为了保证工件的清洗质量，清洗剂需要定期进行更换。因此产生大量工艺废水。这些工艺废水混合在一起具有相当危害：由于表面活性剂的作用，机械油高度分散在水中。废液如不及时治理而直接排放，会造成严重的环境污染。本文探讨了一种新型废水再浓缩系统的应用。

北京奔驰汽车有限公司 王皓轩 杨柳 夏红

新型废水再浓缩系统在发动机工厂的应用

AI 汽车网—成功案例

在环保问题日益严苛的今天，北京市政府在2019 年 7 月启动了新一轮的污水治理三年行动计划。北京奔驰作为汽车行业领军企业自然也是制造行业绿色化、智能化的领头羊，并为此设定了 2025 战略规划。北京奔驰发动机工厂，作为奔驰汽车首个位于海外的发动机制造工厂，废水处理工艺也处于戴姆勒集团全球制造体系中的领先水平。

北京奔驰发动机工厂的工艺废水处理系统，与世界先进的污水处理技术供应商合作完成了发动机工厂一期、二期的废水处理设备的安装工作。虽然采用了如多效蒸发、机械蒸汽再压缩蒸发技术，在与传统蒸发器相比节约能源的前提下消除了工厂内近 90% 的工艺废水。但根据实验分析，由于一二期设备结构限制，浓缩液中仍然含有大量水分无法被分离出来。因此北京奔驰发动机工厂引进了新设备，以更加先进的内部工艺设计，在真空负压低温蒸馏以及内部刮刀的加持下，将浓缩液再次进行蒸发浓缩处理。

再浓缩蒸发器的工艺

北京奔驰发动机工厂使用的废水再浓缩蒸发设备采用了真空低温蒸发技术。此技术将蒸发器内部抽至绝对压力为（6 ~ 8 ）kPa 的真空状态，并对蒸发器内的废液进行蒸馏。

当水作为液体存在绝对温度在 290 ~ 500 K 时，工程计算中广泛使用的是 Antoine（安托尼）方程：$\ln(P)=9.3876-3826.36/(T-45.47)$，式中，$P$ 为蒸汽压（MPa）；T 为绝对温度（K）。由此可以得知在蒸发器中，废液里水的蒸发温度会随着蒸发器内绝对压力的下降而下降。因此在此压力下，设备正常工作温度仅需 35 ~ 45 ℃就可以将废液内部的水分进行蒸发。

此外，此再浓缩蒸发器在蒸发室内部增设了一组围绕圆柱形蒸发室主轴持续旋转的刮刀。该刮刀系统不仅可以搅动内部的废液，使之与内部真空环境更好地接触，还可以增加废液本身的热对流，使加热更充分。不仅如此，这套装置还很好地解决了蒸发器内部各部件表面以及缝隙处结垢的问题。整体系统如图 1 所示，结构如图 2 所示。

再浓缩技术相对于传统蒸发浓缩系统的优势

与传统蒸发器相比，北京奔驰发动机工厂所使用的新型再浓缩蒸发设备（图 3）有以下几点明显区别：

（1）传统蒸发器通常使用外部供给的自来水和废水蒸发产出的蒸馏水作为水源，经过设备进行加热。经过设备的加热形成蒸汽，而后利用蒸汽热能对蒸发器内部的废水进行加热。新型蒸发器结合废水设备所处的厂房环境，采用热泵的形式来加热蒸

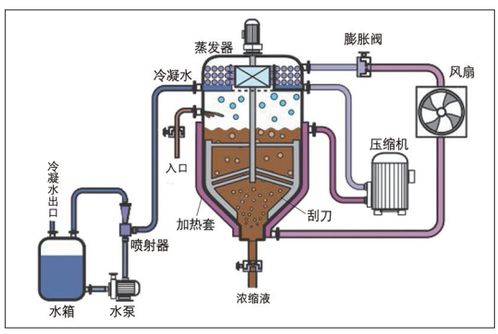

图 1　再浓缩蒸发系统示意

8-29零部件制造.indd 28 2021/4/7 13:24:24

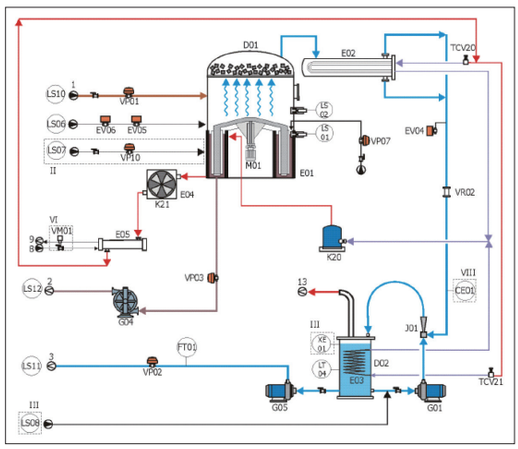

图 2 再浓缩蒸发系统结构

发器内部废液，而非传统蒸发器常使用的蒸汽或者电加热。再加上系统内部成熟的热循环体系，对于加热工质所使用的能源在系统内进行充分的利用，很大程度上减少了能源的浪费。

（2）新型蒸发器在正常工作状态下，内部的绝对压力仅为（6 ~ 8）kPa，在这个压力下，液体的蒸发温度会大大降低。因此新型蒸发器在工作时内部废液温度仅为 35 ~ 45 ℃，而传统蒸发器所对应的工作温度需要 80 ~ 90 ℃。假设两种蒸发器将单位质量的废液加热 1 ℃所使用的能源是一样的，那么如果废液的初始温度为 30 ℃，那么传统蒸发器达到工作温度所需要使用的能源为新型低温型再浓缩蒸发器的 4 倍。

（3）新型再浓缩蒸发器采用了先进的内部结构设计，在蒸发室内使用刮刀持续对蒸发室内壁进行处理，有效防止由于蒸发浓缩而导致的浓缩液在设备内部各结构和缝隙处结垢的问题。其次，由于设备内部刮刀的不断搅动，废液也被不断搅起，因此废液可以更好地与蒸发器内部的真空环境进行充分接触。再次，由于搅动废液可以更好地进行热对流，使液体加热得更加充分，可以更快地使废液达到设定的蒸馏温度。因此，新型的再浓缩蒸发器相比于传统蒸发器，可以将废液中的水更加充分地蒸发，有效减少工厂需要委外处理的废液总量。

再浓缩蒸发器投资回报计算

再浓缩蒸发器与现有传统蒸发器相比，具有占地面积小、投资回报比高、配套公用工程少、操作简单和运行稳定等特点。采用先进的西门子 PLC，结合现场的 GRAWIN 操作系统，可实现全自动控制与运行，有效减少发动机工厂的废液产出量。目前国内常用的废水浓缩设备为单效或多效真空，随着效数增加投资相应增加，但带来的能耗下降并不明显，经济性变差。且现有废水处理系统由于系统设计、能耗与化学品控制等原因只能将工厂废液浓缩至 10%，但根据废水来液状态的不同，这其中还存在有可被蒸发的水，而再浓缩设备可以很好地解决了这个问题。通过先进的系统结构设计，在保证系统能耗水平的同时能将废液再次浓缩至原先的 60%。

图 3 再浓缩蒸发系统实物

再浓缩蒸发器能源消耗，从浓缩液中再蒸发出 1 t 水大约需要 120 ~ 140 kW·h 的电耗。目前经发动机工厂现有废水蒸发器每日产生处理后的浓缩液约为 2 ~ 3 m^3。这些浓缩液原先是全部输送至超滤罐进行暂存，后委派第三方以 4 500 元 /t 的价格进行处理。而浓缩液在经过新型再浓缩设备处理后将可以蒸馏出水量为 1 t。由于再浓缩蒸发器使用了先进技术，也很大程度上减少了设备运营过程中化学药剂的使用量。因此，如果以工业用电 0.6 元 /kW·h 来计算，再浓缩设备产出 1 t 蒸馏水仅需 80 元。

北京奔驰发动机工厂年处理废液量约为 6 000 m^3，经废水系统处理后剩余大量液体危废需要委派第三方来处理。现今在采购全新的再浓缩设备后，以每日处理 2 m^3 来计算，每年至少可处理 500 m^3，分离出蒸馏水 200 m^3。按照先前的计算方式，再浓缩系统每年所消耗电费不足 2 万元。而蒸馏水如果还混合在废水中按照原先的处理方式跟随超滤一起委派第三方处理则需要公司花费 90 万元。若整套废水再浓缩系统的购买安装等费用以 250 万元计算，以 5 年为折旧周期，平均使用一年的总成本约为 55 万元，低于直接将废水交由第三方处理的费用，为公司节约了大量的费用支出。 AI

8-29零部件制造.indd 29 2021/4/7 13:24:24