

工具式大跨度钢箱梁临时支架技术探讨

李峰 陈赞赞 高明祥 王明江

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011

[摘要] 本技术针对跨铁大跨度结构钢箱梁现场安装时所使用的临时支架存在的周转性差、结构笨重、材料浪费、现场施工困难等问题, 提出一种可调整拼装工具式临时支架技术。现场分析支架的结构理论、设计原理及关键技术, 结合 Midas Civil 及 BIM 结构模拟计算软件进行数据分析, 并结合现场工程应用案例, 验证该技术在安全性、经济性等方面的优势。研究表明, 可调整工具式拼装支架能有效满足不同工况下的钢结构临时支架施工需求, 提升施工效率、降低施工成本, 为类似工程提供参考依据。

[关键词] 大跨度钢箱梁; 临时支架; 工具式; 计算机软件; 施工

DOI: 10.33142/ec.v9i5.19652

中图分类号: U448.213

文献标识码: A

Discussion on Temporary Support Technology for Tool Type Large-span Steel Box Girder

LI Feng, CHEN Zanzan, GAO Mingxiang, WANG Mingjiang

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract: This technology proposes an adjustable assembly tool type temporary support technology to address the problems of poor turnover, bulky structure, material waste, and difficulty in on-site construction of temporary supports used in the installation of large-span steel box girders. On site analysis of the structural theory, design principles, and key technologies of the bracket, combined with Midas Civil and BIM structural simulation calculation software for data analysis, and combined with on-site engineering application cases, to verify the advantages of this technology in safety, economy, and other aspects. The research results indicate that the adjustable tool type assembly bracket can effectively meet the construction needs of temporary steel structure brackets under different working conditions, improve construction efficiency, reduce construction costs, and provide reference for similar projects.

Keywords: large span steel box girder; temporary bracket; tool based; computer software; construction

引言

通常在大跨度钢箱梁吊装施工过程中, 钢箱梁固定临时支架是保证梁体安装过程中的稳定性、便于构件转运、现场操作及控制钢箱梁线形的核心体系。传统钢箱梁临时支架多为定制结构, 存在以下问题: 一是定制结构多为现场临时设计加工制作, 其重复使用率较低, 造成大量的材料浪费, 增加项目成本; 二是搭设参数固定, 优化困难, 适配性差, 难以适配周围地形多变、梁体线形复杂环境; 三是临时支架安装及拆除作业效率低, 且安拆作业安全风险大。

随着工程领域模块化、工厂化、标准化等理念的推广, 可调整工具式、模块化临时支架的需求逐渐成为研究重点。此类支架通过标准化、模块化的构件组合与可调节节点设计, 实现支架周转性和匹配性, 既能降低施工成本, 又能提升临时支架周转灵活性。下面结合工程实践, 系统、详细探讨该可调整工具式钢箱梁临时支架的技术特点、设计

方案及应用效果。

1 工程概况

本工程处于新疆石河子境内, 路线在 K8+595.51 处跨越铁路, 进行交叉, 跨径采用 $3 \times 25 + 3 \times 25 + 4 \times 25 + 4 \times 25 + 50 + 4 \times 25 + 4 \times 25 + 4 \times 25 + 4 \times 25 + 25\text{m}$, 第一象限角为 115° , 桥长 805.6m: 上部结构主跨采用 50m 钢混组合梁, 其他跨径采用 25m 装配式预应力混凝土简支小箱梁、桥面连续; 50m 钢-混组合梁, 桥面板顶宽 12.5m, 设 1.5% 的单向横坡。组合梁采用双箱单室槽型结构, 钢混梁高度为 2.5m, 钢梁高 2.15m, 单箱底宽为 3.5m, 两箱中心线 6m, 钢箱底板厚度 36mm, 腹板厚度为 20mm, 上翼板宽为 0.7m, 钢板厚度 36mm, 翼板顶面设剪力钉。在底板上设 3 道高 200mm 纵向加劲肋, 在腹板上设 4 道高 200mm 纵向水平加劲肋, 在钢箱内设横隔板, 钢板厚 14mm。

钢箱梁总体安装方案: 本工程钢箱梁安装采用临时支

架法安装。通过起吊设备按各节段顺序架设至临时支架上，调整拼装节段几何尺寸、高程、线形等，经检查合格后，进行下一道工序，然后进行现场焊接，最终焊接成整体。

第一阶段：组合梁均在厂内制造成立体分段，采用“正造法”（分段总装时，以底板面为胎架面进行“正造”）。“长线法全匹配”制造，总装胎架设置横坡，纵向两端标高保持水平放置，整联纵、横向匹配制造；分段在厂内完成喷砂、涂装（外表面在厂内涂装一道面漆，另一道面漆在安装完成后涂装，内表面、桥面在厂内涂装完成，工地损坏位置补涂）后发运至现场。

第二阶段：钢箱梁采用一台不小于 650t 汽车吊（根据现场最不利工况）直接吊装至桥位成桥，并在支架上进行精调及环缝、纵缝的焊接及栓接（图 1）。

2 可调整工具式临时支架的结构组成与设计原理

2.1 工艺流程

工艺流程如下：施工准备→基础施工→钢格构件加工→调节系统安装→连接与加固→观测检查→支架拆除（运输）。

2.2 结构组成

2.2.1 施工准备

熟悉图纸，认真勘查现场工况，复核相关数据，应用 Midas Civil 等 BIM 结构模拟计算软件对支架进行设计和布置。可调整工具式临时支架采用“模块化拼接+多级调节”设计。

2.2.2 基础模块

以主线桥支架体系为例进行结构分配，按独立基础承受 4 根钢管立柱传下来的支反力进行独基与地基承载力的验算，修正后的地基承载力特征值按 150 KPa 考虑。支架处的地面基础应进行平整、碾压、硬化，以满足组合梁整个架设过程中，基础不发生塌陷或较大的沉降的要求。单个支架基础碾压区域为 $3.5 \times 5.5\text{m}$ ，混凝土硬化厚度为 0.5m，混凝土采用 C30，在底部铺设一层钢筋网，钢筋网采用直径 14mm、间距 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 的钢筋。钢管桩与混凝土基础连接方式采用预埋件连接（图 2）。

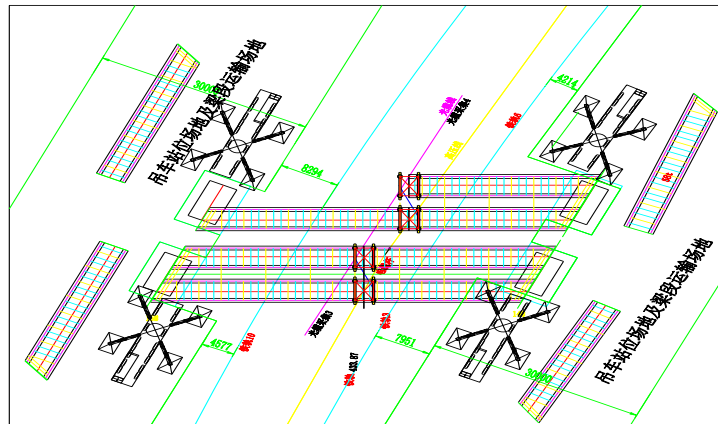


图 1 平面布置示意图

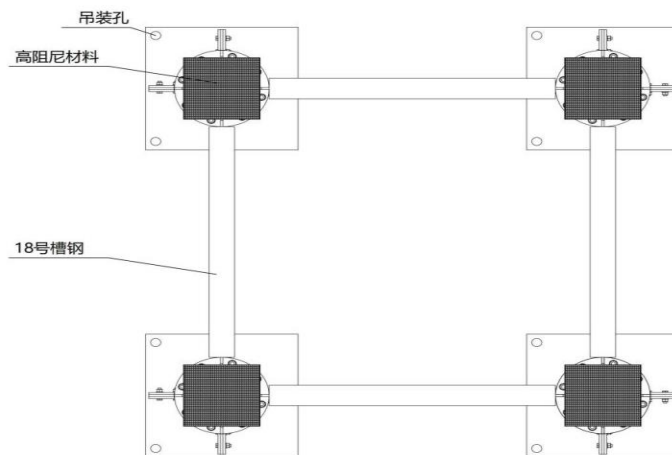


图 2 基础示意图

包括预制混凝土承台或型钢底架，底部设调平螺栓，用于适应地基高差（调节范围±100mm）。底部基础采用预制混凝土承台+预埋锚栓组合，可根据空间高度动态调整整体高度。满足地基承载力要求。基础支座采用可调铰支座，安装方便，并达到荷载应力分解的目的。

2.2.3 钢格单元

钢格单元构件由钢管、万向杆件、槽钢与钢板焊接组装而成，每个单元由标准节段下料加工，组装完成。其中一个单元立柱采用4根Φ300、厚10mm的钢管桩设置，单根钢管桩承受760KN荷载，立柱连接采用法兰方式竖向对接，交叉连接采用万向杆件和16号槽钢搭接。钢管立柱顶部封板采用12~14mm厚钢板，以实现受力均匀分解。该单元由高强度钢管标准节通过法兰盘与螺栓快速拼接而成，单节高度可定制（一般1.5~2m，便于现场工作人员操作）。标准节外侧设导向与限位卡槽，用于安装横、纵向支撑梁。

底部调节模块：预埋可调集成万向铰节支座，底部采用活动万向铰支座结构，可实现倾斜角度调节（角度控制在±1.5°内），以方便钢箱梁的横、纵坡及曲线超高段调整。四周设置防滑橡胶垫或高阻尼材料并与定位挡板固定，确保钢箱梁按设计要求稳定放置，抵消弹性变形，缓解应力集中的破坏（图3）。

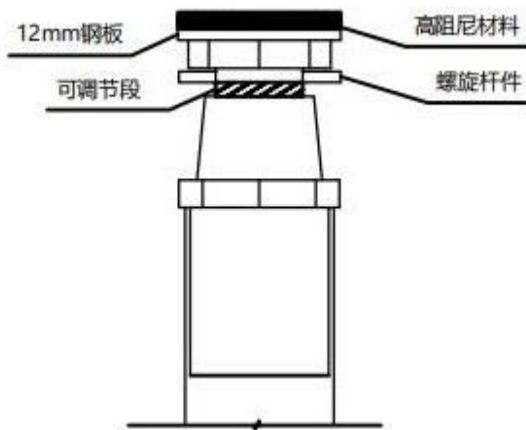


图3 底部可调铰支座

2.2.4 调节系统

(1) 高度调节：根据空间施工支撑高度和地基承载力（处治厚度），确定标准节段模数。非标准段采用20号工字钢拼装。配合液压顶升底座采用自锁式螺旋千斤顶系统，提供0~20cm粗调范围，进行调整。顶部模块由液压数控千斤顶进行调控。实现±5mm精细配合找平。螺旋千斤顶调节支撑最终锁定定位（图4）。

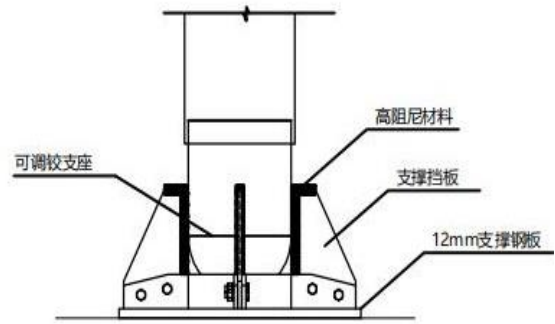


图4 顶部调节示意图

(2) 坡度补偿：通过激光水平仪实时监测钢箱梁底面倾角，通过底座万向活动铰支座实现自动调整支撑面角度，确保钢箱梁同支架接触面贴合率≥97%。采用螺旋连接杆件进行固定锁定，使整体钢结构固定到位。

(3) 变形补偿：通过高阻尼材料垫块和楔形钢板对钢结构（钢箱梁、支架）的弹性变形、沉降变形（如有）和钢箱梁应力变形（施工过程中如温度、动、静荷载、钢结构二次应力释放等）进行补偿。发生变形后，通过自锁螺旋千斤顶配合液压系统组合调整。

2.2.5 连接与加固

(1) 节点连接：杆件间连接采用防脱插销式快接结构，配合防松螺母与弹性垫圈，完成单节杆件组装。采用可调节杆件连接，通过销轴或螺栓快速锁定，纵向设置剪式连接杆件，确保结构整体性（图5）。

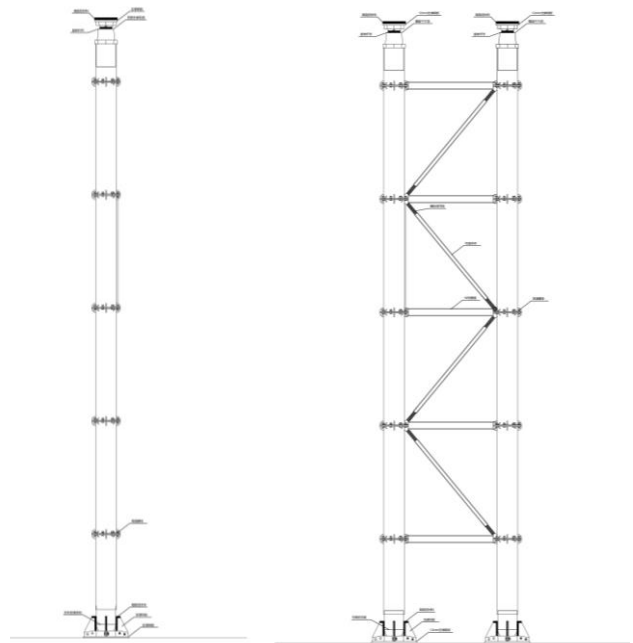


图5 组合结构、单根杆件示意图

(2) 纵、横向支撑：标准节间通过可伸缩式型钢梁连接，两端设法兰锁定装置，增强整体刚度。单元模块可进行平面剪刀形、立面对角连接。保证杆件拉、压应力体系状态（图6）。

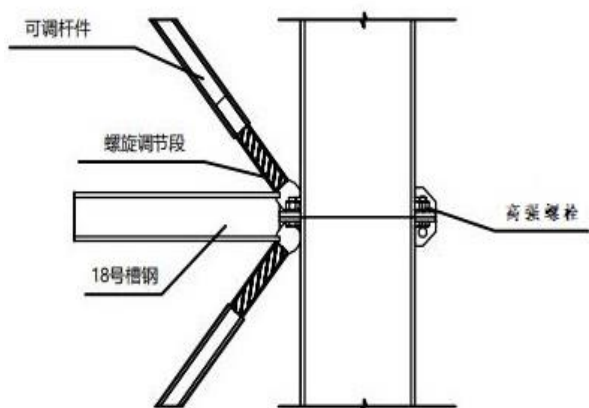


图6 节点连接示意图

①立杆件：采用 $\Phi 300 \times 10\text{mm}$ 无缝钢管，每节长度 $1.5 \sim 2\text{m}$ ，通过法兰盘高强螺栓连接，可根据高度需求增减节数（最大单元高度可达 12m ，用井字形搭设）。

②调节横杆：采用双拼 16 号槽钢，两端通过滑动套管与立柱连接，套管设刻度标尺，可横向调节间距（调节范围 $0.5 \sim 3\text{m}$ ）。

③顶托系统：由自锁式螺旋千斤顶（承载力 50t ）与弧形托座组成，托座顶面与钢箱梁底板弧度匹配，可纵向、竖向微调（竖向调节 $\pm 200\text{mm}$ ）。

④稳定系统：包括斜、纵向可调拉杆（ $\Phi 48 \times 3.5\text{mm}$ 钢管）和剪刀撑，通过销轴（或高强螺栓）与立柱连接，增强整体稳定性。

2.2.6 设置观测点

以图纸设计线性与预拱度为参考目标值，通过螺旋式千斤顶分级微调。根据多点设计的坐标值，多点同步复核检查，确保相邻支点高差。锁定调节机构，在施工中随时进行调整防止施工中偏移。

2.2.7 临时支架拆除

全桥整体吊装并焊接完成，焊接无损检测全部验收合格后方可进行临时支架的拆除。结构拼装完成后，由于自重影响，临时支架支撑位置钢箱梁结构将会产生下挠问题。因此在进行卸载施工时，上顶螺旋支座配合微型液压千斤顶进行卸落。各节段按要求对称进行拆卸，遵循对称、分级、同步、缓慢原则，先对称落千斤顶、再拆分配梁、最后拆除标准节段。严禁单点卸载，避免钢箱梁受力变形。

卸落完成后采用运输车转移施工现场。

临时支墩拆除后，使用移动脚手架将临时吊耳拆除，并将钢箱梁涂层有损伤的部位修复并补涂完整，保证结构物防腐的整体性。

2.3 设计要求

(1) 标准化原则：所有构件按 GB/T 19001《质量管理体系》标准生产，杆件模块化。构件连接尺寸统一，确保不同批次构件可通用。

(2) 可调性设计：通过机械调节结构（螺栓、千斤顶、滑动套管）实现高度、间距、角度的多维调整，适配不同梁体高度、路线坡度等参数。

(3) 轻量化与高强度平衡：采用 Q355B 钢材，通过 Midas Civil 建立在有限元优化建立钢箱梁+临时支架的结构模型。分析钢箱梁各阶段组合变形值。以减少冗余重量，单根立柱自重较传统支架降低 20% 以上。

(4) 快速拆装：构件连接均采用螺栓或销轴，无需现场焊接，低碳环保，污染少，工人操作简单。单组支架（以 6m 跨度为例）安装时间 $\leq 4\text{h}$ 。

在钢结构单元中，隅撑是常用的平面外支撑形式。其设计需遵循“成对设置”原则：隅撑必须对称布置在工字形柱的腹板两侧，分别连接。其作用机理是将柱翼缘可能发生的平面外屈曲约束力，转化为轴向力，再通过系杆传递给整体的柱间支撑。

3 关键技术的实施

3.1 多维调节技术

(1) 竖向调节：支架顶端采用顶托螺旋千斤顶配合模块节段立柱组合，实现 $0.5 \sim 12\text{m}$ 设计高度范围内的连续可调，调节精度达 1mm ，满足钢箱梁梁体预拱度、路线坡度设置需求。

(2) 横向调节：通过标准模块横向滑动套管的正反对称齿轮调节功能以及齿条辅助定位进行横向调节，拼装速度较传统螺栓调节提升 3 倍，且调节范围更加精确稳定。

(3) 坡度调节：顶托弧形托座设不同角度规范范围内可拆卸不锈钢楔形钢板垫片，并结合高阻尼材料进行坡度调节；在提升接触面抗滑系数的同时，缓冲钢箱梁变形应力，并适应曲线钢箱梁的横向坡度（最大坡度 5% 以内）。

3.2 模块化连接技术

(1) 立杆可采用高强螺栓、法兰盘连接

上下模块法兰盘接触面平面度 $\leq 0.3\text{mm}$ ，螺栓孔采用铰制孔，螺旋采用高强螺栓，并采用垫片进行微调，确保立柱垂直度偏差 $\leq 1/1000$ 。现场安装高效便捷。

(2) 销轴连接

横向杆件与支架立柱连接处采用 45 号钢销轴（直径 30mm），抗剪强度 $\geq 300\text{MPa}$ ，支架拆装时可通过专用工具快速插拔。

(3) 智能监测集成

在顶托和立柱关键部位安装应力传感器（精度 $\pm 1\%FS$ ），实时监测施工过程中临时支架荷载、温度变化、应力变化、支架结构变形等，当应力等指标超过设计值 80% 时自动预警，提升安全及质量管控水平，降低安全事故发生率，保证钢箱梁结构的使用寿命。

4 受力分析与验证

4.1 荷载计算一般要求

依据《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020)，GB 50007-2011《建筑地基基础设计规范》支架承受荷载包括：

(1) 恒载：临时支架自重（由程序自动计算），组合梁重（两排支架间桥梁最大重量）。钢箱梁自重（取 25kN/m ），支架自重（取 5kN/m ）；

(2) 活载：取 1.5kN/m^2 ，按桥梁上部面积换算为集中荷载，加载至调整节上；

(3) 附加荷载：风载：验算风力取工程所在地 10 年一遇，相应风速为 25.6m/s 。温度应力（ $\pm 20^\circ\text{C}$ 温差）。

4.2 有限元分析

采用有限元计算软件 Midas Civil 进行建立三维模型，验算支架结构的强度、刚度、稳定性是否满足要求，并根据《钢结构设计标准》对格构式支架结构的整体稳定性进行计算。

(1) 支架强度验证：支架立柱受力最大应力 185MPa 小于 Q355B 钢材设计值 295MPa ，横杆最大应力 162MPa 小于 Q355B 钢材设计值 295MPa ，支架强度验收满足要求。

(2) 支架刚度验证：钢箱梁跨中最大挠度 12mm 小于规范要求 $L/400$ （ $L=6\text{m}$ 时允许 15mm ），支架刚度验收符合规范。

(3) 支架稳定性验证：支架杆件立柱长细比 $\lambda=65$ 小于规范要求 $[\lambda]=150$ ，支架整体稳定系数 $\phi=0.85$ ，支架稳定承载力满足要求。

表 1 各阶段支架的应力和变形最大值

阶段	最大应力/MPa	最小应力/MPa	变形值/mm
1	113.34	-58.72	5
2	121.96	-61.14	4
3	121.97	-61.14	2

通过变形整体趋势可以看出，单侧加载的格构柱较对称加载有明显的偏向变形，表明对称加载对于位移控制更有利。通过计算可知，阶段 1、2、3 分别较单侧受荷的变形值大，且最大变形值 $5\text{mm} \leq L/400 = 7.5\text{mm}$ ，整体支架满足刚度设计要求。

表 2 各阶段单根钢管计算结果

阶段	最大轴力/kN	最大弯矩/(kN.m)	稳定应力/MPa
1	427.4	-6.4	84.67
2	442.10	7.03	87.96
3	442.10	7.03	87.96

通过提取单根钢管的轴力和弯矩，对各阶段单根钢管进行稳定性分析，得出最大稳定应力为第 2、3 阶段，小于规范规定的限值 150N/mm^2 ，因此整体支架的稳定性满足设计要求。

5 结束语

本技术通过跨铁项目的应用实践以及配合 Midas Civil 等 BIM 结构模拟计算软件仿真分析，采用可调工具式临时支架技术表现出以下显著优势：模块化、标准化设计，增强周转灵活性，高重复使用率；优化支架结构设计，适用于不同桥梁跨度、坡度范围宽；支架安拆施工效率高，低碳、环保、节能。

[参考文献]

[1] JTG/T 3650—2020, 公路桥涵施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2020.
 [2] GB 50017—2017, 钢结构设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
 [3] 孙宏图,程德刚,周爽爽.临时支撑体系在跨既有线钢箱梁施工中的应用[J].住宅与房地产,2023(17):47-49.
 作者简介:李峰(1977—),湖南益阳人,本科,工程师,主要从事施工现场的管理技术工作。