

大跨度螺栓球型网架结构高空吊装作业技术研究

尹烽择

中国铁建大桥工程局集团建筑分公司 天津市空港经济区 300300

【摘要】网架结构在大跨度的建筑中非常实用,且性能良好,为提高施工作业的安全性,严谨且翔实的高空吊装作业方案尤为重要。按照工程实例,编制预制柱与屋面钢梁的吊装施工方案,计算钢筋混凝土受弯构件的正向承载力,获取应力变化趋势,验算小型网架单元的稳定性,设置高空网架对接机制,判断预制柱的吊装施工是否合格。在仿真建模分析中,最大应力以及最大裂缝宽度的实验数据均在标准技术规范以内,测试屋面钢梁网架内的应力,结果显示,吊点中心位置的应变值最大,距离中心越远,其应变值越低,最大应变值为131.3MPa,在结合吊装施工动力系数的前提下,其最大应力值没有超过标准值。

【关键词】大跨度螺栓球型网架结构;高空吊装作业;吊装作业技术;施工工艺

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2020.03.180

引言

在施工技术越来越先进成熟以后,很多大跨度的建筑项目都选择了网架结构形式,而螺栓球形网架结构则有别于一般的平面架结构,具备更好的承重抗震性能,同时保留了简单高效、绿色环保的优点。但是该施工方法的技术含量以及专业性均极强,施工难度越大,工程事故发生的概率就越大。直至今日,很多在高空吊装作业过程中遇到的难题都没有系统的解决办法,过往的很多研究均是从管理的角度出发,并没有切合实际,从技术角度研究解决高空吊装的难点^[1]。但是想要获得更好的质量和安全保障,就需要通过理论分析与力学计算,合理布置吊点,降低施工危险。本文结合实际工程案例,对大跨度螺栓球形网架结构的高空吊装作业技术进行研究。按照受力形式,设计高空吊装作业的关键技术,同时对该高空吊装作业的施工方法进行质量验收。

1 工程概况

选择某高校多媒体中心工程作为本文的研究对象,该工程的实际占地面积为2900m²,直径约60.8m,是一种螺栓球形网架结构工程。支撑柱为预制混凝土柱,施工快速高效。如图1所示。

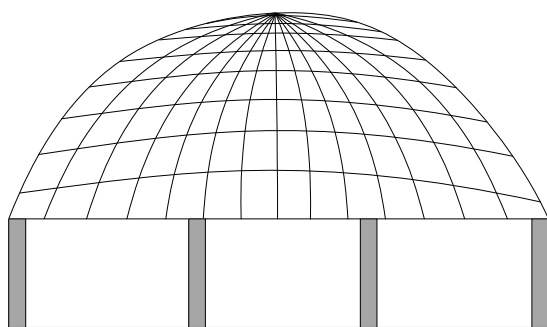


图1 网架结构

如图1所示的网架结构中,上方为半球形的钢结构,下方为7个预制柱,作为底部支承结构。

2 高空吊装作业技术

2.1 预制柱吊装施工

预制件的吊点位置需要依据其具体参数而定,根据力学原则,想要选择最佳的吊点位置,需要保证预制柱的最大正弯矩与最大负弯矩相等,即二者的绝对值为一个接近0的数

值。除此之外,还需要验算预制柱的整体弯矩。计算钢筋混凝土受弯构件的正向承载力:

$$\zeta_m = \frac{K_m}{p_s \times h_b \times f_x^2} \quad (1)$$

式中, ζ_m 表示钢筋混凝土构件在正截面上的承载力系数; K_m 表示吊装过程中的受力荷载弯矩; p_s 表示钢筋混凝土的抗压强度; h_b 表示预制柱竖截面的宽度; f_x 表示预制柱竖截面的高度。根据上述公式,得到预制柱在吊装过程中的承载力,继续计算弯矩设计值,公式为:

$$K_p = \delta_1 p_s h_b H_1 \left(f_x - \frac{H_1}{2} \right) + p_y S_y (f_x - d_x) \quad (2)$$

式中, K_p 表示弯矩设计值, δ_1 表示混凝土强度系数, H_1 表示混凝土受压区的高度, p_y 表示钢筋受压区的设计值, S_y 钢筋受压区域的横截面积, d_x 表示钢筋受力中心点与边缘区域的距离。通过以上方法对预制柱的吊装过程进行分析,并同时设计好预制柱的材料强度、直径、数量、位置图形等基本要素^[2-3]。上述可以根据现行主流流体力学计算软件进行分析计算。按照现有的施工技术,计算其在吊装施工过程中的受力情况,并分析其应力变化情况与变形情况,如果计算所得数据小于极限承载能力,则可以断定其可以实现预制柱的吊装,不会出现工程质量问题,这样就可以依据验算结果制定施工方案进行吊装施工。当所得数据大于极限承载能力时,需要重新设计新的吊装施工方案,防止吊装过程中出现安全、质量事故。

预制柱的吊装施工主要可以分为以下流程:第一,清理柱身。第二,对预制柱进行编号,并划定标高线与位置线。第三,反复检查起重机械以及吊装工具的安全性。第四,翻转预制柱,并对其进行绑扎和试吊,进行吊装前的准备工作。第五,预制柱起吊,拉动到预定位置,校正角度,固定。第六,灌浆。第七,安装逐渐支撑结构,防止形变^[4]。不同的预制柱由于其功能不同,导致物理参数以及起吊位置与吊装角度也有所差异,所以要分别验算,根据验算结果来做相应调整,以保证高空吊装作业的安全性。

2.2 屋面钢梁吊装施工

屋面钢梁就是预制柱上方的螺栓球形网架结构,这种结

构也是高空吊装作业最危险、最困难的一部分，因此需要着重注意施工前期的准备工作。保证屋面钢梁上所有螺栓球以及杆件的质量，对每一个即将被使用的部件进行验收，编码齐全后，安置在现场，预备使用。所有轴线与标高均不能超出偏差值的允许范围。在起吊之前，也需要按照现场的作业环境，对预备使用的屋面钢梁进行压实以及平整处理。

在拼装屋面钢梁的网架结构时，需要按照以下几个步骤：第一，基础测量放线，并定位网架结构。第二，按照起吊单元组装所有网架结构，拼接螺栓球形网架的杆、球节点。第三，固定网架结构，校正起吊单元。第四，依据不同的吊装作业顺序增加吊车组，锁住网架相对尺寸。第五，校正并自检小型网架单元，检查轴线尺寸。第六，当网架结构满足设计规范后，立刻焊接支架结构。第七，当其中的一个小型网架单元完成吊装作业后，继续进行下一个小型网架单元，并直至所有小型网架单元全部结束施工。

所有网架单元全部完成施工之后，需要进行稳定性验算，计算公式为：

$$\frac{D_m}{k_b \times P_w} \leq f_s \quad (3)$$

式中， k_b 表示梁体的稳定系数， D_m 表示屋面钢梁的最大弯矩， P_w 表示按压区域的截面模量， f_s 表示最大稳定临界点^[5]。上述可采用现行主流力学计算软件进行分析。当大跨度螺栓球形网架结构的屋面钢梁成型之后，其在竖直与水平两个方向都会有一个限制力，如果没有一定的限制，很容易出现整体失稳的情况。在高空对接网架时，需要按照先上弦再下弦最后腹杆的方式，在对接时按照一定的倾斜角度，靠近已经成型的网架结构。

3 仿真建模分析

使用仿真分析软件Midas，对两个主要部件进行建模分析，在仿真分析中，可以得到7个预制柱的应力以及裂缝宽度如表1所示。

表1 预制柱吊装施工建模分析

编号	最大应力/(N/mm ²)		最大裂缝宽度/mm
	压力	拉力	
1	-5.85	0.25	0.12
2	-4.65	0.46	0.16
3	-5.14	0.32	0.23
4	-4.12	0.24	0.21
5	-5.36	0.41	0.21
6	-5.32	0.52	0.14
7	-6.41	0.14	0.10

本工程实例中使用的混凝土强度级为C30等，该等级的抗压强度标准与抗拉强度标准分别为-11.9 N/mm²以及1.27 N/mm²。表1中，7个预制柱所得到的最大应力（包括拉力与压力）均在标准之内。该混凝土强度等级下的裂缝宽度最大允许值为0.4mm，在表1中的7个裂缝宽度均小于0.3mm。由此可见，本文对于预制柱吊装施工的作业技术符合规范要求，可

以应用于实际施工中。

在测试屋面钢梁网架结构的应变时，可以通过该软件绘制应力云图，并得到不同吊点处应力变化值，如图2所示。

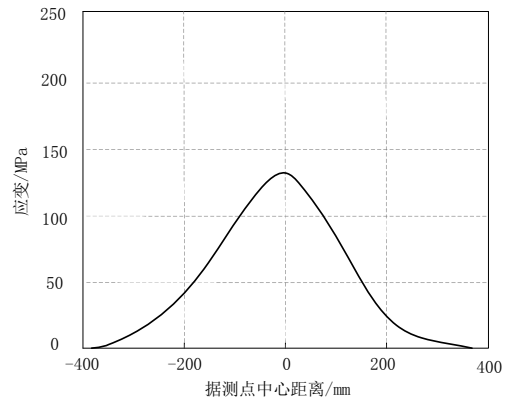


图2 距吊点不同距离应力变化值

在图2中，测点中心的应变值最大，约为131.3MPa，距离测点中心的距离越大，应变值越小，直至达到一定距离后变为0值。该工程钢材品种的屈服强度为235MPa，且已知吊装施工的动力系数约为1.1-1.3，假设动力系数取最大值1.3，使用131.3MPa与最大动力系数1.3相乘，可以得到当前吊装吊点的最大应力值170.69MPa，该数值小于235MPa。

由此可见，在当前施工环境下对预制柱与屋面钢梁进行作业，均可以得到稳定结构，不会发生材料破坏或者超出预定标准的情况。

4 结束语

本文针对大跨度螺栓球形网架结构的高空吊装作业中，两个重要部位进行了力学验算。可以在力学基础下，对吊装技术的安全性能进行优化。通过有限元软件的合理性分析与验算，可以在建模分析中，获得预制柱和屋面钢梁两大部件的吊装施工模拟数据，由高校收集的数据和实验结果可知，本文设计的吊装作业方法，其稳定性符合施工标准，不会出现较大的作业误差。在该吊装作业中，施工人员可以获得更安全的施工环境。在接下来的研究中，可以对吊装过程中的卡具、钢丝绳等机械设备的力学性能进行进一步的分析，从而获得更全面的高空吊装作业方法。

参考文献

[1] 金亮亮, 大跨度球型网架结构高空拼装施工及吊装技术[J]. 绿色环保建材. 2019, (11): 136+139
 [2] 岳喜金, 大跨度螺栓球型网架结构高空吊装的关键技术研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2017, (14): 406-406
 [3] 阴光华, 大跨度体育场索网结构施工关键技术[J]. 建筑施工. 2019, 41(07): 1254-1256
 [4] 曹瑞雪, 大跨度螺栓球型网架结构高空吊装的关键技术分析[J]. 科技与企业. 2014, (06): 206
 [5] 鲁兵, 曹太然, 大跨度螺栓球型网架结构高空吊装的关键技术研究[J]. 科技创新与应用. 2014, (01): 229