

海港工程构筑物 腐蚀控制技术应用

马化雄 主编



科学出版社

海港工程构筑物腐蚀控制 技术及应用

马化雄 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共9章,主要包括四部分内容,即海洋腐蚀与防护理论、海港工程构筑物材料、腐蚀控制技术及典型工程案例。第1章介绍我国港口码头行业的发展状况、海港工程构筑物腐蚀的基本理论、特点及腐蚀控制要点。第2章介绍了海港工程建设和防腐过程中的常用材料。第3~8章详细介绍了常用腐蚀控制技术的原理、材料、实施要点、验收和维护管理等。第9章结合作者多年海港工程构筑物腐蚀控制技术的研究和实践经验,介绍10个典型工程案例,内容涉及腐蚀防护、监测、检测及维护管理等方面。

本书包括理论、技术、实践和案例等内容,适用于大专院校、科研院所的研究生及防腐领域的科技工作者,也可作为防腐工程领域技术和管理人员开展设计、施工、检测、维护管理等工作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

海港工程构筑物腐蚀控制技术及应用 / 马化雄主编. —北京: 科学出版社, 2018.3

ISBN 978-7-03-056996-7

I. ①海… II. ①马… III. ①海上构筑物-海水腐蚀-控制 IV. ①TE951

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第051673号

责任编辑: 李明楠 李丽娇 / 责任校对: 杜子昂
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 铭轩堂

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年3月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2018年3月第一次印刷 印张: 20 5/8

字数: 416 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本书编委会

顾 问：赵冲久 李一勇 王玉兴

主 编：马化雄

副 主 编：张文锋 李增军

委 员（按姓氏拼音排序）：

陈 韬 李云飞 刘 凯 马 悦 秦铁男

唐 聪 唐军务 王 峰 杨太年 赵金山

前 言

港口是货物运输和进出口贸易的主要通道，是“一带一路”的枢纽门户，对促进海洋经济发展、助推经济全球化起着至关重要的作用。海港工程构筑物作为港口的重要基础设施，是保障港口正常、安全运营的基础，然而，严酷的海洋环境是海港工程构筑物服役和建设过程中必须面临的问题。据统计，2014年我国腐蚀总成本约占当年GDP的3.34%，总额超过2.1万亿元。海港工程遭受严重的腐蚀破坏，不仅造成巨大的经济损失，而且涉及人身安全、资源浪费、环境污染等重大问题。在明确海港工程构筑物腐蚀机理的基础上，加强海港工程构筑物的腐蚀控制，选择适当的防腐技术，合理的设计、科学的施工及适度的维护管理，不仅是确保海港工程构筑物安全、耐久的重要举措，也是实现节约型社会、可持续发展和循环经济的必然要求，具有显著的经济、战略价值和重要的社会、环境效益。

本书作者团队所在单位中交天津港湾工程研究院有限公司和中交第一航务工程局有限公司长期致力于海港工程构筑物防腐蚀科研、设计、检测、施工等方面的工作，自20世纪80年代以来承担了数百项国内外相关项目，其中包括港珠澳大桥、杭州湾大桥、天津港、营口港、丹东港、曹妃甸港、盘锦港、锦州港、毛里塔尼亚友谊港等的大型防腐工程，并主编和参编多项行业标准规范，有关成果获得多项专利授权和国家、省部级科技奖励。

本书综合了作者多年来在海港工程构筑物腐蚀与防护方面的经验和成果，重点突出、内容全面、数据丰富、可读性和实用性强，既可作为海港工程构筑物腐蚀与防护方面的科普读物，也可作为海港工程构筑物防腐科研、设计、施工、检测、维护和管理等提供参考。在本书所述的工程内容中，中国科学院海洋研究所侯保荣院士团队提供了关键数据，并与作者共同参与了多个防腐示范工程项目，特别是在港口码头钢桩包覆等方面提供了大量技术和人力、物力支持，为本书的撰写提供了重要的帮助。本书包括理论、技术、实践和案例等内容，适用于大专院校、科研院所的研究生及防腐领域的科技工作者，也可作为防腐工程领域技术和管理人员开展设计、施工、检测、维护管理等工作的参考书。

诚挚感谢侯保荣院士和李晓刚教授在百忙之中对本书进行审阅！在本书撰写过程中，作者得到了中国科学院海洋研究所的大力支持和无私帮助，还得到了许多同行和同事的关心支持，在此表示由衷谢意！中交第一航务工程局有限公司和

中交天津港湾工程研究院有限公司为本书的完成提供了全面的保障和丰富的素材，在此表示衷心感谢。科学出版社为本书的出版付出了辛勤劳动，在此一并表示感谢。特别感谢国家重点研发计划的资助（项目编号：2017YFB0309902）

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请各位读者批评指正！为方便读者反馈意见和建议，特公布本书联系邮箱如下：tpeicorr@163.com。

马化雄

2018年2月

目 录

前言

第 1 章 海港工程构筑物腐蚀与防护	1
1.1 概述	1
1.2 我国港口行业的发展状况	2
1.2.1 我国港口行业的发展历史	2
1.2.2 我国港口行业的现状	4
1.2.3 港口行业的发展前景	6
1.2.4 港口航运在国民经济建设中的意义	7
1.2.5 港口码头的主要结构形式	7
1.3 海港工程构筑物腐蚀的基本理论和特点	10
1.3.1 金属腐蚀原理	10
1.3.2 海港工程钢结构的腐蚀类型及影响因素	12
1.3.3 海港工程混凝土结构的腐蚀类型及影响因素	14
1.3.4 海洋腐蚀环境及其腐蚀破坏特征	20
1.3.5 典型码头结构在海洋环境中的腐蚀破坏特点	23
1.4 海港工程构筑物腐蚀控制要点	24
1.4.1 环境调查	24
1.4.2 合理选用材料	24
1.4.3 结构形式及构造	25
1.4.4 严格控制施工质量	27
1.4.5 防腐蚀措施	28
1.4.6 维护管理	30
1.4.7 海港工程构筑物腐蚀控制常用的标准规范	32
参考文献	33
第 2 章 海港工程构筑物材料	34
2.1 金属材料	34
2.1.1 金属材料的分类	34
2.1.2 碳素钢及低合金钢	35
2.1.3 不锈钢	39

2.2	混凝土材料	43
2.2.1	水泥	43
2.2.2	粗细骨料	44
2.2.3	混凝土拌和用水	48
2.2.4	掺合料	49
2.2.5	外加剂	53
2.3	混凝土结构筋材	54
2.3.1	普通钢筋	54
2.3.2	环氧涂层钢筋	56
2.3.3	镀锌钢筋	60
2.3.4	不锈钢钢筋	63
2.3.5	低合金耐蚀钢筋	66
2.3.6	纤维增强复合材料筋	67
	参考文献	69
第3章	海港工程构筑物涂层保护	70
3.1	概述	70
3.1.1	防腐涂料的命名和分类	70
3.1.2	涂料的基本组成和作用	71
3.1.3	涂层保护的防腐作用机理	72
3.1.4	涂层体系	73
3.1.5	钢结构涂层保护与混凝土结构涂层保护的比较	75
3.1.6	海港工程构筑物防腐涂料的特点	76
3.1.7	海港工程构筑物防腐涂料及涂装方法的选择原则	76
3.2	海港工程构筑物常用防腐涂料	77
3.2.1	富锌底漆	78
3.2.2	环氧树脂类涂料	79
3.2.3	聚氨酯涂料	83
3.2.4	丙烯酸树脂涂料	84
3.2.5	氯化橡胶涂料	85
3.2.6	氟碳涂料	86
3.2.7	聚硅氧烷涂料	86
3.3	海港工程构筑物常用涂层体系	87
3.3.1	海港工程钢结构涂层体系	88
3.3.2	海港工程混凝土结构常用涂层体系	89

3.4 海港工程构筑物的表面预处理	90
3.4.1 概述	90
3.4.2 海港工程构筑物表面预处理措施	92
3.5 海港工程构筑物的涂装方法	95
3.5.1 刷涂	96
3.5.2 刮涂	96
3.5.3 滚涂	97
3.5.4 压缩空气喷涂	97
3.5.5 高压无气喷涂	98
3.6 海港工程构筑物涂层保护的质量控制	98
3.6.1 海港工程构筑物防腐涂料的质量控制	98
3.6.2 海港工程构筑物的表面预处理要求	101
3.6.3 表面预处理及涂装施工环境控制	105
3.6.4 海港工程构筑物涂装的质量控制	106
3.6.5 海港工程构筑物涂层保护的验收	110
3.6.6 预制构件的涂层保护	110
3.6.7 涂装作业安全	110
3.7 海港工程构筑物涂层的维护	111
3.7.1 海港工程构筑物涂层失效分析	111
3.7.2 海港工程构筑物涂层的检测和评估	111
3.7.3 海港工程构筑物涂层的修复	112
3.8 海港工程构筑物涂层保护的设计	113
3.9 涂装工程质量管理体系	114
参考文献	114
第4章 海港工程钢结构金属热喷涂	116
4.1 概述	116
4.2 海港工程钢结构金属热喷涂体系	116
4.2.1 金属热喷涂材料的分类	116
4.2.2 常用金属热喷涂材料	117
4.2.3 金属热喷涂涂层封闭材料	117
4.2.4 金属热喷涂体系组成	118
4.3 金属热喷涂方法	119
4.3.1 热喷涂方法的主要工艺参数	120
4.3.2 火焰喷涂法	121

4.3.3	电弧喷涂法	122
4.4	金属热喷涂施工工艺	123
4.4.1	表面预处理	123
4.4.2	预热	124
4.4.3	喷涂	124
4.4.4	涂层后处理	125
4.4.5	其他注意事项	125
4.5	海港工程钢结构金属热喷涂的质量控制	126
4.5.1	金属热喷涂材料的质量控制	126
4.5.2	金属热喷涂表面预处理检验	127
4.5.3	金属热喷涂施工环境控制	127
4.5.4	金属热喷涂涂层的质量检验	127
4.6	海港工程钢结构金属热喷涂设计和验收	128
	参考文献	128
第5章	海港工程构筑物阴极保护	129
5.1	概述	129
5.1.1	阴极保护的基本原理	129
5.1.2	阴极保护分类及其基本工作原理	130
5.1.3	阴极保护的基本参数	131
5.2	海港工程钢结构阴极保护	139
5.2.1	概述	139
5.2.2	海港工程钢结构阴极保护的前期准备	139
5.2.3	海港工程钢结构牺牲阳极阴极保护	141
5.2.4	海港工程钢结构外加电流阴极保护	149
5.3	海港工程混凝土结构阴极保护	158
5.3.1	概述	158
5.3.2	海港工程混凝土结构阴极保护的前期准备	158
5.3.3	海港工程混凝土结构外加电流阴极保护	159
5.3.4	海港工程混凝土结构牺牲阳极阴极保护	165
5.4	海港工程混凝土结构其他电化学防腐蚀技术	167
5.4.1	电化学除盐	168
5.4.2	电沉积	171
5.5	易燃易爆气体环境中外加电流阴极保护系统的实施	173
5.5.1	安全设计的原则	173

5.5.2 安全设计要点	174
5.5.3 施工安全要求	175
参考文献	175
第6章 海港工程钢结构包覆防腐技术	177
6.1 概述	177
6.2 复层矿脂包覆防腐技术	177
6.2.1 概述	177
6.2.2 复层矿脂包覆防腐系统的结构及材料	178
6.2.3 防蚀膏	179
6.2.4 防蚀带	179
6.2.5 防蚀护甲	180
6.2.6 复层矿脂包覆防腐技术的施工工艺	182
6.2.7 维护管理	189
6.3 热塑性聚乙烯复合包覆防腐技术	190
6.4 玻璃纤维复合材料包覆防腐技术	190
参考文献	191
第7章 海港工程混凝土结构附加防腐措施	192
7.1 概述	192
7.2 硅烷浸渍	192
7.2.1 概述	192
7.2.2 硅烷浸渍的防护作用	192
7.2.3 硅烷浸渍材料	193
7.2.4 硅烷浸渍的现场实施	194
7.2.5 硅烷浸渍的验收	197
7.3 钢筋阻锈剂	198
7.3.1 概述	198
7.3.2 钢筋阻锈剂材料	198
7.3.3 钢筋阻锈剂的现场实施	200
7.3.4 钢筋阻锈剂工程的验收	201
参考文献	201
第8章 海港工程构筑物腐蚀与防护检/监测技术	203
8.1 概述	203
8.2 海港工程构筑物腐蚀与防护状况的检测技术	204
8.2.1 构筑物所处腐蚀介质及工程情况的调查	204

8.2.2	钢结构腐蚀状况的检测技术	205
8.2.3	钢筋混凝土结构腐蚀状况的检测	206
8.2.4	海港工程构筑物防腐蚀措施的检测与评估	217
8.2.5	海港工程构筑物维护管理中腐蚀与防护状况的检测	222
8.3	海港工程构筑物腐蚀与防护监测技术的基本原理	224
8.3.1	电化学法	224
8.3.2	电阻法	232
8.3.3	其他物理方法	233
8.4	海港工程混凝土结构腐蚀监测传感器	233
8.4.1	参比电极	234
8.4.2	基于宏电池的腐蚀监测传感器	234
8.4.3	多功能腐蚀监测传感器	238
8.4.4	基于光纤传感技术的腐蚀监测传感器	242
8.4.5	无线腐蚀传感器	244
8.5	海港工程钢结构阴极保护监测	245
8.5.1	保护电位监测	245
8.5.2	电流检测技术	245
8.5.3	牺牲阳极发生电流监测	247
8.5.4	阴极保护度	248
8.5.5	阴极保护电流密度监测	249
8.6	海港工程构筑物腐蚀与防护监测系统	250
8.6.1	数据采集系统	250
8.6.2	数据传输系统	250
8.6.3	监控终端	251
8.6.4	辅助支持系统	251
8.6.5	监测系统工作原理	251
	参考文献	251
第9章	海港工程构筑物防腐蚀工程案例	254
9.1	综合延寿技术在国外某沿海码头钢管桩上的应用	254
9.1.1	工程概况	254
9.1.2	防腐设计	254
9.1.3	施工过程	256
9.1.4	钢管桩防腐修复后效果	259
9.2	涂层和外加电流阴极保护联合保护北方某码头钢管桩	259

9.2.1	工程概况	259
9.2.2	钢管桩防腐设计要求和技术指标	260
9.2.3	涂层方案	261
9.2.4	阴极保护方案	261
9.2.5	钢管桩的防腐检测	264
9.3	某码头钢管桩的腐蚀防护及效果调查	265
9.3.1	工程概况	265
9.3.2	防腐方案	265
9.3.3	防腐涂层	265
9.3.4	牺牲阳极阴极保护	266
9.3.5	阴极保护远程监测系统的安装	267
9.3.6	码头防腐系统运行两年后的调查情况	268
9.3.7	结论	269
9.4	阴极保护技术在钢筋混凝土结构中的应用	269
9.4.1	牺牲阳极阴极保护的工程应用	269
9.4.2	外加电流阴极保护的工程应用	271
9.5	复层矿脂包覆防腐技术在钢管桩涂层修复中的应用	277
9.5.1	玻璃钢护甲复层矿脂包覆防腐技术的工程应用	277
9.5.2	高密度聚乙烯护甲包覆防腐技术的工程应用	279
9.6	阴极保护远程监测系统在海港工程构筑物中的应用	282
9.6.1	引言	282
9.6.2	阴极保护远程监测系统	282
9.6.3	第一代产品的工程应用及改进	284
9.6.4	第二代产品的应用实例	287
9.6.5	阴极保护远程监测系统自身的维护管理	288
9.6.6	远程阴极保护监测系统在阴极保护维护管理中的作用和意义	289
9.6.7	结论	290
9.7	某码头腐蚀与防护状况的调查与分析	290
9.7.1	引言	290
9.7.2	工程概况	290
9.7.3	腐蚀与防护状况的调查与分析	290
9.7.4	结论	295
9.8	铝基牺牲阳极在海泥环境中的应用	295
9.8.1	引言	295

9.8.2	天津港牺牲阳极阴极保护系统的状况及问题的提出	295
9.8.3	Al-Zn-In-Si 系牺牲阳极在天津港海泥中的应用	297
9.8.4	结论	299
9.9	环氧涂层钢筋在钢筋混凝土结构防腐中的应用	299
9.9.1	引言	299
9.9.2	钢筋环氧粉末喷涂加工及检测	300
9.9.3	钢筋后预制加工过程对环氧涂层钢筋的保护	300
9.9.4	环氧涂层钢筋质量控制措施	307
9.10	某港口钢结构防腐蚀体系的维护管理	310
9.10.1	引言	310
9.10.2	钢结构的防腐蚀现状	310
9.10.3	钢结构的维护管理	311
9.10.4	结论与展望	314
	参考文献	314

第 1 章 海港工程构筑物腐蚀与防护

1.1 概 述

海洋是生命的摇篮、资源的宝库、经济的纽带、国防的前哨，是我国实现可持续发展的动力源泉。经过多年发展，我国已成为依赖海洋通道的外向型经济大国。海洋强国战略是保障国家安全、维护海洋权益和促进我国经济发展，实现中华民族伟大复兴中国梦的重要举措。随着我国对外贸易的飞速发展，我国现已成为世界港口大国和强国。自 2003 年以来，我国港口货物吞吐量和集装箱吞吐量连续 14 年蝉联世界第一位。2016 年，在全球排名前 10 名的亿吨大港中，我国占了 7 个。随着国家经济形势的变化，我国经济正进入发展新常态，我国港口行业的发展也进入了稳定增长期。“一带一路”倡议、亚洲基础设施投资银行（简称“亚投行”）的逐步落实和发展，以及全球经济的复苏，为我国港口的持续发展注入了新的活力。

2015 年 3 月，国务院有关部门发布的《推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动》明确指出 21 世纪海上丝绸之路的重点方向是从中国沿海港口过南海到印度洋，延伸至欧洲；从中国沿海港口过南海到南太平洋，并重点强调要加强上海、天津、宁波-舟山、广州等 15 个沿海港口的建设。经过多年发展，我国在港口建设和运营方面积累了丰富的经验，具备了“走出去”的基本条件。与此同时，“一带一路”倡议的实施、亚投行的建立及“21 世纪海上丝绸之路”沿线国家建设大港口的强烈需求，为我国港口建设和运营“走出去”提供了新的契机。

海港作为出海口岸，是货物运输和进出口贸易的主要通道，是“一带一路”的枢纽门户，对促进海洋经济、推动国民经济发展、助推经济全球化等起着至关重要的作用。海港工程是在沿海兴建水陆交通枢纽和河口兴建海河联运枢纽所建造的各种基础设施，如码头、防波堤、船坞、航道、导航等。海港工程作为港口的重要基础设施，是保障港口正常运营的基础，其安全性、使用性和耐久性直接关系到国民经济的发展及人民的生命财产安全。自新中国成立以来，我国海港工程建设取得了突飞猛进的发展。截至 2016 年，我国共拥有生产用码头泊位 30388 个，其中沿海港口生产用泊位 5887 个；我国共拥有万吨级及以上泊位 2317 个，其中沿海万吨级及以上泊位 1894 个。

如前所述,随着我国经济的飞速发展,海港工程建设事业蓬勃发展,我国拥有大量的在役海港工程构筑物。可以预见,随着“一带一路”倡议及我国港口建设运营“走出去”,海港工程建设还将呈现新的增长趋势。海港工程结构形式多样,但按所使用的材料划分,主要可分为钢结构、钢筋混凝土结构和组合结构。海港工程处在严酷的海洋环境中,其主体钢结构和钢筋混凝土结构不可避免地会遭受海洋环境的腐蚀破坏,严重影响整体结构的耐久性和安全性。据统计,2014年我国腐蚀总成本约占当年GDP的3.34%,总额超过2.1万亿元。可见,海港工程遭受严重的腐蚀破坏,不仅造成巨大的经济损失,而且涉及人身安全、资源浪费、环境污染等重大问题。

随着防腐意识的不断加强,新建海港工程基本都会采取相应的防腐措施。随着服役年限延长,早期建成的海港工程已陆续进入维修期,亟待延寿处理。其中,更新或维修防腐系统就是延寿处理的重要组成部分。总的来说,在明确海港工程构筑物腐蚀机理的基础上,加强海港工程构筑物的腐蚀控制,选择适当的防腐技术、合理的设计、科学的施工及适度的维护管理,不仅是保障海港工程构筑物安全性和耐久性的重要措施,而且也是有效节约资源、保护环境,实现循环经济、节约型社会和可持续性发展的重要举措,具有重要的社会、环境效益和显著的经济、战略价值。

1.2 我国港口行业的发展状况

1.2.1 我国港口行业的发展历史

自中华人民共和国成立以来,我国的港口建设和货物吞吐量都取得了突飞猛进的发展,先后经历了五个不同的发展时期。

第一阶段:20世纪50年代~70年代初。这一阶段港口的发展以技术改造、恢复利用为主,交通运输主要依靠铁路和公路,海运事业发展缓慢。全国港口完成生产资料所有制改造,建立了“集中统一、分级管理、政企合一”的水运管理体制,以国家为主导有计划、有重点地建设和管理港口。1949~1972年全国主要港口从仅有泊位161个增加到617个。其中沿海港口深水泊位数增加到92个,全国港口货物吞吐量从1949年的1100万吨增加到1972年的1.5亿t,其中沿海港口货物吞吐量达到1亿t,沿海港口货物中的外贸货物吞吐量达到2547万t。

第二阶段:20世纪70年代初~70年代末。在此阶段我国港口发展以提高港口吞吐能力及改善港口功能为主。随着我国对外关系的发展,对外贸易迅速扩大,外贸海运量猛增,沿海港口货物通过能力不足,船舶压港、压货、压车情况日趋严重。周恩来总理于1973年年初发出了“三年改变港口面貌”的号召,开始了第

一次建港高潮。到1978年年底,全国主要港口泊位数增加到735个,其中沿海港口深水泊位达到133个。6年的时间全国新增港口吞吐能力超过1亿t,全国港口货物吞吐量达到2.8亿t,其中沿海港口货物吞吐量1.9亿t,外贸货物吞吐量0.595亿t。

第三阶段:20世纪80年代初~80年代末。在此期间我国经历了“六五”“七五”经济发展新阶段,我国港口也经历了第二次建港高潮,沿海港口的建设步入高速发展阶段,同时确定了继续建设长江等内河港口工程,明确了全国枢纽港布局,以及重点建设煤炭、集装箱、客货三大运输体系。我国政府在“六五”计划中将港口列为国民经济建设的战略重点,期间沿海港口共完成投资107亿元,开工建设深水泊位132个,建成投产54个,新增吞吐能力接近1亿t。经过5年建设,我国拥有万吨级泊位的港口由1980年的11个增加到1985年的15个,沿海主要港口生产用泊位增加到373个,其中万吨级泊位173个,1985年沿海主要港口完成吞吐量3.1亿t,其中外贸货物1.3亿t。“七五”期间沿海港口共完成建设投资143亿元,新(扩)改建泊位223个,其中深水泊位91个,新增吞吐能力1.2亿t,比自中华人民共和国成立起30年建成的总和还多。共建成煤炭泊位18个,集装箱码头3个及矿石、化肥等具有当今世界水平的大型泊位;拥有深水泊位的港口发展到了20多个,年吞吐量超过1000万t的港口有9个。沿海主要港口吞吐量达到4.8亿t,外贸货物1.7亿t。至1990年年底,沿海主要港口生产性泊位1990年达到967个,其中万吨级以上泊位达到284个。

第四阶段:20世纪90年代初~90年代末。交通部在90年代初制定了“三主一支持”,即以建设公路主骨架、水运主通道、港站主枢纽和支持保障系统为主要内容的交通基础设施长远发展规划,港口开始注重深水化、专业化建设。通过“八五”“九五”计划,重点建设了我国海上主通道的枢纽港及煤炭、集装箱、客货滚装等3大运输系统的码头,基本形成了以大连、秦皇岛、天津、青岛、上海、深圳等20个主枢纽港为骨干,以地区性重要港口为补充,中小港适当发展的分层次布局框架。与此同时,与港、航相配套的各种设施、集疏运系统、修造船工业、航务工程、通信导航、船舶检验、救助打捞系统基本备齐,我国港口已发展成为综合运输体系的重要枢纽,为国家能源、外贸物资和重要原材料的运输提供有力支撑。到2000年,全国共有港口1400多个,生产用码头泊位3.3万个,其中万吨级及以上泊位784个,全国港口货物吞吐量达到22亿t,完成集装箱吞吐量2348万标准箱,其中沿海港口货物吞吐量12.9亿t,沿海港口货物中的外贸货物吞吐量5.23亿t。

第五阶段:21世纪初至今。贸易自由化和国际运输一体化逐渐发展,现代信息技术及网络技术也伴随着经济的全球化高速发展,现代物流业已在全球范围内迅速成长为一个充满生机活力并具有无限潜力和发展空间的新兴产业。现代化的