

流体输送管路的减阻节能

郑聚东

(药系)

1 序言

用管路输送流体在工业、农业、国防以及在日常生活中乃是最常见的工程问题。用管路输送流体的目的不外乎：①将流体沿水平方向从一处送往另一处；②将流体从某一高度位置送往另一高度位置，即提高流体的位能；③将流体的压力提高（或降低至常压以下），即提高流体的静压能（或抽真空）；④将流体的流速提高，即提高流体的动能。输送目的有时是四项中的一项，有时是二项以上。

用管路输送流体需要能量，能量除用于达到上述目的外，还须用一部分能量克服管路内流体流动的阻力。流体输送管路各种能量之间的关系可用机械能衡算式表示

$$\text{对于不可压缩流体, 衡算式为} \quad Z_1 g + \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + W_e = Z_2 g + \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + W_f \quad (1)$$

$$\text{或} \quad W_e = (Z_2 - Z_1)g + \left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2}\right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + W_f \quad (1a)$$

式中 Z_1, Z_2 —管路进、出口的高度位置, m

u_1, u_2 —管路进、出口的流速, m/s

P_1, P_2 —管路进、出口的静压力, Pa

g —重力加速度, $= 9.81 \text{ m/s}^2$

ρ —管路内流体密度, kg/m^3

W_e —流体接受流体输送机械所施加的能量, J/kg

W_f —流体流动的摩擦阻力所损耗的能量, J/kg

$$\text{对于可压缩流体, 衡算式为} \quad G^2 \ln \frac{P_1}{P_2} + \frac{P_2 - P_1}{U_m} + \frac{\lambda L G^2}{2d} = 0 \quad (2)$$

$$\text{或} \quad \frac{P_1 - P_2}{U_m} = G^2 \ln \frac{P_1}{P_2} + \frac{\lambda L G^2}{2d} \quad (2a)$$

式中 G —管路内流体的质量流速, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$

P_1, P_2 —管路进、出口的压力, Pa

U_m —管路进、出口之间的平均比容, m^3/kg

λ —摩擦系数, 无因次

L —管路长, m

d —管子内径, m

由于用管路输送流体极为普遍, 所以减少摩擦阻力节约能量(简称减阻节能), 具有价值非常可观的经济效益。

2 管路流体流动摩擦阻力计算公式

一条管路由流体输送机械、管子、管件、阀门和监督(或测试)仪表组成。流体流经任何部分都有阻力。输送机械节能本文不讨论。

整条管路的阻力分为直管阻力与局部阻力

$$W_f = W_{f直} + W_{f局}$$

所谓局部阻力是指流体流经管件、阀门和监督(或测试)仪表的阻力。

$$\text{不可压缩流体输送管路直管阻力} \quad W_{f直} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2} \quad (3)$$

式中 u —直管中流体流速, m/s

$$\text{可压缩流体输送管路直管阻力} \quad W_{f直} = \frac{\lambda L G^2}{2d} \quad (4)$$

管路局部阻力有两种计算方法:

$$\text{①当量长度法} \quad W_{f局} = \lambda \frac{\sum Le}{d} \cdot \frac{u^2}{2} \quad (5)$$

式中 Le —管件、阀门、监督(或测试)仪表的当量长度, m

$\sum Le$ —管件、阀门、监督(或测试)仪表的当量长度之和, m

$$\text{②阻力系数法} \quad W_{f局} = \sum \zeta \cdot \frac{u^2}{2} \quad (6)$$

式中 ζ —管件、阀门、监督(或测试)仪表的阻力系数, 无因次

$\sum \zeta$ —管件、阀门、监督(或测试)仪表的阻力系数之和, 无因次

本文采用第一种方法, 不可压缩流体输送管路的阻力

$$W_f = W_{f直} + W_{f局} = \lambda \frac{L + \sum Le}{d} \cdot \frac{U^2}{2} \quad (7)$$

$$\text{可压缩流体输送管路的阻力} \quad W_f = W_{f直} + W_{f局} = \lambda \frac{L + \sum Le}{d} \cdot \frac{G^2}{2} \quad (8)$$

3 对影响阻力大小的因素分析

先对式(7)进行分析, 摩擦系数 λ 减小、管路长 L 减小、管件(或阀门或仪表)的当量长度 Le 减小、流速 u 减小、管子内径 d 增大, 都会使得管路的阻力 W_f 减小。

摩擦系数 λ 是雷诺数 Re 与管子内壁面相对粗糙度 e/d 的函数 $\lambda = f(Re, e/d)$ (9) 式中 e —管子内壁面绝对粗糙度, m ; 雷诺数 $Re = du\rho/\mu$ (10) 式中 μ 流体粘度, Pa·s。

从附图知, 雷诺数 Re 增大, 摩擦系数 λ 减小, 亦即管子内径 d 增大、流速 u 增大、流体密度 ρ 增大、流体粘度 μ 减小, 摩擦系数 λ 减小, 也就是管路阻力 W_f 减小。不过, 被输送的流体一定, 密度 ρ 就固定了(既使流体温度有变化, 密度 ρ 变化也不会太大)。

此处与前面分析有矛盾之处是流速 u 这个因素, 前面说流速 u 减小, 管路阻力 W_f 减小, 此处说流速 u 增大, 雷诺数 Re 增大, 摩擦系数 λ 减小, 阻力 W_f 减小。综合看, 流速 u 对摩擦系数 λ 的影响, 再产生对阻力 W_f 的影响不如流速 u 直接对管路阻力 W_f 影响大(因为式(7)中 W_f 与 u^2 成正比)。况且在湍流阻力平方区阻力 W_f 与雷诺数 Re 无关, 只与流速平方成正比。

管子内壁绝对粗糙度 e 减小, 管子内径一定, 相对粗糙度 e/d 减小, 摩擦阻力系数 λ 减小, 进而管路阻力 W_f 减小。

式(8)与式(7)形式及本质皆相同, 不再重复分析。

4 减阻节能途径

经过上面对影响阻力大小的因素进行分析, 不难找出减阻节能的途径。

4.1 减小管路长 L 。这一点受输送距离限制, 只能尽量而已。

4.2 减小流速 u (或 G)

$$\text{体积流量} \quad V_s = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 u \quad (11)$$

$$\text{将式(11)变为} \quad d = \sqrt{\frac{4V_s}{\pi u}} \quad (12)$$

$$\text{将式(12)代入式(7), 得} \quad W_f = \frac{\sqrt{\pi} \lambda (L + \sum Le) u^{2.5}}{4 \sqrt{V_s}} \quad (13)$$

$$\text{质量流量} \quad M_s = \frac{\pi}{4} d^2 G \quad (14)$$

$$\text{将式(14)变为} \quad d = \sqrt{\frac{4m_s}{\pi G}} \quad (15)$$

$$\text{将式(15)代入式(13),得} \quad W_f = \frac{\sqrt{\pi} \lambda (L + \Sigma L_e) G^{2.5}}{4 \sqrt{m_s}} \quad (16)$$

从式(13)式(16)看,若管路长 L 一定,管件、阀门、仪表的当量长度之和 ΣL_e 一定,流量 V_s (或 M_s)一定,管路阻力 W_f 与流速的二点五次方 $V^{2.5}$ (或 $G^{2.5}$)成正比。可见流速 u (或 G)减小,管路阻力 W_f 减小。

4.3 增大管子内径 d

$$\text{将式(11)变为} \quad u = \frac{4V_s}{\pi d^2} \quad (17)$$

$$\text{将式(17)代入式(7),得} \quad W_f = \frac{8\lambda(L + \Sigma L_e)V_s^2}{\pi^2 d^5} \quad (18)$$

$$\text{将式(14)变为} \quad G = \frac{4m_s}{\pi d^2} \quad (19)$$

$$\text{将式(19)代入(8),得} \quad W_f = \frac{8\lambda(L + \Sigma L_e)m_s^2}{\pi^2 d^5} \quad (20)$$

从式(18)与式(20)看,若管路长 L 一定,管件、阀门、仪表的当量长度之和 ΣL_e 不一定,流量 V_s (或 M_s)一定,管路阻力 W_f 与管子内径 d 的五次方 d^5 成正比。可见管子内径增大,管路阻力 W_f 明显减小。

由式(11)与式(14)知,当体积流量 V_s 或质量流量 M_s 一定时,管子内径 d 增大,流速 u 或质量流速 G 自然就会减小,所以适当的增大管径 d 会起到良好的减阻节能效果。

增大管径 d ,会带来管路设备与施工费用的增加,这就需要在管路设计时权衡一次性投入的设备费、施工费与平时的操作费两个矛盾方面,确定一个合适的管径 d 。此问题请参阅有关文章,本文不予赘述。不过,除长距离流体输送管路(例如从油田到海港的石油输送管路)外,人们对于一般流体输送管路的设计并不去做设备,施工费与操作费的权衡计算,只是根据常用的经验选定一个流速 u (或 G),然后再根据流量 V_s (或 M_s)确定管径 d 。这样做,设计过程变得简单了,但经济效益未必好。笔者之见,对于一般流体输送管路,也应当做一下设备、施工费与操作费的权衡计算。在管路长 L 一定,流量 V_s (或 M_s)一定的条件下,适当的增大管径 d 对设备、施工费增加不多少,然而由于减阻而带来的节能效益(操作费)却是十分明显可观的。

4.4 降低粘度 μ

如果常温时被输送的流体粘度 μ 大,输送困难,为了输送方便,对流体加热使其粘度 μ 下降。这样做输送的目的达到了,但需要供给流体很多热能,这也是没有办法的办法,对于一般情况并不可取。如果流体被加工时是高温状态(例如从高于常温反应器中出来的产品,从精馏塔冷凝后温度仍高于常温的产品),粘度 μ 小,从节能的角度看,乘热输送的做法是经济的。有些情况下,使用降凝剂也属于节能方法。

4.5 减小管子内壁绝对粗糙度 e

减小管子绝对粗糙度 e ,对于滞流状态没有意义,但对于湍流状态,意义很大,能明显减阻节能,因为前面已分析过,相对粗糙度 $\frac{e}{d}$ 减小,阻力 W_f 减小。管子绝对粗糙度 e 减小,会使设备费增加,所以此处也应当做设备费与操作费的权衡计算,找出合适的 e 值。但不必单纯的追

求绝对粗糙度 e 减小,要着眼于相对粗糙度 $\frac{e}{d}$,如果把管径 d 增大,管材不变,这就意味着相对粗糙度 $\frac{e}{d}$ 减小,达到了减阻节能的效果。联系前面看,增大管径 d ,对于减阻节能起到了一箭三雕的好效果。除管材本身绝对粗糙度 e 这一因素外,还应注意管路内壁因长期使用而结垢这一因素。多数管路结垢是不可避免的,结垢后管路的绝对粗糙度 e 就要增大,这对于输送管路的阻力就要增大。为了减阻节能,应当定期对管路进行清洗,保持管路内壁的光洁,这也是减阻节能的措施之一,但这一点却是往往容易被人们所忽略。

4.6 使用减阻剂

减阻剂是一种加入被输送流体中的附加物,用量很少,却有减阻的功能。尽管减阻剂的减阻机理人们尚未研究清,但减阻剂却早已在流体输送工程上应用了。

减阻剂分为三种:高分子聚合物,金属皂和适当大小的固体颗粒悬浮物。目前使用最广泛的要数第一种,减阻效果十分明显。后两种减阻剂的应用尚待进一步开发,对减阻剂本身以及应用等各方面的问题,请参阅专门文章。使用减阻剂,减阻节能效果虽好,但在许多流体输送管路不能采用,例如目前在食用自来水输送管路中就不能投放减阻剂,因为目前尚没有无毒可食用的减阻剂。

4.7 尽量减小管路上的管件、阀门和监督(或测试)仪表,对于在管路上必须安装的管件、阀门和仪表要采用当量长度 Le 值小者。目前我国生产、使用的管件、阀门和仪表多数阻力大(当量长度 Le 值大),而人们在设计管路时又往往只图使用方便、可靠,往往忽略了减阻节能。笔者认为,在管路设计时除了考虑管件、阀门和仪表的方便、可靠外,同时应该考虑减阻节能问题。

5 结论

不论管路长短、流量大小,在管路设计时只要重视减阻节能,按减阻节能途径去做,一定会收到经济效益的。应该树立管路减阻节能观念,流体输送管路是天天耗能的设备,只要重视减阻节能,随着时间的延长定而无疑的会收到经济效益的。

参考文献

1. 谭天恩、袁本熙、丁惠华,化工原理上册,化学工业出版社 1984 14~71
2. 基础化学工程编写组:基础化学工程上册,上海科学技术出版社 1982;222~64
3. 沈仲棠:“流变学与化工”,黑龙江化工 1985;3:37
4. 陈东浩:Toms 现象与减阻技术的历史及现状,化工进展 1986;1:32~33

(上接 50 页)

阴影增多时注意与增殖性结核鉴别,长期抗痨治疗,平片无改变,痰菌(-),但症状不好转,应早期行支气管造影确诊。②大片阴影,当肺囊肿继发感染时往往出现类似影象,酷似浸润肺结核与肺炎,尤其出现液平阴影时,注意与肺脓肿鉴别。③环形阴影,尤以下叶出现时注意与肺隔离症,肺大泡,结核空洞的鉴别。④球形阴影,对这种含液囊肿应与结核球、肺内占位病变,炎性假瘤等鉴别,一般含液囊肿多无临床症状。

参考文献

1. 朱尔梅,支气管肺囊肿 X 线变化及病理变化,中华结核病学杂志 1979;2:82
2. 朱淑一,何坚,支气管肺囊肿恶变二例,中华结核及呼吸系疾病杂志 1981;1:44
3. 任世群,等:长期误诊肺结核 80 例临床分析,中华防痨杂志 1964;5:382
4. 李并全:巨大纵膈支气管肺囊肿误诊为结核性胸膜炎 1 例,实用内科杂志 1986;6(8):446 (1991-11-01 收稿)