

工业厂房排架结构的荷载传递与设计

苏君晓

河北英科石化工程有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]工业厂房排架结构在机械制造、仓储等工业领域中得到了广泛的使用, 不仅具有受力明确、空间利用率高的优势, 而且施工便捷。荷载传递机制对结构整体的稳定性, 构建选型等有着直接影响。文章基于排架结构的力学特性, 对典型荷载的传递路径进行了深入分析, 探讨荷载组合原则及不同荷载工况下的设计要点, 以供参考。

[关键词]工业厂房; 排架结构; 荷载传递; 结构设计; 荷载组合

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18778

中图分类号: TU746.3

文献标识码: A

Load Transmission and Design of Industrial Plant Shelving Structure

SU Junxiao

Hebei Enco Petrochemical Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The industrial plant shelving structure has been widely used in industrial fields such as mechanical manufacturing and warehousing. It not only has the advantages of clear stress and high space utilization, but also has convenient construction. The load transfer mechanism has a direct impact on the overall stability and construction selection of the structure. Based on the mechanical characteristics of the bent frame structure, this article conducts an in-depth analysis of the transmission path of typical loads, explores the principles of load combination, and discusses the design points under different load conditions for reference.

Keywords: industrial plant; shelving structure; load transfer; structural design; load combination

引言

工业厂房是工业生产活动的核心场所, 其结构的形式必须精准适配大空间、大跨度以及承受重型荷载等一系列特殊工况需求^[1]。由屋架、柱、基础以及支撑系统等关键构件共同组成排架结构, 通过屋架与柱的铰接连接, 以及柱与基础之间采用刚接的连接形式形成稳定的受力体系^[2]。准确把握荷载在结构中的传递规律是保障结构在长期使用过程中安全、经济、适用的前提。近年来, 伴随着工业生产规模的持续扩大、重型设备的大规模应用, 排架结构面临的荷载工况复杂程度不断加剧, 对于设计的精度、荷载传递分析的要求不断提升。基于此, 本文基于排架结构的力学特性, 对典型荷载的传递路径进行了深入分析, 结合规范要求明确设计要点, 旨在构建“荷载分析-传递路径-构件设计-整体优化”的完整设计逻辑。

1 工业厂房排架结构的组成与力学特性

排架结构在工业厂房排架结构体系中占据着关键地位, 承担着 将上部屋面、吊车、墙体等全部荷载传至基础的作用。其基本组成单元为横向排架, 由同一横向平面内的两根或多根柱、屋架(或屋面梁)及基础共同构建而

成^[3]。若干横向排架通过一系列纵向连系构件进行紧密连接, 连系梁用于连接同一纵向轴线上相邻柱的上端或下端, 吊车梁承受吊车竖向荷载和水平荷载, 柱间支撑承受厂房纵向的水平荷载, 提高厂房的纵向稳定性。

排架结构的力学特性由其特有的连接形式以及构件的功能分工所决定, 当承受竖向荷载作用时, 屋架把所承受的荷载以均匀的方式传递至柱顶, 柱凭借轴向受压的方式, 把荷载传递至基础部位, 构件的受力状况与轴心受压或小偏心受压的力学模式较为接近。当结构承受水平方向荷载的作用时, 柱顶产生水平方向的位移, 柱身需承受由弯矩和剪力所带来的力学效应, 基础依靠其具备的抗倾覆及抗滑移承载力平衡水平方向的作用力, 在此情形下, 纵向连系构件与支撑系统协同参与结构受力, 形成具备整体性的抗侧移结构体系^[4]。

2 工业厂房排架结构的荷载类型与传递路径

工业厂房排架结构承受的荷载类型多样, 根据荷载性质分为恒载、活载、水平荷载及其他特殊荷载。

2.1 恒载的传递路径

恒载是指结构在使用过程中始终存在、大小和方向不随时间变化的荷载。

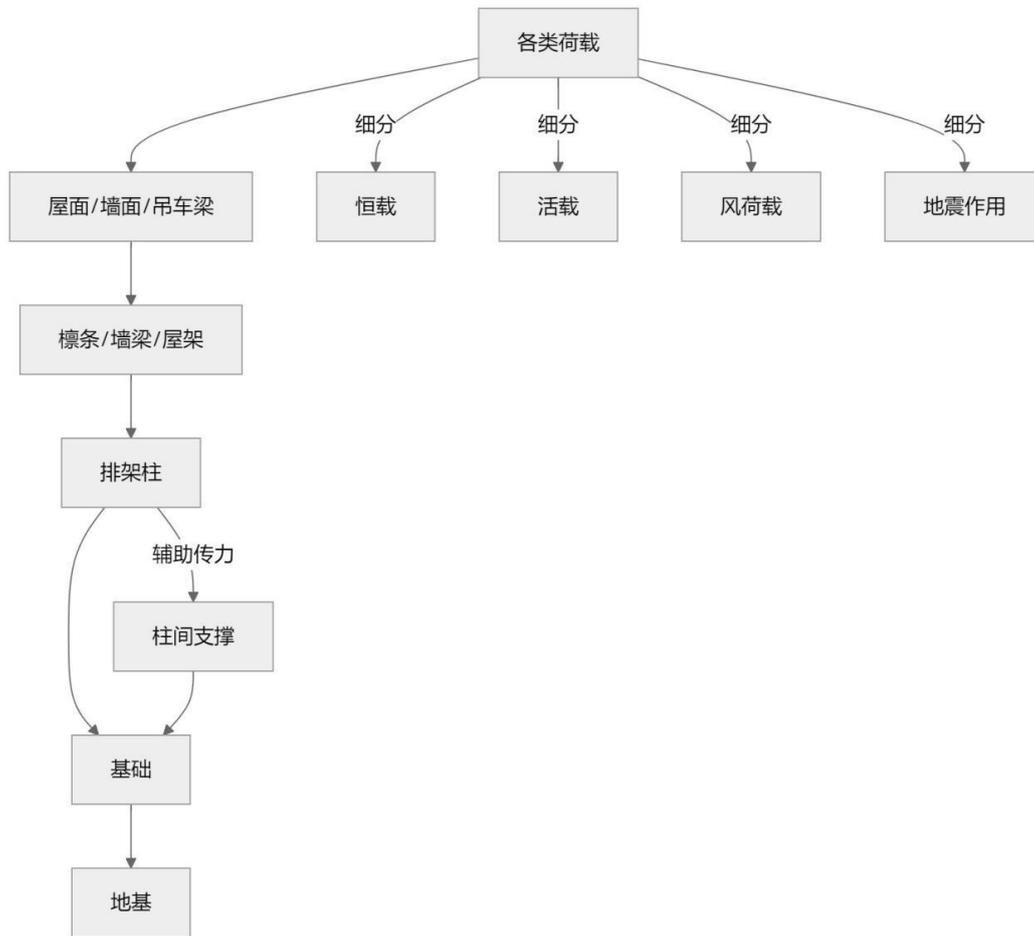


图1 工业厂房排架结构荷载传递总览图

结构自重的传递路径:屋面材料(如彩钢板、防水层、保温层)自重→屋面檩条→屋架(或屋面梁)→柱顶→柱身→基础→地基。

永久设备重量的传递路径:当相关设备(例如通风机、冷却塔等)被布置在屋面上,其所承受荷载的传递路径和屋面自身重量的传递路径相同;若重型机床、储罐等设备设置在室内地面位置,并且直接安放于地基之上,此时荷载不会通过排架柱,荷载将直接通过设备基础完成向地基的传递;当设备借助支架稳固地安装于柱体之上时,此时荷载会直接传递到柱身结构上,随后荷载再经由柱体传递至基础结构。

2.2 活载的传递路径

活载是指结构在使用过程中随时间变化的荷载,屋面活载的传力途径同屋面恒载基本相同:屋面活载(包括检修荷载、积灰荷载)→屋面檩条→屋架→柱顶→柱身→基础→地基;需要注意的是,屋面活载一般均为均布荷载或者局部集中荷载,同时考虑活载的最不利布置,保证屋架以及

柱的强度满足要求。而积灰荷载是工业厂房中所特有的屋面活载,应根据厂房生产性质(如冶金厂房、水泥厂)而定,如果积灰较厚,可能会大大增加屋面荷载,应着重验算。

吊车活载是工业厂房排架结构的关键活载,分为竖向吊车荷载和横向吊车水平荷载,其传递路径具有特殊性。竖向吊车荷载:吊车梁→吊车轨道→吊车牛腿→柱身→基础→地基。吊车在吊车梁上行驶时,通过车轮将竖向荷载传递给吊车梁,吊车梁通过两端的支座传递给柱的牛腿,牛腿将荷载传递给柱身,柱身再将竖向荷载与屋架传递的荷载叠加后传递至基础。横向吊车水平荷载:吊车车轮→吊车轨道→吊车梁→柱牛腿→柱身→柱间支撑→基础→地基。当吊车启动、制动或横向运行时,产生横向水平荷载,该荷载通过吊车梁传递给柱牛腿,柱身将水平荷载传递给柱间支撑,由柱间支撑将水平力沿纵向传递至两端排架的基础,再由基础传递给地基。

2.3 风荷载的传递路径

风荷载是作用于排架结构的主要水平荷载,屋面风荷

载的传递路径:屋面→屋面檩条→屋架→柱顶→柱身→柱间支撑→基础→地基。风荷载作用于屋面时,通过檩条传递给屋架节点,屋架将水平力传递给柱顶;由于柱顶铰接,水平力使柱身产生弯曲变形和剪力,柱身将水平力传递给柱间支撑,柱间支撑通过轴向受力将水平力传递至基础,最终由基础传递给地基。墙体风荷载的传力途径:墙面(彩钢板、砖墙)→墙梁→柱子→柱间支撑→基础→地基。墙体风荷载直接作用在墙体上,由墙梁传递到柱子,在柱子处,风荷载产生的水平力加上屋面风荷载产生的水平力,经过柱间支撑传至基础。设计过程中应根据厂房的体型系数、风压高度变化系数及阵风系数确定风荷载的标准值,另外还应考虑风荷载体型系数及风荷载的脉动性,在有高耸或大跨度排架结构中要考虑风振计算。

2.4 地震作用的传递路径

地震作用是由于地震产生的结构惯性力,是一种动态水平荷载,传递途径同风荷载相似,不过要考虑结构的质量及动力响应。

地震作用传力途径:结构自重(质量)→构件惯性力→屋架/柱→柱间支撑→基础→地基。地震作用时,结构中各构件都具有一定的惯性而产生水平惯性力,屋架传来的屋盖构件的惯性力→屋架把惯性力传递到柱顶上,柱子自身的惯性力由柱子本身承担^[5];柱子把所有的水平惯性力传递到柱间支撑上,柱间支撑再把水平力集中到基础上,基础再与地基相抗衡(地基土的抗侧刚度),而基础还要考虑承担地震带来的竖向地震的作用,保证不倾覆及滑动。

3 工业厂房排架结构设计要点

3.1 柱的设计

柱为排架的主要受力杆件,在柱内将产生轴力、剪力以及弯矩,应进行强度、刚度、稳定性计算。

截面形式的选择:工业厂房排架柱的截面形式主要有矩形截面、工字形截面、双肢柱等。矩形截面适用于中小厂房或者荷载较小者,施工简单;工字形截面抗弯刚度大,适用于荷载较大、柱高度较高的厂房;双肢柱由两根肢杆和腹杆组成,适用于大跨度、大荷载的厂房,可以有效减小柱自重,增加截面效率。

强度验算:柱的强度验算包括最不利荷载组合下柱的轴力、弯矩和剪力,在此基础上对混凝土柱进行正截面受压承载力、斜截面受剪承载力以及裂缝宽度的验算,对钢柱则进行截面强度、稳定性和连接强度的验算。值得注意的是,由于柱牛腿位置受到吊车荷载的集中作用,容易发生局部受压破坏;需做局部受压强度验算并配设必要钢筋

(混凝土柱)或加劲肋(钢柱)。

稳定性验算:柱的稳定性包括整体稳定性和局部稳定性。整体稳定性验算需考虑柱的计算长度,排架柱的计算长度由柱的高度、支撑布置及荷载情况确定;局部稳定性验算对于钢柱尤为重要,需通过设置加劲肋保证翼缘和腹板的局部稳定。

变形验算:对于排架结构来说,变形主要是指柱顶水平位移,过大的柱顶水平位移影响到吊车的正常工作及屋面结构安全,在设计中应限制柱顶水平位移不大于规定数值,如位移过大则可考虑加大柱子的截面尺寸或者增设柱间支撑以增大柱的抗侧刚度。

3.2 屋架的设计

屋架是排架结构的水平承重构件,它主要承受竖向荷载,在设计中应着重验算它的强度、刚度及稳定性。

结构形式的选择:工业厂房屋架的结构形式有三角形屋架、梯形屋架、平行弦屋架等。三角形屋架适用跨度较小($\leq 18\text{m}$)的厂房,构造比较简单;梯形屋架适用于跨度较大的厂房($18\sim 36\text{m}$),屋面坡度平缓,利于排水及采光天窗布置;平行弦屋架适用于有吊车厂房,可以配合吊车梁布置,受力均匀^[6]。

强度验算:屋架的强度验算是指对屋面恒载、活载的最不利组合进行屋架强度计算,对于屋架中各节点板、腹杆与弦杆的连接处,验算其连接强度。对于混凝土屋架,则是验算正截面受拉、受压承载力以及斜截面受剪承载力;而对于钢屋架则是验算杆件的截面强度和连接焊缝的强度。刚度验算:屋架的刚度验算是指主要验算屋面挠度,屋面的挠度限值一般取屋架跨度的 $1/250\sim 1/300$,如果挠度过大会影响屋面排水及正常使用,可以通过加大弦杆的截面尺寸或者合理布置腹杆来提高屋架的刚度。

稳定性验算:屋架的稳定性有整体稳定性和每个杆件的稳定性。整体稳定性可以用屋盖支撑来保证,屋盖支撑包括上弦横向支撑、下弦横向支撑、纵向支撑以及垂直支撑,能够有效避免屋架构件在水平荷载作用下的侧向移动及倾覆;对单根构件稳定进行验算该杆件的轴心受压或者轴心受拉强度,并且对受压构件考虑其计算长度以及长细比。

3.3 基础的设计

基础是指排架结构的基础,应将柱传来的荷载扩散到地基上,并保证结构物不致产生过大的沉降量、倾斜和滑动。

基础形式的选择:采用独立基础适用于地基土持力层承载力较高、荷载比较均匀的情况,便于施工操作,造价低;采用条形基础适用于地基土持力层承载力不高或柱子

承受荷载较大时使用;采用筏板基础适用于地基土持力层承载力较低而荷载分布不均匀时应用。

地基承载力验算:基础底面面积按地基承载力特征值和最不利荷载组合下基础底面的压力来确定,应保证基础底面压力不大于地基承载力特征值,并要考虑地基的变形,验算基础的最终沉降量,其值不得大于允许值。

基础强度验算:基础强度验算应考虑由柱传来的轴力、弯矩及剪力。

抗倾覆及抗滑移稳定验算:当基础受到水平方向的作用力(包括风荷载以及地震作用)后会发生倾覆或者滑移现象,在这种情况下应对其做相应的稳定验算工作。对于抗倾覆稳定性的计算应满足基础所受的抗倾覆力矩大于其倾覆力矩,而该抗倾覆力矩是由基础的自重及其地基土的净反力产生的;而对于抗滑移稳定的验算则应满足基础所受的抗滑移力大于其滑移力,抗滑移力是由基础与地基土之间的摩阻力以及地基土的被动土压力产生的。如果抗倾覆或者抗滑移不够稳定,则可以利用扩大基础底面积的方法增加地脚螺丝或是加深基础埋深来提升其稳定性^[7]。

3.4 支撑系统的设计

支撑系统是排架结构保证空间稳定性的关键,设计中需根据荷载情况和结构布置合理确定支撑的形式、位置和截面尺寸。

屋盖支撑设计:按照规范要求,上弦横向支撑应设置在厂房两端及伸缩缝处,间隔尺度不宜超出 60m 为宜;下弦横向支撑需按照与上弦横向支撑相对应的方式进行布置,提升屋盖在横向方向上的刚度性能;纵向支撑布置在屋架下弦的纵向平面内,可传递纵向水平荷载;垂直支撑布置在屋架的跨中或支座处。

柱间支撑设计:按照结构设计要求,柱间支撑应布置在厂房两端和伸缩缝处,对于有吊车的厂房,还应在吊车梁的上方布置上层柱间支撑,在吊车梁的下方区域规划布置下层柱间支撑;柱间支撑的截面形式可采用交叉支撑、人字形支撑或单斜杆支撑,当水平荷载数值较大时,交叉

支撑是适用的结构形式;按照水平荷载的计算数值确定支撑的截面尺寸,确保支撑的强度和稳定性。

4 结论与展望

不同类型的荷载,其传递路径有所不同,然而,核心的用于传递力的构件均为柱、屋架与基础,支撑系统在水平荷载传递进程中起到至关重要的作用。排架结构的关键构件包含柱、屋架、基础以及支撑系统,在设计环节,需要紧密结合荷载传递规律开展相关工作,应当重点针对其强度、刚度与稳定性进行细致验算,基于验算的实际结果,对于截面的形式以及材料进行合理科学选择,确保结构安全经济。伴随工业技术的持续演进与进步,在研究中可融入智能化技术,进一步提高效率的质量与效率。对于新型材料在排架结构中的应用展开深入探究,依据材料特性,有针对性地对荷载传递路径和构件设计进行优化处理,进而实现结构的轻量化和高性能化。

[参考文献]

- [1]曹彦彬.厂房超高钢筋混凝土框架柱施工技术研究[J].建筑工程技术与设计,2017(6):163-163.
 - [2]周莉.工业厂房钢筋混凝土框架结构设计分析[J].山西建筑,2016,42(3):33-34.
 - [3]黄胜.火力发电厂主厂房的钢筋混凝土框排架结构设计分析[J].沿海企业与科技,2009(9):97-98.
 - [4]丁莉.钢筋混凝土结构工业厂房设计分析:以某工业厂房为例[J].住宅与房地产,2017(29):98-99.
 - [5]武飞.工业厂房钢筋混凝土框架结构设计分析[J].山西建筑,2016,42(12):37-38.
 - [6]高为志.火力发电厂主厂房结构抗震性能分析[D].济南:山东建筑大学,2014.
 - [7]邵紫阳.新型多层框排架结构工业厂房的节点性能研究及抗震分析[D].南京:南京理工大学,2012.
- 作者简介:苏君晓(1987.8—),毕业院校:石家庄铁道大学,所学专业:土木工程,当前工作单位:河北英科石化工程有限公司,职务:结构工程师,职称级别:中级。