

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.03.008

乳化炸药钢带凉药工艺的改进^{*}

许道利

浙江永联民爆器材有限公司遂昌永新分公司(浙江遂昌,323313)

[摘 要] 分析了乳化炸药钢带凉药机的工作原理,针对钢带凉药机冷却能力低、与装药机能力不匹配的问题,提出了解决方案:将自然对流改为强制对流,提高对流换热系数;安装风冷循环系统,提高基质与冷风的温差等。经试验证明,该方案能实现钢带凉药机与装药机的产能匹配。

[关键词] 乳化炸药;钢带凉药机;工业冷风机

[分类号] TQ560.5;TD235.2⁺¹

Improvement of Strip Charge Process of Emulsion Explosives

XU Daoli

SuichangYongxin Branch,Zhejiang Yonglian Explosive Materials Co., Ltd. (Zhejiang Suichang,323313)

[ABSTRACT] Working principle of strip machine for charge to produce emulsion explosive was analyzed. In order to solve the problems of low cooling ability and mismatching with charging machine, natural convection was replaced by forced convection, convective heat transfer coefficient and temperature differences between substrate and cold air were increased, and air cooling circulation system was installed. Experimental results show that these approaches could achieve the matching of strip machine and production capacity of charging machine.

[KEYWORDS] emulsion explosive; strip machine; industrial cooling fan

引言

在乳化炸药连续化生产过程中,基质冷却工序是一个重要环节。钢带凉药机因具有安全性能好、在线药量少、基质不与冷却介质接触、无废弃物排放等优点,成为乳化炸药生产线冷却设备的首选^[1-3]。随着《工业和信息化部关于民用爆炸物品行业技术进步指导意见》(工信部安[2010]227号)^[4]和《工业和信息化部关于提升工业炸药生产线本质安全水平的指导意见》(工信部安[2012]301号)^[5]的颁布,各企业加快了生产工艺、装备的升级换代,自动化、连续化、信息化水平不断提高^[6]。特别是随着塑膜包装的推广以及美国 Tipper Tie 转盘机、德国 Poly-clip 打卡机的引进^[7-9],解决了长期制约乳化炸药大产能生产的瓶颈,单位产能得到大幅提高。这对基质的冷却设备提出更高的要求,但由于受到工房结构的限制,很难更换更大规格的钢带凉药机。

笔者通过分析钢带凉药机的结构及工作原理,提出钢带凉药机的改进方案,并通过试验验证其效果。

1 钢带凉药机结构及工作原理

钢带凉药机主要由 4 部分组成:布料系统、钢带输送系统、冷却系统和刮料系统。从乳化器内出来的基质经过布料系统,使基质均匀地分布在输送钢带上;钢带下的冷却系统喷出冷却水冷却钢带上的基质,基质上表面采用自然风冷却;刮料系统把冷却后的基质刮入敏化器内进行敏化。

从乳化器内出来的基质经过钢带凉药机的布料系统后变成层状,如图 1。

待冷却的基质可以分为 3 层,最底层为钢带冷却层,属于间壁式换热。热量传递采用对流和热传导两种方式,即基质通过热传导换热方式将热量传递给钢带,钢带通过对流方式传递给冷却水。热量传递公式为^[10]:

^{*} 收稿日期:2016-10-11

作者简介:许道利(1975 -),男,学士,工程师,主要从事民用爆炸物品生产的技术和管理工作。E-mail:54496252@qq.com

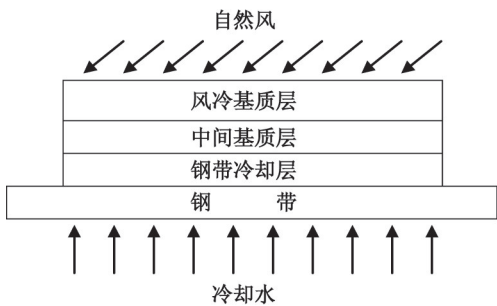


图1 钢带凉药机基质层

Fig. 1 Matrix layer in strip charge machine

$$Q_{\text{水}} = H_{\text{水}} \cdot A \cdot \Delta T_{\text{m水}} = H_{\text{水}} \cdot A \cdot (T_{\text{基}} - T_{\text{水}})。$$

(1)

式中： $Q_{\text{水}}$ 为水冷传热速率，kJ/h； $H_{\text{水}}$ 为水冷传热系数，kJ/($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)； A 为钢带冷却面积， m^2 ； $T_{\text{基}}$ 为基质温度， $^\circ\text{C}$ ； $T_{\text{水}}$ 为冷却水温度， $^\circ\text{C}$ 。

可见， $Q_{\text{水}}$ 与 $H_{\text{水}}$ 、 A 和 $\Delta T_{\text{m水}}$ 成正比。
根据传热公式可知，在工艺、设备确定的情况下，水冷传热系数 $H_{\text{水}}$ 、钢带冷却面积 A 、基质温度 $T_{\text{基}}$ 是不变的，水冷速率取决于水温 $T_{\text{水}}$ 。由于循环水系统安装有冷却塔，加上水的比容比较大，水温相对稳定，基质的冷却效果较明显，是基质降温的主要方式。

中间基质层采用热传导冷却方式，将热量传递给水冷基质层、风冷基质层。其冷却效果与基质的热扩散率有关，基质的热扩散率为^[10]

$$\alpha = \frac{\lambda}{(\rho \cdot C_p)} \approx 0.0003。$$

(2)

式中： α 为基质热扩散率； λ 为基质热导率； ρ 为基质密度； C_p 为基质的定压比热容。

可见，乳化炸药基质的热扩散率很低，高温的乳化基质不能将热量迅速地传递给较冷的基质。

基质上层为风冷基质层，热量传递采用对流冷却方式，属于直接接触式换热。

热量传递公式为：

$$Q_{\text{风}} = H_{\text{风}} \cdot A \cdot \Delta T_{\text{m风}} = H_{\text{风}} \cdot A \cdot (T_{\text{基}} - T_{\text{风}})。$$

(3)

式中： $Q_{\text{风}}$ 为风冷传热速率，kJ/h； $H_{\text{风}}$ 为风冷对流换热系数，kJ/($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)； $T_{\text{风}}$ 为空气温度， $^\circ\text{C}$ 。

其主要影响因素有：流体物理性质（如密度、黏度、热导率、比热容）、流体对流起因（如自然对流和强制对流）、流体流动状态（如湍流、层流）、流体的相态变化、传热面的形状（如尺寸、相对位置）等。

根据传热公式可知，在工艺、设备确定的情况下，钢带冷却面积 A 、基质温度 $T_{\text{基}}$ 是不变的，风冷传

热速率取决于风冷对流换热系数 $H_{\text{风}}$ 和空气温度 $T_{\text{风}}$ 。空气温度越高，与基质的温差就越小，热交换越少。在夏季高温天气，由于没有循环系统，完全靠自然风冷却，凉药机周围空气温度不断升高，与基质温差越来越小，热交换效果不好。

综合以上分析，可以确定水冷是钢带冷却的主要方式，风冷温差小、风速小、基质热扩散率不高是导致基质不能快速降温的主要原因。

2 钢带凉药工艺的改进

2.1 现状

公司共有两条乳化炸药生产线，其中一条生产 $\varnothing 70\text{ mm}$ 及以上规格的产品。采用中低温敏化技术，工艺要求为：乳化出口温度 $105 \sim 110\text{ }^\circ\text{C}$ ，敏化温度 $49 \sim 51\text{ }^\circ\text{C}$ 。基质冷却选用 DL-1b 型钢带凉药机，长 16 m 、宽 1 m ，循环水最大流量为 30 t/h 。装药机采用纸筒手工装药，产能为 3.6 t/h 。

2014 年 11 月，公司将原来的纸筒手工装药机改为塑膜自动装药机，生产线人员由原来的 9 人下降至 4 人，装药机产能由原来的 3.6 t/h 提高至 4.5 t/h 。由于制药工房结构限制，没有更换钢带凉药机。技改时气温不高，钢带凉药机的冷却能力能够达到 4.5 t/h ，与装药机产能匹配。

2015 年 6 月，随着夏季气温的不断升高，钢带凉药机的冷却能力不断下降。在室温达到当地夏季常年最高气温 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时，将冷却水流量调至最大，测得制药产能与敏化温度的变化如表 1。表 1 可以看出，制药产能达到 4.5 t/h 时，敏化温度为 $61\text{ }^\circ\text{C}$ ，无法满足工艺要求。

2.2 第 1 次改进

1) 将自然对流改为强制对流，提高对流换热系数 $H_{\text{风}}$ 。

从式(3)可以看出，风冷传热速率 $Q_{\text{风}}$ 与对流换热系数 $H_{\text{风}}$ 成正比。而提高 $H_{\text{风}}$ 的最明显措施就是改变流体对流起因，将自然对流改为强制对流。经查资料，对流换热系数的大致量级：空气自然对流为 $5 \sim 25$ ，气体强制对流为 $20 \sim 100$ 。在钢带凉药机支架上安装风罩，将基质与周围空气隔离；在风罩上端面加装防爆轴流风机，风罩下端面加装可调节百叶式风口。风机的风量越大，风冷传热速率越高，故可通过试验确定风机型号。

2) 在钢带凉药机风罩间安装梳理板，使中间基质层与冷却风直接接触。基质由原来的热传导冷却方式改为对流冷却方式，提高冷却效果。

表 1 改进前制药产能与敏化温度变化

Tab. 1 Changes of production capacity and sensitization temperature before improvement

室 温/℃	循环水流量/(m ³ · h ⁻¹)	循环水温度/℃	制药产能/(t · h ⁻¹)	乳化出口温度/℃	敏化温度/℃
40	30	30	3.4	108	49
40	30	30	3.6	108	51
40	30	30	3.8	108	53
40	30	30	4.0	108	55
40	30	30	4.2	108	58
40	30	30	4.5	108	61

2.3 实施步骤

为解决钢带凉药机的冷却能力,2015 年 7 月,公司在钢带凉药机支架上安装了 3 个长 4.5 m、宽 1.2 m、高 0.3 m 的风罩。风罩之间间距为 0.5 m,每个风罩底面加装 2 片 2 m × 1 m 的可调节百叶式风口(图 2)。每个风罩上端面中心位置各安装 1 台 CBF-600 型防爆轴流风机,共计 3 台风机。其参数为:直径 600 mm、功率 0.75 kW、转速 1 450 r/min、风量 10 200 m³/h。



图 2 可调节百叶式风口
Fig. 2 Adjustable shutter type air outlet

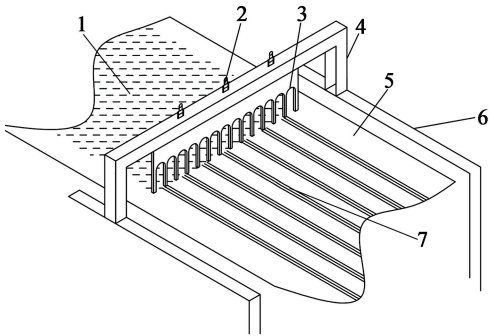
同时,制作两个齿形梳理板,齿宽为 10 mm、齿距为 50 mm。分别错齿安装在钢带凉药机风罩之间,梳理板至钢带距离为基质厚度的 1/3,如图 3 所示。将平铺在钢带上的基质均匀地分成若干份,使基质的中间层与冷风接触,将原来的基质内部的热传导冷却改为冷风对流冷却,提高冷却效果。

经过调试、测量,钢带的冷却效果得到明显改善。在冷却水流量调整至最大状态时,测得制药产能与敏化温度的变化如表 2。在室温 40 ℃、制药产能达到 4.5 t/h 时,敏化温度为 50 ℃,能够满足工艺要求。

但由于防爆轴流风机安装在钢带凉药机上,存在工房噪声大的缺点,3 台风机同时工作,能耗也比较大,遂进行进一步改进。

2.4 第 2 次改进

为降低工房噪声、减少能耗,取消风罩上的 3 台



1 - 原基质;2 - 调节螺母;3 - 梳理板;4 - 槽钢
支承架;5 - 钢带;6 - 凉药机支架;7 - 梳理后基质。

图 3 梳理板装置

Fig. 3 Carding plate device

防爆轴流风机,改为安装工业冷风机,降低冷却风温度,改善风冷效果。从式(3)可以看出,风冷传热速率 $Q_{\text{风}}$ 与空气温度 $T_{\text{风}}$ 有关。 $T_{\text{风}}$ 越低, $Q_{\text{风}}$ 越大。

工业冷风机是无压缩机、无冷媒、无污染的环保型产品,具有耗电量小、送风量大、降温明显、运行成本低、便于维护等特点。在较潮湿地区,一般能达到 5 ~ 9 ℃ 左右的明显降温效果;在特别炎热干燥地区,降温幅度能达到 10 ~ 15 ℃ 左右。

根据工艺要求,乳化器出口基质温度为 110 ℃、敏化温度为 50 ℃,产能由 3.6 t/h 增至 4.5 t/h,增产 0.9 t/h。考虑全部采用风冷,需导出热量:

$$Q_1 = C_1 M_1 (T_{\text{基}} - T_{\text{敏}}) = 118\,800 \text{ kJ/h}.$$
 (4)

式中: Q_1 为单位时间内基质散发的热量,kJ/h; C_1 为乳胶基质的比热,2.2 kJ/(kg · K); M_1 为单位时间里风冷乳胶基质的质量,0.9 t/h; $T_{\text{基}}$ 为乳化器出口基质温度,110 ℃; $T_{\text{敏}}$ 为乳胶基质敏化温度,50 ℃。

根据能量守恒定律,基质散发的热量等于冷却风吸收的热量。即

$$Q_1 = Q_2.$$
 (5)

式中: Q_1 为单位时间内基质散发的热量,kJ/h; Q_2 为单位时间内冷却风吸收的热量,kJ/h。

如保持工房内室温不变,工房内冷风的温度变

表 2 改进后制药产能与敏化温度变化

Tab.2 Changes of production capacity and sensitization temperature after improvement

室 温/℃	循环水流量/(m ³ · h ⁻¹)	循环水温度/℃	制药产能/(t · h ⁻¹)	乳化出口温度/℃	敏化温度/℃
40	30	30	4.0	110	44
40	30	30	4.2	110	47
40	30	30	4.5	110	50
40	30	30	4.8	110	52

表 3 2 次改进后制药产能与敏化温度变化

Tab.3 Changes of production capacity and sensitization temperature after two improvements

室 温/ ℃	循环水流量/ (m ³ · h ⁻¹)	循环水温度/ ℃	冷风机出口风温/ ℃	制药产能/ (t · h ⁻¹)	乳化出口温度/ ℃	敏化温度/ ℃
40	30	30	32	4.0	110	43
40	30	30	32	4.2	110	46
40	30	30	32	4.5	110	49
40	30	30	32	4.8	110	51

化即为室外冷风机的冷却温度。

$$Q_2 = C_2 \rho_2 V_2 \Delta T_m。$$
 (6)

式中:Q₂ 为单位时间内冷却风吸收的热量,118 800 kJ/h;C₂ 为空气的比热,1.01 kJ/(kg · K);ρ₂ 为空气密度,35℃时为1.15 kg/m³;V₂ 为单位时间内通过的冷风体积,m³/h;ΔT_m 为风机冷却温度,6℃。

根据式(6),可计算出单位时间内冷风机的排风量 V₂ 应不小于 17 047 m³/h。

2.5 2 次改进效果

2015 年 8 月,公司取消风罩上的 3 台防爆轴流风机,在室外安装一台 RDF20A 型工业冷风机,该设备功率为 1.1 kW、最大排风量为 20 000 m³/h、外形尺寸为 1.1 m×1.1 m×1.3 m。冷风机与钢带凉药机风罩采用风管相连。通过降低冷风温度,提高风冷传热效率。

经过多日调试、测量,钢带的冷却效果得到明显改善。在冷却水调整至最大状态时,测得制药产能与敏化温度的变化如表 3。在室温 40℃、制药产能达到 4.5 t/h 时,敏化温度为 49℃,满足工艺要求。

由于冷风机安装在室外,工房内无噪声,同时只需 1 台冷风机,功耗也比较小。室温偏低时,可通过调整冷却水的大小、百叶式风口的开口等方式调整冷却效果,控制敏化温度在工艺范围之内。经过两年的试运行,效果良好。

3 结论

通过改进钢带凉药机的风冷系统,钢带凉药机

的冷却能力由原来的 3.6 t/h 提高至 4.5 t/h,有效解决了钢带冷却能力与装药机产能不匹配的问题。该方案具有降温效果明显、设备简单、便于维修、能耗小、无噪声等优点。

参 考 文 献

[1] 谢皆见. 钢带凉药机的应用[J]. 现代矿业,2005,21(5): 44-45.
XIE J J. Application of steel-belt reagent cooler[J]. Express Information of Mining Industry, 2005, 21(5): 44-45.

[2] 徐东平,李永. 浅析乳化炸药基质冷却方式之优劣[J]. 金属矿山,2012,41(4):56-58.
XU D P, LI Y. A preliminary discussion on the merits and demerits of the cooling modes of emulsion explosive matrix[J]. Metal Mine, 2012, 41(4): 56-58.

[3] 阮义波. 乳化炸药钢带凉药机冷却水温差自动补偿装置的研究[J]. 科技创新导报,2014(22):222.

[4] 工业和信息化部. 工业和信息化部关于民用爆炸物品行业技术进步的指导意见[Z/OL]. 工信部安[2010]227 号, 2010-05-19 [2017-03-16]. [http: www. china. com. cn/policy/txt/2010-05/22/content_20094783_3. htm](http://www.china.com.cn/policy/txt/2010-05/22/content_20094783_3.htm).

[5] 工业和信息化部. 提升工业炸药生产线本质安全水平的指导意见释义[Z/OL]. 工信部安[2012]301 号, 2012-06-27 [2017-03-16]. [http://www. miit. gov. cn/gzdt/2013-09-15/content_2481578. htm](http://www.miit.gov.cn/gzdt/2013-09-15/content_2481578.htm).

[6] 张建新. 敞开式大产能乳化器在乳化炸药生产中的应用[J]. 工程爆破,2014,20(2):36-39.
ZHANG J X. Application of open large-capacity emul-

