



国内外导标工程设计参数对比分析

刘永刚¹, 易中立², 施 凌¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 交通运输部规划研究院, 北京 100028)

摘要: 为了推进中国标准国际化, 推动“一带一路”建设, 介绍国内、外导标工程设计计算参数及性能评估方法, 从计算原理、资料分析等方面对比国内外规范中关键参数的取值差异, 对导标轴线、垂直张角、偏离量及评估方法进行细化分解, 得出国内外规范使用的差异及不足。同时结合工程实例, 计算中外规范导标的设计参数, 并进行对比分析。结果表明, 中外导标设计规范的设计原理基本一致, 但在垂直张角、水平偏离量及导标效能评估取值上存在一些差异。

关键词: 导标; 偏离量; 计算方法; 对比

中图分类号: U 644

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S1-0130-05

Comparative analysis on design parameters of domestic and foreign leading line engineering

LIU Yong-gang¹, YI Zhong-li², SHI Ling¹

(1.CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2.Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport, Beijing 100028, China)

Abstract: In order to promote the internationalization of Chinese standards and *The Belt and Road* construction, we introduce the design calculation parameters and performance evaluation method of the leading line in domestic and foreign engineering, compare the value differences of key parameters in domestic and foreign codes from the perspectives of calculation principle, data analysis, refine and decompose the guide axis, vertical opening angle, off-axis distance and evaluation method, and obtain the differences and disadvantages of domestic and foreign codes, and compare and analyze the design parameters of the engineering example calculated by domestic and foreign codes. The results show that the design principles of domestic and foreign codes are basically the same, but there are some differences in value of the vertical opening angle, horizontal off-axis distance and effectiveness evaluation of leading line.

Keywords: leading line; off-axis distance; calculation method; contrast

关于导标设计, 中国现行规范 JTS 181—2016《航道工程设计规范》^[1]是 JTJ 237—1994《水运工程导标设计规范》^[2]的修订版本。国外通常依据国际航标协会(The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA)的 IALA Guideline 1023-Design of Leading Lines^[3]、IALA Recommendation E-112-on Leading Lights^[4]等文件。

在“一带一路”倡议推进的背景下, 我国水运行业海外业务量大幅上升, 研究中外设计规范的差异及规范的适应性, 既能为海外业务提供工具, 又能为我国现行规范的修订提供参考。随着水运行业的发展及船舶大型化趋势, 通航环境也愈加复杂, 助航设施在港口运营及船舶航行中的作用越来越重要, 其中导标是众多助航设施中重要的一种。

收稿日期: 2021-12-23

作者简介: 刘永刚(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事交通行业智慧基建规划、设计与研究。

本文就中国规范及 IALA 相关文件在导标设计参数选取方面的差异进行比较, 并对导标设计过程中相关参数进行探讨。

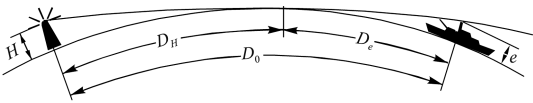
1 导标计算原理及性能评估

1.1 导标计算原理

国内外导标计算原理基本一致, 均是依据地理视距公式进行计算, 见图 1、式(1)。前导标高程根据地理视距及设标位置情况确定, 后导标高程根据前导标高程及导标使用性能要求确定。

$$D_0 = K(\sqrt{e} + \sqrt{H}) \tag{1}$$

式中: D_0 为地理视距 (n mile); K 为大气折射系数; e 为眼高 (m); H 为标志海拔高度 (m)。



注: D_H 、 D_e 为 H 处、 e 处所能看到的最远距离。

图 1 地理视距

1.2 导标性能评估

关于导标性能的评估, 中国规范及 IALA 文件给出的评估方法略有差异。中国规范提出根据灵敏度系数进行评估, 并给出灵敏度系数计算公式及评估方式。侧面灵敏度系数是航道宽度与视觉偏离量及垂直张角相关系数的比值, 公式如下:

$$K_0 = \frac{Wd}{D(H-h)} \tag{2}$$

式中: K_0 为侧面灵敏度系数; W 为航道宽度 (m); D 为观察员距离前导标的距离 (m); d 为前、后导标间距 (m); H 为后导标高程 (m); h 为前导标高程 (m)。关于不同导标侧面灵敏度系数所对应的评估结果见表 1。

表 1 不同导标侧面灵敏度系数的评估结果					
K_0	<1	1~1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5
评估结果	不可用	尚可用	良好	很好	过于灵敏, 操船困难

IALA 文件是通过偏航因子 CTF 进行评估, 其值为视觉偏离量与航道宽度的比值:

$$CTF = \frac{2P_s}{W} \tag{3}$$

式中: CTF 为偏航因子; P_s 为视觉偏离量 (m);

W 为航道宽度 (m)。不同偏航因子所对应的导标评估结果见表 2。

表 2 不同导标偏航因子的评估结果						
CTF/%	>75	50~75	30~50	20~30	15~20	10~15
评估结果	不可用	尚可用	良好	很好	非常好	极好

注: 在起导点, CTF 不得小于 10%。

中外规范都是通过试验及观测数据给出导标使用效果与评估系数的关系, 从通航安全角度给出导标有效作用范围。

通航安全与航道宽度相关。航道通常由航迹带及两侧预留富余水域组成。航迹带尺度不同, 各家的计算方式及取值不尽相同, 两侧富余水域是为避免岸壁对船舶影响的预留水域, 其尺度根据不同的船速、船型及岸壁形式, 取值也各有差异^[5]。

IALA 文件中直接采用视觉偏离量与航道宽度的比值进行导标效果的评估。在满足导标使用要求的情况下, 船舶可能已经航行到航迹带两侧的预留富余尺度内, 存在安全隐患。中国规范是以设计偏离量为初始值进行导标的计算, 在计算过程中已考虑通航安全的因素。中国规范较 IALA 文件评估效果更合理。

2 国内外导标设计关键参数对比分析

2.1 大气折射系数取值

关于大气折射系数 K' 取值, 国内外规范略有差异, 主要原因是随着海区及季节的变化, 地球曲率半径及蒙气差均不同。在导标设计中, 应根据工程具体地理位置, 确定不同的 K' 值。目前, 中国规范 K' 取 2.1; IALA 文件 K' 默认取值为 2.078, 同时给出 K' 的取值范围 2.03~2.12, IALA 文件较中国规范的取值更灵活。在“一带一路”倡议的背景下, 中国规范应与国际接轨, 适应国内外工程的建设需求。在规范进一步修订中, 建议给出 K' 的取值范围。 K' 值不明确时, 建议结合邻近区域情况取较大值。

2.2 导标轴线

关于导标轴线位置的确定, 在中国规范及

IALA 相关文件中均表述为与航道轴线保持一致。

导标轴线的位置由航道平面布置及导标观察者的位置确定。一方面导标通常设置在航道延长线一侧,方位与航道轴线方位一致,引导船舶在通航水域内航行;另一方面,导标轴线位置需要由导标观察者即船舶驾驶人员的位置确定。驾驶人员通常位于驾驶舱中间观察导标,可结合船舶压差角做适当调整。一般情况下船舶操纵台位于船舶中线,但也有部分船型驾驶舱位置位于船舶侧部。导标轴线通常情况与航道中心线一致,特殊船型须结合船型实际情况进行细化研究。

2.3 垂直张角

垂直张角的大小决定前后导标在竖直方向的分辨率。船舶在沿导标轴线航行过程中,前、后导标形成的垂直张角在不断变化。

中国规范规定前后导标的垂直张角应在 2'~14' 范围内,重要引导段宜控制在 3'~4'。

IALA 文件中要求最小垂直张角不小于 1.5 mrad (约合 5.2'),满足灯器垂直分离的要求,同时要求后导标标牌在起导点全部可见,在终导点至少一半可见。

在导标使用过程中,各观察位置的垂直张角按下式计算:

$$\gamma = 3\,438 \left(\frac{H-e}{D+d} - \frac{h-e}{D} - 6.59 \times 10^{-8} d \right) \tag{4}$$

式中: γ 为垂直张角(')。

中国规范仅考虑日间直线导标的效能,未考虑助航灯器对垂直张角的影响。根据 IALA 文件建议值,垂直张角小于 5.2' 时,可能观察不到导灯垂直分离。中国规范要求的垂直张角 2'~12',有可能在导标部分作用段,观察人员无法分辨前后导灯。在设计过程中建议引入导灯最小垂直张角的参数进行核算。

IALA 文件中按导灯分离最小垂直张角进行导标的设计,保证了导标日间和夜间的可用性。但垂直张角可能过大,不便于前后导标的观察,宜

适当控制。

灯器照度与最小垂直张角的关系,IALA 文件给出了建议公式,须结合灯器的特性进行进一步深入研究,本文不做深入讨论。

2.4 偏离量

2.4.1 视觉偏离量

在导标设计中,偏离量是衡量观察员偏离导标轴线的程度,由水平分离角进行计算。

中国规范关于视觉偏离量按下式进行计算:

$$P_s = \frac{D^2 + Dd}{3\,438d} \tag{5}$$

规范中未明确对水平分辨率做出规定,但是在偏离量的计算中隐藏了水平分辨率的因子,取 1',按照标志点状显形识别考虑。

IALA 文件中视觉偏离量参照式(6)进行计算,最小水平分辨率参照式(7)(8)由垂直张角得出。

$$P_s = \theta_D D \left(1 + \frac{D}{d} \right) \tag{6}$$

$$\theta_D = \max(\theta_1, \theta_2) \tag{7}$$

$$\begin{cases} \theta_1 = 0.16 \times 10^{-3} + 0.12\gamma (\gamma \leq 5 \text{ mrad}) \\ \theta_1 = 0.31 \times 10^{-3} + 0.09\gamma (5 \text{ mrad} \leq \gamma \leq 20 \text{ mrad}) \\ \theta_2 = 0.224 \gamma_m \end{cases} \tag{8}$$

式中: P_s 为视觉偏离量; θ_1 、 θ_2 为水平分辨率的实际值、基准值; θ_D 为 θ_1 、 θ_2 中的大值; d 为导标间距(m); D 为观察员距离前导标的距离(m); γ_m 为人眼可分辨的最小垂直张角,取 1.5 mrad。

从式(7)(8)可以得出,前后标垂直张角 3.75' 对应的水平分辨角为 1'; 前后标垂直张角 5.2' (1.5 mrad) 对应的水平分辨角为 1.17'。如水平分辨角按 1' 考虑,垂直张角小于导灯视觉识别的最小分离角。说明中国规范水平分辨角取值偏小,不满足导标夜间的使用需求。同时,相关资料也显示,水平分辨角与垂直张角存在一定相关性,应结合实时位置的垂直张角分析水平分辨角,不宜独立取值。

2.4.2 设计偏离量

IALA 文件中,通过假定导标偏航因子的值,

确定导标设计的初始输入参数, 以偏航因子所对应的视觉偏离量作为设计偏离量。

中国规范中, 设计偏离量定义为允许偏离量的 $2/3$, 允许偏离量为航迹带宽度的一半, 见式 (9)(10)。允许偏离量是船舶在航道安全通航水域内可偏离的范围, 设计偏离量是设计船型在给定的设计条件下对应的偏离量, 并根据试验结果及观察数据给出与允许偏离量的相关系数。

$$P_r = \frac{A}{2}$$

(9)

$$P = \frac{2P_r}{3}$$

(10)

式中: P_r 为允许偏离量(m); P 为设计偏离量(m); A 为航迹带宽度(m)。

中外规范的设计思路略有差异, IALA 文件是按照假定的评估系数对应的视觉偏离量开始导标的设计, 按照预期效果进行导标的设计工作。中国规范是在给定的船型及通航条件下, 进行导标设计, 然后对计算结果进行评估。

中国规范的允许偏离量应该是混淆了基于导标轴线的偏离量和基于航迹带范围内船舶航行可偏航范围的概念。允许偏离量是针对观察员位置而言, 在船舶边缘位于航迹带边界时, 观察员至导标轴线的距离, 应考虑船宽及水文条件造成的压差角对船舶占用航迹带宽度的影响。航迹带宽度应该是允许船舶安全航行的范围, 是平面通航尺度的概念, 不能简单地将航迹带宽的一半

定义为导标的偏离距离, 还应考虑船舶占用水域的尺度及观察员的位置。允许偏离量建议按下式计算^[6]:

$$P_r = \frac{A}{2} - \frac{B}{2}$$

(11)

式中: A 为航迹带宽度(m); B 为船宽(m)。

关于设计偏离量, 《水运工程导标设计规范》规定允许偏离量为 $W/2-B$, 并根据试验及观测数据, 确定其与设计偏离量的相关系数为 $2/3$ 。《航道工程设计规范》对导标设计的内容进行了局部修订, 其中调整允许偏离量为 $A/2$, 但设计偏离量系数未进行修正, 延续取值 $2/3$, 这显然不合理。

设计偏离量是代表船型在设计通航条件下对偏离量的需求, 应从以下方面考虑: 1) 风、流压差角按最大值考虑, 船舶占用通航水域宽度最大; 2) 驾驶舱在船体的相对位置, 对于不同的船型驾驶舱的位置不尽相同, 例如军舰位于船中部, 商船大部分位于船尾部, 邮轮位于船首部; 3) 船舶在调整航向时需要的操作宽度。

船舶航行时, 偏离轨迹如图 2 所示。综合考虑, 设计偏离量按下式计算:

$$P = \frac{A}{2} - m(L\sin\beta + B) - n$$

(12)

式中: P 为设计偏离量(m); m 为驾驶舱至船尾的距离在船舶总长的占比系数; β 为船舶压差角($^{\circ}$); L 为船长(m); n 为船舶正常航行时的操作富余宽度, 一般取 $0.15\sim0.25$ 倍的船宽。

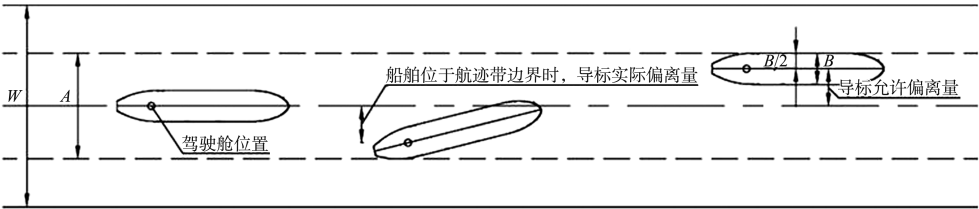


图 2 船舶在航道中航行时位置

3 导标实例设计计算

3.1 设计输入参数

某 30 万吨级直线航道拟设置中心导标, 航道及

船型参数为: 船型为 30 万吨级油船, 船长 334 m, 船宽 60 m, 眼高 25 m, 风、流压偏角为 14° , 船舶漂移倍数为 1.45, 航迹带宽度为 204.2 m, 船

舶与航道底边间的富余宽度为 90 m，航道长度 8 km，单线航道宽度 384.2 m。

3.2 中外规范计算结果

中外规范导标设计参数的计算结果对比见表 3。

表 3 中外规范导标设计参数计算结果					
类别	前导标 高程/m	后导标 高程/m	设计偏 离量/m	垂直张 角/(°)	侧面灵敏度系数 或(偏航因子/%)
中国规范	29	42	68	3.0~7.4	1.7~4.5
IALA 文件	15.5	33	142	9.4~52.5	(8~74)
本文建议	29	52	59	5.2~12.0	1.5~3.9

3.3 计算结果对比

导标工程设计主要是基于地理视距进行导标高程的计算，通过垂直张角、偏离量、侧面灵敏度对导标进行评估。

按照中国规范边界条件设计的偏离量偏大，垂直张角偏小。当按照设计偏离量识别导标时，船舶已经位于航迹带之外，存在安全隐患。在导标引导起始段，前后导标垂直张角偏小，无法满足前后导灯竖直方向视觉分离需求，导致导标失去助航效能。

按照 IALA 文件边界条件设计，按照航道宽一半的 75% 作为设计偏离量。在导标引导起始段，船舶位于航迹带之外，在两侧预留的富余水域内航行，存在安全隐患。

结合航迹带宽度、船型特点修正偏离量取值，并充分考虑灯器特点修正前后导标垂直张角取值范围。设计偏离量可确保船舶在安全水域通航，垂直张角也可满足导标在作用范围内有效发挥助航效能。

4 结语

1) 中外导标设计规范设计原理基本一致，但在垂直张角、水平偏离量及导标效能评估取值上存在一些差异。

2) 导标轴线的选择应结合船舶驾驶室的位置确定，多数情况下与航道轴线一致，但对于特殊船型须特殊考虑。

3) 相较于 IALA 文件，中国规范中垂直张角取值偏小，在夜间使用时，可能造成无法分辨前后导灯的问题。导标设计时，应结合灯器选型进行垂直张角的校验，满足灯器视觉分离分辨的需求，同时考虑水平张角与垂直张角的相互影响。

4) 偏离量的计算应充分考虑航道航迹带两侧的富余水域宽度，该水域船舶正常航行时不应驶入。在偏离量计算及导标性能评估时，应结合不同国家对航道宽度计算方式确定航迹带宽度，综合考虑观察人员位置及船舶转向操纵水域宽度等因素，保证导标有效引导船舶在航迹带宽度内航行。

5) 本文指出中外规范在导标设计中存在的一些差异及现行规范存在的问题，可为导标规范修订完善及中国标准国际化提供参考。同时，导标的性能与灯器及标牌的性能有密切关系，后续须进一步研究完善相关参数的取值。

参考文献：

[1] 长江航道规划设计研究院, 中交天津港航勘察设计院有限公司. 航道工程设计规范: JTS 181—2016[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.

[2] 交通部安全监督局. 水运工程导标设计规范: JTJ 237—1994 [S]. 北京: 人民交通出版社, 1994.

[3] IALA .IALA Guideline 1023-the design of leading lines [S]. Pairs: The IALA Engineering Committee, 2005.

[4] IALA .IALA Recommendation E-112-on leading lights [S]. Pairs: The IALA Engineering Committee, 2005.

[5] 肖鑫, 卢昭. 国内外海港航道宽度设计方法对比[J]. 水运工程, 2016(10): 162-168, 173.

[6] 黄炎潮, 苗辉, 连石水. 导标偏移量计算方法探研[J]. 水道港口, 2017, 38(5): 537-540.