

傅积和 余存焯 林宏华 等编

化纤化工设备防腐蚀

纺织工业出版社



化纤化工设备防腐蚀

傅积和 余存烨 林宏华 等编

纺织工业出版社

责任编辑：胡永海

化纤化工设备防腐蚀

傅积和 余存烨 林宏华 等编

纺织工业出版社出版

(北京东长安街12号)

北京纺织印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

850×1168毫米 1/32 印张：15 20/32 字数：404千字

1985年3月 第一版第一次印刷

印数：1—11,000 定价：3.45元

统一书号：15041·1350

内 容 提 要

本书收集与总结了我国自建的和引进的大型化纤化工企业（涤纶、维纶、腈纶、锦纶、粘胶）的设备防腐蚀实践经验。全书从金属腐蚀基本原理出发，分析了各种化纤化工生产的主要腐蚀介质的性质、主要设备的腐蚀情况；介绍了常用的耐蚀材料、实用防腐蚀技术和腐蚀试验方法；还引用有关科研单位的成果，作为实例。

本书可供化纤化工企业防腐、生产、维修保养人员阅读，也可供化纤化工机械制造人员和大专院校有关专业师生参考。

前 言

本书是由纺织工业部化纤局组织，以上海石油化工总厂为主，有北京、石家庄等维尼纶厂，新乡、清江等化学纤维厂，上海化学纤维工业公司以及华东纺织工学院等单位参加编写的。并得到辽阳、四川、丹东、济南、天津、南京、保定等化纤化工企业的协助。

在本书编写过程中，得到上海石油化工总厂李家镐厂长、王观泽副厂长，姚永庚、杨焕堂、朱焕林等同志的指导、支持和帮助。本书中的某些内容吸取了中国科学院福建物质结构研究所、上海冶金研究所、沈阳金属研究所、机械工业部上海材料研究所等单位的科研成果，体现了科研工作为经济建设服务的精神，我们表示感谢。

参加编写工作的有傅积和（第一章、全书主编），余存烨（第七章、全书副主编），林宏华（第四章、全书副主编），杨汉钧（第三章及有机耐蚀材料），吴雪芹（第六章），王宠武和蒋柏春（第二章），范业亮（第五章第一、二、五节）。参加专题编写的有史哲民（无机耐蚀非金属材料及维纶部分），董顺芳（涂料），王彦宏（第五章第六节），陈继尧（第五章第三节）。

参加部分内容编写或提供基础资料的有戴达、黄文芊、徐汝谋、冯学本、傅怀录、朱瑜麟、许川壁、陈祖秋、陆金玉、王月德、王福其、张伦琪、须耀勤、陆孝兴、欧盛林等。徐人武、徐少怀、顾旭人等同志积极推动并参加了本书的工作。

由于本书参加编写的人员较多，加之时间较紧，水平所限，不妥及错误之处在所难免，谨请读者提出指正。

本书是在总结我国化纤工业三十年来的经验，并在四个引进

大型石油化纤企业腐蚀调查的基础上编写的。主要供化纤化工企业从事防腐工作、生产操作、维修保养以及设备制造人员阅读和应用。本书内容及数据虽均来自生产实践，但由于各单位的腐蚀环境、耐蚀材料以及工艺条件不同，读者在引用本书资料时，应首先通过试验加以验证。

编 者
1984.1.

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 发展化学纤维生产的重要意义.....	(1)
第二节 开展化纤化工设备防腐蚀工作的必要性.....	(1)
一、化纤工业生产的特点.....	(1)
二、提高化纤企业的经济效益.....	(2)
第三节 化纤设备防腐蚀工作的现状及问题.....	(3)
第四节 加强化纤化工设备防腐蚀工作.....	(4)
一、加强防腐蚀管理.....	(5)
二、普及防腐蚀的基本知识.....	(6)
三、提高腐蚀试验技术, 积累常用腐蚀数据.....	(6)
四、改进防腐蚀技术.....	(7)
五、加强腐蚀调查、分析和研究.....	(8)
第二章 腐蚀的基本概念	(10)
第一节 腐蚀电化学.....	(11)
一、金属电化学腐蚀的实质.....	(11)
二、金属的电极电位.....	(12)
三、腐蚀电池.....	(17)
四、极化与腐蚀速度.....	(19)
五、金属的钝化.....	(27)
六、电位-pH图.....	(31)
第二节 腐蚀破坏类型.....	(34)
一、普遍腐蚀.....	(34)
二、电偶腐蚀.....	(34)
三、点蚀.....	(36)

四、缝隙腐蚀.....	(40)
五、晶间腐蚀.....	(42)
六、应力腐蚀破裂.....	(43)
七、腐蚀疲劳.....	(46)
八、磨损腐蚀与空泡腐蚀.....	(48)
九、氢损伤.....	(50)
十、焊接与腐蚀.....	(54)
第三章 化纤生产环境下的腐蚀.....	(60)
第一节 涤纶生产系统的腐蚀.....	(60)
一、涤纶生产的腐蚀环境.....	(60)
二、主要腐蚀设备.....	(62)
三、腐蚀情况及分析.....	(62)
第二节 维纶生产系统的腐蚀.....	(68)
一、维纶生产的腐蚀环境.....	(68)
二、主要腐蚀设备.....	(72)
三、典型设备腐蚀情况与分析.....	(72)
四、防护措施及经验.....	(86)
第三节 腈纶生产系统的腐蚀.....	(87)
一、腈纶生产的腐蚀环境.....	(87)
二、主要设备情况.....	(89)
三、腐蚀情况分析.....	(90)
第四节 粘胶纤维生产系统的腐蚀.....	(93)
一、粘胶纤维生产的腐蚀环境.....	(93)
二、主要腐蚀设备.....	(94)
三、设备腐蚀情况及防护措施.....	(94)
第五节 锦纶生产系统的腐蚀.....	(101)
一、锦纶66盐生产系统的腐蚀.....	(101)
二、己内酰胺生产系统的腐蚀.....	(107)
三、锦纶生产的腐蚀.....	(111)

第六节 其他环境的腐蚀.....	(112)
一、水腐蚀.....	(112)
二、大气腐蚀.....	(114)
三、土壤腐蚀.....	(117)
四、酸、碱、盐腐蚀.....	(122)
第四章 化纤化工设备常用的耐蚀材料.....	(126)
第一节 化纤化工设备常用耐蚀金属材料.....	(126)
一、碳钢.....	(126)
二、低合金钢.....	(152)
三、普通铸铁.....	(154)
四、合金铸铁.....	(155)
五、不锈钢.....	(157)
六、铝及铝合金.....	(169)
七、铜及铜合金.....	(173)
八、铅及铅合金.....	(176)
九、钛及钛合金.....	(178)
十、镍及镍合金.....	(184)
十一、钽、铌和锆.....	(186)
十二、非晶态耐蚀合金.....	(187)
第二节 化纤化工设备常用耐蚀非金属材料.....	(188)
一、有机非金属材料.....	(188)
二、无机非金属材料.....	(208)
三、涂料.....	(220)
第五章 化纤化工生产常用防腐蚀技术.....	(231)
第一节 耐蚀材料的合理选用.....	(231)
一、化纤设备选材与用材的重要性.....	(231)
二、选材时正确处理可靠性与经济性的关系.....	(232)
三、根据特定环境进行选材.....	(233)
四、选材立足国内, 尽量应用非金属.....	(235)

五、耐腐蚀材料选用的依据.....	(236)
六、耐腐蚀材料选用的步骤.....	(239)
第二节 腐蚀环境的处理.....	(258)
一、工艺防腐蚀.....	(258)
二、缓蚀剂及水处理.....	(264)
三、环境湿度和有害气体的防护.....	(276)
第三节 电化学保护.....	(278)
一、阴极保护.....	(278)
二、阳极保护.....	(285)
三、电化学保护技术在化纤生产中的应用.....	(289)
第四节 防腐蚀覆盖层.....	(291)
一、有机涂料涂层.....	(292)
二、无机材料衬里.....	(299)
三、有机材料衬里.....	(307)
四、金属覆盖层.....	(312)
五、金属阳极氧化处理.....	(322)
第五节 防腐蚀结构设计.....	(324)
一、腐蚀余量的确定.....	(324)
二、合理设计规则.....	(325)
第六节 化纤化工生产建筑、构筑物的腐蚀与防护.....	(336)
一、主要生产厂房(或部位)的防护措施.....	(337)
二、构筑物的防护措施.....	(349)
第六章 腐蚀试验技术.....	(355)
第一节 腐蚀试验的目的.....	(355)
第二节 腐蚀试验条件的选择原则.....	(357)
一、试验方法的分类.....	(357)
二、腐蚀试验条件的选择.....	(359)
第三节 金属材料的腐蚀试验方法.....	(370)
一、重量法.....	(370)

二、电化学测定方法.....	(372)
三、金属材料腐蚀力学性能损失的测定.....	(380)
四、特殊的腐蚀试验方法.....	(381)
第四节 非金属材料腐蚀试验方法.....	(392)
一、塑料腐蚀试验方法.....	(392)
二、聚酯玻璃钢腐蚀试验方法.....	(394)
三、橡胶腐蚀试验方法.....	(394)
四、陶瓷类腐蚀试验方法.....	(396)
五、涂料腐蚀试验方法.....	(397)
第五节 腐蚀试验结果的处理和评定.....	(397)
一、腐蚀试验数据的误差和处理方法.....	(397)
二、试验数据的归纳和表达.....	(399)
三、腐蚀试验结果的评定.....	(399)
第六节 无损探伤和腐蚀检测.....	(404)
一、无损检测方法与应用范围.....	(404)
二、化纤化工设备的腐蚀监测.....	(407)
第七节 特殊的腐蚀测试技术.....	(409)
一、金属材料的成分、组织和结构分析.....	(409)
二、金属表面膜和腐蚀产物的成分与结构分析.....	(412)
三、高温高压的电化学测定.....	(414)
四、微区域的电化学测试技术.....	(415)
第七章 腐蚀的调查、分析与研究.....	(417)
第一节 腐蚀调查.....	(417)
一、腐蚀调查的目的.....	(417)
二、腐蚀调查的方法.....	(418)
三、腐蚀调查实例.....	(422)
第二节 腐蚀分析.....	(425)
一、腐蚀分析的目的.....	(425)
二、腐蚀分析的方法.....	(426)

三、腐蚀分析实例.....	(429)
第三节 腐蚀研究.....	(434)
一、腐蚀研究的目的.....	(434)
二、腐蚀研究的方法.....	(434)
三、腐蚀研究实例.....	(436)
第四节 腐蚀的经济分析.....	(470)
一、腐蚀的经济损失.....	(470)
二、腐蚀控制的经济分析.....	(472)
附录.....	(476)
参考文献.....	(488)

第一章 绪 论

第一节 发展化学纤维生产的重要意义

我国人口众多，耕地面积相对较少，为了保证粮食生产，不能过多扩大棉花种植面积，因此，解决人民穿衣问题，必须积极发展化学纤维生产。我国从1960年到1980年间，国家投资一百多亿元，自力更生为主，并适当引进先进技术和成套设备，化纤年产量从1万吨增加到45万吨，成为我国发展最快的工业部门之一。

化学纤维有很多优异特性。如锦纶纤维强度高。腈纶纤维轻、牢、暖，具有羊毛特性。涤棉布结实耐穿，一件涤棉布衣服大体可抵两、三件棉布衣服穿，而且美观易洗。化学纤维不少特性优于天然纤维。因此世界上即使耕地面积较多的国家，也积极发展化学纤维。据1980年统计，全世界化学纤维产量约占全部纺织纤维产量的47%。

第二节 开展化纤化工设备防腐工作的必要性

一、化纤工业生产的特点

大型化纤联合企业一般由炼油厂、化工厂和化纤厂组成。生产过程中有许多强腐蚀介质，很多反应在高温下进行，设备腐蚀严重。化纤化工企业有连续生产的特点，工序长，一台设备发生腐蚀泄漏，全线就有停产的危险。物料放空，不仅造成很大的经

济损失，又使环境污染。因此，搞好设备防腐蚀工作，是保证化纤化工企业安全、持续、稳定生产的一个十分重要的环节。

二、提高化纤企业的经济效益

目前，我国化学纤维织物售价仍高于棉织物。在工业发达国家，涤棉布售价比棉布约低10%，而我国约高40%。因此，发展我国化纤工业，首先要降低化纤织物售价，达到与棉布相仿或略低的水平，全国人民提供结实、美观、价廉的化纤服装。所以讲求经济效益，降低生产成本，是当前化学纤维企业的一项重要任务。防腐蚀工作在降低成本方面将起到极为重要的作用，可从以下三方面加以说明：

1. 开发高效率的生产新工艺。化学纤维工业要不断开发新工艺，以减少原料、能源以及其他公用工程的消耗。以涤纶生产为例，采用高温氧化法反应速度快，效率高。同样容积的反应器生产能力要比低温氧化法约高四倍，而单位能耗仅为低温氧化法的三分之一。高温氧化法的问题是设备腐蚀严重，选用钛材作为耐蚀材料后，高温氧化法的发展才有保证。

随着化学纤维生产工艺参数的不断提高，设备腐蚀问题就越来越突出，要求更高的耐蚀材料。有些高参数的化工工艺发明以后，一直要等到新的耐蚀材料或新的防护方法出现后，才能实现工业化生产。

2. 确保不发生计划外停车。发挥大型化纤化工企业的经济效益，首先要保证连续生产，要求不发生计划外停车。因此必须有相应的防护措施，如防止设备出现加快的普遍腐蚀，或发生腐蚀穿孔、应力腐蚀破裂以及腐蚀疲劳等局部腐蚀，而使设备突然失效。因此要掌握每一台在线设备的腐蚀情况，关键设备要采用腐蚀检测和监控等技术。在每台设备都不发生问题的情况下，才能保证全线不发生计划外停车。

3. 延长设备寿命和延长设备大修周期。在设备设计时，要选用合适的耐蚀材料，及采用有效的防护措施，以保证设备在

使用期内能正常运行。选材及采用防护措施均需考虑经济的合理性，要求一次投资和经常维修费用都不太高。

在设备大检修方面，现在我国各化纤厂大多执行一年一次大检修制度，每次大修一般要停工一个月。如果能够延长设备大检修周期，或者缩短大检修停车时间，就等于增加生产。设备大检修从现在一年一次延长到两年一次，就等于在不增加基本建设投资的情况下增产10%。所以加强防腐蚀措施，延长设备的寿命及设备大检修周期，是提高企业经济效益的重要措施之一。

第三节 化纤设备防腐蚀工作的 现状及问题

我国发展化学纤维工业三十多年来，在防腐蚀技术方面有很大的进展。我国五十年代建设的粘胶纤维工业，为防止凝固浴和二浴的硫酸腐蚀，大量采用铅作为耐蚀材料。现在各粘胶纤维厂较普遍改用聚氯乙烯、橡胶、ABS、环氧酚醛玻璃钢等非金属材料，取得较好的耐蚀效果。原来用铅管和衬胶管作凝固浴管道不但笨重、成本高，而且施工周期长，维修工作量大。现在各厂正在逐步改用聚氯乙烯管道及管件，使车间面貌大为改观。

合成纤维设备原来只采用少数几种不锈钢，现在已发展到采用超低碳不锈钢、高钼不锈钢、钼铜不锈钢以及双相不锈钢。并有抗应力腐蚀、抗点蚀以及抗海水腐蚀等特殊用途的不锈钢。还有采用钛、锆、钽、铌、哈氏合金、因科镍等耐蚀金属及合金。在耐高温腐蚀方面采用了高镍、高铬合金。随着现代科学的发展，已有一批性能好、价格低的新型耐腐蚀材料替代老材料。

在腐蚀理论研究方面也有较快的发展，如用热力学和动力学理论来解释腐蚀现象。用电化学试验方法选材、筛选缓蚀剂和研究各种腐蚀现象。用电化学保护技术保护设备及管道。电位-pH图已开始应用。透射电镜、扫描电镜、X射线衍射仪、电子、离子

探针、俄歇能谱仪等手段已较普遍地应用于腐蚀研究。

但迄今为止，我们对有机溶剂和有机酸的腐蚀和防护方法的知识还很缺乏，象电极电位、腐蚀电位一类理论，以及有机溶剂中微量水和酸对金属活化-钝化行为有决定性作用的机理等，这些课题还有待我们进一步研究。

有机耐蚀材料虽然已经在化纤化工工业中广泛应用，但是有机材料还没有较完整的耐蚀理论及测试方法，有待深入研究。

科学研究要为经济建设服务，国民经济的增长要依靠科学研究。在设计新厂以及老厂改造中采用高温高参数工艺时，设备腐蚀问题是首先应该系统研究的问题。

第四节 加强化纤化工设备防腐蚀工作

化纤化工设备的腐蚀问题虽然十分复杂，但是抓住腐蚀环境、耐蚀材料以及界面处理等主要环节，防腐蚀工作是可以做好的。

在化纤生产腐蚀环境方面，强腐蚀介质有硫酸、醋酸和磷酸等，有的作为反应物料，有的作为溶剂存在于各种反应工序中，并且绝大多数是与其他酸、盐或金属离子混合存在。在分析时要特别注意介质中微量 Cl^- 、溶存氧及其他杂质，因为有时会成倍地增加腐蚀率。

在选用耐蚀材料方面，要注意材料的实际成分、纯度和杂质。近十多年来冶金工业炉外精炼等技术的发展，已能冶炼出有很好耐蚀性能的高纯度的金属和合金。在分析设备的腐蚀问题时，还要了解设备的冷、热加工工艺，焊接工艺以及所用的焊接材料，热处理制度以及表面处理工艺等问题。因为不同的设备制造工艺，会出现差距很大的腐蚀情况。

在界面处理方面，只要电化学过程受阻，就能达到防止电化学腐蚀目的。界面处理可以用涂料、金属或非金属覆盖层，以及

材料本身经过处理以后生成的保护膜如钝化膜，保护材料免受腐蚀环境腐蚀。

通过三十多年化纤化工企业的生产实践，以及七十年代从国外引进的技术，加强化纤化工企业设备防腐蚀工作，可以从以下几方面着手：

一、加强防腐蚀管理

分析设备腐蚀问题，首先要着眼于实际工艺操作。任何耐蚀材料，都有一定的适用范围，不允许超负荷运行。超过规定的操作温度或压力，往往使设备造成致命损伤。反应物料的成分波动、开停车的频繁程度、停车清洗使用的药剂、氮封的有效情况等，都是分析腐蚀问题的重要因素。正确的操作记录是分析腐蚀问题的可靠资料。研究腐蚀问题要根据现场操作管理和设备维修人员反映的实际情况，并依靠他们共同参加分析。没有现场人员的配合，往往会被似是而非的假象引入歧途，影响得出正确的结论。

不按工艺规程操作，往往是加速设备腐蚀的重要原因。辽阳化纤总公司的己二腈装置腈化反应器用磷酸作催化剂，当磷酸控制在己二酸重量的0.18%时，不锈钢腈化反应器腐蚀可减到最低程度，如磷酸含量高于0.5%或低于0.05%时，都会使不锈钢加快腐蚀。操作专利规定磷酸必须在几小时前加入熔融的己二酸中，使其均匀分布。同时加入适量的稀释剂。这些操作条件都有十分严格的要求。不遵守工艺操作规定，就会象辽化生产初期那样，腈化反应器使用三、五个月后，即被腐蚀穿孔。

加强防腐蚀管理的另一方面是要严格防止生产车间的“跑、冒、滴、漏”。跑、漏出来的腐蚀介质，对用非耐蚀材料制做的机器设备外壳、设备基础、地坪等会严重腐蚀。跑、漏出来的强酸会腐蚀厂房的主梁、次梁，影响厂房的安全，甚至达到难以修理恢复的程度。杜绝“跑、冒、滴、漏”，是防腐工作的一个重要方面。《化纤工业设备暂行工作条例》中提出，消除设备缺陷