

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.02.012

# 乳胶基质管路的压力降研究与安全性分析<sup>\*</sup>

蔡海军 明 刚 刘再强 肖 红 吴桂华 刘志强

深圳市金奥博科技有限公司(广东深圳,518057)

[摘 要] 在研究乳胶基质流变特性的基础上,对乳胶基质在输送管内的压力降进行了分析和研究,确定了乳胶基质的屈服剪应力和塑性黏度,得出了乳胶基质管路各部件压力降的计算方法;通过现场生产数据与计算数据的对比,验证了压力降计算方法的正确性。通过压力降形成原因的分析 and 热量转化的计算,得出乳胶基质管路的压力降是克服管路系统摩擦而产生的,其最终转化为热能,并被流动的乳胶基质及时带走,不会导致局部温度升高而引发安全风险。保持乳胶基质管路压力降在 0.8 ~ 1.5 MPa 的合理区间内,对保证乳胶基质的质量和基质泵的正常使用具有重要作用。

[关键词] 乳胶基质;压力降;安全性;流变特性;管路

[分类号] TQ560.5;TD235.2<sup>+</sup>1

## 引言

乳胶基质是水相溶液与油相溶液共同乳化形成的一种乳胶体,与发泡剂混合并敏化后形成乳化炸药。水相溶液主要由氧化剂硝酸铵组成,油相溶液由复合油相熔化而成<sup>[1]</sup>。乳胶基质属于典型的非牛顿流体,其剪应力与变形速率不成正比。乳胶基质的黏度一般较大,且随着工艺温度、水油相比的改变而明显变化<sup>[1]</sup>。开展乳胶基质流变特性的研究,既可为乳胶基质配套设备的研究与开发提供重要的参考,也能大大地提高乳化炸药生产过程的本质安全性<sup>[2]</sup>。

由于乳胶基质独特的流变特性,目前,关于乳胶基质流变特性的研究相对较少。国外的 Cartwright<sup>[3]</sup>、Malkin<sup>[4]</sup>等认为乳胶基质是幂律流体,并采用 Cross 方程来表达乳胶基质的流动特性;国内徐志祥<sup>[2]</sup>、肖凯<sup>[5]</sup>、周向群<sup>[6]</sup>等也对乳化炸药的流动性进行了研究,认为乳胶基质为宾汉流体,属于非牛顿流体的一种,并提出了相应的计算模型。由于乳化炸药配方与工艺的多样性,所以在目前,关于乳化炸药及基质的流动特性还没有形成统一的认识,还需要更进一步的研究,而乳胶基质在输送过程中的压力降研究也鲜见报道。

本文在研究乳胶基质流变特性的基础上,对其在输送管道内的压力降进行了分析,提出了管路系统各部件压力降的计算方法,阐述了基质泵工作过程中的能量转换过程。分析压力降对乳胶基质安全

生产过程的影响,既有利于指导设计人员正确地设计管路输送系统,又有利于工作人员正确地认知管路压力形成的原因和机理,消除不必要的担忧,具有十分重要的意义。

## 1 乳胶基质的流变特性

乳胶基质屈服剪应力  $\tau_0$  较大,其流变特性与宾汉流体曲线极为相似。宾汉流体隶属于非牛顿流体,在低应力下,它表现为刚性体,但在高应力下,它会像黏性流体一样流动,且其流动性为线性<sup>[7]</sup>。乳胶基质的各项特性与宾汉流体相吻合,因而它也属于宾汉流体。因此,可用宾汉流体模型来研究乳胶基质的流变特性。

宾汉流体的流变方程为<sup>[6-9]</sup>:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \frac{d\gamma_v}{dt} \quad (1)$$

式中,若  $\tau_0 = 0$ ,则成为牛顿流体的流变方程。牛顿流体和宾汉流体的流变方程中的黏度系数  $\eta_p$  在一定条件下为常数,与温度、介质的组成密切相关。

## 2 乳胶基质在输送管内的压力降分析

### 2.1 直管

如图 1 所示,乳胶输送管与地面夹角为  $\theta$ ,乳胶基质以速度  $v$  沿图示方向流动,根据牛顿第二定律,可知管内任一微分单元体  $dx$  在各作用力的平衡下保持匀速前进。由此可得到微分单元体  $dx$  沿管轴线方向的压力差如下:

$$(p + dp) \pi r^2 - p \pi r^2 = dp \pi r^2 \quad (2)$$

<sup>\*</sup> 收稿日期:2016-05-12

作者简介:蔡海军(1986~),男,硕士,主要从事乳化炸药自动化生产线、现场混装车的研究开发。E-mail:qihaijun@kingexplorer.com

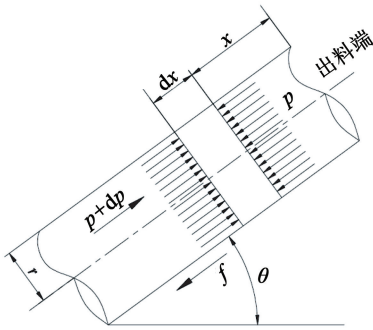


图1 倾斜直管内乳胶基质单元体的受力分析

Fig. 1 Stress analysis of the emulsion matrix's element in inclined straight pipe

式中: $p$  为距出料端  $x$  处的压力; $p + dp$  为距出料端  $x + dx$  处的压力; $r$  为乳胶输送管半径。

宾汉流体在圆形管道内做层流运动时,因克服管道内壁的摩擦阻力而产生沿程压力降,沿程压力降的计算公式如下<sup>[10-11]</sup>:

$$p' = \frac{32\eta_p Lv}{D^2} + \frac{16}{3} \cdot \frac{\tau_0 L}{D}. \quad (3)$$

式中: $p'$  为一管道沿程压力降,Pa; $L$  为管道长度,m; $v$  为流体的速度,m/s; $D$  为管道直径,m。

根据以上公式,可得摩擦阻力为:

$$2\pi r f dx = \frac{p'}{L} \cdot \pi r^2 dx. \quad (4)$$

式中: $f$  为单位面积摩擦阻力。

压力差  $dp\pi r^2$  由管壁摩擦阻力、乳胶基质重力和惯性力共同作用产生<sup>[5]</sup>。重力在轴线方向分力为  $\pi r^2 dx \rho g \sin\theta$ ,惯性力为  $\pi r^2 dx \rho dv/dt$ , $dv/dt$  是乳胶基质流动的加速度。

以上各力的平衡条件<sup>[5]</sup>:

$$dp\pi r^2 - 2\pi r f dx - \pi r^2 dx \rho g \sin\theta = \pi r^2 dx \rho \frac{dv}{dt}. \quad (5)$$

式中: $g$  为重力加速度; $\rho$  为乳胶基质的密度。

由于乳胶基质是不可压缩的, $v$  仅是时间  $t$  的函数,而  $p$  只是  $x$  的函数,将式(5)化简,并对  $x$  进行积分,得:

$$\int \frac{dp}{dx} \cdot dx = \int \left[ \frac{p'}{L} + \rho \frac{dv}{dt} + \rho g \sin\theta \right] \cdot dx. \quad (6)$$

由于  $x = 0$  处  $\Delta p = 0$ ,即出料口处无压力,故可求得距出料口  $L$  处的压力降为:

$$\Delta p = \left[ \left( \frac{32\eta_p v}{D^2} + \frac{16}{3} \cdot \frac{\tau_0}{D} \right) + \rho \frac{dv}{dt} + \rho g \sin\theta \right] \cdot L. \quad (7)$$

实际生产中,乳胶基质在管道内的速度为一恒

定速度,即  $dv/dt = 0$ ,此时管路的工作压力与管道的布置情况(包括管道水平布置、倾斜布置、垂直布置)有关。

由式(7)可得水平管道( $\sin\theta = 0$ )压力降为<sup>[5-9]</sup>:

$$\Delta p_H = \left( \frac{32\eta_p v}{D^2} + \frac{16}{3} \cdot \frac{\tau_0}{D} \right) \times L. \quad (8)$$

垂直管道( $\sin\theta = \sin 90^\circ = 1$ )压力降为<sup>[5-9]</sup>:

$$\Delta p_V = \left( \frac{32\eta_p v}{D^2} + \frac{16}{3} \cdot \frac{\tau_0}{D} + \rho g \right) \times L. \quad (9)$$

## 2.2 锥形管

如图2所示,乳胶输送锥管与地面夹角为  $\theta$ ,乳胶基质以速度  $v$  沿图示方向从大端流向小端,参考乳胶基质在直管中压力降的计算方法,可得基质在锥形输送管中流动引起的压力降  $\Delta p$  为<sup>[5-9]</sup>:

$$\begin{aligned} \Delta p = p_2 - p_1 = & \frac{4(r_1 + r_2)}{3r_2^2} \tau_0 l + \\ & \frac{8\eta_p l}{r_1^2(r_1 - r_2)} v_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \ln \frac{r_2}{r_1} + \rho v_1^2 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \left[ \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 - 1 \right] + \\ & \frac{\rho g l}{3} \left[ 1 + \frac{r_1}{r_2} + \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \sin\theta. \end{aligned} \quad (10)$$

式中: $r_1$  为输送管大端半径; $r_2$  为输送管小端半径; $v_1$  为通过大端时的流速; $v_2$  为通过小端时的流速; $p_1$  为锥形管段大端轴向压力; $p_2$  为锥形管段小端轴向压力; $\rho$  为乳胶基质的密度。

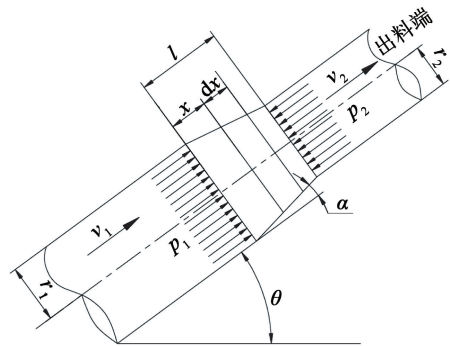


图2 锥形输送管内乳胶基质单元体的受力分析

Fig. 2 Force analysis of emulsion matrix's element in tapered transmission tube

## 2.3 静态混合器

SV 型静态混合器、SX 型静态混合器、SK 型静态混合器是目前乳化炸药生产线上的常用混合器。

SV 型静态混合器主要用于基质管路,承担基质精乳的作用,也称精乳器。SV 型静态混合器是由若干以不同方式排列的波状薄片组成的叠层单元放在空圆管中构成的,每相邻的单元之间成  $90^\circ$  交叉。各叠层单元间的波状薄片也以一定的角度( $90^\circ$ )相

接。SV 型静态混合器用于基质精乳时,能使基质分散到  $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 。图 3 即为乳化炸药 SV 型静态混合器结构,它一般由两个叠层单元组成。

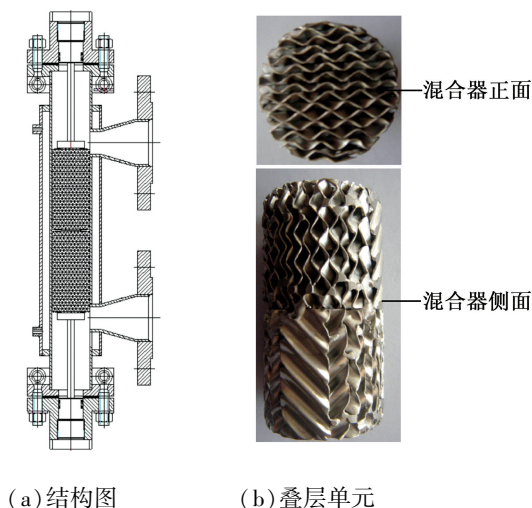


图 3 SV 型静态混合器

Fig. 3 SV static mixer

SX 型静态混合器与 SK 型静态混合器组合使用于乳胶管路,用于基质与发泡剂的静态敏化,也称静态敏化器。

SX 型静态混合器由许多 X 型单元焊接组合而成,X 型单元由交叉的横条按一定的规律组成,横条与管轴线成  $45^\circ$ ,如图 4 所示。该混合器对高黏度、大产能的介质混合具有更佳的效果。SX 型静态混合器用于静态混合时,能使介质分散到  $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 。

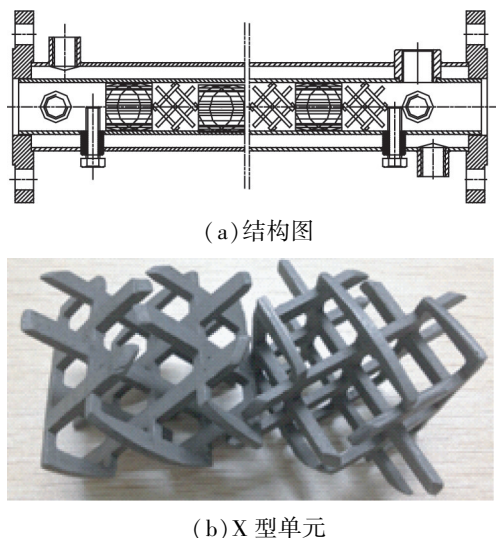


图 4 SX 型静态混合器

Fig. 4 SX static mixer

SK 型静态混合器的芯子为单螺旋形,由向左、向右扭转的螺旋叶片焊接而成。前一个单元的导向边与后一个单元的拖曳边互成  $90^\circ$ ,各单元相互串联。当介质通过这些单元组件时,被不断地分成

若干层,最终达到混合的目的,如图 5 所示。SK 型静态混合器用于静态混合时,能使介质分散到  $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 。

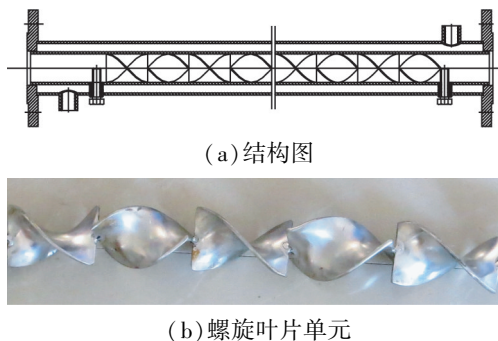


图 5 SK 型静态混合器

Fig. 5 SK static mixer

乳胶基质流经静态混合器截面时,流动状态非常复杂,同时乳胶基质为不可压缩流体。因此,根据达西公式可推导出静态混合器产生的压力降计算公式<sup>[8,12]</sup>:

$$\Delta p = f \cdot \frac{\rho v^2}{2} \cdot \frac{L}{D} \quad (11)$$

式中:  $\Delta p$  为压力降, Pa;  $v$  为流体流动速度, m/s;  $\rho$  为连续相密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $L$  为混合器长度, m;  $D$  为混合单元的直径, m;  $f$  为摩擦系数,与混合器的几何尺寸及流体的雷诺数  $R_e$  有关,由试验测定。

上述计算公式同时适应于 SV 型静态混合器、SX 型静态混合器、SK 型静态混合器。经过试验测定和生产数据校对,得出:SV 型混合器 1 in (25 mm) 芯子的摩擦系数为 75; 1.5 in (38 mm) 芯子的摩擦系数为 120; SX 型混合器的摩擦系数为 26; SK 型混合器的摩擦系数为 13。

## 2.4 阀门、弯管

可采用当量长度法,将阀门与管件换算成与之同效的直管长度,称为当量长度。计算管道压力降时,先计算出与阀门相匹配管道的单位长度压力降,再用当量长度计算阀门和管件的压力降<sup>[12]</sup>。

查手册,可得阀门和管件的当量直管长度如下所示。其中,  $L_e$  为当量长度;  $D$  为与阀门相匹配的管道直径<sup>[12]</sup>。

1) 球阀:  $L_e = 15D$  ;

2) 蝶阀:  $L_e = 20D$  ( $50 \text{ mm} \leq D \leq 200 \text{ mm}$ ) ;

3) 三通球阀:  $180^\circ$  通时,  $L_e = 50D$ ;  $90^\circ$  通时,  $L_e = 45D$ 。

4)  $90^\circ$  弯头: 标准型弯头,  $L_e = 30D$  ; 法兰连接弯头或焊接弯头(图 6), 当量长度如表 1 所示。

## 3 管道压力降的计算与实践应用

为验证计算方法的正确性,将上述方法运用于



某乳胶基质管路的管内压力降计算,并与现场测试结果进行了对比。

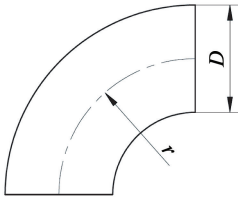


图 6 法兰连接弯头或焊接弯头

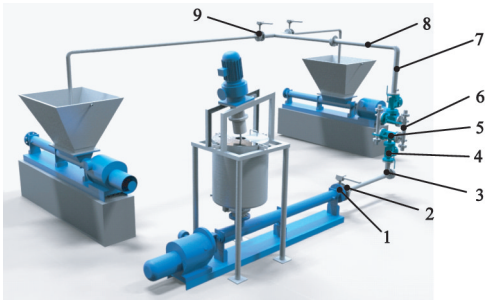
Fig. 6 Flange elbow or welding elbow

表 1 法兰弯头、焊接弯头压力降计算当量长度  
Tab. 1 Equivalent length of calculating pressure drop for flange elbow and welding elbow

$\frac{r}{D}$	$L_e/m$	$\frac{r}{D}$	$L_e/m$
1	10D	10	30D
2	12D	12	34D
3	13D	14	38D
4	14D	16	42D
6	17D	18	46D
8	24D	20	50D

如图 7 所示,该乳胶基质管路主要由 DN100 蝶阀、DN100-DN50 变径锥管、DN50 直管、DN50 弯管、DN50 三通阀、SV 型静态混合器、DN50 蝶阀等组件组成。乳胶基质生产时的工艺温度为 90 ℃ 左右,密度为  $1.36 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,直管内径  $D$  为 51 mm,流量  $Q$  为 3 ~ 8 t/h,管内流速  $v$  为 0.3 ~ 0.8 m/s。通过对 90 ℃ 乳胶基质的表观黏度进行检测,得到该温度条件下乳胶基质的屈服剪应力  $\tau_0$  为 215 N/m<sup>2</sup>,塑性黏度  $\eta_p$  为 3.55 N · s/m<sup>2</sup>。以此为基础,根据乳胶基质通过混合器芯子的实测压力可得出:1 in (25 mm) 混合器芯子摩擦系数为 75;1.5 in (38 mm) 混合器芯子摩擦系数为 120;SX 型混合器的摩擦系数

为 26;SK 型混合器的摩擦系数为 13。



1 - DN100 蝶阀;2 - DN100-DN50 变径锥管;3 - DN50 弯管;  
4 - DN50 三通阀(180°);5 - DN50 三通阀(90°);6 - 静态混合器;7 - DN50 垂直直管;8 - DN50 水平直管;  
9 - DN50 蝶阀

图 7 某乳胶基质管路图

Fig. 7 A pipeline drawing of emulsion matrix

基于上述参数计算与实测得到乳胶管道的压力降如表 2 所示。

4 压力对乳胶基质生产影响的安全性分析

乳胶基质在管路中的输送动力来源于基质螺杆泵的电机,在工作过程中该电机将电能转换为机械能,即为电机的有功功率。机械能带动螺杆泵转子的旋转运动,转子与定子的相对运动又将机械能进一步转化为 3 部分的能量:乳胶基质输送过程中所获得的动能和势能;螺杆泵定子与转子的摩擦热能;乳胶基质与管路摩擦产生的热能(图 8)。

螺杆泵定子与转子之间相互摩擦产生的热量会使乳胶基质温度升高;在正常工作状态下,预乳器生产的乳胶基质会源源不断地通过螺杆泵,及时地带走产生的热量,避免了局部温度的持续升高,因而不会对生产造成安全隐患。乳胶管路的压力降也是由于乳胶基质克服管路系统摩擦而产生的,基质与管路系统的摩擦使乳胶基质温度小幅升高。螺杆泵正

表 2 乳胶基质管路压力降计算值与实测值对比

Tab. 2 Comparison of calculated values and measured values of pressure drop in emulsion matrix pipeline

产量/t	乳胶基质温度/℃	静态混合器尺寸/mm	芯子节数	计算值/MPa	实测值/MPa
8.0	90	38(1.5 in)	2	1.36	1.36
7.0	90	38(1.5 in)	2	1.22	1.25
6.5	90	38(1.5 in)	2	1.16	1.18
6.0	90	38(1.5 in)	2	1.09	1.08
5.0	90	25(1.0 in)	2	1.35	1.38
4.5	90	25(1.0 in)	2	1.22	1.22
4.0	90	25(1.0 in)	2	1.10	1.10
3.6	90	25(1.0 in)	2	1.01	1.00

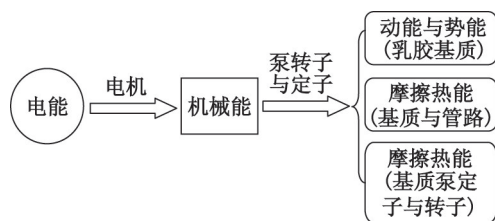


图 8 乳胶基质生产过程中的能量转换

Fig. 8 Energy conversion in the production process of emulsion matrix

常工作时,这些热量也被源源不断的乳胶基质带走,不会发生热量集中,因此不会造成安全风险。

若螺杆泵处于空转的非正常工作状态,转子与定子间的摩擦力产生的热量会持续堆积,而又无法被带走,最终温度越来越高,从而使残留在基质螺杆泵里乳胶基质存在发生爆炸的可能,引发安全隐患。因此,基质螺杆泵在工作过程中严禁空转,必须设计保护装置防止泵的空转。

由于乳胶基质为不可压缩流体,因此,基质管路的压力最终将通过基质与管路系统摩擦的方式转化热能,使乳胶基质的温度小幅升高。以某民爆基质管路为例,当产能为 8 t/h 时,静态混合器采用 2 节 1.5 in(38 mm)的芯子,基质泵变频器输出电压 236 V,电流 13.5 A,功率因素为 0.83;乳胶基质管路实测的压力降为 1.36 MPa。

单位时间内电机转化成的机械能(即电机的有功功率)为:

$$E = \sqrt{3} UI \cos \varphi = \sqrt{3} \times 236 \times 13.5 \times 0.83 = 4\,580.2 \text{ J}.$$

单位时间内乳胶基质获得的动能  $E_K$  与势能  $E_P$  分别为:

$$E_K = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \rho S v t v^3 = \frac{1}{2} \times 1.36 \times 10^3 \times 2.04 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times 1 \times 0.8^3 = 0.71 \text{ J};$$

$$E_P = mgh = (S v t \rho) gh = 1.36 \times 10^3 \times 2.04 \times 10^{-3} \times 0.8 \times 1 \times 9.8 \times 1.7 = 37 \text{ J}.$$

单位时间内克服管道摩擦转化的热能  $Q_1$  为:

$$Q_1 = \Delta p S v t = 1.36 \times 10^6 \times 2.04 \times 10^{-3} \times 0.8 \times 1 = 2\,219.5 \text{ J}.$$

单位时间内转子与定子摩擦转化的热能  $Q_2$  为:

$$Q_2 = E - E_K - E_P - Q_1 = 4\,580.2 - 0.71 - 37 - 2\,219.5 = 2\,323 \text{ J}.$$

摩擦热能导致乳胶温度升高:

$$\Delta T = \frac{Q_1 + Q_2}{\rho S v t c} =$$

$$\frac{2\,219.5 + 2\,323}{1.36 \times 10^3 \times 2.04 \times 10^{-3} \times 0.8 \times 1 \times 2\,800} = 0.73^\circ \text{C}.$$

式中:  $c$  为乳胶基质的比热容,  $2\,800 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ \text{C})$ 。

可以看出,摩擦热能使乳胶基质的温度上升较小。一方面,持续生成的乳胶基质会将摩擦热量及时带走;另一方面,乳胶基质在输送过程中与管壁形成热交换,最终将部分热量散发至空气中。因此,乳胶基质管路的合理压力降不会影响乳胶基质的安全生产。

## 5 乳胶基质管路压力降的合理区间

乳胶基质管路采用的耐茨螺杆泵型号是 NM063SY03S18B,为三级螺杆泵,最大输出压力为 1.8 MPa,最大输出转矩为 316 Nm。

乳胶基质管路的压力降与工艺温度、生产产量、油相配方、水油相的混合状态密切相关。工艺温度是影响乳胶基质黏度最大的因素,直接影响乳胶基质的屈服剪应力、塑性黏度,从而影响到整个管路的压力降。保持基质管路压力降在合理范围内,对保障乳胶基质的质量和基质泵的正常使用具有重要的意义。

选用 M063SY03S18B 螺杆泵作为基质泵时,乳化炸药基质管路的生产能力在 2.5 ~ 9.0 t/h 之间,为保证基质乳化的质量,建议最低产能在 3 t/h 以上。根据工程现场生产经验,基质管路压力降在 0.8 ~ 1.5 MPa 时,乳胶基质具有较好的乳化质量。在基质管路达到其最大产能时,管路压力降为 1.43 MPa,基质泵转速为 124 r/min,基质泵变频器输出功率 3.79 kW。由此可计算出基质泵连轴杆所承受的转矩为:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{3.79 \times 10^3}{(124 \times 2 \times \pi) / 60} = 292 \text{ Nm}. \quad (12)$$

综上所述,乳胶基质管路压力降的合理区间为 0.8 ~ 1.5 MPa,该压力远小于基质泵的最大输出压力 1.8 MPa;在产能达到最大的 9 t/h 时,基质泵的转矩也小于最大输出转矩 316 Nm,充分保障了基质泵的正常运行。

## 6 结论

1) 通过研究乳胶基质的流动特性,归纳并总结了乳胶基质管路直管、锥管、静态混合器、弯管、阀门等部件压力降的计算方法,并用现场生产数据验证了计算方法的正确性。

2) 推导出了静态混合器压力降的计算公式,依据试验检测和工程现场数据,确定了 1 in(25 mm) SV 型混合器的摩擦系数为 75, 1.5 in(38 mm) SV 型混合器摩擦系数为 120, SX 型混合器的摩擦系数为

26, SK 型混合器的摩擦系数为 13。

3) 乳胶基质属于非牛顿流体, 通过试验, 在 90 °C 时的屈服剪应力  $\tau_0$  为 215 N/m<sup>2</sup>, 塑性黏度  $\eta_p$  为 3.55 N · s/m<sup>2</sup>, 这些参数的确定为乳胶输送管路的设计和压力故障分析提供了重要参考。

### 参 考 文 献

- [1] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 2008.  
WANG X G. Emulsion explosive[M]. 2nd ed. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008.
- [2] 徐志祥, 叶志文, 刘大斌, 等. 乳胶基质流动模型及其温度和速度的分布研究[J]. 爆破器材, 2009, 38(2): 5-7.  
XU Z X, YE Z W, LIU D B, et al. Study on flow model and distribution of temperature and pressure of emulsion matrix[J]. Explosive Materials, 2009, 38(2): 5-7.
- [3] CARTWRIGHT R V. Rheology of emulsion explosives: a practical method[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1989, 14(5): 215-218.
- [4] MALKIN A Y, MASALOVA I, SLATTER P, et al. Effect of droplet size on the rheological properties of highly-concentrated w/o emulsions[J]. Rheologica Acta, 2004, 43(6): 584-591.
- [5] 肖凯, 刘寿康, 邹柏华. 乳胶基质在输送过程中管内压降的研究[J]. 矿冶工程, 2010, 30(1): 17-20.  
XIAO K, LIU S K, ZOU B H. Research on inner pressure drop during the transportation of emulsion matrix[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2010, 30(1): 17-20.
- [6] 周向群, 郑峰. 乳化炸药流变特性的测试[J]. 测试技术学报, 1998, 12(4): 24-27.  
ZHOU X Q, ZHENG F. Testing on rheological characteristics of emulsion explosive[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 1998, 12(4): 24-27.
- [7] 徐佩弦. 高聚物流变学及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.  
XU P X. Polymer rheology and application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [8] 刘会勇. 混凝土泵排量实时测量方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008: 37-44.  
LIU H Y. Real-time measurement method research on concrete pump displacement [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008: 37-44.
- [9] 黄前春. 基于出口压力的混凝土泵排量测量方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007: 22-29.  
HUANG Q C. Displacement measurement method research based on the outlet pressure of the concrete pump[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007: 22-29.
- [10] 冯丽. 含水稠油管道输送压降计算[D]. 大庆: 东北石油大学, 2008.  
FENG L. Differential pressure calculation during pipeline transportation for water-cut heavy crude [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2008.
- [11] 孙道胜, 翟红侠, 廖绍峰. 有压管道输送混凝土的流变学分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2005, 20(6): 104-107.  
SUN D S, ZHAI H X, LIAO S F. Analysis of pumping concrete in terms of fluid-deformics [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2005, 20(6): 104-107.
- [12] 徐宝东. 化工管路设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.  
XU B D. Chemical pipeline design manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.

### Research on Pressure Drop and Safety in Transport Pipes of Emulsion Matrix

QI Haijun, MING Gang, LIU Zaiqiang, XIAO Hong, WU Guihua, LIU Zhiqiang

Shenzhen King Explorer Science and Technology Co., Ltd. (Guangdong Shenzhen, 518057)

[ABSTRACT] Pressure drop in transport pipes of emulsion matrix was analyzed and studied based on the research on flow properties of emulsion matrix. Shear yield stress and plastic viscosity of emulsion matrix were determined, and calculation method of pressure drop for components was obtained. The method was verified by comparison of production data and calculated data. By analyzing causes of pressure drop and calculating heat conversion, causes of pressure drop were confirmed. Pressure drop is produced by overcoming the friction of emulsion matrix with pipes system, and it will be eventually converted to heat and removed by flowing emulsion matrix. Therefore, hazards due to partial temperature rise of emulsion matrix will be eliminated. Keeping the pressure drop of emulsion matrix pipes in the reasonable range of 0.8-1.5 MPa, it plays an important role to ensure the normal use of the quality of the emulsion matrix and matrix pump.

[KEY WORDS] emulsion matrix; pressure drop; safety analysis; rheological property; pipes