

# 有机涂层在低温多效蒸馏海水淡化装置中的应用前景

阎志山, 黄先群, 黄鑫

(国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所, 天津 300192)

**摘要:**介绍了海水淡化技术的现状及主流技术, 阐述了有机涂层作为新技术和新工艺在低温多效蒸馏海水淡化装置中的应用前景。

**关键词:** 海水淡化; 低温多效蒸馏; 蒸发器; 传热管; 有机涂层

中图分类号: TQ630.79

文献标识码: B

文章编号: 1007-9548(2011)01-0038-03

## Prospects of Organic Coating Applied to Equipment of Multiple Effect Distillation for Seawater Desalination in Low Temperature

*Yan Zhishan, Huang Xianqun, Huang Xin*

**Abstract** State and main technology of seawater desalination were introduced simply. The prospects of organic coatings as a new technology and process applied to equipment of multiple effect distillation for seawater desalination low temperature were expounded.

**Key words:** seawater desalination, low temperature multiple effect distillation (LT-MED), evaporator, thermal conductive tube, organic coatings

### 1 引言

采用海水淡化技术获取淡水, 是解决我国水资源短缺的重要途径。目前已实现商业化的海水淡化技术主要包括多级闪蒸(MSF)、多效蒸馏(MED)和反渗透(RO)<sup>[1]</sup>。低温多效蒸馏(LT-MED)是20世纪70年代末由以色列IDE公司开发的, 是以特种铝合金管及环氧树脂防腐的碳钢蒸发器壳体为主集成的海水淡化新技术<sup>[2-3]</sup>。作为目前主流的商业化技术之一, 低温多效蒸馏海水淡化技术具有淡化水质高、对原料海水的预处理要求不高、设备构造简单、过程循环动力消耗小等特点, 是海水淡化最具发展前景的技术之一。

所谓低温多效蒸馏海水淡化技术是基于最高操作温度控制在70℃以下, 将多台蒸发器依次串联, 后一效的蒸发温度均低于前一效的, 前一效的海水蒸发产生的二次蒸汽直接作为下一效的加热蒸汽, 二次蒸汽得到重复利用, 从而得到多倍于初始蒸汽量的蒸馏水。本文就有机防护涂层在LT-MED装置中的蒸发器壳体、换热管2个关键设备中的应用前景作以概述。

### 2 蒸发器

LT-MED装置中的蒸发器内工况很复杂, 第一效最高蒸发温度为70℃, 其中的介质包括海水、淡水、水蒸气、浓缩海水(浓缩倍数为2.0)等。在如此的介质条件下, 采用特种不锈钢作为蒸发器壳体是很好的选择, 但造价也很可观。美国南加州海水淡化工程试验将淡化工程蒸发器的壳体材料设计为特种混凝土; 新加坡组建了国家高性能混凝土实验室, 研究新加坡的海水淡化装置使用混凝土为蒸发器壳体材料的可行性。以上研究还都未在实际工程中得以应用<sup>[4]</sup>。

碳钢价格相对低廉, 可用于海水淡化蒸发器壳体设备制造, 但如不采取任何防护措施, 从设计上讲显然是不合理的。天津大港发电厂二期发电装置补给水处理设备引进的是美国ESCO公司的2套多级闪蒸(MSF)海水淡化装置, 其碳钢材质的蒸发室腐蚀情况相当严重, 教训惨痛<sup>[5]</sup>。

以色列IDE公司开发的LT-MED关键技术之一是有防护涂层的碳钢蒸发器壳体, 涂装工艺要求: 涂料

体系为 EPOXY 4230、稀释剂为 4-100,具体规范(E-3944 修订 B)见表 1。

表 1 LDE 公司碳钢蒸发器壳体涂装施工规范

施工工序	技术要求
前处理	要求喷砂见白色金属
第一层	喷涂,厚度为 40~50 $\mu\text{m}$ ,最佳温度和湿度下保持 72 h 后表面略微打磨,用溶剂清除干净,干燥 18 h 后喷涂下一层
焊缝表面	刷涂,厚度为 40~50 $\mu\text{m}$ ,最佳温度和湿度下保持 72 h 后表面略微打磨,用溶剂清除干净,干燥 18 h 后喷涂下一层
第二层	同第一层处理要求
第三层	同第一层处理要求
第四层	同第一层处理要求
第五层	喷涂,厚度为 40~50 $\mu\text{m}$
总厚度	200~250 $\mu\text{m}$

我国在吸收国外 LT-MED 技术的同时,也很注重对新材料和新工艺的应用研究。2006 年颁布的《海水利用标准发展计划》中,将“碳钢制海水淡化蒸发器防腐涂料”列入其中。在黄岛电厂 3 000  $\text{m}^3/\text{d}$  的 LT-MED 装置中,蒸发器壳体采用的是碳钢加防腐涂层工艺,运行效果较为理想<sup>[6]</sup>。

以上范例涂料体系为溶剂型,涂层道数多,施工繁杂,容易产生漏涂现象,且溶剂挥发会造成环境污染。有文献报道<sup>[7]</sup>,荷兰阿克苏公司开发成功可室温固化、无溶剂改性环氧涂料,用于 MSF 装置闪蒸室的防腐,日本三菱瓦斯化学公司也有类似的产品。蒸发器壳体防腐涂层不涉及传热问题,允许厚涂,施工简易,一般 2 道漆即可达到 500~600  $\mu\text{m}$ ,防腐效果比溶剂型涂料更佳,且对环境友好,所以室温固化无溶剂涂料是理想的选择。涂装工艺也很关键,因无溶剂涂料一般黏度较大,应配套具备全天候适应性的喷涂设备。在无溶剂涂料的工艺设计上,应选用 F 型环氧类树脂,因其黏度较低,易于施工。针对前述 LT-MED 蒸发器内的工作条件,固化剂的选择也至关重要,应尽可能提高固化树脂的  $T_g$ ,增强高温下涂层对水、海水的抗渗透性。

### 3 传热管

传热管是 LT-MED 装置的核心部件,其成本在装置的总成本中占有相当的比例。为解决海水对传热管的腐蚀问题,国外大部分公司的主选材料多为铝青铜、钛材料等。由于特种金属的价格昂贵,为此,围绕着降低淡化装置投资和运行成本的目标,开发廉价的耐腐蚀传热管一直是世界各国竞相研究的重要课题。以

色列 IDE 公司是最早将特种铝合金管(A5052)用于 LT-MED 工程的。

普通铝合金在海水中易形成点蚀、缝蚀<sup>[8]</sup>,而热法海水淡化工况中的高温及浓缩海水更易造成铝合金的腐蚀。国内在铝合金的表面改性方面也做了很多相关的研究,常用的技术包括溶胶-凝胶、稀土转化膜、激光熔覆、阳极氧化、等离子微弧氧化等,有关这些方法的研究均取得了较大成就<sup>[9]</sup>。

有机涂层的表面防护是解决金属腐蚀的有效手段之一,曾有报道<sup>[10]</sup>,以纳米  $\text{TiO}_2$  聚氨酯复合涂层对铝合金表面进行改性研究。将有机涂层用于 LT-MED 换热管的防腐防护,其可行性更多可源自于国内外多年对换热设备管束防腐的成功经验。国外用于换热器管束防腐的产品,以德国 SÄKAPHEN 品牌最为著名,主要产品为 Si14E、Si14EG(酚醛树脂漆基)、Si15E、Si15EG(酚醛-环氧树脂漆基)。涂料耐多种介质的腐蚀,涂层光洁,不结垢,能在 -100~200  $^{\circ}\text{C}$  范围内长期使用。美国 HERESITE 公司用于换热器的涂料产品主要有 P-403、P-403L、P-4430(热固化酚醛树脂),也是目前国外较常用的产品,性能与 SÄKAPHEN 的 Si14EG 相当<sup>[11]</sup>。国内采用有机涂料对换热器管束的防护,始于 20 世纪 70 年代因引进大型化肥生产装置后所暴露出的配套水冷器严重腐蚀与结垢的问题。原化工部立项研制出 CH-784 碳钢水冷器专用防腐涂料,使国产防腐涂料正式进入国内换热器防腐领域,后改进为 TH-847 水冷器防腐涂料,包括天津灯塔涂料有限公司的 7910 碳钢水冷器防腐漆<sup>[12]</sup>,均与德国 SÄKAPHEN、美国 HERESITE 涂料属于同等的应用领域,在 150  $^{\circ}\text{C}$  以下介质条件下得到广泛应用,并取得良好的防腐蚀、阻垢效果。漆酚改性防腐涂料<sup>[13-15]</sup>的耐水、耐海水、耐高温性能均比酚醛、酚醛环氧类要好,扩大了换热器涂层防腐的应用领域。

用于 LT-MED 装置传热管的有机涂层,不能完全套用常规换热器防腐涂料工艺,除具备优秀的耐水、耐海水、耐水蒸气、耐温、阻垢性能外,因需现场安装,其抗冲击性、耐划伤性应更加突出。

### 4 结语

低温多效蒸馏海水淡化技术作为目前实现商业化的主流海水淡化技术,自 20 世纪 80 年代投入使用以来发展十分迅速,引起各国的高度重视。常温固化型涂料已用于碳钢蒸发器壳体的防腐防护,更深入的研究

应针对涂料的施工高效性及涂装工艺的可靠性、环保性等方面。借鉴国内外多年来换热器管束防腐涂料成功的应用经验与成果,以普通铝合金管采用有机涂层的表面防护方式,用于LT-MED装置传热管有其应用的可行性。新型材料和新工艺的应用,可有效地降低装置的投资成本,利于技术的推广应用,是蒸馏法海水淡化发展的趋势之一。

#### 参考文献:

[1] 阮国岭.海水淡化及其在电厂中的应用[J].电力设备,2006(9):1-5.  
[2] M Al-Shammiri. Multi-effect distillation plants: state of the art[J]. Desalination, 1999(126):45-59.  
[3] A Ophir, F Lokic. Advanced MED process for most economical seawater desalination [J]. Desalination, 2005(182):187-198.  
[4] 阮国岭,解利昕,张耀江.发展海水淡化产业缓解淡水危机[J].海岸工程,2001(1):39-47.  
[5] 刘伯东.海水淡化设备防腐工艺的防腐研究[J].华东电力,1999(2):13-18.  
[6] 阮国岭,冯厚军.国内外海水淡化技术的进展[J].中国给水排水,2008(20):86-90.  
[7] 阎明久.海水淡化及海水利用工程重防腐涂料[J].现代涂

料与涂装,2000(2):13-14.

[8] 黄桂桥.铝合金在海水中的耐蚀性与腐蚀电位的关系[J].腐蚀科学与防护技术,1998(3):150-154  
[9] 滕敏,李垚,赫晓东.铝合金材料表面改性研究进展[J].宇航材料工艺,2004(3):12-27.  
[10] 于开录,吕庆春,谢峰,等.改性铝合金在蒸馏法海水淡化装置的初步应用研究[J].船舶科学技术,2008(12):213-217.  
[11] T Sugama, R Webter, W Reams. Development and field testing of polymer-based heat exchanger coatings[C].Proceedings World Geothermal Congress 2000.Kyushu Tohoku Japan May 28-June 10, 2000. 3:161-3:165.  
[12] 林安,周苗银.功能性防腐涂料及应用[M].北京:化学工业出版社,2004:78-81.  
[13] 黄鑫,唐功麒.钛酸酯改性漆酚防腐涂料性能研究[J].中国生漆,1995(4):21-27.  
[14] 李国莱,张尉胜,管从胜.重防腐涂料[M].北京:化学工业出版社,1999:202-210.  
[15] 胡炳环,林金火,陈文定.漆酚钛螯合高聚物防腐涂料应用效果[J].中国生漆,1996(11):22-29.

收稿日期:2010-07-15

作者简介:阎志山(1965-),高级工程师,1988年毕业于中国海洋大学,主要从事海水利用相关领域腐蚀与防护技术的研究。

(上接第37页)湿度(50±5)%的条件下放置16h。

划痕试验仪有自动型和手动型2种,自动试验仪应包含滑板、划针及其夹杆、支架、底座和马达等部分。

划针有一直径1mm的淬火钢质半球形针头,可用滚珠轴承的钢珠焊接到划针杆上制成。

试验是在规定的环境条件下进行的,温度为(23±2)℃,相对湿度为(50±5)%。测定单一固定负荷和复层系统固定负荷时,先用30倍放大镜检查划针头应无明显的磨伤和污物。将划针固定在夹头上,试板涂层向上,将其夹紧于仪器的滑动板上,试板长边应平行于划痕方向,用砝码在划针上方支架上加一定负荷,开动仪器(或用手推动仪器滑动板),在试板涂层上划出划痕。

取下试板,用放大镜检查涂层是否被划穿露底,或用电工仪器检查导电性来判断。

测定划透涂层最小负荷时,在划痕仪上先加较小负荷,然后逐渐增加负荷,直到涂层被划透为止。每次划痕均应在试板未划部分进行。最后在未划部分用最

后负荷进行重复试验。记下划透涂层的最小负荷。

划痕试验结果与下列因素有关:①底材的性质和表面处理;②受试涂料的施涂方法;③单层或复层系统干膜厚度及其测量方法;④试板的干燥条件和干燥时间;⑤划针上施加的负荷大小。

除仲裁试验外,可以使用手动试验仪。采用手动时,可先将划针落在一片安全刀片上,然后从刀片上平稳滑离,使划针与试板涂层接触。

## 6 结语

涂膜硬度的测定具有普遍适用性,因而受到行业的关注。本文所介绍的几种方法均有一定的适用范围,彼此之间不可能建立起固定的换算关系。除相关标准或产品技术要求已有规定之外,采用何种方法,应由供需双方商定。

收稿日期:2010-08-23

作者简介:黄秉升(1938-),男,四川荣经人,大学本科,高级工程师,长期从事表面处理技术工作,《涂装与电镀》主编。