



港区闸口建筑网架结构设计

张滔滔, 杨留娟

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 港区工程中的闸口因功能要求和造型限制, 多为大跨度空间结构。作为大跨度空间结构的一种, 空间网架结构因跨度大、质量轻、稳定性好、施工快、造型美观等优点而在建筑结构领域得到广泛运用。针对闸口屋盖形式采用空间网架结构是否合适, 依托实际工程案例, 采用3D3S软件分别对钢结构网架屋盖的挠度、应力比、稳定性进行分析, 阐述网架结构应用于闸口屋盖的受力特点和结构设计。结果表明, 空间网架结构形式具有较高的安全度, 工程设计可满足规范要求。研究成果可为进一步评价该类结构的可靠性及类似工程设计提供依据。

关键词: 空间结构; 网架结构; 大跨度; 屋盖

中图分类号: U652.7+2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0170-05

Design of grid structure for buildings at gate of port area

ZHANG Taotao, YANG Liujuan

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The gates in port engineering are mostly large-span spatial structures due to functional requirements and shape limitations. As a type of large-span spatial structure, the spatial grid structure is widely used in the field of building structures due to its advantages such as large-span, light weight, good stability, fast construction, and beautiful appearance. Based on the actual engineering case, 3D3S software is used to analyze the deflection, stress ratio and stability of steel structure grid roof, and the stress characteristics and structural design of grid structure applied to gate roof are expounded. The results show that the space grid structure has a high degree of safety, and the engineering design can meet the requirements of the specifications. The research results can provide a basis for further evaluating the reliability of such structures and similar engineering designs.

Keywords: spatial structure; grid structure; large-span; roof

根据几何形状、材料及受力特点, 大跨屋盖可分为平面结构和空间结构。其中平面结构包括梁式结构(桁架)、平面钢架及拱式结构; 空间结构包括网架结构、悬索结构、网壳结构、斜拉结构、张拉整体结构等^[1-4]。

在大跨度空间结构类型中, 空间网架结构的使用比较广泛, 适用于不同跨度的建筑。网架结构被广泛应用于大跨结构主要原因为: 1) 造型丰富多彩、美观大方, 可根据造型要求任意选取;

2) 刚度大、质量轻, 能很好地承受集中荷载、动力荷载和非对称荷载; 3) 杆件受轴力作用, 材料强度可以充分利用, 节约钢材; 4) 可在工厂批量生产, 节省施工时间, 缩短工期; 5) 结构高度小, 有效利用空间, 有利于吊挂设备管道^[5-7]。

在港口工程中, 闸口是比较常见的建筑单体, 通常由于使用功能、建筑布局的原因, 闸口两侧的立柱间距均较大, 并带有一定长度的悬挑, 根据合理性、经济性等要求, 结构设计宜选取钢网

收稿日期: 2024-09-27

作者简介: 张滔滔 (1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为结构工程。

架结构作为闸口屋面。

本文依托实际工程案例,对钢网架屋面结构进行设计分析,研究此类结构的受力特点,评判其安全度,旨在为类似工程的结构安全可靠评价及设计提供依据。

1 工程概况

深圳港盐田港区东作业区集装箱码头一期工程位于广东省深圳市,包括5个钢结构闸口,选取进港2#闸口作为分析对象,建成效果如图1所示。



图1 2#闸口建成效果

Fig. 1 Completed effect of No. 2 gate

根据 GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》^[8]中的全国基本风压分布图和工程所处地区的实际情况,基本风压取值为 0.85 kN/m^2 ,地面粗糙度取 A 类。根据 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》(2016 年版)^[9]及工程地质勘察报告,抗震设防烈度为 7 度,设计基本地震加速度为 $0.10g$;设计地震分组为第一组,场地类别为 II 类。屋面荷载按不上人屋面取值为 0.5 kN/m^2 。

2 结构形式

闸口长度方向柱距分别为 21、16、21 m,宽度方向柱距为 17.6 m,建筑高 12.8 m,屋盖悬挑长 5.25~7.00 m。轴网布置见图 2,建筑立面见图 3。根据柱网间距、悬挑长度,结合建筑造型要求,闸口采用混凝土柱+钢结构网架屋盖的结构形式。屋面网架采用正放四角锥形式,下弦支撑。

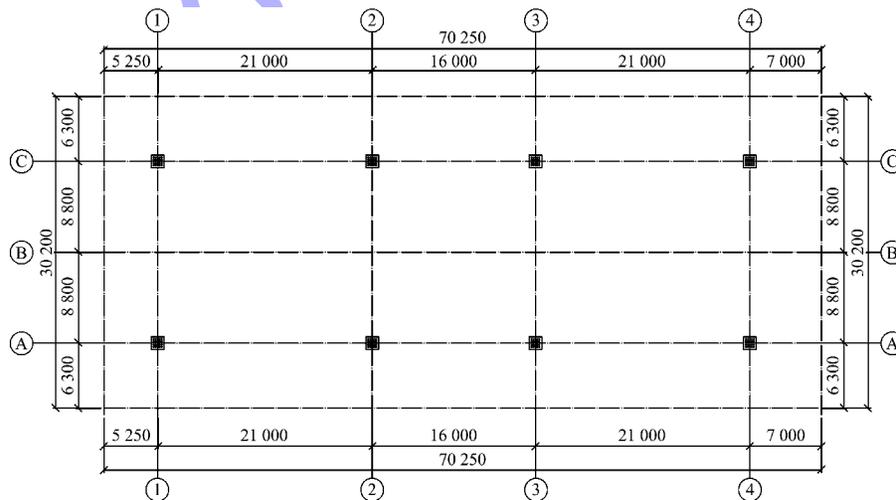


图2 轴网布置(单位: mm)

Fig. 2 Axis network layout (unit: mm)

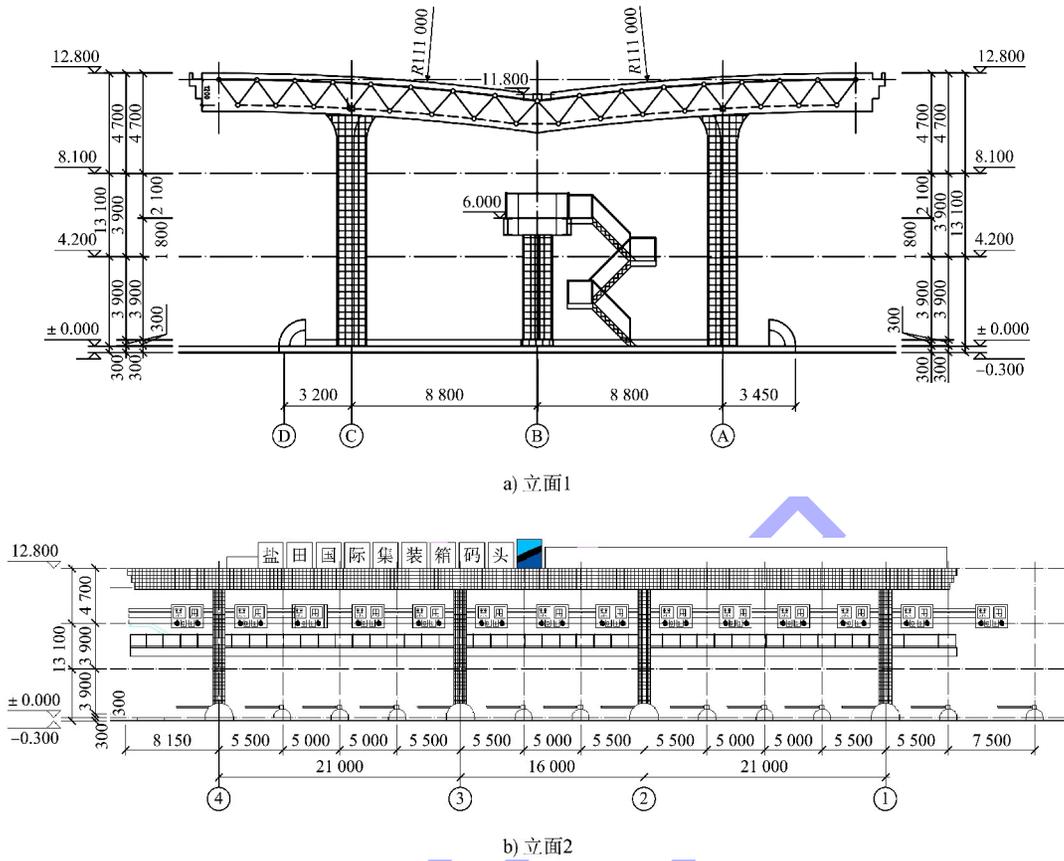


图 3 建筑立面 (尺寸: mm; 高程: m)
Fig. 3 Building facades (dimension: mm; elevation: m)

3 上部结构计算分析

3.1 计算概述

网架屋盖采用 3D3S Design 2022.4 进行计算。闸口屋盖荷载取值见表 1。设计温差 $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，合拢温度 $16\sim 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，基本风压 0.85 kN/m^2 ，地面粗糙度 A 类，风荷载参数见表 2。

表 1 闸口屋盖荷载
Tab. 1 Loads on roof of gate

位置	静载/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)	活载/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)
上弦	0.45	0.50
下弦	0.30	-

注：静载中不含网架自重。

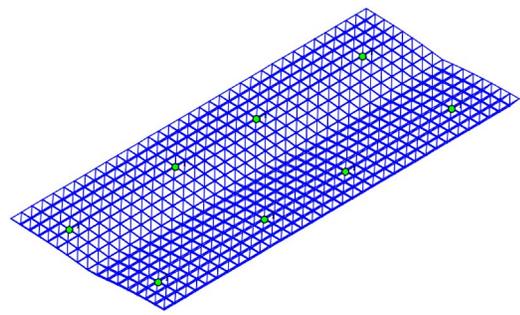
表 2 风荷载参数
Tab. 2 Parameters of wind load

高度/ m	风压高度变化系数 μ_z (修正前)	远海海面和海岛的修正系数 η	风压高度变化系数 μ_z (修正后)	高度 z 处的风振系数 β_z
11.7	1.33	1.00	1.33	1.50
12.7	1.36	1.00	1.36	1.50

3.2 计算分析

3.2.1 计算简图

屋盖采用正放四角锥形式，节点用螺栓球连接，闸口屋盖计算见图 4。



注：网格为普通单元，实心圆为支座。

图 4 闸口屋盖计算
Fig. 4 Calculation of roof of gate

3.2.2 线性最大位移

网架线性最大位移分布见图 5。典型组合位移的最大、最小值见表 3。每种组合由 4 种因素决定，分别为恒荷载、屋面活荷载、风(4 种工况)、

温度(2 种工况)。由表中数据可得, 结构 z 向最大正位移 28.690 mm (组合 22), 最大负位移 -48.009(组合 17), 结构跨中最大挠跨比为 1/367, 满足规范[1/250]的容许挠度要求^[10]。

表 3 线性组合最大/最小位移

Tab. 3 Maximum and minimum displacements of linear combination

最不利项	节点	组合名	U_x	U_y	U_z	U
x 方向最大位移	455	组合 64(恒荷载+0.7 屋面活荷载+0.6 风 1+温度 1)	22.800	3.770	-3.436	23.363
y 方向最大位移	586	组合 24(恒荷载+风 3+0.6 温度 1)	4.652	18.144	9.859	21.167
z 方向最大位移	288	组合 22(恒荷载+风 2+0.6 温度 1)	-14.328	0.000	28.690	32.069
空间最大位移	288	组合 17(恒荷载+屋面活荷载+0.6 温度 2)	3.543	0.000	-48.009	48.140
x 方向最小位移	211	组合 30(恒荷载+0.6 风 2+温度 1)	-21.811	-2.073	-0.137	21.909
y 方向最小位移	26	组合 26(恒荷载+风 4+0.6 温度 1)	4.652	-18.144	9.859	21.167
z 方向最小位移	288	组合 17(恒荷载+屋面活荷载+0.6 温度 2)	3.543	0.000	-48.009	48.140

注: 括号中的组合 4 因素中, 文字前面是荷载组合系数, 后面是工况号。

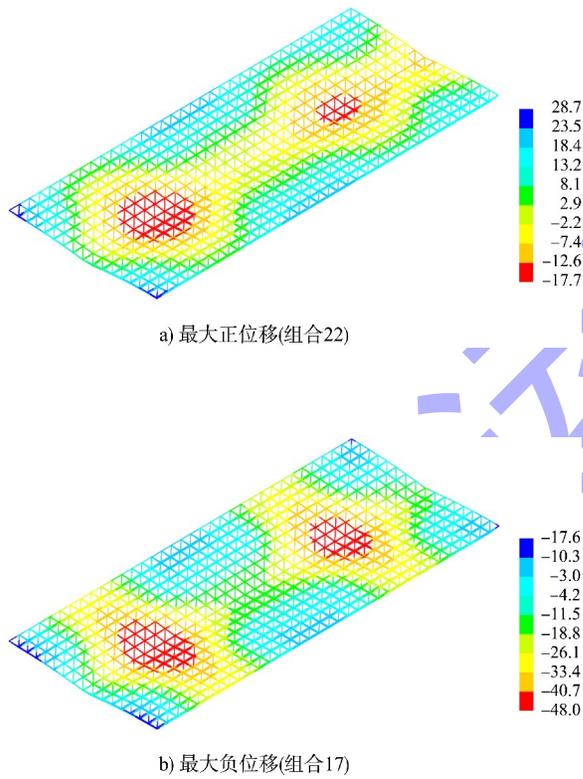


图 5 网架线性最大位移分布

Fig. 5 Distribution of maximum linear displacement of grid structure

3.2.3 杆件应力比

网架上下弦、腹杆均采用圆钢管, 杆件参数见表 4。所选模型中, 杆件应力比最大值为 0.845, 限值为 0.850, 满足规范要求。图 6、7 为模型应力比分布。

表 4 杆件参数

Tab. 4 Member parameters

截面/mm	材性	数量/根	长度/m	质量/t
$\phi 60.0 \times 3.50$	Q235B-2	3 480	6 572.000	32.050
$\phi 75.5 \times 3.75$	Q235B-2	483	964.882	6.402
$\phi 88.5 \times 4.00$	Q235B-2	227	457.310	3.812
$\phi 114.0 \times 4.00$	Q235B-2	70	140.979	1.530
$\phi 140.0 \times 4.00$	Q235B-2	54	102.982	1.382
$\phi 159.0 \times 6.00$	Q235B-2	26	50.105	1.134
$\phi 159.0 \times 8.00$	Q235B-2	10	19.712	0.587
$\phi 180.0 \times 10.00$	Q235B-2	2	3.605	0.151
合计		4 352	8 311.575	47.048

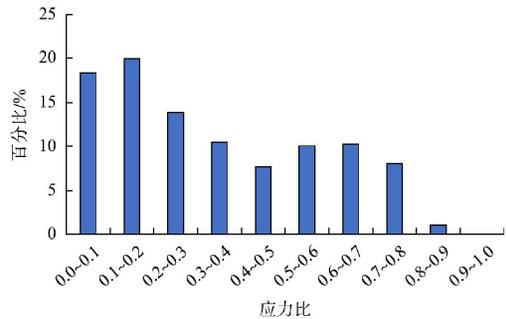


图 6 杆件应力比分布

Fig. 6 Distribution of member stress ratios

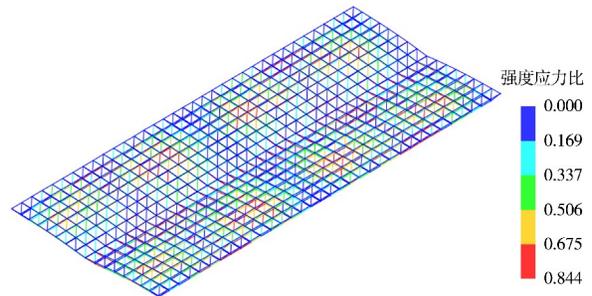


图 7 强度应力比分布

Fig. 7 Distribution of strength stress ratios

3.2.4 螺栓、套筒应力比

螺栓及套筒应力比限值均为 0.90, 螺栓及套筒应力比最大值分别为 0.898、0.854, 满足规范要求。图 8、9 为螺栓、套筒应力比分布。

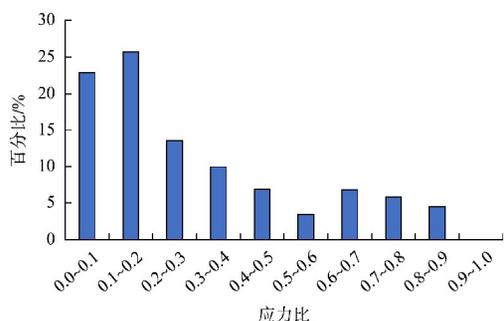


图 8 螺栓、套筒应力比分布

Fig. 8 Distribution of bolt and sleeve stress ratios

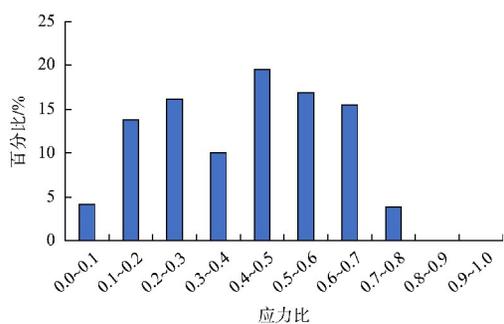


图 9 套筒端部承压应力比分布

Fig. 9 Distribution of compressive stress ratios at the end of sleeve

4 结语

1) 网架结构是大跨度空间结构中一种主要的结构形式, 借助于通用程序和计算机辅助设计, 网架结构的分析计算现已相当成熟, 特别是对于双层网架, 采用在我国已推广应用的网架结构计算软件, 便能完成网架结构的施工图设计。

2) 在港区工程中, 闸口是比较重要的单体, 而钢网架结构能适应各种造型不同的建筑形式, 兼顾结构经济性和安全性, 是大跨度闸口首选的结构形式。

3) 采用 3D3S 软件分别对屋盖网架结构的挠度、应力、稳定性等进行分析, 结果表明网架结构具有较高的安全度。

参考文献:

- [1] 郝飞. 大跨度空间结构的主要形式及特点[J]. 内蒙古石油化工, 2011, 37(3): 82-83.
HAO F. Main forms and characteristics of long-span space structure[J]. Inner Mongolia petrochemical, 2011, 37(3): 82-83.
- [2] 李峰. 大跨网架结构设计与分析[J]. 工程技术(文摘版)·建筑, 2016(42): 35.
LI F. Design and analysis of large span grid structure[J]. Engineering technology (abstract edition) architecture, 2016(42): 35.
- [3] 董石麟. 我国大跨度空间钢结构的发展与展望[J]. 空间结构, 2000, 6(2): 3-13.
DONG S L. The development and prospect of long-span space steel structures in China [J]. Spatial structure, 2000, 6(2): 3-13.
- [4] 简洪平, 刘光宗, 蔡文豪, 等. 大跨度空间网架结构优化设计[J]. 有色冶金设计与研究, 2001, 22(4): 33-41.
JIAN H P, LIU G Z, CAI W H, et al. Optimum design of wide-span overhead network structures [J]. Nonferrous metals engineering & research, 2001, 22(4): 33-41.
- [5] 韦先锋, 雷耀龙. 大跨度空间结构中的钢网架结构设计分析[J]. 住宅与房地产, 2019(5): 96.
WEI X F, LEI Y L. Design and analysis of steel truss structure in large-span spatial structures [J]. Residential and real estate, 2019(5): 96.
- [6] 沈维亮. 基于空间网架的大跨机库结构设计分析[J]. 建筑结构, 2023, 53(S1): 468-471.
SHEN W L. Structural design of large-span hangar based on space grid [J]. Building structure, 2023, 53 (S1): 468-471.
- [7] 杜庆远, 张焕华. 大跨度空间结构在国内的发展形式和技术特点[J]. 山西建筑, 2007, 33(26): 94-96.
DU Q Y, ZHANG H H. Development form and technical feature of large-span spatial structure in China[J]. Shanxi architecture, 2007, 33(26): 94-96.
- [8] 中国建筑科学研究院. 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
China Academy of Building Research. Load code for the design of building structures: GB 50009-2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.