

# 大跨度箱梁顶推施工关键技术研究进展

文 / 孙良博 中建八局第一建设有限公司  
 刘文龙 中建八局第一建设有限公司  
 连瑞扬 中建八局第一建设有限公司

**摘要：**大跨度箱梁顶推施工技术因其高效、环保等优势被广泛应用于各类复杂工程中。本文综述了顶推施工的基本原理与常用方法，归纳了近年来在变截面控制、滑道减阻、临时支撑优化等关键技术方面的研究进展，以及针对顶推过程中结构受力特征及稳定性影响因素的分析研究。同时，总结了数值模拟与现场监测在施工安全控制中的应用，为顶推技术的发展与工程实践提供了参考。

**关键词：**大跨度箱梁；顶推施工；受力分析；施工监测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.013

## 引言

桥梁的顶推施工具有对现有交通和周边环境干扰小、跨越能力强、模板周转率高等特点，已广泛应用于跨越铁路、河流及其他障碍物的桥梁建设中。例如，中国的济南黄河大桥是一座具有悬吊加劲弦杆的连续钢桁梁桥，其施工采用了顶推法；美国的爱荷华河大桥则在钢工字梁桥的建设中采用了相对特殊的“分段下沉顶推法”；乌长高速主线桥—汪家寨大桥利用顶推技术完成施工<sup>[1]</sup>；澳门大桥采用多点同步曲线顶推施工方案解决了复杂曲线的钢箱梁施工<sup>[2]</sup>。顶推法在全球范围内得到广泛应用。

## 一、主要工作原理

箱梁顶推施工是一种利用千斤顶施加水平推力，将在桥台或临时平台上分节预制或拼装完成的箱梁沿滑道逐段推送至设计位置的桥梁施工方法。该技术依托临时滑移系统实现梁体的连续移动，避免了大面积支架搭设，具有施工效率高、对地形干扰小等优点，广泛应用于跨越河流、道路或地形复杂区域的桥梁工程中。

根据顶推方式的不同，现有方法主要分为拖拉式顶推与步履式顶推两类。拖拉式顶推技术通过将钢绞线锚固于箱梁底部，并利用设置于临时支墩上的千斤顶对钢绞线施加牵引力，使梁体沿预设滑道移动至设计位置。该方法施工工艺较为简便，适用于工期紧张或施工条件受限的场景，但在顶推过程中，临时墩顶需承受较大的水平力，对墩柱结构造成一定不利影响，同时易导致梁底磨损。如图1所示，步履式顶推技术则采用一体化装置，其顶推过程通过竖向千斤顶将梁体顶起，水平千斤顶推动滑块前移，进而带动梁体前进；随后竖向千斤顶回落使梁体落在垫梁上，滑块复位，完成一个工作循环。该技术适应性较强，可满足多种桥型与复杂线形的施工

需求，系统采用全液压驱动，具有结构紧凑、控制平稳、液压保护完善等特点，整体施工安全性较高，已在实际工程中得到广泛应用。

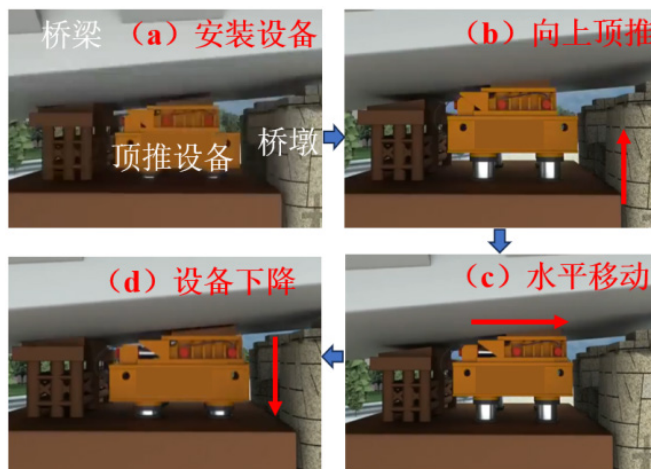


图1 桥梁顶推过程

## 二、顶推技术与方法

在面对不同环境、荷载等条件，学者们对于不同的顶推技术与方法开展了有针对性的研究。有学者针对双塔双索面交叉索斜拉桥，采用步履式顶推技术，将边跨钢梁、合龙段和结合段进行一体化同步顶推，避免了传统工艺中需单独设置的边跨合龙操作，提升了施工效率并简化了工序安排。马琼锋等<sup>[3]</sup>针对变截面钢箱梁顶推施工中的技术瓶颈（如图二所示），研发了适用于变高截面构件的顶推施工技术。通过设计具备多自由度调节能力的顶推设备及变高调节装置，实现了变高截面钢箱梁的高精度线形控制。与此同时，引入自适应控制策略与智能化监测系统，显著提升了多点顶推的同步协调能力与施工过程的整体安全性。边晓峰等<sup>[4]</sup>以长垣—修武高速某主线工程为案例，针对钢箱梁顶推过程中滑动摩擦力较大的问题，提出了滑道优化措施：在滑道梁顶部

粘贴一层厚度为 4mm 的不锈钢板，并在其与钢箱梁之间设置厚度为 20 mm 的聚四氟乙烯滑板，以形成低摩擦滑移界面。田浩亮等<sup>[5]</sup>在变高度截面钢箱梁的顶推施工中，为适应梁底纵向坡度的变化，设计设置了楔形块结构，并在其与梁底之间铺设厚度为 1 cm 的橡胶垫块，以增强接触面的摩擦力，确保顶推过程中的受力稳定性与位移控制精度。陈军刚等<sup>[6]</sup>在开展最大跨径达 110 m 的步履

式顶推施工中，通过设置临时塔及临时拉索，并在梁体尾部施加配重，以实现临时塔受力的有效平衡，从而确保施工过程中结构的稳定性。易善德等<sup>[7]</sup>则将拼装平台与提梁系统集成设置于主桥与引桥之间的伸缩缝位置，创新性地实现了最大跨度达 428m 的三跨自锚式悬索桥两侧双向同步顶推，为大跨度桥梁顶推施工提供了新的技术路径。

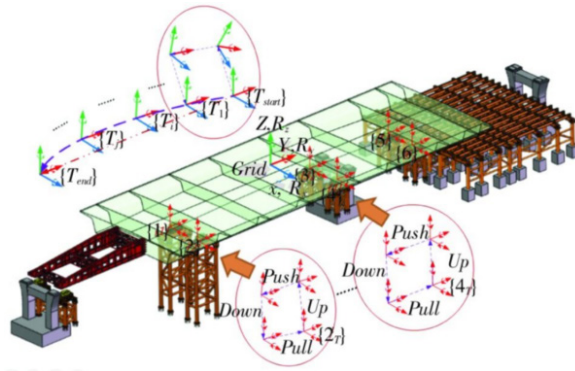


图 2 钢箱梁顶推路径规划<sup>[3]</sup>

面对不同桥梁结构形式和施工条件，学者们提出了多种顶推技术与优化措施，显著提升了施工效率与结构安全性。这些研究为顶推施工在复杂工况下的推广应用提供了有力的技术支撑。

### 三、顶推过程中的受力分析

在顶推施工过程中，结构的受力状态复杂多变，涉及导梁、主梁、临时支点以及支座系统等多个关键部位的应力与变形响应。为确保施工安全性与结构稳定性，不同学者从理论分析、数值模拟与实测监控等多方面开展了深入研究。

Zheng 等<sup>[8]</sup>基于长沙福元路大桥工程，如图 3 所示，采用有限元软件 Midas/Civil 对多孔梁拱组合桥进行了整体顶推过程的模拟，分析了施工各阶段的结构受力演化规律，并验证了顶推方案的合理性。范立朋等通过数值模拟与实测对比，在导梁顶端及根部、钢箱梁跨中与支点等关键位置布设监测点，对应力、挠度、偏位和支反力进行了全过程观测，结果显示实际施工状态与理论模型吻合较好，结构处于安全可控状态。为研究导梁设计对施工受力的影响，杨湛<sup>[9]</sup>聚焦小曲率半径钢箱梁桥，指出曲率减小时导梁前端挠度略有增加，而扭转角增大更为明显，同时曲线梁的高应力区域更集中于箱梁内侧，横隔板受力明显增大。Huang 等<sup>[10]</sup>以许昌市一座小曲率钢箱梁的步履式顶推项目为研究对象，利用有限元建立施工模型，从整个顶推过程选取五种最不利工况，分析钢箱梁桥的内力和位移状态，并与现场监测值进行对比。结果表明，钢箱梁及导梁的内力与挠度均在安全施工范

围内；在最大悬臂工况下，导梁应力显著，但最大应力并非出现在导梁最大悬臂阶段。进一步地，曹东利等<sup>[11]</sup>以步履式顶推曲线钢箱梁为例，系统分析了横桥向倾覆、纵桥向倾覆及局部屈曲失稳三种失稳模式，指出其主要影响因素包括曲率半径、横纵向支撑布置、主梁截面形式及荷载条件等。其中，横向支撑间距和风荷载对横桥向稳定性影响较大，而纵向布置方式则主导纵桥向失稳风险。

综合上述研究，受力分析在顶推施工中的关键作用不仅体现在结构安全评估上，也为导梁设计、支点布置及施工参数优化提供了理论依据和实践指导。通过数值模拟与实测数据相结合的方式，有效提升了顶推施工的预测能力与工程可控性。

### 四、顶推施工监测

在箱梁顶推施工中，监测工作是保障结构安全与施工质量的重要手段。由于顶推过程中梁体处于持续受力与运动状态，关键位置的应力、位移、挠度以及支座反力等参数会随着施工阶段发生显著变化。因此，对顶推过程进行实时监测不仅有助于掌握结构响应特征，及时发现异常情况，防止结构失稳或损伤，还可为施工过程优化与数值模拟结果的验证提供重要依据。范立明等在研究导梁及钢箱梁顶推施工过程中，基于数值模拟结果，对导梁顶端与根部、钢箱梁支点及跨中等关键截面布设监测点，开展了应力、挠度、偏位及支反力的全程监控。通过将各施工阶段的实测数据与模拟结果进行对比分析，验证了模型的准确性。进一步明确了顶推方法的合理性，

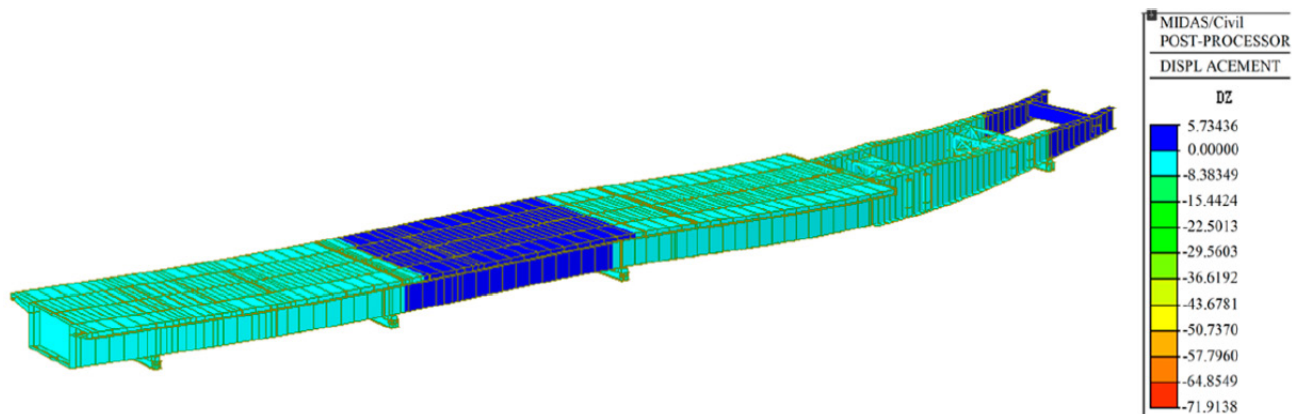


图3 Midas/Civil 中大跨度钢箱梁变形分析<sup>[11]</sup>

导梁与钢箱梁的受力与变形处于合理范围内，整体结构状态安全可控。Xie 等<sup>[12]</sup>提出了一种基于机器视觉的桥梁顶推位移实时监测方法。该方法设计了一种交叉目标，通过训练目标检测模型和多目标跟踪模型，实现了在箱梁顶推动态过程中对多个目标的高效检测、识别和跟踪。综上所述，箱梁顶推施工监测技术正从传统的传感器测量向融合机器视觉等智能感知方向发展，实现了多目标、多参数的实时跟踪与智能识别。这种多源数据融合的监测体系不仅为验证数值模型、优化施工工艺提供了坚实的数据支撑，更推动了桥梁顶推施工向智能化、精细化的更高水平迈进。

### 结语

桥梁顶推施工技术具有施工高效、适应性强等优点，已在多个复杂工程中得到广泛应用。通过不断优化顶推方法、结构与监测手段，可有效提升施工的安全性与精度。未来，结合智能监测与精细化控制技术，顶推施工将在更多复杂桥型中展现其应用潜力。

### 参考文献

[1] 何德. 公路钢箱梁顶推施工方法在汪家寨大桥工程的应用[J]. 建筑技术开发, 2025, (06): 99-101.  
 [2] 张斌. 复杂曲线钢箱梁顶推施工技术[J]. 天津建设科技, 2025, (02): 34-38.  
 [3] 马琼锋, 刘海庆. 变高截面钢箱梁顶推技术研究[J]. 中外公路, 2019, 39(05): 149-152.  
 [4] 边晓峰, 代传广, 李征. 大跨宽截面连续钢箱梁跨京港澳高速顶推施工关键技术[J]. 建筑技术, 2025, (09): 1077-1081.

[5] 田浩亮, 钱克训, 孙宁. 基于顶推施工的变截面钢箱梁设计[J]. 公路, 2023, 68(07): 163-167.

[6] 陈军刚, 王学勇, 周洲, et al. 大跨钢-混凝土组合箱梁无支架顶推技术与控制计算[J]. 中外公路, 2020, 40(04): 137-141.

[7] 易善德, 王德怀, 文定旭, et al. 双向超宽变腹板钢箱梁顶推施工工艺[J]. 公路交通科技, 2021, 38(S1): 112-117.

[8] Zheng J, Zhu H, Destech Publications I. Incremental Launching Technology and Mechanical Analysis of Beam-arch Composite Bridge[C]. International Conference on Civil Engineering and Rock Engineering (ICCERE), 2015: 255-262.

[9] 杨湛. 曲线钢箱梁桥顶推施工过程力学性能研究[D]. 2019.

[10] Huang H, Xue X, Ma H, et al. Construction Control Technology and Monitoring Analysis of Walking Incremental Launching Construction of Small-Curvature Steel Box Girder Bridges Across Expressways[J]. Applied Sciences-Basel, 2025, 15(2).

[11] 曹东利. 步履式顶推曲线钢箱梁风险与控制研究[D]. 2020.

[12] Xie H, Liao Q, Liao L, et al. Machine Vision-Based Real-Time Monitoring of Bridge Incremental Launching Method[J]. Sensors, 2024, 24(22).

作者简介: 孙良博(1989.10--), 男, 满族, 辽宁省大连市金州区, 本科, 中级工程师, 土木工程。