工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

大跨度门式刚架物流厂房与立体仓储工艺参数协同设计

袁凯　张冲　张丽
中国中元国际工程有限公司

DOI：10.32629/ems.v8i10.22597

［**摘　要**］传统的大型跨度门式刚架物流厂房结构设计和立体仓储工艺布置一直存在着相互脱节的情况，由于货架高度、堆垛机轨道间距、作业通道宽度等工艺参数同柱网布置、梁下净高等结构设计不相匹配，导致出现空间浪费、后期改造费用较高以及仓储作业效率受到限制等问题。本文对两者协同设计进行系统研究，结合多种典型的物流仓储项目工程实践，分析门式刚架结构和立体仓储工艺的主要耦合参数及其相互制约关系，提出以仓储工艺需求为中心、结构选型适配优化为途径的协同设计方法。该方法可以保证结构安全性和经济性的同时，提高厂房空间利用率和仓储作业流畅度，给同类大跨度物流厂房的设计和改造提供参考依据。

［**关键词**］大跨度门式刚架；立体仓储；工艺参数；结构选型；协同设计

前言

近年来，随着现代物流产业的快速发展，物流仓储设施的建设规模持续扩大，对仓储空间利用率与运营效率的要求不断提升。大跨度门式刚架结构凭借受力明确、施工便捷、造价经济等优势，成为中大型物流厂房的主流结构形式[1]。但目前在工程设计中，结构设计和仓储工艺设计一般分阶段独立进行，结构方案大多按照通用厂房的标准来确定，没有充分考虑到立体仓储的货架、堆垛机、输送系统等专用设备的布置需求而进行有针对性的优化，造成投入使用之后经常出现柱位遮挡作业通道、梁下净高不足限制货架层数、楼面荷载与仓储设备载荷不匹配等问题，不但降低了仓储空间的使用效率，还需要投入额外的成本来进行改造调整[2]。随着立体仓储系统向高密度、自动化方向发展，两者之间参数适配矛盾越来越明显，开展结构和工艺参数协同设计的研究已经成为提高物流厂房综合使用效能的重要环节。

1.大跨度门式刚架物流厂房的结构特点及适配立体仓储的核心需求

大跨度门式刚架物流厂房主要依靠横向刚架来承担荷载，纵向用柱间支撑、屋面支撑组成整体受力骨架，一般具有跨度大、檐口高、内部空间开阔连续等特点，可以为仓储设备布置提供足够的横向和竖向空间。从结构受力角度来说，刚架横梁同柱顶刚接的构造可以有效地传递弯矩，减小屋面梁的竖向挠度，钢结构自重小、基础造价低，适合物流厂房大荷载、大空间的要求[3]。

立体仓储对于厂房空间的需求具有明显的定制化特点，不是简单的大的空间就可以满足使用要求的。自动化立体仓储系统中的货架阵列、堆垛机巷道、输送分拣设备、装卸作业区等功能模块的空间尺寸都有具体的工艺要求，各个模块之间还要有顺畅的作业流线。这就需要门式刚架的柱网位置、梁下净高、楼面和屋面荷载设计要和仓储工艺的具体布置相匹配，在有限的建筑空间内最大限度地发挥出仓储系统的运行效率。

2.门式刚架结构和立体仓储工艺的关键耦合参数及制约关系

大跨度门式刚架和立体仓储系统之间的协同适配，主要在于找到两个设计体系中相互关联、互相制约的重要参数，确定它们的双向制约关系，为后续的协同优化提供明确的作用靶点。从仓储工艺端到结构端传递的约束参数可以分为三类：第一类是货架系统相关参数，即货架总安装高度、单排货架横向长度、货架阵列整体排布范围以及货架单元竖向、水平荷载等，其中货架总高度决定了厂房内部最低净空尺度，货架阵列外轮廓范围规定了柱网可设置的边界，防止立柱进入货架作业区[4]；第二类是自动化设备相关参数，包括堆垛机运行轨道间距、轨道安装平整度要求、巷道两侧安全作业宽度、输送分拣设备安装占用空间及局部荷载分布等，这类参数对柱网间距、地面局部承载力有刚性约束；第三类是作业流线相关参数，即入库、出库主通道的宽度、走向、内燃或电动叉车转弯作业半径、装卸货区域预留空间等，直接影响边柱位置和整体柱网排布合理性。

对结构端到仓储端造成影响的参数有柱网跨度、间距，刚架梁下沿最低净高，屋面和楼面设计活荷载取值，刚架柱截面尺寸及基础承载能力等。这些参数不是单方面决定的，

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

而是形成多方面的相互制约关系：柱网间距过大虽然可以减少立柱对仓储区域的遮挡,但会使刚架横梁的截面高度增加，从而压缩梁下有效净空，限制货架可安装层数；柱网间距过小虽然可以降低结构用钢量，但会使得立柱进入货架阵列或者堆垛机巷道中，影响到仓储作业的连续性。提高梁下净高可以增加货架竖向层数、提高仓储密度，但会导致刚架柱高度增加、风荷载作用效应增大，进而提高整个结构造价。荷载取值设计如果大于仓储实际需要就会造成不必要的结构成本浪费，如果小于仓储实际需要就无法承受重型货架以及自动化设备运行时产生的荷载，留下结构安全隐患。在传统的分段式设计模式下，两种参数之间的配合主要依靠设计人员的经验来判断，缺少量化的协同校核，是导致厂房空间利用率低下、后期改造频繁的主要原因[5]。

3.以仓储工艺需求为核心的协同设计方法与实施路径

3.1 前置式工艺需求梳理与空间约束提取

协同设计的第一个环节就是打破传统的时序界限，在结构方案开始之前就对立体仓储系统的工艺需求进行深入的梳理，防止结构设计在先而造成的适配性偏差。设计团队要联合仓储运营方、工艺设备供应商一起确定项目的各项主要运营指标，即单位面积存储容量、出入库作业峰值效率、货架的具体规格和阵列排布规则、堆垛机以及输送分拣设备选型参数、作业流线组织逻辑等，把定性的需求转化为可以直接用于结构设计的定量空间约束条件。具体来说，要分别明确货架阵列水平外轮廓范围、堆垛机巷道走向及净尺寸、设备运行所需安全间距、装卸作业区预留尺度等，形成工艺空间约束清单，作为柱网布置、净高设计、荷载取值的基础输入条件[6]。该环节要给以后的工艺调整留有充分的弹性空间，对于将来可能出现的货架扩容、设备升级等情况，在约束边界里保留一定的冗余量,以免厂房建成后由于工艺调整而失去适应能力。前置化的需求梳理可以从根本上减少结构方案同工艺需求之间的差距，从而避免后续阶段反复修改的情况发生。

3.2 基于工艺约束的柱网与空间形态协同优化

柱网布置和空间净高是连接结构设计和仓储工艺的纽带，也是协同优化的对象。在柱网设计中，要首先根据货架阵列排布边界以及堆垛机巷道走向来确定柱位，使刚架立柱尽可能地布置在货架阵列端部间隙、设备预留区域或者作业通道边缘位置,从而从根本上防止立柱侵入核心仓储作业区。对于受结构受力要求必须在仓储区域内设置立柱的位置，需要结合货架模数尺寸对柱位进行微调,保证立柱与货架结构、堆垛机运行轨道之间保持符合安全规范的距离，同时兼顾纵向刚架受力合理性，优化纵向柱距，平衡结构用钢量和空间利用率[7]。空间净高设计方面，要根据货架总安装高度、顶部安全预留空间以及刚架横梁预估截面高度进行反向推算，在满足货架安装及自动化设备运行要求的基础上，合理控制厂房檐口高度，防止由于净高冗余导致刚架柱高度增加、风荷载效应加大等问题。另外还要根据各个区域不同的工艺功能进行分区净高设计，货架存储区、分拣作业区、装卸作业区可以按照实际需求分别配备不同的梁下净高，减少整个空间的无效浪费。

3.3 适配仓储荷载特征的结构选型与截面优化

立体仓储的荷载分布有明显的分区特点，各个功能区的荷载量级和作用形式各不相同，传统的统一取值荷载设计方法既存在安全冗余浪费的问题，又容易造成局部荷载不足的情况。协同设计时要根据货架存储区、堆垛机运行轨道区、输送设备区、叉车作业通道区不同的荷载特征来确定各区域的荷载取值，结合货架竖向荷载和水平地震作用、堆垛机动荷载效应、输送设备局部集中荷载确定各区域的设计标准，防止全局统一荷载取值造成的结构成本浪费。在此基础上进行门式刚架截面优化，针对大柱网、大净高的受力特点，合理选择刚架梁柱的截面形式及尺寸，在保证强度、刚度和稳定性要求的情况下，控制横梁的截面高度，减少其对梁下有效净空的占用。同时考虑到堆垛机轨道对于地面平整度的高精度要求，在基础设计中对相应的区域地基处理以及地面构造设计进行加强，降低后期地面沉降给设备运行精度带来的影响。通过荷载分区和截面优化的配合，在保证结构安全的前提下，达到结构造价与仓储适配性的平衡。

3.4 全流程双向校核与动态迭代调整机制

协同设计不是一次性的方案匹配，而是要建立贯穿整个设计过程的双向校核和动态迭代机制，保证参数适配的准确性。每次结构方案调整之后都要对工艺空间的适配性进行同步校验：柱网尺寸改变引起横梁截面变化时，要重新计算梁下净空是否满足货架安装及设备运行的要求；货架排布或者高度改变影响到整体竖向空间的时候，要复查刚架柱的风荷载效应、基础承载能力是否符合结构安全要求；工艺流线改变造成作业通道位置变化的时候，要检查周边柱位是否存在遮挡。在设计过程中可以使用参数化设计工具来创建结构参数与工艺参数之间的联动映射关系，在一个参数发生变化的时候可以迅速地得到另一个体系受到的影响，从而提高校核

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

的速度。另外还要在施工图设计阶段请仓储工艺方参加联合审图，对柱位布置、净高尺寸、荷载取值等进行最后的确定，防止出现设计成果不匹配的情况。经过多轮次的迭代优化以及联合校核之后，最终得出既满足结构安全和经济性要求又能够充分支撑立体仓储高效运转的厂房设计方案，给以后的施工和运营提供可靠的依据[8]。

3.5 基于典型工程案例的协同设计效果验证

以 XX 市物流中心新建项目为例，该项目为单层大跨度门式刚架结构厂房，总建筑面积 3.2 万㎡，设计目标为搭建高层自动化立体仓储系统，货架最大安装高度 24m，堆垛机巷道共 18 条，整体出入库峰值要求达每小时 600 托。项目初期按照传统的通用厂房设计，拟采用 24m 的标准跨度、9m 的柱距进行刚架布置，檐口高度设为 28m，在预校核时发现横向刚架立柱正好位于两条堆垛机巷道之间，需要对巷道位置进行偏移调整，而且横梁预估截面高度为 1.2m，会压缩梁下净高，造成货架层数不能满足设计预期。项目团队使用本文提出的协同设计方法进行优化：首先在结构方案启动之前联合工艺方对所有空间约束进行梳理，确定货架阵列的整体外轮廓范围、巷道净尺寸 1.6m、设备安全间距 0.8m 等硬性指标；接着以货架排布边界为基准微调柱网，将横向跨度改为 25m、纵向柱距改为 9.6m，使立柱全部落在货架阵列端部的间隙区域；同时结合横梁截面优化把梁高控制在 0.9m，对应的檐口高度变为 26.5m，既符合货架 24m 安装高度加上顶部预留空间的要求，又避免了净高冗余。经过多轮双向校核之后，项目的钢结构实际用钢量为每平方米 42kg，比传统方案减少大约 8%，货架可安装层数由原来的 9 层提高到 11 层，单位面积存储量提高约 22%，投入使用以后没有出现任何柱位遮挡、净高不足或者荷载不匹配的情况，出入库作业效率完全达到了设计峰值的要求，直接证明了该协同设计方法的工程实用性。

4.大跨度门式刚架物流厂房协同设计的实施保障

从落地层面来看，该协同设计模式的顺利实施首先要创建起跨专业的协作机制，打破结构设计和工艺设计分属不同团队、前后衔接脱节的局面，在项目立项的时候就确定双方的协同节点以及责任边界，设立联合设计对接人，防止由于信息不对称造成方案偏差。其次要建立量化的参数对接标准，对常见的仓储设备选型、货架规格进行整理形成标准化的参数清单，减少反复沟通的成本，同时根据项目的规模、运营需求的不同预留合理的调整弹性，避免标准过于僵化影响到方案的适应性。从行业推广的角度来说，可以将成熟的协同设计流程纳入物流厂房设计的相关规范指引中，给设计人员提供明确的操作参考，引导建设方在项目初期同步引入工艺设计方，避免只按照通用厂房的标准来启动结构设计，从而从根本上减少后期出现的适配问题。随着现代仓储设施不断向高密度、自动化方向发展，结构和工艺的深度协同会成为大跨度物流厂房设计发展的必然趋势，这种模式不但可以有效地提高项目的全生命周期综合效益，而且还可以为现代物流基础设施的高效建设提供更加有力的技术支持。

5.结语

综上所述，大跨度门式刚架物流厂房与立体仓储的协同设计，需以工艺需求为核心，打通结构与工艺的参数耦合逻辑，通过前置梳理、协同优化与双向校核，实现空间利用率、结构经济性与仓储运行效率的平衡。该模式可为现代物流厂房的高质量建设提供务实可行的技术路径。

[参考文献]

[1]宋名海. 门式刚架物流货棚设计选型与用钢量经济性分析[J]. 四川建筑,2023,43(3):55-57.

[2]余华峰,周娜,李杨. 食用油小包装车间及智能立体仓库的工艺设计优化及应用研究[J]. 粮食与饲料工业,2025(2):10-13.

[3]黄腾,王兴鹏. 跨度及柱距对单层门式刚架经济性影响研究[J]. 建筑科技,2021,5(3):72-75.

[4]阮左正. 柱距对重型门式刚架厂房经济性的影响[J]. 世界有色金属,2021(8):126-129.

[5]唐俊,黄小容. 门式刚架结构设计中的受力分析与结构优化[J]. 建材发展导向,2025,23(3):34-36.

[6]汪海. 门式刚架重型钢结构厂房设计[J]. 工程技术研究,2021,6(20):160-161.

[7]汤德英. 某钢结构高架物流仓库梁系布置方案探析[J]. 福建建筑,2026,44(2):32-40.

[8]李建国,宫新成. 四向穿梭式立体库货架布局及设备配置策略[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2025,53(3):68-79.

一作简介：袁凯，学历：硕士，出生日期：1993.11.18，男，职称：结构工程师；

二作简介：张冲，学历：硕士，出生日期：1993.05.01，男，职称：结构工程师；

三作简介：张丽，学历：硕士，出生日期：1994.06.20，女，职称：物流工艺工程师。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.