

可溶性聚苯胺类缓蚀剂的研究进展

刘 芳¹, 卢 勇^{2*}, 郑艳萍¹, 赵国虎¹

(1. 兰州城市学院 化学化工学院, 兰州 730070; 2. 兰州理工大学 石油化工学院, 兰州 730050)

摘要:聚苯胺在防腐蚀领域有很广泛的应用, 聚苯胺的特殊结构使得其在水系中的溶解性较差, 因此其作为缓蚀剂的应用受到了限制。本文综述了通过改进聚苯胺水溶性并将其用做缓蚀剂的应用研究进展, 介绍了聚苯胺提供缓释保护的机理, 并综述了聚苯胺同壳聚糖、纤维素的复合后在防腐蚀中的应用。

关键词:聚苯胺; 缓蚀剂; 水溶性; 壳聚糖; 纤维素

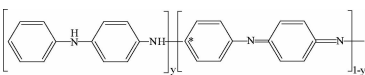
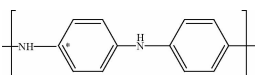
引言

缓蚀剂技术被广泛应用于金属材料的防腐蚀保护。少量缓蚀剂加入到腐蚀环境介质中就能显著地降低金属的腐蚀速率, 其低使用量、高效又简便的优势, 使得缓蚀剂的研发和应用引起广大防腐蚀人员的关注。缓蚀效率高的缓蚀剂能够显著降低金属腐蚀速率, 延长设备使用寿命, 有效避免设备因腐蚀破坏引起的安全事故, 防止造成环保问题和重大经济损失, 具有重要的意义的。

无机缓蚀剂如铬酸盐、磷酸盐、钼酸盐等因其对环境的破坏和人们健康的危害, 逐渐被有机缓蚀剂所取代, 有机物分子中常含有 $=NH$ 、 $-N=N-$ 、 $-CHO$ 、 $R-OH$ 、 $R=R$ 、芳环等官能团的有机物常被用于缓蚀剂开发研究^[1]。高分子化合物作为缓蚀剂, 与低分子化合物相比, 具有吸附活性中心更多、在被保护基底的吸附覆盖面积大、容易形成单层或多层致密的保护膜、缓蚀保护能力更持久等优势, 成为缓蚀剂研究领域中的趋势之一^[2]。新型高分子材料聚苯胺(PANI)分子结构中 N 原子和芳环, 其合成容易、成本低廉、具有耐划伤和耐点蚀性能已成为最有应用价值的聚合物材料之一, 广泛应用于防腐防护领域^[3,4], 而深受人们的广泛关注。而聚苯胺高分子链之间存在氢键、 $\pi-\pi$ 作用力, 分子间作用力强, 使得其溶解性较差, 尤其是在水中的溶解性差, 只能溶于如甲基吡咯烷酮, 二甲基甲酰胺等少数有机溶剂中, 限制了其作为水系缓蚀剂在金属防腐蚀中的应用效果。

随着绿色、环保理念的深入, 人们对水溶性聚苯胺的研发和聚苯胺涂层防腐蚀产生了很浓的兴趣, 不断改进聚苯胺合成方法和合成工艺, 水溶性聚苯胺缓蚀剂的应用已成为可能。也随着现代检测设备的快速发展和量子化学计算及分子动力学模拟方法在缓蚀剂机理方面的研究^[5], 人们对于缓蚀剂的性能和机理有了更深一步的了解。本文重点对各类水溶性聚苯胺类缓蚀剂在防腐方面的应用进展进行概述, 以及聚苯胺同高分子进行复合后用做缓蚀剂的研究进展进行概述, 对于聚苯胺在防腐涂层的应用不做介绍。

1 聚苯胺的结构

聚苯胺的结构式为:  由还原单元  和氧化单元

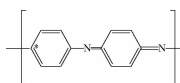
10.14028/j.cnki.1003-3726.2018.07.003

收稿: 2017-08-18; 修回: 2018-03-28;

基金项目: 兰州城市学院青年教师科研资助项目(LZCU-QN2017-18);

作者简介: 刘芳(1987-), 女, 甘肃人, 硕士, 实验师, 主要研究方向为功能材料。Tel: 13893427219, E-mail: liufangq@163.com;

* 通讯联系人, E-mail: luyong19850627@163.com.



构成,当 $y=0$ 时,为全氧化态聚苯胺(permigranline base PB);当 $y=1$ 时,为完全还原的全苯式结构,对应还原态(leucoemeraldine base LEB),当 $y=0.5$ 时为苯-醌交替结构,对应于氧化态聚苯胺(emgraniline base EB),也称为本征态聚苯胺,各态之间可以相互转化。

2 聚苯胺的缓蚀机理

1985 年,Deberry^[6] 在不锈钢表面用电化学方法聚合一层聚苯胺,发现其能使不锈钢在硫酸溶液中的腐蚀速率显著降低。导电聚苯胺对金属腐蚀防护的应用和机理被广泛关注。人们对聚苯胺的防腐蚀机理有了不同的看法,主要有钝化作用^[7]、屏蔽作用^[8]和缓蚀作用。

聚苯胺作为缓蚀剂时,其缓蚀机理主要是由于聚苯胺的高分子结构中,含有电负性较大 N 极性基团,N 元素中含有孤对电子,当金属表面存在空的 d 轨道时,极性基团中心 N 原子的孤对电子可以与金属元素的 d 轨道(如 Fe 的 d 轨道)形成配位键,聚苯胺分子就会吸附在金属表面形成一层吸附层,使金属腐蚀速率降低,从而起到缓蚀保护的作用^[9,10]。

此外,有研究人员提出另一种观点,通过掺杂能把一些与铁离子形成不溶复合物的酸根离子或具有缓蚀作用的功能酸引入到聚苯胺分子结构中,防腐作用主要是功能酸起缓蚀作用,制备出拥有特殊防腐官能团的新型材料,可在一定程度上提高聚苯胺涂层的耐蚀性能^[11,12]。

3 水溶性聚苯胺类缓蚀剂

PANI 的分子结构是一种“苯-醌”交替的氧化单元和“苯-苯”交替的还原单元头尾相接的线性结构,聚苯胺链间强的氢键作用、 π - π 相互作用使得它在大多数溶剂中的溶解性极差,相应的可加工性也差,科研人员通过对聚苯胺进行掺杂、改性等方式,以提高它在水中的溶解性。聚苯胺作为缓蚀剂应用时,常用化学氧化聚合法制备,在酸性溶液中,加入氧化剂和苯胺单体,发生聚合反应。

3.1 酸掺杂聚苯胺

聚苯胺具有独特的掺杂机制,掺杂能提高聚苯胺的水溶性,可以为其作为缓蚀剂在防腐领域带来新的提高^[13]。已有大量文献报道无机酸^[14,15](如 HCl、 H_3PO_4 、 H_2SO_4)、有机酸(如十二烷基苯磺酸、酒石酸、柠檬酸、邻氨基苯甲酸^[16~18])掺杂聚苯胺对碳钢缓蚀性能研究,而小分子酸容易脱掺杂^[19],大分子或聚合物酸掺杂的聚苯胺更稳定,利用高分子酸掺杂合成 PANI 是解决其溶解性的一个突破性进展。在高分水溶液的水溶液中使苯胺及其衍生物发生聚合的方法也称为聚合酸接枝法,该方法可通过改变反应体系的温度、浓度及组分得到水溶性的聚苯胺/高分子酸的复合物。

吕文静等^[20]以聚苯乙烯磺酸(PSSA)为掺杂酸,以过硫酸铵为氧化剂,在水相中乳液聚合制备出了水溶性良好的 PSSA 掺杂态聚苯胺。采用红外光谱、X 射线光电子能谱(XPS)等手段对其结构及掺杂状态进行了表征,并利用电化学阻抗技术分析水溶性聚苯胺在酸性 NaCl 溶液中对 20 # 钢的缓蚀性能。结果表明,PSSA 的掺杂不仅可以提高聚苯胺电导率,同时未反应的 PSSA 还会使聚苯胺水溶液更稳定,水溶性聚苯胺在 NaCl 腐蚀介质中对 20 # 钢具有较好的缓蚀性能,缓蚀率达 80% 以上。

Syed 等^[21]将聚丙烯酸溶解于 HCl 溶液,并加入过硫酸铵氧化剂,与苯胺单体进行化学氧化聚合反应,制备了水溶性聚苯胺-丙烯酸复合材料,考察了其在 0.5M HCl 溶液中对 316SS 的缓蚀能力,在最优浓度 200ppm 时,其缓蚀效率达到 91.6%,聚丙烯酸复合不仅提高了聚苯胺水溶性,同时也限制了聚苯胺的团聚。

3.2 水溶性高分子/聚苯胺基缓蚀剂

利用水溶性高分子如聚乙烯醇、聚丙烯酰胺、聚乙烯基吡咯烷酮等可以通过分散聚合方法合成水溶性分散体系的聚苯胺乳胶粒子^[22],马骏等^[23]通过分散聚合方法制备水溶性聚苯胺纳米粒子,将氧化剂和

酸加入到聚乙烯基吡咯烷酮(PVP)、苯胺水溶液中聚合,PVP 溶于水后在水中形成乳胶粒包覆在苯胺微小液之外,聚苯胺就在 PVP 乳胶粒中形成。通过调节 PVP 与水的质量比,即可得到不同粒径的聚苯胺纳米粒子。用电子扫描电镜和激光粒度仪观察所得聚苯胺纳米粒子的结构和粒径分布,发现聚苯胺纳米粒子多为无定型颗粒和球型颗粒,且有部分颗粒聚集在一起,试验所制聚苯胺纳米粒子在盐酸洗液中静置 7d 后,没有明显沉淀析出。聚苯胺粒子水溶液中的粒径分布为 122~255nm,主要集中于 190nm,粒径较小且为均一,已近似达到纳米尺度(粒径在 100nm 以下)。聚苯胺纳米粒子在 1M HCl 溶液中,当缓蚀剂的质量浓度为 0.5g/L 时,缓蚀率达到 95.6%。Karthikaiselvi 等^[24]用化学氧化聚合法制备水溶性聚(乙烯基吡咯烷酮-甲基苯胺)复合材料,用失重法和电化学阻抗和动电位极化法考察研究其在 1.0M HCl 中对低碳钢的缓蚀保护作用,动点位极化测试,在最高浓度 2000ppm 时,缓蚀效率为 87.34%,失重法计算最大缓蚀效率为 87.01%。

用($M_w=12000$)的聚乙烯醇与苯胺在草酸和过硫酸铵氧化剂下化学氧化聚合得聚(乙烯醇-苯胺)复合材料在 1.0M HCl 中对低碳钢的缓蚀保护作用,在最高试验浓度为 2000ppm 时,浸泡 12h 失重法测得有 90.1%的缓蚀效率,与电化学测定结果相一致,电化学测定为 91.63%。随浸泡时间延长至 24h,缓蚀效率有所下降,降到 83%,在 303K~343K 温度范围内测试时,缓蚀效率随测试温度的变化而变化,在 323K 时缓蚀效率最高^[25]。作者研究团队用同样方法合成了水溶性的聚(乙烯醇-对甲氧基苯胺)复合材料,并在 1MHCl 介质中,用失重法、电化学极化和电化学阻抗研究,失重法测得缓蚀效率,最高试验浓度 2000ppm 复合材料在浸泡 3h 时,缓蚀效率达到 97.2%;浸泡 24h 时,降到 92.2%,与电化学测定结果相一致^[26]。

3.3 苯胺衍生物聚合制备缓蚀剂

在其苯环或氨基氮原子引入亲水性的磺酸基、羧基、羟基则可使聚苯胺溶解性大幅提高。由苯胺衍生物单体经化学氧化聚合而得,反应条件和聚苯胺的合成相似,得到的高聚物类似聚苯胺的头尾相连的结构。聚苯胺衍生物还可以提高相对分子质量和分子尺寸,有利于提高其在金属表面的覆盖率,提高缓蚀效率。水溶性聚苯胺衍生物做缓蚀剂的研究较多。

Jeyaprabha 等^[27]在 0.5M H_2SO_4 腐蚀介质中,用动电位极化、线性极化和电化学阻抗谱等电化学技术考察聚二苯胺和二苯胺单体对铁的缓蚀效率,当聚二苯基胺浓度为 10ppm 时,对铁的缓蚀效率达 96%,而单体二苯胺在 1000ppm 时,缓蚀效率仅为 75%。作者还用苯醌与邻苯二胺在一定条件下反应得到聚胺醌(PAQ),在 0.5M H_2SO_4 腐蚀介质中,用同样电化学技术考察了对铁的缓蚀效率,当浓度为 100ppm 时,缓蚀效率可达 90%,而单体对苯二胺在 1000ppm 时,有 80%的缓蚀效率^[28]。作者还合成了水溶性聚对苯二胺,并在 1M HCl 介质中对铁的缓释保护行为进行了研究,浓度为 50ppm 时,缓蚀效率为 85%,而单体在 5000ppm 时,缓蚀效率只有 72.6%^[29]。

Rehim 等^[30]合成了聚邻苯二胺,并在 0.5、1.0、1.5、2.0M HCl 溶液中对低碳钢的缓蚀性能进行了研究,缓蚀剂浓度为 2.5~15ppm,试验温度在 25~40℃之间,用失重法计算缓蚀效率,结果表明随酸浓度增加,腐蚀速率增大。缓蚀剂缓蚀效率随其浓度增大,而随试验温度下降。用极化曲线计算缓蚀效率,缓蚀剂在最低试验温度和最高浓度时,缓蚀效率高达 95%。

Shukla 等^[31]在酸和三种不同氧化剂($KMnO_4$ 、 $(NH_4)_2S_2O_8$ 和 H_2O_2)存在下,氨基苯甲酸聚合合成聚氨基苯甲酸,并在 0.5M HCl 中溶解不同浓度后,观察溶液沉淀情况,判断溶解性高低,用过硫酸铵氧化得到的聚氨基苯甲酸最大溶解浓度为 100mg/L,以其为研究对象,在 0.5M HCl 腐蚀介质中考察了其其对低碳钢的保护性能,在 30℃浸泡 3h 后,用失重法计算缓蚀效率,单体氨基苯甲酸 1000mg/L 时,缓蚀效率仅为 35.8%,而当聚氨基苯甲酸浓度为 60mg/L 时,对低碳钢的缓蚀效率约为 92%,与电化学测定数据相符。

3.4 苯胺低聚物

苯胺低聚体物的化学结构、导电性与聚苯胺相似,降低聚苯胺的相对分子质量,可以降低聚苯胺高分

子链间的作用力与缠绕程度,提高其溶解性。Yadav 等^[32]在 0.1M HCl 介质中,考察了寡聚苯胺对低碳钢的缓释性能,寡聚苯胺相对于聚苯胺而言,在常规溶剂中有更好的溶解性,其缓蚀效率取决于链长和官能团位置,寡聚苯胺对低碳钢有很好的保护作用,当含量为 200mg/L 时,缓蚀效率高达 97.1%,远远高于苯胺单体的 57%。

赵红冉等^[33]用对苯二胺硫酸盐和苯胺在酸溶液,用过硫酸铵作氧化剂合成了苯胺三聚体,并在 1MHCl 溶液中对碳钢的缓蚀性能进行了考察,通过动电位极化测试,测试数据拟合计算缓蚀效率,当含量为 100mg/L 时,其缓蚀效率高达 92%。

与相对分子质量聚苯胺不同,苯胺低聚体主要抑制阳极腐蚀,其缓蚀效率主要取决于低聚体分子链的长度与低聚体上官能团的位置。

3.5 苯胺与其它物质共聚

苯胺与其它苯胺衍生物共聚可以打乱聚苯胺高分子链的有序性,削弱分子间的作用力,提高其溶解性^[34],Benchikh 等^[35]用化学氧化法合成了苯胺/邻甲苯胺共聚物,与聚苯胺和聚邻甲苯胺溶解性试验表明,共聚物在常规的溶剂中是可溶的,如丙酮、乙醇、三氯甲烷、二甲基亚砜,而单一聚合物在这些溶剂中溶解性相对较差,并对三者在 3%NaCl 溶液中低碳钢的缓蚀性能进行了对比,动电位极化测定缓蚀效率,浓度为 100ppm 时,最优缓蚀效率为 70%。Shi 等^[36]用苯胺与邻-氨基苯甲酸共聚,得到聚(苯胺/邻氨基苯甲酸),动电位极化和电化学阻抗技术,失重法考察了水溶性缓蚀剂在 1M HCl 溶液中对低碳钢的缓释保护,浸泡 8h,失重法计算缓蚀效率,聚苯胺/邻氨基苯甲酸在试验最高浓度 20ppm 时,用动电位极化数据计算缓蚀效率为 77.8%。

苯胺与甲醛反应合成聚(苯胺-甲醛)聚合物,在 1.0M HCl 腐蚀介质中,当浓度为 10 ppm 时,对低碳钢的缓蚀效率约为 94%(失重法)^[37]。

3.6 其它聚苯胺类缓蚀剂

Yao 等^[38]通过界面聚合法,将苯胺溶解于氯仿中,而将氧化剂和酸溶于水中,缓慢将氯仿与水加入到一起,在有机相和水的界面发生聚合反应,得到了平均直径为 30~60nm,长度为 200~400nm 的聚苯胺纳米纤维,其在乙醇中有很好的溶解性,将其涂覆与碳钢表面与聚合聚苯胺缓释性能进行对比,聚苯胺纳米纤维较聚合的有更好的防腐性能,用拉曼光谱分析钝化层的化学结构,表征结果表明在碳钢表面附着钝化层由 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 和 Fe_3O_4 组成。

在非离子表面活性剂形成胶束作用下,可以提高聚苯胺在水中的溶解性^[39~41],在线性胶束体系下,通过化学氧化或催化等使苯胺聚合得到水溶性聚苯胺,其机理模拟如下图所示。

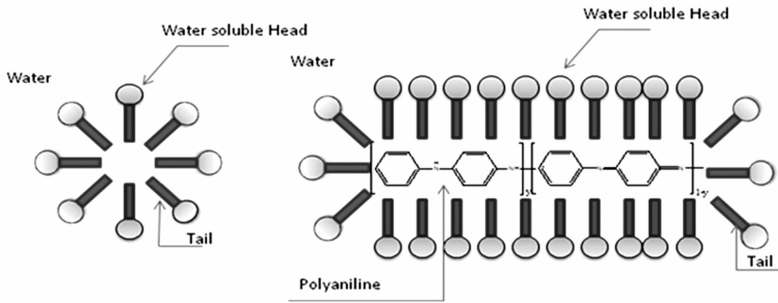


图 1 胶束中形成聚苯胺示意图
Figure 1 Schematic representation of micelle formation in polyaniline dispersion

Brinis 等^[42]在酸性条件下,用化学氧化聚合法合成聚苯胺。当将少量聚苯胺加入到有十八醇聚氧乙烯醚非离子表面活性剂和樟脑磺酸的水中,搅拌,发现聚苯胺溶解性增加,两天后,聚苯胺分散稳定,是单一的相,无沉淀物质,脂肪醇聚氧乙烯醚、脂肪酸聚氧乙烯醚、烷基酚聚氧乙烯醚和聚氧乙烯醚脂肪胺等

非离子型表面活性剂也可以用于制备水溶性聚苯胺。在 41℃, pH 为 8.7 的工业冷却水中考察其对碳钢的缓释性能, 当浓度为 50mg/L 时, 其缓蚀效率达到 80%。

4 苯胺与壳聚糖, 纤维素复合的防腐蚀研究

壳聚糖(CTS)是一种可从甲壳类动物的外壳中提取的天然高分子产物, 具有环境友好、来源范围广、价格低廉、生物降解性好等优良特点, 其作为缓释剂也被研究^[43]。

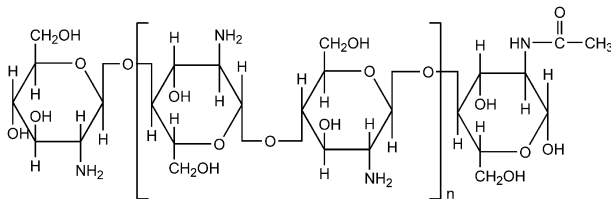


图 2 壳聚糖结构式

Figure 2 The structure of chitosan

从壳聚糖的分子结构看, 壳聚糖的糖残基上有 3 种活性官能团——伯羟基(C6-OH)、仲羟基(C3-OH)和伯氨基(C2-NH₂), 可以在金属表面形成保护膜。壳聚糖的分子量一般在几十万到几百万不等, 不同分子量的壳聚糖, 其性质也会截然不同。而这 3 种官能团含有活泼氢和孤电子对, 因此也可以使壳聚糖发生多种改性反应, 生成不同性质的衍生物, 也有通过氧化降解或酶降解等方法可制得分子量为几百到几千的低分子量壳聚糖, 称为降解壳聚糖或者壳寡糖^[44], 可弥补壳聚糖不易溶于腐蚀介质的缺点。此外, 也有将亲水性基团引入到壳聚糖分子链上, 可得到不同结构的水溶性壳聚糖的衍生物^[45~47]。

采用化学氧化法制备了壳聚糖、羧甲基壳聚糖 CMC 和羟丙基壳聚糖(HPCS)掺杂聚苯胺, 用腐蚀试验和电化学测试研究了掺杂态聚苯胺对 Q235 钢在 0.5M HCl 溶液中的缓蚀性能, 结果表明, 掺杂后缓蚀效率远大于本征态聚苯胺, 缓蚀效率随浓度增大而增强, 50mg/L 时缓蚀效率最好, 当缓蚀剂的质量浓度超过 50mg/L 后, 缓蚀剂在碳钢表面形成的吸附膜会与腐蚀产物中的 Fe²⁺ 或 Fe³⁺ 发生螯合作用, 并在重力的作用下从碳钢机体上脱落, 导致碳钢机体裸露在环境中^[48], HPCS-PANI 主要由于亲水基团促溶, 在低含量下能迅速吸附达到稳定的缓蚀效果。CMC-PANI 由于同时具有亲水基团—COOH 与提供配位电子的—NH₂, 表现出明显的吸附膜型缓蚀剂特性, 最高缓蚀率达到了 90.8%。缓蚀率由高到低依次为 CMC-PANI>HPCS-PANI>CTS-PANI>PANI, 最高缓蚀率为 91.9%。掺杂态聚苯胺的缓蚀性能优于本征态聚苯胺的, 其原因是除了大分子壳聚糖衍生物通过范德华力进行物理吸附外, 还发生了化学吸附。其中, HPCS-PANI 在壳聚糖分子链单元葡萄糖胺基 C6-O 上引入羟丙基, 使葡萄糖胺基上增加一个—OH, 进一步改善了壳聚糖亲水性, 使 HPCS-PANI 的缓蚀性能优于 CTS-PANI 的。CMC-PANI 同时具有亲水基团—COOH 与提供配位电子的—NH₂, 使 CMC-PANI 在溶液中快速分散的同时, 紧密吸附到金属基体表面, 阻滞腐蚀介质与碳钢接触, 达到了最优的缓蚀效果, 壳聚糖与聚苯胺的掺杂可使聚苯胺的溶解性增强, 使聚苯胺可作为缓蚀剂应用^[49]。

纤维素由葡萄糖组成的大分子多糖, 不溶于水及一般有机溶剂, 它以纤维二糖为重复单元, 通过 $\beta(1 \rightarrow 4)$ -D 糖苷键连接而成线性高分子, 是地球上资源丰富的多糖物质是^[50], 其结构式如图 4 所示, 其中 n 为聚合度(DP), 其分子量=162×DP。

纤维素分子链上每个葡萄糖单元上有 3 个可供反应的羟基, 因此可对纤维素进行改性, 通过引入具有缓蚀功能的基团, 可以在不同腐蚀性介质中对金属有良好的缓蚀效果, 而具有更好的发展前景^[51], 如水溶性的羧甲基纤维素(CMC)对于低碳钢在酸性介质中的缓蚀保护行为^[52,53]、羟乙基纤维素(HEC)对于裸钢和铝在硫酸溶液中的缓蚀作用^[54]等。

用化学氧化法合成了羧甲基纤维素掺杂态聚苯胺, PANI 在油田回注水中对 Q235 钢的缓蚀效率随

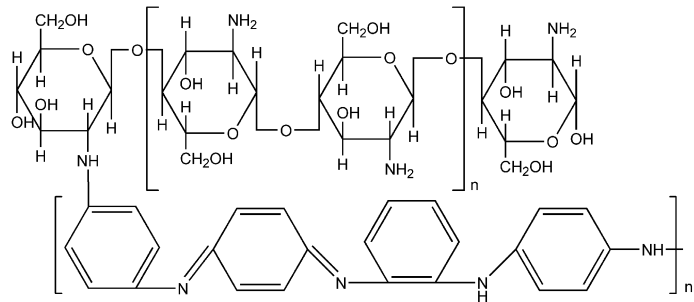


图 3 壳聚糖-聚苯胺的分子结构图

Figure 3 The molecular structure of CTS-PANI

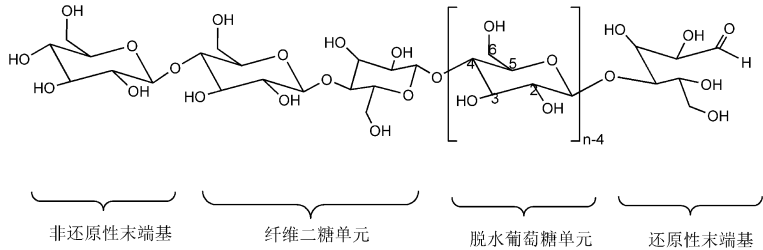


图 4 纤维素结构式

Figure 4 The structure of cellulose

浓度的增大而增大,加入量为 0.4g/L 时的缓蚀效率为 90.8%;PAN 在回注水中对 Q235 钢的缓蚀作用机理为“几何覆盖效应”。羧甲基纤维素的掺杂极大地改善了聚苯胺的水溶性,提高缓蚀性能,羧甲基纤维素还有阻垢剂的作用,可以防止点蚀现象的发生^[55]。

5 结论与展望

无论是对聚苯胺进行掺杂、改性还是与其它高分子缓蚀剂复合,聚苯胺类缓蚀剂的水溶性都有很大的提升,其作为缓蚀剂对金属的腐蚀保护取得了比较理想的效果。个人建议未来其研究方向主要有以下几点:

- (1)水溶性聚苯胺类缓蚀剂大范围制备和针对氯化物腐蚀、硫化物腐蚀,以及氯化物和硫化物等协同腐蚀的防腐效果和防腐机理的研究较少,通过对复杂环境的防腐蚀研究,可进一步拓宽其在石油化工中的应用领域;
- (2)对于特定的金属材料,缓蚀剂的缓蚀效率常受到环境因素(温度、湿度、pH 以及电解液的特性)影响,尤其是温度的影响,以上多数缓蚀剂耐高温性差,不断丰富水溶性聚苯胺类缓蚀剂的种类和耐高温的聚苯胺类缓蚀剂,并将其在不同环境中推广应用;
- (3)随着绿色、环保、安全观念的深入,缓蚀剂绿色化生产和使用在材料防腐方面具有非常重要的经济和社会意义,而从绿色、环保的趋势出发,缓蚀剂的开发应尽可能做到合成原料,合成工艺以及合成的缓蚀剂都是绿色环保的,缓蚀剂的绿色化研究与开发是时代发展的需求,是缓蚀剂及其技术发展的方向。

参考文献:

[1] Lagrenée M, Mernari B, Bouanis M, Traisnel M, Bentiss F. Corros Sci, 2002,44(3):573~588.

[2] 李小敏,刘亚男,刘晶姝,付朝阳.全面腐蚀控制,2013,27(2):23~27.

[3] Deshpande P P,Jadhav N G,Gelling V J, Sazou D. J Coat Technol Res,2014,11(4):473~494.

[4] Wu G,More K L,Johnston C M,Zelenay P. Science,2011,332(6028),443.

[5] 吴刚,郝宁眉,陈银娟,米思奇,贾晓林,胡松青.化工学报,2013,44(64):1485~1492.

- [6] Deberry D W. J Electrochem Soc, 1985, 132(5): 1022~1026.
- [7] Wrssling B. Adv Mater, 1994, 6(3): 226~228.
- [8] Schauer T, Joos A, Dulog L, Eisenbach C D. Prog Org Coat, 1998, 33: 20~27.
- [9] Sasikumara Y, Kumarb A M, Gasemb Z M, Ebenso E E. Appl Surf Sci, 2015, 330: 207~215.
- [10] Chen Y, Wang X H, Li J, Lu J L, Wang F S. Electrochim Acta, 2007, 52(17): 5392~5399.
- [11] Souza S D. Sur Coat Techno, 2007, 201(5): 7574~7581.
- [12] 杨显, 杨小刚, 马新起. 化工学报, 2014, 65(9): 3738~3743.
- [13] Laska J, Widlarz J. Synthetic Met, 2003, 135(2): 261~262.
- [14] Li H L, Wang J X, Chu Q X, Wang Z, Zhang F B, Wang S C. J Power Sources, 2009, 190(2): 578~586.
- [15] 杨小刚, 王莉, 金思毅, 杨显, 胡遵宝. 高校化学工程学报, 2015, 3(29): 664~670.
- [16] Shi Y, Shi J. J Contempor Chem Industry, 2011, 40(1): 66~68.
- [17] Rajasekharan V, Stalin T, Viswanathan S, Manisankar P. Int J Electrochem Sc, 2013, 8(9): 11327~11336.
- [18] Shi F H, Wang X T, Yu J Q, Hou B. Anti-corros Method, 2011, 58(3): 111~115.
- [19] 张亚红. 聚苯胺掺杂机制及氢键的理论研究. 辽宁: 大连理工大学硕士学位论文, 2014.
- [20] 吕文静, 张颖君, 师超, 邵亚薇, 王艳秋, 孟国哲. 中国腐蚀与防护学报, 2015, 6(35): 519~524.
- [21] Syed J A, Tang S, Lu H, Meng X. Ind Eng Chem Res, 2015, 54: 2950~2959.
- [22] 方鲲, 李守平, 陶雪钰, 王清录, 毛卫民, 吴其晔. 物理化学学报, 2004, 20(1): 103~106.
- [23] 马骏, 刘栓, 赵海超, 陈斌, 周开河, 方云辉, 江炯. 腐蚀与防护, 2017, 1(38): 30~34.
- [24] Karthikaiselvi R, Subhashini S. Arab J Chem, 2013, 10: S627~S635.
- [25] Karthikaiselvi R, Subhashini S, Rajalakshmi R. Arab J Chem, 2012, 5: 517~522.
- [26] Karthikaiselvi R, Subhashini S. J Assoc Arab Univ Basic Appl Sci, 2014, 16(C): 74~82.
- [27] Jeyaprabha C, Sathiyarayanan S, Phani K L N, Venkatachari G. J Electroanal Chem, 2005, 585(2): 250~255.
- [28] Jeyaprabha C, Sathiyarayanan S, Phani K L N, Venkatachari G. App Surf Sci, 2005, 252(4): 966~975.
- [29] Manivel P, Sathiyarayanan S, Venkatachari G. J App Poly Sci, 2010, 110 (5): 2807~2814.
- [30] Rehim S S A E, S M Sayyah, El-Deeb M M, Kamal S M, Azooz R E. Mater Chem Phys, 2010, 123 (1): 20~27.
- [31] Shukla S K, Quraishi M A, Prakash R. Corros Sci, 2008, 50(10): 2867~2872.
- [32] Yadav D K, Chauhan DS, Ahamad I, Quraishi MA. Rsc Adv, 2013, 3(2): 632~646.
- [33] 赵红冉, 苏胜培, 余海斌. 材料保护, 2016, 49(11): 13~17.
- [34] Bhandari H, Choudhary V, Dhawan S K. Polym Adv Technol, 2009, 20(12): 1024~1034.
- [35] Benchikh A, Aitout R, Makhloufi L, Benhaddad L, Saidani B. Desalination, 2009, 249(2): 466~474.
- [36] Shi F H, Wang X T, Yu J Q, Hou B. Anti-corros Method, 2011, 58(3): 111~115.
- [37] Quraishi M A, Shukla S K. Mater Chem Phys, 2009, 113(2): 685~689.
- [38] Yao B, Wang G C, Ye J K, Li X. Mater Lett, 2008, 62(12): 1775~1778.
- [39] Fernandez A M, Jebbanema L. Paint Coat Ind, 2007, 23(8): 62~69.
- [40] Stejskal J, Sapurina I. Pure Appl Chem, 2005, 77(5): 815~826.
- [41] Talwar S, Scanu L F, Khana S A. J Rheol, 2006, 50(6): 831~847.
- [42] Brinis H, Samar M E H. Desalin Water Treat, 2012, 44(1): 190~196.
- [43] Khanari K, Finsgar M, Hrcni M, Knez Hrcnic M, Maver U, Knez Z, Seiti B. Rsc Adv, 2017, 7: 27299~27330.
- [44] 周萌. 壳聚糖的氧化降解及壳寡糖的分离提纯. 广州: 华南理工大学硕士学位论文, 2013.
- [45] Cheng S, Chen S G, Liu T, Chang X, Yin Y. Mater Lett, 2007, 61(14): 3276~3280.
- [46] Rosa S, Laranjeira M C, Riela H G, Fávere V T. J Hazard Mater, 2008, 155(1): 253~260.
- [47] 骆鸿, 王宇宁, 董超芳, 肖葵, 李晓刚. 腐蚀与防护, 2017, 1(38): 25~29.
- [48] 邓俊英, 李伟华, 吴茂涛, 赵霞, 侯保荣. 高分子学报, 2010, 5(5): 588~592.
- [49] 郭英, 刘波, 卢浩. 腐蚀与防护, 2016, 10(37): 826~831.
- [50] Pradao H J, Matulewicz M C. Eur Polym J, 2014, 52(1): 53~75.
- [51] 陈志健, 何辉, 周新文. 腐蚀科学与防护技术, 2016, 5(28): 494~498.
- [52] Solomon M M, Umoren S A, Udosoro I I, Udoh A P. Corros Sci, 2010, 52(4): 1317~1325.
- [53] Mobin M, Rizvi M. Carbohydr Polym, 2017, 156: 202~214.
- [54] Arukalam I O, Madufor I C, Ogbobe O, Oguzie E. Open Corros J, 2014, 6(1): 1~10.
- [55] Guo Y, Hou Y C, Liu B, Lu H. Oilfield Chem, 2014(4): 605~609.

Research Progress on Inhibitor of Soluble Polyaniline

LIU Fang¹, LU Yong^{2*}, ZHENG Yan-ping¹, ZHAO Guo-hu¹

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China;
2. Lanzhou University of Technology, School of Petrochemical Engineering, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Polyaniline has a wide application in the field of corrosion protection, the special structure of polyaniline contribute to its poor solubility in water system, that the application of corrosion inhibitor is restricted. In this paper, we reviewed the strategy in order to improving the water solubility of polyaniline and that was be used as corrosion inhibitor. The anticorrosion mechanism of PANi was introduced and the application and preparation of binary polyaniline composite with chitosan and cellulose was reviewed.

Key words: Polyaniline; Inhibitor; Watersoluble; Chitosan; Cellulose