作者：吉姆.华里士 和 理查德.奥尔

膜填充增加了排热并且降低了空气阻力，但也增加了冷却塔构造的成本。机械组装的膜填充以更少的劳动力成本提供相同的功能，同时还有益于环境。

由于高效塑料膜填充材料的发展，工业冷却塔的性能在过去 25 年中有了显著改善。 较旧的冷却塔设计使用喷溅填料，其将热返回的循环水分解成小液滴，允许它们通过以 600ft / min（3m / sec）流动的环境下，空气驱动蒸发和对流来冷却。 较新的冷却塔使用膜填充物，其增加了暴露于气流中的循环水表面积，显著增加了排热，降低空气阻力。从飞溅填充到薄膜填充的变化将冷却塔的效率提升两倍甚至更多。

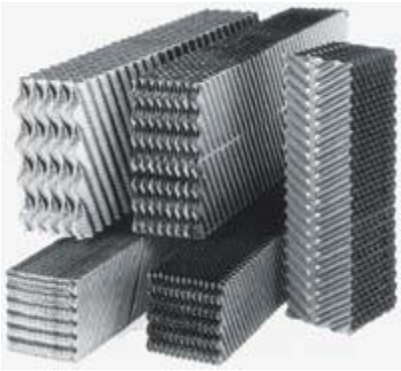

图 1.新型冷却塔使用增加暴露于气流循环水表面积的薄膜填充物，从而增加排热，并降低空气阻力。

冷却塔膜填充物首先由波纹状石棉板或其他材料制成。当工程师看到增加膜填充包装密度（每一线条空间的片材数量）的好处时：从 3.94（100mm）到 0.75（19mm）或更小的片材间距 - 其他建筑材料。增加板材密度并具有工程板材设计，提高了冷却潜力。通过使用塑料制品可以实现片材密度的增加。今天，最常用的膜填充片材料是刚性 PVC（Cooling Technology Institute Std136）。它十分耐用，提供给产品较长的使用寿命，还具有优秀的润湿度（允许表面完全被水覆盖），是自熄灭材料，可制成多种形状（图 1）。

20 世纪 60 年代和 70 年代，使用石棉板膜填充时，填充组件成本与填充片材成本一样大。这是由于填充板所需的紧固件和间隔件的体积庞大，安装所需时间长的原因。

使用塑料膜填充改变了标准冷却塔的制造过程（图 2）。当然，实际上也并不存在明确的标准。因为冷却塔的设计取决于许多因素，包括进场温度（湿球温度的冷水温度），环境空气条件，要求的排热，流量和工厂可用空间。

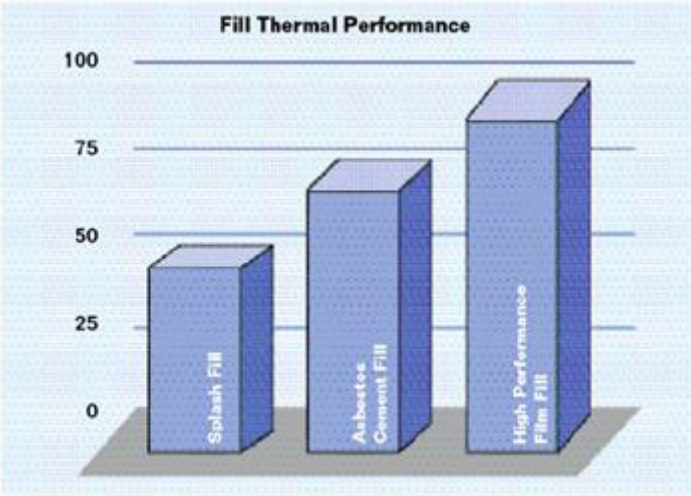

图 2 . 塑料膜填充提高了冷却塔的热性能 。

为了方便讨论，假设电厂，炼油厂或工业厂房需要使用 106,000 ft 3（3,000m 3）或更多的冷却塔膜来填充冷却塔。冷却塔填充量为 8,833 填充包的尺寸为 2 x 1 x 6'（610 x 305 x 1,830 mm）。如果填料包要在冷却塔现场组装，则需要 142,000 个填充板，2×6'的指定板厚度。因为装配填充物将占用 10 倍于装运空间的空间，显然，现场组装具有明显的经济优势。

有许多方法可将刚性 PVC 膜片组装成填充包，包括使用溶剂胶或其它粘合水泥，热焊接和各种机械组装方法。最常见的装配方法是溶剂胶粘剂，也称为胶合。该方法快速，且成本较低。表 1 比较了安装冷却塔填充物的成本。一般组装填充组件的成本是填充材料成本的 25%。最常见的组装方法，即使用溶剂胶，其成本包括人工和胶水。

除了填充装配的质量和操作便利程度的考量之外，还应充分考虑填充物在塔内的安装。现场胶合时，最重要的是，填充包在同一区域，粘合面积完全固化通常需要 48 小时。若在固化前就移动处理安装包，将显著降低其承载力。装填不当可能会影响冷却塔的效率，使其效率降低 10%甚至更多。

图3.机械组装系统的设计有凹/凸附件，可互相契合。若要使附件长久使用，可使用压力进行密封。

环境问题。
美国各州的环境法规都要求取得批准使用有机溶剂的制造或装配场所的证明文件。这可能会增加现场组装的时间和成本。若不取得批准，可能会使您的公司和您的客户受到联邦政府或州环保办公室的罚款，至少$ 25,000，甚至更多。

健康和安全问题。
在美国，OSHA 29 CFR 1910.1200 涵盖了使用潜在有毒材料相关员工的健康问题，并提供了限制员工接触的指南。
在英国，健康和安全规则规定了挥发性有机化合物暴露的限制条件，并需要经常进行抽样检测，以确保雇员不会暴露于过量的化学药剂环境中。制造或组装现场必须通风，以保护员工免受暴露于化学药剂环境中的危害。

溶剂粘合剂为易燃品，会增加火灾风险。韩国一家工厂由于在靠近胶合区域进行焊接，发生了严重的火灾。由于对炼油厂或其他工业场所火灾风险的关注，一些业主将要求安装现场没有胶合剂等易燃物的存在。

全膜机械装配

Table 1. Cost to Install 106,000 ft³ (3,000 m³) of Cooling Tower Fill					
Method of Fill Installation	Media Cost	Freight	Cost of Assembly	Install Fill Media in Tower	Total
Assembled Packs Shipped from Manufacturing Site 1,000 miles To Site	$267,000	$54,000	$0	$9,600	$330,000
Unassembled Sheets Glued at Site	$201,000	$6,000	$57,000	$9,600	$273,600 (18% Savings)
Unassembled Sheets Heat-Welded At Site	$201,000	$6,000	$69,000*	$9,600 (14% Savings)	$285,600
Mechanical Assembly At Site in Tower Bay	$201,000	$6,000	$18,000	$0	$225,000 (32% Savings)

*Includes additional time for heat welding and cost of rental equipment. Quality concern of heat welding PVC also must be considered.

该表比较了安装冷却塔填充材料的成本。一般安装填充组件的成本是填充材料成本的 25%。最常见的装配方法其成本包括了劳动力和胶合剂。

在典型的 2×1×6'的填充包中，存在超过 4,000 个粘结点。在胶合包装中，组装者将胶合每个粘合点以制成耐用填充包。在机械组件填充包中，结合点是彼此紧密契合的凹/凸部件。为使附件可长久使用，压片可进行压力密封。（如图 3）。

为组装包装，第一步是通过压力密封连接点将两个填充片材组装成一对。每对实际上是具有与其深度成比例的高束强度的小填充包的，然后使用相同的压力密封片将每一对与其它对相连。连接的对数决定了安装包的宽度。最终安装包像胶水包一样耐用，并且具有比平均填充负荷（填充和水重量）大 10 倍的承重能力。

几家冷却塔制造商已成功地在日本，泰国，墨西哥，欧洲，南美和美国使用了机械装配的冷却塔。据报道，现场组装系统与人工胶合一样快；此外，它还避免了胶合材料的运输，这是积极的一面，因为一些国家由于药物管制，从法律上就限制了溶剂的装运。

机械系统消除了胶合剂的清洁工作和发生火灾的风险。填充物满足最终用户的要求，且没有令人讨厌的气味。位于泰国的 Laem Chabang 发电厂位于办公楼附近，业主担心胶水烟雾等会对邻居造成刺激。在这种情况下，使用了机械组装系统，非常成功。

该系统可适用于各种板材的厚度，使客户可选择更厚板材来用于更高负载或更苛刻操作条件的情况，例如海水应用，食品加工或侵蚀性工艺污染。若循环水温度高，则可以使用高温塑料。一些高温塑料如聚丙烯不能使用常规的胶粘方法粘合。考虑到经济，工程，环境，健康和安全问题，机械装配系统可能是一个不错的选择。

（吉姆.华里士是宾夕法尼亚州雷丁市 Brentwood 工业公司以及泰国曼谷 Brentwood 亚洲有限公司的国际总监。理查德.奥尔是 Brentwood Industries Inc.的工程经理）