘴混合流量变化曲线 Fig.11 Mixing mass flow rate curves of 18-nozzles ejectors with different area ratio





Fig.12 Primary mass flow rate curves of ejectors with different area ratio

3 性能分析

对于滑梯快速充气过程,引射比及引射流量是衡量引 射器性能的主要参数。在该系统中,引射流量取决于引射压 力及喷嘴总流通面积,引射器结构、喷嘴数及布局对引射流 量影响很小,变化不显著,这里重点分析引射比的变化情况, 以引射比衡量引射器引射性能。引射比为引射器吸入流量 与引射流量之比,如式(1)所示^[15]。

$$\mu = \frac{q_{\rm m,s}}{q_{\rm m,p}} \tag{1}$$

式中: μ 为引射比, $q_{m,s}$ 为吸入流量, $q_{m,p}$ 为引射流量。

3.1 喷嘴数量及布局对引射性能的影响

表1中1~3组所示的6、12、18 喷嘴引射器在4s内引 射比变化曲线如图13所示。由图6和图7可知,由于引射 器背压随时间增大,混合流量随背压增大而降低,背压变化 对引射流量几乎没有影响,使得引射比随时间变化趋势与 混合流量变化趋势一致。由图13可知,4s内12喷嘴与18 喷嘴引射器引射比较接近,引射性能优于6喷嘴引射器。4s 时,6、12和18喷嘴引射器引射比分别为1.52,1.79和1.73。 12喷嘴和18喷嘴引射器引射比比6喷嘴引射器高约18%。







6、12及18喷嘴引射器混合室出口速度云图如图14所示。图14中,相较于12与18喷嘴引射器,6喷嘴引射器混

合室出口截面气流速度极不均匀,这与图3所示的6喷嘴 布局有关。由于喷嘴过少,喷出的引射流无法均匀填充混合 室;且由于喷嘴直径大,所喷出的引射流较宽,易与较近喷 嘴喷出的高速引射相互干扰汇合,合成为一大股高速气流, 难以与低压吸入流掺混,降低了混合效率;高速引射流在混 合室有限长度内集中于混合室中心,无法扩散到整个混合室 区域,致使引射流能量无法有效传递给低压吸入流,造成混 合效果差、引射比低。此外,由于外圈喷嘴数目较少,在距喷 嘴较远的混合室壁面处还易出现涡流,降低混合室有效面 积,影响引射性能。

图 14 中, 12 和 18 喷嘴引射器出口混合流速度较 6 喷 嘴引射器更为均匀,这是由于增加喷嘴数量形成的多股引射 流提高了引射流与吸入流间掺混面积,使其能更好混合。但 在混合室中心区域,流体速度仍然较高,一方面是由于内圈 喷嘴距离较近,引射流经喷嘴后形成膨胀波,相互挤压干涉 严重;另一方面,由于外圈喷嘴数较多,外圈引射流阻碍了 径向吸入的空气与内圈引射流之间的掺混,造成中心区域混 合流速度较大,混合效果欠佳的情况。

参考文献[16]认为喷嘴数越多越有利于引射、吸入流之 间的能量交换,引射比越高。本文研究发现,18喷嘴引射器 相对于12喷嘴引射器引射比略低。在目前混合室内,由于 喷嘴较多,各股引射流喷射区干涉严重,造成混合室堵塞,减 少了低压空气的吸入;同时18喷嘴外圈喷嘴过于密集,外圈 引射流更加严重地阻碍了径向吸入空气与内圈引射流间的 接触及能量交换,使18喷嘴引射器引射性能低于12喷嘴引 射器。综上,对于滑梯快速引射充气系统而言,适当提高引射器 喷嘴数目,能够改善引射性能。但喷嘴数量达到一定值后,由于 喷嘴间引射流互相干涉,增大喷嘴数反而会降低引射器性能。

3.2 混合室长径比对引射器性能的影响

表1中8~11组所示的18喷嘴不同长径比引射器4s内 引射比变化曲线如图15所示。6喷嘴引射器引射比变化趋 势与18喷嘴一致,但大小略低于18喷嘴引射器。图7中, 在相同的喷嘴总流通面积下,6喷嘴引射器引射流量略高于 18喷嘴引射器,而两者混合流量仿真结果接近,故在相同长 径比下18喷嘴引射器引射比高于6喷嘴引射器。

图 15 中,引射比与长径比呈正相关变化,长径比从 2 倍 提高到 3 倍,引射比提高约 20%,继续提高长径比,引射比继 续提高,但引射比提高幅度有所降低。仿真 4s 时,长径比分 别为 2、3、4、5 时,18 喷嘴引射器引射比分别为 1.57、1.80、 1.92、2.02,6 喷嘴引射器引射比分别为 1.40、1.68、1.78、1.88。



图 14 不同喷嘴数下引射器出口速度云图 Fig.14 Outlet velocity nephogram of ejectors with different nozzle numbers





4s 时,不同长径比下,18 喷嘴引射器出口处的速度矢 量图如图 16 所示。长径比为2时,混合室出口核心部分的 气流速度较高,速度沿半径方向梯度较大,引射、吸入流没有 均匀混合,混合流的速度不均匀。长径比为5时,混合室出 口处的速度更加均匀,速度沿径向方向梯度较低,混合效果 更好。这是由于增加混合室长径比,使得引射流在混合室内 扩散的区域更大,能与更多吸入流进行能量和动量交换,提 高了混合效果,使引射比增大。





综上,在满足尺寸和重量要求的前提下,增加引射器混 合室长径比可提高引射器性能。

3.3 混合室面积比对引射器性能的影响

表1中16~19组所示的18喷嘴不同面积比下引射器4s 内引射比变化曲线如图17所示。由引射流量不随背压变化 而改变,故图17中引射比随背压变化规律与图11中混合流 量一致:面积比较低时,吸入流量与引射比随背压变化不大, 随着面积比提高,背压增大使吸入流量与引射比降低,且面积 比越大,吸入流量与引射比随背压增大而降低的幅度也越大。



图 17 不同面积比下引射比变化曲线



仿真结果中,在2.8s之前,即背压小于6kPa(G)时, 12 喷嘴、18 喷嘴引射器引射比与面积比呈正相关。随后, 18 喷嘴引射器与面积比不呈正相关关系。4s时,背压达到 8.6kPa,面积比为66、103、183、300时,12 喷嘴引射器引射 比为1.45、1.92、2.32、2.49,18 喷嘴引射器引射比为1.74、 1.73、2.15、2.02,出现提高面积比引射性能降低的现象。这 说明面积比与引射器背压共同影响引射器性能。在背压较 低时,增大面积比能够有效提升引射器性能。提高背压值, 使增大面积比所提高的引射比幅度降低。在背压提高到一 定值后,提高面积比反而会使引射比降低,恶化引射性能。 这一方面是由于随着背压增大,吸入流阻力随之增大,吸入 流量降低造成引射比下降,另一方面随着背压值的提高,混 合室出口壁面处流速较低,易出现回流现象,降低引射性能。 4s 时,12 喷嘴引射器混合室出口速度矢量图如图 18 所 示,从上到下分别对应面积比为 66、103、183 和 300 的引射器。 图 18 中,逐步提高面积比,使得引射器混合室出口混合流速趋 于均匀,这是由于混合室与喷嘴流通面积比的提高,增加了吸 人流的流通面积,提高了引射流与吸入流间的掺混面积;同时 也降低了各喷嘴间引射流的相互干涉,提高了混合效率。

综上,面积比与背压共同影响引射器引射性能。提高面 积比能够有效改善混合室内吸入流与引射流间的混合情况, 但最优面积比随背压改变而改变。低背压时,大面积比引射 器吸入流流通面积大,提高了与引射流掺混效果,引射比效 大;随着背压提高,吸入流阻力的增大,混合室出口壁面开始 出现回流,最优面积比降低;随着背压继续提高,最优面积比 逐步降低,相对于大面积比引射器,小面积比引射器将拥有更 优的引射性能。因此,引射器设计应根据滑梯应急充气气筒 的背压要求确定最优面积比使系统引射性能最佳。





4 结论

通过研究,可以得出以下结论:

(1)本文研究的径向吸气引射器,喷嘴数从6提高至 12,引射比提高了18%。喷嘴数继续提高到18,引射比略有 降低。适当提高喷嘴数可以改善引射器引射性能,但过多的 喷嘴数将会导致引射流间的相互干涉汇合,降低引射流与吸 入流渗混效率,从而降低引射性能。

(2)引射比与混合室长径比呈正相关变化。本文研究中 的引射器,其长径比从2提高到5,引射比提高30%左右。在 满足重量和尺寸的要求下,可以提高长径比以提高引射性能。

(3)面积比与引射器背压共同影响引射器引射性能。 本文研究的12喷嘴径向吸气引射器,在8.6kPa背压下,面 积比由66提升至300,引射比提高70%,达到2.49,影响十 分显著。在背压一定时,存在最优的面积比使得引射性能最 优。随着背压的提高,由于增加了吸入流的阻力及回流现 象,最优面积比则会随之降低。

在本文研究中,混合室结构尺寸对引射器引射流量几 乎没有影响,引射流量与喷嘴结构尺寸关系密切。此外,通 过观察引射器出口速度云图,径向吸气引射器混合室中心混 合流量速度较高,混合不够均匀,后续研究工作将改变对改 变吸气方式的轴向吸气引射器进行仿真研究,以改善混合室 中部混合较差的问题。

参考文献

- Keenan J H, Neumann E P. A simple air ejector[J]. ASME Journal of Applied Mechanics, 1942, 64: 75–81.
- [2] Keenan J H, Neumann E P. An investigation of ejector analysis and experiment[J]. ASME Journal of Applied Mechanics, 1950, 72: 299–309.
- [3] Munday J T, Bagster D F. A new ejector theory applied to steam jet refrigeration[J].Industrial & Engineering Chemistry Process Design & Development, 1977, 16 (4): 442–449.
- [4] Huang B J, Jiang C B, Hu F L. Ejector performance characteristics and design analysis of jet refrigeration system[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 1985, 107: 792-802.
- [5] 邱义芬,王俊清,袁修干,等.多喷嘴引射器性能计算模型[J].
 北京航空航天大学学报,1997(5):91-96.

Qiu Yifen, Wang Junqing, Yuan Xiugan, et al. Multiple nozzle ejector performance calculating model[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1997 (5) : 91–96. (in Chinese)

[6] 沈坚, 胡国新. 引射器及引射循环在工程中的应用 [J]. 煤气 与热力, 2005 (1): 34-38.

Shen Jian, Hu Guoxin. Application of ejector and ejection circulation in engineering[J]. Gas & Heat, 2005 (1): 34–38. (in Chinese)

- [7] Hemidi A, Henry F. CFD analysis of a supersonic air ejector Part I: Experimental validation of single-phase and two-phase operation [J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29: 1523–1531.
- [8] Hemidi A, Henry F. CFD analysis of a supersonic air ejector Part II: Relation between global operation and local flow features[J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29: 2990–2998.
- [9] Bartosiewicz Y, Aidoun Z. Numerical and experimental investigations on supersonic ejectors[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2005, 26: 56–70.
- [10] Hany A M, Ansary A, Jeter S M. Numerical and experimental

analysis of single-phase and two-phase flow in ejectors[J]. HVAC&R Research, 2004, 10 (4): 521–538.

- [11] Mazzelli F, Little A B. Computational and experimental analysis of supersonic air ejector: Turbulence modeling and assessment of 3D effects[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2015, 56: 305–316.
- [12] Zhu Y H, Cai W J. Numerical investigation of geometry parameters for design of high performance ejectors [J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29: 898–905.
- [13] 兰江,朱磊,赵竞全.基于 Flowmaster 的多喷嘴引射器建模 与仿真 [J].系统仿真学报, 2016 (2): 410-415.
 Lan Jiang, Zhu Lei, Zhao Jingquan. Modeling and simulation of multi-nozzle ejector based on Flowmaster[J]. Journal to System Simulation, 2016 (2): 410-415. (in Chinese)
- [14] 缪亚芹,王锁芳,吴恒刚.多喷嘴引射器试验研究与数值模 拟[J].南京师范大学学报:工程技术版,2006(2):68-71.
 Miu Yaqin, Wang Suofang, Wu Hegang. Experimental

investigation and numerical simulation about the multi-nozzle ejector[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology, 2006 (2): 68–71. (in Chinese)

- [15] Besagni G, Mereu R, Inzoli F. Ejector refrigeration: A comprehensive review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 53: 373–407.
- [16] 凌其扬,廖达雄,陶祖贤.风洞引射器试验研究[J]. 气动实验 与测量控制, 1994 (2): 10-18.
 Lin Qiyang, Liao Daxiong, Tao Zuxian. Experimental study on wind tunnel ejector[J]. Aerodynamic Experiment and Measurement & Control, 1994 (2): 10-18. (in Chinese)

作者简介

朱松涛(1992-)男,硕士。主要研究方向:引射器流体仿真。
邱义芬(1968-)女,副教授,硕士生导师。主要研究方向:
环境工效学、航空弹射救生及生命保障技术。
Tel:010-82339277 E-mail: 18810652420@163.com

Performance Investigation of Rapid Ejecting Inflation System

Zhu Songtao¹, Qiu Yifen^{1,*}, Zhang Xiao², Zhao Mingzhou¹, Ke Chuanyi², Gao Fei² 1. School of Aeronautic Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China 2. AVIC Aerospce Life-support Industries Limited Company, Xiangyang 441003, China

Abstract: In order to provide the foundation for the design of the high-pressure ejector in the civil aircraft emergency slide inflatable system, Ansys Workbench software and Computational Fluid Dynamics (CFD) were used to model a radial-intake multi-nozzle ejector with fluid simulation calculation. The influence of the nozzle number, the mixing chamber aspect ratio and the cross section area ratio of mixing chamber to the nozzles on the ejector performance was investigated. The ejection performance of the ejector was measured by the entrainment ratio. As a result, it was found that the appropriate increase in the number of nozzles, the aspect ratio and the area ratio at low back pressure helped to improve the entrainment ratio, and the effect of the area ratio was the most significant, the entrainment ratio can increase up to 2.49 when the area ratio is 300 and the back pressure is 8.6kPa. But at high back pressure, increasing the area ratio will deteriorate the ejector performance. In addition, through the analysis of the velocity nephogram, it is found that the radial-intake ejector has the disadvantages that the velocity in the center area of mixing is too high, which needs to be overcame.

Key Words: ejector; multi-nozzles; entrainment; CFD; escape slide

 Received:
 2018-01-04;
 Revised:
 2018-01-18;
 Accepted:
 2018-03-05

 Foundation item:
 The Specialized Research for Civil Aircraft (MJZ-2014-S-49)
 *
 *
 *
 Corresponding author.Tel.:
 010-82339277
 E-mail:
 18810652420@163.com
 *