

影响管线加油车加油效率的原因与对策

管大胜 宋明

上海承飞航空特种设备有限公司 上海 201613

DOI: 10.12238/ems.v6i12.10868

[摘要] 基于计算机仿真技术,分析了管线加油车管路折弯角度、过滤网、调压文氏管、分路特征等因素对入口压力、出口速度、质量分配等参数的影响,得出影响管线加油车加油效率的原因与对策:(1)弯管导致燃油流动阻力增加,管路设计时应尽量增大管的弯曲半径,减小弯管个数及弯管角度。(2)粗杂过滤网对燃油流动的阻碍较大,定期清理过滤网是保证加油效率的基本要求,必要时还应对过滤网的孔洞大小、方向和密度等参数进行优化。(3)调压文氏管的收口截面在非调压状态时严重影响燃油的正常流动,建议调压管采用等径直管替代文氏管结构。(4)多出口的流量分配主要与管道分路的形状特征有关,适当改变各分路的长度、弯道个数和出口面积,即可实现两出口流量的合理分配。

[关键词] 管线加油车;加油效率;管路;流体动力学;流速;压力

Reasons and countermeasures affecting the refueling efficiency of pipeline refueling trucks

Guan Dasheng Song Ming

Shanghai Chengfei Aviation Special Equipment Co., Ltd. Shanghai 201613

[Abstract] Based on computer simulation technology, the influence of factors such as bending angle, filter screen, pressure regulating Venturi tube, and branching characteristics on parameters such as inlet pressure, outlet velocity, and mass distribution of pipeline refueling vehicles was analyzed. The reasons and countermeasures affecting the refueling efficiency of pipeline refueling vehicles were identified as follows: (1) Bent pipes increase fuel flow resistance. When designing pipelines, the bending radius of the pipes should be increased as much as possible, and the number and angle of bent pipes should be reduced. (2) The coarse and miscellaneous filter screen poses a significant obstacle to fuel flow, and regular cleaning of the filter screen is a basic requirement to ensure refueling efficiency. If necessary, parameters such as the size, direction, and density of the filter screen holes should also be optimized. (3) The closing section of the pressure regulating Venturi tube seriously affects the normal flow of fuel in the non pressure regulating state. It is recommended to use an equal diameter straight pipe instead of the Venturi tube structure for the pressure regulating tube. (4) The flow distribution of multiple outlets is mainly related to the shape characteristics of pipeline branches. By appropriately changing the length, number of bends, and outlet area of each branch, the reasonable distribution of flow between the two outlets can be achieved.

[Keywords] pipeline refueling truck; Refueling efficiency; piping; Fluid dynamics; Current Speed; pressure

引言

飞机是世上最便捷的交通工具之一,根据飞机降落时的速度从小到大可将飞机分为A~E五大类^[1],其中,C类(降落速度大于121km/h)及以上的飞机具有体积大、速度快、飞行里程远的特点。这类飞机直接带来的技术难题之一就是油箱大,加油慢的问题。管线加油车正是为了解决这个问题而出现的一种加油装置,其工作原理就是用压力将机场地井中的航空燃油通过管道输入飞机油箱^[2,3]。

管线加油车在加油的同时还可以滤清燃油中的杂质、灰尘和水分,并精确地计算输油量。加油车在地井软管接头上安装压力控制装置,一旦发生意外(包括地井软管破裂)还可迅速关闭地井软管接头,防止燃油外溢失控。加油车后部设置升降台,可在不同高度范围内加油作业,适用于目前国内外各种新型飞机的翼下加油。管线加油车集过滤、监测、

调压等功能为一体,可给飞机一次性快速安全地加油,其在航空领域有较大的应用空间和经济效益^[4]。

如何快速实现飞机加油无疑是管线加油车设计过程中的重要指标之一,本文将基于计算机仿真技术,从简单到复杂,研究弯管角度、弯管半径、过滤网、文氏调压管、管线分路等因素对燃油流动过程的影响,找出导致加油车加油效率低的原因,并提出可能的解决对策,为优化管路布置、提高加油效率提供理论依据。

1. 管线加油车的管路特征

图1为管线加油车整体结构示意图,考虑到加油车在机场运动的便捷性,加油车整体应尽可能的小,车上除了固定安装各种必要的设备、仪器及钢制管路外,还需备有足够长的可活动的非金属软管,车尾还需固定安装可供人员加油作业的升降台,这样整个加油管路可布置的空间是非常有限的。

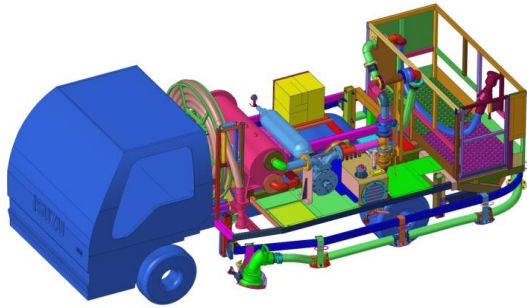


图 1 管线加油车整体结构

为了实现加油一体化, 加油车管路需接入可去除杂质的粗杂过滤器和精杂过滤器、可对加油过程进行实时监测的压力监测仪、可对管道进行调压的调压阀等设备, 同时为了保证各种设备具有足够的可作业空间, 设备及仪器之间不能安装得过于紧凑, 在加油车有限的空间里, 只能通过各种弯管、接头来实现管路整体的连通性, 这样无形中使加油管路变得曲折多弯、走向复杂, 大大地影响管路的输油效率。

图 2 为加油车上部分主要输油管路示意图, 根据飞机加油需要, 管路共设一个入口、两个出口, 在管路中需安装各种功能部件, 如何保证管路整体加油速度尽可能快, 两个出口出油率尽可能匀称, 是管路设计的基本要求之一。

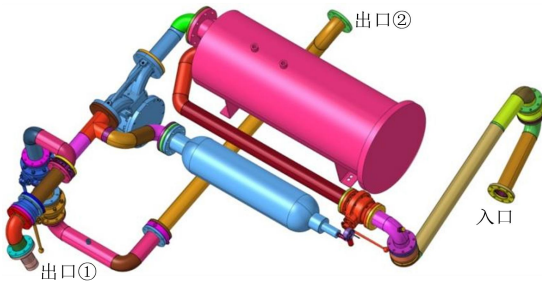


图 2 加油车上部分主要管路

2. 弯管角度对燃油流动过程的影响

为了研究弯管对燃油流动过程的影响, 拟设计 0、30、45、60、90、120、145、150、180 度等 9 种不同角度的弯管模型, 如图 3 所示, 管道的弯曲半径统一设为 76mm, 管的内直径都为 81mm, 分别计算燃油在这几种管道中的流动状态。考虑到不同弯管角度会形成不同长度的弧形流道, 为了更好的说明管长度和弯曲角度对流动的影响, 拟同时对 400mm 和 570mm 两种不同长度的直管进行流动分析。

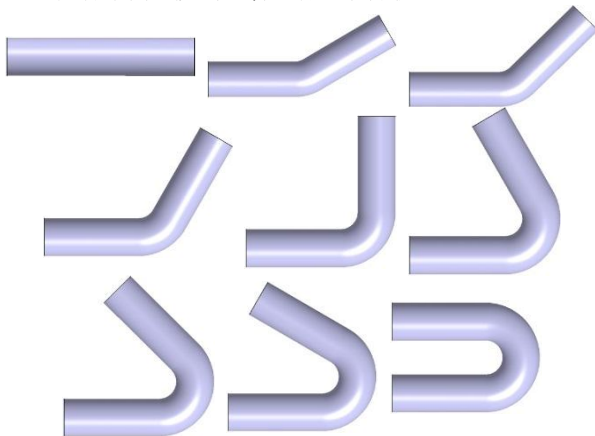


图 3 九种不同角度的弯管模型

借助流体动力学分析软件, 对燃油在管路中的流动状态

进行分析^[5-6]。所有模型都采用相同的网格尺寸、材料属性和求解参数, 入口速度都设为 7m/s, 得到计算结果汇总于表 1, 图 4 为不同模型的出口速度分布云图, 可知:

(1) 相对于长度为 400mm 的#1 直管, 长度为 570mm 的#10 直管入口平均压力仅增加了约 1.4%, 远小于长度为 560mm 的#6 弯管的压力增量(约 22.3%), 说明管路弯角对入口压力的影响较大, 增加管路的弯曲半径有利于减小入口的压力。

(2) 弯管角度越大, 入口压力越大, 说明管路阻力越大。与#1 直管相比, 90°和 180°弯管入口压力分别增加了 16.7% 和 30.7%, 压力增量和弯管角度近似呈线性关系, 如图 5 所示。

(3) 弯管角度越大, 出口速度峰值越大, 说明速度分布越不均匀, 越不利于燃油平稳流动, 如图 6 所示。相对于#1 直管而言, 90°和 180°弯管出口速度峰值分别增加了 12.3% 和 17.7%。

(4) 管路设计应尽量增大管的弯曲半径, 尽可能减小弯管个数及弯管角度。

表 1 不同模型分析结果汇总

编号	弯管角度 /°	管长 /mm	入口平均压力 /kPa	出口速度峰值 m/s
#1	0	400	21.5	7.3
#2	30	440	22.4	7.6
#3	45	460	23.0	7.8
#4	60	480	23.8	7.9
#5	90	520	25.1	8.2
#6	120	560	26.3	8.4
#7	135	580	26.8	8.5
#8	150	600	27.1	8.6
#9	180	640	28.1	8.7
#10	0	570	21.8	7.4

(注: 管长为管中线长度, 平均压力为面内平均压力。)

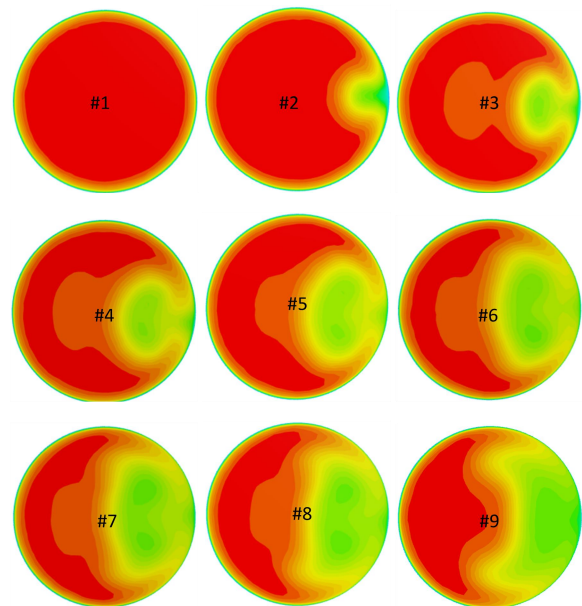


图 4 不同弯管出口速度分布云图

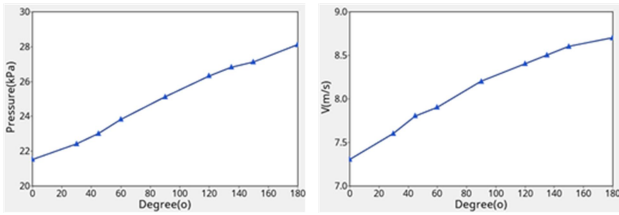


图 5 入口压力与弯管角度对比 图 6 出口最大速度与弯管角度对比

3. 过滤网对燃油流动过程的影响

过滤网是加油管路必不可少的部件, 其中, 粗杂过滤网主要安装在管路的入口附近, 保证第一时间能够把燃油中较粗的杂质给过滤掉, 防止杂质对整个管路上的设备造成堵塞而影响输油效果。

为了研究过滤网对燃油流速的影响, 拟做以下两个对比分析: 设有两个模型, 管的长度都为 570mm, 管直径相同, 在其中一个模型中间嵌入长约 190mm 的粗杂过滤网 (图 7), 对比在相同入口流速下, 两个模型的入口压力和出口流速分布。

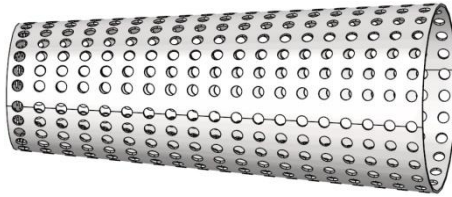


图 7 管道中的粗杂过滤网

表 2 为有和无过滤网时的分析结果对比, 图 8 为对应的出口速度分布云图, 可知:

(1) 与无过滤网的情况相比, 有过滤网时入口压力增加了 350%, 可见过滤网本身对流体流动过程产生了较大的阻力。如果再加上有杂质堵住了过滤网部分孔洞, 入口压力将是数十倍地增加, 因此定期清理过滤网, 无疑是保证加油效率的基本要求。

(2) 有过滤网时出口速度分布明显不均, 其中, 速度环向不对称主要是由于过滤网孔洞的非完全轴对称性造成的, 这种速度分布的不均匀性, 通常也会影响管路的加油效率。

表 2 有和无过滤网时的分析结果对比

模型	入口平均压力/kPa	出口速度峰值 m/s
有过滤网	98.2	8.9
无过滤网	21.8	7.4

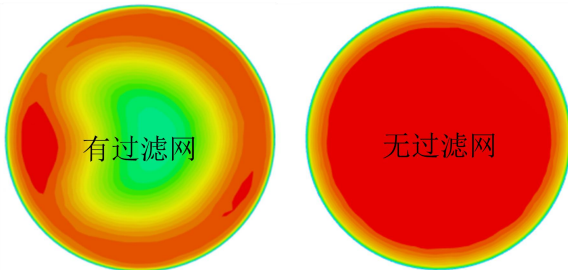


图 8 有和无过滤网时出口的速度分布

图 9 为过滤网模型纵向截面的速度分布云图, 可知, 各个孔的流速不尽相同, 最前端的孔口流速相对较大, 孔与孔之间出现了静态区。在保证过滤功能的前提下, 进一步优化孔洞大小、方向和密度将有助于减小过滤网对流动的影响。

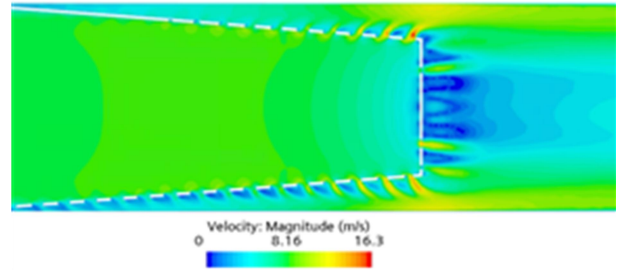


图 9 过滤网模型纵向截面速度分布

4. 调压文氏管对燃油流动过程的影响

为了降低燃油在管路末端产生的“水锤力”^[7-9], 需在距出口末端一定距离的位置设置调压阀, 以便阶梯式地增加或降低燃油输送量, 减少燃油“水锤力”对设备的损伤。调压文氏管^[10]就是这类装置之一, 如图 10 所示为调压文氏管的纵向流道, 图 11 为文氏管调压孔关闭、半开、全开的三种状态。



图 10 文氏管内部的流道



图 11 文氏管调压孔的三种状态

与章节 3 的分析方法相同, 设管总长为 570mm, 分析调压文氏管 (长度约 150mm) 对燃油流速的影响。

表 3 为调压文氏管的分析结果对比, 图 12 为对应的纵向流速分布图, 可知:

(1) 有文氏管时入口的压力远大于无文氏管的, 调压孔全开时, 入口压力相对于无文氏管时增加了 386%, 说明调压文氏管在不实行调压操作时对燃油的流动产生了较大的阻力。如何保证文氏管在需要调压操作时对燃油流动有影响, 而在不需要调压操作时对流动影响较小, 是调压管设计时需要考虑的问题。

(2) 虽然文氏管有局部增加燃油流速的效果, 特别是在截面收口区, 燃油流速非常快, 在一定程度上似乎促进了燃油的输送效果, 但实际文氏管喇叭口的速度梯度很大, 整个管道出口的平均流速并没有增加 (因为入口的流速是一定的), 因此文氏管截面的收口特征, 并没有加快管路整体的燃油输送效率, 反而增加了流动阻力, 加大了燃油流动压力, 认为此处的调压管采用等径直管替代文氏管将更有利于减少管路的流动阻力。

表 3 调压文氏管的分析结果

模型	调压孔状态	入口平均压力/kPa	出口速度峰值 m/s
调压文氏管	关闭	360.0	23.4
	半开	208.6	20.1
	全开	107.3	14.4
等径直管		22.1	21.8

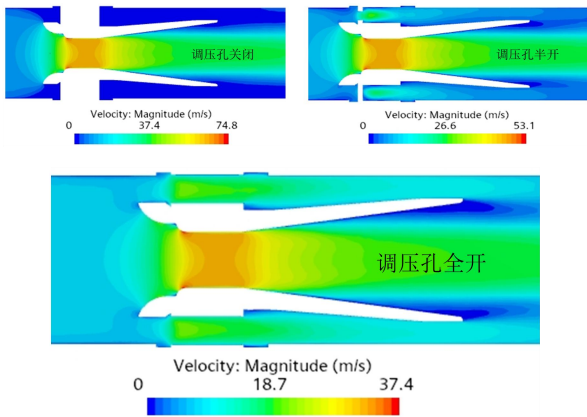


图 12 调压文氏管纵向流速分布图

5. 两个出口的流量分配

实际加油车管路共有两个出口，保证两个出口的流量分配相当，是管路设计的指标之一。仔细观察图 2 发现，管路并不是一开始就有两条通道，而是在后半程才开始分岔形成两个通道出口的，因此可假设在流道分叉之前，管内燃油的流动近似是平稳的，则两个出口的质量分配比例主要是由后半程模型的特征来决定，与前半程模型的特征关系不大，这样分析模型可简化为图 13 所示的半模型。

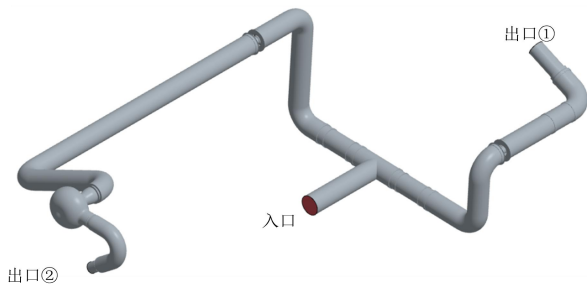


图 13 简化后的管道半模型

设入口平均流速为 7m/s，半模型的分析结果汇总于表 4，图 14 为对应的出口速度分布云图，可知，出口①的质量流率大于出口②的，认为这与出口①管路短、弯道少、出口面积大等因素有关。

表 4 半模型分析结果汇总

观察点	入口	出口①	出口②
直径 mm	81	65	45
最大压力 kPa	199	18.5	53.7
平均压力 kPa	199	15.5	43.3
最大速度 m/s	7.0	6.8	11.5
平均速度 m/s	7.0	6.2	10.2
质量流率 kg/s	29.1	15.9	13.2

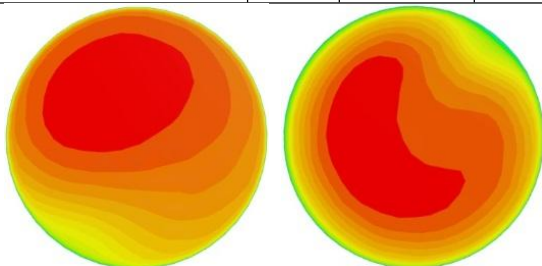


图 14 出口速度分布云图

为了验证半模型分析结果的有效性，拟采用同样的参数对全模型也进行模拟分析，分析结果汇总于表 5，可知，全模型和半模型在出口位置的分析结果近似相同，说明半模型分析结果完全可以表征两个出口的真实流动状态，在进行两个分路的分流特征优化时，采用半模型计算将可大大地减少计算规模和时间。适当改变各分路的长度、弯道个数和出口面积，即可实现两出口的流量合理分配。

表 5 全模型分析结果汇总

观察点	出口①	出口②
最大压力 kPa	17.7	53.4
平均压力 kPa	14.4	43.1
最大速度 m/s	6.6	11.5
平均速度 m/s	5.93	10.23
质量流率 kg/s	15.74	13.14

6. 结论

通过以上分析可知，影响管线加油车加油效率的原因与对策可归纳为以下几点：

- (1) 弯管导致燃油流动阻力增加，入口压力增量与弯管角度近似呈线性增加关系，弯管设计时应尽量增大管的弯曲半径，减小弯管个数及弯管角度。
- (2) 粗杂过滤网对燃油流动的阻碍较大，定期清理过滤网是保证加油效率的基本要求，必要时还应对过滤网的孔洞大小、方向和密度等参数进行优化。
- (3) 调压文氏管的收口截面在非调压状态时严重影响燃油的正常流动，建议调压管采用等径直管替代文氏管结构。
- (4) 多出口的流量分配主要与管道分路的形状特征有关，适当改变各分路的长度、弯道个数和出口面积，即可实现两出口流量的合理分配。

[参考文献]

[1] International Civil Aviation Organization (ICAO). Doc-9365, Manual of All-Weather Operations[S]. Montreal: ICAO, 2017 (4).

[2] 李荣京, 刘刚, 童爽. 机场供油模式选择研究[J]. 民航管理, 2015 (06): 25-30.

[3] 杨青国. 民用机场供油模式优化研究与应用[D]. 西安: 西安石油大学, 2015.

[4] 中国民用航空局. MH/T 6100-2013, 飞机管线加油车[S]. 北京: 中国民用航空局, 2013.

[5] 梁光川, 聂畅, 刘奇, 等. 基于 FLUENT 的输油管道弯头冲蚀分析[J]. 腐蚀与防护, 2013 (09): 822-830.

[6] 孙宗琳, 邢振华, 张孟昀, 等. 输油管道 90° 弯管冲蚀磨损数值模拟研究[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2018(04): 47-51.

[7] 程学远, 武明皓. 阀门关闭速度对水锤效应的影响分析[J]. 中国设备工程, 2022 (01): 146-147.

[8] 梁党国. 输油管线水击分析[D]. 成都: 西南石油大学, 2004.

[9] 陈亚飞, 顾卫国, 王德忠, 等. 球型调节阀水锤效应的试验研究与数值计算[J]. 排灌机械工程学报, 2021 (10): 1027-1032.

[10] 邵长明. 基于 PLC 的文丘里管变频调压控制系统的研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2019.