 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i5.10288

Construction Technology of Integral Casting for Ultra-thin Large-span Curved Upper and Lower String Roof Panels

Fuda Sun

Guangxi Construction First Engineering Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530001, China

Abstract

To address technical challenges in integral casting of ultra-high, ultra-thin, and large-span curved upper/lower chord reinforced concrete roof panels—including complex support systems, confined working spaces, and stringent formwork quality control—this study innovatively employs BIM-driven 3D modeling and visualization technologies. The construction approach integrates "jump casting method" with "steel pipe top-pinned portal frame diagonal support systems." By implementing segmented upper chord formwork erection, prefabricated partition walls for coordinated support, and triangular load transfer structures, combined with BIM-assisted precision reinforcement material cutting and installation, the project successfully achieved integrated casting of curved roof panels. Field applications demonstrate that this technology delivers robust support systems with flexible construction processes, ensuring superior formwork quality and structural integrity while significantly reducing costs and project timelines. The solution provides comprehensive technical solutions and practical references for large-span curved thin-walled concrete structure casting, demonstrating substantial engineering applicability and promotion value.

Keywords

curved roof panel; portal frame diagonal braces; BIM technology; monolithic casting; large span; ultra-thin concrete structure; skip casting method

超高超薄大跨度弧形上下弦屋面板整体浇筑施工技术

孙富达

广西建工第一建筑工程集团有限公司，中国·广西 南宁 530001

摘　要

针对超高、超薄、大跨度弧形上下弦钢筋混凝土屋面板整体浇筑中支撑体系复杂、作业空间狭窄、成型质量控制难度大等技术难点，本研究依托BIM三维建模与可视化技术，创新采用“跳仓法”浇筑与“钢管顶托门架式斜支撑体系”耦合的施工技术，通过分段搭设上弦弧形模板、预制装配式隔板协同支撑、三角形稳定结构传递荷载，结合BIM辅助钢筋精准下料与安装，实现弧形上下弦屋面板整体浇筑成型。工程应用实践表明，该技术的支撑体系安全可靠、施工工序灵活高效，有效保障弧形屋面的成型质量与结构整体性，同时大幅降低工程成本、缩短施工工期，为大跨度弧形薄壁混凝土结构的整体浇筑施工提供成套技术方案与工程实践依据，具有较高的工程推广与应用价值。

关键词

弧形屋面板；门架式斜支撑；BIM技术；整体浇筑；大跨度；超薄混凝土结构；跳仓法

1 引言

某粮食储备库项目2#平房仓建筑高度14.2m，屋面采用现浇细石混凝土上下弦板结构，共设27榀屋面板，其中22榀尺寸为19.68m×1.325m，5榀尺寸为19.68m×1.260m。该屋面板下弦板厚度为40mm，上弦板厚度为50mm，属于典型的超高超薄大跨度薄壁混凝土构件；且上下弦板间设置环梁、钢筋混凝土支撑隔板等构件，设计要求整体浇筑不设施工缝，对施工技术提出了严苛要求。

传统施工工艺存在支撑体系搭设繁琐、钢筋与模板定位精度低、构件成型质量难控制等问题，加之上下弦板间作业空间狭窄，易导致施工效率低，现场安全风险较高。为此，基于BIM技术的三维可视化与参数化设计优势，将跳仓法浇筑工艺与门架式斜支撑体系创新融合，优化施工工艺流程与关键操作要点，形成超高超薄大跨度弧形屋面板整体浇筑成套施工技术，有效解决复杂支撑体系搭设、弧形薄壁构件整体浇筑等工程难题，兼顾施工质量、安全与工程经济性，可为同类工程提供技术参考。

2 技术特点及适用范围

本技术钢管顶托门架式斜支撑支撑安全可靠、预制装配式钢筋混凝土隔板契合绿色施工发展要求、BIM三维模型精度控制、“每隔两榀跳仓”的浇筑工艺灵活便捷，适用

【作者简介】孙富达（1979–），男，中国广西贵港人，硕士，高级工程师，从事土木工程研究。

于现浇结构中，跨度大、支撑系统复杂、作业面狭窄的薄壁混凝土结构施工，尤其适用于弧形构件、上下弦板需整体浇筑且不设施工缝的混凝土构件施工；典型应用于粮食平房仓弧形屋面工程，亦可推广至大跨度场馆弧形薄壁屋面板、异形弧形剪力墙等同类工程施工。

3 工艺原理

本技术以 BIM 三维模型为施工基础，结合上下弦屋面板空间布置特点，采用“每隔两榀跳仓”施工方法 [1]，通过支撑体系优化、钢筋精准加工、浇筑工艺精细化把控实现构件整体浇筑。弧形上弦模板采用分段搭设方式，于预制装配式隔板连接处断开，搭设钢管顶托门架式斜支撑拓展作业空间 [2]，利用三角形结构将上弦荷载逐级分散至下弦模板支撑体系，再通过高支模满堂架传递至地面基础；依托 BIM 技术辅助上弦钢筋精准下料 [3]，深化弧形板二次抛物线轨迹，使钢筋与模板实现高精度贴合，通过设置预制专用垫块，精准控制钢筋保护层厚度。最终优化混凝土浇筑路线，采用跳仓法实现上下弦板同步浇筑，配合密闭空间振捣与全覆盖保湿养护措施，完成弧形屋面板整体浇筑施工。

4 施工工艺流程及操作要点

4.1 施工工艺流程

弧形上下弦钢筋混凝土屋面板施工工艺流程如图 1 所示。

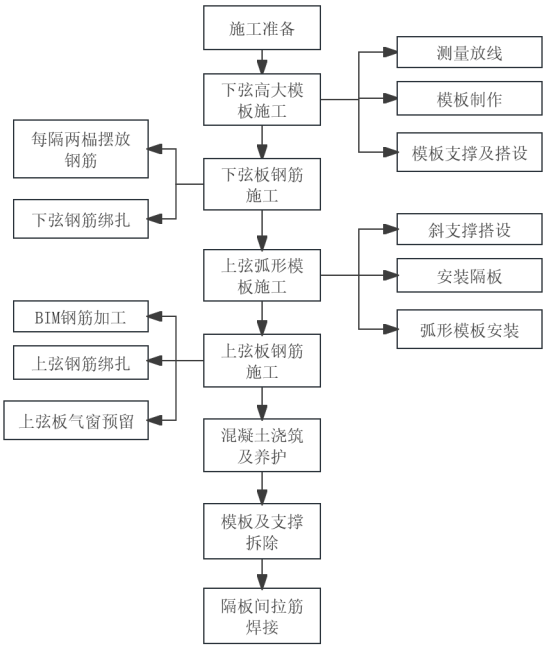


图 1 施工工艺流程图

4.2 操作要点

4.2.1 施工准备

编制专项施工方案并完成审批，组织技术与安全交底工作，依托 BIM 技术建立弧形屋面板三维模型，优化模板配模、钢筋下料方案；按规范检验钢筋、钢管、预制隔板等进场材料的质量，对施工机具进行保养调试，对测量仪器进行校准。清理仓内搭设场地并分层夯实，浇筑 150mm 厚 C20 混凝土垫层，作为支撑体系基础。

4.2.2 下弦高大模板施工

下弦支撑架体采用 9.6m 高单立杆满堂调节支撑形式。立管横向、纵向间距均为 1.0m，步距 1.50m；管顶设置可调托座，内配 2 根主梁，支撑钢管采用 Φ48.3mm × 3.6mm 规格；板底采用 50mm × 80mm 方木支撑，间距 300mm。

①立杆、水平杆的设置。

沿每两榀上下弦屋面板的内边线设置立杆，确保上、下弦支撑立杆在同一直线上，实现荷载的垂直传递；两榀屋面板内部支撑按纵横间距为 1m 均匀设置。支架纵横向扫地杆均采用直角扣件连接 [4]。板底 750mm 范围内设置封顶杆；

针对本工程超高超薄屋面的荷载特点，在高大模板区最顶步距两拉杆间增设双向拉杆，实现满堂架与周边支架的整体刚性连接，提升体系抗侧移能力。水平杆设于立杆内侧，纵向水平杆采用对接扣件连接，接头交错布置。

②剪刀撑的设置。

支架周边设置全长全高全立面竖直剪刀撑，形成整体防护框架。在封顶杆、扫地杆位置全平面设置水平剪刀撑，增强水平抗剪能力。支架内部分别设置纵横两向竖直连续式剪刀撑，沿支架各纵横向每 ≤4m 设一道，其宽度为 6m，跨越立杆根数 4-6 根。剪刀撑杆件的底端与地面顶紧，夹角 45° ~60° ，每道竖直剪刀撑均为全长全高设置。

③拉结点的设置。

因平房仓为排架结构，墙体不得留孔洞，在廒仓内外柱子或圈梁上预埋连墙点埋件（配套 M18 螺杆），柱子拆模后采用配套螺杆螺帽进行连接。连墙装置从第一步架开始设置，竖向在每道圈梁上均匀布置，水平间距 3.0m。

④下弦板模板的设置。

a. 通线调节支顶钢管与支座的高度，拉平大楞与大龙骨，架设小楞及小龙骨 [6]。

b. 检查立杆垫板、水平拉杆、剪刀撑及连墙件的安装质量与牢固性等。

c. 模板从四周往中间铺，角位通线钉固，下弦板起拱高度按 3/1000 设置。

d. 复核板面标高与平整度，确保预埋件和预留孔洞位置准确、无漏设。支模顶架稳定牢固，模板面干净。

e. 清理模板与混凝土接触面，均匀涂刷隔离剂，确保模板接缝严密、无漏浆。

4.2.3 下弦板钢筋施工

1）每隔两榀摆放钢筋

结合施工工艺特点，依据 BIM 三维模型进行钢筋布局，采用每隔两榀跳仓法，在下弦模板上弹出轴线、两榀下弦板钢筋位置以及上弦支撑钢管立杆的位置线 [7]。安装上弦弧形

支撑体系及模板前，提前完成下弦板钢筋绑扎。

2）下弦钢筋绑扎

①钢筋采用镀锌铁丝满扎满绑，保证钢筋骨架整体性。

②下弦板钢筋保护层厚度按 15mm 控制，板底设置专用混凝土垫块，间距 600mm，梅花行布置，与钢筋绑扎固定防止移位。

4.2.4 上弦弧形模板施工

上弦弧形模板采用门架式斜支撑形式，支撑架最高点搭设高度 1.75m。

1）门架式斜支撑搭设

上弦立管横向间距 2.66m；纵距 0.6m，管顶设置可调托座，内配 1 根主梁，搭设如图 2 所示。

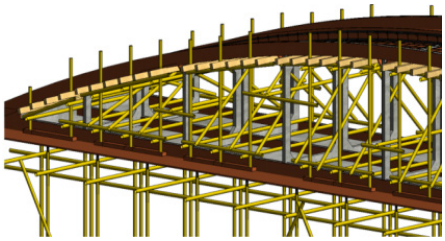


图 2 搭设体系大样图

两榀立杆底部距下弦模板 200mm 处设纵横双向水平扫地杆，距上弦板底 350mm 处设水平杆；大横杆中部设置两根斜支撑与立杆连接，形成三角支撑结构；上弦弧形拱板内侧用混凝土预制垫块、外侧用 50mm 厚木垫块垫牢，使荷载均匀传递至下弦支撑立杆。

2）安装隔板

①按提前弹好的墨线准确放置垫板、底座。

②预制 60mm 厚钢筋混凝土隔板达到设计强度后进行安装固定，同时在隔板构件上标出下弦板标高控制点。

③隔板安装时，现将预留的钢筋弯折，待隔板位置调整固定无误后，与上下弦板钢筋连接。

④装配式钢筋混凝土隔板先用方条和步步紧初步固定，待上弦板模板安装时进行最终调整固定，确保隔板的间距与垂直度符合设计要求（如图 3 所示）。

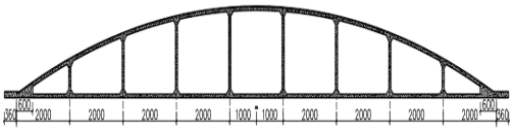


图 3 隔板安装布置大样图

3）弧形模板铺设

为保证上弦板弧形拱板曲线圆滑、无折角，采用分段搭设方式，于隔板连接处断开。

侧模及每榀间的环梁采用方木固定，下环梁先安装外侧梁底定型模，校正后，立上口侧模及里侧模。支模时按 600mm 间距安装由短模板加工而成的卡具，控制梁侧模下口尺寸，防止梁下口胀模；模板上部每隔 1.5m 设一道水平拉杆，保证整体稳定性。

4.2.5 上弦板钢筋施工

1）BIM 钢筋加工

①依托 BIM 模型进行钢筋下料，先试弯核对尺寸，确认后批量加工。工作台设置控制下料长度的限位挡板，实现钢筋下料长度的精确控制（如图 4 所示）。

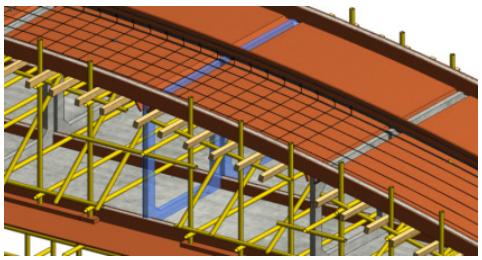


图 4 BIM 钢筋加工大样图

②按设计弧度参数弯曲成形，确保与模板高精度吻合。

2）上弦钢筋绑扎

严格按图纸满扎满绑，每个纵横交点均绑扎牢固，保证钢筋骨架的稳定性。

3）上弦板气窗预留

按图纸留设 500mm × 700mm 施工洞口，孔洞四边设置钢筋加强带，每边增设 6 根 Φ8 钢筋。严控各加密区段的钢筋用量。

4.2.6 混凝土浇筑及养护

1）采用跳仓法浇筑 [8]，按预设跳仓分区依次推进，避免结构产生温度收缩裂缝。如图 5 所示。

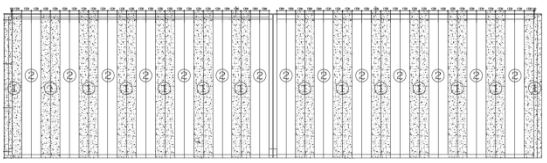


图 5 跳仓法浇筑平面布置示意图

2）浇筑采用 C30 细石混凝土，严格按配合比控制各材料用量，保证和易性与强度。

3）上下弦板同步浇筑，下弦板从中间向两端铺捣，上弦板沿斜面由下向上浇筑，每组一次完成不设施工缝（如图 6 所示）；下弦板架设溜槽定量放料，采用“赶浆法”人工摊平；两榀间施工缝抹 30 ~ 50mm 厚同配合比水泥砂浆，保证连接密实。

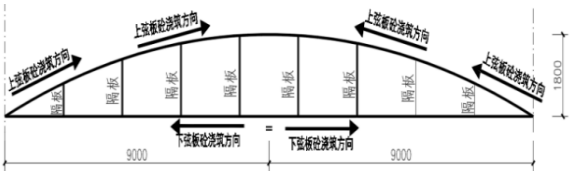


图 6 混凝土浇筑顺序示意图

4）针对本工程弧形上下弦薄壁构件的成型要求，采用插入式振动器逐点有序振捣，杜绝漏振、过振问题；振动器

移动间距控制在 300 ~ 400mm，振捣上层混凝土时插入下层 5 ~ 10cm 实现层间紧密结合，振捣全程避免触碰钢筋骨架及预埋件，防止构件内部产生缺陷。上下弦板夹角处作业空间狭小，采用小粒径石子同强度等级混凝土浇筑，石子最大颗粒粒径不超过构件截面最小尺寸的 1/4 及钢筋最小净间距的 3/4，选用小直径振捣棒振捣。

5）浇筑过程中，对照隔板上的厚度标记，拉通线实时测量，精准控制浇筑顶面标高，确保屋面板厚度符合设计要求。

6）浇筑过程中安排专人看护模板和钢筋，及时调整偏位钢筋；若发现模板变形、位移，立即停止浇筑，在混凝土凝结前完成修整。

7）混凝土浇筑的同时，及时对上下弦屋面板混凝土表面进行收面处理。浇筑完毕后，立即采用土工布覆盖保湿养护；高温天气需在浇筑后 2-3 小时内完成覆盖并浇水养护，保持混凝土表面湿润，养护周期不少于 14 天。（如图 7 所示）

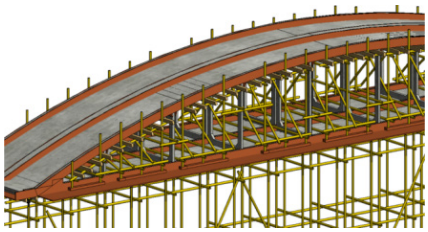


图 7 上下弦屋面板混凝土浇筑完成示意图

4.2.7 模板及支撑拆除

1）拆除以同条件养护试件强度报告为依据，混凝土达到设计强度，经技术负责人检查、监理审批后实施，拆除前进行安全技术交底 [10]。

2）屋面拆模时在粮仓短边两端搭设落地式脚手架卸料平台用于材料卸载。卸料平台搭设高度为 10.84m（9.6 支撑高度 +0.04 板厚 +1.2 防护高度），宽度 4m，长度 5m。

3）遵循“先上后下、先支后拆、后支先拆”原则，先拆上弦支撑，再拆下弦模板；先松顶托，再拆模板方条，最后拆内架钢管；夹层清理完成后再拆下弦高支模。

4）支架拆除从一端向另一端、自上而下逐层进行，严禁上下同时作业；通长水平杆、剪刀撑需拆至对应立杆时方可拆除，保障拆除稳定。

4.2.8 隔板间拉筋焊接

上下弦隔板间模板及支撑体系全部拆除并清理干净后，进行隔板间拉筋焊接，以增强结构整体性，保障受力传递顺畅。拉筋采用 Φ12 光圆钢筋，双面搭接焊，焊缝长度 120mm。

5 质量控制

1）建立全过程质量管控体系，加强材料进场与隐蔽工程验收，严格执行自检、互检、交接检制度，上道工序不合格不得进入下道工序。

2）重点检查内容：模板支撑配件符合设计；脚手架立杆、水平杆间距及剪刀撑设置规范，连接紧固；连墙点质量达标；基础满足承载要求；门架式斜撑连接可靠；钢筋规格、间距、保护层符合设计；施工荷载控制在允许范围，严控混凝土堆积高度。

6 安全施工措施

1）高支模搭设前进行安全技术交底，全过程设警戒区，专职安全员值守。

2）下弦模板安装前搭设水平防坠安全兜网，现场设安全通道，屋面周边设防护栏杆与密目安全网。

3）高处作业严禁抛物，材料工具妥善放置，配备防坠措施。

4）密闭空间施工配备监测、通风、照明等设备，落实应急措施，安全员全程监护。

5）焊工动火作业履行审批手续，落实防火措施。

7 结语

本文针对某粮食储备库 2# 平房仓 14.2m 超高、40/50mm 超薄、19.68m 大跨度弧形上下弦屋面板整体浇筑难题，通过工艺优化与技术创新，形成“跳仓法 + 门架式斜支撑 +BIM 技术” 成套施工工艺，有效降低施工成本、缩短工期，屋面成型质量一次验收合格率 100%，成功攻克超薄弧形屋面板整体浇筑技术难题。本技术形成标准化操作要点，支撑体系安全可靠、施工高效灵活，为同类大跨度弧形薄壁混凝土结构施工提供重要实践依据与技术参考，具备较高工程推广价值。

参考文献

[1] 国道明. 基于BIM和智能优化算法的钢筋排布策略研究[J].办公自动化,2026,31(01):116-118.

[2] 谢文. 圆筒仓顶组合桁架伞型斜屋面模板支撑施工技术研究[J].中国建材,2023,(07):122-124.

[3] 张勇,王永明,王春伟,等. BIM技术在国内外项目管理中的应用现状与发展趋势[J].广东水利电力职业技术学院学报,2023,21(01):42-46.

[4] 陈卫. 建筑施工扣件式钢管脚手架常见问题分析[J].建筑技术,2015,46(S1):70-72.

[5] 明贵波. 高大混凝土结构模板支撑体系设计与施工[J].四川水泥,2025,(12):55-57+60

[6] Fubin Z ,Yebo S ,Li T , et al. Research on Self-adaptive Reinforcement Plug-in of Prefabricated Concrete Component Based on BIM[J].KSCE Journal of Civil Engineering,2024,28(7):2588-2599..

[7] 周笋,李国胜,王雪生,等. 超长大体积混凝土跳仓法工程设计中的关键问题[J].建筑结构,2019,49(18):120-125+130.

[8] 虞伟江.建筑施工中混凝土浇筑质量控制要点分析[C]//河南省豫商经济文化交流协会.2025中国建筑经济研讨会科技与管理分论坛论文集. 浙江振杭建设工程有限公司;2025:116-118.