

# The Correct Calculation and Analysis of Navigation Economic Benefit of Ultra-Large Deepwater Channel

—The Yangtze Estuary 12.5 m Deepwater Channel as an Example

Wenzheng Li<sup>1</sup>, Wenda Pan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yangtze Estuary Channel Administration Bureau, Ministry of Transport, Shanghai

<sup>2</sup>China Waterborne Transport Institute, Ministry of Transport, Beijing

Email: [pwd@wti.ac.cn](mailto:pwd@wti.ac.cn)

Received: Jan. 3<sup>rd</sup>, 2014; revised: Jan. 28<sup>th</sup>, 2014; accepted: Feb. 8<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 Wenzheng Li, Wenda Pan. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Wenzheng Li, Wenda Pan. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** As a number of evaluation methods have already not been suitable, currently, it is hard to find a set of mature methodologies to evaluate the economic added value due to the introduction of measurements to improve the complicated situation of the deep water channel of the Yangtze Estuary 12.5 m Deepwater Channel. In order to keep the analysis result of economic efficiency in line with the real situation after the improvement of the deep water channel project, this paper is expected to provide some evidences for relevant research through explorations and attempts conducted by the author.

**Keywords:** Ultra-Large Deepwater Channel; Navigation Economic Benefit; Correct Calculation and Analysis; Problem Discussion

## 超大型深水航道航运经济效益分析及相关问题探讨

—以 2012 年度长江口深水航道航运经济效益为例

李文正<sup>1</sup>, 潘文达<sup>2</sup>

<sup>1</sup>交通运输部长江口航道管理局, 上海

<sup>2</sup>交通运输部水运科学研究院, 北京

Email: [pwd@wti.ac.cn](mailto:pwd@wti.ac.cn)

收稿日期: 2014 年 1 月 3 日; 修回日期: 2014 年 1 月 28 日; 录用日期: 2014 年 2 月 8 日

**摘要:** 目前, 对于长江口深水航道这样世界级的复杂和超大型的深水航道, 治理后实际所产生的经济效益增量的分析尚无成熟的方法, 许多传统的航道经济评价和分析方法已不适应。为使长江口深水航道治理后的航运经济效益分析尽量与实际情况相符, 本文在许多方面作了探索和尝试, 希望能为该类研究提供借鉴。

**关键词:** 超大型深水航道; 航运经济效益; 计算与分析; 问题探讨

### 1. 引言

长江口 12.5 米深水航道开通后, 对上海国际航运中心和沿江地区经济社会发展做出了巨大贡献, 既增加了航运、港口及航运服务业的经济效益, 也提高了

临港产业、沿江经济带和长江流域的经济效益。其中, 对航运经济的影响具有代表性, 其航运经济效益的分析方法及与一般航道的比较差异是需要重点探讨的问题。

## 2. 长江口 12.5 米深水航道的通航状况

长江口呈现“三级分叉、四口入海”格局，包括北槽、南槽、北港和北支 4 条航道。长江口 12.5 米深水航道治理工程位于北槽，从 1998 年 1 月开始，历时 13 年，工程总投资 157 亿元，形成了全长 92.2 公里、底宽 350~400 米、维护水深 12.5 米的双向航道。该工程是我国建国以来最大的水运工程和世界最大的河口整治工程，攻克了拦门沙等一系列世界性难题，创造了世界航道建设史上的奇迹，圆了国人百年长江口之梦。工程使得长江口，由治理前乘潮时可最大通过 2 万吨级满载船舶，在治理后可保证第三、四代集装箱船和 5 万吨级散货船全天候满载通过，第五、六代集装箱船和 10 万吨级散货船乘潮满载通过，20 万吨级船舶乘潮减载通过<sup>[1]</sup>。

2012 年是长江口 12.5 米深水航道正式通航的第二年，全年通过船舶 47,536 艘次，日均 149 艘次，为治理前 8238 艘次的 5.8 倍。其中吃水 9 米以上的船舶达到 20,514 艘次，为治理前的 5.2 倍。货运量 10.2 亿吨，为治理前 4.7 倍。船舶大型化明显，平均总吨 24,550 吨，平均载重吨 35,477 吨<sup>[2]</sup>。如图 1 所示。

通过长江口 12.5 米深水航道的船舶，以散杂货船、油船、危化品船和集装箱船为主，占总通过船舶的 90% 以上。各种货类运输船舶的主力船型及运量份额有所差异。散杂货主力船型吃水 7~11 米、载重吨 1 万吨及以上，通过艘次占散杂货船总艘次的 78.26%，货运量占散杂货运量的 82.06%。集装箱主力船型吃水 7~11 米、箱量大于 1000 标箱，通过艘次占通过集装箱船总艘次的 77.53%，运输箱量占通过集装箱总量的 81.09%。

油品船主力船型吃水 7~11 米、载重吨 1 万吨及以上，通过艘次占油品船通过总艘次的 83.58%，油品运量占油品总运量的 91.24%。危化品船主力船型吃水 7~10 米、载重吨 1~5.5 万吨，通过艘次占危化品船通过总艘次的 70.76%，货运量占危险品总运量的 79.67%。如图 2 所示。

## 3. 航运经济效益分析的关键技术问题<sup>[3]</sup>

长江口 12.5 米深水航道不同于一般港口进港航道，在通航船舶分布规律、航道水深与货运量分布关系、有无对比边界、运输组织方式、经济效益分析方法及参数等方面具有其自身的特殊性和复杂性，是完成航运经济效益分析所必须解决的。

### 3.1. 通航船舶分布规律

确定通过长江口 12.5 米深水航道船舶流量随时间的分布函数，是计算航道通过能力的关键。一般认为船舶到达港口或通过航道的间隔时间服从泊松分布规律，小部分船舶服从正态分布规律<sup>[4]</sup>。而长江口 12.5 米深水航道的船舶流量随时间的分布函数并不服从泊松分布规律，是一个二次多项式。由于每年 2 月份长江口通过船舶受气候条件影响较小，因此以 2 月份为典型月，根据每日 1~24 小时通过船舶的实际艘次，运用 MATLAB 拟合得月平均分时通过船舶分布曲线：

$$P = -0.0001t^2 + 0.00023t + 0.0283$$

其中， $P$  为船舶通过频率随时间变化的一元二次多项

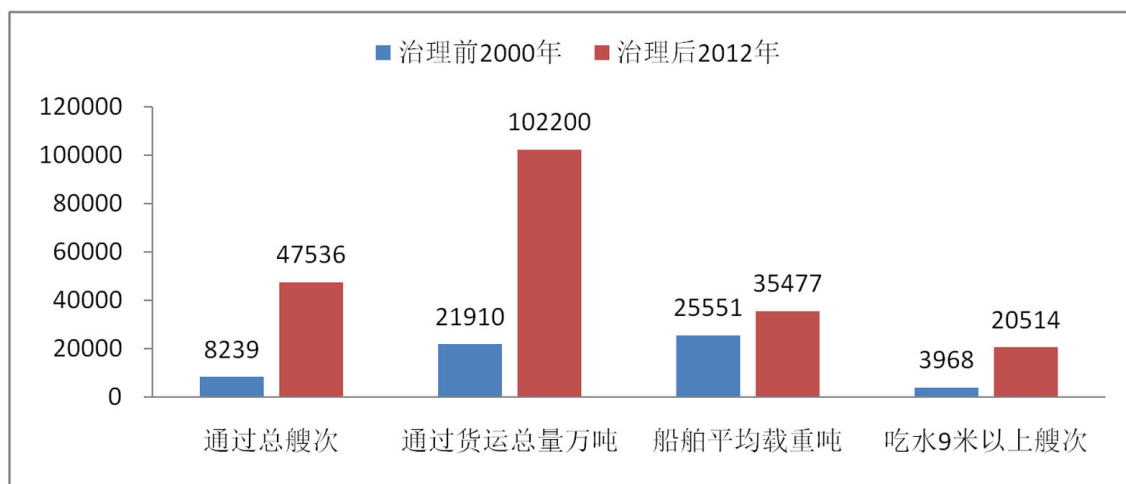


Figure 1. Comparisons of number of ships, cargo volume and DWT before and after the improvement project of the deep water channel  
图 1. 长江口深水航道治理前后通过船舶艘次运量载重吨对比图

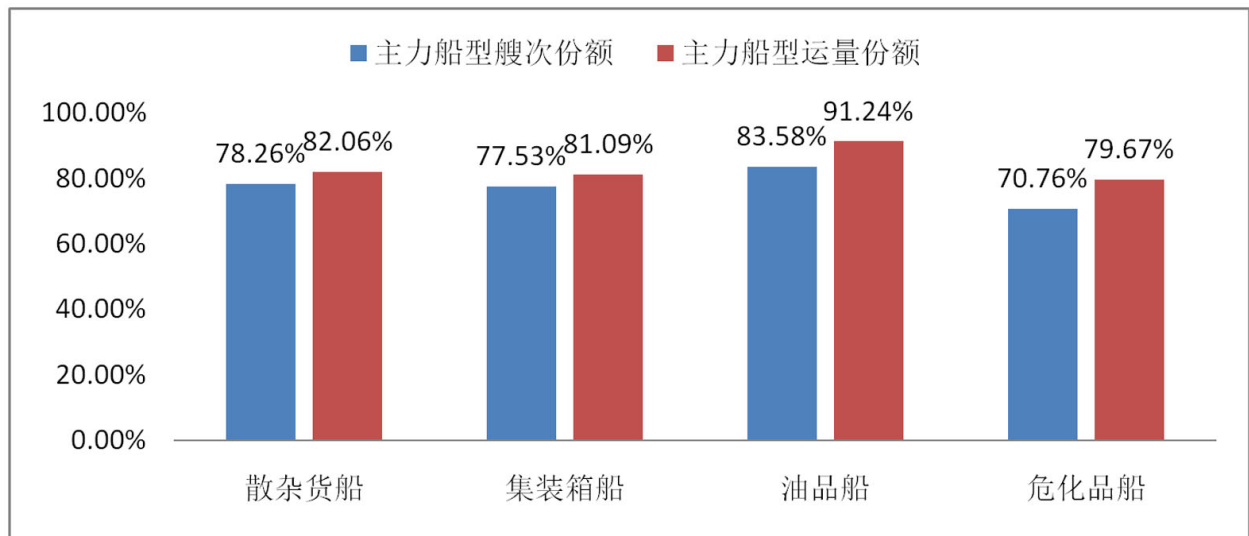


Figure 2. Number of ships and volume share by major ship types and by cargo types after the improvement project of the deep water channel  
图 2. 长江口深水航道治理后分货类主力船型通过艘次及运量份额

式函数,  $t$  为时间, 多项式系数矩阵解的上三角矩阵  $R = [-1327.7876 \ -67.7819 \ -3.6903; \ 0 \ -17.4817 \ -2.8522; \ 0 \ 0 \ -1.4988]$ , 自由度  $df = 21$ , 残差范数  $normr = 0.0282$ 。一元二次拟合曲线如下图 3 所示, 与实际一致。

这一结果表明不能用泊松分布简单估计长江口 12.5 米深水航道的通过能力。

### 3.2. 船型分类、吃水及货运量关系

采用典型船舶还是采用实际通过船舶的基础数据资料是贯穿本文研究的核心问题。由于我们所面对的是长江口 12.5 米深水航道通航后的实际经济效益, 完全不同于项目建设前的预测经济效益, 因此不能简单的套用建设项目经济评价方法。由上一条, 我们已经知道不能用泊松分布简单的计算长江口 12.5 米深水航道的通过能力。根据长江口 12.5 米深水航道的 VTS、AIS 统计资料, 每年通过船舶近 5 万艘次, 船型千差万别, 同一艘船舶每次通过的货运量不同, 因此同样不能用几种典型船舶简单地代表实际货运情况; 并且不能用典型船舶简单地计算实际经济效益, 船舶的经济效益也不能仅仅决定于艘天费用——即成本。

实际通过船舶的基础数据资料的选择问题也是需要关注的关键问题。由于长江河口段三级分叉四口入海, 而长江口 12.5 米深水航道——北槽, 仅是四个入海口之一, 故不能用长江的总量数据代替, 也不能用沿江港口的统计数据推算或凭经验估计, 现场 OD 调查更不可行。那么可否采用沿江港口的流量流向数据? 经分析认

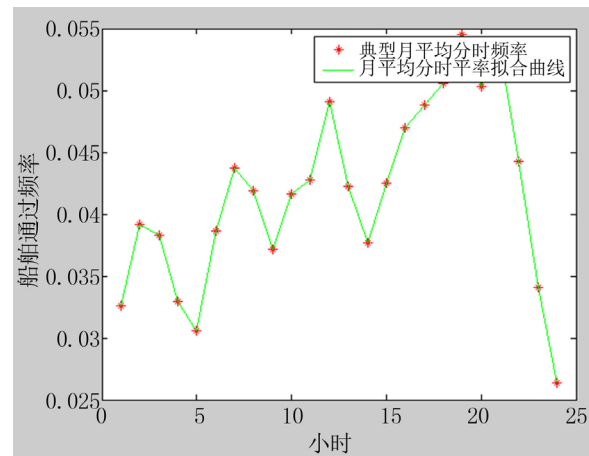


Figure 3. Distribution of monthly average number of ships passing through the deep water channel by hours  
图 3. 长江口深水航道月平均分时通过船舶分布

为港口的流量流向数据可以估计“整个长江口”的江入海和海进江的货运量和船舶艘次, 但是它不能说明进出“长江口深水航道”的情况, 并且还存在着数据误差较大、受保密限制而不易获得等问题。然而, 通过北槽 VTS、AIS 的统计资料清清楚楚地记录着每一艘船舶的详细资料, 就自然成为所需数据的唯一来源。由于这些数据资料十分庞大且不能直接采用, 需要建立模型对这些数据的整理、分类和换算, 并由此确定航道水深、船型、吃水、货运量变化间的分布关系。

### 3.3. 有无对比边界函数

“有无对比”方法是计算航道治理后经济效益的

常用方法。但是在实际使用中难度很大,即同一艘船甚至同一航道当前的运行情况与航道治理前的情况变化都很大,如何确定“有”和“无”的状况当然是解决问题的关键。对于长江口 12.5 米深水航道,治理前“无”项目的状况不是零,应是治理前的实际情况。首先,确定把 2000 年 7 月 20 日北槽正式按 8.5 米维护水深通航之前的通航状况作为“无项目”的状况。其次,确定“无项目”状况的标准,即 2000 年北槽通过的集装箱、散杂货、油品及危化品等船舶吃水与载重吨的拟合边界函数。通过该函数,可根据每一艘船舶“无项目”时的吃水量,换算出治理前后实际吃水量的差,即“有无项目”情况下的吃水量差。

1) 集装箱船“无项目”时平均吃水  $y$  与载重吨  $x$  的拟合函数

江入海,  $y_1 = 6.4 + 2.38 \times 10^{-5}x_1$ , 其中  $R^2 = 0.9825$ ,  $t_1 = 78.083$ ,  $t_2 = 10.592$ ,  $DW = 3.061$ 。海进江,  $y_2 = 7.548 + 2.85 \times 10^{-5}x_2$ , 其中  $R^2 = 0.8762$ ,  $t_1 = 26.452$ ,  $t_2 = 3.763$ ,  $DW = 1.984$ 。

2) 散杂货船“无项目”时平均吃水  $y$  与载重吨  $x$  的拟合函数

江入海,  $y_3 = 6.596 + 1.08 \times 10^{-5}x_3$ , 其中  $R^2 = 0.8540$ ,  $t_1 = 25.073$ ,  $t_2 = 3.420$ ,  $DW = 2.601$ 。海进江,  $y_4 = 7.701 + 9.64 \times 10^{-6}x_4$ , 其中  $R^2 = 0.8964$ ,  $t_1 = 39.322$ ,  $t_2 = 4.159$ ,  $DW = 1.868$ 。

3) 油品危化品船“无项目”时平均吃水  $y$  与载重吨  $x$  的拟合函数

江入海,  $y_5 = 6.184 + 1.35 \times 10^{-5}x_5$ , 其中  $R^2 = 0.9768$ ,  $t_1 = 50.587$ ,  $t_2 = 9.174$ ,  $DW = 1.833$ 。海进江,  $y_6 = 7.610 + 1.00 \times 10^{-5}x_6$ , 其中  $R^2 = 0.9008$ ,  $t_1 = 38.528$ ,  $t_2 = 4.262$ ,  $DW = 2.131$ 。

### 3.4. 通航船舶的运输组织方式

通过船舶的运输组织方式,包括直达、候潮、减载、转运等 4 种情形,也是决定其航运经济效益的重要方面。由于各种货类的船舶都有其经济运距,当超过经济运距发生中间减载或中转时,就要产生亏损。因此,理性的承运人除了远洋运输外,一般会尽量减少减载或中转,而实行港到港的直达运输。所以,沿海和近洋运输只考虑直达(包括乘潮),远洋运输才考虑二程减载或中转。

### 3.5. 航运经济效益分析参数和影子价格的确定

由于运费、装卸费、燃油费、汇率、运量、吞吐量等都是随着市场、港口、码头、企业、船舶和时间而动态变化的,即某一时点的数据是某个经营者的截面数据。但是,长江口深水航道的航运经济效益分析是对通过船舶的全年数据分析,即需要全年的平均运费、平均装卸费、平均燃油费、平均汇率,以及总运量、总吞吐量等,所以不能直接采用某一家机构或单位提供的某一时点的的数据,即本文不采用某一机构或时点的的数据作为影子数据。为了解决这个问题,需采用广泛的市场调研并与上市公司的年报相结合,测算出航运业的单位货运量和装卸量综合价格,并以行业综合运价作为影子价格,扣除相应经济费用,得到航运净收益。燃油影子价格采用当年国际市场中间价格。影子汇率采用当年美元兑人民币中间价格。投资和营运维护成本不进行影子价格调整。忽略港口物流、房地产投资、资本运营、土地等无形资产摊销的经济收益和费用。

### 3.6. 航运经济分析方法的差异

长江口 12.5 米深水航道的航运经济效益分析的方法和条件,与《水运建设项目经济评价方法与参数》2009<sup>[5]</sup>中一般航道所设定的情形,在许多方面存在明显差异。

1) 船型不同。一般航道建设前并不知道实际通过船舶的情况,故需按设计代表船型计算经济效益。而长江口深水航道的船舶来自世界各地或国内各港,如果仅用几种代表船型计算,其结果与实际差别较大,故按照船舶吃水与货运量的函数关系(如本文三、四中公式(1)~(6)所示),并根据 VTS 和 AIS 统计数据按货类逐条计算;

2) 建设性质不同。一般航道以新建为主,而长江口深水航道属于扩建,因此,要考虑治理前后的各项指标的变化,要同时考虑船型大型化的因素和吃水增加的因素,其中船舶大型化主要受航运业发展的影响,并不完全是航道治理的结果,吃水增加却主要受深水航道治理的影响,因此,如果只考虑船舶大型化效益,而不考虑船舶吃水增加效益是不完善的;

3) 运输环节不同。一般中间运输环节主要考虑船舶待闸和候潮费用,而长江口深水航道除了有候潮过

程外,还增加了减载环节,特别是大型矿石船舶在航道治理前要减载到吃水 10 米才能进江,在航道治理后需减载到 12 米进江,因此,长江口深水航道比一般航道增加了船舶减少减载效益,以及由此衍生出来的减载船舶的待港时间、货物时间、货物损耗、二程船运费装卸费和船舶艘天费等费用的节约;

4) 效益分析项目不同。一般航道经济效益分析,主要包括船舶大型化效益、船舶待泊(待闸、候潮)费用节约、缩短水路运距的效益、替代陆路运输费用的节约、缩短陆路运距的效益、货物在途时间价值节约、其他可量化的直接经济效益等 7 项。经过优化后,长江口深水航道的航运经济效益,主要包括船舶直达运输的效益、减少减载的效益、船舶和货物的时间价值、货物损耗节约等 4 项。

## 4. 航道治理后增加的货运量和减少减载的货运量

### 4.1. 单船直达运输增加的货运量

单船直达运输增加的货运量是计算航道治理后增加的总货运量的基础。即某单船直达运输增加的货运量 = 该船舶“有项目”时的运量 - “无项目”时的运量 = 该船舶“有无项目”时的吃水差 × 船舶单位吃水载重吨(TPC)。用公式表示为:

$$\Delta_b = 100 \cdot TBC \cdot (T_a - T_0) \quad (1)$$

式中:  $\Delta_b$  ——某单船增加的货运量;  $T_a$  ——船舶实际吃水量;  $T_0$  ——该船舶“无项目”时的吃水量。

船舶单位吃水载重吨(TPC)可以根据船方提供的典型船舶静水力曲线图表直接查取,或者按下列步骤计算<sup>[6]</sup>:

第一,计算船舶方形系数:

$$C_b = C - \frac{v}{2\sqrt{3.2L}} + \delta \quad (2)$$

式中:  $C_b$  ——船舶方形系数;  $C$  ——常数,单桨船取 1.08,双桨船取 1.09;  $v$  ——航速(kn);  $L$  ——船长(m);  $\delta$  ——无球首取 0,有球首取 0.04。

第二,计算每厘米吃水载重量:

$$TPC = 0.01 \cdot L \cdot C_b / 0.9756 \quad (3)$$

式中:  $TPC$  ——船舶每厘米吃水载重量(吨);  $L$  和  $C_b$ , 同上; 0.01 为米与厘米换算系数; 0.9756 为每立方米

海水重量(吨)。

### 4.2. 同类船舶增加的货运量

同一货类船舶增加的运量:

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n (\Delta_{bi}) \quad (4)$$

其中,  $\Delta_b$  为某货类船舶单船增加的运量,  $n$  为该类船舶通过的艘次。

### 4.3. 减少减载的货运量

在航道治理前,吃水超过 10.5 米的船舶或吃水 9 米~10.5 米且不能保证当日通过的船舶,都需要减载运行。实际发生减载的船舶主要是外贸矿石船,集装箱船一般通过运营组织来适应航道水深故不发生减载,煤炭船在吃水不够时则采用亏载运输或者改用小船运输同样也不会减载。因此,只考虑外贸矿石运输船舶减载。航道治理后相对于治理前的情况,减少减载的货运量为:

$$Q_d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta_d \quad (5)$$

式中:  $Q_d$  ——船舶减载货运量(吨);  $\Delta_d$  ——应减载船舶平均减载量(吨/艘次);  $m$  ——应减载船舶艘次;  $n$  ——货运种类。

## 5. 航运经济效益

### 5.1. 船舶直达运输增加的效益

某类货物船舶直达运输增加的经济效益:

$$DE = E_m \cdot \bar{D} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_b \quad (6)$$

式中:  $DE$  ——某类货物船舶直达运输增加的经济效益(元);  $E_m$  ——某类货物水上运输影子单价;  $\bar{D}$  ——某类货物平均运距(公里);  $n$  ——某型船舶运输艘次;  $\Delta_b$  ——某类船舶增加的运量(万吨)。

经测算,2012 年长江口 12.5 米深水航道船舶直达运输增加的经济效益为 50.77 亿元。其中,散杂货 34.53 亿元、集装箱 14.92 亿元、油品 1.11 亿元、危化品 0.21 亿元。

### 5.2. 船舶减少减载的效益

船舶减少减载的经济效益,包括外贸矿石减载中

转港的装卸费节约和二程船舶转运费节约两部分,其他货类不存在减载。

减载中转港装卸费节约 = 外贸矿石减载运量 × 港口装卸影子价格

二程船转运费节约 = 外贸矿石减载运量 × 平均运距 × 水上货运影子价格

经测算,2012年减载中转港装卸费节约8.17亿元,二程船运费节约4.70亿元。

### 5.3. 船舶和货物的时间价值

由于货物时间价值相对较小,因此忽略不计。

船舶的时间价值 = 应减载船舶艘天费用节约 + 二程转运船舶艘天费用节约 + 减少乘潮的船舶艘天费用节约

应减载船舶艘天费用节约 = 应减载单船艘天费用 × 应减载船舶艘次 × 平均待港时间

二程转运船舶艘天费用节约 = 二程单船艘天费用 × 实际需要二程船数量 × 年工作天数

减少乘潮的船舶艘天费用节约 = 乘潮单船艘天费用 × 需乘潮船舶艘次 × 平均候潮时间

经测算,2012年应减载外贸矿石船艘天费用节约3.77亿元,二程船艘天费用节约2.15亿元,减少乘潮的船舶艘天费用节约0.78亿元。以上合计,船舶时间价值达6.69亿元。

### 5.4. 货物损耗节约

货物损耗节约 = 减少减载货运量 × 吨货价值 × 自然货物损耗

自然货物损耗,按中港协《铁矿石装卸中转损耗率行业推荐标准》<sup>[7]</sup>,大宗货类每换装或捣载一次,增加1%的自然货物损耗,因此,对装卸损耗各按1%计算。

经测算,2012年货物损耗节约10.10亿元。

### 5.5. 航运直接经济费用

航运直接经济费用包括航道治理和维护经济费用和航运企业运营的经济费用两部分。由于在航运经济效益计算中,仅考虑了深水航道相对于“无项目”

时船舶运量的净增量、净减载量,并且航运影子单价是已经扣除了各种成本和费用分摊后的单位经济净效益,因此,不再单独计算航运企业运营的经济费用。2012年,长江口12.5米深水航道治理和维护经济费用为19亿元。

## 6. 费用效果分析及结论

经测算综合算,2012年长江口12.5米深水航道产生的航运经济效益为80.43亿元,比上年增长3.32%。其中船舶直达运输增加效益50.77亿元、船舶减少减载的经济效益12.87亿元、船舶时间价值6.70亿元、货物损耗节约10.10亿元,航运经济费用19亿元。增减相抵,航运净效益61.43亿元,费用效益比等于4.23。(需要说明的是,本文只计算了2012年长江口12.5米深水航道实际发生经济效益,其他年份及其他经济效益不在计算范围内)。

综上所述,长江口深水航道治理工程是世界级的超大型深水航道治理工程,对通航条件以及通过船舶的运行组织和分布规律的影响是非常复杂的,其经济效益的形成和变化同样是多方面的和综合性的。目前,对于这样复杂和超大型的深水航道,治理后实际所产生的经济效益增量的分析尚无成熟的方法,许多传统的航道经济评价和分析方法已不能适应实际要求。为使长江口深水航道的航运经济效益分析尽量与实际情况相符,弥补传统分析方法存在的不足,本文在许多方面作了探索和尝试,希望能为该类研究提供借鉴。

## 参考文献 (References)

- [1] (2011) 长江口深水航道治理工程社会经济效益评估报告. 中国工程院,北京.
- [2] (2012) 进出北槽船舶VTS统计. 上海海事局,上海.
- [3] (2012) 长江口12.5米深水航道经济与社会效益研究. 交通运输部水运科学研究院,北京.
- [4] 刘明俊,万长征 (2008) 航道通过能力影响因素的分析. *航海工程*, 5, 116-118.
- [5] (2009) 水运建设项目经济评价方法与参数. 交通运输部,北京.
- [6] 刘松军 (2008) 75000吨巴拿马型散货船总体设计. 硕士学位论文,哈尔滨工程大学,哈尔滨.
- [7] (2007) 铁矿石装卸中转损耗率行业推荐标准. 中国港口协会,上海.