



海轮船舶水线以上高度的分析确定

周玉华, 李冰绯

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 跨越航道建筑物的通航净空高度是《海轮航道通航标准》的一项核心内容。船舶水线以上高度是通航净空高度计算的关键参数。《海轮航道通航标准》制订过程中, 根据各类营运中实船的数据, 按一定的保证率进行统计分析, 确定了各类船舶的空载营运状态下实际吃水与满载吃水的合理比值。按照该比值计算了全球现有实船航行时水线以上高度。同时结合调研国内外桥梁资料, 确定《海轮航道通航标准》采用的船舶水线以上高度表。内容系统全面, 对跨越航道建筑物设计和建设以及保障通航安全具有重要意义和深远影响。

关键词: 通航净空高度; 船舶水线以上高度; 压载吃水; 桥梁

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S1-0008-05

Analysis and determination of seagoing vessel height above waterline

ZHOU Yu-hua, LI Bing-fei

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

Abstract: The navigation vertical clearance of buildings across waterways is a core content of the *Navigation Standard of Waterways for Seagoing Vessel*. The vessel height above the waterline is a key parameter for the calculation of navigation vertical clearance. During the formulation of the *Navigation Standard of Waterways for Seagoing Vessel*, a statistical analysis is carried out according to a guarantee rate with the data of various types of vessels in operation, and the reasonable ratio of ballast draft to loaded draft is determined for the vessels. The height above the waterline is calculated for existing vessels in the world according to the ratio. At the same time, the table of vessel height above the waterline adopted in the *Navigation Standard of Waterways for Seagoing Vessel* is determined depending on the research on bridges at home and abroad. This study is systematic and comprehensive, filling the domestic gap in the field, and is of great significance for and far-reaching influence on the design and construction of buildings across waterways and the protection of navigation safety.

Keywords: navigation vertical clearance; vessel height above waterline; ballast draft; bridge

我国通航海轮水域广阔, 除沿海地区, 长江和珠江等内河航道也通航海轮, 这些区域的自然条件、经济发展、通航海轮船型差异显著, 跨临通航海轮水域的设施种类多样。随着船舶大型化和船舶航行密度的大幅提升, 给船舶的安全通航带来了新的挑战。

为此, 交通运输部在 JTJ 311—1997《通航海轮桥梁通航标准》基础上, 结合水运建设现状经验

和发展需求, 组织编制了 JTS 180-3—2018《海轮航道通航标准》, 涉及跨/临航道桥梁、管线、隧道、码头、船闸等技术标准。其中, 跨越航道建筑物通航净空高度为标准的一项核心内容。跨越航道建筑物通航净空高度应为代表船型水线以上高度与富余高度之和^[1], 因此, 船舶水线以上高度是通航净空高度计算的关键参数。为满足通航安全的需求, 亟需全面系统编制船舶水线以上高度表。

1 船舶水线上高度的计算方法

船舶水线上高度是指船舶在营运状态下水线上高度的合理最大值。船舶在营运状态下水线上高度值可采用以下公式计算:

$$H_{st} = H_{kt} - \beta d \quad (1)$$

式中: H_{st} 为船舶水线上高度; H_{kt} 为船舶最大高度值; d 为船舶满载吃水; β 为非满载吃水系数, 即船舶实际吃水与满载吃水的比值。

为获得各类船型在营运状态下水线上高度的合理最大值, 采用以下方法:

1) 通过实船观测统计分析各类船舶的 β 值。

通过搜集船舶的 AIS 数据, 获得船舶的满载吃水、当时实际吃水和船舶总高等数据, 可计算得到每条船的 β 值。但影响船舶运行时的实际 β 值的因素很多, 载质量是首要因素; 其次即使船舶在营运时完全空载, 压载水的配置也是千变万化的, 主要受空载航行时航线上的自然条件影响。过小的 β 值对空载营运的船舶是不安全的, 在分析合理的 β 值时, 结合对船长的调研, 去除了个别奇异值。

2) 选取各类船型中各吨级船舶的代表值 β_0 。根据上述分析成果, 为各类船型中各吨级船舶选取

营运时合理最小 β 值作为该吨级船舶的代表值 β_0 。

3) 推荐营运中海轮空载水线上高度。在劳氏船型库中提取所有船舶总高度数据的船舶作为研究样本, 用 β_0 值计算船舶水线上高度, 分析各吨级船舶水线上高度的分布情况, 得到各吨级船舶水线上高度的最大值作为该吨级船舶水线上高度代表值。与 JTJ 311—1997《通航海轮桥梁通航标准》附录船舶水上高度表中列举的各类实船数据中的最大值进行比较, 分析存在差异的原因, 并最终确定各类船舶的水线上高度建议值。

2 实船观测数据分析

2.1 各类船舶的 β 值

本次研究数据取自实船长期观测, 考虑到夏季和冬季船舶压载吃水的不同, 对当前营运船舶实际吃水情况在不同季节均进行了长期统计观测。

通过搜集船舶的 AIS 数据, 共观测到 1 832 艘压载航行的实船数据。包括散货船、LNG 船、集装箱船、滚装船和客船等 11 种主要船型的实际吃水值、满载吃水值和船舶总高等相关数据。各类船舶实际 β 值见表 1。

表 1 实测船舶 β 值样本分布

船舶种类	样本数					合计
	$\beta \leq 0.4$	$0.4 < \beta < 0.5$	$0.5 \leq \beta < 0.6$	$0.6 \leq \beta < 0.7$	$\beta \geq 0.7$	
散货船	5	49	178	111	6	349
散装水泥船	0	0	0	7	5	12
油船	2	23	223	83	8	339
LNG/LPG 船	4	10	36	123	199	372
化学品船	3	4	54	171	35	267
杂货船	6	5	106	51	6	174
集装箱船	7	9	25	57	37	135
货物滚装船	0	0	0	7	45	52
汽车滚装船	2	0	0	2	32	36
客货滚装船	0	0	5	1	12	18
客船(邮轮)	0	0	0	0	78	78
合计	29	100	627	613	463	1 832

分析表 1 中的数据可以得出以下结论: 1) 船舶的 β 值一般在 0.5 以上, 占总观测量的 92.9%; 2) $\beta \leq 0.4$ 的船舶数为 29 艘, 占总观测量的 1.6%, 根据经验判断这部分船舶应不在营运状态; 3) $0.4 < \beta < 0.5$ 的船舶占总观测量的 5.5%, 其中在散货船(占 14%)、油船(占 6.8%)和集装箱船(占 6.7%)中占比相对较大, 分析确定 β_0 时应予关注。

2.2 向专家调研

本次研究采用“海轮船舶水线以上最大高度调研表”的方式, 向青岛远洋、香港远洋、中波轮船股份公司、中远散货运输公司、中远海运、马士基等航运公司及大连海事大学的高级船长开展了专题调研, 认为影响船舶压载的主要因素是航行时的自然条件, 船舶压载航行时要考虑到船舶螺旋桨的沉深, 船舶压载吃水至少应达到夏季满载吃水的 50%, 冬季航行因风浪较大, 应使其达到夏季满载吃水的 55%。部分船舶为节约运营成本, 在保证航行安全的情况下, 会尽可能减小压载水量。

可归纳为船舶压载吃水的最小值一般大于满载吃水的 50%, 但在沿海和近洋航行的船舶, 有可能采用更小的压载吃水。

3 各类船型分吨级船舶的 β_0 值选取

β_0 值定义为船舶营运时合理最小 β 值。按船型分析 β 值的分布, 根据上述研究成果选取各类船型的 β_0 值。以下以集装箱船、散货船、杂货船、油船和客船 5 种船型为例说明 β_0 值的确定方法。

3.1 集装箱船

集装箱船实船观测数据的样本数为 135, 剔除 β 小于 0.40 的样本, β 值在 0.40~0.50 的样本数为 9 条, 其中 3 000~1 万吨级共 28 艘船中有 3 艘, 最小 β 值为 0.42; 2 万~10 万吨级船舶共 94 艘中有 6 艘, β 值在 0.40~0.49; 12 万吨级以上的船舶共 15 艘, 最小 β 值为 0.66。因此, 选取 3 000~1 万吨级集装箱船的 β_0 值为 0.42, 2 万~10 万吨

级集装箱船的 β_0 值为 0.49, 12 万吨级以上集装箱船的 β_0 值为 0.60。

3.2 散货船

散货船实船观测数据的样本数为 349, 剔除 β 小于 0.40 的样本, β 值在 0.40~0.50 的样本数为 49 条, 为 5 万~35 万吨级散货船。由于 β 值小于 0.50 的样本在大船中有相当分布, 选取散货船的 β_0 值为 0.41。

3.3 杂货船

杂货船实船观测数据的样本数为 174, 剔除 β 小于 0.40 的样本, β 值在 0.40~0.50 的样本数为 5 条。考虑 β 值小于 0.50 的占比不大, 选取杂货船的 β_0 值为 0.48。

3.4 油船

油船实船观测数据的样本数为 339, 剔除 β 小于 0.40 的样本, β 值在 0.40~0.50 的样本数为 23 条, 其中 1 000~3 万吨级有 4 条, 最小 β 值为 0.41; 5 万~45 万吨级船舶有 18 条, β 值基本集中在 0.49。选取 1 000~3 万吨级油船的 β_0 值为 0.41, 5 万~45 万吨级油船的 β_0 值为 0.49。

3.5 客船

客船实船观测数据的样本数为 78, β 值均为 0.90, 这是由于客船的活动荷载相对于固定荷载较小, 因此, 选取客船的 β_0 值为 0.90。不同船型船舶营运时合理的最小吃水与满载吃水的比值 β_0 见表 2。

表 2 各类船型的 β_0 值

船型	船舶吨级/吨级	实际吃水与满载吃水比值 β_0
油船	1 000~3 万	0.41
	5 万~45 万	0.49
散货船	所有吨级	0.41
杂货船	所有吨级	0.48
	3 000~1 万	0.42
集装箱船	2 万~10 万	0.49
	12 万~20 万	0.60
	所有吨级	0.90
客船(邮轮)		

4 推荐营运中海轮水线以上高度建议值

从劳氏船型库提取具有总高数据的船舶, 根

据船舶营运时合理最小 β 值, 即各类船型的 β_0 值, 测算各类船舶的水线以上高度, 按照以下原则确定各船型中各吨级船舶的水线以上高度建议值。

1) 初步确定的各船型、各吨级船舶的水线以上高度建议值, 与 JTJ 311—1997《通航海轮桥梁通航标准》列举的实船中相对应的同类型、同吨级船舶的最大水线以上高度值进行比较^[2], 若 1997 版规范的相应最大值在合理范围内且略大于初步

确定的建议值, 取 1997 版规范的相应最大值为推荐的建议值。

2) 若本吨级船舶建议值小于比其小的吨级船舶推荐值, 数据出现倒挂, 则选取小吨级推荐值为本吨级推荐的建议值。

以船舶水线以上高度比较高的集装箱船、客船 2 种船型为例说明推荐船舶水线以上高度值的确定方法, 见表 3。

表 3 营运中海轮空载水线以上最大高度

船型	β_0 取值	船舶吨级/吨级(t)	样本数	初步建议船舶相关参数		1997 版列举的最大值/m	推荐船舶水线以上高度/m
				船舶总高/m	吃水/m		
集装箱船	0.42	5 000(4 501~7 500)	12	42.0	6.69	39.19	38.32
		1 万(7 501~12 500)	54	46.7	8.30	43.18	47.90
		2 万(12 501~27 500)	153	54.5	9.62	49.79	47.52
		3 万(27 501~45 000)	95	56.3	11.02	50.87	54.06
	0.49	5 万(45 001~65 000)	76	63.1	12.50	56.97	57.80
		7 万(65 001~85 000)	27	62.7	14.02	55.86	—
		10 万(85 001~115 000)	22	62.0	14.48	54.90	57.80(取 5 万吨级推荐值)
	0.6	12 万(115 001~135 000)	2	71.9	15.50	62.60	—
		15 万	9	76.5	16.00	66.90	66.90(降低桅杆后 63.40)
		20 万	6	73.0	16.00	63.40	66.90(降低桅杆后 63.40)(取 15 万吨级推荐值)
客船 (邮轮)	0.9	2 000(1 501~2 500)	4	26.0	4.41	22.03	22.64
		3 000(2 501~4 500)	3	35.0	5.46	30.09	30.43
		5 000(4 501~7 500)	5	34.4	4.31	30.50	30.50
		1 万(7 501~12 500)	6	45.2	6.01	39.79	39.79
	1.1	2 万(12 501~27 500)	8	45.8	5.90	40.49	40.49
		3 万(27 501~45 000)	11	55.5	7.25	49.02	—
		5 万(45 001~65 000)	10	55.2	7.22	48.69	49.02(取 3 万吨级推荐值)
		8 万(65 001~85 000)	14	64.0	7.85	56.94	56.94
	1.3	10 万(85 001~125 000)	8	64.7	8.45	57.09	57.09
		15 万(125 001~175 000)	5	72.0	8.80	64.08	64.08

海轮空载水线以上高度的研究是基于全球现有的实船数据, 在确定跨越大型船舶航道的桥梁通航净空时, 应考虑船舶尺度大型化的可能性。船舶的大型化有三大主流船型: 散货船、油船和集装箱船, 各船型的发展状态不一。大型油船和散货船船舶吨级基本稳定, 大型化的趋势相对平缓。大型集装箱船受规模经济效益驱动, 仍在快速发展^[3]。

箱船订单数据显示, 2020 年第四季度以来船东订购的大部分订单为超大型集装箱船。若不改变现有的典型集装箱船的结构布置, 受船体钢板强度限制, 船长最大不能超过 400 m, 载箱量约 24 000 TEU。目前, 全球投入运营的最大型集装箱船载箱量超过 23 000 TEU, 船型尺度 399.9 m×61.3 m×33.5 m×16.0 m(总长×型宽×型深×满载吃水), 其主尺度参数较 20 万吨级集装箱船尺度^[4] 399.0 m×59.0 m×30.3 m×16.0 m 调整幅度不大。

5 与国内外已建通航海轮桥梁通航净高对比

选取国内外已建通航大型海轮桥梁,统计桥梁通航净高,与本次研究推荐的海轮空载水线以上高度进行对比,从桥梁建设的角度验证本次研究成果建议值的合理性。

20世纪30年代以来,世界各国在众多的海峡、海湾、大型河口以及运河上兴建了很多超大型桥梁,其中一些桥梁位于重要的国际海运航线上,对船舶通航具有决定性影响。世界各国已建跨越主要通航水道的桥梁净空高度见表4^[5],分析桥梁净空高度对于分析船舶大型化发展趋势以及确定海轮空载水线以上高度具有重要的现实意义。

表4 世界重要跨海桥梁净空高度

桥名	地理位置	净空宽度/m	净空高度/m	竣工年份
乔治华盛顿桥	美国纽约	1 067	65	1931
西海湾桥	美国加州	704×2	65	1936
金门桥	美国加州	1 280	67	1937
维拉扎诺海峡桥	美国纽约	1 298	69	1964
塔古斯桥	葡萄牙	1 013	70	1966
昂船洲大桥	中国香港	1 018	72 (MSL)	2009
苏通长江公路大桥	中国江苏	1 088	62	2008
南备赞瀬戸大桥	日本本州-四国	1 100	65	1988
博斯普鲁斯海峡二桥	土耳其	1 090	64	1989
丹麦大贝尔特东桥	丹麦	1 624	65	1998
明石海峡大桥	日本本州-四国	1 991	65	1998
仁川大桥	韩国仁川	800	74 (MSL)	2009
俄罗斯岛大桥	俄罗斯海参崴	1 104	70	2012
光阳大桥	韩国光阳	1 545	74 (MSL)	2012
苏伊士运河大桥	苏伊士运河	404	70	2001
巴拿马运河三桥	巴拿马运河	530	75 (MSL)	在建

注: MSL指平均海平面。

在目前的国际通航水道中,对未来船舶大型化发展影响最为深远的是已建成的苏伊士运河大桥。苏伊士运河是连接欧、亚、非三大洲的交通要道,有着极为重要的航运价值。每年约2.5万艘船舶通过苏伊士运河,占世界海运贸易的12%。苏伊士运河大桥净空高度70 m,最大允许水线上68 m高的船舶通过。

根据对21世纪20年以来建设的跨通航水道大桥的分析,世界各国通航水域上的桥梁净空高度基本控制在70 m左右,该净空高度是未来船舶继续大型化发展必须考虑的因素。

6 结语

1)桥梁通航净空高度不仅影响桥梁建设规模,还涉及城市规划、道路建设、航运发展、通航安全等多方面。船舶水线上高度是通航净空高度计算的关键参数,影响因素较多,本次研究数据取自营运中实船的长期统计观测,按一定的保证率进行统计分析,确定的各类船舶合理的空载营运状态下实际吃水和满载吃水的最小比值 β_0 符合实际情况。

2)为避免桥梁等跨越航道建筑物投资的大幅增加,对于通过次数较少的超高船舶,可采取增加压载水量、乘低潮、临时拆改超高设备等方式降低高度。

3)研究选取国内外通航大型海轮桥梁统计桥梁通航净高,与本次推荐的海轮空载水线上高度进行对比,从桥梁建设的角度验证了研究成果的合理性。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司.海轮航道通航标准: JTS 180-3—2018[S].北京: 人民交通出版社, 2018.
- [2] 中交水运规划设计院.通航海轮桥梁通航标准: JTJ 311—1997[S].北京: 人民交通出版社, 1998.
- [3] 中船第九设计研究院.珠江河口伶仃航道龙穴岛段通航船舶净空高度研究报告[R].上海: 中船第九设计研究院, 2013.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司.海港总体设计规范 JTS 165—2013[S].北京: 人民交通出版社, 2013.
- [5] 查雅平, 吴澎.跨海桥梁桥址选择和通航净空尺度问题的探讨[J].水运工程, 2007(4): 51-55.