

浅析石墨烯在防腐涂料中的应用及展望

朱梓睿（合肥工业大学继续教育学院 A-Level 中心，安徽 合肥 230001）

摘要：随着我国工业化进程及材料科学的不断发展，新型材料不断涌现。石墨烯作为新型材料，具有稳定的化学性质，将其应用到涂料中可以起到长效防腐的效果，有效提升涂层的防护作用，因而在防腐涂料领域中逐步应用。本文概述了石墨烯的结构特征和防腐机理，在防腐涂料中的应用情况及存在的问题，分析了石墨烯防腐料的的市场需求情况，国家政策对石墨烯防腐涂料研发与应用的推动情况，并对石墨烯防腐涂料的未来发展予以展望。

关键词：石墨烯；防腐涂料；应用前景

0 引言

石墨烯是世界上最薄又最硬的材料。各国科学家都高度重视对石墨烯的研究，人们公认它是 21 世纪的革命性新材料。石墨烯有十分特殊的结构和优异的性能，所以在防腐涂料应用中有良好的应用前景。

1 石墨烯简述及其结构特征

1.1 石墨烯简述

石墨烯是在自然界中原来就存在的物质，一层一层叠加在一起的石墨烯就是石墨。但是它很难被剥离出单层的结构，直到英国的安德烈·海姆和康斯坦丁·诺沃肖洛夫 2 位科学家，成功用普通胶带纸从石墨中剥离出了单层的石墨烯。所谓石墨烯，其实就是单层原子厚度的石墨——一种碳元素结晶矿物，只不过它的厚度跟一个原子的厚度一样而已。2 位科学家后续不断进行开拓性研究，于 2010 年获得了诺贝尔物理学奖。石墨烯是人类历史上首次得到的只有一层原子的材料，改变了人类对材料微观世界的认知。

1.2 石墨烯的结构特征

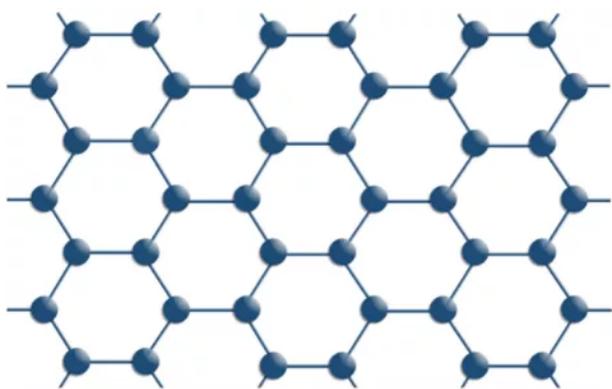


图 1 石墨烯结构

石墨烯是一种二维碳材料，它具有单层原子结构。石墨烯中的碳原子结构为六角形，像一层蜂窝似的薄

膜，厚度为 0.34nm，只有头发丝的万分之一粗细，是目前在科研领域中发现的最薄的纳米材料。图 1 为石墨烯中碳原子的蜂窝状晶体结构。

2 石墨烯防腐涂料

2.1 涂料及石墨烯防腐涂料简介

腐蚀一直是制约各国经济发展的重大问题之一，涉及基础设施、交通工具、军事装备等各方面。实践已经证明，采用涂料对金属进行腐蚀防护是最有效、最经济、应用最普遍的方法。涂料是一种涂于物体表面，起到保护基材、增加美感以及其他特殊作用的物质，它主要由颜料、树脂、溶剂、助剂等构成。

现有的研究结果已经证明，石墨烯的化学稳定性高、比表面积超大且阻隔性优良、导电性较强。在以环氧树脂为成膜物质的防腐涂料中，添加一定比例的石墨烯，制备而成的石墨烯防腐涂料，有效提升了防腐涂料的综合性能，增强了涂层的附着力和涂料的耐磨性、防腐性，并且没有二次污染，环保安全。

2.2 石墨烯防腐机理分析

2.2.1 有良好的物理阻隔作用

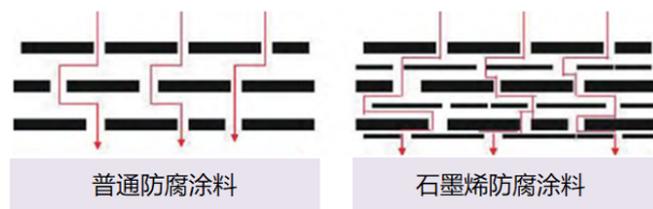


图 2

石墨烯的单原子片层结构交错排列，层层叠加。将经过分散的石墨烯材料加入到涂料中，就可以在涂料中一层层的叠加起来，填充涂料中的空隙，涂层的紧密性被增强了，从而能够抑制腐蚀介质的渗透和扩散，涂层的物理阻隔性被大大提升。经喷涂后，涂料

内部的气泡与裂纹无法再继续扩展,阻碍腐蚀介质的扩散,从而有效减缓金属基体的腐蚀速度。从图2可以看出普通防腐涂料与石墨烯防腐涂料的区别。

2.2.2 有良好的耐磨特性

在实际应用中,我们经常看到,使用普通防腐涂料作为涂层的基材很容易产生划痕,降低了工件的使用寿命。而石墨烯具有密集的网状结构,在防腐涂料中加入石墨烯后,能增加涂料的韧性和硬度,成倍的增加了其耐摩擦性能,从而延长了基材的使用寿命。石墨烯还具有超大的比表面积,散热能力极强,可以快速转移摩擦热能,防止涂层因摩擦生热而分解,也增强了涂层的耐磨性。

2.2.3 有良好的疏水效果

在高湿高热的环境下,为了降低腐蚀,通常在防腐涂料中要加入一些油性物质,以增强耐水性,易对环境造成污染。由于石墨烯与水之间存在较大的接触角,因此可以起到良好的疏水效果,能够有效阻止环境中的水分、氯离子及氧的通过,从而阻止氧化反应的生成,对基底材料起到较好防腐的作用。

2.2.4 降低电化学腐蚀速率

电化学腐蚀是导致金属腐蚀的最常见的原因之一。石墨烯是由碳原子组成的六角形结构,碳原子之间的距离仅0.412nm,所以具有极强的导电性,其导电性是铜的100倍。喷涂了石墨烯涂料的金属基材在发生腐蚀时,可能会形成原电池。在该电池中,金属作为阳极发生氧化反应,产生自由电子。由于石墨烯具有高度紧密的结构和优异的导电性,产生的自由电子可以通过石墨烯形成的电通道迅速传递出去,从而降低了基材表面的自由电子,减缓了阳极反应的速率。因此,喷涂石墨烯涂料的金属基材具有良好的防腐性能。

2.3 石墨烯防腐涂料的制备方法

环氧树脂是常见的工业涂料主要成分之一,目前广泛的应用于防腐涂料之中,它粘附力较强,耐腐蚀性能优秀,成膜性好,又有较低的固化收缩率。石墨烯是一种纳米添加剂,将一定比例的石墨烯与环氧树脂结合,就可以制备出石墨烯复合防腐涂料,用于防腐实际应用。这也是现阶段制备石墨烯防腐涂料最简单有效、最常用、成本最低的方法。

3 石墨烯防腐涂料的市场潜力

3.1 腐蚀造成了巨大的经济损失

腐蚀是制约各国经济发展的重大问题之一。据

统计,全球每年因腐蚀造成的经济损失约占GDP的3%,全球每年因腐蚀造成的金属损失量高达全年金属产量的20%~40%,直接经济损失约7000亿~10000亿美元,涉及军事装备、交通工具、基础设施等各方面。2021年美国因腐蚀造成的经济损失达4800多亿美元。我国每年因为腐蚀所造成的经济损失,约占国民生产总值的5%左右,2021年我国因腐蚀造成的经济损失高达6800万人民币。因金属腐蚀事故引起的停产、停电带来的间接损失更是无法计算。腐蚀在给经济造成巨大的损失的同时,也给环境带来了巨大的污染,还浪费了大量能源。

3.2 工业防护涂料的市场情况

目前,采用工业涂料对金属等表面进行喷涂,是应用最普遍的防护腐蚀方法。从工业涂料分类来看,主要可分为工业防护涂料、车用涂料、工业木器涂料、粉末涂料等。2020年,中国工业防护涂料产量达到1110万t,占整个工业涂料产量的比重为59%。

2020年中国工业涂料分类型产量结构

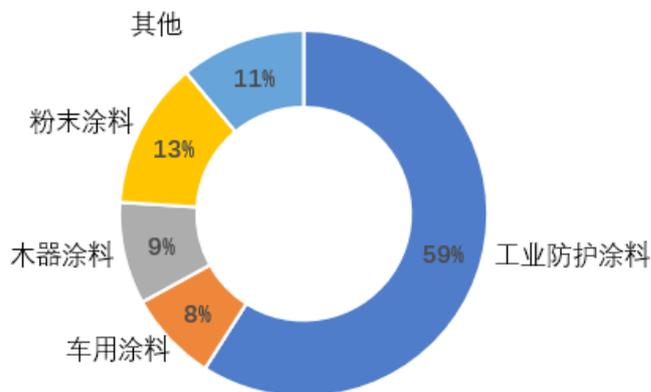


图3

工业防护涂料的主要作用就是防腐,主要应用在建筑钢结构、工程机械、船舶、集装箱、电力水利工程等方面,有巨大的市场需求。据市场研究机构Global Market Insights报告数据显示,全球防腐蚀涂料市场规模到2024年将达到202.1亿美元,年复合增长率约5%。

3.3 全球石墨烯防腐涂料研究现状

由于石墨烯防腐涂料具有重量轻、寿命长、导电性及导热性更佳等优点,能够克服化工重污染气体、复杂海洋环境等苛刻条件,成为世界各国竞相研发的重点。如欧盟2013年启动了石墨烯旗舰计划,并在

2014年发布的石墨烯旗舰计划路线图中,将“面向高性能、轻质技术应用的功能涂层和界面”列为13个重点研发领域之一;2011年英国在《促进增长的创新与发展战略》中把石墨烯列为未来四大重点发展方向之一,耗资3800万英镑依托曼彻斯特大学建设国家级的石墨烯研究院,并将石墨烯涂料列为研究重点;美国国家纳米技术计划统筹联邦研发资源,从基础研究到商业应用,系统地推进石墨烯涂料研发与产业化。现阶段,我国石墨烯防腐涂料行业还处于市场导入期,产品尚未成熟,行业利润率较低,但市场增长率较高。

4 国家对石墨烯防腐涂料应用研究的政策推动

因为石墨烯防腐涂料巨大的市场应用潜力,我国国家层面也加强了对石墨烯涂料发展的引导。2017年1月,工业和信息化部印发《新材料产业发展指南》,提出发展前沿新材料,其中石墨烯作为发展重点之一,要求围绕防腐涂料等应用领域,重点发展利用石墨烯改性的功能涂料;2020年12月,由中国工程院、国家制造强国建设战略咨询委员会编制修订的新版《中国制造业重点领域技术创新绿皮书——技术路线图(2019)》发布,其中提出推动石墨烯在防腐涂料等领域规模化应用,实现石墨烯在高品质防腐涂料等核心技术突破及规模化应用,以及石墨烯等新型涂层材料在电工产业的应用;《中国制造2025》石墨烯材料技术路线图提出,要将海洋工程等用石墨烯基防腐涂料较传统防腐涂料寿命增长一倍以上并实现规模化应用,产业规模超百亿元。

5 石墨烯防腐涂料在应用中存在的问题分析

石墨烯防腐涂料具有良好的耐腐蚀作用,能进一步提高漆膜的附着力和硬度,增加抗渗透能力,且物理结构和化学性质十分稳定,又有极强的导电导热能力,在防腐涂料应用中有巨大的潜力,但仍存在一些需要解决的问题。

①石墨烯薄膜在基材上的附着力较弱,随着时间的推移可能会降低其性能或是从基材表面脱落,如何增加其附着力亟待研究解决;

②因为石墨烯自身的物理及化学特性,很难均匀分散在常见的涂料溶剂中。所以石墨烯涂料与其他防腐涂料相比,制备的工艺效率较低,制备的经济成本较高,现阶段只能在一定范围内使用,还难以实现大规模的生产和应用。

6 结语

石墨烯作为一种新的纳米功能性材料,有其优秀

的物理结构和稳定的化学性能,随着科技的不断发展,它的应用前景必定越来越广阔。

现阶段,石墨烯在防腐涂料领域的应用才刚刚起步。未来石墨烯防腐涂料可以在以下几个方向加强研究:一是,在石墨烯防腐涂料的制备工艺上不断优化;二是,在保持石墨烯稳定性的同时,又提高其在涂料中的分散性;三是,降低石墨烯防腐涂料的生产成本,提高经济效益。

随着科学家对石墨烯的研究不断深入,及国家政策对新型材料发展的引导,石墨烯在防腐涂料中的应用必将越来越广泛,推动涂料产业的新一轮发展。

参考文献:

- [1] 周忠伟,张建雄,金少波,等.石墨烯在防腐涂料中的应用及性能研究[J].涂层与防护,2022(11):60-64.
- [2] 李念伟.石墨烯在涂料领域中的应用探析[J].科技创新与应用,2016(20):133-134.
- [3] 李江江,汪杰,丁立群,等.石墨烯防腐涂料在水利水电工程环境中的性能研究[J].合成材料老化与应用,2022(1):13-15.
- [4] 张陆.石墨烯及其在防腐涂料中的应用研究[J].当代化工研究,2018(4):103-104.
- [5] 孙梦焱,燕晓宇,刘晓杰,等.石墨烯应用于防腐涂料中的研究进展[J].染料与染色,2022(8):48-49.
- [6] 姜培亮,王媛.石墨烯在防腐防污涂料中的应用[J].皮革制作与环保科技,2021(4):184-185.
- [7] 李飞,张涵.石墨烯在防腐涂料中的应用分析及展望[J].当代化工研究,2022(2):41-43.
- [8] 王清海,王秀娟,方健君,等.石墨烯在涂料中的应用[J].涂料技术与文摘,2016(9):14-16.
- [9] 于运歌,欧耀明,沈国康,等.石墨烯复合防腐涂料的研究现状与进展[J].化工新型材料,2019(9):220-223.
- [10] 涂料工艺编委会.涂料工艺[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [11] 布赖恩·克莱格.石墨烯:改变世界的超级材料[M].重庆:重庆大学出版社,2020.
- [12] 尚玉.石墨烯及其复合材料的制备与性能[M].北京:中国石化出版社,2022.

作者简介:

朱梓睿(2006-),男,汉族,安徽合肥人,研究方向:浅析石墨烯在防腐涂料中的应用及展望。