文章编号：1006－7051(2015)03－0009－04

乳胶基质黏度影响因素研究

马 平，谭本岭，叶 辉，查正清
（北京矿冶研究总院，北京 100160）

摘 要：通过相对固定工艺参数，采用博立飞黏度计测量了乳胶基质在一定温度下的绝对黏度，研究总结了影响基质黏度的各种因素，包括外相黏度、内相黏度、内相含量、乳化剂、乳化温度、乳化器及基质温度，并分析了各因素影响基质黏度的原因。结果表明，各因素对基质黏度均有一定的影响，生产实践中可采用多种方式对基质黏度进行调整。

关键词：乳化炸药；乳胶基质；黏度
中图分类号：TQ423 **文献标识码**：A **doi**：10.3969/j.issn.1006-7051.2015.03.003

STUDIES ON THE INFLUENCE FACTORS OF EMULSION MATRIX VISCOSITY

MA Ping, TAN Ben-ling, YE Hui, ZHA Zheng-qing
(*Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing* 100160, *China*)

ABSTRACT: By relatively fixed process parameters, the emulsion matrix absolute viscosity was studied by Brookfield viscometer under certain temperature. The impact of various factors on the matrix viscosity including continuous phase viscosity, dispersed phase viscosity, dispersed phase content, emulsifier, emulsifying temperature, emulsification device and the matrix temperature were explored. The reasons of changes in the viscosity effected by the different factors were also analyzed. The results showed that all of these factors had certain effects on the viscosity of the matrix and the matrix viscosity could be adjusted by variety of ways in production practice.

KEY WORDS: Emulsion explosive; Emulsion matrix; Viscosity

1 引 言

乳胶基质作为乳化炸药的基础，其性能对炸药性能起决定性影响。而乳胶基质的绝对黏度（或称表观黏度）作为表征基质流变性的重要参数与性能关系密切[1]，它影响着输送、储存、装药等工艺流程，关系着炸药爆炸性能、储存稳定性等。通常，粘度的测定加上流体力学理论可以提供很多关于乳化液结构的知识。国内对于乳胶基质的黏度进行了初步研究[2-4]，国外的 Ashok K D 曾深入研究过低剪切下乳液的粘度[5]，Masalova I 等人曾深入研究过浓度和液滴尺寸对于高浓度乳状液流动性的影响[6]。

本文通过测试一定剪切速率下乳胶基质的黏度，对影响基质绝对黏度的各因素进行了系统研究，并分析了各因素影响基质黏度的原因，以期更好的指导实际生产。

2 影响乳胶基质黏度因素的考察

乳胶基质是典型的假塑性流体，其绝对粘度是剪切速率的函数，具有剪切稀释效应，即剪切率增大，绝对黏度减小。研究中采用美国博利飞 RVDV-II+Pro 型布氏粘度计（选用 7＃转子），固定转子的转速为 50r/min，测试一定条件下基质的绝对黏度，考察各种因素对于黏度的影响。

收稿日期：2014－12－08
作者简介：马 平（1979－），男，硕士、高级工程师，主要从事含能材料的研究与应用。E-mail：maping@163.com。

万方数据

2.1 外相黏度 η_0 的影响

几乎所有关于乳状液黏度的理论中皆将外相的黏度 η_0 当作是决定最终乳状液黏度的最重要因素[5]。多数公式皆表达乳化液黏度与 η_0 成正比，此类公式可表示为：

$$\eta = \eta_0(X) \tag{1}$$

式中：X 代表一切能影响到黏度的性质之和。当然对于乳胶基质而言乳化剂溶于外相之中，因此 η_0 应当是油相与乳化剂形成的黏度之和，而不简单是纯液体的黏度。

乳胶基质黏度主要取决于所选用油相材料的种类，在乳化剂一定时，尤其取决于燃料组分的黏度。试验中固定生产工艺条件，选用不同油相，对比了不同黏度中性油对于基质黏度的影响，结果见表 1。

表 1 中性油黏度对基质黏度的影响

Table 1 The relationship between viscosity of the matrix and the viscosity of the neutral oil

中性油运动黏度(40℃) /($mm^2 \cdot s^{-1}$)	乳胶基质绝对黏度(25℃) /(mPa·s)
22	32000
32	38000
46	45000
68	56000

结果表明，外相黏度对于基质表观黏度影响显著，使用不同黏度的中性油是调整乳胶基质黏度最简便的方法。

2.2 内相黏度 η_i 的影响

Sherman 曾经对于 W/O 乳状液做过平行研究[6]，其中乳状液中内相体积浓度约为 70%。其结论是内相的黏度 η_i 不重要，但是内相的化学成分极其重要。在乳胶基质中内相多为硝酸铵饱和水溶液，其内相黏度与硝酸铵溶液的浓度相关。目前露天型散装乳化炸药中水一般占到基质质量的 15%～20%左右，而水含量决定了内相硝酸铵溶液的黏度、密度等性质。

试验中固定乳化配方和工艺条件，仅改变水含量来调整内相硝酸铵溶液的粘度，测试相应的基质表观黏度，结果见表 2。

Sherman 的研究证明内相的黏度可对乳状液黏度产生一定影响，但影响有限。试验结果证明该结论对于乳胶基质同样适用。

水含量增加时，乳胶基质内相的黏度降低、密度也会降低，则内相体积浓度会增大，相应的外相体积浓度会相对降低，因此导致基质的表观黏度增加，从而出现了内相黏度越小而乳胶基质黏度越大的特殊现象。当水含量增加到一定程度时，水相体积会增加较大，则会出现乳化困难的现象，这也是制备水乳胶较硝酸铵乳胶困难的原因之一。

表 2 内相黏度对基质黏度的影响

Table 2 The relationship between viscosity of the matrix and viscosity of the internal phase

水在乳胶基质中的质量含量 /%	内相溶液运动黏度(100℃) /($mm^2 \cdot s^{-1}$)	内相溶液密度(100℃) /($g \cdot cm^{-3}$)	乳胶基质绝对黏度(60℃) /(mPa·s)
15	1.67	1.402	19200
20	1.31	1.391	20800
30	0.87	1.368	22800

2.3 内相体积浓度 φ 的影响

一般而言，乳状液中的内相质量含量若大于 50%，其性质和牛顿流体相差很大。因此，Hatschek 得出下式[7]：

$$\eta = \eta_0\left[\frac{1}{1-\varphi^{\frac{1}{3}}}\right] \tag{2}$$

从式(2)可以看出，内相的体积浓度 φ 越大，乳状液的黏度将越大。这与实际经验一致，即在生产中提高油相比例(相当于 φ 变小)，则生产的乳胶基质黏度会降低。

在散装乳化炸药中油相质量含量一般在 6%～8%，对应的内相质量含量一般在 92% ～ 94%。生产中可以视需要将油相比例适当调整，即可以调整最终产品的黏度。

2.4 乳化剂的影响

乳状液的黏度是乳化剂类型及浓度的函数。散装乳化炸药中乳化剂的黏度普遍较中性油大，其 100℃运动黏度一般在 60mm^2/s 以上，远高于中性油黏度。因此提高乳化剂的含量会提高外相的黏度，从而提高乳胶基质黏度。另外，乳化剂的类型对于乳状液黏度也有明显影响[8]。传统乳化剂 Span-80 自身的黏度一般较高分子乳化剂黏度小，但是 Span-80 较 T154 等高分子乳化剂制备的乳胶基质黏度大，这说明不仅乳化剂自身黏度会影响基质的表观黏度，乳化剂的分子结构对于基质黏度影响也较大。试验中固定乳化配方和工艺条件，选用不同乳化剂进行乳化操作，相应结果见表 3。

试验结果表明，同样乳化条件下采用 Span-80 制备的乳胶基质表观黏度大，尽管 Span-80 的分子链长、分子量均较 T154 小，但 Span-80 中含有较多羟基，外相之间及乳化剂与水相溶液组分间会形成

万方数据

较多氢键，从而增加了基质黏度。但需要特别说明的是基质黏度的大小与基质稳定性之间并无必然的联系[9]。

表 3 乳化剂对基质黏度的影响

Table 3 The relationship between viscosity of the matrix and emulsifiers

乳化剂类型	乳化剂占乳胶基质质量百分含量/%	乳胶基质绝对黏度(60℃)/(mPa·s)
S-80	2	23200
复合乳化剂	2	21100
T154	2	18800

注：复合乳化剂为 T154∶S-80=3∶1，质量比。

2.5 乳化器的影响

实践证明，粗乳状液经过均化之后的颗粒大小分布会大大改变，黏度常常有很显著的增加。一般来讲乳状液越均匀，其黏度也越大。Richardson 的试验结果表明[6]：若乳状液的浓度相同，其围绕一个平均直径的浓度也相同，则表观黏度与此平均直径成反比。生产中在相同的基质配方和工艺条件下，均化程度直接决定于乳化器的工作参数，包括乳化器类型、转速、产能等，这些参数均对基质黏度影响很大。

乳化器转速不同时制备的乳胶基质黏度相差较大，试验中固定乳胶基质配方和工艺条件，考察了不同的乳化器转速对于基质粘度的影响，结果见表 4。

表 4 乳化器转速对基质黏度的影响

Table 4 The relationship between the viscosity of the matrix and the speed of emulsifier

乳化器转速/(r·min^{-1})	乳胶基质绝对黏度(25℃)/(mPa·s)
1450	45000
1200	42000
900	35000

试验结果表明，乳化器转速越高制备的基质黏度越大。这是由于乳化器在较高的转速条件下，乳化器腔体内的物料单位时间内受到的剪切次数越高、均化越强烈、内相更加分散，导致基质粘度升高。

相同的乳化器在不同的产能条件下制备的乳胶基质黏度也会有变化。试验中固定乳胶基质配方和工艺条件，考察了相同的乳化器在不同产能条件下基质粘度的变化，结果见表 5。

试验结果表明，在工艺配方和乳化器类型及转速相同的情况下，产能越小制备的基质黏度越大。因为产能减小时，基质在乳化器内停留的时间相对增加，受剪切次数增多，导致基质颗粒粒径变小，宏观表现为黏度增加。

表 5 乳化器产能对基质黏度的影响

Table 5 The relationship between the viscosity of the matrix and the capacity of emulsifier

乳化器产能/(t·h^{-1})	乳胶基质绝对黏度(25℃)/(mPa·s)
3	86000
5	62000
10	48000

因此在地面站调试、生产时，同样的乳化器在不同产能下工作，需要对工艺配方进行相应调整方可满足实际需要。

2.6 乳化温度的影响

乳胶基质的内相为硝酸铵的过饱和溶液，其析晶点一般在 60℃以上。乳化时水相温度要控制在硝酸铵的析晶点之上，一般在 80～90℃。试验中固定乳化配方和工艺条件，在不同温度下进行乳化操作，分别测试基质的黏度，结果见表 6。

表 6 乳化温度对基质黏度的影响

Table 6 The relationship between the viscosity of the matrix and the emulsifying temperature

乳化时水相温度/℃	乳胶基质绝对黏度(60℃)/(mPa·s)
100	16500
90	17400
80	18800

试验结果表明，水相温度对于乳胶基质的黏度有明显影响。水相温度较高时制备的乳胶基质黏度小；水相温度降低时制备的乳胶基质黏度会升高。其原因可能是非离子型乳化剂的 CMC 会随着温度的增加而增加，虽然温度升高非离子型乳化剂在体系中的溶解度会增加，但 CMC 增加程度较乳化剂的浓度变化更大，因此会有更多的乳化剂去形成胶束，而非溶解在油相中形成胶团，从而导致基质表观黏度变小。

2.7 基质温度的影响

生产实践与研究已证明[10]，乳胶基质的黏度随温度降低而升高。研究考察了一定条件下 Span-80 乳化剂制备的乳胶基质的黏度-温度曲线，见图 1。

乳胶基质外相由中性油、乳化剂组成，而中性油的黏度与温度有很大关系，温度越低、油的黏度越大，从而导致基质的黏度明显增大。选用不同的乳

万方数据

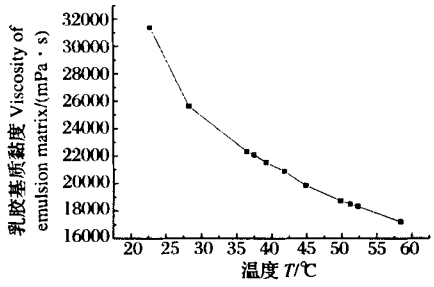


图 1 乳胶基质绝对黏度-温度曲线

Fig. 1 The viscosity-temperature curve of the emulsion matrix

化剂制备乳胶基质的黏度-温度曲线不尽相同，乳化剂自身性质会影响到基质黏度的变化，但黏度-温度曲线总的变化趋势是一致的。

3 结 论

通过对乳胶基质绝对黏度的系统研究发现，外相黏度、内相黏度、内相体积浓度、乳化剂、乳化温度、乳化器及基质温度等生产工艺中的各因素对于基质黏度均有一定的影响，研究结果表明：①外相黏度越大、基质黏度越大；②内相黏度对于基质粘度影响有限；③内相体积浓度越大，基质黏度越大；④乳化剂的类型对基质黏度有影响，一般乳化剂分子中羟基越多、基质黏度越高；⑤乳化温度越高，基质的黏度一般会越小；⑥乳化器转速越高、产能越小，基质的黏度越高。

在实际生产中可采取多种方式、方法对乳胶基质的黏度进行合理调解；另外需要特别指出的是，由于影响基质黏度的因素非常多，因此在对比乳胶基质的黏度时要确保测试条件的一致，否则会影响结果的准确性。

参考文献(References)：

〔1〕汪旭光. 乳化炸药[M]. 北京：冶金工业出版社，2008：470-471.
WANG Xu-guang. Emulsion Explosive[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008: 470-471.

〔2〕张东杰，张现亭，陆丽园，等. 现场混装乳化炸药油相材料对乳胶基质黏度影响的研究[J]. 火工品，2013(1)：42-44.
ZHANG Dong-jie, ZHANG Xian-ting, LU Li-yuan, et al. Study on Influence of Oily Material on Emulsion Matrix Viscosity of On-site Mixing Explosive[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2013(1): 42-44.

〔3〕WANG L Q, FANG J. Rheological Properties and Water-in-oil Structural Stability of Emulsion Matrixes[J]. Central European Journal of Energetic Materials, 2013, 10(1): 87-102.

〔4〕任小民，熊代余，秦虎，等. TM 型车制乳化炸药的黏度测试[J]. 有色金属(矿山部分)，1998(3)：39-40.
REN Xiao-min, XIONG Dai-yu, QIN Hu, et al. The Viscosity Test of the Emulsion Explosive Which Made by the TM Car System[J]. Nonferrous metals(Mining), 1998(3): 39-40.

〔5〕ASHOK K D, DOBLE M, SWAYAMBUNATHAN V, et al. Concentrated Emulsions. 3. Studies on the Influence of Continuous-phase Viscosity, Volume Fraction, Droplet Size, and Temperature on Emulsion Viscosity [J]. Langmuir, 1992, 8 (10): 2427-2436.

〔6〕MASALOVA I, MALKIN A Y. Peculiarities of Rheological Properties and Flow of Highly Concentrated Emulsions the Role of Concentration and Droplet Size[J]. Colloid, 2007 (69): 185-197.

〔7〕P. 贝歇尔. 乳状液理论与实践[M]. 傅鹰，译. 北京：科学出版社，1964：52.
BECHER P. Emulsions Theory and Practice[M]. Fu Ying, translation. Beijing: Science Press, 1964: 51.

〔8〕赵国玺. 表面活性剂物理化学[M]. 北京：北京大学出版社，1984：384-388.
ZHAO Guo-xi. Physical Chemistry of Surfactants[M]. Beijing: Peking University Press, 1984: 384-388.

〔9〕WANG L Q, WANG N F, FANG J. Rheology of Typical Emulsifiers and Effects on Stability of Emulsion Explosives[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2011, 20(3): 295-300.

〔10〕李清，田运生. 乳化炸药的乳化剂界面活性研究[J]. 工程爆破，1997，3(3)：33-36.
LI Qing, TIAN Yun-sheng. Study on the Interfacial Activity of Emulsifier of Emulsion Explosive[J]. Engineering blasting, 1997, 3(3): 33-36.

万方数据