

# 蒸汽泄漏的成本分析及应对措施

王其营<sup>1</sup>, 李坤笃<sup>2</sup>, 汪小海<sup>1</sup>

(1. 中策橡胶(天津)有限公司, 天津 300452;

2. 山东汶河新材料有限公司, 山东 莱芜 271100)

**摘要:**以轮胎生产为例,对管道蒸汽、硫化蒸汽、内压蒸汽、内压水泄漏所造成的损失进行量化分析,并制定相应的应对措施,以减少蒸汽泄漏,提高蒸汽的使用效率。

**关键词:**蒸汽泄漏;成本分析;应对措施

**中图分类号:** TQ330.8

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2024)07-0060-04

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2024.07.014

蒸汽是制造企业生产最重要的介质之一,也是生产过程在所需热量最主要的来源。由于蒸汽压力、温度较高,饱和蒸汽又易变为汽、液两相流,所以蒸汽在输送及使用过程中容易产生泄漏。对于明显的泄漏,一般都会及时得到处理,损失不会很大;但是轻微的泄漏及设备内部泄漏(简称“内漏”)造成的损失并没有引起所有人的重视,有时会长时间不明显地存在或隐形存在,其综合损失反而会很严重。本文以轮胎生产为例,对管道蒸汽、硫化蒸汽、内压蒸汽、内压水泄漏所造成的损失进行量化分析,并制定相应的应对措施,以减少泄漏特别是内漏的存在,提高蒸汽的使用效率。

## 1 管道蒸汽泄漏的损失及应对措施

管道蒸汽泄漏一般有四种情况,一是因为管道焊口原因引起泄漏,二是法兰盘处泄漏,三是阀门泄漏,四是安全阀泄漏。而直管段泄漏几率较小,因为蒸汽管道一般都是采用合金无缝钢或厚壁无缝碳素钢,出现砂眼、裂缝的几率较低。

### 1.1 蒸汽管道泄漏的损失计算

上述四种泄漏情况虽然位置不同,但是都有一个共同的特点,就是蒸汽直接从管道或附件内部喷射到管道外面。这时蒸汽的表压就是泄漏时的压力,泄漏处的孔径可以目测或估算。

对于蒸汽泄漏量的核定,通常有两种办法进行,一是按照经验公式计算,二是参照蒸汽疏水阀泄漏的对应值进行对照。

目前,蒸汽泄漏量采用下面的经验公式来计算: $Q=A^2BC$ ,其中 $Q$ 为蒸汽泄漏量,单位为 $\text{kg/h}$ ;  $A$ 为蒸汽泄漏孔的直径,单位为 $\text{mm}$ ,  $B$ 为常数,取值4;  $C$ 为蒸汽绝对压力,单位为 $\text{MPaG}$ 。例如,蒸汽压力在 $1.0\text{ MPaG}$ 时,一个直径为 $3\text{ mm}$ 的小孔,每小时泄漏的蒸汽量将达到 $27\text{ kg}$ 左右。

除此之外,还可以利用蒸汽压力、泄漏点的孔径与蒸汽泄漏率的对应曲线进行查找蒸汽的泄漏量。例如,在蒸汽压力为 $0.6\text{ MPa}$ 时,一个直径为 $7.5\text{ mm}$ 的孔,每小时浪费蒸汽大约 $110\text{ kg}$ 。表一为不同孔径、不同压力情况下的蒸汽泄漏量对照表。如果出现表中没有列出的孔径,可以按照孔径的截面积的比值换算出与该孔径接近的蒸汽泄漏量;如果出现表中没有列出的压力,可以按照压力的比例换算出不同压力下的蒸汽近似泄漏量。

表1 不同孔径、不同压力情况下的蒸汽泄漏量对照表

泄漏孔径/mm	3	5	7.5	10	12.5	备注
蒸汽压力/MPa	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	背压为0,下同
蒸汽泄漏量/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )	12	33	70	120	200	
蒸汽压力/MPa	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
蒸汽泄漏量/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )	18	49	110	195	300	
蒸汽压力/MPa	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
蒸汽泄漏量/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )	27	64	168	300	480	
蒸汽压力/MPa	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
蒸汽泄漏量/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )	38	108	245	430	660	

计算出蒸汽的泄漏量,就可以根据蒸汽的单价核算出相应的泄漏损失;或者根据泄漏蒸汽的数量及参

作者简介:王其营(1967-),男,高级工程师,橡胶机械专业,已发表论文300余篇。

收稿日期:2024-01-22

数,核算出生产该数量蒸汽的燃料用量,这样就比较直观。按照上面提到的蒸汽压力为 0.6 MPa 时,一个直径为 7.5 mm 的孔,每小时浪费蒸汽 110 kg,每天浪费 2.64 t,每周浪费 18.48 t,1 年(50 个工作周)浪费 924 t;相当于每年浪费 110 t 煤或 60 t 燃料油或 2 200 GJ 天然气;如果按照蒸汽含税单价 300 元/t 计算(下同),相当于每年浪费 27.72 万元,其浪费量相当惊人。

## 1.2 蒸汽管道泄漏的应对措施

从上述蒸汽泄漏损失计算可以看出,蒸汽管道出现泄漏,造成的损失较大;而且由于轮胎生产企业所用蒸汽的压力和温度较高,一旦出现泄漏,不但浪费量大,而且容易出现烫伤或其他意外,必须想法尽快消除漏点,才能减少损失和对人及周围环境的影响。

由于轮胎生产企业属于连续生产,蒸汽关停对生产的影响较大,所以对于蒸汽管道的泄漏可以采取带压堵漏的方法进行处理,以减少对生产的影响。

对于管道焊口引起的泄漏,如果泄漏比较轻微,可以采用直焊法进行处理;如果泄漏比较严重,可以采用间焊法、逆焊法等方法进行处理;如果焊缝破口较大,则可以采用焊包法或焊罩法进行处理。

蒸汽管道法兰盘泄漏一般有三种情况,一是紧固件因为温差引起松动出现轻微泄漏,可以采用调整消漏法进行处理。二是法兰盘密封垫出现损伤而泄漏,如果是管径较小的支管法兰盘,可以采取打包法进行处理;如果是管径较大的主管道法兰盘,则需要采取焊包法或焊罩法进行处理。三是因为密封垫损伤泄漏导致法兰盘接合被冲出凹槽或法兰盘本体出现损伤,对于外径较小的法兰盘,可以采用焊包法或焊罩法进行处理;对于外径较大的法兰盘,则可以采用强注法进行带压堵漏;有能力的企业可以自行处理,否则可由专业堵漏人员进行处理。

蒸汽阀门泄漏一般有三种情况,一是阀门填料减少、压盖松动引起泄漏,轻微的泄漏可以采用调整消漏法进行处理,严重的可以采用焊包法或焊罩法进行处理。二是阀门法兰盘泄漏,可以采取上述法兰盘泄漏处理办法进行处理。三是阀体损伤而泄漏,可以采用焊包法或焊罩法进行处理;特殊情况,可以采用改道法进行处理。

蒸汽管道安全阀泄漏一般有三种情况:一是安全阀的起跳压力值调的偏小,在安全压力范围内就起跳泄漏,对安全阀的起跳压力值重新调整即可。二是安

全阀法兰盘出现泄漏,可以参照上述法兰盘泄漏的处理方法进行。三是安全阀内部零部件出现损伤引起泄漏,可以采用上罩法进行临时处理,但是不能采用焊包法、焊罩法进行处理,以确保系统压力在设定范围内,确保系统安全。

## 2 硫化蒸汽泄漏的损失及应对措施

此处所指的硫化蒸汽是指在轮胎硫化过程中用于外温加热的蒸汽,其泄漏点一般是蒸锅式硫化机或硫化罐的锅口密封漏汽,还有一部分是热板式硫化机的蒸汽热板漏汽,至于与蒸汽室或热板连接的管道漏汽,则属于蒸汽管道泄漏的范畴。

### 2.1 硫化蒸汽泄漏的损失计算

蒸锅式硫化机或硫化罐的锅口密封漏汽,一般是因为锅口密封胶条老化、损伤以及锅口变形等原因引起。蒸汽从锅口密封胶条处泄漏,一般是在胎坯装锅、硫化蒸汽进入蒸锅或硫化罐后才会出现,而且一旦泄漏,蒸汽泄漏量会由小到大,严重时会影响整个硫化系统,更会对现场操作人员的人身安全及周围电气设备的运行安全造成威胁。

热板式硫化机的蒸汽热板漏汽,一般是因为在更换模具时受到撞击引起热板变形或焊缝开焊;也有可能是热板因为长期使用,且蒸汽具有一定的腐蚀性,导致热板锈蚀泄漏。与锅口密封漏汽相比,热板漏汽量一般是开始阶段比较小,如果不及时处理,会越来越来。

硫化蒸汽泄漏由于是直接喷射到设备外面,所以泄漏时没有背压,工作压力就是泄漏时的压力。一般蒸锅式硫化机或硫化罐的硫化蒸汽压力为 0.35 MPa 左右,热板蒸汽压力在 0.45 MPa 左右,蒸汽泄漏量可以根据泄漏点的通径参照表一进行判定。如果锅口密封泄漏处的通径为 10 mm,则每小时泄漏蒸汽的量大约为 120 kg;如果热板泄漏处的通径为 3 mm,则每小时泄漏蒸汽的量大约为 14 kg。

一般情况下,锅口密封出现泄漏后,会在本硫化周期结束后进行处理;其蒸汽泄漏的总量基本就是泄漏处单位时间的泄漏量与正硫化周期的积。如果上述硫化周期是 240 min,则蒸汽泄漏量就是:  $120 \times 240 \div 60 = 480$  (kg),泄漏损失为:  $300 \div 1\,000 \times 480 = 144$  (元)。

而热板泄漏量则是在彻底处理之前一直泄漏,其蒸汽泄漏量就是泄漏处单位时间的泄漏量与正硫化周

期的积。如果上述泄漏点是在3天后停产时处理,则蒸汽泄漏量就是: $14 \times 24 \times 3 = 1\ 008$  (kg), 泄漏损失为: $300 \div 1\ 000 \times 1\ 008 = 302.4$  (元)。

## 2.2 硫化蒸汽泄漏的应对措施

当锅口密封漏汽时,如果泄漏点的通径不是很大,则可以在该硫化周期结束后进行处理。处理时要检查泄漏点处锅口密封盘根的损坏程度,如果是局部损坏,则可以把损坏段用比较锋利的刀具按照 $45^\circ$ 角切割取出,断面要平整,然后更换一段新的盘根。更换的盘根也要切出与原有盘根断面角度相反的呈 $45^\circ$ 角的平整断面,长度比实际长度稍长一点,以便于更换后的盘根接口能压实,避免再次泄漏。如果盘根整体老化或损伤严重,则应该把盘根整体更换。如果是锅口安放盘根的沟槽出现变形,则应该把凸出点用磨光机磨平,凹坑点则用电焊填平,然后用磨光机修磨至标准尺寸,再更换或修复锅口盘根。

如果泄漏点的通径较大,但是不会对硫化系统及现场操作工和电气运行造成威胁,则可以预判一下蒸汽泄漏量的损失,并与正在硫化轮胎的价值进行对比;如果蒸汽泄漏损失小于所硫化轮胎的价值,则可以继续硫化,直至硫化周期结束后按照上述方法进行盘根修复或更换;如果蒸汽泄漏损失大于所硫化轮胎的价值,则应该提前结束硫化,及时止损,然后再按照上述方法进行盘根修复或更换。

如果蒸汽泄漏点对硫化系统及现场操作工和电气运行造成较大威胁,则应该果断停止硫化,以损失所硫化轮胎的价值避免发生意外,然后再按照上述方法进行盘根修复或更换。

## 3 内压蒸汽泄漏的损失及应对措施

此处所指的內压蒸汽是指在轮胎硫化过程中用于胎坯定型和充压的蒸汽。此处蒸汽泄漏,一般是因为阀门关闭不严,通过介质联箱直接喷射到主排管道内,然后进入回水箱。此种泄漏,从硫化设备外部无法直接观察到,但是在回水箱处可以看出;泄漏严重时,会影响整个硫化系统运行,其浪费量同样不容忽视。

### 3.1 内压蒸汽泄漏的损失计算

一般用于定型的蒸汽压力在 $0.1$  MPa左右,用于充压的蒸汽压力在 $1.4 \sim 1.8$  MPa之间。

由于內压泄漏都是因为阀门关闭不严造成,蒸汽泄漏的通径相对会比较大会比较大,从而造成蒸汽泄漏量也比较大。

如果定型蒸汽阀门泄漏通径为(或相当于) $10$  mm,查蒸汽压力、泄漏点孔径与蒸汽泄漏率的对应曲线,得知蒸汽泄漏量约为 $55$  kg/h。一般胎坯定型时间为 $5$  min左右,则在胎坯定型期间蒸汽的泄漏量约为 $4.6$  kg/次条。而一台双模硫化机每天硫化 $48$ 条左右,则每天的蒸汽泄漏量将达到 $220$  kg,价值 $66$ 元/天。

如果充压蒸汽压力为 $1.4$  MPa,泄漏阀门的通径为 $5$  mm,则泄漏量约为 $108$  kg/h,如果充压时间每天为 $16$  h,则每天的泄漏量将达到 $1\ 728$  kg,价值 $518$ 元/天,损失较大。

### 3.2 内压蒸汽泄漏的应对措施

对于定型蒸汽的泄漏,可以在胎坯定型期间测量一下介质联箱与主排管之间的表面温度,也可以查看回水箱有无蒸汽泄漏。如果温度正常,则说明没有泄漏;如果温度较高,则说明有泄漏。如果温度特别高,则说明泄漏比较严重,这时回水箱也会有蒸汽冒出。对于轻微的泄漏,把阀门关紧即可;对于严重泄漏,则必须及时查清原因,及时处置,以免影响整个系统的运行。

如果是充压蒸汽泄漏,检查方法与定型蒸汽相近,也是根据介质联箱与主排管之间的表面温度以及查看回水箱有无蒸汽泄漏。然后采取关紧阀门或硫化结束后更换阀门等措施进行解决。

## 4 内压水泄漏的损失及应对措施

轮胎硫化过程中的內压水泄漏一般分为外漏和內漏两种情况。所谓外漏,主要是因为內压水管道焊缝裂口或剥蚀、弯头、法兰盘、阀门、补偿器损坏及胶囊出现异常等原因造成內压水直接喷射到管道或硫化设备之外;而內漏则是因为硫化机內压水与內冷水或主排管之间的阀门关闭不严,且內压水压力高于內冷水和主排管的压力,导致內压水通过联箱进入內冷回或主排管道。按照泄漏量及损失情况而言,由于外漏容易发现,处理及时,损失相对小一点;而內漏不容易发现,一般是在內压水系统出现水位低、温度变化大以及內冷回水管温度升高、主排水箱出现冒汽等异常现象才会被发现,持续时间较长,损坏相对会更大。

### 4.1 内压水泄漏的损失计算

內压水虽然是汽、液两相流,但是其热量来源于进入除氧器的蒸汽。其泄漏量的损失可以通过泄漏的內压水的总量推算出加热蒸汽的用量。

$1$  kg软化水(可以看作是纯水)温度每升高或降

低 1 °C，所吸收或放出的热量相当于 1 kcal，则将 1 t 软化水从 30 °C 加热至 170 °C 需要的热量为：

$$(170-30) \times 1 \times 1\,000 = 140\,000 \text{ (kcal)}.$$

一般内压水的温度都在 170 °C 左右，故除氧器加热需要饱和蒸汽的压力都在 0.8 MPa 以上，对应的温度为 174.69 °C，蒸发总焓值为 661.95 kcal/kg。如果饱和蒸汽的压力为 0.7 MPa，则对应的温度为 169.78 °C，再加上热损失，就无法达到内压水的温度要求。

如果蒸汽加热软化水的效率按照 0.9 考虑，则将 1 t 软化水从 30 °C 加热至 170 °C 需要的蒸汽为：

$$140\,000 \div 661.95 \div 0.9 = 234.99 \text{ (kg)} \approx 235 \text{ kg}.$$

加热除氧器内压水蒸汽的成本为：300 ÷ 1000 × 235 = 70.5 (元/t)；如果加上内压水系统运行的电费、人工、软化水及其他费用，最少需要再增加蒸汽加热成本的 40% 以上，即除氧器内压水的成本在 100 元/t 左右。

一般一家日产量 200 t 左右的轮胎生产企业，其内压水泄漏量约为 50 t/d，则每天内压水的泄漏损失将达到 0.5 万元左右；一年按照 340 个工作日计算，每年就相当于浪费 170 万元，其损失是巨大的。

## 4.2 内压水泄漏的应对措施

### 4.2.1 内压水外漏的处理措施

对于内压水管道焊缝裂口及剥蚀、弯头、法兰盘、阀门、补偿器损坏等情况引起的泄漏，可以采取带压堵漏方式进行处理；而胶囊损坏则可以根据具体情况随时停机处理或待硫化结束后进行处理。

对于管道焊缝及弯头的泄漏，轻微泄漏可以采用直焊法进行处理；严重的，则可以采用间焊法进行处理；对于裂缝较大、泄漏特别严重的则采用焊包法或焊罩法进行处理。

对于管道剥蚀，一般出现在内压水回水管道，特别是支管与主管连接处的管壁对面剥蚀现象更严重，可以根据泄漏及管道壁厚等情况采用间焊法、焊包法或焊罩法进行处理。

过热水管道法兰盘泄漏有三种情况，一是紧固件因为温度变化引起松动而泄漏，可以采用调整消漏法进行处理。二是法兰盘的密封垫出现损伤而泄漏，对于管径较小的支管法兰盘，可以采取打包法进行处理；对于管径较大的主管道法兰盘，则可以采取焊包法、焊罩法进行处理。三是法兰盘本体出现损伤而泄露，可以采用焊包法或焊罩法进行处理；泄漏严重的，在采用焊罩法堵漏时可以在罩体上方设置引流装置，便

于操作。

过热水阀门泄漏一般有三种情况，一是阀门填料减少、压盖松动造成泄漏，可以采用调整消漏法进行处理；如果泄漏比较严重，在无法进行调整的情况下，可以采用焊包法或焊罩法进行处理。二是阀门法兰盘泄漏，可以采取热水管道法兰盘泄漏的办法进行处理。三是阀体损伤而泄露，一般采用焊包法或焊罩法进行处理；特殊情况，可以采用改道法进行处理。

补偿器容易在以下三个部位出现泄漏：一是因为热拉伸，造成补偿器与管道连接的法兰盘密封泄漏，轻微的泄漏可以采用调整消漏法进行处理；严重的，可以采用焊包法或焊罩法进行处理。二是法兰盘的焊缝开焊泄漏，轻微的可以采用直焊法进行处理；严重的，可以采用焊包法或焊罩法进行处理。三是补偿器的波纹管因为老化或损伤而泄漏，可以采用焊包法、焊罩法或上罩法进行处理，但是这样补偿器将失去补偿功能，需要在条件具备时适时更换新的补偿器。

对于胶囊出现异常造成的泄漏，泄漏轻微的，可以坚持到轮胎硫化结束再检查处理；泄漏严重的，则需要马上结束硫化，以免影响整套内压水系统的运行。如果是胶囊与卡环脱开，再重新紧固卡环即可；如果是胶囊出现损伤，无论损伤是否严重，必须更换胶囊。

### 4.2.2 内压水内漏处理的措施

内压水内漏一般是因为硫化机内压水与内冷水或主排管之间的阀门关闭不严，造成内压水串入内冷水和主排管内。内漏轻微的，会造成内冷水和主排管表面温度升高；泄漏严重的，则会引起除氧器水位急剧下降，影响系统运行。

对于轻微的泄漏，一般是通过检查，发现串水的部位，然后把阀门关紧即可。要做的这一点，需要操作工和维修工加强责任心，及时巡检，发现异常，及时查清原因并进行妥善处理。对于严重的泄漏，如果除氧器水位下降不严重，可以将内压水切换为内冷水进行保压，待系统正常后再恢复硫化；如果因为泄漏造成除氧器水位严重下降，影响系统的正常运行，则需要马上停止硫化，避免损失扩大。

## 5 结语

虽然在轮胎生产过程中，管道蒸汽、硫化蒸汽、内压蒸汽、内压水出现泄漏时常发生，但是不同的处理方式，会产生不同的效果，其综合损失也有较大的差别。如果提前预防，可以降低泄漏几率；如果及时

发现,可以减少泄漏损失;如果妥善处理,则可以避免事态扩大。因此,轮胎生产企业应该对上述泄漏进行量化分析,让操作工、维修工及相关人员都知道由此造成的损失和后果,并制定相应的应对措施和应急

预案,这样就可以逐步减少泄漏特别是内漏的存在,进而提高蒸汽的使用效率,降低轮胎生产过程中的蒸汽成本。

## Cost analysis and response measures for steam leakage

Wang Qiyang<sup>1</sup>, Li Kundu<sup>2</sup>, Wang Xiaohai<sup>1</sup>

(1. Zhongce Rubber (Tianjin) Co. LTD., Tianjin 300452, China ;  
2. Shandong Wenhe New Material Co. LTD., Laiwu 271100, Shandong, China)

**Abstract:** Taking tire production as an example, this article quantitatively analyzes the losses caused by pipeline steam, vulcanization steam, internal pressure steam, and internal pressure water leakage, and formulates corresponding measures to reduce steam leakage and improve steam utilization efficiency.

**Key words:** steam leakage; cost analysis; response measures

(R-03)

## 中国轮胎出口美国, 下滑 44.1%

Exports of Chinese tires to the United States fell 44.1%

近日,根据美国海关的最新统计数据,2024年第一季度美国半钢胎的进口市场展现出了显著的疲软态势。与去年同期相比,进口数量显著减少,下滑了10.4%至4 193万条;而进口额更是大幅下跌了18.2%,降至25.36亿美元。更为引人注目的是,轮胎的均价也遭受了压力,下跌了8.7%,降至60.49美元/条。

在各国和地区的出口表现中,有显著的差异。特别是在美国半钢胎进口量排名前十的国家中,仅有泰国、越南和柬埔寨三国实现了出口量的正增长。泰国的出口量增长幅度达到17.7%,达到1 042万条;越南的增长更是迅猛,高达34%,出口量达404万条;而柬埔寨的增长率更是达到了惊人的47.5%,出口量达192万条。与此形成鲜明对比的是,中国的出口量出现了显著下滑,仅为41万条,较去年同期下降了44.1%。

在进口均价方面,各出口国也呈现出了较大的差异。日本的轮胎均价最高,达到了85.63美元/条;而中国则以37.92美元/条的价格位居中游;越南则以36.3美元/条的低价位列最后。

再来看全钢胎市场,虽然进口量略有增长,达到了1 526万条,但进口额和均价却均出现下滑。进口额下降了11.8%至18.22亿美元,均价则下降了14%至119.44美元/条。在出口方面,泰国、越南、柬埔寨和菲律宾四国实现了出口量的增长,其中柬埔寨的增长率最高,达到了181.3%。然而,中国的出口量却再次下滑,从去年的73万条降至46万条,降幅达到37.8%。在均价方面,加拿大以191.76美元/条的价格领跑,而中国以117.32美元/条的价格紧随其后,菲律宾则以52.81美元/条的价格垫底。

最后,在非公路轮胎领域,整体进口量也呈现出微降的趋势,下降了2.4%至15.5万t。进口额和均价也分别下滑了10.4%和8.2%。尽管如此,中国、泰国和越南三国的出口量却实现了增长,其中中国的增长率达到了7.8%,出口量达到了5.7万t。然而,在均价方面,日本以7 963美元/t的高价位居榜首,而中国则以2 813美元/t的低价排名最后。

编自“中国轮胎商务网”

(R-03)

