



一、复层矿脂包覆防腐蚀技术

Petrolatum Tape and Covering system (PTC)



·主动·防腐
·绿色·防腐



·科技·防腐
·长效·防腐

中国科学院海洋研究所
国家海洋腐蚀防护工程技术研究中心

目 录

1. 引言	1
1.1 腐蚀严重性.....	1
1.2 海洋腐蚀严重性.....	2
1.3 海洋钢结构腐蚀规律.....	3
1.4 海洋浪花飞溅区腐蚀实例.....	4
1.5 浪花飞溅区防腐蚀策略.....	5
2. 复层矿脂包覆防腐蚀技术(PTC).....	7
2.1 海洋钢结构基本防护方法.....	7
2.2 复层矿脂包覆防腐蚀技术（PTC）介绍.....	8
2.3 复层矿脂包覆防腐蚀技术（PTC）产品及其性能指标.....	9
2.3.1 矿脂防蚀膏.....	9
2.3.2 矿脂防蚀带.....	9
2.3.3 防蚀保护罩.....	10
2.4 复层矿脂包覆防腐蚀技术（PTC）优势.....	10
3. 复层矿脂包覆防腐蚀技术（PTC）施工工艺.....	11
3.1 施工步骤示意图.....	11
3.2 规则结构施工步骤方框图.....	12
3.3 不规则结构施工步骤方框图.....	12
3.4 施工设计.....	13
3.5 现场准备.....	13
3.6 现场施工.....	13
3.6.1 现场标记.....	13
3.6.2 钢结构表面处理.....	13
3.6.3 涂抹矿脂防蚀膏.....	14
3.6.4 缠绕矿脂防蚀带.....	14
3.6.5 防蚀保护罩安装.....	14
3.6.6 密封缓冲层安装.....	15
3.6.7 安装护腰（根据需要设置）.....	15
3.6.8 密封处理.....	15
3.6.9 安装卡箍.....	16
3.6.10 安装保护试片（根据需要设置）.....	16
3.7 验收要求和指标.....	16

3.7.1 表面处理检查项目	16
3.7.2 涂抹防蚀膏检查项目	16
3.7.3 缠绕防蚀带检查项目	16
3.7.4 防蚀保护罩安装检查项目	17
3.7.5 护腰安装检查项目	17
3.7.6 密封处理检查项目	17
3.7.7 安装卡箍检查项目	17
4. 复层矿脂包覆防腐蚀技术(PTC)工程实例	17
4.1 国内主要工程业绩单	17
4.2 主要工程照片	18
4.2.1 青岛港液体化工码头工程钢桩腐蚀修复工程	18
4.2.2 湛江港 400#码头钢桩腐蚀修复工程	18
4.2.3 江苏盐城大丰港钢桩腐蚀修复工程	18
4.2.4 宁波中化兴中码头腐蚀修复工程	18
4.2.5 丹东华能电厂码头腐蚀修复工程	19
4.2.6 天津中海油浮式 LNG 项目码头腐蚀修复工程	19
4.2.7 胜利油田 CB22 单井平台异形结构腐蚀修复工程	19
4.2.8 胜利油田 CB22 单井平台立管及导管架腐蚀修复工程	19
4.2.9 中石化 CB273 计量平台腐蚀防护工程	19
4.2.10 江苏龙源风电基础桩防腐修复工程	20
4.3 国外应用案例	20
日本大阪大桥腐蚀修复工程	21
其他腐蚀修复工程	21
5. 复层矿脂包覆防腐蚀技术(PTC)专利	21
5.1 国家专利	21
5.2 奖励	22
5.3 地方标准	22
6. 小结	22

一、复层矿脂包覆防腐蚀技术

Petrolatum Tape and Covering system (PTC)

1. 引言

1.1 腐蚀严重性

腐蚀是一种悄悄进行的破坏，由腐蚀造成的损失是十分巨大的。腐蚀过程是金属氧化的过程，一旦发生便不可逆转，因此，钢铁设施由于腐蚀问题的更新更换不仅造成人力与物力的经济损失，并且造成资源的不必要浪费，不利于经济的可持续发展。

1949年，美国进行了世界上第一次腐蚀调查，1970年英国科学家Hoar发表的腐蚀调查报告指出，英国当年由于腐蚀而造成的损失为13.65亿英镑，占国民经济总产值的3.5%，当时震惊了全世界。随后，美国进行了多次腐蚀调查。数据表明，1984年美国腐蚀损失为1680亿美元；1989年腐蚀损失为2000亿美元，约占国民经济总产值的4.2%；2001年美国发布了本国第七次腐蚀损失调查报告，表明1998年美国因腐蚀带来的直接经济损失达2760亿美元，占国民经济总产值的3.1%。日本腐蚀防蚀协会用Uhlig和Hoar两种方法在1975年和1995年两次进行了腐蚀损失调查，1997-1998年的调查报告指出，日本的腐蚀直接损失约为39,380亿日元。由于日本采取了比较有效的防腐蚀措施,所以因腐蚀带来的经济损失为1.5~1.7%，其他国家像德国、印度、原苏联、法国等也都做过类似的调查，由腐蚀带来的直接经济损失也都在3-5%左右。按此比例3%计算，我国在2013年的腐蚀损失约20,000亿元，这远远高于由于自然灾害而造成的经济损失的总和（如图1.1）。根据国内外经验，如果采用有效的控制和防护措施，25~40%的腐蚀损失可以避免。美国腐蚀工程师协会(NACE)邀请侯保荣院士担任全球腐蚀成本与防腐策略调查的大型

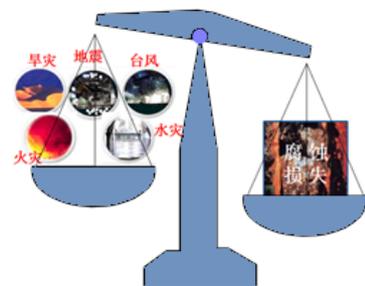


图 1.1 腐蚀损失远远高于自然灾害损失

公益项目 (International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies, 简称IMPACT) 中国委员会主席。2014年5月份正式启动，约历时2~3年时间，利用世界统一标准的腐蚀调查方法，得到的所有数据结果将免费向世界公开，旨在为各国政府决策提供依据。

由于腐蚀问题没有得到足够的重视，一些重大安全事故的发生为人们敲响了警钟。2013年11月22日，青岛市黄岛区中石化输油管道发生爆炸事故，后被官方认定为“特大责任事故”。该事故共造成62人遇难，136人受伤，直接经济损失7.5亿元。国务院重大事故调查组发表报告称，事故直接原因为“输油管道与排水暗渠交汇处管道腐蚀减薄、管道破裂”，引发爆炸。

1.2 海洋腐蚀严重性

海水是一种盐度介于 32~37‰, pH 值在 7.9~8.4 之间的天然强电解质溶液, 同时含有悬浮泥沙、溶解的气体、生物以及腐败有机物的复杂体系。表 1.1 为 ISO-12944 典型腐蚀环境分类表, 可以看出, 典型腐蚀环境分为 5 级, 海洋属于腐蚀性最高的环境。这是由于高盐度、电解能力强、溶解氧与生物体的存在使得暴露于海洋环境中的钢构造物中的钢铁与周围介质发生电化学反应而受到严重腐蚀。

表 1.1 ISO-12944 典型腐蚀环境分类

腐蚀等级	质量损失/(g/m ²) 厚度损失/μm	外部环境-举例	内部环境-举例
C1, C2 很低, 低	<10~200 / 1.5~2.5	乡村/干燥的区域, 低污染	中性大气环境
C3 中	200~400 / 25~50	城市和工业大气环境, 中等程度 SO ₂ 污染, 低盐度的海岸地区	高湿度和轻度污染车间
C4 高	400~650 / 50~80	工业地区和中等盐度的海岸地区	化工厂, 游泳池
C5-1(工业) 很高	650~1500 / 80~200	具有高湿度和苛刻大气环境的工 业地区	几乎长期有冷凝水/重污染 物的建筑物或区域
C5-M(海洋) 很高	650~1500 / 80~200	海岸和离岸地区	几乎长期有冷凝水/重污染 物的建筑物或区域

近几十年来, 海洋腐蚀引起的触目惊心的事故不断向人类敲响警钟,

1967 年, 美国东部的一座铁桥, 在使用了 40 年后由于腐蚀塌落在俄亥俄河中, 致使 46 人丧生。

1969 年, 日本一艘 5 万吨级的矿物专用运输船, 因为腐蚀脆性破坏而突然沉没。

1974 年, 日本沿海地区一个石油化工厂的贮罐因腐蚀开裂使大量重油流入海面, 造成该地区严重污染。

1983 年, 日本横滨港山下码头的栈桥发生倒塌事故, 调查发现, 平均低潮以下部位发生了严重的大面积局部腐蚀(图 1.3), 这种现象被称之为“集中腐蚀”。

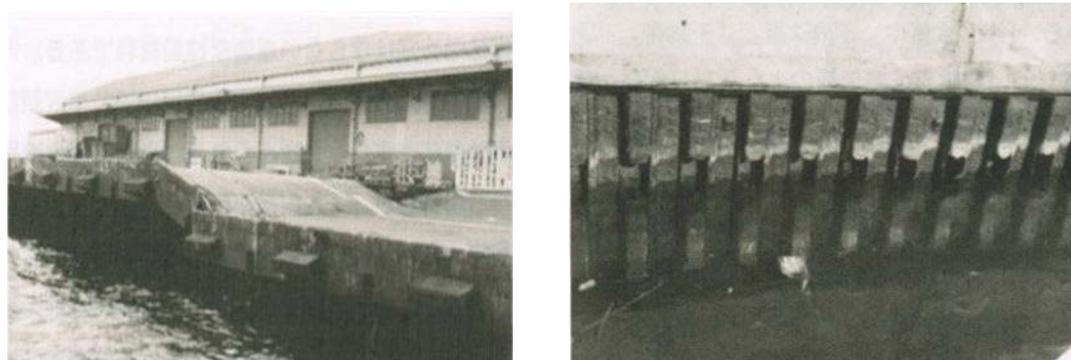


图 1.2 日本横滨港山下码头栈桥倒塌照片

1.3 海洋钢结构腐蚀规律

海洋环境可以分为海洋大气区、浪花飞溅区、海水潮差区、海水全浸区和海底泥土区五个不同的腐蚀区带（如图 1.3 示）。浪花飞溅区是指海水的飞沫能够喷洒到其表面，但在海水涨潮时又不能为海水所浸没的部位。浪花飞溅区的部位随潮差区的变化而变化。我国沿海港湾内，飞溅带的范围可以确定为海水平均高潮线以上的 0~2.4m 的区间，其中最大腐蚀部位取决于海域的海洋气象条件，约在 0.6~1.2m 处。

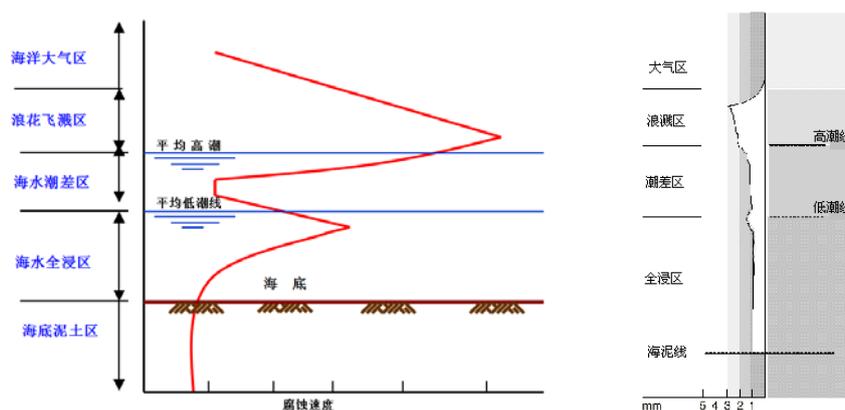


图 1.3 海洋钢结构设施在不同环境下的腐蚀速度图（左）与腐蚀深度图（右）

表 1.2 海洋不同腐蚀区带腐蚀影响因素

区带	腐蚀影响因素
海洋大气区	受海盐颗粒和陆地大气的影响
浪花飞溅区	海水飞溅造成的干湿交替环境以及阳光照射的温度升高，形成了最苛刻的腐蚀环境
海水潮差区	受到海水潮汐的作用
海水全浸区	海水腐蚀性主要受到溶解氧、流速、温度、盐度、pH 值以及污染因素和生物因素等的共同作用的影响
海底泥土区	溶解氧、温度以及厌氧生物的作用是影响腐蚀性的主要因素

长期的海洋腐蚀研究表明，钢结构设施在不同的腐蚀区带其腐蚀速度有明显差别。图 1.3 左图显示了海洋钢结构设施在不同环境下的腐蚀速率，右图显示了海洋钢结构在不同区带 10 年的腐蚀深度。可以看出，浪花飞溅区部位是腐蚀最严重的。这是因为在这个区域，钢表面由于受到海水的周期性润湿，经常处于干湿交替状态，且氧供应充分，加上阳光、风吹和海水环境的协同作用导致发生最严重的腐蚀。一般情况下，钢在海洋大气中的平均腐蚀速度约为 0.03~0.08mm/a；而浪花飞溅区为 0.3~0.5mm/a。同一种钢，在浪花飞溅区的腐蚀速度可比海水全浸区中高出 3~10 倍。有关实验和调查结果表明，长期在外海暴露的长尺试件，浪花飞溅区的腐蚀速度最高可达 1mm/a 以上，而在低潮位以下 0.3m 全浸区的腐蚀速度仅为 0.1~0.3mm/a。由此可见，钢结构在浪花飞溅区部位的腐蚀最为严重。



图 1.4 钢桩浪花飞溅区腐蚀和涂层破坏

图 1.4 显示出，同一个海域，相同时间内，同一根钢桩上的腐蚀情况，可以看出：海洋不同区带的腐蚀规律完全不同，腐蚀严重程度与图 1.3 相吻合；其中浪花飞溅区的腐蚀较其他区域更为严重，一旦在这个区域发生严重的局部腐蚀破坏，会使整座钢结构设施大大降低承载力，缩短使用寿命，影响安全生产，提前报废；传统的涂料技术对于大气区保护较好，但并不适用于腐蚀严重的浪花飞溅区。由此，浪花飞溅区的腐蚀问题成为腐蚀防护急需解决的短板问题。

1.4 海洋浪花飞溅区腐蚀实例

图 1.5 显示了国外某码头腐蚀情况，可以看出，该平台表面已经腐蚀非常严重，特别是浪花飞溅区部分，已经出现大片的腐蚀锈层，严重的甚至出现右图所示的腐蚀穿孔，严重影响着码头的寿命安全。



图 1.5 国外钢桩浪花飞溅区典型腐蚀实例

中交一航局调查显示，国产钢材在我国不同海域浪花飞溅区的平均腐蚀速度约为 0.5mm/a，腐蚀的严重程度已不容小觑。图 1.6 显示了国内部分省份码头的腐蚀情况，可以明显看到浪花飞溅区的腐蚀非常严重，钢桩已经出现了明显锈蚀，若不立即采取有效的防护措施，许多码头将会存在发生类似日本横滨港山下码头坍塌事故的风险与隐患。



图 1.6 国内钢桩浪花飞溅区典型腐蚀实例

目前，我国已有 200 多个海洋油气平台、100 多座跨海大桥屹立在海上，同时建设了大量的海港码头等海洋构筑物。由于钢铁材料韧性大、强度高、价格便宜，目前这些构筑物大都用钢铁材料所制成。现阶段，几乎所有现役港口、码头等处于严酷环境下的钢铁设施都面临着严重的腐蚀威胁，我国各类钢铁结构的腐蚀状况更是令人堪忧。美国学者 Sitter 曾用“五倍定律”来形象地描述钢筋混凝土设施维护的重要性。他指出：在设计阶段对钢筋防护方面减少了 1 美元，那就意味着，当发现钢筋锈蚀时采取补救措施将需要追加维修费 5 美元，而在混凝土表面出现顺筋开裂时再采取措施将追加维修费 25 美元，当结构严重破坏时采取措施将追加维修费 125 美元。对于钢桩结构，“五倍定律”也具有很高的参考价值。因此，对于新建的钢铁设施，应在初期就进行“主动防腐”，利用较少的费用，有目的地针对于海洋环境中的防护短板——浪花飞溅区“科学防腐”，采用环保防蚀技术“绿色防腐”，达到“长效防腐”的目的，获得长久的经济利益与资源保护。如果浪花飞溅区的腐蚀问题不能得到认真的解决，上面图 1.5，图 1.6 锈蚀斑斑的钢桩将是新建结构的明天，触目惊醒的事故将是现役码头的担忧！

1.5 浪花飞溅区防腐蚀策略

目前针对于大气区和海水全浸区已经研制出行之有效的防护方法。我国某深海采油平台每年用于海水全浸区的牺牲阳极就达上千吨，价值 2000-3000 万元。而对于腐蚀较海水全浸区更严重的浪花飞溅区，却没有得到足够的重视。浪花飞溅区是海洋腐蚀的“短板”问题，大部分的防护措施并不能提供有效的保护，“科学防腐”的意义十分重要。

目前，针对于浪花飞溅区的防护技术主要有：

① 涂料。涂料价格便宜，施工方便，但其应用于浪花飞溅区耐用时间短（图 1.4），对于已建设施的修复十分困难。

② 加厚钢板。加厚钢板是初期浪花飞溅区防护方法，现在大多数已经被其他方法代替，主要缺点为焊缝腐蚀与点蚀严重，并且增加结构物载重。

③ 阴极保护。主要应用于潮差区 50%以下的部位与海水全浸区，对于浪花飞溅区缺少有效的保护。

④ 耐海水钢。耐海水钢可以有效提高钢的耐蚀能力，但价格昂贵，并且需要与其他防护措施配合才能达到较好的防护效果。

⑤ 不锈钢包覆。不锈钢包覆防护效果好，设计达到 100 年防护寿命。但本法成本太高，每平米费用高达 1 万元人民币，尽管在日本已经应用，但我国市场望尘莫及。

⑥ 玻璃钢包覆。也可以采用玻璃钢外壳直接进行保护，价格相对较便宜，但防腐蚀效果差，一旦玻璃钢进水，腐蚀更为严重。

我国大量的码头、桥梁等工程设施现已出现了严重的腐蚀问题，并对人身安全与生产安全构成威胁。因此，符合“主动防腐、绿色防腐、科技防腐、长效防腐”理念的复层矿脂包覆防腐蚀技术（PTC），针对于低潮线下 1 米与高潮线上 2 米的浪花飞溅区和潮差区，可以提供长效保护，是现阶段最佳的浪花飞溅区防护技术，对保护海洋钢结构设施的安全运行具有极其重要的经济价值和社会意义。此外，对于其他恶劣环境中的钢铁设施，如埋地管道等，复层矿脂包覆技术（PTC）也可以提供良好的保护。

技术笔记

羽田机场再扩建工程—栈桥部位套管式钢构造物的防腐蚀

在羽田机场再扩建工程中，新建的第 4 条 D 滑行跑道，是埋设施工方法和栈桥施工方法相结合的构造，在多摩川一侧长约 1100m 范围，由于建设在多摩川河口区域内，为了保证通水性，以及维持使用中的羽田机场的运行条件和缩短海上施工期的需要，采取了栈桥构造，钢构造物形式是套管式钢构造物。



图 1.7 日本羽田机场修复后图片

栈桥部位套管式钢构造物建造于海面以上，暴露在极度严峻的海洋环境之中，因此必须实施钢材的防腐蚀措施。此处运用的防腐蚀对策，针对 100 年的预定使用期，从维持有效机能的基础出发，着眼于保证其维护管理工作的便利性，采用了具有长期耐久性的防腐蚀技术（如图 1.7）。

表 1.3 套管构造部位采取防腐蚀措施的面积

		防腐蚀规格	对象面积 (m ²)
钢管		重防腐蚀涂装 (C4)	58,000
		耐海水性不锈钢包覆	114,000
		阴极保护	1,049,000
钢桁		内侧涂装 (D4)	1,633,000
		钛罩板	570,000

2. 复层矿脂包覆防腐技术(PTC)

——针对于浪花飞溅区的最佳防腐技术

技术宗旨

- 主动防腐**——设施新建设时就要考虑防腐。
- 科技防腐**——对腐蚀最严重短板要加强防腐。
- 绿色防腐**——所提供的技术和产品要绿色环保。
- 长效防腐**——超长的防护寿命，可达 30 年以上。

技术优势

- 可带锈施工**：适用于已建的现役设施。
- 可带水施工**：不妨碍设施正常运作。
- 缓释效果好**：使用寿命超长。
- 耐冲击性优**：可抵挡一般船舶与流冰碰撞。
- 负重质量小**：不影响设施承载能力。



图 2.1 带锈作业施工示例。

2.1 海洋钢结构基本防护方法

图 2-1 显示了不同海洋区带下钢铁的腐蚀速度与对应的保护措施。

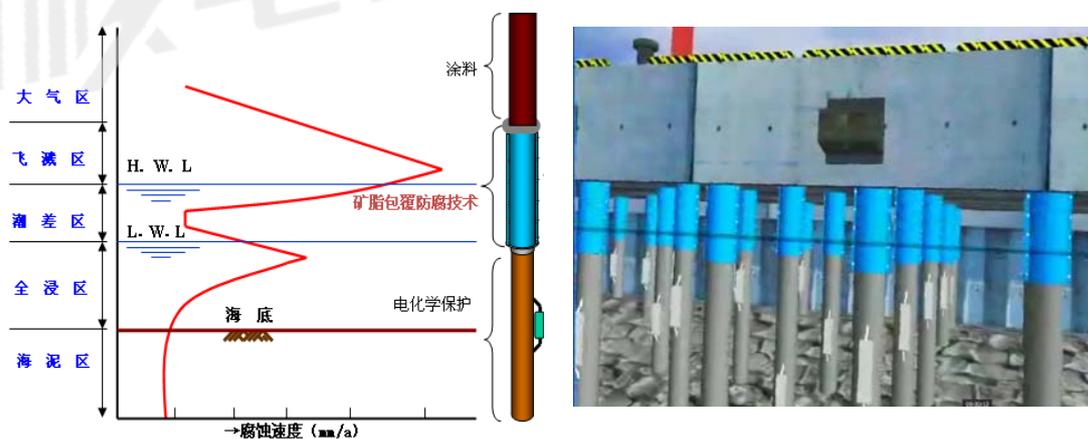


图 2.2 海洋环境钢铁设施腐蚀规律与防腐措施

在海洋大气区，海风会带来小海盐颗粒，腐蚀受到高度、风速、温度等因素的影响。相对于浪花飞溅区来说，腐蚀速率较小，因此对于海洋大气区的钢铁结构，一般采用涂料的方法进行防护。

在海水全浸区域、海泥区，海水通常为饱和状态，腐蚀速度受到含氧量、水温等的影响。在这个区域，阴极保护可以形成完整的电流回路，可以提供良好的保护。

在浪花飞溅区，钢铁表面潮湿且与氧气充分接触，腐蚀最为严重。这个区域需要特殊的防护，现阶段最佳的保护方法即为复层矿脂包覆防腐技术（PTC）。

复层矿脂包覆防腐技术（PTC）是针对海洋钢铁结构浪花飞溅区腐蚀防护技术短板开发的最为科学与正确的保护手段，真正做到“科学防腐”。

2.2 复层矿脂包覆防腐技术（PTC）介绍

复层矿脂包覆防腐技术（PTC）由四层紧密相连的保护层组成（如图 2.3），即矿脂防蚀膏、矿脂防蚀带、密封缓冲层和防蚀保护罩。其中矿脂防蚀膏、矿脂防蚀带是复层矿脂包覆防腐技术的核心部分，含有高效的缓蚀成分，能够有效的阻止腐蚀性介质对钢结构的侵蚀，并可带水施工。密封缓冲层和防蚀保护罩具有良好的整体性能，不但能够隔绝海水，还能够抵御机械损伤对钢结构的破坏。

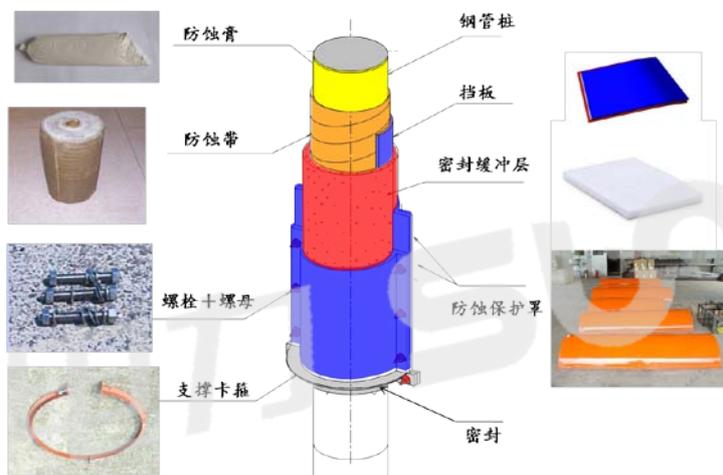


图 2.3 复层矿脂包覆防腐技术（PTC）结构图

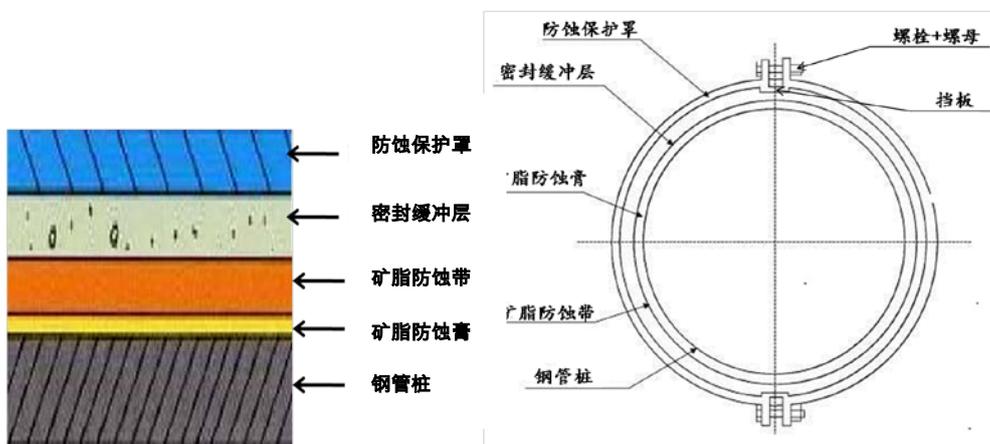


图 2.4 复层矿脂包覆防腐技术（PTC）剖面图与横截面图

2.3 复层矿脂包覆防腐蚀技术（PTC）产品及其性能指标

2.3.1 矿脂防蚀膏

矿脂防蚀膏以矿物脂为原料，加入复合防锈剂、缓蚀剂、稠化剂、润滑剂、填充剂等加工制作的膏状防腐蚀材料，能很好地粘附在需要保护的钢结构表面。矿脂防蚀膏中含有多种防锈和转锈成分，在潮湿的环境中具有很好的防腐蚀性能。锈转化剂可以与铁锈起化学反应，在钢铁表面形成铁络合物，可把厚度在80 μm 左右的铁锈层转化成稳定的化合物，起到除锈防锈双重作用，可以降低施工前表面处理的要求，节约人力物力，降低成本。



矿脂防蚀膏的物理性能和试验指标

密度 g/cm^3	0.9-1.2
融点 $^{\circ}\text{C}$	69
燃点 $^{\circ}\text{C}$	187 以上
蒸发量%	3.0 以下
附着性能	在 $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，垂直放置 24h，油膜不滑落
低温附着性能	在 $(-20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，放置 1h 后，油膜不剥落
水溶性	不溶于水
盐水浸泡试验	A 级（192h）
中性盐雾试验	A 级（1000h）
腐蚀性 (mg/cm^2)	钢 ± 0.2 锌 ± 0.2 不锈钢 ± 0.2 黄铜 ± 0.2 铝 ± 0.2

2.3.2 矿脂防蚀带

矿脂防蚀带是一种浸渍了特制防蚀材料的人造纤维制成的聚酯纤维布。矿脂防蚀带所含防蚀材料具有和矿脂防蚀膏相似的成分及性能，除了防蚀作用外，还能够增强密封性能，提高整体的强度及柔韧性。防蚀带的载体材料是特种聚酯纤维布，通过聚酯长丝成网和固结的方法，将其纤维排列成三维结构，经纺丝针刺固结直接制成。矿脂防蚀带每一卷10m长，一般20cm宽，可根据需要定制。



矿脂防蚀带的指标性能

厚度 mm	1.1 \pm 0.3
重量 kg/m^2	1.4
拉伸率%	15
水溶性	不溶于水
吸水率%	<0.1
拉伸强度 N/25mm	49.5 以上
附着力 N/25mm	4.9 以上
低温作业性能 ($-5^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$)	带未断裂，复合物无龟裂现象，粘着性没有消失。
耐温性能	70 $^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，24 小时无油滴滴落。
体积电阻率 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}^2$	1 $\times 10^2$ 以上

2.3.3 防蚀保护罩

外壳包括玻璃钢或增强玻璃钢和聚乙烯泡沫薄片，玻璃钢或增强玻璃钢具有优秀的强度和持久性，聚乙烯泡沫薄片具有较好的减震作用、隔热性和防水性。

玻璃钢是玻璃纤维加固的不饱和聚酯树脂，而增强玻璃钢是由玻璃纤维加固的聚丙烯碾压成型。两片外壳之间通过法兰和螺钉紧固。



检测项目	性能指标
防蚀保护罩巴柯尔硬度, HBa	≥ 35
防蚀保护罩弯曲强度, MPa	≥ 147
防蚀保护罩树脂含量(质量含量), %	≥ 45 (不计胶衣层和富树脂层) ≥ 70 (富树脂层树脂)
防蚀保护罩阻燃性能(氧指数), %	≥ 28
防蚀保护罩吸水率, %	≤ 0.5
防蚀保护罩拉伸强度, MPa	≥ 50
防蚀保护罩抗冲击强度, MPa	≥ 6.61

2.4 复层矿脂包覆防腐蚀技术(PTC)优势

1、**表面处理的要求低**。矿脂防蚀膏中的复合防锈剂，可以把铁锈层转化成稳定的化合物，形成保护性封闭层，防止钢铁氧化锈蚀，起到除锈防锈双重作用。

2、**可以带水施工**。矿脂防蚀膏可以带水作业，复合防锈剂分子可以吸附和捕集腐蚀性物质，并将其封存于胶束之中，起到防腐蚀作用。

3、**缓释效果优良**。矿脂防蚀膏和矿脂防蚀带中添加有性能优良的缓蚀剂、复合稠化剂等，能够强有力的粘附在钢铁表面，起到优良的、长效的保护作用。

4、**膏和带为有机整体**。矿脂防蚀膏和矿脂防蚀带上含有相同类型的防锈成分，相互之间由于有着共同的化学性质，可以有机的粘结在一起而变为一体。

5、**无需固化等待**。相对于普通涂料固化时间长，施工等待时间长的缺点，PTC技术可连续施工，节省施工时间，降低综合成本。

6、**使用缓冲层**。防蚀保护罩内表面采用密封缓冲层进行包覆，能够减弱甚至防止被包覆的钢结构受到冲击和破坏。

7、**耐冲击性能优良**。防蚀保护罩本身强度大，耐冲击能力强。可承受一般船舶和流冰的碰撞。

8、**制备工艺灵活**。防蚀保护罩材料即可以在工厂中预制成型，也可以根据被保护的基材形状，在现场加工成型。

9、**防止海生物污损**。防蚀保护罩的表面光滑，可以一定程度上阻止海生物的附着，达

到防止海生物污损的目的。

10、**重量轻**。整个复层矿脂包覆防腐系统重量轻，对钢结构物基本不增加额外的载荷力，不影响整体结构的承载能力。

11、**绿色环保**。复层矿脂包覆系列产品无有毒添加剂，对环境绿色友好，不造成任何污染。

3. 复层矿脂包覆防腐技术（PTC）施工工艺

3.1 施工步骤示意图

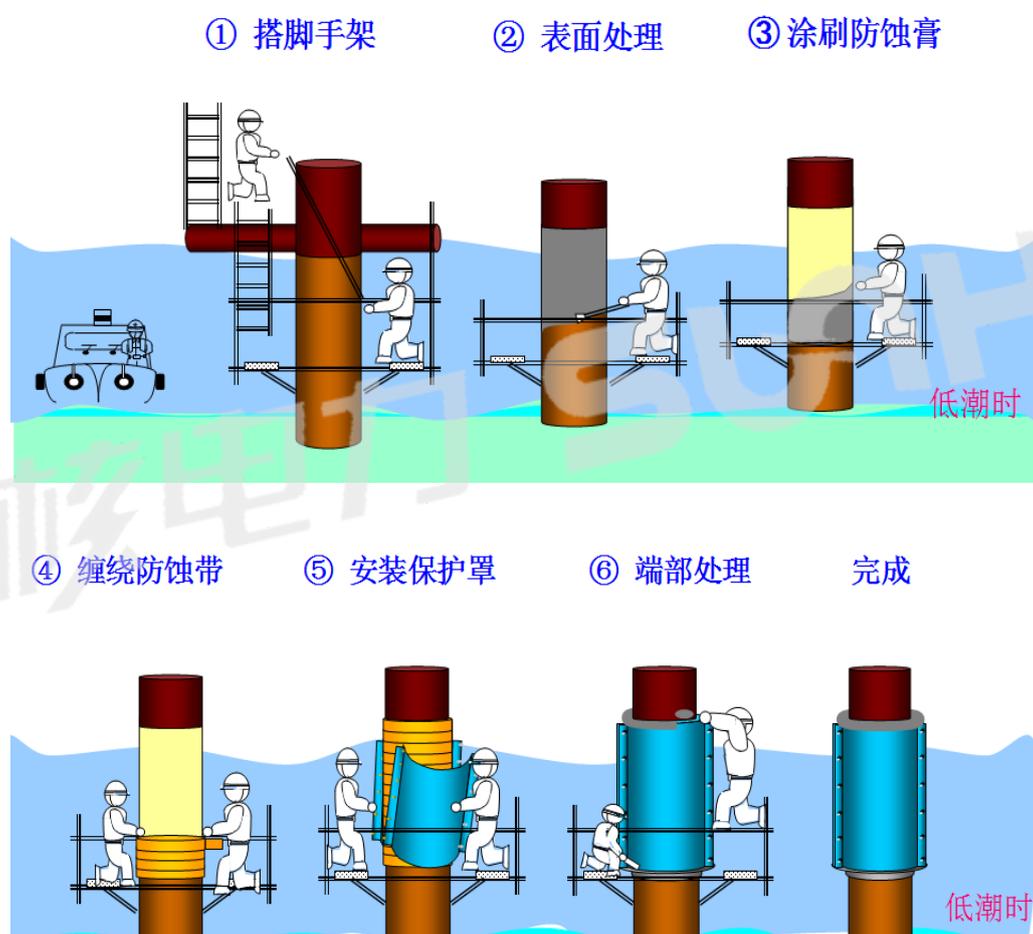


图 3.1 PTC 技术施工工艺示意图

3.2 规则结构施工步骤方框图

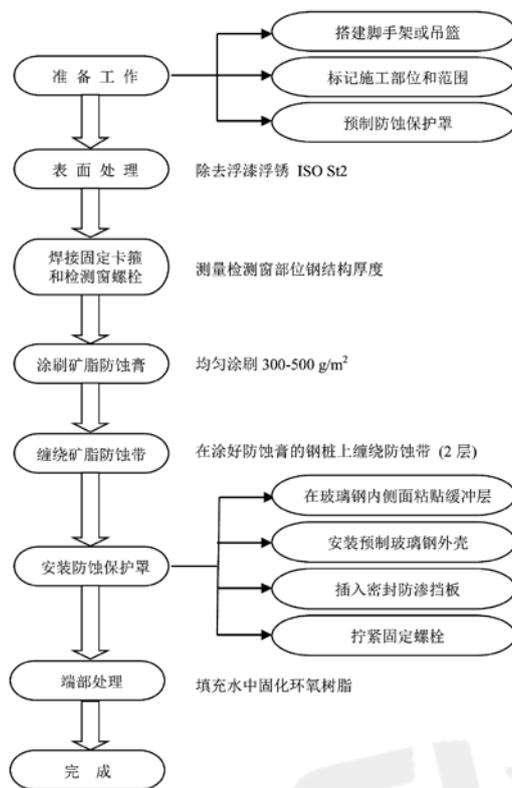


图 3.2 直管结构复层矿脂包覆技术施工流程框图

3.3 不规则结构施工步骤方框图

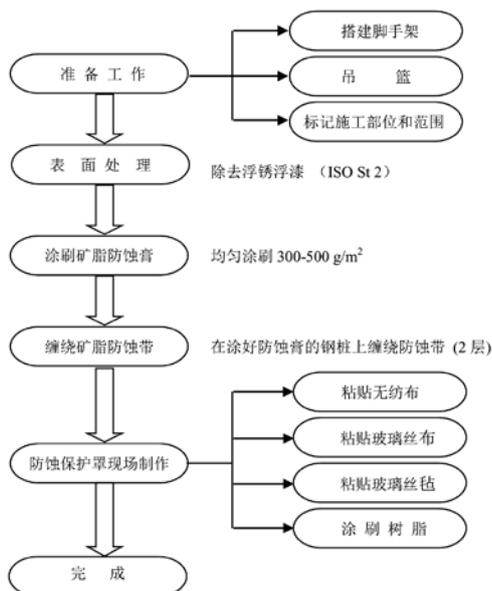


图 3.3 节点结构复层矿脂包覆防腐技术施工流程

3.4 施工设计

- (1) 施工对象确定。收集施工对象具体资料（设计图纸、现场图片等）
- (2) 施工前期准备。施工方案设计，施工图纸绘制，制定材料、准备工具、确定施工范围。



图 3.4 包覆防腐施工方式和部位示意图

注：绿色区域代表预制玻璃钢外壳，蓝色区域代表现场制作玻璃钢外壳

3.5 现场准备

(1) 准备内容。根据施工现场条件与施工位置，设计搭建不同的辅助设施或使用工具，创造施工条件。主要有：①脚手架；②吊篮；③小船；④浮筏；⑤护筒：是一种正在研究中的新方法，通过在钢桩外安装护筒，抽出桶内钢桩外的水，可以延长施工作业时间。

(2) 注意事项。搭建辅助设施要牢固，卡扣上螺丝保证紧固。必须确保施工人员的施工安全。

3.6 现场施工

3.6.1 现场标记

(1) 目的：为方便现场施工，确保施工位置准确，应在施工前在施工对象上做出标记。

(2) 标记：根据设计图纸、设计方案，确定现场施工范围，明确标记出各部位具体施工区域。

3.6.2 钢结构表面处理

(1) 目的：为保证防蚀膏能与钢材表面充分结合，达到最佳的保护效果，必须进行钢材的表面处理。

(2) 处理要求：

- ① 施工区域钢结构表面处理需达到 ISO St2 标准，无明显鼓泡和浮锈。
- ② 潮差区等海生物附着区应尽量除去附着的海生物。
- ③ 表面突出物一般不高于 5mm，不应有锐角。
- ④ 有严重孔蚀发生区域，除锈时务必将铁锈彻底清除到锈孔底部。

(3) 处理方法：

- ① 检查锤敲打鼓泡处，检测在漆膜下是否有锈层。



图 3.5 钢结构表面处理

- ② 用铲刀铲除钢桩表面附着的海生物、锈层、漆皮。
- ③ 用钢丝刷除去钢桩表面浮锈和氧化皮，再用铁砂纸打磨除锈。
- ④ 包覆范围内超过 5mm 的凸起部位，用适当工具磨平或去除，避免影响安装外壳。

3.6.3 涂抹矿脂防蚀膏

(1) 涂抹方法：

① 挤出 20~30g 防蚀膏于手掌中间，在包覆区域横竖抹平，重复 5-10 次，使防蚀膏在钢结构表面均匀分布。

② 如钢结构表面平滑，也可改用刮板进行涂抹。

(2) 防蚀膏用量：

对于光滑表面约 $200\sim 300\text{g}/\text{m}^2$ ；锈蚀特别严重处约 $400\sim 500\text{g}/\text{m}^2$ 。

(3) 施工要求：

- ① 施工时，可以带水作业。在平均海平面附近涂抹防蚀膏时，应选在低潮时进行。
- ② 钢桩表面的坑凹和缝隙处，用防蚀膏填满，突出物的表面也要涂抹一层防蚀膏。
- ③ 确保包覆范围内没有漏涂现象发生，使防蚀膏在钢结构表面均匀分布为完整的一层保护膜。



图 3.6 涂抹矿脂防蚀膏

3.6.4 缠绕矿脂防蚀带

(1) 缠绕方法：

① 进行缠绕时，起始处首先缠两层（重叠），然后采取螺旋状缠绕，每层依次搭接防蚀带本身宽度的 55%，保证每处均有 2 层防蚀带覆盖。

② 缠绕时用适当力将防蚀带拉紧铺平，将里面空气和水分排出，以确保防蚀带能紧贴钢管表面。如果缠绕得不好，可撕开重新缠绕。

③ 两卷防蚀带搭接时，至少要有 150mm 的搭接长度。

(2) 缠绕要求：

① 涂抹完矿脂防蚀膏后进行矿脂防蚀带的包覆，尤其在平均海平面附近，以防止防蚀膏被海水冲刷脱落。

② 缠绕时，应用适当的力拉紧、铺平防蚀带，保证缠绕区域无气泡、褶皱现象出现。

③ 保证包覆区域各处均至少有两层防蚀带。



图 3.7 缠绕矿脂防蚀带



图 3.8 防蚀保护罩安装

3.6.5 防蚀保护罩安装

(1) 安装目的：

保护包覆区域内的防腐层（防蚀膏、防蚀带）不被破坏，以确保长效防腐效果。

(2) 安装方法:

将两片半圆形 FRP 外壳按照标记的施工位置, 放置在钢桩上, 法兰连接处放置 FRP 挡板 (挡板规格: 200mm*2mm), 检查无误后, 用 316L 不锈钢螺栓穿入外壳法兰预留孔内, 紧固。

(3) 安装要求:

① 紧固外壳过程中, 要保证挡板不会出现滑脱、移位, 两片外壳的法兰连接处应充分压在挡板上, 不能露出里面的防蚀带。

② 螺栓要紧固牢固, 在第一次紧固完成一周后, 需要再紧固一次。

3.6.6 密封缓冲层安装

(1) 安装目的: 厚度 10mm 的发泡材料, 可以增强体系的耐冲击性能, 缓冲碰撞力。

(2) 安装方法: 将按照防蚀保护罩大小预制好的密封缓冲层装备在防蚀保护罩内部, 与防蚀保护罩一同现场安装。



图 3.9 密封缓冲层安装

3.6.7 安装护腰 (根据需要设置)

(1) 护腰作用:

如包覆高度过高 (超过 3m), 需要两组 FRP 外壳上下组合包覆, 上下外壳连接后, 中间会留有一定缝隙, 需要用护腰 (材料和 FRP 外壳相同, 宽 75mm, 不需要泡沫衬里) 把缝隙处包覆起来, 这样能阻止海水从缝隙处进入外壳内部, 影响防腐效果。

(2) 安装方法:

① 上下两组 FRP 外壳安装完毕后, 缝隙上下外壳的法兰部位各切除 40mm, 以便护腰法兰能够镶嵌到里面。

② 将两片半圆形护腰覆盖在缝隙处, 位置无误后, 用不锈钢螺栓穿入护腰法兰预留孔内, 紧固。

(3) 安装要求

- ① 护腰要完全覆盖住上下外壳之间缝隙。
- ② 确保护腰法兰处螺栓紧固。
- ③ 为保证美观, 护腰法兰要和上下外壳法兰对齐。

3.6.8 密封处理

(1) 密封目的:

为了防止外壳上、中、下部位和钢管桩之间缝隙处有海水侵入, 需在这些部位填加水固化型环氧树脂密封。

树脂材料: 油泥状水中固化型环氧树脂, 分为 A、B 两组份。

树脂配比: A 组份和 B 组份按照 1:1 比例混合。

(2) 密封方法:

- ① 在手上蘸少量清水，将树脂按照比例用手揉合，颜色均匀时，树脂即已配好。
- ② 将配置好的树脂填满 FRP 外壳上下凹槽处，并向外延 10~20mm，密封防水。
- (3) 密封要求：
 - ① 环氧树脂要配置均匀，配置时需使用淡水配置。
 - ② 环氧树脂填完后外延部分应保持斜面，以利于溅上的海水和雨水的滑落，避免积水。

3.6.9 安装卡箍

- (1) 卡箍目的：
由于 FRP 外壳自身有一定重量，卡箍起承托 FRP 外壳作用，防止 FRP 外壳向下脱落。
- (2) 安装方法：
 - ① 将两片半圆形卡箍安装在外壳底部，确认位置无误后，用螺栓将两片卡箍紧固在外壳上。
 - ② 紧固后采用焊接的方式，将卡箍和钢管桩焊接在一起，确保焊接牢固。

3.6.10 安装保护试片（根据需要设置）

- ① 在试验窗防蚀带上涂抹一层矿物油脂，将试片（一般三个平行样，）竖直平行粘贴在防蚀带上，试片表面再涂抹一层矿物油脂。
- ② 将 140mm×140mm 的防蚀带，粘贴到该组保护试片上。必须覆盖两层，压紧贴实。
- ③ 所有保护试片安装完毕后，安装试验窗口外盖，安上玻璃钢螺丝帽，拧紧固定结实。
- ④ 试验窗口四周孔隙处，涂上水中固化环氧树脂。



3.10 安装保护试片

3.7 验收要求和指标

3.7.1 表面处理检查项目

- (1) 施工区域钢结构表面处理需达到 ISO St2 标准，无明显鼓泡和浮锈。
- (2) 海生物附着区应尽量除去附着海生物，表面突出物不能有锐角，一般不高于 5mm，最大不高于 10mm。
- (3) 有严重孔蚀发生区域，除锈时务必将铁锈彻底清除到锈孔底部。

3.7.2 涂抹防蚀膏检查项目

- (1) 钢桩表面的坑凹和缝隙处应用防蚀膏填满。
- (2) 包覆区域用手（或刮板）将防蚀膏涂抹均匀，不能出现漏涂现象。
- (3) 突出物的表面也应该涂抹一层防蚀膏，使防蚀膏在钢结构表面均匀分布为完整的一层保护膜。

3.7.3 缠绕防蚀带检查项目

- (1) 防蚀带包覆区域，上下两端应用防蚀带完全缠绕一圈（100%搭接），以保证上下两端得以完全束紧。

- (2) 防蚀带包覆，上下搭接不少于 55%。
- (3) 包覆完成后，表面防蚀带不应出现褶皱、鼓泡现象，以免海水侵入,影响防腐效果。

3.7.4 防蚀保护罩安装检查项目

- (1) FRP 外壳在安装前要检查是否有破损。
- (2) 在紧固外壳的过程中，不能出现密封挡板滑脱和移位而露出内部防蚀带。
- (3) 螺栓要在第一次紧固完成一周后再紧固一次。

3.7.5 护腰安装检查项目

- (1) 护腰法兰螺栓要确保紧固。
- (2) 护腰上法兰要与外壳上法兰对齐。
- (3) 护腰与外壳上下缝隙处需要用水中环氧树脂密封。

3.7.6 密封处理检查项目

- (1) 水中环氧树脂要配比均匀，配比时要使用淡水将两组份揉合均匀。
- (2) 要保证缝隙处全部由水中环氧树脂密封，不能遗漏。
- (3) 外壳上部密封时，需保持斜面，避免积水。

3.7.7 安装卡箍检查项目

- (1) 卡箍上沿要与外壳下部紧密贴合。
- (2) 确保卡箍牢固的焊接在钢管桩上。

4. 复层矿脂包覆防腐蚀技术(PTC)工程实例

4.1 国内主要工程业绩单

国内主要工程业绩单

序号	工程名称	时间	业 主
1	胜利油田埕北 CB22 单现役海洋采油平台	2005.09	中石化胜利油田分公司
2	胜利油田埕北 CB273 新建海洋计量平台	2007.08	中石化胜利油田分公司
3	宁波北仑港一期煤码头	2008.05	宁波北仑港
4	毛里塔尼亚友谊港	2008.07	中交集团天津一航局
5	青岛港液体化工码头一期	2008.12	青岛港（集团）有限公司
6	青岛港液体化工码头续建二期	2009.12	青岛港（集团）有限公司
7	湛江港 400#码头	2009.04	湛江港（集团）股份有限公司
8	宁波中化兴中码头	2011.06	中化兴中石油转运有限公司
9	天津港联盟国际码头	2011.06	天津港（集团）有限公司
10	江苏盐城大丰港	2011.09	江苏大丰海港控股集团有限公司
11	丹东华能电厂码头	2013.07	丹东华能电厂
12	江苏龙源风电基础桩防腐	2013.01	龙源风力发电有限公司
13	杭州湾大桥钢桩防腐工程	2013.09	宁波市杭州湾大桥发展有限公司
14	天津中海油有浮式 LNG 项目码头钢防腐工程	2013.10	中国海洋石油总公司

4.2 主要工程照片

4.2.1 青岛港液体化工码头工程钢桩腐蚀修复工程(2008 年)



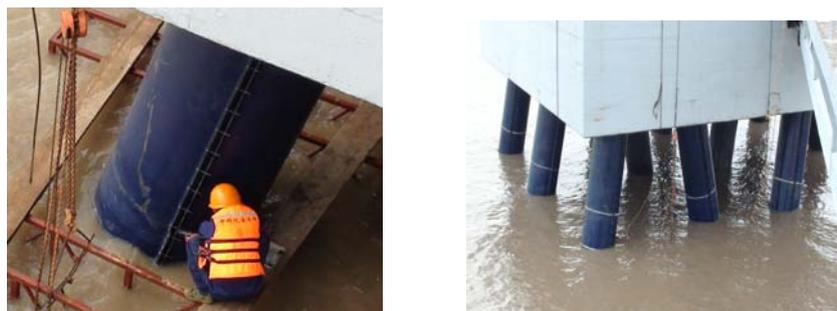
4.2.2 湛江港 400#码头钢桩腐蚀修复工程（2009 年）



4.2.3 江苏盐城大丰港钢桩腐蚀修复工程（2011 年）



4.2.4 宁波中化兴中码头腐蚀修复工程（2011 年）



4.2.5 丹东华能电厂码头腐蚀修复工程 4.2.6 天津中海油浮式LNG项目码头腐蚀修复工程 (2013年)



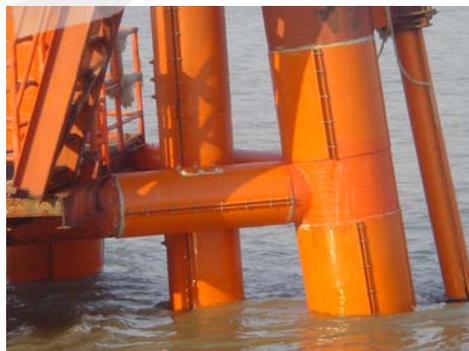
4.2.7 胜利油田 CB22 单井平台异形结构腐蚀修复工程 (2005年)



4.2.8 胜利油田 CB22 单井平台立管及导管架腐蚀修复工程 (2005年)



施工完成后平台状况



施工完成后三年平台状况

4.2.9 中石化 CB273 计量平台腐蚀防护工程 (2007年)



4.2.10 江苏龙源风电基础桩防腐修复工程(2012 年)



4.3 国外应用案例

下表显示了日本仅神奈川县自 1979 至 1989 年十年间对于浪花飞溅区的部分防护案例，最长的保护年限至今已达 35 年，防护效果良好。

日本神奈川县 1979-1989 年间部分应用案例

施工年月	所在地	防护面积 (m ²)	建造物	外壳材料
1979	神奈川县	127	栈桥	FRP (玻璃钢)
1981	神奈川县	315	栈桥	FRP (玻璃钢)
1982	神奈川县	303	栈桥	FRP (玻璃钢)
1983	神奈川县	353	取水口	FRP (玻璃钢)
1986	神奈川县	176	栈桥	FRP (玻璃钢)
1986	神奈川县	676	栈桥	FRP (玻璃钢)
1987	神奈川县	333	钢板	FRP (玻璃钢)
1988	神奈川县	666	钢板	FRP (玻璃钢)
1988	神奈川县	235	栈桥	FRP (玻璃钢)
1989	神奈川县	233	钢板	FRP (玻璃钢)
1989	神奈川县	190	钢板	FRP (玻璃钢)
1989	神奈川县	263	栈桥	FRP (玻璃钢)
1989	神奈川县	233	钢板	FRP (玻璃钢)
1989	神奈川县	229	栈桥	FRP (玻璃钢)
1990	神奈川县	370	栈桥	FRP (玻璃钢)
1990	神奈川县	3804	栈桥	FRP (玻璃钢)
1990	神奈川县	161	钢板	FRP (玻璃钢)
1990	神奈川县	3017	栈桥	FRP (玻璃钢)
1990	神奈川县	384	栈桥	FRP (玻璃钢)
1991	神奈川县	476	栈桥	FRP (玻璃钢)
1992	神奈川县	1719	栈桥	FRP (玻璃钢)
1992	神奈川县	385	取水口	FRP (玻璃钢)
1992	神奈川县	323	栈桥	FRP (玻璃钢)
1993	神奈川县	2393	栈桥	FRP (玻璃钢)

日本大阪大桥腐蚀修复工程



其他腐蚀修复工程



5. 复层矿脂包覆防腐蚀技术(PTC)专利

5.1 国家专利

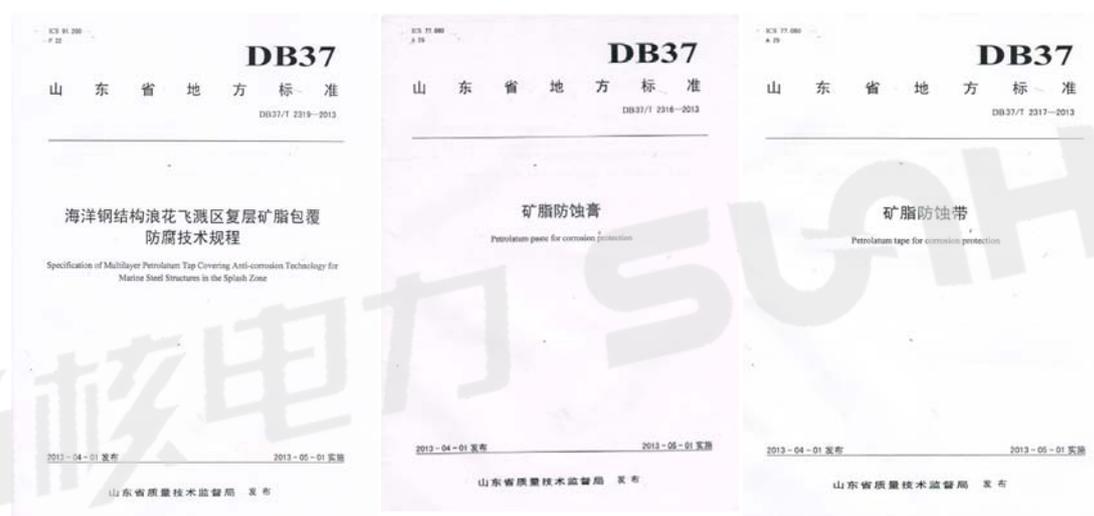
一种海洋钢铁设施防蚀膏 一种海洋钢铁设施防蚀带 钢材的包覆防蚀方法 一种钢铁设施防腐蚀用保护罩



5.2 奖励



5.3 地方标准



6. 小结

技术组成：复层矿脂包覆防腐蚀技术（PTC）由四层紧密相连的保护层组成：矿脂防蚀膏、矿脂防蚀带、密封缓冲层和防蚀保护罩。

技术优势：表面处理要求低；可以带水带锈施工；缓释效果优良；膏和带为有机整体；无需固化等待；使用缓冲层；耐冲击性能优良；制备工艺灵活；防止海生物污损；重量轻；绿色环保。

适用范围：①适用于低潮线下 1 米与高潮线上 2 米的浪花飞溅区和潮差区，可以提供长效保护，是现阶段最佳的浪花飞溅区防护技术。②对于其他恶劣环境中的钢铁设施，如埋地管道等，也可以提供良好的保护。

技术宗旨：主动防腐、科技防腐、绿色防腐、长效防腐。