

◆本刊专稿◆

# 发展港口岸电系统 助推全社会节能减排

李 斌

(国网江苏省电力公司,南京 210024)

Develop shore electric power system to improve social energy-saving and emissions reduction

LI Bin

(State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

港口和航运业的发展推动了社会经济发展,但是靠港的船舶也是港口地区大气污染物的重要来源,对空气环境质量造成严重影响。船舶靠港时使用港口岸电系统,以岸上电力替代辅助发动机燃油发电满足船舶用电需求,能够消除船舶在港期间对港口地区空气的污染,同时具有良好的经济性,适宜大力推广应用。

## 1 港口岸电发展的必要性

### 1.1 国内港口船舶污染情况

#### (1) 中国港口船舶总体情况

截至2014年末,全国港口拥有生产用码头泊位31 705个,其中万吨级以上泊位2 110个,完成货物吞吐量124.52亿t,集装箱吞吐量2.02亿t标准集装箱,货物吞吐量约占全球的1/4,世界吞吐量前十大港口有8个在中国。全国拥有水上运输船舶17.20万艘,净载重量25 785.22万t,船舶功率7 059.85万kW<sup>①</sup>。江苏截至2013年港口拥有生产用码头泊位7 546个,拥有水上运输船舶4.78万艘,净载重量4313.19万t<sup>②</sup>,2014年完成货物吞吐量21.40亿t、集装箱吞吐量0.15亿标准集装箱<sup>③</sup>。

#### (2) 港口船舶已经成为港口城市的重要污染源

根据自然资源保护协会测算,假设一艘中型到大型集装箱船使用含硫量为35 000 ppm(3.5%)的船用燃料油,并以最大功率的70%行驶时,则其一天排放的PM2.5总量最多相当于我国50万辆国IV货车一天的排放量<sup>④</sup>。

部分地区已经开展的船舶大气污染物排放清单研究表明,我国船舶的污染气体排放已经成为沿海沿江城市的重要污染源。

根据香港环境保护署2014年发布的2012年度

香港空气污染物排放清单(见图1),水上运输排放的二氧化硫、氮氧化物、可吸入悬浮粒子、细微悬浮粒子、挥发性有机化合物、一氧化碳分别占全部排放的50%、31%、36%、42%、11%、19%<sup>⑤</sup>。

根据上海市环境监测中心2014年发布的研究结果表明,船舶二氧化硫、氮氧化物、PM2.5排放量占到上海市2010年排放总量的12.4%、11.6%、5.6%。图2是上海市2010年度主要大气污染物排放情况<sup>⑥</sup>。

#### (3) 中国港口船舶大气污染防治相对滞后

大型港口所在地区人口密度高,船舶活动频繁,但是大气污染防治相对滞后,港口在环境保护方面侧重于粉尘、噪声、溢油等方面的治理,缺乏对靠港船舶空气污染方面的控制和治理。目前国内对船舶大气污染物排放缺乏全面、系统的研究,全国性的船舶大气污染物排放清单尚未建立。

### 1.2 推广港口岸电的意义

港口岸电是利用岸上电力来为船上供电,以保证船舶照明、通风、通信、货船泵和其它关键设备的运行,让靠港或停放在干船坞中的船舶关闭辅助发动机,消除了船舶在港期间使用辅助发动机产生的空气污染排放,有利于实现港口环境的大幅度改善。

以定期往返于中国连云港和韩国平泽的“中韩之星”号为例,该船是一艘1.5万t客货滚装船,每年在连云港靠泊约2 000 h。该船靠泊时每天消耗4.9 t燃油(为了降低运行成本,船公司一般采用低质重油和馏分燃油混合调和成燃料油的方式,若以4.3 t船用重油和0.6 t船用馏分燃油混合、燃油含硫量按《防止船舶污染国际公约》中的最高允许限值3.5%计算,使用岸电每天可减少在港排放CO 46.1 kg、HC 15.32 kg、NO<sub>x</sub> 369.55 kg、PM2.5 26.27 kg、PM10 28.95 kg、SO<sub>2</sub> 70 kg。

就江苏地区而言,该省地处“长三角”地区,拥有海岸线954 km,长江横穿东西425 km,内河航道2.43万km,大小湖泊290多个,这里集中了“长三角”地区约50%的主要港口、75%的亿吨大港,港口货物吞吐量、集装箱吞吐量约占整个“长三角”地区的47%和20%。经初步估算,如果靠泊船只全部使

收稿日期:2015-06-12

作者简介:李斌(1963),女,四川泸州人,研究员级高级工程师。现任江苏省电力公司副总经理。

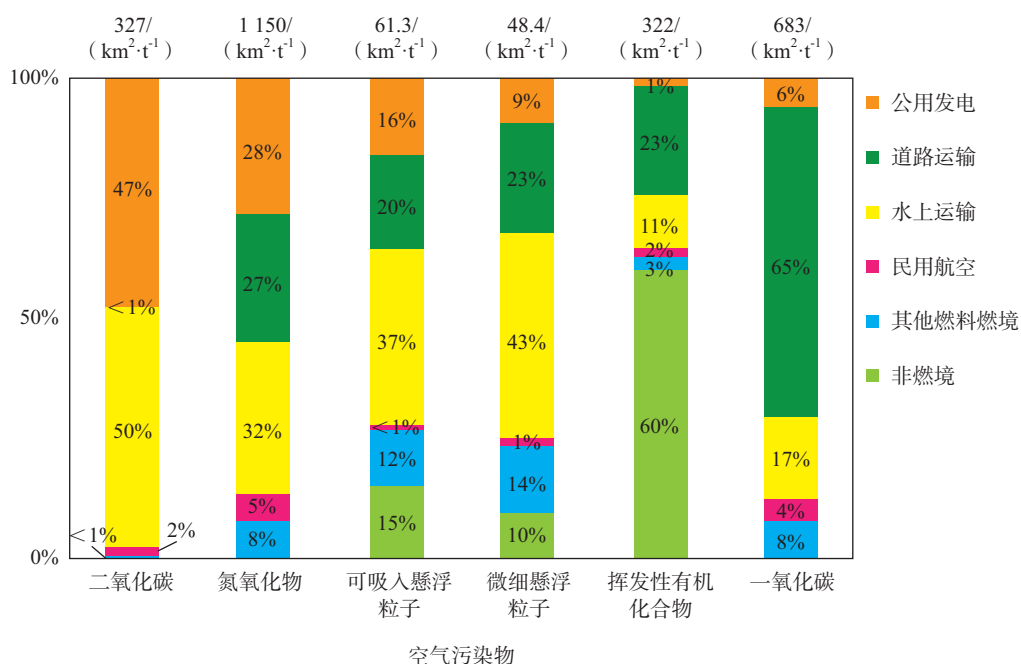


图1 2012年度香港空气污染物排放清单

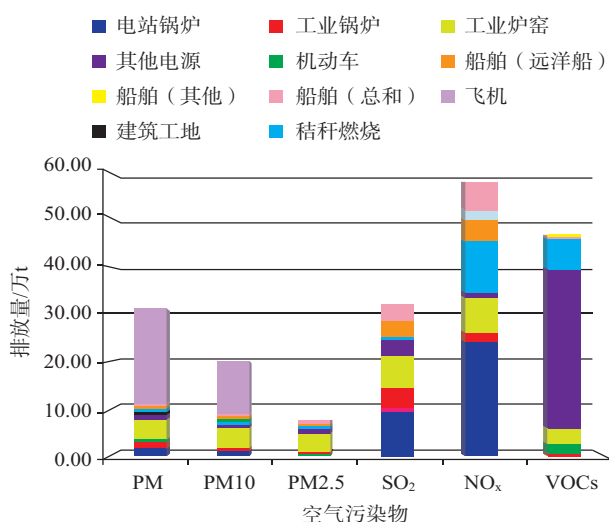


图2 上海市2010年度主要大气污染物排放

用岸基供电,年可节约燃油13.71万t,减少排放SO<sub>2</sub>4 410 t,NO<sub>x</sub>8 047 t,占2015年江苏省SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>减排目标的4.12%和5.12%。

近年来江苏大力发展港口岸电,助力港口节能减排,成立了省经信委、省环保厅、省交通厅、省物价局、江苏海事局、江苏省电力公司组成的岸电推广工作组,出台了一系列政策支持岸电发展,省环保厅将岸电工作要求列入《江苏省大气污染防治条例》,对岸电项目给予15%~20%的资金补贴。省交通厅将岸电建设要求纳入绿色港口创建标准,并在节能资金中给予一定补贴。省经信委在节能奖励资金中给予支持。江苏海事局和环保厅联合研究,力争在全国率先出台港口船舶排污限制政策,将船舶减排纳入地方减排指标。省电力公司承担因建

设岸电系统而引起的用户接入系统改造费用,提供电力技术支持和优质用电服务,推动岸电系统建设的标准化、规范化和国际化,进一步规范岸电服务价格,促使岸电建设进入良性循环。截至2015年6月,江苏共建成高压岸电系统5套、低压岸电系统95套,小容量岸电系统521套。至2015年底将达到高压岸电系统10套、低压岸电系统

200套,小容量岸电系统3 000套规模,全面实现岸电系统沿海、沿江、沿河、沿湖全覆盖。

## 2 港口岸电发展的可行性

### 2.1 国内外岸电应用情况

瑞典的斯德哥尔摩港自1985年就开始建设低压400 V的岸电系统给游轮使用。2000年,哥德堡港建设了世界第一套6.6 kV、1 250 kVA高压岸电电源系统。2002年,美国朱诺港5艘邮轮改造后,首次实现邮轮码头岸电供电。2004年,洛杉矶港与中国集装箱船舶公司合作建设了世界上第一个集装箱船只的岸电电源连接系统(AMP系统),总功率可达7.5 MW。据统计,截止到2013年,美国国内已经有洛杉矶港、长滩港等6个港口在使用船舶岸基供电系统,在欧洲也有哥德堡港等10个港口安装了船舶岸基供电系统。据不完全统计,全世界使用岸电技术的港口约有30个。

上海外高桥6号码头2010年5月建设了国内第一套变频变压岸电装置。连云港2010年10月首次将高压岸电系统应用于客滚轮上。2011年1月,深圳蛇口集装箱码头建设一套高低压兼容的岸电系统,可实现电压6 600 V或440 V输出,容量5 000 kVA,港航局要求深圳港2014年完成8个码头的岸电安装任务。目前,厦门港、福州港、宁波港、黄骅港等国内码头也正在计划立项进行船舶岸电系统的建设和试验。

经过多年的国内外实践表明,岸基供电技术已经逐渐趋于成熟,发展港口岸电的技术条件已经

具备。

## 2.2 国内形势及政策分析

### (1) 大气污染防治压力加大

2014年中国环境状况公报显示,全国开展空气质量监测的161个城市中有145个空气质量超标。为实施大气污染防治目标,改善空气质量,国务院出台了大气污染防治10条措施,各省市也先后出台了大气污染防治条例。目前大气污染防治工作面临着巨大的压力,港口岸电系统作为减少船舶靠港大气污染物排放的有效措施,获得了快速发展的机遇。

### (2) 政策支持力度不断加强

交通部将“靠港船舶使用岸电技术”列为交通运输节能减排专项资金优先支持项目,2011—2013年分别给予已实施的岸电项目相当于建设成本20%的资金奖励。

2014年9月深圳市出台的《深圳市港口、船舶岸电设施和船用低硫油补贴资金管理暂行办法》,对港口岸电设施建设、船舶使用岸电和转用低硫油以无偿资助的方式给予财政补贴。

江苏、上海等地在近期出台的大气污染防治相关文件中均提出大力推进靠港船舶岸电系统建设。

交通部水科院已经牵头启动制定中国港口排放控制区的研究,并将在有条件的地区开展排放控制试验区。

### (3) 船舶排放标准逐步完善

船舶从航行区域上可划分为国际远洋航行船舶和国内航行船舶,需满足不同的标准和管理要求。我国远洋航行船舶执行《防止船舶污染国际公约》的规定,而国内针对船舶污染物排放的标准较少,其中不超过37 kW船舶发动机执行《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国I、II阶段)》(GB20891),对大于37 kW的船用发动机尚无强制性标准。

2015年6月,环保部就《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法(中国第一、二阶段)》第二次征求意见,该标准适用于具有中国船籍在我国水域航行或作业的船舶装用的额定净功率大于37 kW的船用发动机。该标准还对船用燃油的种类和范围

做出了规定,且船用燃料油标准不仅适用于新生产的船舶,同时也适用于正在使用的所有船舶。该标准执行后可以填补船舶大气污染物排放标准空白,加强对船舶污染物排放控制。

随着大气污染日益严重,船舶污染已经逐渐引起社会各界的高度关注,各种排放限制和对减排措施的政策支持将会在近年内密集出台。船舶排放限制将提高船舶靠港时燃油发电的运行成本,支持和优惠政策将减少岸电系统建设的投资成本,在国内大范围推广岸电技术的条件已经成熟。

## 3 港口岸电系统解决方案

国内港口可分为海港、江港、内河港(河、湖),停靠的船舶种类各异。一般外轮大多停泊于海港和部分江港,外轮使用的电压频率一般为60 Hz,电压等级为高压6.6 kV、低压440 V,与我国电网电制不统一,不可直接供电,必须通过变压变频之后方可向船舶供电。国内船舶使用的电压频率和电压等级一般与电网一致,可直接供电。港口建设船舶岸基供电系统应充分考虑港口情况、码头泊位类型、船舶电制和船舶辅靠港负荷容量等,并依此来选择合适的岸电产品。根据不同船舶用电需求,本文将港口岸电系统按照应用需求分为“高压岸电、低压岸电及小容量岸电”等3类岸电应用形式。

### 3.1 高压岸电系统

#### (1) 适用范围

高压岸电系统用于沿海大型港口码头,可为靠港用电容量超过800 kVA的船舶提供电源。

#### (2) 供电方案

高压上船模式是将码头电网10 kV(6 kV)/50 Hz高压电源通过变压变频装置转换为6.6/(6)kV、60 Hz/50 Hz高压电源,接入船载电源系统供船上设备使用,变压变频装置放置在码头配电房内,在码头处配置高压岸电接电箱。高压上船可以减少电缆根数(一般只需1根或2根电缆),但对于大多数船舶来说,使用高压岸电需要进行改造。其方案如图3所示。

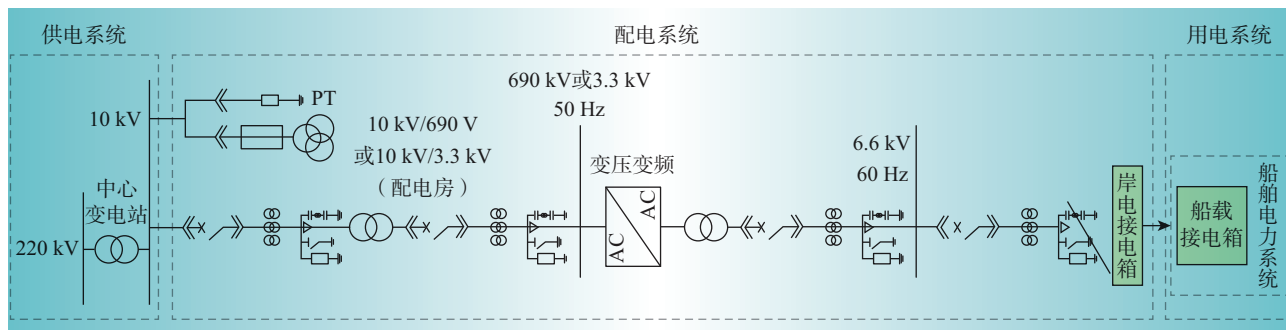


图3 高压岸电系统供电方案



### 3.2 低压岸电系统

#### (1) 适用范围

低压岸电系统一般用于沿江、内河小型港口码头,可为靠港用电容量低于800 kVA的船舶提供电源。当船舶靠港用电容量超过400 kVA时,如使用低压岸电系统,一般需接驳数根低压电缆,接驳时间长,难度大,因此建议靠港用电容量超过400 kVA的船舶使用高压岸电上船方式。

#### (2) 供电方案

低压上船模式是将码头电网10 kV、50 Hz高压电源变频、变压转换为450/(400)V、60 Hz/50 Hz低压电源(双频供电),直接接入船上受电设备使用。如果码头泊位只停靠50 Hz的船舶,不需安装变频装置,直接使用380 V/50 Hz市电供电,变压变频装置放置在码头配电房内,在码头设置低压岸电接电

箱。使用低压岸电的船舶一般不需改造,只需要为穿用电缆配置相应的电缆接头即可使用。低压岸电系统供电方案如图4所示。

### 3.3 小容量岸电系统

#### (1) 适用范围

小容量岸电设施主要安装于停泊散货船一类的小型港口码头,针对内河、湖停靠的1 000 t级以内的小型船舶进行供电,船舶电制为380 V/50 Hz,船舶用电主要满足船舶生活照明用电,容量一般小于20 kVA。

#### (2) 供电方案

供电方式:将码头电网10 kV、50 Hz高压电源经变压器转换为380 V三相低压电源,在码头建设小容量岸电接电桩,接入船上供受电设备使用。其供电方案如图5所示。

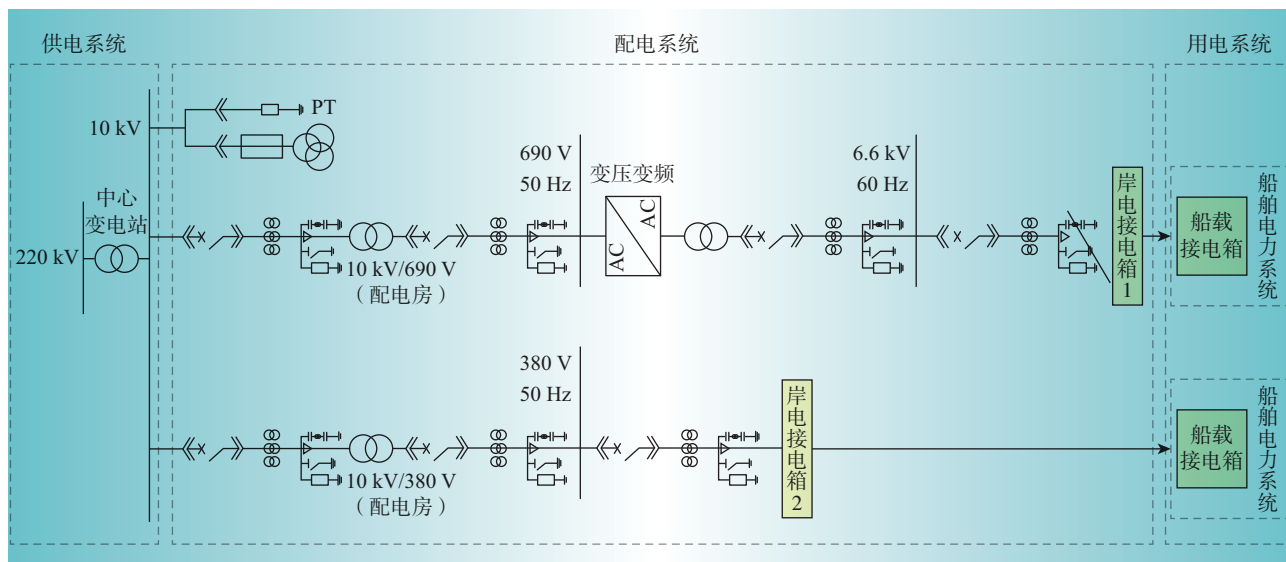


图4 低压岸电系统供电方案

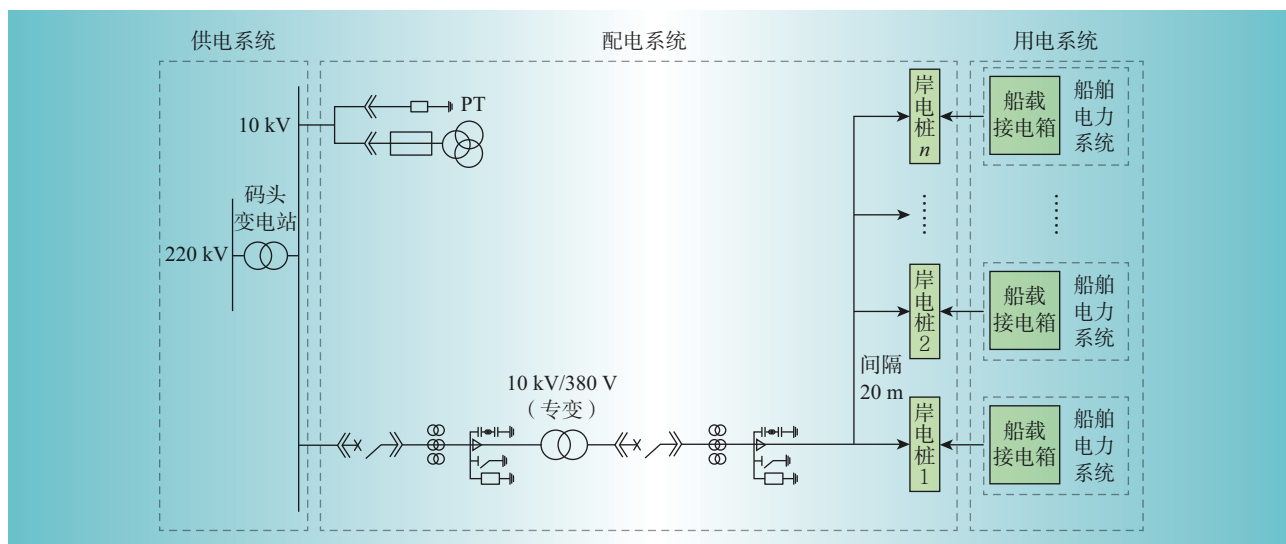


图5 小容量岸电系统供电方案

## 4 岸电系统经济效益分析

### 4.1 港口效益分析

岸电的经济效益分析利用《经济工程学》的计算规则,根据年用电量、项目总投资额、岸电分享收益等主要参数分别进行高压岸电、低压岸电、小容量岸电经济效益测算。年用电量根据船舶停港期间平均功率消耗、每次停靠时间、泊位利用率(按照交通部的《港口工程技术规范》确定取值范围,可取折衷值0.58)确定。岸电分享收益为岸电服务电价减去用电电价。经济效益测算参数如表1所示。

表1 经济测算参数表

项目	指标值			
	高压变频	低压变频	低压 不变频	低压 小容量
静态投资/万元	600	80	30	30
岸电容量/kWh	2 000	200	200	8
数量/套	1	1	1	24
平均靠港 负荷/kWh	1 000	150	150	2
靠泊率/%	5.8	5.8	5.8	0.67
每天供电 时间/h	10	10	10	10
年用电量/kWh	2 117 000	317 550	317 550	119 136
运营期/年	10	10	10	10
岸电服务费/ (元·kWh <sup>-1</sup> )	1.6	1.6	1.6	1.6
用电电价/(元· kWh <sup>-1</sup> )	0.860 1	0.860 1	0.860 1	0.860 1
燃油消耗率/ (kg·kWh <sup>-1</sup> )	0.5	0.5	0.5	0.5
年消耗柴油/t	1 058.5	158.8	158.8	59.6

注:港口向船舶收取服务费以1.6元/kWh计,港口自电网购电电价以江苏10 kV一般工商业电价0.860 1元/kWh计,岸电系统分享收益为0.739 9元/kWh。

根据项目测算边界条件,按照项目10年运营期分析,以项目投资中贷款占50%为前提条件进行测算,分类岸电项目可得如表2所示的投资回报评价。

### 4.2 船舶效益分析

经过实际调研数据,统计船舶辅机燃油消耗率约为0.5 kg/kWh。燃油消耗率与年用电量相乘可以得出年消耗柴油总数。依照柴油市场价格就可计算出船舶年燃油费用。按照当前0号柴油6 300元/t计算,

表2 分类岸电系统10年运营经济评价分析表

项目	6.6 kV/ 60 Hz	440 V/ 60 Hz	380 V/ 50 Hz	小容量
	分享 收益一	分享 收益一	分享 收益一	分享 收益一
静态投资/万元	600.00	80.00	30.00	30.00
动态投资/万元	604.43	80.59	30.22	30.22
折旧年限/年	10.00	10.00	10.00	10.00
项目运营期/年	10.00	10.00	10.00	10.00
贷款年利率/%	5.90	5.90	5.90	5.90
贷款偿还期/年	10.00	10.00	10.00	10.00
基准收益率/%	8.00	8.00	8.00	8.00
静态投资 回收期/年	4.35	3.85	1.42	3.89
动态投资 回收期/年	5.62	4.84	1.57	4.90
总投资收益率/ 投资报酬率/%	13.42	16.36	60.41	16.12

注:港口向船舶收取服务费以1.6元/kWh计,港口自电网购电电价以江苏10 kV一般工商业电价0.860 1元/kWh计,岸电系统分享收益为0.739 9元/kWh。

折算到每度电的燃油成本为3.15元/kWh,按照船舶使用岸电1.6元/kWh计算,船舶收益为1.55元/kWh。(注:如果船舶使用重油,一般重油价格是清油的0.54倍,折算到每度电的用油成本1.7元/kWh)

综上所述,港口建设岸电系统,船舶使用岸基供电都具备较好的经济性,同时还具备极大的减排效果,具备显著的社会效益,值得大力推广。

## 5 港口岸电商业运作模式

目前,我国港口岸电建设应用处于起步阶段,大部分港口、船舶尚未具备主动建设、应用港口岸电系统的意识和动力。探索经济的投资模式、合理的盈利模式和方便快捷的结算模式,将有助于港口岸电技术的普及推广。

### 5.1 投资模式

目前,国内大部分以港口自行投资建设为主,先期投资金额过大和收益的不确定性,一定程度上阻碍了港口企业实施岸电系统改造的积极性。引入合同能源管理模式,由节能公司或社会资本先期投资实施岸电系统建设,通过分享岸电运营效益,逐步收回投资并获得良好的经济回报,是有效缓解港口企业资金压力、降低投资风险的有效途径。

## 5.2 盈利模式。

新技术的普及推广离不开良好的盈“利”能力，这个“利”包括经济效益和社会效益2个方面。从上述经济效益分析可以看出，港口岸电能够使社会、港口方、船方、电网企业、第三方投资主体实现“五方”共赢，社会可以获得良好的减排环保效益，改善大气质量和水源质量；港口方通过岸电服务费与网供电费之间的差价获得经济效益；船方可以节省燃料费用、降低辅机设备损耗、优化生活作业环境；电网企业可以通过增售电量获得售电收益；第三方投资主体通过分享岸电运营效益获得经济回报。

## 5.3 结算模式。

国内现行的港口、货主、船舶相关费用结算模式主要有2种：一是由货主直接委托船主运送货物，船舶抵达货主指定的港口后，由货主与船主、港口分别结算运费、装卸费等相关费用，主要适用于内河船运；二是由货主将货物运输委托给货代，向货代一次性支付运输费用，货代与船代签订货物运输协议，由船代选择船运公司运输货物，货物到港口，船代负责向船运公司、港口分别支付运费、装卸费等相关费用，这类方式主要应用于海上运输。结合以上2类费用结算模式，港口企业可采取不同岸电服务费收取方式。针对内河船运，港口企业可按照表计抄见电量直接向船主收取岸电服务费用，可采取现金、刷卡、网络支付等方式进行结算；针对海运船舶，港口企业在与船代结算装卸费等费用时一并结算岸电服务费，双方根据事先约定的结算期限定期结算，船代在与船运公司结算运费时，扣减岸电服务费用。

# 6 港口岸电发展存在的困难及建议

## 6.1 存在的困难

(1) 国内岸电系统的标准体系还不够完善，目前国内有交通行业标准对一定范围的船舶岸基供电系统建设提出了要求，但作为行业标准，标准的效力不强，适用范围较小，小容量的船用接电设施标准还存在空白。

(2) 目前港口岸电设备和船舶岸电设备安装数量较少，岸电设备的生产未形成规模效应，销售价格相对较高，岸电系统建设的初期投资较高，岸电系统建设较长的投资回报周期在一定程度上影响了岸电系统的普及应用。

(3) 船用燃油市场缺乏有效监管，油品质量无法保证。目前国际油价相对较低，船舶接用岸电与使用市场上的低价劣质燃油相比，运行成本没有形成明显优势，再考虑到大型船舶需

进行一定改造，船舶接用岸电工作受到一定影响。

(4) 政策支持和引导力度需进一步加强。船舶的污染防治在我国长期处于被忽视的状态，各级政府对降低船舶排放污染的政策支撑有限。除深圳市2014年出台了对船舶使用岸电和转用低硫油的资金支持政策外，其他地区的相关政策还处于空白状态。目前靠港船舶燃油发电的大气污染物排放放在港口建设的环境影响评价中不计入各类污染物排放总量，也没有体现在地区节能减排指标值中，国家层面的政策引导和监管力度还需进一步加强。

## 6.2 相关建议

(1) 进一步完善岸电系统国家标准体系，统一规范和指导岸电系统的建设和使用，减少不同标准岸电系统的重复建设。

(2) 国家层面出台明确的港口及船舶污染防治指导意见，全国范围内严格执行船舶大气污染防治相关法律法规，规范船用油品质量监管，尽快建立船舶污染排放控制区，积极引导靠港船舶接用岸电。

(3) 建议国家和沿海各地政府加快研究、制定适用于港口船舶使用岸电的补贴管理办法，对岸上供电系统建设、船上受电设备改造给予一定的资金扶持，对使用岸电系统的船只，按照用电量给予部分资金补贴。同步推动港口岸上供电设施建设和船舶受电设施改造，提高船舶靠港接用岸电的积极性，推动岸电设备的普及，尽快度过岸上供电设备无船可供和船上受电设备无电可接的瓶颈期。

(4) 加强宣传引导。建议相关政府部门要会同供电部门加大宣传力度，充分宣传港口岸电技术的经济效益和社会效益，积极推动典型示范项目建设，以点带面推动岸电加速发展。D

## 注释：

- ①数据来源于交通运输部《2014年交通运输行业发展统计公报》。
- ②数据来源于江苏省统计局《江苏省统计年鉴—2014》。
- ③数据来源于江苏省统计局《2014年江苏省国民经济和社会发展统计公报》。
- ④数据来源于自然资源保护协会《中国船舶和港口空气污染防治白皮书》。
- ⑤数据来源于香港环境保护署《2013年度空气污染物排放清单》。
- ⑥数据来源于上海市环境监测中心《上海市船舶及港口大气污染物排放清单研究》。

(本栏责任编辑 徐文红)