



基于热水器聚氨酯发泡技术应用质量创新的研究

包小通^{1,2}

¹ 胶南新能源电器有限公司智造技术平台工艺员

² 水联网热水器产线发泡料委员会成员

电邮: baoxt@haier.com

摘要: 热水器产品聚氨酯硬质泡沫技术应用,影响产品发泡质量的缺陷进行了探讨跟研究,结合当下用户对产品要求的变化,进行质量创新研究,主要因素有环境温度变化引起的缩料、缺料,发泡设备参数不稳定造成的缺陷,聚氨酯泡沫材料密度高用料多且尺寸稳定性差、保温性能不理想的缺陷,针对性的进行了研究,建设四季恒温预热、恒温发泡熟化室消除环境温度的影响,对发泡设备相关参数采取信息化智能监测控制方法,实现制程中数据变化实时检测,保证设备运行的稳定性,研制低密度,高尺寸稳定性,较低导热系数,以及较好脱模性能的聚氨酯硬质泡沫,解决聚氨酯泡沫材料缺陷,满足产品使用及时代用户需求。

关键词: 恒温,低密度,高稳定性,低导热,智能检测

引言: 聚氨酯泡沫是一种既有良好的保温性能,又有优质力学性能的工程材料,同时流动性能好,阻燃性好,以及对板材优异的粘结性,而被广泛应用于热水器产品。

Polyurethane foam is an engineering material with good insulation performance and high-quality mechanical properties, while good fluidity, good flame retardantness, and excellent bonding of sheet, and is widely used in water heater products .

1 环境温度变化对热水器产品发泡的影响

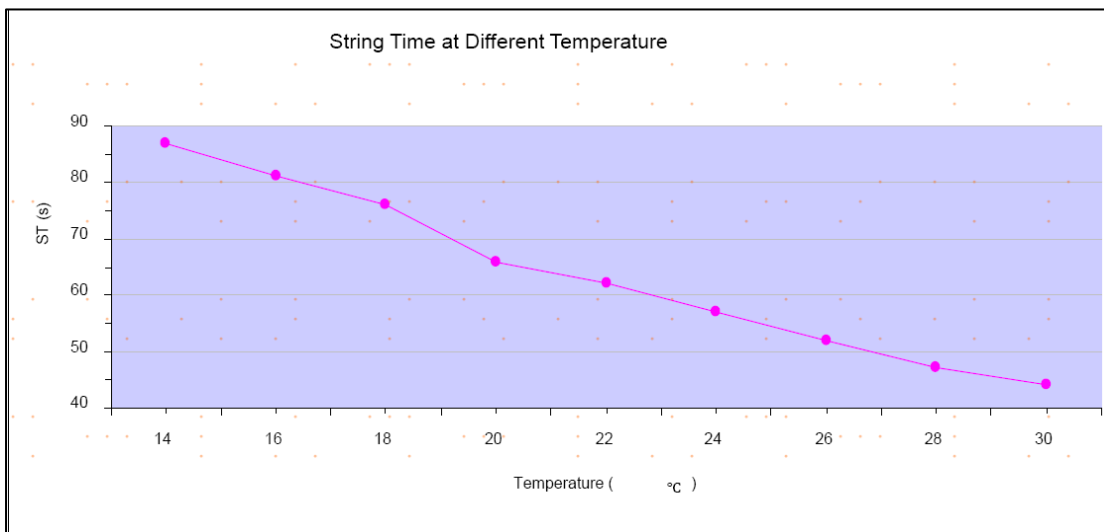
1.1 夏季环境温度变化对发泡的影响

夏季发泡最大的影响是气温过高,导致发泡反应过快,自由泡密度降低。即使减少注料量仍然会出现溢料,且泡沫容易发生收缩,通常采用适当降低原料温度方法来避免反应过快。

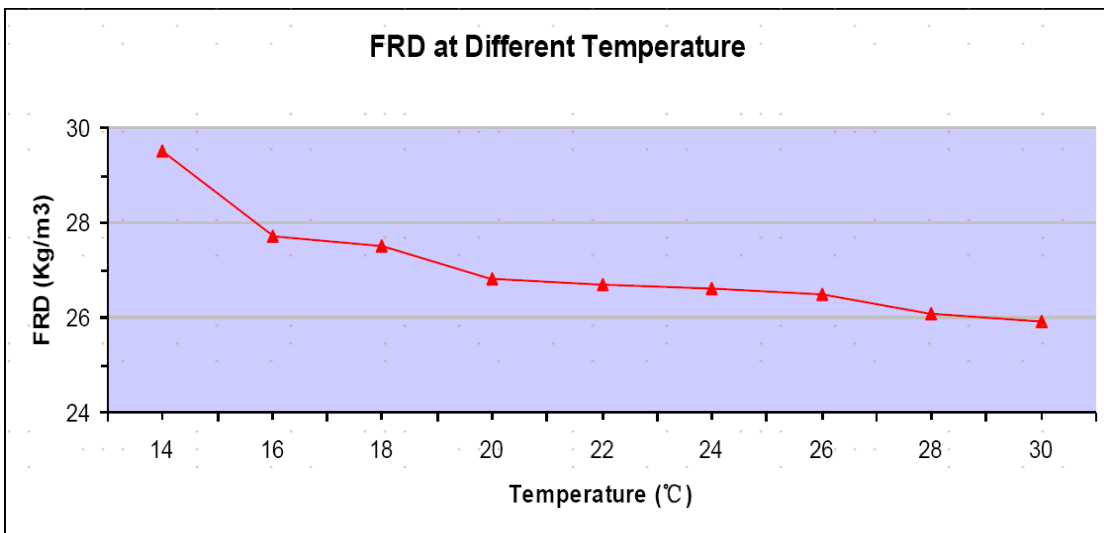
1.2 冬季环境温度变化对发泡的影响

冬季发泡最大的影响是温度低，热水器内胆、外壳温度低，会造成充填量增加了许多，但还是出现发泡不满，边角上的泡沫是软的，易收缩。和外壳板材粘合性差，脱壳等不良现象，发泡熟化，保压时间长，生产效率低。

环境温度对发泡料原料温度的影响非常大，对反应性跟泡沫密度的影响如图：



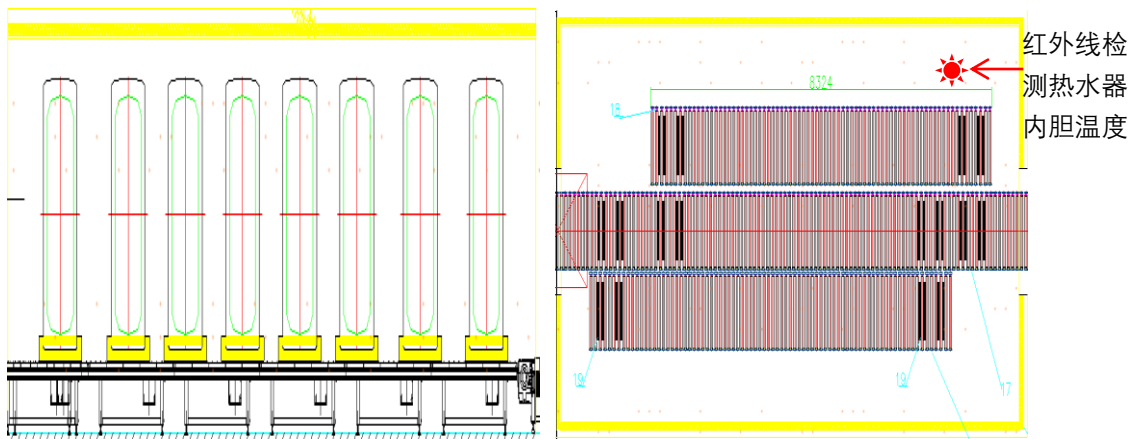
原料温度越高发泡反应越快，拉丝时间越短，反之反应越慢，拉丝时间越长；



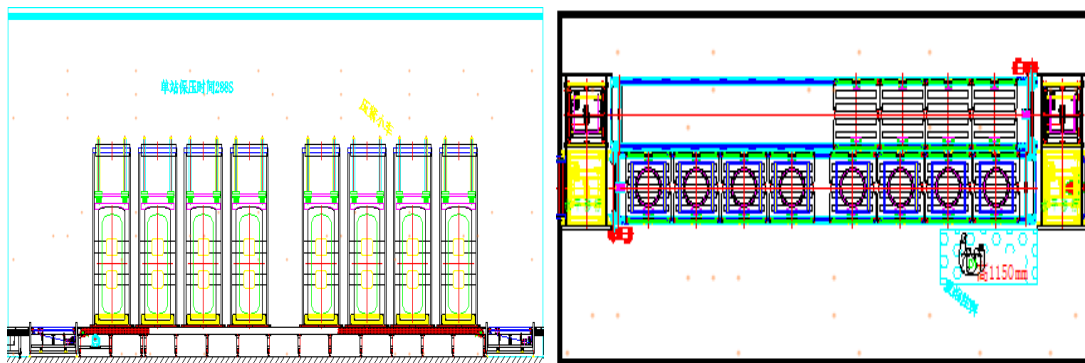
原料温度越高发泡料密度越低，反之发泡料密度越高；

1.3 四季恒温预热室、发泡熟化室

针对环境温度变化对热水器产品造成的各种质量不良现象，进行研究改善，发泡前建设四季恒温的预热室，预热室出口处采用红外线检测内胆温度，当内胆温度达到标准要求后，才能进入下道工序进行发泡，达不到标准要求强制不放行；同时建设四季恒温的发泡熟化室，保证热水器发泡后在设定的恒温环境下熟化。



(四季恒温预热室:三层玻璃隔热,根据红外线检测内胆温度自动调节室温,内胆温度标准要求 $38^{\circ}\text{C} \pm 4.5^{\circ}\text{C}$)



(四季恒温发泡熟化室:环温 $20^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ 可调)



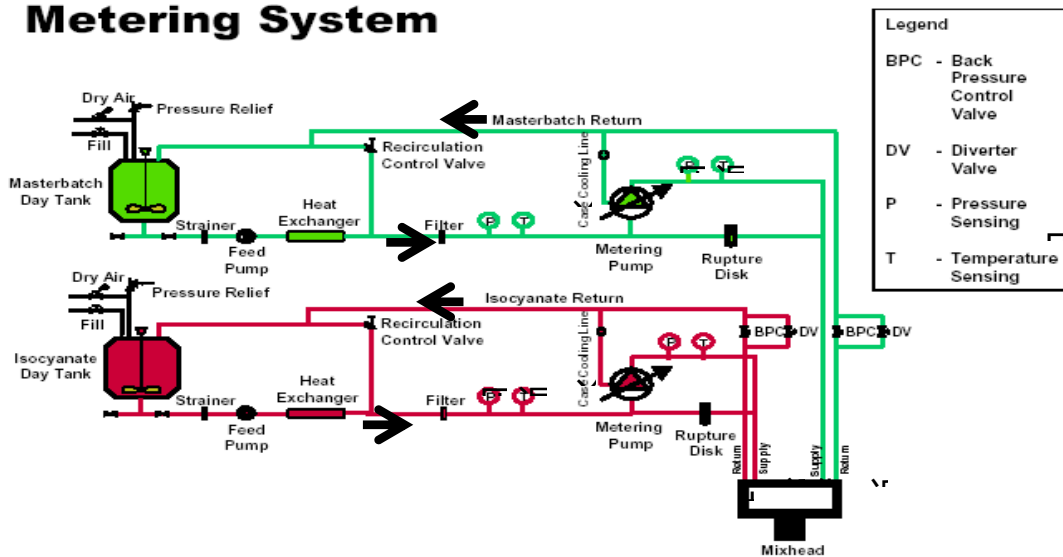
(四季恒温预热室、发泡熟化室建成后实物图)

四季恒温预热室、发泡熟化室的实践，彻底解决了环境温度变化对热水器发泡料的影响及造成的质量不良。

2 发泡设备对热水器产品发泡的影响

2.1 聚氨酯发泡计量系统

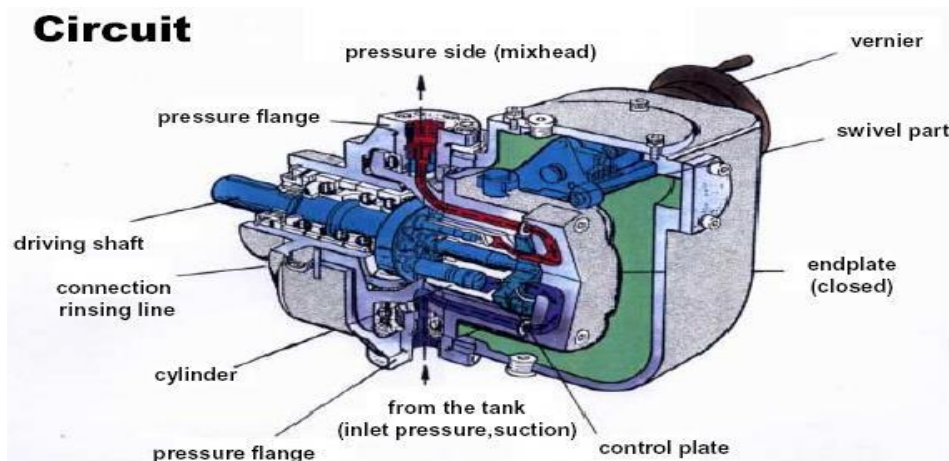
Metering System



2.2 异氰酸酯和组合聚醚混合不均匀

异氰酸酯和组合聚醚混合不均匀，导致发泡料密度不均匀，影响反应性，热水器整体密度不均匀，影响能效及泡沫尺寸稳定性，异氰酸酯和组合聚醚流量不稳定、压力不相同都会造成混合不均匀现象；采取定期流量校准（一周一次），符合工艺要求；将异氰酸酯和组合聚醚高压循环压力调整到一致（11MPa-13MPa 可调）；达到异氰酸酯和组合聚醚混合均匀的目的，保障产品能效及泡沫尺寸稳定性；

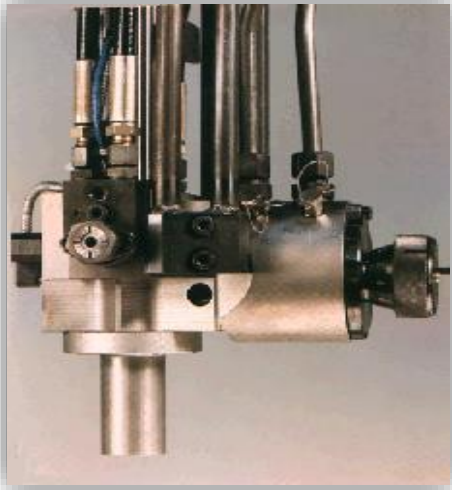
Circuit





2.3 被油污染

发泡料被油污染泡沫会出现大而脆的泡空、泡沫出现斑点、泡沫中有软点，这些缺陷都会影响泡沫尺寸稳定性、强度及热水器保温性能；保证发泡料不被油污是非常关键的，整个发泡计量系统出现被油污染的隐患主要发生在发泡枪头部位，发泡枪头部位的维护保养是非常关键的；



2.4 发泡枪头喷嘴出料口被堵塞

发泡枪头喷嘴出料口被堵塞，会出现液体流偏斜，导致产品出现缺料，流动性变差等不良现象；



发泡枪头喷嘴出料口待出料后要马上清理，出料口出料柱状为最佳出料状态；



3 发泡料及工艺

3.1 发泡料材料存在的问题

3.1.1 物理性能

由于热水器产品使用的发泡料自由泡密度高 29.9kg/m^3 ，导热系数高 $21.3(\text{mW/mK})$ ，泡沫尺寸稳定性 0.97% ，产品发泡料用量多，保温性能较差，泡沫尺寸稳定性较差，容易出现缩料，能效不合格等质量缺陷；

3.1.2 工艺参数

发泡料工艺参数：料温： $(18\sim 24)^\circ\text{C}$ ，拉丝： $(45\sim 65)\text{S}$ ，环温： 10°C 以上，料比（白：黑）： $0.75:1\sim 0.77:1$ ，自由泡密度：夏季 $27\sim 30\text{Kg/m}^3$ ，冬季： $29\sim 31\text{Kg/m}^3$

3.1.3 试验验证

选一款电热水器进行试验（车间环温 15°C ，预热温度 45°C ，发泡房温度 31°C ，电热水器外壳温度 35°C ，内胆温度 38°C ）

1、高压机枪头自由袋泡测试：Pol/Iso ($21.7/22\text{c}$) 1/1.26 GT/FRCD 54/29.9

2、箱体试验（调整料温到 20c ，压力 110bar ）

样机型号	40GLBS	40GS	50GS	50GT	40GT
脱模时间 (min)	13	10	10	12	10
实际注料量 (g)	4980	5860	6500	6840	6040
填充情况	顶盖末端缺料	填充较好	填充较好	填充较好	顶盖末端缺料
第二天，控制器位置泡沫情况	向内凹，脱粘变形	无凹陷，无脱粘	无凹陷，无脱粘	无凹陷，无脱粘	无凹陷，无脱粘

3.1.4 实验结果

试验结果不理想, 40GLBS 机型出现外壳内凹, 脱粘剥离、变形质量问题, 且发泡料用量多, 密度分布不均匀, 保温不理想。



基于这种情况, 对发泡料材料配方进行改善, 以低自由泡密度、较好的尺寸稳定性、降低的导热、较好的脱模性能为目标, 研究创新, 对发泡料及配方进行升级。

3.2 发泡料及配方升级创新研究

3.2.1 改善性能推导

由于使用的发泡料自由泡密度高, 尺寸稳定性较差, 导热偏高, 保温性性能较差, 所以对异发泡料及配方创新研究, 氰酸酯是定性的, 异氰酸酯的材料及配方不用更改, 主要对组合聚醚材料及配方进行研究创新;

a: 降低发泡料的导热系数, 降低热损, 使用好的添加剂、泡沫反应后热损小, 提高产品的保温性能;

b 提高发泡的流动性、爬升速度、泡沫尺寸稳定性(主要更改: 主成分使用强度高的聚醚单体, 使用好的表面活性剂, 提高流动性、密度均匀), 更好的低温尺寸稳定性, 降低环境对发泡料的影响, 使得泡沫在冬季具有更强的抗收缩能力;

c 脱模性能更好, 使得泡沫具有更优的后熟化能力, 从而减少热泵等产品熟化时间;

d 降低发泡的密度(在保证发泡料尺寸稳定性不变的情况下, 通过料比降低、含水量增加、环戊烷配比提升来实现将低密度), 以及较低的白料的比重, 实现热水器产品发泡料用量减少。



3.2.2 物理性能及工艺参数

Foam by high-pressure machine (高压机泡沫)	
Ratio (ISO/Formulated polyol) 比率	1.2
MH25670-01/Cyclopentane 环戊烷比例	100/12
Temperature, (ISO/Formulated polyol) 温度	26±4
Gel time, (Sec) 胶化时间	45±10
Free rise density, (Kg/m3) 自由上升密度	26
Product filling density, (Kg/m3) 产品填充密度	≥ 32.0
Foam physical properties comparison (泡沫物理性质比较)	
Compressive strength, (Kpa) 抗压强度	170
Thermal conductivity, (mW/m.K, 23oC) 导热系数	19.5
Dimensional stability, (%,-30c) 尺寸稳定性	-0.04
Dimensional stability, (% ,100c) 尺寸稳定性	0.49
Other performance comparison 其他对比	
Flowability, (mm/g) 流动性	5.62
Demold performance (mm, 4min&20%Overpacking) 脱模性能	3.62

3.2.3 实验过程

基于 3.2.1 的改善性能推导，对发泡量配方进行创新改善，在热水器产品上进行验证：

选同一款电热水器进行箱体试验，车间环温 16℃，预热温度 38℃，发泡房温度（20-21）℃，电热水器外壳温度 28℃，内胆温度 34℃）

- 1、高压机枪头自由袋泡测试：Pol/Iso (23/21c) 1/1.18 GT/FRCD 53/26.3
- 2、箱体生产（料温20-21c，压力110bar，以27.0自由泡密度，6%过填充设置灌注量）

样机型号	40GLBS	40GS	50GS	50GT	40GT
脱模时间 (min)	5	5	5	5	5
实际注料量 (g)	4530	5480	5500	6550	5910
填充情况	顶盖末端缺料	填充较好	填充较好	填充较好	顶盖末端缺料



5 总结

本文提出聚氨酯发泡料在电热水器的应用中,影响产品质量的因素,针对环境温度变化的影响,在发泡前建设四季恒温的预热室,预热室出口处采用红外线检测内胆温度,当内胆温度达到标准要求后,才能进入下道工序进行发泡,达不到标准要求强制不放行;同时建设四季恒温的发泡熟化室,保证热水器发泡后在设定的恒温环境下熟化,实施后解决了环温对发泡料的影响;

发泡设备异氰酸酯和组合聚醚混合不均匀,导致发泡料密度不均匀,采取定期流量校准,将异氰酸酯和组合聚醚高压循环压力调整到一致(11MPa-13MPa 可调),保证发泡料混合均匀;被油污染泡沫会出现大而脆的泡空、泡沫出现斑点、泡沫中有软点,重点对发泡枪头部位进行定期维护保养;发泡枪头喷嘴出料口被堵塞,会出现液体流偏斜,导致产品出现缺料,流动性变差等不良现象,对发泡枪头喷嘴出料口待出料后要马上清理;对设备问题采取相应的对策。

发泡材料本身存在的一些缺陷,脱模时间长效率低,温度高产品发泡料用量多,较高的导热导致保温性能较差,泡沫尺寸稳定性较差,容易出现缩料,能效不合格等质量缺陷;针对以上问题对发泡料配方进行升级研究,筛选具有更好脱模表现的聚醚多元醇原料,并配合使用具有优秀后熟化能力的催化剂,减小脱模后泡沫自身的膨胀幅度,从而缩短外收口机型压盖时间;在不影响泡沫稳定性的前提下降低发泡料密度,减少发泡料用量,同时,筛选导热系数更低的表面活性剂,辅助改善泡沫导热系数;经过试验验证对发泡料的配方升级及改善后,其效果显著。

6 参考文献

- 1 朱 吕民,刘益 民等编著. 聚氨酯泡沫塑料 [M]北京: 化学工业出版社, 2005, 558~562
- 2 徐培林,张淑琴. 聚氨酯材料手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 232
- 3 陈秀坤. 蒋洁蕙 关于“硬质泡沫塑料尺寸稳定性试验方法”的讨论 1988(1)
- 4 金一,庄新玲,李丰富. 低导热系数低密度硬质聚氨酯泡沫塑料用泡沫稳定剂 [J]. 化学推进剂与高分子材料, 2009, 7(2):48-51. doi:10.3969/j.issn.1672-2191.2009.02.011.
- 5 王晋,纪双英,邢军,等. 工艺条件对硬质聚氨酯泡沫泡孔结构和性能的影响[J]. 聚氨酯工业, 2009, 24(3):32-35. doi:10.3969/j.issn.1005-1902.2009.03.009
- 6 李洪波,丁雪佳,薛海蛟,等. 组合多元醇对硬质聚氨酯泡沫塑料力学性能的影响[J]. 化工进展, 2009, 28(12):2189-2194. doi:10.3321/j.issn:1000-6613.2009.12.020.
- 7 杨加栋,张晓灵,吴文通,等. 零 ODP 值发泡剂对硬质聚氨酯泡沫的泡孔结构和导热系数的影响[J]. 聚氨酯工业, 2015, (1). 9-13. doi:10.3969/j.issn.1005-1902.2015.01.003.