DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250407

浅谈桥梁曲面边腹板钢模板体系设计与施工

高　研
(北京城建建设工程有限公司,北京市 100000)

摘　要： 主要结合北京市城市副中心玉带河大街跨新修河道景观桥工程实例,通过分析现浇箱梁异形曲面边腹板空间造型生成要素,确定了边腹板外立面采用钢模板方案。通过综合运用Excel软件和AutoCAD软件进行了高精度的三维建模,为曲面钢模板加工截面提取提供了依据,在把三维模型提供给钢模板厂家的同时把模板分段要求、模板制作方案、曲面展开方法、钢模板预拼装进行了详细阐述,并介绍了钢模板现场安装及定位要点。

关键词： 曲面边腹板;cad三维建模;截面提取;曲面展开;预拼装;安装及定位
中图分类号： U445.3;TU997　　**文献标志码：** B　　**文章编号：** 1009-7716(2026)01-0225-04

Brief Discussion on Design and Construction of Steel Formwork System for Curved Side Webs in Bridge Structures

GAO Yan
(Beijing Urban Construction Engineering Co., Ltd., Beijing 100000, China)

Abstract: Focusing on the case study of the Beijing Sub-center Yudaihe Avenue Cross-river Landscape Bridge Project, and by analyzing the generation elements of the spatial modeling of the side web plates of the irregular curved surface of the cast-in-place box girders, it is determined that the steel formwork scheme will be adopted for the outer facade of the side web slabs. Through the integrated application of Excel software and AutoCAD software, the high-precision 3D modeling is conducted, providing a basis for extracting the cross-section of curved surface steel formwork processing. While providing the 3D model to the steel formwork manufacturer, the requirements for formwork segmentation, the formwork production scheme, the curved surface unfolding method, and the pre-assembly of steel formwork are elaborated in detail, and the key points of on-site installation and positioning of steel formwork are introduced.

Keywords: curved surface side web; CAD 3D modeling; cross-section extraction; curved surface unfolding; pre-assembly; installation and positioning

0　引　言

随着中国城市化建设的日新月异大发展,许多城市跨河桥梁设计已经不局限于只满足通行等使用要求上,还逐渐兼顾桥梁美学设计,增加各种空间造型、另类功能等附加元素,使其同时满足提升景观、夜景照明等各种高层次的审美需要,甚至将桥梁建设成为当地地标性建筑、网红打卡地等。例如天津海河上的桥梁就实现了一桥一景,美化了海河两岸。其中永乐桥与直径110 m且外挂48个360°透明座舱的摩天轮及桥上商业合建,实现了桥轮合一的奇特景观,被誉为“天津之眼”[1]。又如部分鱼腹式现浇混凝土连续箱梁桥,主梁结构造型模拟海鱼鱼腹的流线外形而设计,流线型三维曲面造型非常优美[2]。

但是景观桥梁的奇特造型也带来了施工难度的增加,本论文即以现浇箱梁异形化边腹板的钢模板设计与施工为研究对象。

1　工程概况

北京城市副中心玉带河大街跨新修景观河道桥梁上部结构为变截面预应力混凝土现浇箱梁,桥梁全长60 m,其跨径布置为30 m+30 m,桥梁全宽50 m。

桥梁分为上下两幅,每幅桥主梁共5个箱室,箱梁顶板厚度为22 cm,底板厚度为20 cm,腹板厚度为40 cm,中分带处箱梁悬臂长度为2.5 m,截面不变,而人行道外侧采用异形曲面边腹板,用外装饰曲面造型清水混凝土面实现景观效果,其外形随梁高变

收稿日期：2025-04-12
作者简介：高研(1987—),男,学士,工程师、经济师,从事建筑工程、道路与桥梁工程施工工作。

化而不断变化。桥梁效果图如图 1 所示。

图 1　桥梁效果图

桥梁 0#–1# 轴箱梁立面及梁外装饰立面如图 2 所示，1#–2# 轴箱梁与其沿 1# 轴对称布置。

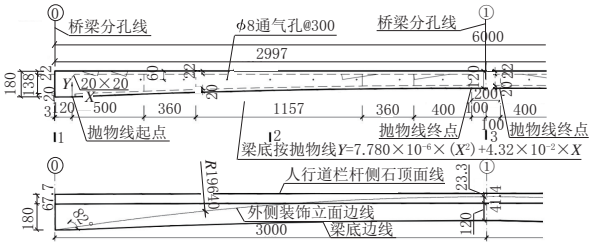

图 2　0#-1# 轴箱梁立面及梁外装饰立面图（单位：cm）

每跨箱梁梁底线型除 1.2 m 宽端横梁和 2 m 宽中横梁范围为水平外，其余位置为抛物线 $Y=-7.780\times10^{-6}X^2+4.32\times10^{-2}X$，另一跨沿中墩对称设置。中墩处梁底比边横梁处梁底高 60 cm，即对应梁高也从端横梁处的 1.8 m 沿抛物线渐变至中墩处的 1.2 m。整体桥梁外侧装饰立面边线为直径 196.4 m 的圆弧线，梁外装饰断面变化图如图 3 所示。从该图中即可看出，装饰外立面线型复杂，需要仔细阅读图纸进行确定。其中，边支点处装饰外侧线断面上口比栏杆地栿顶面低 10 cm，下口比标准梁宽外延 35 cm，断面为斜直线，然后渐变至中支点处上口为比栏杆地栿顶面低 23.3 cm，比标准梁宽外延 80 cm，下口比标准梁宽内缩 85 cm。通过以上分析可以看出，虽然装饰外侧线在顺桥向每个断面处均为斜直线，但是通过空间逐渐扭转，形成了上下两个空间曲面。箱梁装饰外立面也为与箱梁一体浇筑混凝土结构，其模板加工制作难度大，外装饰面定位复杂，虽然梁高最大为 1.8 m，但考虑到地栿高度及外侧整体美观性，地栿需要与主梁同时浇筑，外立面浇筑梁高达到 2.477 m，模板所受侧向力大，需要研究合理的模板支撑工艺。模板选型也成为了异形曲面清水混凝土施工过程中的主要制约因素[3]。模板材质的选择、分段长度、加工形式、支撑形式、定位方法等共同构成了要研究的模板体系。由于外形复杂，多个模板厂家均要求由总包提供桥梁三维图纸，以便于模板加工，故我们进行了该模型的建立及钢模板的初设，并书面提出钢模板加工要求。

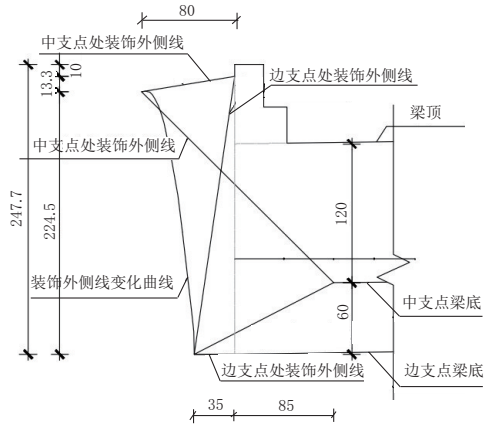

图 3　梁外装饰断面变化图（单位：cm）

2　三维模型的建立

根据以上外装饰面曲面造型分析，箱梁外立面施工时宜选用钢模板，且 60 m 梁长范围内每块钢模板空间造型均不相同。要想制作精准外形的钢模板，必须首先建立现浇箱梁整体三维模型，通过对模型分析确定模板分段长度及每块模板的空间造型。

2.1　三维模型截面的确定

由于本工程箱梁装饰外立面造型复杂，包括装饰外立面各截面处梁底标高等各节点均在不断变化，边线外形各角点沿桥梁纵向变化涉及等比例变化、抛物线变化、圆曲面变化等多个不同的复杂变化，无类似先例可以参考，无法应用普通三维绘制软件通过简单的有限几个截面拉伸实现。故决定沿桥梁纵向等间距生成多个截面，再由 CAD 分别进行三维建模并合并生成现浇箱梁整体三维模型。截面间距选择不宜过大，以保证三维模型精度；也不宜过小，造成建模工作量不必要的增加，通过分析，拟按照 20 cm 间距建立各断面。为了方便绘制各断面，考虑应用 Excel 软件，选取其中一个端横梁下角点为坐标原点，以纵桥向为 X 轴，通过自己推导的公式生成各断面角点坐标，选取复制各坐标再综合利用 CAD 中的 PL 命令等快速绘制出各断面角点。

2.2　三维模型的绘制

在 CAD 中，根据各截面生成三维模型并合并形成整体模型，边腹板部分如图 4 所示。

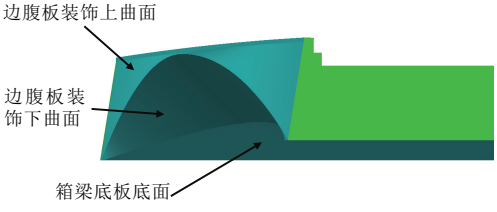

图 4　箱梁边腹板部分三维模型示意图

3　模板体系确定

3.1　模板分段长度及支撑架设计

钢模板由面板、横肋、竖肋及支撑架 4 个主要构件组成[4]。

根据在 CAD 中对模型曲面度分析，结合以往模板加工经验和安装便利，把模板基本分块宽度设定为 2 m。由于外装饰面属于直线空间扭转产生，故在每块模板上设置四处定型肋板，形状分别对应该处截面形状。除两边边框外，中间两处肋板实际由支撑架形状实现，支撑架间距 1.2 m，即每个支撑架距离模板端部为 40 cm。

支撑架桁架的设计应充分考虑下方支撑的形式及高度。为了降低内模施工难度，箱室内模和底模一样全部采用木模体系板进行施工[5]。由于箱梁底板和内模均采用木模板，木模板下为纵桥向 100 mm×100 mm 木方，再往下为横桥向带横坡的双拼 10#槽钢，支撑架设计时，要考虑把支撑架直接坐在顺桥向木方上，模板下口深入到两木方之间。为了保证侧面钢模板和底板下木胶合板的连接，在钢模板底口通长焊接 50 mm×5 mm 角钢，以拖住底板木模板，确保箱梁底边缘的线型圆顺，提高外观质量。

3.2　模板面板尺寸确定

模板面板根据经验采用 6 mm 钢板。每段模板面板尺寸确定需要把每段模板对应的三维曲面进行展开，然后再数控切割，最后贴敷到钢框架上。此时，可以使用一些三维模型展开软件，有些模板厂家就能自行展开。但在本工程模板厂家实际操作中，虽然使用了他们习惯用的软件，但经验证，展开的面板尺寸与理论相差较大，致使制作出来的首段钢模板就出现了问题，经分析比对是软件展开图形错误。我们提出一种基于微积分曲面展开基本原理的三维展开方法，对于熟练使用 CAD 普通命令的工程技术人员是一种很好的参考，也是验证本例厂家使用的或其他三维展开软件展开图形是否正确的方法。该方法利用三角形在一个平面原理，把绘图时等间距 20 cm 宽扭转的四边形沿对角线分成两个三角形，再利用 cad 空间旋转命令，把两个三角形旋转到一个面内，同理，继续旋转模板分段范围内的其他三角形到同一平面内，即得到了该段模板面板的展开模型。其中钢模板 C4 制作段面板展开图如图 5 所示。

通过 cad 建模分析，等间距 20 cm 展开图形与曲面径向偏差最大约为 0.3 mm，等间距 40 cm 展开图形

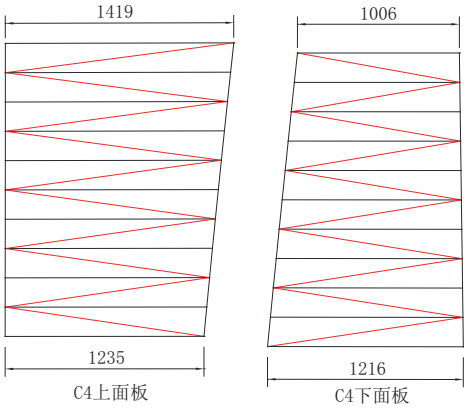

图 5　钢模板 C4 制作段面板加工图纸（单位：mm）

与曲面径向偏差最大约为 0.5 mm，均完全满足模板平整度和线形圆顺要求。

3.3　模板加工方法

为保证曲面钢模板加工精度，要从所有钢模板部件加工精度着手，同时保证组装焊接顺序和方法。首先，作为定位用的左右边框、面板等均需采用数控切割。作为定位和固定用的支撑架必须在长度上和焊接角度上进行精度把控。焊接时，注意焊接变形的影响，尽量采取措施减小焊接变形[6]。钢模板焊接组装顺序如下：

（1）分别下料各构件、杆件、面板等；

（2）在抄平的钢平台上，根据间距和空间位置定位焊接左右边框；组装焊接支撑架；

（3）定位焊接支撑架、点焊筋板；

（4）敷贴焊接面板：用外力使面板吻合，然后按要求把模板竖肋、横肋逐一点焊在面板上，待去掉外力后面板可以得到有效固定[7]。

（5）从平台上拆下组焊完成的模板；

（6）加焊其余各焊缝，直至全部焊接完成；

（7）打磨焊口、复核模板尺寸及加工精度；

（8）模板喷漆、编号。

4　模板预拼装及现场定位安装

4.1　模板预拼装

由于本工程钢模板为曲面造型，加工复杂，模板在分节段制作完成出厂前一定要进行预拼装。钢模板预拼装是指在模板正式安装前，在地面或加工场地预先将模板各节段进行临时组装和调试的过程。预拼装是钢模板施工的关键环节，能提前发现模板变形、孔位偏差等问题，保证混凝土成型尺寸准确，减少漏浆、错台等缺陷，避免因模板问题导致的混凝土修补或凿除费用，模块化安装还能减少现场调整

工作量，缩短高空安装作业时间，降低吊装次数，加快模板安装整体进度。预拼装还能减少高空拼装作业风险，提前排查结构稳定性问题（如支撑不足等）。

预拼装顺序及注意事项：预拼装要选择平整、坚实的场地或临时平台，确保拼装基准面水平；按图纸放样，标出模板轴线、边线及控制点；核对模板规格、编号，检查面板平整度、焊缝质量及连接孔位是否对齐；将小单元组合成整片大模块，检查整体尺寸；用水平仪、经纬仪检测垂直度、平整度及对角线误差（通常控制在±2 mm 内）；修正错台、缝隙过大等问题，必要时加垫薄钢板或打磨边缘；对合格模板编号，标注安装方向，拍照记录拼装顺序；拆解后分类堆放，便于运输。预拼装时注意吊装受力点设置，对于异性曲面板，可制作胎架辅助定位。

4.2　模板安装

模板安装之前，要提前调整好下方支撑件的标高。钢模板现场安装要依据模板编号自中墩向两侧对称进行，钢模板吊装要严格依据编制完成的方案和技术交底进行。安装时严格控制每块模板的平面线形和标高。相邻模板先采用螺栓临时连接固定，在各个施工节段的模板安装完毕后，对整个外模的拼装线形、尺寸、弧度等技术指标进行全断面测量。没问题以后再紧固，以满足箱梁施工过程中模板支撑体系的整体稳定性和安全性[8]。

4.3　模板定位及加固

在本例中，由于钢模板为箱梁边腹板侧模板，所受侧向力较大，故在模板设计时考虑了底部支撑钢梁上焊接防侧移角钢，中部设置对拉螺栓和侧面斜向钢管支撑等三种措施，以保证混凝土浇筑时模板不发生侧向移动。钢模板支撑体系如图 6 所示。

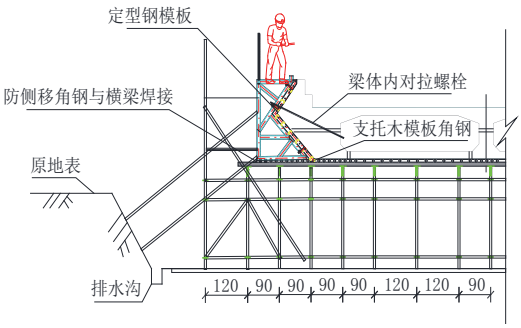

图 6　钢模板支撑体系示意图（单位：cm）

4.4　模板拆除及重复利用

模板拆除根据后装先拆的原则进行[9]。拆除作业按照安全技术交底要求进行，拆除后及时清理表面并补涂模板漆，以备周转使用。

由于桥梁分为上下两幅，异形钢模板仍然可以再周转一次，上下幅桥梁以模板使用周期排定了流水施工，提高了钢模板经济性指标。

浇筑完成后的桥梁边腹板实际外观效果证明，本钢模板设计施工体系取得圆满成功，得到了参建各方的一致认可。

5　结　语

本论文针对桥梁曲面边腹板模板体系设计和加工制作进行了专门研究，在 CAD 三维模型建立、曲面展开、模板分段、模板加工制作、模板预拼装及安装方面，均进行了详细鲜明的论述，形成了一套成熟的曲面钢模板设计方法和加工制作工艺，提升了曲面清水混凝土浇筑质量[10]，为以后同类型曲面钢模板的设计和应用提供了一定的参考价值。

钢模板体系虽然初始成本高，但随着周转次数的增加，维护成本的降低，安装的便捷，工期的缩短及回收价值较高，其经济性优势将更加显著。尤其是在异形曲面钢模板中，其曲面造型可以在工厂中大部分予以解决，而现场安装时只需控制极少的点就能达到控制面的目的，既保证了精度，又缩短了工期。

另外，数字化技术能显著提升复杂曲面模板的设计效率、材料利用率及施工精度，随着 BIM 建模、参数化设计、AI 辅助设计、3D 打印模板及数字孪生运维等数字化及自动化技术的深度融合，钢模板在异性建筑或复杂造型项目中的成本竞争力将进一步增强，其应用前景将更为广阔。

参考文献：

[1] 余沛，王玉雅，袁银书，等．超大直径无轴式摩天轮桥轮一体化结构设计分析[J]．建筑结构，2017，47（13）：15-19.
[2] 孔德法．鱼腹式变截面箱梁桥综合施工技术[J]．铁道标准设计，2012（6）：79-82.
[3] 赖万城．浅谈清水混凝土模板专项施工技术[J]．中国新技术新产品，2020（23）：101-104.
[4] 郑军涛．超大断面三维空间异形曲面预应力混凝土现浇梁模板施工技术[J]．工程建设与设计，2020：208-211.
[5] 徐新华，苏君明．鱼腹式预应力混凝土现浇连续箱梁施工技术[J]．施工技术，2007（11）：96-98.
[6] 张星波．异形曲面钢模板在清水混凝土结构施工中的应用[J]．建筑施工，2021:1036-1037.
[7] 李忠锋，李宏祥．中新天津生态城经六路跨蓟运河故道桥总体设计[J]．中国市政工程，2011（7）：105-107.
[8] 张军辉．大体积鱼腹式槽型连续箱梁施工技术[J]．山西建筑，2009（5）：273-275.
[9] 李永山，杨彪．水电站厂房流道异形曲面模板的制作及应用[J]．四川水力发电，2019，38（3）：28-29.
[10] 乔伟，张昊，闫满，等．大跨度异形双曲面薄壳清水混凝土模架设计与施工[J]．施工技术．2023，52（8）：113-117.