

Technology Innovation Achieves Architectural Beauty

创新工艺成就建筑之美



高继领

Gao Jiling / Chief Engineer / HNGJ Co. Ltd.

江苏沪宁钢机股份有限公司总工程师

主持完成的主要钢结构施工工程：清华能源楼、浦东国际机场 T2 航站楼、中央电视台新台址、沈阳奥林匹克体育中心体育场、北京南站、广州火车站、广州电视塔、长沙火车站、上海光源工程、昆明机场航站楼、海南国际会展中心、凤凰卫视国际传媒中心、重庆国际博览中心、北京奥林匹克公园瞭望塔、沈阳桃仙机场二期航站楼、上海中心、平安金融中心等。



扫描二维码
可进入报告视频

0 引言

伴随着我国城市建设的迅猛发展，近十年来涌现出越来越多的创新型建筑，尤其是大型公共建筑及超高层建筑更是建成了诸多地标性建筑，这些建筑的创新不但体现在建筑专业的创新，也包含了许多结构专业的创新，而其中，建筑钢结构方面的创新尤为突出。钢结构相对于传统的混凝土结构，具有自重轻、强度高、易成型、外观美观、抗震性能好、装配式施工的特点，便于解决许多建筑、结构难题，因此建筑钢结构得到了更为广泛的应用。

同时，随着对钢结构特性认识的更为深入和全面，越来越多的建筑师、结构工程师对于钢结构的运用更为娴熟、大胆、充满想象力，创造出很多具有复杂空间造型和复杂结构形式的钢结构建筑，这些建筑的施工大多无先例、无规范、无标准可循，从而在钢结构的加工制作技术、焊接工艺、检测技术、吊装技术、空间定位技术等方面催生了诸多技术创新，而其中异形钢结构加工制作技术最为突出，本文将对几种典型的异形钢结构加工制作技术进行介绍。

1 异形钢结构应用特点

从现有工程来看，大多异形钢结构都应用在有特殊建筑造型要求的外露构件（无装饰层），部分工程对个别特殊构件采用异形截面，如广州火车站长圆形柱、武汉火车站变截面椭圆形钢管拱、北京北站腰鼓形支撑等（图1），部分工程由于特殊的建筑造型，在某一部分结构或整体结构采用异形构件，如鸟巢的肩部结构、昆明机场的彩带结构、凤凰卫视国际传媒中心主体钢结构等（图2）。

2 工艺创新综述

这些异形截面形式的构件可以概括为两种截面形式：第一种是由空间曲面钢板组装焊接而成，第二种是由钢管弯制而成。相较于常规截面形式构件，第一种截面形式构件的加工制作难点在于空间曲面钢板的深化设计和加工成型工艺两个方面，第二种截面形式构件加工制作难点在于加工成型工艺。

对于以上两个方面的难题，虽然传统上在船舶、飞机及机械加工领域有成熟的工艺，但由于建筑钢结构有其自身的特点，例如空间曲面更为任意多变、曲面类型多而难于批量生产（在一个建筑中可能存在上千件不同空间曲面造型的构件）、钢板较厚、钢管截面大、加工工期短、工作量大等，因而现有的工艺并不能完全满足建筑钢结构的施工要求，需要结合建筑钢结构的特点，在深化设计和加工成型工艺两个方面进行技术创新。

3 深化设计技术创新

对于由空间曲面钢板组装焊接而成的钢构件的深化设计，主要有以下两个方面的技术创新：

首先是工作方式的创新。常规的钢结构工程，一般是由建筑设计到结构设计，最后到深化设计。深化设计是在结构施工图的基础上进行的（图3），但由于异形构件空间线形十分复杂且弯扭构件很多（凤凰卫视国际传媒中心需要放样展开曲面达到约3万m²），同时，由于结构工程师对加工工艺并不十分熟悉，无法准确提供加工所需信息，一般在施工图中只能提供构件轴线线型控制点坐标，无法满足深化设计的要求。而新的深化设计方式则是同时以结构施工图和三维建筑模型为基础（图4），从结构施工图中获取构件结构特性，如截面几何尺寸、钢板厚度、钢板材质等信息，而构件的空间线型则直接在三维建筑模型上进行提取，这样就简化了结构施工图的工作，同时由于避免了模型坐标之间的转换，从而使深化设计的效率和精度大大提高。

其次是深化设计方法的创新。由于深化设计工程师需要在建筑模型中提取各种线型，因此深化设计仅仅采用常规的深化设计软件（如AutoCAD或Xsteel）已经不能满足需要。首先需要采用建筑师通常采用的空间造

工程名称	广州火车站	武汉火车站	北京北站
构件轴测图			
截面形式			
截面尺寸	2000×600	1400×1600~900	180~500

图1 异形构件截面类型一

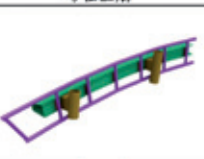
工程名称	国家体育场	昆明新机场	凤凰国际传媒中心 哥极主肋
构件轴测图			
截面形式			
截面尺寸	1200×1200	750×2500~3800	330•500•700

图2 异形构件截面类型二



图3 常规设计方式



图4 新型设计方式

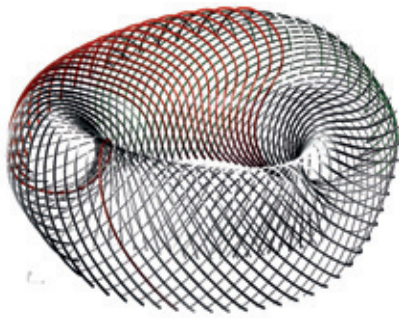


图5 凤凰卫视建筑模型 (Rhinoceros)

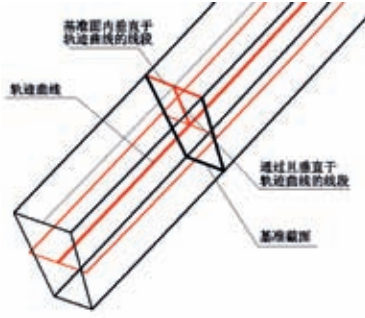


图6 构件线型的提取 (Rhinoceros)

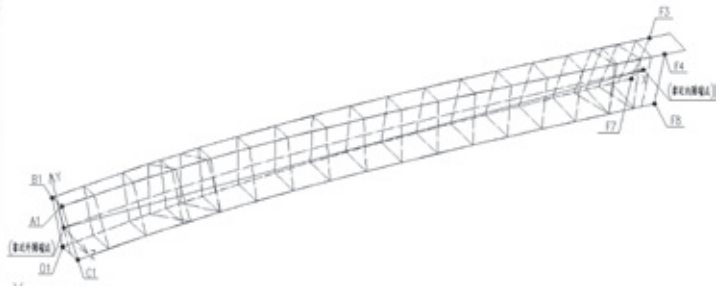


图7 深化设计图纸绘制 (AutoCAD)

型软件 Catia 或 Rhinoceros 进行各种定位线及轮廓线的放样，然后转换为 AutoCAD 或 Xsteel 文件绘制或生成深化设计图纸（图 5~7）。通过这种建筑设计、结构设计及深化设计的无缝结合，实现了异形构件高效、准确的深化设计。

4 加工制作技术创新

4.1 空间曲面钢板加工成形工艺

空间曲面钢板加工成形工艺有多种，在这里仅介绍最为成熟、成形效果好的样箱工艺，其主要包含了钢板初步弯制成形、精整成形和样箱检查三个步骤（图 8~10）。

样箱工艺有以下几个特点：

- 1）样箱工艺源自于造船工艺，至今仍大量采用，因此整套工艺非常成熟。
- 2）由于样箱采用木材制作而成（图 11），因而精度非常高，从而保证了空间曲面钢板的成形精度。
- 3）使用样箱检查空间曲面钢板的线形，相较于经纬仪、全站仪等测量手段，非常直观，且可以随时复测。

4.2 钢管弯制成形工艺

大口径钢管的弯制成形工艺主要有中频热弯成形（图 12）和冷弯成形（图 13）两种加工工艺。

两种成形工艺有以下几个特点：

- （1）热弯成形采用中频弯管机进行热弯；冷弯成形是采用大型油压机和专门设计的上、下压模进行冷加工成型。
- （2）热弯成形一般适用于曲率半径在 4.6~20m 之间的大口径钢管的弯曲成型；冷弯成形一般适用于曲率半径在 21m 以上的大口径钢管的弯曲成型。
- （3）热弯成形由于是局部加热，成型后在加热与冷却处有肉眼可见的凹凸；冷弯成形表面质量较好，无明显的痕迹。



图8 钢板弯制成形



图9 精整成形



图10 样箱检查



图11 样箱制作



图12 热弯成形



图13 冷弯成形



图14 凤凰卫视国际传媒中心



图15 国家体育场鸟巢

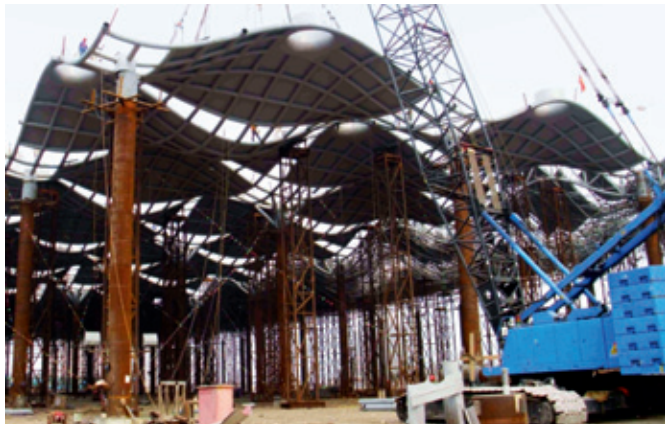


图16 海南国际会展中心



图17 昆明新国际机场



图18 无锡大剧院

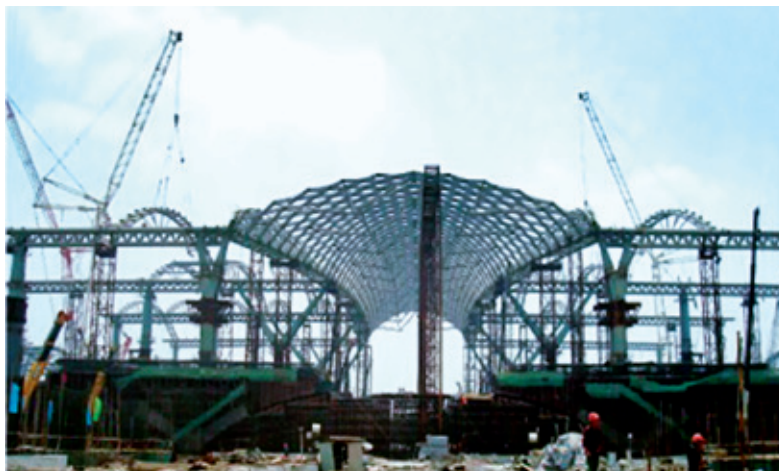


图19 广州火车站

(4) 热弯成形后, 若发现超差, 较难重新弯制; 冷弯成形可根据要求重复压制修正, 成形的质量较好。

(5) 热弯成形无法对同一根钢管进行两种不同半径的弯制; 冷弯成形可以通过对压模的调整, 实现对同一根钢管进行两种以上半径的弯制。

(6) 热弯成形需对钢管进行加热, 工效较低, 用电量较大; 冷弯成形操作简单, 不需对钢管进行加热, 因此工效较高, 用电量少。

5 部分异形钢结构实例

图 14~19 列举了异形钢结构构件在凤凰卫视国际传媒中心、国家体育场(鸟巢)、海南国际会展中心、昆明新国际机场、无锡大剧院、广州火车站等项目中的应用情况。

6 结语

以上介绍的几种典型异形钢结构加工工艺, 代表了近几年国内钢结构技术创新的成果, 是诸多重大工程顺利施工的技术前提, 完美体现了建筑师的设计理念, 成就了建筑之美, 也希望能为建筑师、结构工程师今后的设计工作提供参考。AT