钛纳米高分子合金涂料在炼油厂设备上的应用

王巍

（1 大庆石化公司 黑龙江大庆 163711 ）

内容提要：该文主要介绍了炼油厂冷换设备、储油罐、酸性水罐、加热炉的引风机壳体、氢烃罐内壁存在较大腐蚀情况，采用钛纳米防腐涂料做防腐层，通过多年使用收到了较好的效果。为国内炼油厂设备腐蚀相类似情况提供一个很好的借鉴。

关 键 词：炼油厂、设备、腐蚀、钛纳米聚合物涂料、使用

1 概况

据有关国外资料显示腐蚀损失占整个国民总产值的 4%左右，这个损失是很惊人的。我公司每年的大修、更新、维修费用的 80%以上，用在因腐蚀而报废的设备、管道及金属（非金属）结构上，腐蚀造成的损失是非常可观的。特别是设备内壁的腐蚀，在石油化工设备中占有很大的比例。

针对生产过程中出现的设备腐蚀，近几年来采用不同型号的钛纳米聚合物涂料作防护涂层。主要是解决了酸性水罐、氢烃罐、储油罐、加热炉的引风机设备的内部腐蚀，延长了设备的使用寿命。

2 设备的腐蚀情况及解决办法

2.1 节能防腐钛纳米涂层管束应用

该项目在 2008 年限 2 月份在我公司通过了中国工业防腐蚀技术协会主持的科技成果鉴定，结论为国内领先水平。

2.1.1 炼油厂冷换设备的腐蚀状况

炼油厂自 79 年以来，针对冷换设备的腐蚀，在不同的腐蚀环境中，采用不同的防护方法，经过多年的努力，取得了一些明显的效果和经济效益[1][2][3][4]。但是，冷却器与冷凝器管束外壁耐油气的腐蚀问题到目前没有得到根治。

由于冷却器管束的腐蚀与结垢，多数管束提前报废更新（一般使用寿命 3 年左右）。据不完全统计平均每年更新约 25～30 台。造成经济损失近 200 多万元。为了解决冷却器管束外壁腐蚀问题，曾采用 7910 涂料防腐层，防腐效果均不理想，没有从根本上解决问题。

2.1.2 冷却器碳钢管束与 7910 涂层管束使用情况

在炼油装置生产操作中，冷换设备系统中冷却器管束，因管程多数走循环水，当水与温度较高的介质换热时，极易使管子内壁结垢形成垢层[5]。而壳层多数走轻质（油气）油品，由于轻质油品中的有害杂质存在，造成管束外壁腐蚀，当腐蚀的同时产生大量的锈垢层。由于管束内、外壁存在锈垢层增加了热阻。不仅使管束的使用寿命降低而且造成换热效率下降。一般新碳钢冷却器管束没有采取防腐措施，使用不到一年即发生管子腐蚀穿孔。

虽然有的管束内外壁采用了 7910（环氧胺基涂料）涂料防腐，管内没有腐蚀，但是管外壁同样腐蚀严重。例如一套初顶冷凝器，管束材质为 10#碳钢。使用 3 年多有相当一部分腐蚀穿孔，没有腐蚀坑的年平均减薄为 1.2 毫米，管子内外壁防腐层破损，存在不均匀腐蚀坑与锈垢层。

炼油厂使用的 7910 换热器涂料有 20 多年的历史，确实在解决水冷管束内壁防腐起到了一定作用。从导热系数看，钛纳米聚合物涂料涂层的为 2.9W / m·k，而 7910 涂料的涂层的导热系数为 1W / m·k 。从这可以看出涂层的导热系数，前者涂层是后者涂层的 2.9 倍。

2.1.3 采用钛纳米涂料管束的依据

开发换热器用常温固化耐热防腐涂料，换热器需要耐热、导热效率高的防腐涂层，是比较理想的防腐涂料。目前使用的环氧氨基涂料（7910 涂料）等需在 120℃固化，并需多道涂装。开发可常温固化，而且施工方便的涂料，是至今尚未完全解决的问题。其关键是要在涂料的防腐性能、传热性能和可施工性三者之间求得最佳平衡点。而钛纳米聚合物涂料具备

这三者之间较好的平衡点。

我们在炼油厂进行了硫磺装置酸性水罐现场几种挂片试验[6]以及采用一套常减压初顶汽油进行实验室试验。

从现场与实验室试验可以看出该防腐涂层适合在常减压初顶汽油冷却器上使用。其特点为：

钛纳米涂料就是将钛超细化达到纳米级，使其表面活性大大提高。同时将有机物双键打开，形成游离键，两者复合到一起形成化学吸附和化学键合生成钛纳米聚合物涂料[7]。其特点为：① 抗渗透性强、② 抗腐蚀性高、③抗垢性好、④导热性好、⑤耐温性好、⑥耐磨性能好、⑦ 抗空蚀性能好、⑧ 耐水性好。

2.1.4 使用效果

(1) 使用部位

2004 年 7 月，在充分对钛纳米涂料考察与试验的基础上，采用该材料对适合使用钛纳米防腐涂层的 9 台油气冷却器、冷凝器防腐试验应用，防腐面积为 5386m^2，管束内外表面防腐涂层厚度在 200～220μm。

(2) 使用效果

从 2004 年 7 月结合装置检修，先后在不同装置不同部位安装了 30 多台管束。2007 年 7 月装置检修，先后对安装在一套常减压、重油一催化的三台钛纳米管束进行抽管检查，表面情况见图 1、图 2。使用结果见表 1：

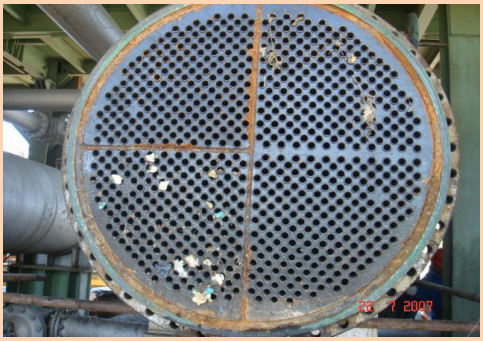




图 1 一套常减压初顶冷凝器设备打开检查（没有进行清扫）管板使用情况

图 2 一套常减压初顶冷凝器设备打开检查管束（没有进行清扫）外壁使用情况

表 1　　钛纳米管束与其它管束使用比较

使用部位	原管束	钛纳米管束
一套常减压初顶冷凝器 E-155/AB 及	该管束采用 7910 涂料进行内外壁防腐，使用 3 年多情况如下：管束外壁 7910 防腐涂层已经没有，有相当一部分腐蚀穿孔，没有腐蚀坑的年平均减薄为 0.7 毫米，管子内壁防腐层破损，存在不均匀腐蚀坑与污垢层。	通过 3 年的使用，管束内外壁防腐涂层没有变化，完好如初。管束内外壁没有水垢锈垢存在，与新投入使用时一样。该部位有 2 台相同型号的冷凝器，在检修当抽出一台管束时。经检查管束内外壁没有任何锈垢附着物。所以另一台免检修。
重油一催化塔顶脱丙烷冷凝器 E1203 / AB	该管束内外壁没有进行防腐，使用近 5 年便报废。使用过程中，管束内外壁容易结垢，增加热阻，降低了换热效率，影响生产。	通过 3 年的使用，管束内外壁防腐涂层没有变化平整、光滑。内外壁没有水垢及锈垢存在。

2.1.5　经济效益分析

通常碳钢水冷却器在使用过程中因冷却水中的碳酸盐、泥沙等（管内没有采取防腐措施），在内壁易形成锈垢层。对管内采用 7910 涂料防腐措施的，防腐涂层相对导热率大。尽管先期涂层表面比较光滑，但后期还是有一定的水垢存在。管束外壁因受油汽中有害介质的腐蚀，产生锈蚀物依附在管壁上，形成较厚的铁锈层以及油垢层，因此使传热恶化。

⑴节能方面[8][9]

通过对 9 台钛纳米聚合物涂料管束的使用，收到了满意的效果。如对初顶冷凝器（管束为Φ1000）换热面积 350m^2。通过对碳钢管束、7910 涂料防腐管束与现钛纳米聚合物涂料管束传热系数对比计算，采用钛纳米管束比管束不防腐综合传热系数提高 66.54%，比 7910 管束传热系数提高 49.97%。通过节能计算，每年该台冷却器管束采用钛纳米管束与不防腐管束节约能量 5640.27MW/年, 可以节约（热价按 20 元 / MW）11.3 万元。与 7910 管束节相比可节约能量 4235.13 MW/年约合 8.5 万元。

⑵使用寿命及造价

① 钛纳米涂层管束与不防腐碳钢管束比

采用钛纳米管束按每台提高使用寿命 2 倍计，每台管束按使用寿命 3 年计，如一台Φ1100 换热面积 350m^2 的碳钢冷却器管束造价 30 万元，按提高使用 2 倍计。钛纳米管束防腐造价为 12.6 万元，可以节约 47.4 万元，每年可以节约 5 万元(钛纳米管束按使用 9 年计)。另外加上每年节约的能量 11.3 万元，每年可以节约 16.3 万元。

试验 9 台的（防腐面积 5386m^2）钛纳米涂层管束，按 5386m^2 / 2（管束单面积）×（16.3 万元 / 350/m^2·年）= 125 万元 / y。每年可以获得直接与间接经济效益 125 万元以上。

② 钛纳米涂层管束与 7910 防腐涂层管束比

采用钛纳米管束按每台可以提高使用寿命 0.5 倍计，每台 7910 涂层管束按使用寿命 6 年计，如一台Φ1100mm（换热面积 350m^2）的碳钢冷却器管束造价 30 万元，7910 涂层管束防腐造价为 19.6 万元，该管束造价为 49.6 万元。7910 涂层管束 9 年使用费用为 74.4 万元（49.6 万元×1.5 台），而钛纳米管束使用 9 年造价为 42.6 万元，可以节约 31.8 万元，每年可以节约 3.5 万元(钛纳米管束按使用 9 年计)。加上每年节约的能量 8.5 万元，每年可以节约 12 万元。

试验采用的 9 台（防腐面积 5386m^2）钛纳米涂层管束，按 5386m^2 / 2（管束单面积）×（12 万元 / 350m^2·年）= 92 万元 / y。每年可以获得直接与间接经济效益 92 万元以上。

从以上可以看出，采用钛纳米涂层管束使用寿命按 9 年计，比不防腐的碳钢管束仅试验的 9 台可以获的 1125 万元。比 7910 防腐涂层管束仅试验的 9 台可以获的 828 万元。

2.2 钛纳米涂料在酸性水罐的应用[10]

2.2.1 概述

炼油厂硫磺车间的酸性水气体装置，主要处理来自常减压、催化、加氢等装置的含硫污水。 由于原料水中组分较为复杂，含有 H_2S、NH_3、CO_2、CN^-，酚合油等多种介质，腐蚀性较强。对于前期罐内采用环氧性涂料防腐涂层，破坏性很大。涂层使用不到 3 个月出现问题，鼓包、涂层变硬、破损，起不到防腐涂层的作用。因而对裸露的金属表面进行腐蚀。腐蚀的主要部位在罐底与罐壁，腐蚀形态主要是靠近焊缝附近出现穿透性裂纹，致使其中一个 V103 的酸性水罐使用不到两年报废，另一台出现了应力腐蚀开裂。一旦产生泄漏不但影响生产而且对周边的环境造成污染。

2.2.2 腐蚀原因分析

因硫磺回收装置 V103 酸性水罐的操作条件相对比较苛刻，其主要操作介质：原料水中 H_2S 含量 1.0—2.8g/L、NH_3 含量 5000ppm/L，还含有 CO_2、CN^-、酚和油等多种介质，PH 值在 10±0.5，原料水的温度为 65-70℃。在这样的操作条件下，碳钢罐表面腐蚀比较严重。其腐蚀形式为电化学腐蚀，在焊口及金属母材弯曲处（如罐里立柱底附近钢板受压弯曲变形处）出现应力腐蚀开裂现象。同时也产生均匀腐蚀。另外，采用一般的防腐涂层进行保护效果很不理想，如采用环氧系的防腐涂层使用不到 4 个月就失去防护作用。

2.2.3 涂层表面的损坏

污水对一般的常温固化的环氧、呋喃、酚醛类的涂层主要腐蚀是因为酚类小分子易穿透涂层，使有机涂层的分子结构发生溶胀、断裂。另外，涂层在 65-70℃污水中，温度较高协同作用下，使防腐涂层损坏。因为有机涂层有这一特性，如果涂层在纯水中可以在较高的温度下使用。有较高的玻璃化转化温度。当含有一定的腐蚀介质的水溶液中使用，玻璃化转化温度会下降许多。如环氧磁漆可以长期在 80℃左右使用，但是在该条件下的水溶液中只能在 60℃以下使用，还不能保证长期使用。这就是说，在含有腐蚀介质的水溶液中，较小的分子气体及介质容易进入到有机涂层中，破坏涂层原有的分子结构,使其耐温性能下降。表

面涂层变软、发生鼓泡、破损失去作用。

2.2.4 材料选择与效果

03 年 2 月初陆续采用涂料挂片的形式，用来筛选适合该种条件的防腐蚀涂料。一共采用 4 种涂料挂片进行试验，挂片采用悬挂的方法使挂片浸在水中。最长的时间为 127 天，最短的为 34 天。试验结果钛纳米聚合物涂料挂片效果比较好。

至今已使用 6 年开罐检查，防腐涂层整体性完好，涂层表面有光泽，无起皮、起泡、龟裂、脱落等现象。防腐涂层表面没有任何锈蚀产物附着在表面。解决了该罐的应力腐蚀的问题。这问题的解决为石化系统酸性水罐的腐蚀提供了很好的借鉴。

2.3 储油罐的腐蚀与防护[11]

2.3.1 概况

储油罐是炼油厂储运系统不可缺少的主要设备之一，如果对其内壁防腐不好或不防腐，经过一段时间使用后金属表面遭到严重腐蚀时造成腐蚀穿孔。使储罐的使用寿命大大缩短，给企业造成不必要的损失，严重影响了安全生产。由于罐体的腐蚀，产生了大量的锈蚀产物，污染了油品。这种现象在储存油品的油罐较为普遍。

2.3.2 油罐各部位的腐蚀情况

2.3.2.1 底板的腐蚀：底板的腐蚀为孔蚀和均匀减薄。一般易发生在底板凹陷的地方，加热器等支架周围焊接热影响区，产生机械塑性变形部位和施工中造成伤痕部位,都易产生点蚀和应力腐蚀开裂。如加氢装置的原料油罐，在焊道附近就发生了应力腐蚀开裂。

这类腐蚀主要是①由于底板存水，在水中受溶解氧、氢离子浓度、氯化物浓度、温度的影响。②钢板本身存在的缺陷。如焊接的影响，罐组装时的打痕。③操作因素，如罐底存在沉积物堆积、油泥、铁锈、灰砂等，易造成垢下腐蚀。

2.3.2.2 罐壁的腐蚀：罐壁的腐蚀不象底板那样重，但腐蚀不应忽视，情况如下：

⑴ 温度的影响

当罐壁和油品温度下降，油内溶解的水分析出而附在罐壁上，水和水中氧一起与金属发生腐蚀反应。这里轻质油罐的腐蚀比重质油罐的腐蚀严重。是因为轻质油挥发组分多，同时含腐蚀介质成份复杂并且多，造成多数为均匀腐蚀，但也同时存在点蚀。

⑵ 油与空气交替接触的罐壁

无力矩、拱顶罐壁：在液面附近容易引起腐蚀，主要是水和储存汽油中溶解氧浓度分布不同造成的。由于油罐的倒罐次数较为频繁，液面升降次数较多，这样罐不断交替地暴露在油和空气中，干湿条件不断循环，使得罐壁腐蚀愈加严重。

罐顶的腐蚀：储存原油、重油、轻油等油品的罐都存在罐顶腐蚀。腐蚀是随着昼夜气温的变化。无力矩、拱顶罐每天进行一次呼吸（小呼吸）。当温度下降到水汽露点以下时，油和水的液滴就冷凝在罐顶和油面以上的罐壁上。在水汽、油汽及大气中的有害杂质作用下，构成了电化学腐蚀条件。

所以说，罐顶内壁暴露在气相部位，一旦锈蚀层形成，在空气干湿交替的变化下，金属壁面将会加速腐蚀。

2.3.3 采用钛纳米涂料效果

2002 年 6 月以来在炼油厂几座油罐进行了内壁防腐施工，储罐条件见表 2：

表 2　　油罐防腐情况

序号	体积 m^3	体积结构形式	介质	温度℃	备注
1	10000	坍架式	渣油	75	只防罐顶
2	5000	拱顶式内浮盘	汽油	40	
3	2000	拱顶式内浮盘	加氢原料油	60	存在应力腐蚀
4	1000	拱顶式内浮盘	加氢原料油	60	存在应力腐蚀
5	500	拱顶式内浮盘	加氢原料油	60	存在应力腐蚀

防腐后使用情况见表 3：

表 3　　涂料使用前后对比

防腐前情况	防腐后情况
罐内壁、罐顶腐蚀较重，罐顶出现局部穿孔，表面呈麻点状，锈蚀产物多。	经过 8 年多使用，至今表面防腐层完好没有脱落，划痕检查仍保持良好的附着力与韧性,表面光亮没有任何变化,表面没有水分与油污附着。

使用 8 年后开罐检查，防腐涂层整体性完好，涂层表面有光泽，无起皮、起泡、龟裂、脱落等现象。防腐涂层表面没有任何锈蚀产物附着在表面。特别是表面光泽性与我国目前在用的防腐材料相比是最好的一种。按照涂层的使用效果，防腐层使用 8 年以上是没有问题的。特别是解决了渣油罐介质温度高（75℃），一般防腐层耐温效果不好的问题。

2.4 催化重整装置引风机壳体内壁腐蚀与防护【12】

2.4.1 概况

重整装置的重整部分的加热炉为四合一的方箱炉，引风机入口是来自热管加热器出口的烟气，设计温度为 160℃，实际使用温度为 130℃左右。由于烟气中含有大量的二氧化硫气体，对引风机壳体及叶轮腐蚀比较厉害。使用不到半年壳体便出现点蚀和大面积减薄，使用不到一年壳体便报废。

2.4.2 腐蚀原因分析

引风机壳体为碳钢，型式为蜗壳状，型号为 Y4-73-9D。烟气中含有 N_2、O_2、H_2S、HCl、CO_2。根据对腐蚀垢物分析，其中 :Fe 46.75%、Al 16.13%、S 15.79%、Si 15.63%、Ca 4.04%等物质，且该结垢物易溶于水所以引风机壳体容易发生露点腐蚀。腐蚀原因如下：

由于烟气中产生大量的酸性物质，碳钢在含有二氧化硫的湿气（烟气）中生锈被认为是“酸的再生循环”作用。按照这个概念，二氧化硫首先被吸附在金属表面上，由二氧化硫、铁和氧形成硫酸亚铁。然后，硫酸亚铁水解形成氧化物和游离的硫酸。硫酸又加速腐蚀铁，所得的新鲜硫酸亚铁再水解生成游离酸，如此反复循环。反应过程如下：

$$Fe + SO_2 + O_2 \leftrightarrows FeSO_4$$

$$4FeSO_4 + O_2 + 6H_2O \leftrightarrows 4FeOOH + 4H_2SO_4$$

$$4H_2SO_4 + 4Fe + 2O_2 \leftrightarrows 4FeSO_4 + 4H_2O$$

2.4.3 使用效果

采用钛纳米涂料防护，使用 1 年以后检查，防腐涂层整体性完好，涂层表面有光泽，无起皮、起泡、龟裂、脱落等现象。防腐涂层表面没有任何锈蚀产物附着在表面。

2.5 在轻烃储罐上的应用【13】

2.5.1.概况

原油稳定装置的原料是常减压和重整装置的塔顶初馏 C_1-C_5 未凝气。 来源于常减压和重整装置的初馏塔顶未凝气含有 HCI、H_2S 和水。造成轻烃罐内壁产生严重腐蚀，出现直径有 5mm 左右大小不一的点蚀坑，原有的金属表面已经腐蚀没有。腐蚀率达到 0.5-1 毫米 / 年。3 年前采用 300 微米热喷铝防腐涂层也已经腐蚀没有，表面存在产生大量的灰白色铝的锈蚀物。

2.5.2 腐蚀原因分析

这两座罐使用于 1986 年 7 月，其主要条件见表 4。

其主要条件为

表 4

罐号	体积（m^3）	设备规格（mm）	内表面积（m^2）	材质	温度℃	压力 Mpa
V300	40	Φ2440×7315×35	67.4	16MnR	60±2	1.40±0.2
V400	100	Φ3000×15010×25	157.5	16MnR	60±2	1.30±0.2

从检查的情况看这些部位属于低温 HCI - H_2S - H_2O 体系的腐蚀。虽然在进入这两个罐

前进行了脱硫，但是液化石油气中含硫量在 0.118%-2.5%,易产生低温 HCI - H_2S - H_2O 的腐蚀。

2.5.3 防腐层的腐蚀

轻烃罐内其中 V300(V400 没有防腐)内壁表面原采用金属热喷涂的方法,喷涂 300 微米厚铝防腐层,用 E44 环氧银粉漆做封闭层。在大气中铝是耐蚀的的，既使含有 SO_2 及 CO_2 影响也很小。铝在 PH4 - 11 的淡水中是很耐蚀的，但 PH 值小于 4 时出现酸性侵蚀，PH 大于 11 时出现碱性侵蚀。试验证明，喷铝层在 HCl-H_2S-H_2O 介质中是不耐蚀的，因此，V300 罐虽进行了防腐，但却出现了严重腐蚀。

2.5.4 金属表面腐蚀

HCl、H_2S 处于干态时，对金属无腐蚀。当罐中含水时 HCl 即溶于水中成盐酸。盐酸浓度可达 1% - 2%，成为一个腐蚀性十分强烈的“稀盐酸腐蚀环境”。若有 H_2S 存在，可使腐蚀加速。随温度提高，硫化氢的腐蚀性更强。所以 HCl-H_2S-H_2O 体系是碳钢设备的最严重的腐蚀环境之一。

2.5.5 使用效果

使用 5 年以后开罐检查，防腐涂层整体性完好，涂层表面有光泽，无起皮、起泡、龟裂、脱落等现象。防腐涂层表面没有任何锈蚀产物附着在表面。

2.6 钛纳米涂料的特点

通过**钛纳米涂料在**储油罐、酸性水罐、加热炉的引风机壳体、氢烃罐方面的使用解决了设备内壁的腐蚀。并且，该材料与解决同样的问题比采用其他的防腐涂层相比较有一定的优越性。

钛纳米聚合物就是将钛超细化达到纳米级，使其表面活性大大提高。同时将有机物双键打开，形成游离键，两者复合到一起形成化学吸附和化学键合生成钛纳米聚合物。其涂料是

以钛纳米聚合物、树脂、固化剂、助剂及少量溶剂组成的双组份涂料。有如下特点：

① **抗渗透性强**：A 钛纳米和树脂形成了化学键合和化学吸附，堵塞了填料与树脂间的渗透通道。B 微小的钛纳米聚合物粒子填充到分子空穴中，由于水、氧和其它离子不能透过钛纳米聚合物颗粒本身，只能绕道渗透，这样就延长了渗透路线，起到迷宫效应。C 钛纳米聚合物有包覆有机物层，所以具有抗润湿性，减少毛细管作用抵抗极性介质和离子通过涂膜。

② **抗腐蚀性高**：A 抗渗透性好，可阻止水、氧和离子的通过，使涂料具有屏蔽能力。B 钛纳米聚合物涂料固化时体积收缩率小，而且游离键和钛的结合状态使分子链柔软便于旋转，可消除内应力，所以钛纳米聚合物涂料的应力很低，涂层内部没有微裂纹，抗开裂、剥离能力强。以上两条提高了防止物理破坏的能力。C 钛填料本身耐蚀性好。D 化学键合与化学吸附作用形成稳定的结构，阻止水、氧及其它腐蚀介质的取代作用，使其不易发生腐蚀反应，提高了防止化学腐蚀破坏的能力。所以这四点决定了钛纳米聚合物涂料具有很好的耐腐蚀性能。

③抗垢性好：A 对于粗糙的表面，能增加液体流动的阻力减少流速，增加近壁流层的厚度，造成更多的结构核心，有利于污垢的沉积长大。而钛纳米聚合物涂层由于微小纳米粒子的填充作用表面光洁度很高，近壁流层薄不利于结垢。B 钛纳米聚合物具有特殊的磁性，能对污垢粒子整形使其排列整齐，不形成垢分子交错穿插的硬垢。C 钛纳米聚合物特殊的化学结构形成亲油憎水表面，排斥污垢粒子，使其不能粘附到涂层表面上，达到防垢的功能。D 具有一定的杀菌功能，可以防止硫酸盐还原菌、藻类微生物附着。

④耐温性好：钛纳米聚合物涂层，当温度达到树脂玻璃转化温度时，树脂链接运动由于受钛纳米粒子的化学键合和填充的束缚作用，其自由体积空穴不能增大，仍有良好抗渗透性，使腐蚀因子不易透过。其耐温性能比同基树脂涂料高 50℃以上。例如环氧基涂料的耐温性一般是 80℃，而环氧基钛纳米聚合物涂料的耐温性达到 150℃。

⑤耐水性好：钛纳米涂料的羟基、醚基及氨基等亲水基，与钛纳米聚合物发生化学键合或化学吸附，其极性大幅度下将，此外链接上的钛纳米聚合物有疏水性，这样涂料的整体耐水性大大提高。另外，固化后玻璃化温度的提高、涂层良好的抗渗性赋予涂层优秀耐水性。

3 结论

3.1 钛纳米管束在炼油装置的油汽冷却器上应用，经过 4 年多的使用取得了良好的效果和明显的经济效益。通过使用钛纳米管束有以下几点看法：

⑴ 钛纳米管束耐蚀性好，管内外表面光洁度高,相对提高了近管壁流层速度，从而减少了管内外垢层的沉积，抗锈垢性能好。

⑵ 导热性好，它具有吸热和导热双重功能，其导热系数位于金属范围。从传热系数对比和节能计算看出，钛纳米管束比不防腐的管束、7910 涂层管束传热效果好，热效率高，是一种节能的换热管束。

⑶ 钛纳米管束维护检修方便，减轻了检修工人的劳动强度及检修费用。

⑷ 解决了 7910（环氧胺基涂料）防腐管束外壁不耐油汽腐蚀的问题。

⑸ 钛纳米管束的防腐涂层的施工为常温固化，解决了我国管束防腐涂层需高温固化的施工工艺，降低了施工成本。

3.2 在储油罐上钛纳米聚合物涂料使用特别是表面光泽性与我国目前在用的防腐材料相比是最好的一种。特别是解决了渣油罐介质温度高（75℃），一般防腐层耐温效果不好的问题。

3.3 在酸性水罐上使用， 解决了该罐的应力腐蚀问题。这个问题的解决为石化系统酸性水罐的腐蚀提供了很好的借鉴。

3.4 在重整装置引风机壳体上使用，解决了烟气及烟气的露点腐蚀。较好的体现了该涂料不但耐腐蚀，同时可以在温度较高的环境下使用的特点。

3.5 在氢烃罐上使用，较好的解决了在含有 H_2S、HCl 等多种介质的油气中，60℃左右温度下及有一定压力下的腐蚀。为轻烃罐的防腐蚀找到了一种新方法。

通过以上使用表明该材料的突出特点为：

抗渗透性强：比一般特种防腐涂料抗渗能力强。

抗腐蚀性高：在该条件下使用比一般的防腐涂料耐腐蚀。

抗垢性好：涂层表面不易结锈垢。

耐温性好：耐温性能比同基树脂涂料高 50℃以上。

耐水性好：长期使用防腐涂层不会反粘、变脆。

所以说，钛纳米聚合物涂料在炼油厂设备上使用，可以解决部分设备内壁腐蚀问题。特别是有些腐蚀问题是目前石化系统不太好解决的问题，该材料可以很好的解决。我们几年的应用证明，钛纳米聚合物涂料在炼油设备的防腐蚀方面会发挥更大的作用。

参考资料

[1] 王巍，炼油厂冷却器的腐蚀与对策「J」,《石油化工设备技术》2000 年第 6 期，P25～27；

[2] 王巍、张喜华、肖力学，5454 铝镁合金管束在冷换设备中的应用「J」,《石油化工设备》1990 年第 6 期，P44～48；

[3] 王巍，硝酸酸洗在我厂冷却器上的应用「J」,《全面腐蚀控制》1991 年第 1 期，P34～37；

[4] 王巍，NI-P 化学镀层在糠醛换热器上的应用「J」,《石油化工腐蚀与防护》1997 年第 1 期，P35～37；

[5] 周本省编著，工业冷却水系统中金属的腐蚀与防护「M」,北京：化学工业出版社，1993 年，P28～29；

[6] 王巍，浅谈炼油厂硫磺回收装置酸性水罐的腐蚀与防护「J」,《石油化工设备技术》2005 年第 1 期，P35～38；

[7] 薛俊峰编著《材料耐蚀性和适用性手册 - 钛纳米聚合物制备和应用》「M」知识产权出版社，2001 年 6 月，P429～430；

[8] 富嘉文“换热器”「M」，北京，石油工业出版社，1979 年 8 月，P23～26；

[9] 王巍，盐酸酸洗在冷却器上的应用「J」,《化学清洗》1999 年第 6 期，P25～27。

[10] 王巍．钛纳米聚合物涂料在酸性水罐上应用，《石油化工设备技术》2005 年第 1 期；

[11] 王巍; 钛纳米聚合物涂料在储油罐上的应用，《全面腐蚀控制》2005 年第 4 期，P12~14；

[12] 王巍，钛纳米聚合物防腐涂料在引风机壳体内壁防腐中的应用，《材料保护》2006 年，第 10 期，P71～73；

[13] 王巍，钛纳米聚合物防腐涂料在炼油厂轻烃储罐上的应用，《腐蚀与防护》2006 年第 2 期，P82～83；