

# 某大跨度展览中心结构方案 优化比选及难点分析

许绍军

(中国城市建设研究院有限公司, 北京 100120)

**摘要** 某展览中心项目: 本建筑为多层建筑, 功能主要为展览展示、研发实验室、办公、会议、辅助性用房等。地上二层, 首层为大空间展览展示中心, 层高 13.2 米, 最大跨度 29 米, 13.2 米层高范围局部有两个错层(层高分别为 4.2 米, 3.9 米和 5.1 米), 二层层高 7.8 米, 最大跨度 29 米, 本展示中心荷载取值较大, 一层活载取值  $10\text{kN/m}^2$ , 二层活载  $5\text{kN/m}^2$ 。经过分析对比, 最终本建筑主体采用钢框架结构, 大空间展示中心, 跨度 29 米, 采用管桁架结构, 与柱刚接连接, 这样使框架整体刚度更强, 整体性更好, 既避免了地震作用下出现强烈扭转, 又保证了桁架自身的强度与刚度, 避免跨中出现较大挠度, 同时桁架也满足规范要求的舒适度要求。

**关键词** 大跨度复杂钢结构 多层建筑 桁架结构 管桁架设计

中图分类号: TU391

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)03-0061-03

在目前复杂钢结构应用过程中, 尤其是针对大跨度建设, 需要对其进行合理设计, 因为其自身结构较为复杂, 并且在具体应用过程中灵活性较高, 需要进行结构方案分析优化对比, 才能够使其实际使用效果更加良好。

## 1 工程概况

某展览中心项目, 本建筑为多层建筑, 功能主要为展览展示、研发实验室、研发办公、会议、辅助性用房等。地上二层, 一层为大空间展示中心, 层高 13.2 米, 跨度 29 米, 13.2 米层高范围局部有两个错层(层高分别为 4.2 米, 3.9 米和 5.1 米), 二层层高 7.8 米, 展示中心跨度 29 米。本展示中心荷载取值较大, 一层活载取值  $10\text{kN/m}^2$ , 二层活载  $5\text{kN/m}^2$ , 场地基本地震烈度为 8 度, 设计基本地震加速度  $0.2g$ , 抗震设防类别为乙类, 基本风压  $0.45\text{kN/m}^2$  基本雪压  $0.3\text{kN/m}^2$ 。中间柱距 29 米大跨度展厅, 四周为办公及辅助用房及楼梯等公共空间, 该建筑平面长度 153.6 米, 宽 90.5 米, 建筑中心为展示展览中心大跨度, 大空间, 层高 13.2 米, 跨度 29 米, 四周为辅助用房, 13.2 米层高内两层夹层, 柱距 9.6 米。

根据《建筑抗震设计规范》, 该结构属于体型复杂的结构型式, 由于大空间及错层影响, 在地震作用下结构的扭转剪切作用明显, 对结构受力极为不利,<sup>[1]</sup> 为此在展示空间部分结构形式选择极为重要, 既要保证

自身强度、稳定、挠度要求, 同时也要能和主体框架协调工作, 受力合理。由于二层荷载较大, 二层活载  $5\text{kN/m}^2$ , 楼板为压型钢板组合楼板, 拟采用 H 型钢桁架, 管桁架作为大空间主要受力构件, 桁架与柱子刚接为宜, 屋面结构因荷载比较小, 不上人屋面, 可采用变截面梁或网架结构作为主受力构件, 结构形式的最终确定需要进一步做分析优化对比。

## 2 结构选型与结构布置

### 2.1 主体结构选型

本工程结构平面不规则, 首层层高 13.2 米, 四周夹层分部在 13.2 米层高之间, 形成局部错层, 造成竖向刚度不连续, 结构关系示意详见图 1 所示。主体结构设计时一个重要的任务就是要避免结构在地震作用下出现严重的扭转变形。二层层高 7.8 米, 中间展示中心功能为展览展示, 柱距 29 米, 屋面层结构标高 21 米, 整体结构采用钢框架结构。

### 2.2 大跨结构选型

本工程结构特点是跨度大, 最大跨度 29 米, 荷载大, 大跨度展示中心位置为正常使用楼面, 需要做现浇楼面, 使用活载  $5\text{kN/m}^2$ 。结构平面不规则, 中间展示中心层高 13.2 米, 四周夹层分部在 13.2 米层高之间, 形成局部错层, 造成竖向刚度不连续。主体结构设计时一个重要的任务就是要避免结构在地震作用下出现严重的扭转变形, 由于大空间面积较大, 层高较高,

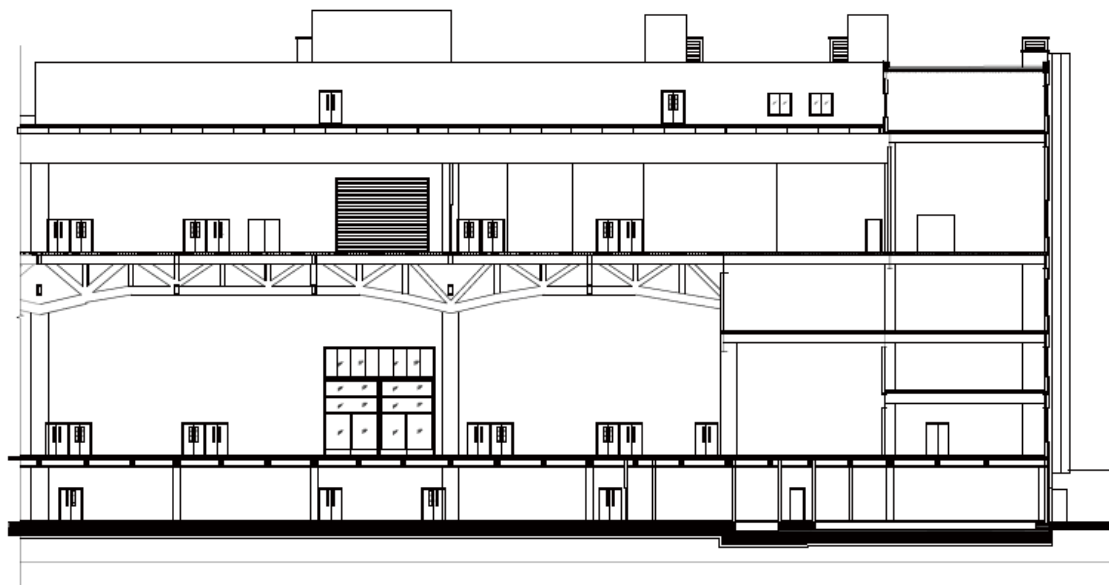


图1 中间大空间桁架与周边结构构件位置关系示意图(局部)

大空间结构自身的质量及纵向刚度很大, 具有限制主体结构侧移变形的潜力<sup>[2]</sup>, 因此首先考虑大空间结构采用桁架结构。

钢桁架上下弦杆及钢框架梁两端均与主体结构钢柱采用刚接连接, 整体性更好, 既避免了地震作用下出现强烈扭转, 又保证了桁架自身的强度与刚度, 避免跨中出现较大挠度。初步拟定大空间范围采用桁架结构, 屋面采用变截面梁, 梁端截面变高, 中间段高度变小, 形成拱形型梁, 保证了梁自身的强度与刚度, 避免跨中出现较大挠度, 微拱造型更美观大方, 满足建筑需求。

### 2.3 楼面体系

普通楼层楼板, 为增加钢框架的侧向刚度, 各层楼面均采用钢梁+组合楼盖体系(非组合型), 楼面钢梁两端均与纵向钢框架梁采用铰接连接, 各层楼面荷载先传给楼面梁, 通过楼面梁传递给纵向框架梁。

桁架区域, 为增强钢框架的侧向刚度, 楼面均采用钢梁+组合楼盖体系(非组合型), 楼面钢梁两端均与桁架采用铰接连接, 楼面荷载先传给楼面梁, 通过楼面梁传递给纵向桁架。

### 2.4 地下结构

本项目首层为主要展示空间, 大型展览均放在首层, 首层活载  $10\text{kN/m}^2$ , 普通小型货车能直接进出展厅进行装载及拆卸。考虑荷载较大, 地下一层采用钢筋

混凝土框架结构, 现浇混凝土楼板, 主次梁结构形式, 地下柱距控制在 8.9 米跨度, 地上大空间 29 米跨度柱距在地下一层中间加柱子均分, 形成均匀柱跨, 达到节约成本的目的。

## 3 结构方案优化比选及难点分析

### 3.1 二层大空间结构方案优化比选

#### 3.1.1 H 型钢作为桁架构件

大跨度结构方案拟选定为桁架结构, 桁架结构与柱子采用刚接连接, 增强侧向刚度。设计工程中对 H 型钢桁架和圆管桁架进行优化设计对比分析, 通过计算软件盈建科 2.0.3 进行整体计算, 桁架部分采用 3D3S14.1 进行建模分析, 并拼装进主体结构合模进行整体分析。

首先采用 H 型钢作为桁架弦杆和腹杆进行试算<sup>[3]</sup>, 因场地类别为三类场地, 8 度抗震设防, 且展览作为人流密集场所, 按照建筑分类设防标准要求, 属于乙类建筑, 高烈度下 H 型钢截面相关参数指标, 高厚比, 宽厚比均应满足建筑抗震设计规范, 因此出现板件较厚, 靠近柱的桁架杆件截面厚度达到 45mm, 且仅仅桁架部分含钢量达到 1200 吨。

#### 3.1.2 圆管作为桁架构件

管桁架由于自身构件的特殊性, 平面外稳定性更容易控制, 板件厚度相对 H 型钢要小很多, 总体桁架部分含钢量为 720 吨, 远小于 H 型钢桁架含钢量。综合

施工成本,管桁架加工费比H型钢桁架略高一些,但管桁架为相贯焊接,没有螺栓,线条美观,更能满足建筑造型需求,无需吊顶即可带来结构美感,故选择管桁架作为大空间主结构,达到节约成本,美观大方,使用方便的效果<sup>[4]</sup>。

### 3.2 技术难点分析及节点处理

#### 3.2.1 技术难点分析

1. 经过分析优化对比,本项目大跨度部分采用平面钢管桁架,横向和纵向交错布置,确保桁架平面外的稳定。

管桁架在外型尺寸的选择上,根据工程的经验和规范推荐值,可以参考桁架的上下弦杆间距取总跨度的1/20~1/30,管桁架的高度取总跨度的1/12~1/16,矢高可取跨度的1/3~1/6,弦杆和腹杆之间的夹角不宜小于30°。

2. 管桁架是指用圆管杆件在端部相互连接构成的格构式结构,与传统开口截面(H型钢和I型钢)钢桁架相比,管桁架结构截面材料绕中和轴分部较均匀,截面具有更好的抗压和抗弯承载能力及稳定性,相贯焊接,无需节点板,构造简单。

在创建管桁架模型时,本项目整体计算采用盈建科2.0.3进行整体计算,桁架部分采用3D3S14.1进行建模分析,杆件及节点设计应按基本组合作用的效应确定内力设计值。

对抗震设计,地震组合的效应按GB50011-2010《建筑抗震设计规范》(2016版)考虑相关抗震调整系数后计算。

对非抗震设计作用及作用组合的效应按GB50009-2012《建筑结构荷载规范》和GB50017-2017《钢结构设计规范》相关规定,对位移验算时,应取标准组合作用下的效应来确定挠度。

#### 3.2.2 复杂节点处理

1. 单榀管桁架相贯节点通常在主管和喷嘴之间使用横向接头,也称为横向结。通常,节点损坏很容易导致杆失效,并对整个结构的破坏产生连锁反应。相交节点也是该结构的高能耗部分,因此,相交组件的设计非常重要,并且对焊缝的要求也相对较高,公共集管和主管必须通过完全角焊连接。如果喷嘴的壁厚较大( $t \geq 6\text{mm}$ ),则建议在喷嘴的周围使用对接焊缝和几次角焊缝。所有类型的焊缝都必须具有凹槽,其形状取决于喷嘴的壁厚和焊缝的位置。如果喷嘴的壁

厚小于6mm,则无法切割凹槽,角焊脚的高度不得超过支管壁厚的两倍。

2. 节点验算是管桁架设计的重要环节,验算节点时,按照《钢结构设计标准》GB50017-2017节点验算要求:

一是节点极限承载力必须大于相应轴力的绝对值。

二是支管与主管夹角不宜小于30°。

三是角焊缝高度不应大于支管壁厚的2倍。

四是支管壁厚不应大于主管壁厚。

五是支管外径与主管外径之比应在0.2到1之间。

六是支管外径与壁厚之比不应大于 $100 e_k^2$ 。

七是主管外径与壁厚之比不应大于 $100 e_k^2$ 。

对于复杂节点容易出现节点支管轴力限值小于支管轴力,此时应调整主管型号或采取构造措施加强节点,通常通过计算加厚主管壁厚或节点贴钢板,四面围焊来补强节点。

## 4 结语

结合上文分析,在大跨度复杂钢结构设计过程中,需要对其可能存在的技术问题进行合理探究,这样才能够对这些问题的根本原因进行分析,以便对其进行合理解决。在具体结构探究方面,需要结合其设计过程以及各方面数据的稳定性来进行讨论,这样能够更加明确地发现问题并及时解决,进而提高技术水平。

## 参考文献:

- [1] 秦文,陈小才.空间钢管桁架结构的发展及应用[J].科学之友,2011(09):6-7.
- [2] 张涛.大跨度复杂钢结构施工过程中的若干技术问题及探讨[J].中国建筑金属结构,2019,453(09):58-60.
- [3] 宗琳.关于超大跨度空间钢结构设计的研究[J].建材与装饰,2020,603(06):144-145.
- [4] 郝洪波.大跨度复杂钢结构施工过程中的若干技术问题及探讨[J].建筑工程技术与设计,2018(25):245.