

文章编号:1005-0523(2015)03-0078-08

# 港口节能减排多目标优化研究

赵雅倩, 王伟

(河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**打造绿色低碳港口是港口发展的必由之路,在港口节能减排建设过程中,需要综合考虑建设成本、减排量、节能效果和经济效益等因素,根据各个港口自身特性选择针对性的节能减排方案组合,并合理安排建设序列。将多目标优化应用到港口节能减排建设中,综合考虑经济效益和环境效益等目标,以及建设成本、时序和节能减排控制性指标等约束条件,构建绿色港口节能减排项目建设的多目标0-1规划模型,采用Excel的规划求解功能进行模型优化,科学确定节能减排项目及其实施序列。并以江苏某港口节能减排规划为例进行实证分析,得出该港口节能减排建设优化方案,优化方案减排率达38.4%,效果显著,证明了模型的可行性。

**关键词:**绿色港口;多目标优化;节能减排;0-1规划;Excel规划求解

**中图分类号:**U651

**文献标志码:**A

气候变化问题已成为影响人类社会发展和全球政治经济格局的重大战略课题。我国作为温室气体排放的主要大国,已成为全球关注的对象,面临巨大的国际压力。在哥本哈根会议上,我国向世界郑重承诺到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%的减排目标。从全球范围来看,交通运输业在世界能源消费和温室气体排放中所占比重均超过20%,且仍呈较快上升态势,节能减排责任重大。世界各国纷纷将发展绿色、低碳交通作为战略重点,我国交通运输行业作为能源资源消费和温室气体排放的重点领域之一,受到国际影响不断加大,特别是在国际航运领域将率先面临直接的减排压力。因此,全面深入推进交通运输节能减排,是发展现代交通运输业的本质要求,是建设资源节约型、环境友好型交通运输行业的迫切需要,也是建设低碳交通运输体系的必然选择。

港口作为水陆交通的集结点和枢纽,为国家经济建设和对外贸易的发展提供基础性支撑。2013年我国港口货物吞吐量达到107.5亿t,连续11年保持世界第一,其中集装箱吞吐量达19 085.27万TEU。在港口快速发展的同时,港口能耗和港区环境问题日益凸显,在节能减排工作方面面临巨大压力。《公路水路交通运输节能减排“十二五”规划》提出,到“十二五”期末,与2005年相比,港口生产单位吞吐量综合能耗下降8%,单位吞吐量二氧化碳排放量下降10%。为大力开展绿色港口创建活动,实现港口绿色低碳发展,港口的节能减排建设至关重要。

## 1 国内外研究现状

关于港口节能减排,目前大多数学者的研究方向主要集中在节能减排政策、节能减排评价、节能减排

收稿日期:2015-03-01

基金项目:国家自然科学基金项目(51009060);中央高校基本科研基金项目(B13020031)

作者简介:赵雅倩(1990—),女,硕士研究生,研究方向为港口节能减排。

通讯作者:王伟(1979—),男,副教授,博士,硕士生导师,研究方向为水运经济与规划。

技术和节能减排机制4个方面,缺乏对港口节能减排整个建设过程的研究,并未对港口节能减排工作提供完善的建设路径。面对这种现状,多目标优化在其他行业的节能减排工作中的应用为港口节能减排建设优化提供了新思路。

国内外学者多从产业结构优化、供应链节点优化、资源优化配置3个方面讨论多目标优化在节能减排中的应用。HEMAMALINI和SIMON首先分别分析了机组的煤耗成本和污染物排放成分,确定了考虑机组节点效应的煤耗成本函数和污染气体综合排放函数。通过一个折算因子将排污量转化为煤耗成本,并建立了以总发电成本最小为目标函数,以机组出力、功率平衡为约束条件的优化发电调度模型<sup>[1]</sup>。Wang Qiulian、Liu Fei和Wang Xianglian以加工能源、成本和质量为目标函数,分析目标的影响因素,确定目标函数表达式,建立了以优化加工参数为目的的节能改造多目标优化模型<sup>[2]</sup>。Zeynelgil、Sengor和Dememiroren通过两个权重因子将发电成本和污染物排量统一到同一个目标函数中,采取Hopfield神经网络的方法对其进行求解<sup>[3]</sup>。杨娟选择煤炭产量、关键工序设备节能改造投资、治理或综合利用项目投资作为优化的决策变量,以矿区煤炭资源储量、投资资金和工序关系等作为约束条件,建立煤炭矿区节能减排静态多目标优化模型<sup>[4]</sup>。张志刚和马光文充分考虑梯级水电厂运行的特点,兼顾水火电力系统正常工作和环境保护的要求,以总运行费用、污染气体排放量和弃水量最小为目标,建立水火电力系统短期多目标优化调度模型<sup>[5]</sup>。陈庆建立以经济发展和环境保护为目标,并受到污染物排放量和能源资源消耗量限制的武汉市工业内部结构调整模型<sup>[6]</sup>。张琦、姚彤辉、蔡九菊等基于高炉炼铁过程的物质与能量守恒,采用多目标优化方法,建立了以能耗、成本及CO<sub>2</sub>排放为目标的高炉生产过程优化数学模型<sup>[7]</sup>。马一凯、雷霞、柏小丽等提出以经济调度和节能减排为目标的机组组合优化模型,并通过引入排放成本系数和调度权重因子,将两目标优化函数转变为单目标优函数<sup>[8]</sup>。王迪、聂锐和李强以江苏省经济增长、能源节约与CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>减排的目标,考虑经济增长系数、能源消耗总量、能源结构等约束,对江苏省能耗结构进行优化<sup>[9]</sup>。高超锋、肖玲、胡志华分析航行速度对船舶油耗产生的影响,建立以周计划内船队运营总成本最小为目标的混合整数规划模型<sup>[10]</sup>。

在研究许多学者的成果基础上,以能源经济效益和环境效益为目标,充分考虑建设时序和成本等约束,构建港口节能减排建设的多目标0-1规划模型,基于Excel规划求解进行模型求解。模型能够科学有效地确定节能减排项目及其实施时序,为绿色港口建设提供参考意见。

## 2 模型构建

### 2.1 模型假设及目标

港口在长期发展过程中,关注最多的是经济效益,即港口的吞吐量,往往忽视了持续攀升的资源、能源投入和超负荷的环境承载力。绿色港口的建设和发展要顺应市场经济的发展模式,要向高效、低能耗、低排放模式转型。鉴于此,模型同时考虑能源经济效益和环境效益两个目标,对港口的节能减排投资进行优化配置。

模型假设港口节能减排项目的建设不会对港口吞吐量产生影响;在节能减排项目建设的当年即可产生节能减排效益,且每种项目的使用比例均为100%。

#### 2.1.1 能源经济效益目标

能源对经济的发展起着巨大的推动作用,然而随着时间的推移,大部分能源开采已经进入中后期,开采成本日趋昂贵,已经不能满足日益增长的经济需求。发展经济的同时,通过提高能源的利用效率、减少能源消耗是港口发展的趋势。港口生产的能源效益可以用能源消耗量来衡量。通过节能减排建设,对港口生产作业机械进行改造能够减少能源消耗量,从而获得一定的经济效益。经过节能改造后,港口获得的能源经济效益的目标函数如下:

$$\text{Max}F_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I X_{it} Z_i E_i \quad (1)$$

式中:  $T$  为港口进行节能减排投资的计划年数,  $T=0,1,2,\dots$ ;  $I$  为港口实施的节能减排项目总数;  $Z_i$  为第  $i$  项节能减排项目节约的能耗量;  $E_i$  为第  $i$  项节能减排项目节约的能耗量单价;  $X_{it}$  为第  $t$  年对第  $i$  项节能减排项目是否进行投资或已建成;  $X_{it}=0$ , 表示第  $t$  年对第  $i$  项节能减排项目未建成且不进行建设;  $X_{it}=1$ , 表示第  $t$  年对第  $i$  项节能减排项目进行建设或已建成。

公式(1)最终得到的能源经济效益实际是经过节能改造后节约能源的价值。

### 2.1.2 环境效益目标

目前,绿色经济已经成为经济全球化倡导的主题,改善环境与发展经济同等重要。考虑港口与能源、环境协调发展的综合目标,环境效益目标是绿色港口节能减排多目标优化模型中的一个重要目标。港口在运营过程中会产生废水、固体废弃物、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、粉尘等污染物,为促进环境与港口的协调发展,港口通过投资某些节能减排项目来治理或综合利用这些排放物,减少港口生产作业过程中各种污染物的最终排放量。经过治理或综合利用后,减少的污染物排放量的目标函数如下:

$$\text{Max} F_{2k} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I X_{it} P_{ik} \quad (2)$$

式中:  $k$  为港口生产过程中排放物的种类数;  $P_{ik}$  为第  $i$  种节能减排项目针对第  $k$  种污染物的减排效果。

公式(2)最终得到的环境效益是港口在经过节能减排改造后不同种类污染物减少的排放量,各种污染物的结果分类计算,不可混淆。

## 2.2 约束条件

### 2.2.1 成本约束

港口节能减排建设的资金一般有两种获取渠道:政府项目支持和港口企业投入。有限的资金使得港口不仅需要考虑能源效益和环境效益,还需要考虑建设成本、成本效益比、投资回收期等因素。因此建设年限中每年的投资额和总投资额不能超过计划范围。

$$\sum_{i=1}^I X_{iT} C_i \leq S \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{it} C_i - \sum_{i=1}^I X_{i(t-1)} C_i \leq S_t \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{it} C_i - \sum_{i=1}^I X_{i(t-n)} C_i \leq S_{(t-n)-t} \quad (5)$$

式中:  $C_i$  为项目  $i$  的建设运营成本;  $S_t$  为第  $t$  年的计划投资额;  $S_{(t-n)-t}$  为第  $t-n$  年到第  $t$  年的计划投资额;  $S$  为建设总投资额。

公式(3)表示在建设完成年(第  $T$  年),所有项目均已建成,建设费用应不超过总计划投资额。公式(4)表示第  $t$  年新建项目所需费用应不超过该年的计划投资额,并可通过变形公式(5)来表示建设期中某几年(第  $t-n$  年到第  $t$  年)新建项目所需费用应不超过这几年的计划投资额。

### 2.2.2 时序约束

在实际建设中,一个大型的节能减排项目通常分为几个部分完成,有些必要的基础建设部分必须排在该项目所有部分之前。对于存在这种情况的减排项目,要有建设顺序上的约束<sup>[4]</sup>。如项目  $i$  的建设在项目  $j$  之后,则

$$\sum_{t=1}^T X_{it} \leq \sum_{t=1}^T X_{jt} \quad (6)$$

### 2.2.3 节能减排控制性约束

港口的减排效果是港口的节能减排工作开展和资金申请的重要凭证,也是港口绿色化建设程度的重要指标。为加快节能减排工作开展和获得充足的资金保障,港口在节能减排建设过程中和建设完成后必

须保证满足最低减排要求。

$$\sum_{i=1}^I X_{it} P_{ik} \geq G_{ik} \quad (7)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I X_{it} P_{ik} \geq G_k \quad (8)$$

式中:  $P_{ik}$  为第  $i$  种节能减排项目针对第  $k$  种污染物的减排效果;  $G_{ik}$  为第  $t$  年第  $k$  种污染物的减排要求;  $G_k$  为第  $k$  种污染物的减排总要求。

#### 2.2.4 其他约束

$$\left. \begin{aligned} X_{it} &= 0, 1 \\ X_{i(t+1)} &\geq X_{it}, \quad 1 \leq t < L \\ X_{i(L+1)} &= X_{it}, \quad L \leq t \leq T \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中:  $L$  为第  $i$  种项目建设的年份;  $X_{it}$  为第  $t$  年对第  $i$  项节能减排项目是否进行投资或已建成;  $X_{it} = 0$ , 表示第  $t$  年对第  $i$  项节能减排项目没建成且不进行投资;  $X_{it} = 1$ , 表示第  $t$  年对第  $i$  项节能减排项目投资或已建成,即在项目建设的当年即产生全部效益。

### 3 实例计算

#### 3.1 港口概况

江苏A港口是一个大中小泊位配套,集装箱、散杂货并俱、运输功能齐全、以外贸运输为主的综合性国际贸易运输港口,与世界上160多个国家和地区的港口建立了贸易往来,年吞吐能力近5 000万t,集装箱50万标箱,是中国500家最大服务企业之一。港口近年来的吞吐量、碳排放量和碳排放强度如表1所示。

表1 2009—2014年A港口吞吐量、碳排放量和碳排放强度

Tab.1 A port throughput, carbon emissions and carbon intensity during 2009—2014

年份	吞吐量/万t	碳排放量/t	碳排放强度/(t/万t吞吐量)
2009	6 291.61	57 020.31	9.06
2010	7 507.56	63 142.15	8.41
2011	8 951.51	66 935.41	7.48
2012	10 225.21	78 725.23	7.7
2013	12 218.46	88 456.11	7.24
2014	15 235.51	99 561.72	6.53

由表1可以看出,2009—2014年期间,A港口吞吐量由6 291.61万t增至15 235.51万t,增幅达到142.2%。A港碳排放总量由57 020.31t增至99 561.72t,增幅达74.6%;碳排放强度由9.06t/万t吞吐量降至6.53t/万t吞吐量,降幅为27.9%。

为了打造绿色低碳港口,A港口在经过调研后选择了岸电、绿色照明等节能减排技术,梳理出港口节能减排备选建设项目,具体如表2所示。

港口计划在4年内完成以上项目的建设,并在建设完成后获得碳排放强度在预测数据基础上降低30%的目标。由于资金有限,计划总成本不超过8 000万元,2015年与2016年共使用4 000万元,2017年与2018年共使用4 000万元。

#### 3.2 港口吞吐量、碳排放量预测

##### 3.2.1 港口吞吐量预测

根据2009—2014年A港全港货物吞吐量发展趋势,分别用线性回归和指数回归进行预测后取平均值,预计到2018年,A港货物吞吐量为25 328.52万t,预测曲线见图1<sup>[11]</sup>。

表2 港口节能减排项目概况  
Tab.2 Green port project overview

项目类型	项目序列	项目内容	建设费用/万元	节能效果/万元	减排效果(二氧化碳碳排放量)/t	减排经济效果(二氧化碳治理费用)/万元
靠港船舶使用岸电工程	1	25万t级干散货码头岸电改造	600.0	1695.0	6302.4	94.5
	2	5万t级散杂货码头岸电改造	600.0	438.6	1019.2	15.3
	3	10万t级散杂货码头岸电改造	600.0	274.1	1630.9	24.5
	4	10万t级集装箱码头岸电改造	800.0	411.2	1529.0	22.9
码头绿色照明改造工程	5	1区LED灯改造	72.0	45.8	372.4	5.6
	6	2区LED灯改造	84.0	52.2	425.8	6.4
	7	3区LED灯改造	106.0	55.4	450.9	6.8
门座起重机能量回馈工程	8	1区门座起重机改造	126.0	47.6	389.4	5.8
	9	2区门座起重机改造	204.0	77.3	630.3	9.5
	10	3区门座起重机改造	340.0	152.8	1245.0	18.7
散矿装车高效节能工艺改进	11	1区工艺改进	565.0	139.9	515.7	7.7
	12	2区工艺改进	610.0	151.1	566.3	8.5
水平运输车辆“油改气”技术	13	购买移动加气车	200.0	0.0	0.0	0.0
	14	购买LNG车辆40辆	1400.0	215.0	405.8	6.1
	15	购买LNG车辆60辆	2100.0	322.6	608.7	9.1
	16	新建撬装站1	600.0	0.0	0.0	0.0
	17	新建撬装站2	900.0	0.0	0.0	0.0

注:表中节能效果通过(节能量×所节约能源单价)计算转换为经济效益。表中减排经济效果通过(减排量×每吨二氧化碳治理费用)计算,根据世界银行的数据,每吨二氧化碳治理费用以150元计算。

### 3.2.2 港口碳排放量预测

根据2009—2014年A港碳排放量发展趋势,用指数回归进行预测,预计到2018年,A港碳排放总量为154 922.10 t二氧化碳,预测曲线见图2。

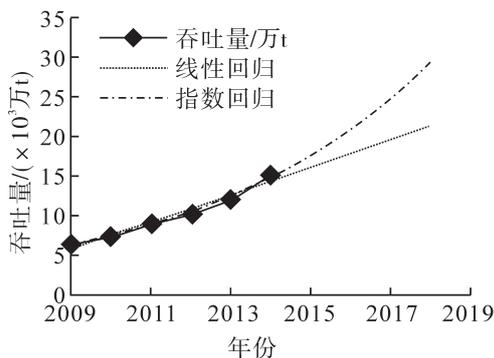


图1 A港2015—2018年港口吞吐量预测曲线  
Fig.1 Port throughput forecast curve of A port between 2015 to 2018

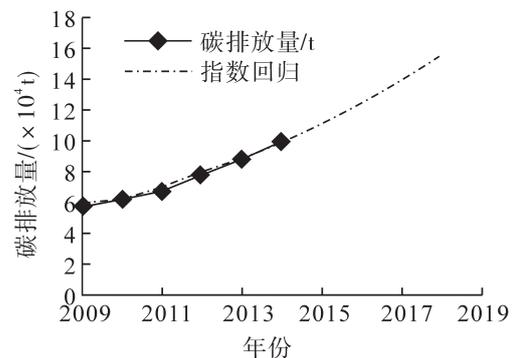


图2 A港2015—2018年港口碳排放量预测曲线  
Fig.2 Port carbon emissions forecast curve of A port between 2015 to 2018

根据前文预测的2018年A港货物吞吐量25 328.52万t,计算得出2018年A港碳排放强度为6.12 t/万t吞吐量。

### 3.3 模型确定及求解

#### 3.3.1 模型确定

根据港口实际可知,  $T=4$ ,  $I=17$ ,  $P_{it}$ =减排效果,  $Z_i \times E_i$ =节能效果,  $Q_i$ =减排经济效果,  $k=1$ (只计算二氧化碳的减排量),  $S_1+S_2=4\ 000$ ,  $S_3+S_4=4\ 000$ ,  $S=8\ 000$ ,  $C_i$ =建设费用,  $G_i=25\ 328.52 \times 6.12 \times 30\%=46\ 503.2\ t$ 。另外,项目14应在项目16之后,项目15应在项目17之后,项目14,15应在项目13之后。

为方便计算,实例中采用经济效益与环境效益相结合的目标,将环境效益折合为治理二氧化碳产生的费用。最终的目标函数由治理费用与节能效益加权相加所得,针对A港口节能与减排并重的要求,确定治理费用与节能效益二者权重相等,故最终的目标函数表示如下。

$$\text{Max}F = \sum_{i=1}^4 \sum_{i=1}^{17} X_{it}(Z_i E_i + Q_i) \tag{10}$$

总成本约束:

$$\sum_{i=1}^{17} X_{i4} C_i \leq 8\ 000 \tag{11}$$

分年成本约束:

$$\sum_{i=1}^{17} X_{i3} C_i - \sum_{i=1}^{17} X_{i1} C_i \leq 4\ 000 \tag{12}$$

时序约束:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{t=1}^4 X_{14t} &\leq \sum_{t=1}^4 X_{13t} \\ \sum_{t=1}^4 X_{15t} &\leq \sum_{t=1}^4 X_{13t} \\ \sum_{t=1}^4 X_{14t} &\leq \sum_{t=1}^4 X_{16t} \\ \sum_{t=1}^4 X_{15t} &\leq \sum_{t=1}^4 X_{17t} \end{aligned} \right\} \tag{13}$$

减排约束:

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{i=1}^{17} X_{it} P_i \geq 46\ 503.2 \tag{14}$$

其他约束:

$$\left. \begin{aligned} X_{it} &= 0, 1 \\ X_{i(t+1)} &\geq X_{it}, \quad 1 \leq t < L \\ X_{i(t+1)} &= X_{it}, \quad L \leq t \leq T \end{aligned} \right\} \tag{15}$$

#### 3.3.2 模型求解

模型通过Excel中的规划求解工具求解完成,结果如表3和表4所示。

表3 绿色港口项目建设序列

Tab.3 Green port projects construction sequence

$X_{it}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1

表4 绿色港口建设期间各项指标

Tab.4 Indicators during green port construction

年份	建设费用/万元	节能效果/万元	减排效果(二氧化碳排放量)/t	减排经济效果(二氧化碳治理费用)/万元
2015	3 971.0	3 342.3	14 121.6	211.8
2016	0.0	6 684.6	28 243.2	423.6
2017	3 936.0	10 548.2	43 929.2	658.9
2018	0.0	14 411.8	59 615.2	894.2

$F=15\ 306.028$  万元

分析以上两个表格可知,为了获得最大的目标效果,第1-7、第9-11个项目在第1年全部建设完毕,花费3 971万元;第3年的建设由于受到成本约束,完成了第8,12,13,15和17个项目,花费3 936万元。2018年的碳排放强度为 $6.12-59\ 615.2/25\ 328.52=3.77$  t/万 t吞吐量。

### 3.3.3 结果分析

在求解过程中由于限制了每两年的成本,为了获得最大效益,显然应该在2015年和2017年就将所有可建设项目完成。由于目标函数中项目的节能效果和减排效果权重相同,就导致在确定建设序列时,节能效果和减排效果综合较好的项目被优先排列,而总成本的限制导致某些节能效果和减排效果不突出的项目被舍弃。经过节能减排建设,港口预计减少二氧化碳排放59 615.2万 t,较预测数据降低了38.5%;目标年碳排放强度为3.77 t/万 t吞吐量,较预测数据降低了38.4%;目标效益为15 306.028万元,有较好的节能减排效果和经济效益,建设方案可行、有效。

## 4 结论

将多目标优化运用到港口节能减排建设中,通过模型的建立与实例求解,证明了多目标优化应用于港口节能减排建设的可行性,弥补了目前对港口节能减排建设规划等方面研究的不足,为港口节能减排提供了新的研究方向。建立的港口节能减排多目标0-1优化模型以经济效益和环境效益为目标,考虑成本、工序和环保控制指标等约束,并假定项目建设年即能达到减排效果。针对A港口进行计算时,确定了经济效益与环境效益的权重,将其转化为单目标优化模型,通过Excel软件求出最优解,证明模型的可行性。但在实际应用中,节能减排项目的使用程度与其效果息息相关,港口对环境效益和经济效益的侧重不同,模型应针对港口自身特性增加更多针对性的约束才能获得更有价值的结果。

### 参考文献:

- [1] HEMAMALINI S, SIMON S. Emission constrained economic dispatch with value-point effect using particle swarm optimization [C]//TENCON 2008 - 2008 IEEE Region 10 Conference, Hyderabad, 2008:1-6.
- [2] WANG QIULIAN, LIU FEI, WANG XIANGLIANG. Multi-objective optimization of machining parameters considering energy consumption[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014(71):1133-1142.
- [3] ZEYNELGIL H, SENGOR Z, DEMIROREN A. The investigation of environmental/economic dispatch by using hopfield NN[J]. IEEE Bologna Power Tech Conference, 2003,17(2):4-9.
- [4] 杨娟.煤炭矿区节能减排多目标优化决策研究[D].北京:中国地质大学,2014.
- [5] 张志刚,马光文.节能减排环境下水火电站群多目标优化调度模型研究[J].四川大学学报:工程科学版,2009,41(2):12-15.
- [6] 陈庆.环境、资源约束下的武汉市产业结构调整多目标优化研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
- [7] 张琦,姚彤辉,蔡九菊,等.高炉炼铁过程多目标优化模型的研究及应用[J].东北大学学报:自然科学版,2011,32(2):270-273.

- [8] 马一凯,雷霞,柏小丽,等.节能减排背景下的火电 AGC 机组组合优化研究[J].电气技术,2010(8):93-96.
- [9] 王迪,聂锐,李强.江苏省能耗结构优化及其节能与减排效应分析[J].中国人口·资源与环境,2011,21(3):48-53.
- [10] 高超锋,肖玲,胡志华.考虑船舶油耗的集装箱班轮航线配船方案[J].华中师范大学学报:自然科学版,2014,48(6):840-846.
- [11] 高晓月,封学军,蒋柳鹏.南京港集装箱生成量预测与发展措施建议[J].华东交通大学学报,2013,30(1):91-95,101.

## Research on Multi-objective Optimization of Port Energy Conservation and Emission Reduction

Zhao Yaqian, Wang Wei

(College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The construction of green port is the inevitable road of port development. In the process of building a green port, it is necessary to consider the cost of emission reductions, the total emission reductions and economic issues, arrange the construction period and select energy conservation and emissions reduction projects based on port characteristics. The paper applies multi-objective optimization to port energy conservation innovatively, and establishes a green port multi-objective optimization model for energy conservation, using economic efficiency and environmental benefits for the target, considering the cost, process and environmental constraints, using Excel Solver function to optimize, which can effectively identify energy conservation and emissions reduction projects construction sequence. By analyzing the energy conservation and emissions reduction planning of A port in Jiangsu province, this study obtains the optimization model of A port energy conservation and emissions reduction construction with emission reduction rate of 38.4% , whose effect may show the usefulness and reliability of the optimization model.

**Key words:** green port; energy conservation and emission reduction; multi-objective optimization; 0-1 programming; Excel solver

(责任编辑 刘棉玲)