

# 钢衬聚四氟乙烯防腐装备 易损原因及解决办法

赵永镐 赵 炜

(温州赵氟隆有限公司, 浙江温州 325016)

**摘 要** 聚四氟乙烯 (PTFE) 衬里防腐管道、设备, 在实际生产应用中, PTFE 衬里层极易出现鼓包、内瘪或断裂泄漏等现象, 从而影响了这种新型材料的声誉与广泛应用的前景。作者经过多年研究, 对损坏的原因进行了剖析, 并提出有效的解决办法, 使这种顶尖的高科技防腐产品重新发挥了它应有的高效作用。

**关键词** PTFE 鼓包断裂 热胀冷缩 负压 金属网

中图分类号 TQ 050.9'6

B

文章编号 1009-6736 (2002) 02-0146-04

## 1 前 言

聚四氟乙烯 (简称 PTFE 或 F4) 是当今世界最耐腐蚀的材料之一, 且具有耐温范围宽 ( $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$  ~  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 摩擦系数极小, 不粘附其他任何粘稠物料的特点, 是制造化工防腐管道、设备的理想衬里材料。但 PTFE 是全氟化的惰性材料, 不与其他任何化学物质起作用, 也无任何溶剂能溶解它, 热成型温度高, 范围窄 ( $380\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 温度高几度会分解成有毒气体 (HF), 低几度就不能成型, 即使在熔融状态, 其粘度仍然极大, 无流动性。此外, 成型时还要有很高的压力, 因此, 对于品种规格繁多, 结构复杂的 PTFE 薄层衬里的化工防腐装备加工难度很大, 一般塑料的成型工艺 (如注塑等) 对它都不适用。故国际上至今也仅美、日、德等科技发达的国家才有此类产品生产, 其主要的成型工艺有以下几种<sup>[1-4]</sup>。

(1)  $\leq \phi 300\text{ mm}$  的直管, 采用推压法或挤压法将 PTFE 树脂直接加工而成;

(2) 弯头、三通等管配件与异型制品, 一般用液压法 (等压成型) 将 PTFE 树脂加工成型, 再烧结成制品;

(3) 塔、釜、罐、槽等大型设备与口径大于  $\phi 300\text{ mm}$  的直管, 大多用 PTFE 车削板焊接而成<sup>[5]</sup>。

一些腐蚀性严重的生产系统, 当其他防腐手段无法解决时, 最终都会期盼采用耐腐蚀与耐温性能最好的 PTFE 塑料来解决问题。可多年来的实践证

明, 不论从国外进口的, 或我国自己制造的钢衬 PTFE 管道与设备, 在化工、石化、炼油与冶金等生产系统中的应用都不理想, 极易损坏。其主要的损坏现象, 一是 PTFE 衬里层向内鼓起或瘪死, 阻塞了介质流通; 二是 PTFE 衬里层开裂而泄漏, 迫使生产停车, 使人们大失所望, 从而影响了这种高级防腐产品的声誉与它的应用前景。美、日、德等国对此十分重视, 但多年来的研究, 终未找到可行的解决办法, 作者根据自己多年的试验研究, 生产实践与大面积的生产现场应用调查结果, 对上述 PTFE 使用损坏的现象与原因, 进行了较全面的剖析, 最终找到了有效的解决方法, 使这种新型材料在防腐领域里的应用, 重新发挥它应有的、高性能的作用。

## 2 损坏原因剖析

产品的质量与使用性能, 是两个不同的概念, 但两者都会影响到产品在生产中的使用, 质量不好的产品, 用于生产, 肯定会出问题。但质量好的产品, 不一定在生产中都能用得好。如果它的使用性能不适应生产条件, 其结果也会出问题。这在 PTFE 衬里防腐产品上, 表现得尤为明显。现将质量与使用性能分述于下。

### 2.1 质量问题

钢衬 PTFE 防腐管道、设备, 其关键问题是 PTFE 内衬件的制造。它的质量好坏, 首先决定于所用的 PTFE 原料 (树脂) 的品质好坏及加工过程中的诸多因素的控制。因为制造 PTFE 薄层内衬件, 对 PTFE 原料的要求特别严。目前市场上 PTFE 原料产地很多<sup>[6]</sup>, 有日本的、美国的、俄罗斯的与国

收稿日期: 2001-12-07。

第一作者: 赵永镐, 男, 1929年1月生, 总经理, 教授级高工。



产各厂家的。有正品、次品、回收再生之分,其价格相差很大,美、日进口的每吨十几万元,而回收再生的只二三万元,其性能质量与技术指标肯定相差悬殊。如果选用便宜的劣质料,加工出来的PTFE内衬件,有微孔、易脆裂,生产使用时不但会渗漏,甚至还会断裂,发生事故。此外,如果生产人员素质低,技术不行,设备简陋,整个加工制造过程中的质量管理与质量检验把握不严,粗制滥造,即使选用上等原料,生产出来的也只能是次品、废品,而不能使用。

PTFE衬里防腐产品,其专业性和技术性非常强,一般人对它不甚了解,同时缺乏对该产品质量的鉴别经验,把它当成普通设备那样对待,只从价格角度来选择订购。于是,一些厂家安装使用了劣质产品后,很快就发生泄漏不能继续使用,其原因就在于此。因为这种产品不像电视机那样,进口的价格贵,质量好,清晰好看,国产的价格便宜,质量差些,但也能看,不会出问题。可PTFE产品就不一样了,质量好的能长期用,质量差的哪怕只有一个微孔,也不能用,如果用上,就会渗漏出问题,这个概念必须清楚。

目前国内加工PTFE衬里产品的单位还不少,由于该产品的特殊性与市场竞争的复杂性,订购时要小心谨慎。要对生产单位进行考查和比较。亲眼看看他们所用的原材料品级、技术水平、生产装备与检测仪器、质量管理等情况,并要看现有产品的质量等,最后作出订购选择。只有这样,才能获得质量可靠的产品,使用才会安全。

## 2.2 使用性能问题

从日、美、德等国进口或我国正规单位制造的PTFE衬里防腐管道、设备,其质量应该可以信赖的,可这些产品在生产使用中也会出问题。从PTFE材料本身的耐蚀性(任何化学介质)与耐温性(-195℃~250℃)来看,是完全没有问题的。现在的问题是将其加工成薄层衬里,外用钢壳加强的制品,在生产中使用就不行了。这只能说明,作成这种结构的产品,其使用性能不适应生产条件,故造成PTFE层的损坏。作者从多年研究、生产实践与现场应用调查中发现,上述产品在生产中之所以出了问题,主要是PTFE与钢壳两者的热膨胀系数相差太大,生产中出现了负压两个因素所致。解决了这两个问题,产品就能在生产中长期稳定使用。现将两个原因分述于下。

2.2.1 热胀冷缩造成的损坏 PTFE材料的热膨胀系数20~250℃的平均值为 $169.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ <sup>[7]</sup>,而钢铁的平均值只有 $12.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ <sup>[8]</sup>,PTFE比钢铁大了13倍。我们对 $\phi 50$  mm厚2.5 mm长1000 mm的4条PTFE管进行热胀冷缩试验。其结果如附表。

附表 PTFE管热胀冷缩试验结果

温升/℃		20~80	140	200	250
伸 长 量 / mm	试件1	9.9	19.5	30.4	42.0
	试件2	9.8	19.4	29.9	41.1
	试件3	10.1	20.4	30.2	41.5
	试件4	9.93	19.77	30.17	41.53
伸长率/%		0.99	1.98	3.02	4.15

从试验结果看出,PTFE管子的热胀量近似值从20~80℃为1%,到140℃为2%,到200℃为3%,250℃为4%。从250℃冷却到室温,其收缩率基本与此比率相似。可见温度变化对PTFE的影响是相当敏感的<sup>[9,10]</sup>。

钢衬PTFE制品,在生产使用中,当温度升高时,假定钢外壳膨胀1 mm,PTFE衬里层就要膨胀13 mm,相差极大。制品在使用中,PTFE内衬两端的翻边已被法兰压紧,无法向两端延伸,其结果只能向里变形,轻者鼓包,重者瘪死。华北某单位,从国外引进一条 $\phi 150$  mm,长约千米的钢衬PTFE防腐管道,安装使用不久,PTFE内衬就热胀瘪死,只得停止使用,造成很大的损失。

温度下降时,PTFE内衬的收缩量亦是钢壳的13倍,但它两端被固定,无法自由收缩,于是它就处于拉伸状态,多次或长期拉伸,PTFE会产生疲劳,损坏,或冷却厉害,拉力过大,其结果都会使翻边转角处的薄弱部位被拉裂而泄漏,一些单位使用的钢衬PTFE管道、设备其翻边口出现了开裂现象,其原因就是冷却收缩过大所造成的。

为了观察到热胀冷缩所造成的损坏现象,我们进行了PTFE管的“热损坏试验”<sup>[11]</sup>,其内容如下:

### (1) 试件结构

外壳为两端带法兰的 $\phi 108$  mm×4 mm的无缝钢管,长1000 mm,PTFE内衬为 $\phi 100$  mm×2.2 mm,两端翻边在钢法兰密封面上,用中间带视孔的钢法兰圈压牢PTFE翻边,并用螺栓紧固,不让PTFE内衬自由伸缩,试件数量为5个。

### (2) 试验及检查方法

将装配好的5个试件置于电热炉中,温度从常



温升到 250 ℃，保温 30 分钟，从法兰孔中可观察 PTFE 内衬的变化情况，然后从炉中取出试件投入冷水池中冷却 30 分钟后，取出检查 PTFE 有否被拉裂或发生其他现象，然后再加热、冷却，这样反复试验，直至 PTFE 内衬被拉裂为止。

### (3) 试验结果

当温度从室温升到 250 ℃，观察到 5 个试件 PTFE 内衬几乎全部内瘪堵死，当将其投入冷水池中冷却后，内瘪部分基本缩回，但留有变形痕迹，随着加热、冷却次数增多，痕迹越来越明显，并出现扭曲现象。实验进行到第 8 次冷却后，有一个试件在翻边转角处开始出现裂缝，第 9 次冷却后，有 2 个被拉裂，第 10 次冷却后，又有 2 个被拉裂，至此 5 个试件全部损坏。其平均冷却次数为 9.2 次。这一试验很好地证明了生产中出现开裂损坏的原因是冷却收缩所致。

### 2.2.2 负压造成的损坏

PTFE 薄层衬里的防腐管道、设备，其使用性能与单一钢制设备不一样，当生产中出现负压时，单一钢制设备没有问题，而衬里设备的 PTFE 衬里层就会被吸扁（鼓包、内瘪），重者，甚至连 PTFE 翻边转角部位也会被拉裂，其损坏现象与热胀冷缩造成的现象相似。生产中产生负压的原因，作者从多年用户生产应用中看到有以下几种：

(1) 设备在安装前或安装后进行水压试验，试毕放水时，没有将进气阀打开，能造成高负压。即使打开进气阀，若进气量小于或慢于放水量（如进气口太小或管路太长），都会使器内产生负压；

(2) 在生产过程中，停车放料时，没有打开进气阀或进气量小于或慢于放料量；

(3) 用泵向高处（高位设备内）加料，停泵后，没有关泵出口阀，而关高处的阀门，结果物料倒流，造成管路内高负压。有一单位，泵出口未装止回阀，只在高位槽入口装阀门，结果出了事故；

(4) 用抽负压的办法向设备内加料；

(5) 反应过程中气体反应体积缩小，气体冷凝或高温冷却均能产生负压；

(6) 减压蒸馏操作。

以上各种产生负压的原因，有的连操作人员、主管工程师都没有意识到。有的知道，但不了解 PTFE 衬里产品的使用性能，把它当做普通钢制设备一样看待，没有及时采取措施，以致造成事故。所有这些，开始使用单位都说 PTFE 产品不行，后

经我们于现场找到原因后，才恍然大悟。由此可见，凡使用该产品者，必须重视其特殊性，要制订操作规程，组织有关人员学习，并严格执行，才能杜绝由于负压引起的损坏，以保证该产品在生产应用中，能长期稳定运转。

## 3 解决办法

### 3.1 制作优质产品

选用上等 PTFE 原料，严把生产、质检关，保证出厂产品质量绝对可靠。

### 3.2 降低 PTFE 内衬的热胀冷缩

降低 PTFE 内衬的热胀冷缩量，是最有效的解决方法，但 PTFE 的热膨胀系数比钢铁大 13 倍<sup>[10]</sup>。世界各国对此都十分重视，进行了不少研究，例如在 PTFE 树脂中添加玻璃纤维、石英粉、石墨及其他各种填充剂，想降低 PTFE 衬里层热膨胀系数，美国某化学公司将钢壳内表面打出很多凹孔，欲借此来吸收 PTFE 衬里层的膨胀量，不少人将 PTFE 内衬管外径做得比钢壳内径稍大一点，然后加热将其拉入钢壳内（即实行紧衬），想靠衬紧的摩擦力来阻止 PTFE 的热胀冷缩，结果都未达到目的。有人甚至将 PTFE 管外表面用药物处理后，用粘结剂与钢壳壁粘合，结果也无济于事，当温度升高时，PTFE 的膨胀力大于粘合力，将粘结点剪断而迅速伸延。一客户向法国一家公司询问，如何解决钢壳内 PTFE 内衬热胀冷缩引起损坏时，对方回答说，我们的办法是，两端的钢法兰不要将 PTFE 翻边压紧，松一点，这样它就可以自由伸缩。天大的笑话，难道这样的密封不漏吗？总之，多年来，各国对此束手无策，它成为世界上一大难题，人们称它为防腐领域里的哥德巴赫猜想。

作者经过多年的探索研究，最后采用了特殊技术，将金属网引入 PTFE 薄层内部，犹如水泥加钢筋。网格能使 PTFE 各点的热应力分散，不会重叠集中，故能牢牢地控制 PTFE 内衬的自由伸缩。其热胀冷缩量可降低到与钢外壳相一致<sup>[12,13]</sup>。由其制成的钢衬 PTFE 的管道、设备，可在 250 ℃ 以下，乃至骤冷骤热的任何强腐蚀性化学介质中长期稳定使用，衬里层不会发生鼓包、内瘪或拉裂等现象，这被 10 余年来数百个单位现场生产应用结果所证实，使这项国际难题获得圆满的解决。

这项发明获中、美、欧等国发明专利和国家发明奖、尤里卡金奖与骑士勋章等殊荣，如安东尼奥



教授所言,此一难题的解决,是氟塑料防腐领域里的一场革命,它将促进世界工业的发展。

### 3.3 解决负压问题

解决负压的办法有两种,一种是由于操作不当,生产中偶然出现的负压,只要操作人员与管理者引起注意,防止其发生即可;另一种是生产中需要有负压存在,有的甚至需要全真空。产品的耐负压大小与直径大小及温度的高低有关,直径大,温度高,其耐负压的性能就低,反之则高。PTFE层中加金属网的主要作用是降低热胀冷缩,但其强度也有所增加,抗负压性能相对提高了50%,也就是说: $\phi 100$  mm的PTFE管子,20℃耐负压为0.05 MPa,而加了金属网,耐负压提高到0.075 MPa;同样管子,80℃,耐负压为0.04 MPa,加金属网后,则提高到0.06 MPa; $\phi 200$  mm的PTFE管子,20℃耐0.03 MPa,加金属网后则提高到0.045 MPa。

由此可见,PTFE层中加金属网,还没有彻底解决负压问题。作者又作了大量研究,取得了发明专利,办法是在PTFE层中盘上钢丝(像弹簧一样),就很好地解决了负压问题(对于特大型的设,则配以其他特殊技术)<sup>[14]</sup>。钢丝有细有粗,从 $\phi 0.1 \sim 2.0$  mm,根据制品大小,温度高低与生产所需的负压大小,来选用不同粗细的钢丝,以满足使用者的需求。几年来,由此技术制造的PTFE衬里防腐管道与塔、釜等设备,已在上百家化工、石化、冶金等企业任何负压条件下长期稳定运转,从未发生损坏现象。

## 4 结论

钢衬PTFE衬里防腐管道、设备,在生产使用

中极易出现PTFE内衬鼓包、内瘪或开裂泄漏而损坏,其主要原因是PTFE内衬与钢外壳的热胀冷缩相差太大和生产中的负压所造成。PTFE层中加金属网与钢丝,是唯一有效的解决办法。这项技术与产品,目前在世界处于领先地位。

### 参 考 文 献

- 1 一机部材料研究所等编. 工程塑料应用. 上海: 上海人民出版社, 1971: 179~222
- 2 ВЕСТНИК Машиностроения. 1973, 47 (3): 53
- 3 上海市塑料研究所. 日本氟塑料加工技术. 氟塑料简报, 1981 (5) (6)
- 4 The Journal of Teflon, 1972, 10 (2): 13
- 5 Anti-Corrosion, 1975, 20 (5): 14
- 6 上海塑料研究所. 氟塑料加工. 1987, 23: 42
- 7 钱知勉. 塑料性能应用手册. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1980
- 8 冶金部北京有色冶金设计研究院等编. 机械设计手册. 北京: 化学工业出版社, 1985: 7
- 9 赵永镐. 新型聚四氟乙烯衬里防腐装备简介. 见90'中日氟化工技术交流会论文集, 1990: 77~88
- 10 Rapport D' Essai. Laboratoire National De France. 1995
- 11 赵永镐. 金属网聚四氟乙烯衬里防腐管道与设备. 煤化工, 1998, 83 (2): 52~54
- 12 赵永镐. 带金属网格的聚四氟乙烯衬里防腐设备的制造工艺及其应用性能. 沈阳化工, 1989, (1): 23~27
- 13 赵永镐. 氟塑料衬里. 实用防腐蚀工程施工技术手册. 北京: 化学工业出版社, 2000: 630~661
- 14 Chem Eng, 1973, 80: 13

(编辑 王向阳)

(上接第151页)

次应小于 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ (设备满负荷为氯化氢流量 $9700 \text{ m}^3/\text{h}$ ),以减少冷却水蛇管的剧烈震动,避免产生较高的应力而加速反应器损坏现象的发生。

通过以上措施,以前氧氯化反应器每7个月就腐蚀损坏,需进行停车大修一次,而自1997年5月作了上述改进后,氧氯化反应器运行至今,仍未发生损坏停车事故,取得了巨大经济效益,每年可减少损失近千万元。

### 3 结束语

本文介绍了我厂老氯乙烯装置氧氯化反应器减少腐蚀破坏的一系列改进措施,通过用SUS316L不锈钢取代SUS304L不锈钢制作反应器的冷却水蛇管,并采用高质量的焊接措施,使冷却水蛇管腐蚀程度极大的减少,有效地实现氧氯化反应器长周期安全稳定运行,保证了整个氯乙烯装置的正常运转,取得了较大的经济效益。(编辑 郑叶琳)