

# 大跨度钢-混凝土混合结构协同工作性能分析

李冠东

广州市建筑科学研究院集团有限公司

**摘要:**随着我国建筑行业的快速发展,大规模的大跨度钢结构工程施工已经越来越多,这不仅推动了大跨度钢结构的设计水平的提高,同时也凸显了大跨度钢-混凝土混合结构协同工作性能优化的共性问题。本文介绍了大跨度钢结构的主要设计步骤,并从多个方面讨论了大跨度钢-混凝土混合结构的协同作用。在此基础上,提出在施工中应对上部钢筋混凝土结构进行加固,以免造成结构的损坏;针对下部钢混凝土结构施工进行改进,防止大跨度钢-混凝土混合结构在静、多次地震作用下,出现结构变形、内力降低的情况,而在极少的地震作用下,大跨度钢-混凝土混合结构抗震性能和塑性破坏变化显著,因此,在设计时应予以充分考虑。

**关键词:**大跨度钢;混凝土混合结构;形态;节点

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.08.020

## 引言

随着现代工业的快速发展,对大跨度钢-混凝土混合结构专业技术的操作要求也越来越高。大跨度钢结构能为建筑提供更大自由空间,使得大跨钢网架与钢桁架组合结构逐渐成为高层建筑的主要形式。在高度超限或较复杂受力楼层中,采用钢-混凝土混合结构钢框架强度较高承载力较大,从而使混凝土与钢材的性能得到充分的发挥。特别在复杂的高层建筑中,关键楼层(节点)的混合结构发挥着一系列重要功能。如大跨度、悬垂空间结构中选用钢桁架,其结构的横向剪力刚度大、支撑体系的刚度较低、结构整体重量较轻、杆件受力特征明显等特点,使该结构、抗震性能、杆件分析、节点等优于一般结构体系。

## 一、大跨度钢-混凝土混合结构协同工作的技术分析

大跨度钢-混凝土混合结构是现代建筑中常用的一种新型结构形式。高层楼房是当代社会建筑中的一种新形式结构建筑。中国是一个庞大的人口大国,住宅的问题尤其严重,高楼大厦的出现,使土地利用率得到了极大地提升。要建高楼,就要合理考虑高层、超高层的施工技术,这时候就需要大跨度钢-混凝土混合结构。在建筑工程中,钢网架和钢桁架必须先在下层装配,再采用普通起重技术进行施工,这样可以降低高空操作<sup>[1]</sup>。在施工中,采用大跨径钢网与钢桁架组合,可将两种钢结构的优势结合起来,其具有杆件承载力高、自重较轻、施工速度快等特点,从而使材料性能有更好的发挥。并且有效优化高层建筑施工步骤、改善工程质量、减少工程造价,达到双赢效益的最好效果。

## 二、大跨度钢-混凝土混合结构协同工作的难点重点

### (一) 连接方法

钢结构复合接头由焊接接头、铆接接头、螺栓接头三种形式构成。钢拱桥的连接形式有两种。桁条部分(拱肋)由10.9型紧固螺栓联接而成,钢门由钢管和节点焊接,钢门桁架和拱形结构组成。要求选择承重结构型材,空心球和支撑球,Q345-B钢管网;采用H08A、H08E高锰焊料、H08MN中锰、高锰焊料、H10MNZ无锰、低锰焊料进行自动焊<sup>[2]</sup>。钢材、钢板、密封板、锥形头部及吊车衬套,均为Q235-B钢;采用QQ235-A钢,采用E43系列电极;采用H08、H08MNA、H08MNA钢丝中锰、高锰焊剂、低锰焊剂进行自动焊接。钢管与球的连接使用高强度的焊缝,如切口、中空焊缝、钢管与球的连接、支撑节点焊缝、钢管连接、吊车悬架节点焊缝等,均为直线结构焊缝,要求100%的超声波检测,焊工必须通过焊接工艺,并通过全面测试,获得焊工资格。

### (二) 网架安装

格子由塔吊安装,吊车吊到一定位置后,将1.5吨的翻转链条暂时固定,块间地基支撑填充,由下弦梁、腹梁、上弦、点焊、正式焊接,组装次序是一样的。止挡悬架应该设置四个锚点,两个3.2吨的翻转链条,用于纠正止动器在特定位置上的倾角,当止动器必须暂时固定后,再用电焊或用螺栓进行紧固,止动件不能发生偏移。每一个组装单位都有一条板条,首先是框架,每一次组装完毕后,都要进行一套设备的测量、检验和符合性检查,并填写单元验收单。

### (三) 网架式脚手架滑移

#### 1. 滑移牵引方式

(1) 滑轨将轨道与辘子相连接,其上的纵向和横向偏差为5mm。

(2) 5吨拖车在链上的两个可逆机构都是手工操作,在安装时要注意技术问题:尽管支架周围的负荷分布是均匀的,但是可以避免应力的不利影响;将滑行速度设定在50mm/min,使之维持在一个稳定的位置。

(3) 块体牵引点必须与导轨相结合,并能作为反力。

#### 2. 滑移步骤

(1) 在每一次网架完成、焊接完成后,进行主檩条、次檩条的刷漆、检查合格后,将其从网架上卸下,并要求在各个点之间的支撑位置不能太过紧密,在支座地板上,将脚手架松开,再进入脚手架作业状态。

(2) 利用彼此间的信息通讯以保证同步<sup>[3]</sup>。当两个步

骤的误差大于30mm时,需要进行调整。(3)在每一个滑模的端部都有一个负极的输入,以避免打滑;每一次脚手架滑到规定的位置时,必须将缆绳从规定的地方抽出;两个翻转链条应该是一样的,钢索是 $\phi 21$ 毫米。

#### (四) 钢结构安装

所有的钢架均由先前的ST6013吊车进行。整个铺装采用中、西、南、中的原则。首先,在南边和南边安装外围支柱、连接杆和外斜杆,再安装跨钢结构,安装完成后,向建筑材料提交测量资料。

(1) 侧向拱:悬挂完毕后,采用全站测量仪对牛腿的中心座标进行控制,然后用吊车将支撑架焊好。

(2) 侧拱连接梁:采用焊接侧拱和支脚,并将预埋螺栓紧固于结构端面上。

(3) 轴之间的中央部件:一端用一个耳盘在部件的端部用预装螺栓与已安装的部件相连接;另一端采用全站仪来控制牛嘴的座标,当到达时,也会用铁箍将其固定在平台上。在构件轮箍部位安装脚手架,以确保其稳定。

#### (五) 木结构安装

为便于现场施工,将ST6013悬挂装置吊装至作业平台。在装运之前,应先对木结构和钢结构的钢接板进行定位,并对不满足要求的钢接板进行适当的调整。木质结构的横梁先由升降机构运送至脚手架的操纵平台,在木结构的两侧设置可调节的托架,将木质结构的各个部件通过多个点传送至脚手架,计算出每一根柱的载荷,以达到脚手架的承载能力,否则就需要加大木结构的支撑<sup>[4]</sup>。在竖向调整后,及时合理地利用木垫上梁与脚手架之间的空隙,确保梁和架的受力均匀,同时采用钢管和木头结合,使其不能移动。

#### (六) 结构主要节点安装

主要是钢、木结构的连接形式,接头用钢板等金属部件进行焊接,所有的金属部件和木梁通过厂家的预制孔和螺栓进行连接。该技术与制造工艺相结合,可大幅度减少工程工期,节省建设费用。

#### (七) 结构卸载

钢木混合料安装完成后,自建结构系统全部充填,结构卸载。

##### 1. 卸载前提

(1) 主体结构的所有节点已完成对接,并保证焊接质量。

(2) 采用木制结构,全部螺栓紧固,钢结构节点已完工。

(3) 主要钢结构,木结构等一定要能被接纳。

(4) 在卸载当日,保证风力不得大于4级。

##### 2. 卸载顺序

卸载工作应该按照各中心和各缔约方的比例对称分布。按照内、外卸载顺序,将固定钢管依次卸料,直到支架与梁底分开,三跨钢结构在每次卸载后都要用水平仪进行观测,并做好记录。接着,将支撑物取下。在

卸载时,如果结构发生变形,测量数据与结构数据存在较大的偏差,或者发生其他不可预见的状况,则必须立即停止卸载。

##### 3. 卸载控制要点

(1) 为了将平台结构逐渐纳入设计荷载,采用一般卸载、分段释放的方式进行设计。

(2) 从载荷到无载荷的全层支撑,以及从装配到结构的受力。在卸载时,支承及结构体系所受的负荷比较复杂。

(3) 卸料工作必须在统一的指挥下进行,确保工作的同步。卸载之前,利用支撑钢管槽形变来确定承载点的钢结构在卸荷过程中的变形,并在卸荷过程中临时支承钢管,直至发现脱落点,再进行卸荷。

##### 4. 在卸载过程中进行观测和测量

#### 三、大跨度钢-混凝土混合结构施工中的协同

连接到木梁上的钢筋应该事先设计好,这样,在后续の木结构安装时,可以进行细微的调整,这样就可以降低由于钢结构的错误对木结构的安装造成的影响<sup>[5]</sup>。在大跨度钢-混凝土混合结构协同工作中,由于涉及钢结构的焊接和涂覆,所以对木结构的保护有很高的要求,在施工过程中,要协调好施工顺序,尽量减少交叉,并划分出不同的区域,进行木结构的最终保护工作。

#### 四、大跨度钢-混凝土混合结构中安装变形控制技术的有效应用

##### (一) 合理选择变形控制技术

由于大跨钢结构自身的复杂性,其施工方法也是多种多样的,所以其施工与安装的技术也是多种多样的。

(1) 结构和异型零件的制造工艺,在空间复杂的钢结构中,由于其局部负荷,一般难以生产钢件。在此基础上,为了保证其满足荷载要求,保证工程质量,必须对结构部件和异形部件进行设计。

(2) 在大跨度钢结构成形之前,应确保其稳定,以确保其施工质量。通过采用滑模施工技术,可以有效地控制拖车的运行,使多个稳定构件沿着轨道从装配水平向设计部位移动。在采用这种方法时,应保证其与结构外刚度、轨道铺设等方面的一致性。

(3) 整体起重技术,动力装置以液压千斤顶为主,根据各个工作点的起重能力,将液压千斤顶与泵站有机地结合起来,形成一组式液压千斤顶,并在电脑的控制下实现同步移动,确保大型结构的平稳性。

(4) 高海拔无支撑施工工艺,也就是采用无支撑地加长块拼装工艺,该工艺是将结构进行合理划分,确定悬挂次序,从而在施工过程中无须设置支撑平台,而是利用自身刚性构成稳定单元,并不断扩展构件集合,最终形成完整的结构。大跨钢结构是现代建筑技术的综合运用,是现代建筑技术的有机结合。根据不同的施工要求,选用适当的变形控制技术,根据工程实践,在安装桅杆之前,通过安装组件,确定安装顺序,保证了吊装工作的顺利进行。

## （二）规范施工安装工序

大跨钢结构在安装时，应严格控制定位轴、标高、结构质量、安装顺序、焊接顺序、安装方式、安装方式、安装测量和纠正等。同时，在大跨度钢结构的安装中，要保证操作通道、安全措施的科学性、可靠性，并根据天气条件采取有针对性的措施。该工程的最大装配精度及部件偏差均按《钢结构施工规程》进行，误差不超过0.75mm。在恶劣天气条件下，在焊接之前，施工人员要做好防风工作<sup>[6]</sup>。持续强化施工技术，对需要焊接的地方进行清洗，保证没有空隙，在梁柱接头处，应设一条弧形，其长度是焊缝的三倍。

## （三）加强材料质量管控

为避免大跨度钢结构在施工过程中出现的变形，应严格控制原材料的质量。保证所用的材料满足国家有关图纸和图纸的规定，并且在进入工厂后，要有工厂的质量标准，进行多次的质量检验，并将其分类。在采购物料时，本工程与物料供应商订立供货技术条款，到达现场后，立即在其表面粘贴物料标识。同时，对项目中的焊接设备进行定期维修，保证设备在安装过程中仍能正常工作。焊接物料由专业仓库保管，并根据相关的要求进行烘干处理。如有需要，应进行现场工人注册确认。

## （四）提高人员专业技能和素养

通过对装配工人的技术和技术的持续改进，可以有效地解决由装备改造引起的各种问题。所以，在大跨度钢结构工程中，必须合理安排人员，合理划分工作岗位。在经过安全培训、职业培训等培训之后，他们可以获得执照和颁发执照。特别职位的人应该具有工作所需要的资质，并且应该得到更多的专业训练。保证所有的工人都能熟练掌握工作图纸和技术基本知识。特别采用了安装工艺，在施工期间能有效地控制变形。

## 五、大跨度钢-混凝土混合结构中的新型施工技术

大跨度钢-混凝土混合结构因其跨径大、节点多、结构复杂、原有外形等原因，使得其他传统的施工工艺难以适应。为了满足大跨钢结构发展的需要，在原有技术基础上，采取折叠式整体吊装、整体曲线滑动等新技术。

### （一）折叠式展开式整体提升技术

折叠式展开式整体提升技术是一项先进、新颖的大跨网壳钢结构工程技术。该技术把一部分视网膜结构从环形到柱状结构，分成几个小块，由静止的结构转变为可移动的机械，因此可以将其折叠起来靠近地面，接着采用液压提升装置、气压等。其他工程采用计算机同步控制技术，将结构吊装至设计位置，再由标准杆构件辅助完成。这个技术的原理就是把一个结构变成一个结构，然后又把它变成一个可以支持它的结构。

与传统的施工工艺相比，该工艺具有以下特点：

（1）机械起重的工艺，能在克服机械自重作用的情况下，实现机构的大范围的灵活移动，而不会对结构的内力状况造成很大的影响；（2）使用无运动约束的液压提升装置，减轻了起重机在提升刹车过程中对机箱的冲

击，提高了提升速度，达到了持续提升；（3）承重锁具采用挠性钢丝绳，其长度不限，只要适当支撑，就能达到超高高度，提升距离；（4）本技术可应用于大型网壳结构施工，可避免高空作业，确保工人的人身安全，节约大量木材，具有显著的经济效益和社会效益。此项技术在应用中的主要问题是在起吊吊杆时出现的暂态，如：吊点水平位移、吊索内侧、吊杆内侧等。

### （二）整体曲线滑移技术

普通曲线滑移法是以传统滑移技术为基础的，其特点是支架与桁架的整体曲线滑动。地面杆件完成后，移至滑行位置，并与高空群相连，并将其折叠至预定位置。这就是地面分段装配，高层分组，柱桁架整体弯曲滑移技术。本技术除传统滑移方式的优势之外，还具有在塔台周围进行集中组装的特点，可反复利用。其工艺缺陷：（1）滑行轨迹为曲线形，必须设置弯曲式拉伸机；（2）滑动立柱的整体刚性好，测量精度高。

采用复合滑移法施工时，需要考虑的问题是在不同的轨道上，曲线的同步性。滑移时，支架与桁架的整体滑移应沿弧形轨迹进行，因此，在同一角度下，各推力点的直线速度必须各不相同，以达到整体滑移的需要。因此，在滑行时，必须在滑行轨道上使用不断调整的辊子，以保证酶在同一角度下的滑移。同时，在胎面支撑下的辊子还具有微转动的作用，可以实现纵向的推力和辊子的转动。

### 结束语

通过上述分析，可以看出，大跨度钢-混凝土混合结构的移动承载力很大。在实体建筑吊装工程中，应在安装之前对全部设备和施工环境进行全面的检查，并强化对同步悬挂的控制。在安装好后，按预定的施工次序进行大跨网-钢拱组合卸荷，在荷载作用下，钢拱桥跨、变形均处于网中；观测拱顶后跟水平位移、降水情况；网状支撑板托架的受力均匀，竖向壁面转动，并且整个的品质控制程序都要符合有关的要求，发挥大跨度钢-混凝土混合结构的协同作业性能。

### 参考文献

- [1] 金兆辉, 朱杰江. 青岛某超限高层建筑结构体系优化研究[J]. 结构工程师, 2020, 36(05): 209-217.
- [2] 陈星, 罗赤字, 王华林, 翁泽松. 高层建筑钢-混凝土混合结构的创新与应用[J]. 建筑结构, 2020, 50(10): 1-11.
- [3] 陈靖. 高层钢网格盒式筒中筒混合结构在高烈度区的研究与应用[D]. 贵州大学, 2019.
- [4] 张慧. 浅谈超高层建筑中钢-混凝土混合结构的应用[J]. 江西建材, 2019(11): 84-85.
- [5] 赵振鑫, 老浩寅. 超高层钢-混凝土混合结构的关键设计技术[J]. 中国住宅设施, 2019(05): 32-33.
- [6] 李兵生, 于春宏, 孟召虎, 魏万龙, 吴明磊, 蔺志军. 大跨度深基坑混凝土支撑与钢支撑混合应用技术[J]. 建筑施工, 2019, 41(04): 567-569.