

地面注蒸汽管线蒸汽干度研究及布网方式

佟海松 河南油田设计院

摘要：在研究注蒸汽管线蒸汽干度的影响因素时，应同时研究这些因素对压降的影响。注汽管线的压降比较大，影响因素比较多，主要有注汽流量、管径、环境温度、保温层材料及厚度等。根据动量守恒、能量守恒理论可建立管线中蒸汽压降和干度的控制方程。两相流的流型及其判断方法是研究两相流的基础。对水平管流，采用 Chien, S. F. 在第二届拉丁美洲石油工程会议提出的流型及判断准则并作为研究依据。河南的稠油油田一般都是采用二级布站方式布置输气管网的。选择符合压降要求、投资较低、运行费用较低的注气管线对稠油开发意义非常重大。

关键词：注汽管线；蒸汽干度；压降；布网方式

doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2013.1.012

在研究注蒸汽管线蒸汽干度的影响因素时，应同时研究这些因素对压降的影响。注汽管线的压降比较大，影响因素比较多，主要有注汽流量、管径、环境温度、保温层材料及厚度等。从管径对蒸汽参数的影响情况来看，应尽可能地采用大管径注汽；在注汽流量等其他条件不变的情况下，管径越大，管线压力损失就越小。保温层材料及厚度主要影响管线的热损失，通过影响干度进而对压力产生一定的影响。

1 计算模型建立与主要研究方法

首先做如下假设：锅炉出口蒸汽参数(注汽速率、压力、温度及干度)保持不变；地面管线水平布置；湿蒸汽在地面管线内的流动为一维稳定流动。然后根据动量守恒、能量守恒理论可建立管线中蒸汽压降和干度的控制方程。其次要进行流型划分并计算摩阻、压降。气(汽)两相流流型的划分和界限，目前存在不同的划分方法和判断准则，没有一个统一的标准，仅以判断水平管流气(汽)—液两相流流型的划分和界限的准则作为研究依据。摩阻、压降的计算根据《稠油集输及注蒸汽系统设计规范》中推荐的两种方法进行计算比较后，优选其一。

1.1 计算模型的建立

在注蒸汽过程中，注入的蒸汽是湿蒸汽，是汽相和液相的混合物，需要确定其相对含量。蒸汽干度是指汽相质量占湿蒸汽总质量的比例，由下式计算

$$X = \frac{m_g}{m_g + m_l}$$

在蒸汽沿地面管线流动过程中，由于蒸汽和外界空气有温差，湿蒸汽向外界空间传递热量，蒸汽的干度降低。在蒸汽沿地面管线流动过程中，不考

虑蒸汽重力势能的变化。

根据能量平衡方程，单位时间内单位长度上的热损失，等于单位时间内单位长度上饱和蒸汽能量的减少，即

$$\frac{dQ}{dz} = -i_g \frac{dh_m}{dz} - i_g \frac{d}{dz} \left(\frac{v^2}{2} \right) + i_g g \quad (1)$$

其中 $h_m = (1-x)h_w + xh_g$

式中 i_g 为饱和蒸汽质量流量 (kg/h)； v 为流速 (m/s)； g 为重力加速度 (m/s²)； h_m 为饱和湿蒸汽的焓 (kcal/kg)； h_w 为饱和水的焓 (kcal/kg)； h_g 为饱和蒸汽的焓 (kcal/kg)； x 为饱和蒸汽干度。

由于

$$\frac{dh_m}{dz} = (1-x) \frac{dh_w}{dz} + x \frac{dh_g}{dz} + h_w \frac{d(1-x)}{dz} + h_g \frac{dx}{dz} \quad (2)$$

又因焓是压力的函数，即 $h_w = f(p)$ ， $h_g = \phi(p)$ 。

$$\frac{dh_w}{dz} = \frac{dh_w}{dp} \frac{dp}{dz} \quad (3)$$

$$\frac{dh_g}{dz} = \frac{dh_g}{dp} \frac{dp}{dz} \quad (4)$$

由式 (2)、(3)、(4) 整理得

$$\frac{dh_w}{dz} = (h_g - h_w) \frac{dx}{dz} + \frac{dh_w}{dp} \frac{dp}{dz} + \left(\frac{dh_g}{dp} - \frac{dh_w}{dp} \right) \frac{dp}{dz} x \quad (5)$$

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{v^2}{2} \right) = \frac{d}{dz} \left(\frac{i_g^2}{2\rho^2 A^2} \right) = \frac{i_g^2}{A^2 \rho} \frac{1}{\rho} \frac{d}{dz} \left(\frac{1}{\rho} \right) \quad (6)$$

式中 A 为管线内横截面积 (m²)； ρ 为饱和湿蒸汽的密度 (kg/m³)。

因此可得



$$\frac{dQ}{dz} + i_g \left[(h_g - h_w) \frac{dx}{dz} + \frac{dh_w}{dp} \frac{dp}{dz} + \left(\frac{dh_g}{dp} - \frac{dh_w}{dp} \right) \frac{dp}{dz} x + \frac{i_g^2}{A^2 \rho} \frac{d}{dz} \left(\frac{1}{\rho} \right) - g \right] = 0 \quad (7)$$

令

$$C_1 = i_g (h_g - h_w)$$

$$C_2 = i_g \left[\left(\frac{dh_g}{dp} - \frac{dh_w}{dp} \right) \frac{dp}{dz} \right]$$

$$C_3 = \frac{dQ}{dz} + i_g \frac{dh_w}{dp} \frac{dp}{dz} + \frac{i_g^2}{A^2 \rho} \frac{d}{dz} \left(\frac{1}{\rho} \right) - i_g g$$

则

$$C_1 \frac{dx}{dz} + C_2 x + C_3 = 0$$

由于 C_1 、 C_2 、 C_3 在某一管线长度时是常数，故上式为一阶常微分线性方程。

由于原方程特解为

$$x = e^{-\frac{C_2}{C_1} z} \left[-\frac{C_3}{C_2} e^{\frac{C_2}{C_1} z} + x_0 + \frac{C_3}{C_2} \right]$$

因此可求得任意时刻 t ，管线长度为 z 处的蒸汽干度值 x 。

1.2 流型划分方法

由于湿蒸汽是由液相和汽相构成的一种两相流体，在不同的流动条件下，两相之间界面的存在有可能使蒸汽的流动呈现各种不同的流动形态即流型。两相流的流型如同单相流中的层流和紊流一样，对两相流的压力损失和传热特性影响极大，因此两相流的流型及其判断方法是研究两相流的基础。气(汽)—液两相流流型的划分和界限，不同的研究者有不同的划分方法和判断准则，到目前为止还没有一个统一的标准。本文所采用的流型和判断

准则都是较常用的并能较清晰地被人们区分的几种流型。对于水平管流，采用 Chien, S. F. 在第二届拉丁美洲石油工程会议提出的流型及判断准则并作为研究依据。Chien, S. F. 在德士古公司一直从事蒸汽流动的研究，他提出的流型和流型图，是以泰特(Taitel) 和杜克勒(Dukler)提出的流型转换模型为基础的。

2 地面管网系统及布网方式

一个典型的注蒸汽系统应包括注汽站(内有1台或数台产生高温高压蒸汽的蒸汽发生器)和用以将蒸汽输送并分配至各注汽井的输气管网。根据输气管网的连接方式不同，可分为三种输气管网。第一种是星状布网，即注汽站和注汽井直接通过高压管道相连。胜利油区的乐安油田就是采用这种管网方式，它的特点是注汽站的规模不大，一般由2台或4台注汽锅炉组成，管辖的井数也不多。第二种是二级布站，即注汽站产生的蒸汽首先通过干管输送至各配汽间，各配汽间又通过支管与注汽井相连，这种布网方式的特点是注汽站规模较大，一般由十几台注汽锅炉组成，所管辖的井也较多。河南的稠油油田一般都是采用二级布站方式布置输气管网。第三种是枝状布网，即从注汽站伸出注汽干管，各注汽井通过支管与干管相连。在枝状布网中，由于存在蒸汽干度在干管和支管中分布不均匀的问题，目前在油田中应用较少。三种布网方式示意图如图1所示。

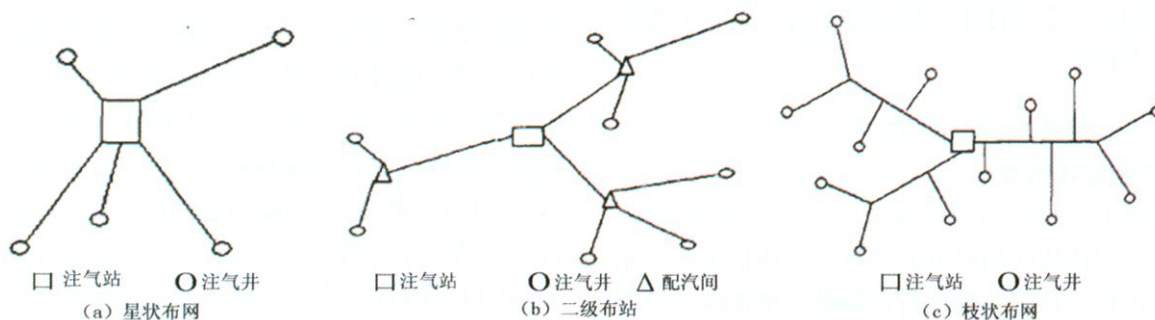


图1 注蒸汽地面管网三种布网方式示意

3 结语

研究流量对蒸汽管线的压降和干度的影响，管径对蒸汽管线的压降和干度的影响和保温层材料及厚度对蒸汽干度的影响，首先必须建立相关的数学模型与计算模型，研究气(汽)—液两相流的流型与规律；研究注蒸汽地面管网的布网方式也是非常重

要的。依据以上研究内容，根据流量和锅炉出口压力就可优化管径，进而可得出地面蒸汽管线的优化设计方法。选择符合压降要求、投资较低、运行费用较低的注气管线对稠油开发意义非常重大。

(栏目主持 杨 军)

