



码头全自动巷道堆垛式整车库结构设计

蔺雪峰, 田磊, 曲军彪, 张小安

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要:为反映汽车货架与外部建筑物整体受力、协调变形的特性,结合工程实例,对码头全自动巷道堆垛式整车库进行了有限元分析与结构设计。结果表明,有限元分析可全面、正确地反映建筑物与汽车货架之间的协调受力特性,对于较高的全自动整车库($H \geq 12$ m),应利用这一特性进行结构设计。

关键词:全自动;整车库;结构设计

中图分类号:U 656.1*39

文献标志码:A

文章编号:1002-4972(2016)S1-0080-05

The structural design of automated roadway-stacking-type vehicle parking garage in port

LIN Xue-feng, TIAN Lei, QU Jun-biao, ZHANG Xiao-an

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

Abstract: In order to show the stresses and deformation characteristics of the parking system together with the building, finite element analysis and structural design are utilized for the automated roadway-stacking-type vehicle parking garage in port based on a practical project. The result shows that the finite element analysis correctly reflects the stresses characteristics of the automated vehicle-parking-storage and the building. For higher parking garages, the characteristics can be used in the building design.

Keywords: automated; parking garage; structural design

近年来,随着国家经济的飞速发展,进口汽车需求量与日俱增,汽车滚装码头也纷纷投入使用、运营。鉴于许多码头土地利用受限,具有土地利用系数高、自动化控制与管理水平高等优点的大型巷道堆垛式整车库备受欢迎^[1-2]。但是,截止到目前,尚无国家规范对巷道堆垛式汽车货架与外部建筑物共同受力、变形协调等方面做出具体的规定,货架本身结构设计大多执行 GB/T 28576—2012《工业货架设计计算》^[3]和 GB/T 27924—2011《工业货架规格尺寸与额定荷载》^[4],无法考虑外部建筑物与货架之间的相互影响。机械行业标准 JB/T 10822—2008《自动化立体仓库设计通则》^[5]和 JB/T 9018—2011《自动化立体仓库设计规范》^[6]更多涉及满足机械运营时的功能需求、货架布置原则等,尚未给出

结构设计方面的具体规定。因此,为了准确反映汽车货架与外部建筑物整体受力、协调变形特性,本文以某实例工程为基础,对码头全自动巷道堆垛式整车库进行了结构分析与研究。

1 工程概况

某全自动巷道堆垛式整车库实例工程,主要由出入车待停区和整体库两部分组成,平面尺寸 218.4 m×64.3 m,檐口高约 31 m,配有控制室、消防泵房等附属设施,见图 1。根据工艺系统布置,出入车待停区平面尺寸为 64.3 m×19.2 m,建筑物高度为 7.3 m,室内不允许出现结构柱;整车库平面尺寸 198.2 m×64.3 m,檐口高约 31 m;建筑物总占地面积约为 14 560 m²。

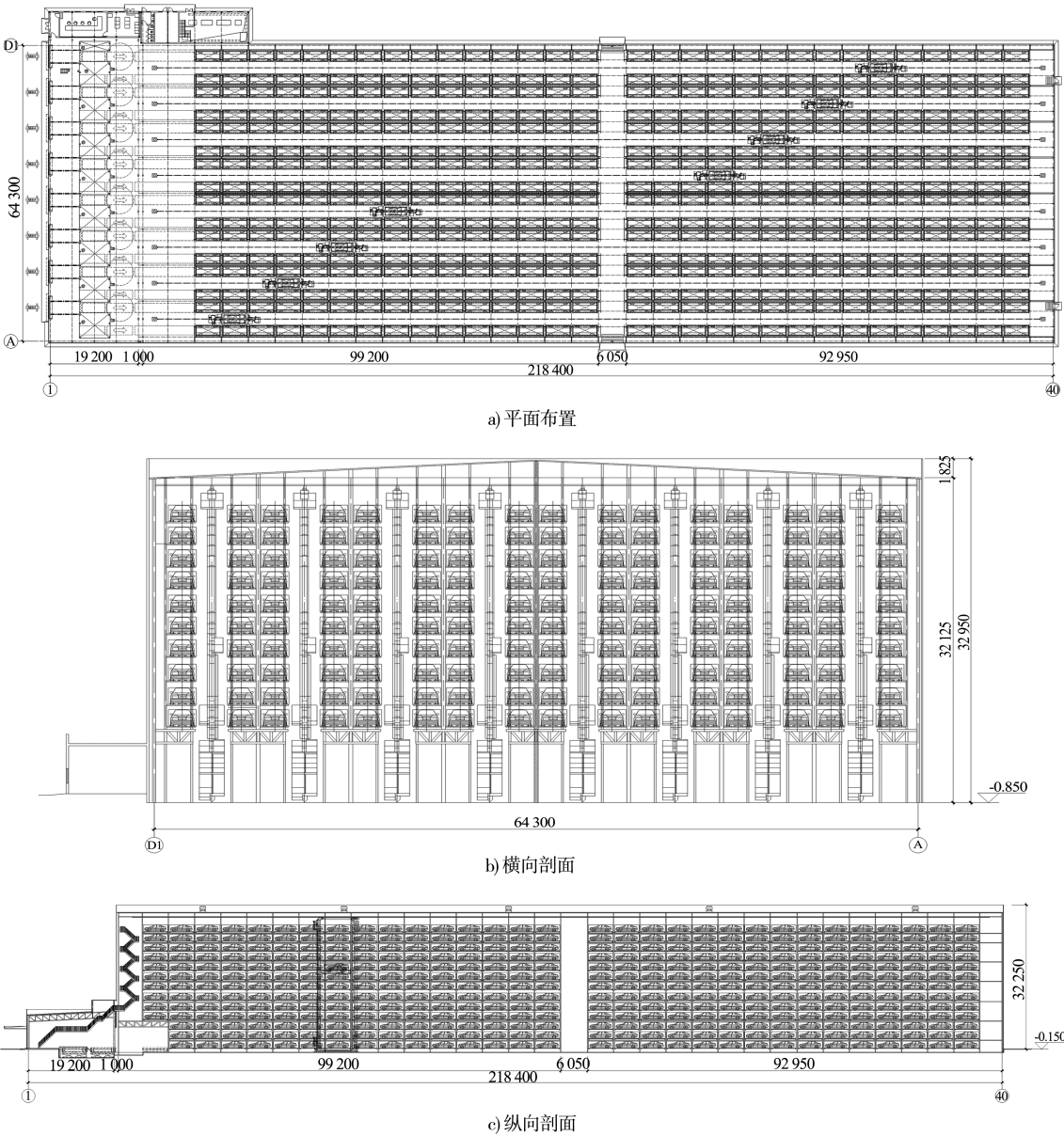


图 1 全自动整车库 (高程: m; 尺寸: mm。下同)

2 结构主要设计参数

全自动巷道堆垛式整车库设计使用年限为 50 a, 结构安全等级为二级, 结构重要性系数 1.0, 抗震设防类别为丙类, 地基基础设计等级为乙级。整车库设计时, 考虑了恒荷载、汽车与托盘活荷载、屋面活荷载、雪荷载、风荷载、地震作用及温度变化等荷载作用及各种可能的组合。整车库主体结构设计的主要参数如下:

- 1) 屋面恒荷载取檩条、屋面板自重。
- 2) 每个货位汽车与托盘活荷载合计为 28 kN。
- 3) 不上人屋面活荷载标准值为 0.5 kN/m²。
- 4) 基本风压为 0.55 kN/m², 地面粗糙度类别

A 类, 同时考虑业主要求, 风速取 35 m/s, 折算为基本风压为 0.77 kN/m², 设计时, 取二者较大值。

- 5) 基本雪压为 0.2 kN/m²。
- 6) 建设场地抗震设防烈度为 7 度, 设计基本地震加速度值为 0.10g, 设计地震分组第一组, 场地类别为 IV 类, 场地特征周期为 0.9 s, 地震工况下汽车活载按满载率的 80% 考虑。

- 7) 根据 GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》, 并考虑主体结构施工周期的季节跨越, 设计时合拢温度取 11~21 ℃, 主体结构设计计算温差取±25 ℃。

3 结构方案

3.1 出入车待停区主体结构

出入车待停区上部结构采用平面桁架结构，桁架高度为 1.3 m，结构柱为圆管柱；基础采用独立承台+桩基础的形式，基桩采用 C80 预应力混凝土管桩(PHC)，桩径 $D=500\text{ mm}$ 。

3.2 整车库主体结构

根据整车库内部工作流程特点，考虑工程节约投资、降低建筑物总高度等因素，汽车库设计成货架、外墙和屋顶共同受力的库架一体化全自动仓库(图 2)。

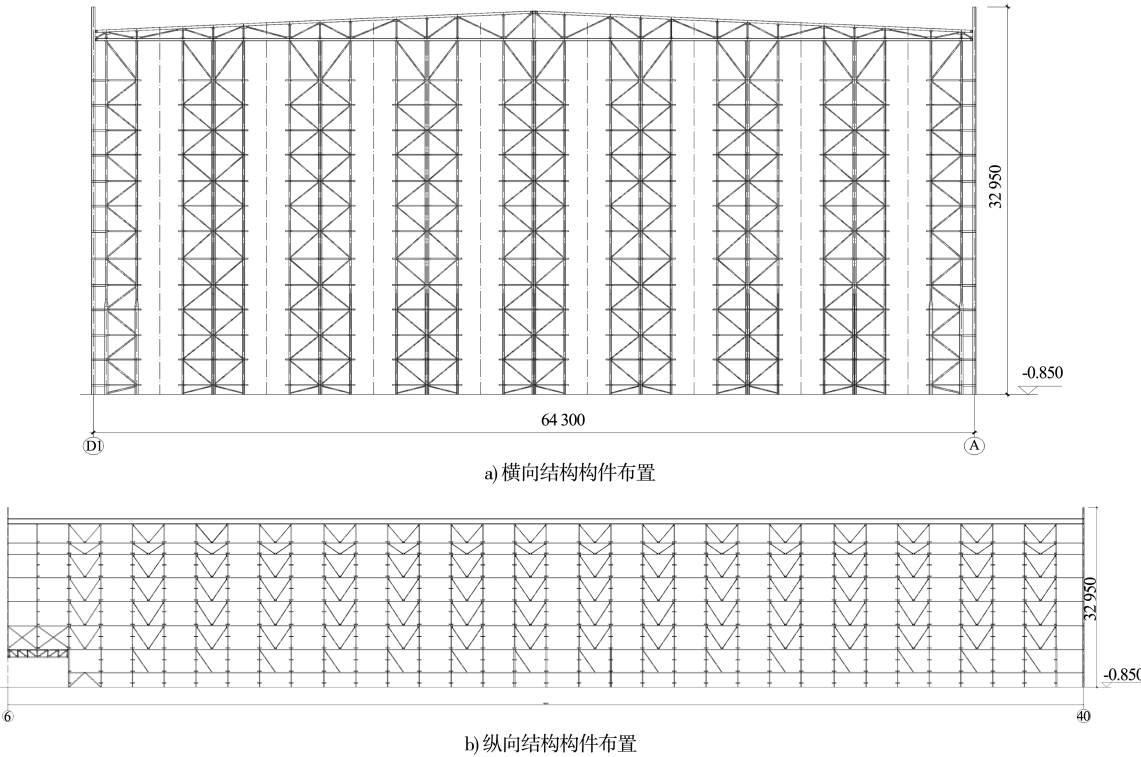


图 2 整车库结构

每榀横向立柱片结构由立柱、悬臂梁、牛腿梁、横向垂直支撑组成稳定结构；每榀片结构之间通过水平系杆、水平支撑、纵向垂直支撑连成整体；外墙与货架周边立柱通过钢梁发生联系，屋顶横向设置平面桁架，纵向设置水平支撑和系杆，增大顶部结构刚度，堆垛机天轨固定于货架之间的屋面桁架下弦上，以形成稳定的整体受力体系。

从结构概念设计角度，为减小整车库柱顶变形，增大结构整体刚度，车库水平支撑、垂直支撑、屋顶桁架上弦和腹杆均按压杆考虑，杆件长细比限值按表 1 取值^[7-8]。

整车库总长度 198.2 m，为减少温度作用对结构受力的不利影响，考虑在中部消防扑救通道处设置温度伸缩缝。

整车库基础采用筏板+桩基础形式，基桩采用 C80 预应力混凝土管桩(PHC)，桩径 $D=500\text{ mm}$ 。

3.3 维护结构

出入车待停区和整车库屋面、墙面围护结构均采用彩色压型钢板+檩条的结构受力体系，屋面檩条、墙梁均采用冷弯薄壁型钢；外墙和屋面均采用保温彩色压型钢板。

4 结构设计与分析

整车库主体结构总长 198.2 m，结构设计与分析均以温度伸缩缝一侧并临近出入车待停区的结构为研究对象，采用 SAP2000 进行结构建模与设计计算，计算模型见图 3。

表 1 屋顶桁架杆件与支撑长细比限值 [λ]			
杆件	桁架受压上弦、 支座压杆	桁架受压腹杆、 支撑压杆	桁架受 拉下弦
[λ]	150	200	350

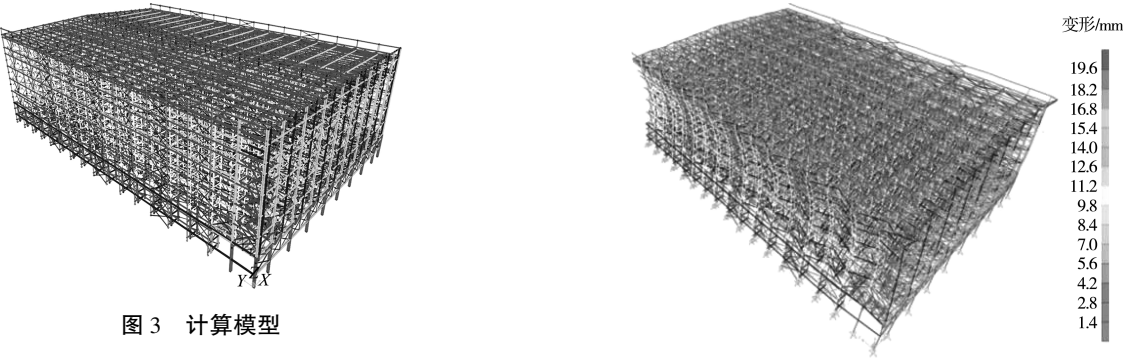


图 3 计算模型

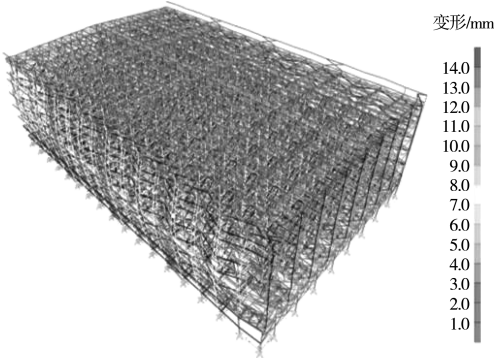
4.1 前 9 阶阵型的结构自振周期

地震力计算时选取前 45 阶阵型进行计算，前 9 阶阵型的结构自振周期见表 2，45 阶阵型的质量参与系数约 100%，满足规范规定的不小于 90%的要求。

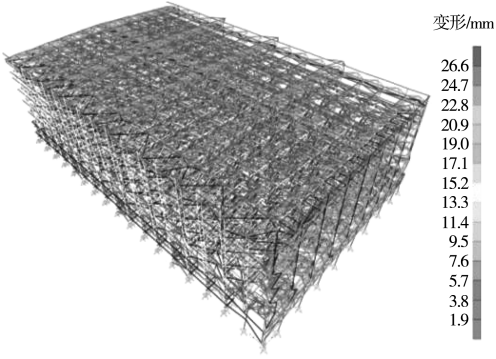
表 2 前 9 阶阵型自振周期

阵型阶数	自振周期/s	阵型阶数	自振周期/s
1	0.864	6	0.424
2	0.799	7	0.419
3	0.780	8	0.388
4	0.561	9	0.381
5	0.556		

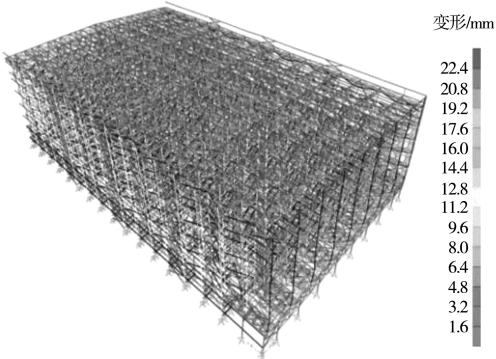
c) 风荷载作用下X向



d) 风荷载作用下Y向



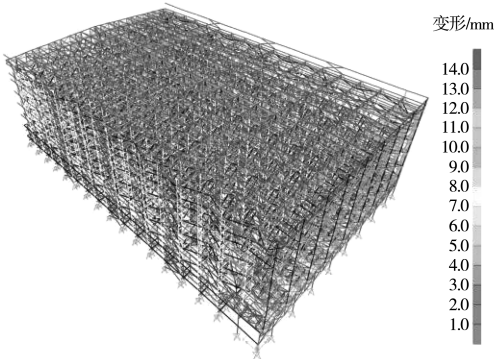
e) 地震作用下X向



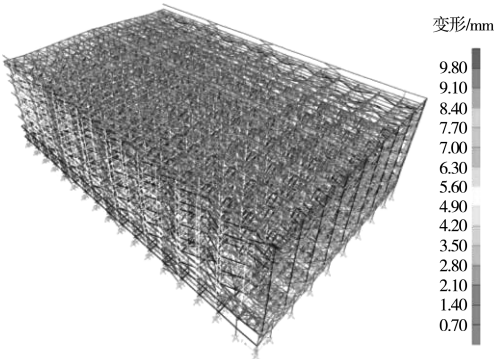
f) 地震作用下Y向

4.2 荷载作用下结构构件变形

各种荷载工况下整车库的变形见图 3，结构构件最大变形见表 3。



a) 恒荷载作用下



b) 汽车荷载作用下

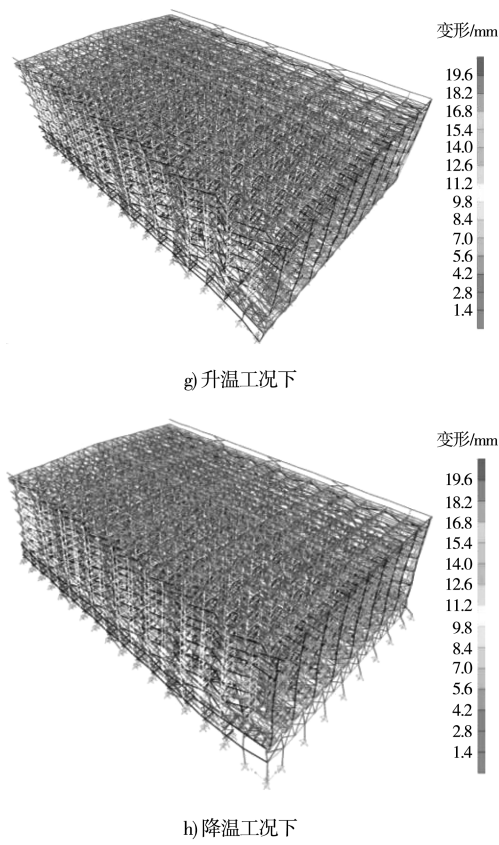


图 3 各种工况下结构构件变形

表 3 各种荷载工况下结构构件变形

荷载工况	位置	最大变形/mm	变形允许值/mm
恒载 + 汽车活载	牛腿梁	4.2	10.0
	悬臂梁端部	0.95	3.5
X 向风载	距柱底 20.525 m	20.3	41.1
Y 向风载	柱顶	7.7	62.6
X 向地震	柱顶	28.2	
Y 向地震	柱顶	22.8	
升温		20.3	
降温		20.3	

由表 3 可以看出，恒荷载与汽车活荷载共同作用下，货架牛腿梁最大竖向变形 4.2 mm，小于规范规定的 10 mm，且小于 6.6 mm ($L/300$)；货架节点最大竖向位移 5.2 mm，小于规范规定 10 mm；悬臂梁最大竖向变形为 0.95 mm，小于 3.5 mm ($L/200$)^[3]。X、Y 向风荷载作用下结构最大变形分别为 20.3、14.9 mm，分别小于规范规定的最大值 41.1、62.6 mm ($H/500$)，X、Y 向风荷载作用下层间相对位移分别为 1/748、1/2 833，均小于规范规定的 1/400^[8]。升温、降温荷载工况下结构构件最大变形均为 20.3 mm。

X、Y 向地震荷载作用下结构构件最大位移分

别为 28.2、22.8 mm，根据《工业货架设计计算》，地震工况下无需校核货架结构的变形。但是根据现行建筑抗震设计规范，地震荷载作用下，结构弹性层间位移角限值为 1/250，实际上，X、Y 向地震荷载作用下弹性层间位移角分别为 1/998、1/904，均满足规范要求。

4.3 应力比

SAP2000 有限元程序计算得到的结构应力比见图 4，杆件最大应力比为 0.95<1.0，结构是安全可靠的。

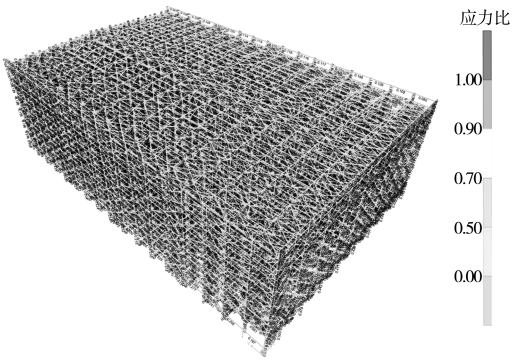


图 4 整车库结构构件应力比

5 结语

1) 库架一体化整车库应建立三维有限元模型模拟汽车货架与外部建筑物整体受力、协调变形的特性。

2) 对于较高的全自动停车库 ($H \geq 12$ m)，应采用建筑物与内部停车货架结构共同受力、变形协调的库架一体化的整车库结构形式。

参考文献：

[1] 汪浩, 余华. 自动化立体停车库的类型、特点和应用[J]. 苏州职业大学学报, 2004, 15(4): 89-92.
[2] 贺拥军, 杨承超, 周绪红, 等. 立体车库的结构形式及应用与发展[J]. 建筑科学与工程学报, 2009, 26(4): 30-34.
[3] GB/T 28576—2012 工业货架设计计算[S].
[4] GB/T 27924—2011 工业货架规格尺寸与额定荷载[S].
[5] JB/T 10822—2008 自动化立体仓库设计通则[S].
[6] JB/T 9018—2011 自动化立体仓库设计规范[S].
[7] CECS 23: 90 钢货架结构设计规范[S].
[8] GB 50017—2003 钢结构设计规范[S].
[9] GB 50009—2012 建筑结构荷载规范[S].

(本文编辑 武亚庆)