

# Research and Application of Manufacturing Technology of Hyperbolic Complex Steel Structure

Zhiyong Peng Ming Zhang Haifeng Lu Xian Wei

Beijing Urban Construction Group (BUCG) Co., Ltd., Beijing, 100000, China

## Abstract

The processing quality of steel structure has been proved as a very efficient way to ensure on-site installation accuracy and progress. According to the design, optimization and processing of hyperbolic complex joints, steel structure and reinforcement connection joints and cast steel joints, the paper summarizes a set of complex steel structure engineering processing technology, which has a wide range of application prospect.

## Keywords

hyperbolic member; folded plate; welding; connection

## 双曲复杂钢结构制作工艺研究与应用

彭志勇 张明 卢海丰 韦娴

北京城建集团有限责任公司, 中国·北京 100000

## 摘要

钢结构加工质量是现场安装精度与进度的保障, 论文通过对双曲复杂节点、钢结构与钢筋连接节点及铸钢节点的设计、优化并加工成型, 总结复杂钢结构工程加工工艺, 具有广泛的应用前景。

## 关键词

双曲构件; 折板; 焊接; 连接

## 1 引言

钢结构工程合理的制作工艺对于现场安装精度、进度均有至关重要的影响, 论文通过对首都博物馆东馆项目双曲复杂构件的制作工艺研究, 总结复杂构件的加工工艺, 对后续类似工程有广泛的借鉴意义。

## 2 技术概况

本工程钢结构造型复杂, 异形构件较多, 连接方式多元化, 异形钢结构的制作工艺是实现结构功能的关键因素。

主楼屋面为双曲 H 型异形结构<sup>[1]</sup>, 所有 H 型钢钢梁腹板垂直于地面, 保证构件的强轴受力, 减少弱轴方向侧向力。

共享大厅夹层为弧形型钢混凝土结构, 劲性柱与四个方向混凝土梁相连(非直角), 每根钢柱角度各不相同, 存在混凝土梁柱钢筋与劲性柱连接的难题。弧形多角度的劲性结构复杂节点制作技术应与钢筋快速机械连接的方法的结合来解决此问题。此种节点对钢结构加工的精度要求极高, 稍有偏差就会影响工程的施工质量。

【作者简介】彭志勇(1973-), 中国江西新余人, 本科, 高级工程师, 从事建筑施工研究。

主楼梭形柱人字梁节点经分析改变原设计铸钢节点<sup>[2]</sup>, 改为人字梁焊接节点; 双曲屋面 H 型钢垂直于地面, 保证钢柱与主梁、主梁与次梁翼缘板焊接质量, 采取折板连接; 连廊异形构件较多, 内部隔板无法焊接, 采取开焊接人孔做法; 共性大厅地下劲性结构与土建连接采取支撑架及快速连接节点。

## 3 技术创新

①人字梁节点区域外为等截面 H 型钢, 人字梁不等高区域向外移, 在等截面处处理不登高问题, 人字梁节点区域上下翼缘板为同一平面。通过 Tekla 建模, 实现节点分析的结果, 然后深化节点详图。

②本工程主楼屋面为双曲 H 型钢屋面, 为了保证所有 H 型钢钢梁腹板垂直于地面, 采取节点区域折板形式解决梁柱、主次梁翼缘板横向错口问题, 保证了上下翼缘板的焊接质量。异形构件较多, 内部隔板无法焊接, 采取开焊接人孔做法。

③采用新的快速钢筋连接方法<sup>[3]</sup>, 设计凹型槽板, 实现安装快捷, 避免制作误差造成的安装效率低; 通过计算, 保证节点连接的安全性; 设计钢筋盖板, 防止钢筋脱槽; 凹

型槽板前后的加劲板保证了焊缝的强度。快速连接节点制作具有可操作性、使用性，安装效率高，具有快捷性的优点。

## 4 关键技术的内容

### 4.1 人字梁节点制作

目前大型场馆通常存在几个功能区域或造型分区，形成不同维度屋面钢结构分区连接的技术问题。两个分区连接同一钢柱通常采用人字梁做法满足两个分区空间功能要求。由于两个分区标高不同及连接构件数较多，人字梁节点一般采用铸钢节点来解决多杆件相连的难题；两个分区的钢梁与同一钢柱铰接连接，一般采用销轴节点。

铸钢节点在本工程中应用，完美解决不同标高的梁结合到一个节点的难题。但也存在一些缺点：人字梁节点若使用铸钢节点，铸钢原材（G20Mn5QT）强度低，与原来主材（Q420GJB）强度差别太大，需要加厚铸钢板厚来满足强度要求，铸钢板厚度达到100mm，而原来主材厚度60mm，这造成铸钢节点重量加重，与原设计不符；铸钢节点钢板加厚与原来钢梁连接造成不等厚对接焊缝，强度不能满足设计要求。

人字梁节点分析及建模：人字梁节点处于两个分区间界限，两个分区标高和曲率都不一致，造成人字梁节点上下翼缘板出现折板，翼缘板厚度60mm，弯折长度达到3853mm，宽度超限，现有设备无法弯折；此外采用钢板拼接，高差处无法合理过渡，焊接质量无法保证。上述情况通常做法采用铸钢件，但铸钢件又存在强度低，不能满足设计要求，如图1所示。

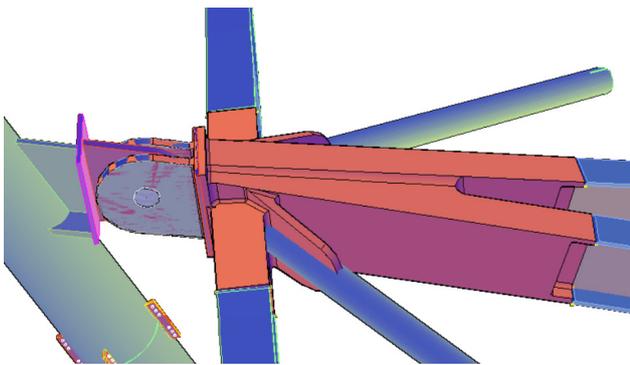


图1 铸钢节点模型示意图

经分析，人字梁节点区域外为等截面H型钢，人字梁不等高区域可以向外移，在等截面处处理不登高问题，人字梁节点区域上下翼缘板为同一平面。通过Tekla建模，实现节点分析的结果，然后深化节点详图。

### 4.2 异形构件加工制作工艺

#### 4.2.1 梁柱、主次梁节点折板工艺做法

本工程主楼屋面为双曲H型钢屋面，所有H型钢钢梁腹板垂直于地面，保证构件的强轴受力，减少弱轴方向侧向力。不规则截面弧形H型钢屋面梁的加工精度与变形控制

技术，以及解决主次梁翼缘板横向错口是保证结构整体成型的重点。

经BIM建模分析，采取节点区域折板形式解决梁柱、主次梁翼缘板横向错口问题，保证了上下翼缘板的焊接质量。

#### 4.2.2 异形构件内部隔板焊接工艺

博物馆造型独特，设计异形截面来解决连接和外观造型问题。针对本工程多角度的劲性结构复杂节点采用7边形异形截面来解决此难题。此种节点对钢结构加工的精度要求极高，稍有偏差就会影响工程的施工质量。

异形柱存在内部纵向隔板存在焊缝冲突及对接焊缝无法焊接问题，要从以下几个方面考虑：

- ①移动纵向隔板，避免焊缝冲突；
- ②开设手孔，焊接内部隔板对接焊缝。

随着计算机技术的发展，BIM技术广泛运用，钢结构制作更精确。钢结构施工前，利用TEKLA等软件对节点进行深化设计；钢结构加工前，制定加工制作方案，确定装焊顺序及坡口方向；焊接前编制焊接方案及确定焊接工艺。工厂加工时，对构件的装配定位进行严格控制和检查，逐个核查其角度和标高，确保加工精度。构件加工后，通过应用数字化预拼装技术，对梁、柱构件进行拟合，提高加工精度。

通过异形截面的焊接工艺分析，本工程异形截面内部隔板需要移动50mm，即避开焊缝热影响区，又解决了焊缝冲突问题；由于内部隔板对接焊缝无法焊接，开设焊接手孔解决内部对接焊缝问题。

### 4.3 劲性结构复杂节点的研究与应用

#### 4.3.1 劲性结构复杂节点问题分析

对于首都博物馆东馆而言，独特的结构体系、合理的节点设计是工程的关键环节。本工程劲性结构轴线多为弧形，钢筋与钢柱连接具有多向性，每条轴线各不平行，节点存在多向牛腿设计，每根钢柱各不相同，此种节点对钢结构加工与安装要求极高，因此弧形多角度的劲性结构复杂节点制作技术与钢筋快速机械连接的方法的结合研究解决问题的关键。

按照04SG523《型钢混凝土组合结构构造》图集做法，采用传统的穿孔、接驳器、搭焊等单一方式，无法合理解决混凝土梁多层多向钢筋与劲性柱连接的问题。问题如下：

- ①若采用穿孔连接时，削弱劲性柱强度，特别是H型钢截面的翼缘板。
- ②若采用接驳器连接时，首先本工程为圆弧轴线，接驳器角度难以控制，焊接后易造成安装精度不合格；其次柱纵筋与梁纵筋需要解决位置冲突问题，梁柱纵筋需要隔一布一，与相对轴线的梁柱布置要一致，对现场安装精度和布置要求极高；再次相对应的劲性柱都焊接接驳器，需要考虑正反丝和钢筋安装方法，由于两端的距离是一定的，钢筋长度大于接驳器的净距，需要弯曲才能安装，易造成角度不对，

钢筋丝扣无法安装接驳器内。

③若采用搭焊板连接方式时,首先需要解决柱纵筋与梁纵筋位置冲突问题,采取合理分布;其次柱纵筋遇搭焊板需要开孔,削弱搭焊板的强度;最后梁纵筋采用多层钢筋时,搭焊板要分层布置,每层要保证焊缝强度达到钢筋的抗拉强度,增加搭焊板的长度和焊接工程量,施工时还要分施工顺序,先下后上,增加绑钢筋的难度。

#### 4.3.2 劲性结构复杂节点解决方法探究

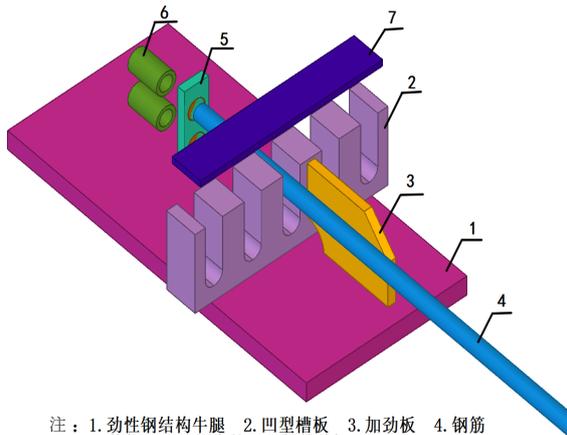
##### ①劲性结构复杂节点相关因素。

首都博物馆东馆劲性结构内钢结构节点复杂多变,劲性柱周围多达4~6处混凝土梁,面对如此多的混凝土梁,解决上述问题需要从多方面因素考虑解决方法。

本工程劲性结构与混凝土梁柱纵筋连接方式要从以下几个方面考虑:

- 第一,节点满足等强或满足设计值;
- 第二,节点满足可操作性、实用性及快捷性;
- 第三,节点标准化,适用各种节点。

通过对上述因素的解决设计新的快速连接的方法,通过凹型槽板、加劲板和牛腿焊接,实现快速连接的特点。项目部技术人员深化设计出满足上述要求节点,如图2所示。



注: 1. 劲性结构牛腿 2. 凹型槽板 3. 加劲板 4. 钢筋  
5. 垫板 6. 连接套筒 7. 钢筋盖板

图2 劲性柱与钢筋快速连接组装图

##### ②劲性结构复杂节点计算依据。

钢筋拉力传递给凹型槽板,凹型槽板与加劲板采用角焊缝连接,与牛腿上翼缘采用熔透焊,在焊缝的约束下,将钢筋拉力传递给牛腿。

#### 4.3.3 劲性结构复杂节点技术优势

一般劲性结构连接节点安装过程中需要控制角度、焊接变形、套丝的正反方向、钢筋下料的长度及开孔后对原有结构的削弱,具有局限性和要求精度高,进而引起工程的进度滞后和成本增加。

采用新的快速连接方法,设计凹型槽板,实现安装快捷,避免制作误差造成的安装效率低;通过计算,保证节点连接的安全性;设计钢筋盖板,防止钢筋脱槽;凹型槽板前后的加劲板保证了焊缝的强度。通过上述节点的设计,节点处连接板都为常规材料,连接节点制作工艺和制作设备为加工厂常规设备,卡板采用全熔透焊接,其他为角焊缝。因此,该节点制作具有可操作性、使用性,安装效率高,具有快捷性的优点。

#### 4.3.4 劲性结构复杂节点标准化

采用此快速连接节点首先调查分析混凝土梁的配筋情况,分类统计钢筋规格、数量、材质。利用上述数据计算出牛腿、加劲板、卡板的钢板厚度和规格,达到与混凝土钢筋等强。卡板的卡槽数根据最多钢筋的数量;卡板的规格和筋板厚度数量根据受力最大混凝土梁的配筋情况而定;卡槽的宽度根据最大钢筋直径而定,针对各种钢筋直径,设计出对应直径的垫板和接驳器,而卡板的凹槽统一尺寸。综合上述情况,快速连接节点设计原则按照受力最大混凝土梁节点设计,因此此节点具备标准化的特点,可以设计统一的节点,单独配备跟钢筋相对应的垫片和接驳器。垫片和接驳器具备量产的条件,此节点设计具备标准化的特点。

## 5 结语

通过采用双曲复杂钢结构制作工艺技术,有效减少了大型机械及人工的使用,节约工期约20天,节约建造成本137.475万元,经济效益明显。对于同类工程的施工有很好的借鉴作用。

## 参考文献

- [1] 张伟,叶翔,杜冰冰,等.珠海歌剧院双曲立面箱形构件制作工艺[J].电焊机,2013,43(4):16-18.
- [2] 冯维琦,戴国欣.重庆江北国际机场新建航站楼铸钢节点有限元分析[J].重庆建筑,2005(8):23-25.
- [3] 李宗洲,郑巨铭,刘鑫,等.劲性结构梁柱节点处理钢筋连接器应用技术研究[J].施工技术,2008(37):464-465.