



集装箱码头引桥不同结构造价比较

赵丽云, 刘国宝

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对集装箱码头引桥结构形式较多, 使用时对造价无明确对比的问题, 进行长江口地区集装箱码头引桥结构及投资研究, 采用符合现行规范的设计方法, 在当地施工条件下, 提出不同跨度的小箱梁结构、空心板结构、空心板梁结构等不同桥面方案, 计算其受力并确定合理结构断面, 采用现行水工概预算软件计算对比不同方案的引桥概算投资。结果表明: 排架间距小于等于 20 m 的引桥, 空心板方案投资较低; 大于 20 m 的引桥, 小箱梁结构投资较低。综合比较, 又以 20 m 跨空心板结构投资最低; 在 20~30 m 区间内, 小箱梁投资变化不明显。

关键词: 引桥; 高桩; 投资

中图分类号: U658

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)01-0031-05

Comparison of cost for different structures of container terminal approach bridges

ZHAO Liyun, LIU Guobao

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

Abstract: To the issue of multiple structural forms of container terminal approach bridges and no clear comparison of cost when used, a study is conducted on the structure and investment of container terminal approach bridges in the Yangtze River estuary region. Design methods that comply with current standards are adopted, and different bridge deck schemes such as small box beam structures, hollow slab structures, and hollow slab beam structures with different spans are proposed under local construction conditions. The stress is calculated and a reasonable structural cross-section is determined. Using the current hydraulic engineering budget software to calculate and compare the estimated investment of approach bridges for different schemes. The results show that for approach bridges with a spacing of less than or equal to 20 m, the investment in the hollow slab scheme is lower. For approach bridges with a spacing of more than 20 m, the investment in the small box girder structure is lower. Overall, the investment in the 20 m span hollow slab structure is the lowest. Within the range of 20~30 m, there is no significant change in investment in small box girders.

Keywords: approach bridge; high pile; investment

长江口地区的地质、水文、施工等条件决定了码头引桥多采用高桩结构, 因其具有适应软土地基、对行洪影响小、易于施工、造价低等优点。相对于其他货种, 集装箱码头所需引桥数量较多, 宽度以及桥面所受荷载较大, 引桥工程费用占总投资的比例也相对较高。本文以上海罗泾地区集装箱码头引桥为例, 结合当地水文地质情况, 引桥所受荷载情况, 分析空心板梁、空心板、小箱梁等桥面方案在不同跨度下的引桥综合投资, 比

较其经济性^[1]。

空心板梁及空心板均为简支、并排布置的桥面结构, 常用跨径为 12~22 m, 其梁高较小, 桥下净空大, 视觉整体性较好; 缺点为跨度较大时, 铰缝处耐久性较差, 尤其是空心板梁结构, 铰缝较小只能按照非铰接结构设计。

小箱梁常用跨径为 20~35 m。桥下视觉简洁, 较之同等跨度的 T 梁梁高较矮, 适用于梁高受限、景观要求较高之处。结构适应变宽能力强, 采用宽

收稿日期: 2023-05-08

作者简介: 赵丽云 (1979—), 女, 高级工程师, 从事水运工程设计及造价工作。

梁设计，在相同跨径结构中，具有一定的经济优势。结构暴露面少，负弯矩束锚头位于箱内，各梁之间通过隔梁连为整体，结构耐久性好。主梁刚度较大，在车辆荷载作用下主梁变形小、行车较舒适。

1 设计条件

以宽度 25 m 引桥为例进行分析，当地各项设计条件如下。

1.1 地质

工程场地内土层自上而下依次为淤泥、淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土、黏土、粉质黏土、粉砂夹砂质粉土、粉砂等，其中最下方粉砂层为工程桩基持力层，此层顶高程为-52 m，由此确定桩基平均长度为 59 m。

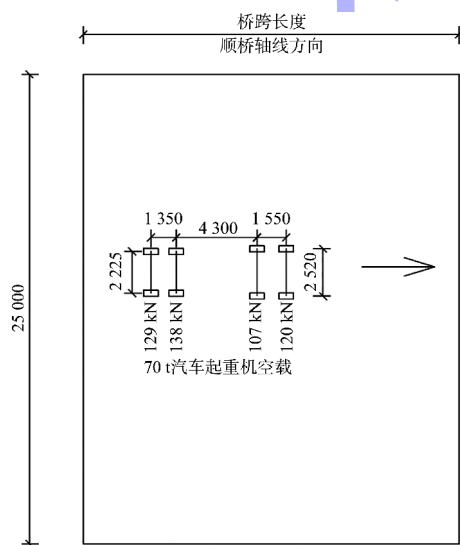
1.2 流动机械荷载

引桥上的流动机械有汽车起重机、集卡车、自动化集装箱运输车 AIV 等。

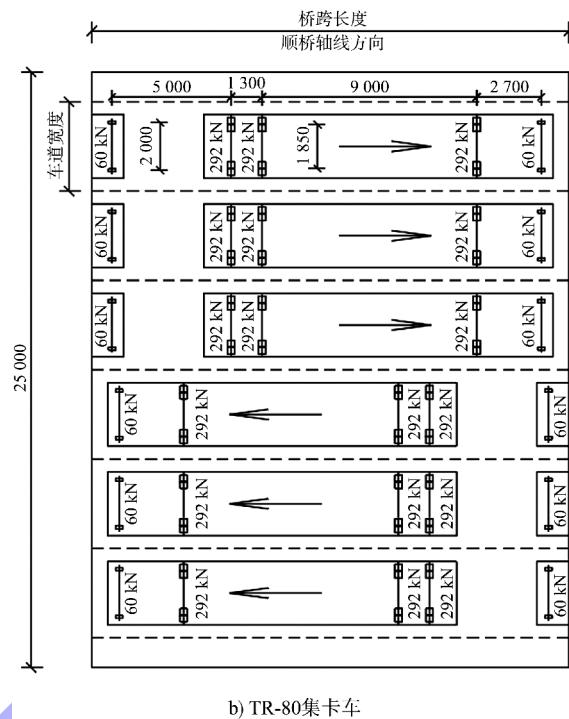
1) 70 t 汽车起重机(检修设备)，空载通过，见图 1a)。

2) 集装箱拖挂车，采用规范中 TR-80 集卡车荷载，见图 1b)。

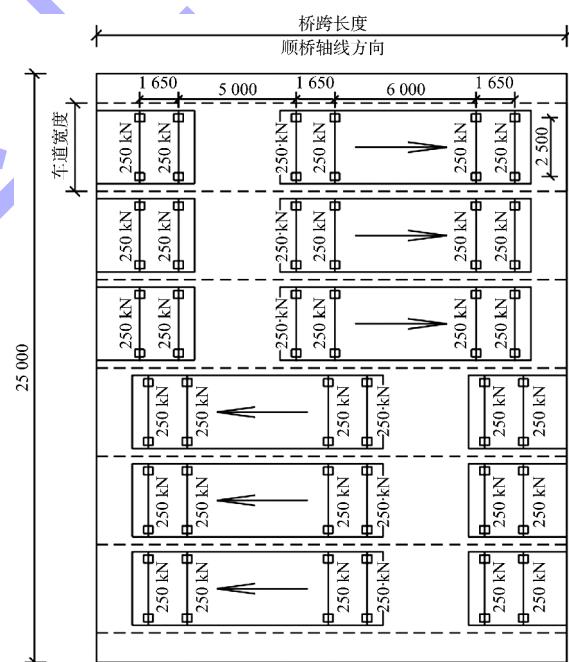
3) AIV 荷载，共 4 轴，轴距 1.65 m+6.00 m+1.65 m，每轴 2 轮，轮距 2.5 m，满载运行状态时轮压为 125 kN。运行时前后车辆最小轴距为 5 m，引桥设 6 车道，每条车道均考虑有 AIV 荷载同时存在，见图 1c)。



a) 70 t 汽车起重机空载通过



b) TR-80集卡车



c) AIV

图 1 荷载图示 (单位: mm)

1.3 施工条件

场地内水深大于 6 m，可以使用大型打桩船，起重船作业。

1.4 防洪要求

根据要求，引桥排架间距不可小于 16 m。

2 结构方案

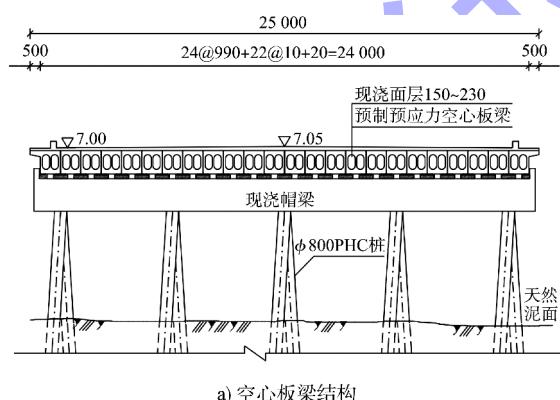
工程可以打设预制桩, 因此选用经济性较好的 $\phi 800$ mm PHC 桩, 桩长约 58 m, 根据地质条件计算得单桩竖向承载力设计值约为 4.8 MN。桩基上部设置现浇帽梁, 帽梁上安装预制简支桥板。

根据防洪要求, 引桥最小排架间距不可小于 16 m。如排架间距超过 30 m, 则上部构件需采用高度较大的 T 形梁, 影响行洪, 且没有经济优势。因此引桥排架间距宜选用 16~30 m。

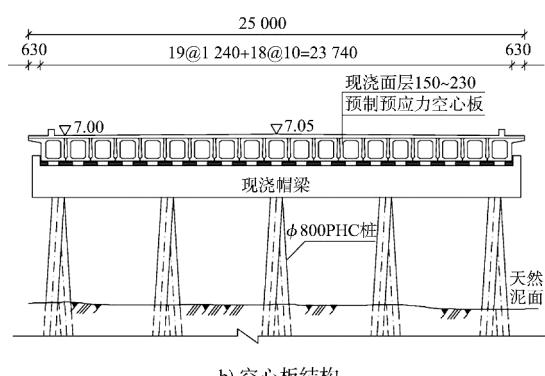
引桥上部结构可选用空心板梁、空心板或小箱梁 3 种, 均为预应力结构, 其中空心板梁一般为先张法构件, 空心板可为先张或后张法构件, 小箱梁一般为后张法构件。3 种结构的引桥典型断面见图 2。

根据经验, 上部结构如选用空心板梁或空心板结构, 适用于 16~22 m 排架间距; 如选用小箱梁结构, 适用于 20~35 m 排架间距。

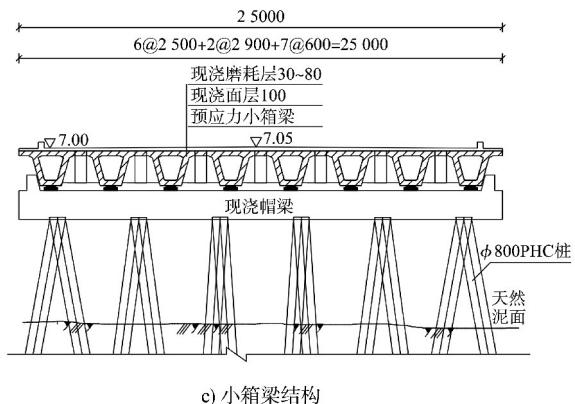
基于工程引桥的使用要求, 比较 16~30 m 不同排架间距下, 3 种上部结构方案, 组合见表 1。



a) 空心板梁结构



b) 空心板结构



c) 小箱梁结构

图 2 引桥典型断面 (尺寸: mm; 高程: m)

表 1 不同排架间距的 3 种结构方案比较组合

上部结构	方案组合					
	16 m	18 m	20 m	22 m	25 m	30 m
空心板梁结构	√	√	√	√		
空心板结构	√	√	√	√		
小箱梁结构			√		√	√

3 结构设计

3 种桥板方案均为简支结构, 所受荷载有流动机械和自身重力两部分。工程为自动化集装箱码头, 经比较, 流动机械以 AIV 为控制荷载。

设计时根据上述两个荷载产生的内力估计构件的合理截面, 不断优化断面至最经济方案。

在流动机械荷载下, 空心板梁因为铰缝较小, 板之间传递剪力较少, 每块板视为单独受力; 空心板结构铰缝较大, 板之间可以通过铰缝传递较大剪力, 因此板之间视为铰接^[2]; 小箱梁之间可以通过湿接缝和横隔板浇筑为整体, 因此视为整体受力^[3]。以上述模型计算, 单块板、梁在自身重力和流动机械共同作用下所受的弯矩设计值见表 2。3 种结构方案的合理断面见图 3~5^[4]。

表 2 3 种桥面方案不同排架间距单块梁、板弯矩设计值-承载能力极限状态

跨度/ m	弯矩设计值/(kN·m)		
	空心板梁结构	空心板结构	小箱梁结构
16	2 174	1 766	-
18	2 740	2 288	-
20	3 445	2 801	7 548
22	4 401	3 537	-
25	-	-	12 166
30	-	-	17 795

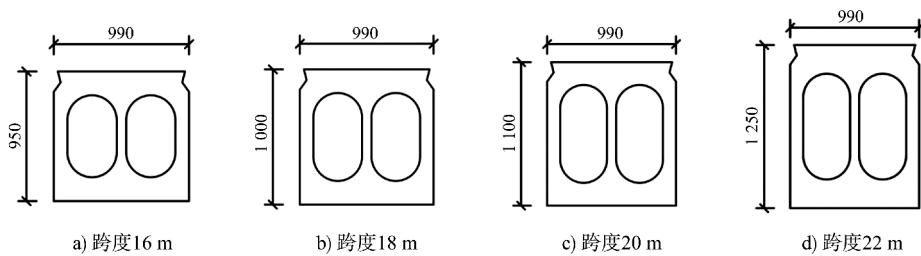


图 3 空心板梁结构合理断面 (单位: mm)

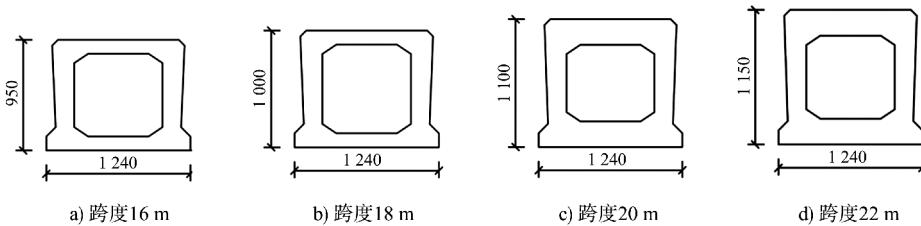


图 4 空心板结构合理断面 (单位: mm)

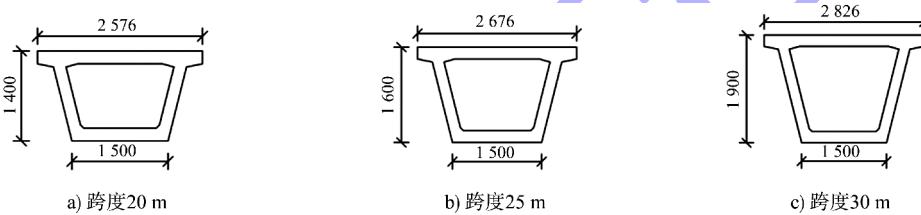


图 5 小箱梁结构合理断面 (单位: mm)

4 造价分析

4.1 不同方案造价

根据上述合理梁板断面和其传递的流动荷载,设计桥梁的帽梁和桩基,采用 2019 版水运建设工程概算预算定额配套的水运工程概预算软件,按照 2022 年 11 月材料信息价格计算引桥每延米经济指标。如表 3 所示,其中 3 种方案均考虑了相关措施费,因小箱梁质量较大,吊安需要大型起重船,其船舶调遣已在项目费用中分摊。根据表 3 数据绘制图 6^[5]表示各方案单价与跨度的相关趋势。

表 3 不同排架间距 3 种结构方案 25 m 宽引桥每延米单价

跨度/ m	引桥单价/(万元·延米 ⁻¹)		
	空心板梁	空心板	小箱梁
16	10.30	9.53	-
18	9.87	9.46	-
20	10.44	9.00	9.69
22	11.30	9.56	-
25	-	-	9.77
30	-	-	10.01

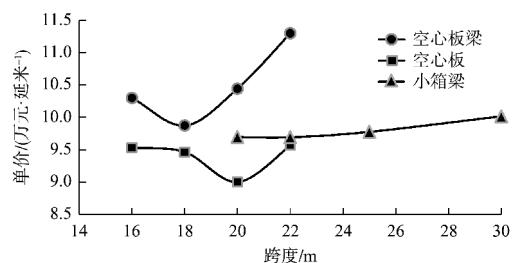


图 6 不同方案每延米单价与跨度关系

可见 3 种方案各有不同趋势: 空心板梁方案单价先降低后提高,在跨度 18 m 时单价最低,在跨度 22 m 时单价最高; 空心板方案单价先降低后提高,在跨度 20 m 时单价最低,在跨度 22 m 时单价最高; 小箱方案单价随跨度变大一直提高。3 种方案相比,以 20 m 跨度空心板方案最为经济。

4.2 敏感性分析

基于 2022 年 11 月材料信息价格计算,其中钢筋材料价格为 5 273 元/t。由于各项主材中,引桥结构对钢筋价格变化最为敏感,因此进一步对钢筋价格浮动做敏感性分析,针对不同跨度的 3 种方案,

按照上下浮动 50% 区间对引桥造价进行测算, 发现不同钢筋价格下, 3 种方案造价相对趋势不变, 即钢筋价格变化不会对相对造价趋势产生影响。以 20 m 跨度为例的造价对钢筋价格变化的敏感性趋势, 见图 7。可知各方案的每延米单价与钢筋价格变化成正比, 3 种方案造价高低主要受方案本身的材料用量决定。

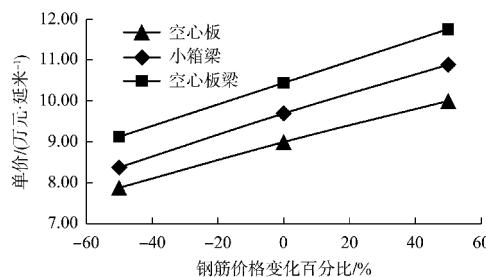


图 7 20 m 跨钢筋价格变化与每延米单价关系

4.3 造价差别原因分析

总结 3 种结构方案在不同跨度时造价对比, 有以下趋势:

1) 空心板和小箱梁结构造价整体低于空心板梁结构。原因为空心板梁各条梁之间传递荷载的能力较弱, 受力计算模型为每根梁单独受力, 周边不受轮压的梁无法对荷载进行分担, 因而单梁弯矩较大。而空心板结构板之间存在有效的铰缝, 可视为各个板之间横向铰接, 互相传递荷载, 同样情况单板受力小于空心板梁。小箱梁结构梁之间通过横隔梁和湿接缝互相形成刚性连接, 整体性为 3 种结构最好, 计算模型为各梁之间刚接, 同样跨度、同样梁宽下单梁弯矩明显小于空心板梁结构。结构连接方式决定受力模式, 受力模式决定弯矩大小, 弯矩大小决定钢筋混凝土材料用量, 因此同样情况下空心板和小箱梁比空心板梁弯矩小, 造价低。

2) 小箱梁结构随跨度增加单价略微增加, 但变化不大。受防洪等因素影响, 某些时候需选择较大桥跨, 当跨度大于 22 m 时, 码头引桥所受重型荷载导致上部分结构弯矩较大, 空心板和空心板梁结构由于自身断面较为薄弱, 不再适用, 此时小箱梁成为首选。针对小箱梁的造价对比可见, 其最经济跨度为 20~22 m, 但由于其结构整体性好, 梁高较大, 跨度增长对材料用量增加并不明

显, 因此随跨度投资变大并不显著, 30 m 跨度仅比 20 m 跨度造价增加 3% 左右, 可视为 20~30 m 区间的小箱梁结构引桥单价无明显区别。

5 结语

1) 针对集装箱码头引桥的荷载特点, 可选择空心板梁、空心板、小箱梁 3 种合理的桥面结构。

2) 3 种桥面结构受力计算方式不同, 其中空心板梁结构按照单板受力计算, 空心板结构按照各板之间铰接计算, 小箱梁结构按照各梁之间刚性横向连接计算。由于计算理念不同, 导致各方案的合理断面不同, 经济性不同。

3) 经比较空心板梁 18 m 跨度最为经济, 空心板 20 m 跨度最为经济, 小箱梁 20 m 跨度最为经济, 三者相比, 又以 20 m 跨度空心板最为经济。

4) 如可选择的跨度范围在 16~30 m 之间, 则宜优先选择 20 m 跨度的空心板方案, 如受行洪等客观因素影响需选择 20 m 以上跨度, 则宜选择小箱梁方案, 原因为空心板和空心板梁受力角度不适宜超过 22 m 跨度, 且超过 20 m 跨度后, 相对于小箱梁经济、耐久性、行车舒适性均无优势。

5) 小箱梁结构在 20~30 m 跨度区间造价无明显差别。

参考文献:

- [1] 中交公路规划设计有限公司. 公路桥涵设计通用规范: JTG D60—2015 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [2] 吴迪. 空心板梁桥横向刚度研究 [J]. 科学技术创新, 2022(24): 117-120.
- [3] 张彦玲, 贾云飞, 贾晓远, 等. 装配式小箱梁桥内力横向分布系数建议公式 [J]. 吉林大学学报(工学版), 2023, 51(1): 1671-5497.
- [4] 上海市城市建设设计研究总院. 简支预应力混凝土小箱梁: DBJT08-115—2021 [S]. 上海: 上海市城乡建设和交通委员会, 2021.
- [5] 陈鄂. 小跨径桥梁结构 T 型梁和空心板梁适用性比较分析 [J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(7): 125-126, 128.

(本文编辑 赵娟)