

# 影响航煤输送管道水力损失的因素探讨

成龙<sup>1</sup> 金国标<sup>2</sup>

1 北京中航油工程建设有限公司 北京市 顺义区 101300; 2 中国航空油料有限责任公司宁波分公司 浙江省 宁波市 315000

**【摘要】**目前民用运输飞机的主要燃料为航空煤油(3号喷气燃料,以下简称航煤)。截至2019年,我国主要干线机场每年航煤的消耗量都在30万吨以上,已基本达到公路装卸能力的极限。随着我国机场旅客吞吐量的不断攀升,航煤的消耗量也将不断增加,当机场每年航煤的消耗量达到30万多吨左右时就急需建设管道来为机场进行供油。确定航煤输送管道的水力损失是最基本的工艺方案计算,本文以国内某机场的航煤输送管道为例,分别讨论了环境温度、航煤粘度、密度对管道水力损失的影响,以期为从事航煤输送管道的工程及研究人员提供借鉴。

**【关键词】**航煤管道; 环境温度; 航煤粘度; 航煤密度; SPS

## 引言

国内某航煤输送管道全长约38km,管径DN300,设计输量为360m<sup>3</sup>/h,设计压力6.3MPa,全线设有首站、末站各1座,中间未有增压及加热站,末站进站压力设为0.4MPa。采用美国Stoner公司的SPS(Stoner Pipeline Simulator)软件进行工艺计算。该软件能够实现长输管道的离线实时模拟计算,是世界公认的用于长距离输油(气)管道设计、计算以及全线自动化控制模拟的高精度软件。

目前,我国使用的航煤是3号喷气燃料,其执行的现行标准是《3号喷气燃料》GB 6537-2018。此标准相对国际上通行的《航空涡轮燃料的标准规范》ASTMD1655-2018、《联营系统航空燃料质量要求》AFQRJOS Issue 29-2016及《英国国防部航煤标准》DEF STAN91-91/7-3-2011等标准对于航煤油品质量指标要求项目较多且更加严格。

## 1 输油管道水力、热力计算

输油管道的工艺计算主要是解决管道沿线的能量消耗和能量供应的主要矛盾,以达到安全、经济地完成输送任务的目的。管道工艺计算的主要目的是根据设计委托书或设计任务书来确定管道的总体方案,包括管径、设计压力、泵站数及其位置等。

航煤输送管道水力、热力计算采用《输油管道工程设计规范》GB50253-2014中的计算公式。

### 1.1 水力计算公式

$$h = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad V = \frac{4q_v}{\pi d^2}$$

$$Re = \frac{4q_v}{\pi d v}$$

式中: h 为管道内沿程水力摩阻损失, m; λ 为水力摩阻系数; L 为管道计算长度, m; d 为输油管道的内直径, m; V 为流体在管道内的平均流速, m/s; g 为重力加速度, 9.81m<sup>2</sup>/s; q<sub>v</sub> 为输油平均温度下的体积流量, m<sup>3</sup>/s; Re 为雷诺数; e 为钢管管壁绝对当量粗糙度, mm。

表1 不同流态的 λ 值

流态	划分范围	$\lambda = f(Re, \varepsilon)$
层流	$Re < 2000$	$\frac{64}{Re}$
紊流	水力光滑区	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.8 \lg Re - 1.53$ $Re < 10^5$ 时 $\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$
	混合摩擦区	$\frac{59.5}{\varepsilon^{8/7}} < Re < Re_2$ $= \frac{665 - 765 \lg \varepsilon}{\varepsilon}$ $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{e}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$ $\lambda = 0.11 \left( \frac{e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$
	粗糙区	$Re > Re_2$ $= \frac{665 - 765 \lg \varepsilon}{\varepsilon}$ $\lambda = \frac{1}{(1.74 - 2 \lg \varepsilon)^2}$

### 1.2 热力计算公式

$$t_{av} = \frac{1}{3} t_1 + \frac{2}{3} t_2$$

$$\frac{t_1 - t_0 - b}{t_2 - t_0 - b} = e^{ai} \quad a = \frac{K\pi D}{q_m C}$$

$$b = \frac{gi}{ca}$$

式中： $t_0$  为埋地管道中心处最冷月份平均地温， $^{\circ}\text{C}$ ； $l$  为管道计算长度， $\text{m}$ ； $i$  为流量为  $q_m$  时的水力坡降， $\text{m}/\text{m}$ ； $C$  为输油平均温度下的比热容， $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ； $K$  为总传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ； $D$  为输油管道的外直径， $\text{m}$ ； $q_m$  为油品质量流量， $\text{kg}/\text{s}$ 。

根据航煤的物性参数，航煤的冰点小于  $-47^{\circ}\text{C}$ ，远低于我国大部分地区的管道埋地温度，因此我国航煤输送管道一般采用不加热、不保温的常温输送工艺。

## 2 模拟结果

### 2.1 环境温度对管道水力损失的影响

为了更好的分析环境温度对管道水力损失的影响，分别取管道埋地中心处的平均温度为  $5^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$  和  $30^{\circ}\text{C}$ ，取航煤在标准状况下的密度为  $800\text{kg}/\text{m}^3$ ，运动粘度为  $1.5\text{mm}^2/\text{s}$ 。

该航煤输送管道在不同环境温度下的计算结果如下表所示：

表 2 环境温度对管道水力损失的影响表

	管道埋地处温度 $5^{\circ}\text{C}$	管道埋地处温度 $20^{\circ}\text{C}$	管道埋地处温度 $30^{\circ}\text{C}$
末站进站压力 MPa	0.4	0.4	0.4
首站出站压力 MPa	1.76	1.69	1.64
首站出站温度 $^{\circ}\text{C}$	0	30	40
末站进站温度 $^{\circ}\text{C}$	5.47	25.00	35
管道摩阻系数	0.017	0.016	0.015
流态	水力光滑区	水力光滑区	水力光滑区
管道水力损失 $\text{m}$	173	164	158

由表 2 可知，在相同的航煤密度和粘度的情况下，管道埋地中心处温度分别为  $5^{\circ}\text{C}$  和  $20^{\circ}\text{C}$  时，该航煤输送管道的水力损失增加了约 9.5%，表明环境温度对管道的水力损失影响较大。

### 2.2 航煤密度对管道水力损失的影响

根据《3 号喷气燃料》GB6537-2018 的要求，航煤在  $20^{\circ}\text{C}$  下的标准密度为  $775\sim 830\text{kg}/\text{m}^3$ 。我国各个炼厂之间出厂的航煤密度也不尽相同，本文分别取航煤密度为  $780\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $810\text{kg}/\text{m}^3$  和  $830\text{kg}/\text{m}^3$ 。为了更好的分析航煤密度对管道水力损失的影响，取管道在  $20^{\circ}\text{C}$  的温度下等温输送，取航煤在  $20^{\circ}\text{C}$  下的运动粘度为  $1.5\text{mm}^2/\text{s}$ 。

该航煤输送管道在不同航煤密度下的计算结果如下表所示：

表 3 航煤密度对管道水力损失的影响表

	航煤密度 $780\text{kg}/\text{m}^3$	航煤密度 $810\text{kg}/\text{m}^3$	航煤密度 $830\text{kg}/\text{m}^3$
末站进站压力 MPa	0.4	0.4	0.4
首站出站压力 MPa	1.67	1.72	1.75
管道摩阻系数	0.016	0.016	0.016
流态	水力光滑区	水力光滑区	水力光滑区
管道水力损失 $\text{m}$	162	168	172

由表 3 可知，当航煤密度分别为  $830\text{kg}/\text{m}^3$  和  $780\text{kg}/\text{m}^3$  时，该航煤输送管道的水力损失增加了约 6.2%，表明航煤密度对管道的水力损失影响相对较小。

### 2.3 航煤粘度对管道水力损失的影响

根据《3 号喷气燃料》GB6537-2018 的要求，航煤在  $20^{\circ}\text{C}$  时的运动粘度不小于  $1.25\text{mm}^2/\text{s}$ ， $-20^{\circ}\text{C}$  时的运动粘度不大于  $8.0\text{mm}^2/\text{s}$ 。参考我国各炼厂出厂的航煤参数值，本文分别取航煤在  $20^{\circ}\text{C}$  时的运动粘度为  $1.5\text{mm}^2/\text{s}$ 、 $2.0\text{mm}^2/\text{s}$  和  $3.0\text{mm}^2/\text{s}$ ，航煤在  $20^{\circ}\text{C}$  下的密度取  $800\text{kg}/\text{m}^3$ 。

该航煤输送管道在不同航煤粘度下的计算结果如下表所示：

表 4 航煤粘度对管道水力损失的影响表

	航煤粘度 $1.5\text{mm}^2/\text{s}$	航煤粘度 $2.0\text{mm}^2/\text{s}$	航煤粘度 $3.0\text{mm}^2/\text{s}$
末站进站压力 MPa	0.4	0.4	0.4
首站出站压力 MPa	1.70	1.75	1.84
管道摩阻系数	0.016	0.017	0.018
流态	水力光滑区	水力光滑区	水力光滑区
管道水力损失 $\text{m}$	166	172	184

由表 4 可知，航煤粘度分别为  $3.0\text{mm}^2/\text{s}$  和  $1.5\text{mm}^2/\text{s}$  时，该航煤管道的水力损失增加了约 10.8%，表明航煤粘度对管道的水力损失影响较大。

## 3 结论与建议

根据本文的模拟计算，得出航煤管道的输送温度、航煤粘度对管道的水力损失影响较大，航煤密度对管道的水力损失影响相对较小。在日后进行航煤输送管道的设计与管理时，应重点关注管道所处地区的环境温度与输送航煤的粘度参数，以对航煤输送管道的水力损失进行合理的计算。

我国民用航空事业正处于快速上升发展的阶段，近 10 年以来我国机场旅客吞吐量基本保持在 10% 的增长率。全国各机场的航煤消耗量也快速的增长，2019 年我国航煤的消耗量约 3700 万吨，比 2018 年增长约 5%。截至目前，我国航煤运输管道约有 2000 公里，随着航煤消耗量的不断增加，我国部分机场，尤其是当前仍采用公路运输输送航煤的省会干线机场，都急需铺设管道来为机场供油。合理的工艺计算是管道建设的首要问题，

它能确保管道建设选择合理的管径、设计压力、泵站数量等。

根据《输油管道工程设计规范》(GB50253-2014)的相关要求,输油管道宜采用密闭输送工艺,除了对管道进行稳态计算,还应对管道进行瞬态分析,提出针对管道的具体的水击保护措施和水击超前保护程序,实现管道的安全、平稳运行。

### 【参考文献】

- [1] 杨筱衡. 输油管道设计与管理 [M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2006:33-36.
- [2] 刘飞, 李可, 张琳等. 基于 SPS 的输油管道工艺分析 [J]. 天然气与石油, 2012,30(20):11-13.
- [3] 袁恩熙. 工程流体力学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005:88-90,125-127.
- [4] 曾多礼, 邓松圣. 成品油管道输送技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [5] 李欣泽. TLNET 和 SPS 在输油管道仿真中的应用 [J]. 管道技术与设备, 2014.
- [6] 张阳. 长输管道水击分析及其控制研究 [J]. 管道技术与设备, 2017.
- [7] 辛振华. 成品油管道水击保护分析与应用 [J]. 中国石油石化, 2017.
- [8] 赵雨桐. 基于 SPS 软件的原油管道动态仿真应用于探讨 [J]. 中国管理信息化, 2014.
- [9] 王雨墨, 胡杰等. 航空煤油储运过程中质量保障有关问题探讨 [J]. 油气储运, 2020.