

跨铁桥梁转体施工技术要点分析

胡江文

郑州铁路工程有限公司 河南 郑州 450000

摘要：跨铁桥梁转体施工技术通过桥墩或桥台预设转动轴心，将桥梁分为上下两部分，利用牵引系统驱动上部结构旋转就位，有效避免对铁路运营的干扰。技术核心包括转动体系设计、摩擦力控制与动力平衡调节，按转动方向分为平转法、竖转法及平竖结合法。关键技术涵盖转动支承、球铰系统优化、牵引动力选择与结构稳定性控制，施工时需加强试转检测与风险防控，确保施工安全与精度。

关键词：跨铁桥梁；转体施工；技术要点

引言：随着铁路交通网络的密集化与桥梁工程跨度的增大，跨铁桥梁建设面临施工空间受限、对铁路运营干扰大等挑战。传统吊装工艺易引发铁路停运风险，而转体施工技术通过“空中转体、地面预制”模式，实现了高效、精准、低干扰的施工目标。该技术以结构科学划分、动力平衡控制为核心，结合平转、竖转及平竖结合等分类方法，有效解决了复杂地形与大跨径桥梁的施工难题，成为现代跨铁桥梁建设的首选方案。

1 跨铁桥梁转体施工技术的核心原理与分类

1.1 技术原理

(1) 跨铁桥梁转体施工以桥墩或桥台作为稳定转动轴心，将桥梁整体结构科学划分为上下两部分。下部为固定的基础与转动支撑体系，上部为待转的主梁、拱肋等承重结构。施工时借助牵引系统（如液压千斤顶、钢绞线牵引装置）提供动力，驱动上部结构绕轴心，旋转直至精准抵达设计位置并完成连接，有效解决了传统吊装施工对铁路运营的干扰问题，实现“空中转体、地面施工”的高效模式。(2) 转动体系设计是技术核心，需通过三维建模与力学计算，确保轴心承载力、转盘刚度满足转动需求，常用混凝土转盘与钢支座组合结构；摩擦力控制通过在转盘接触面铺设聚四氟乙烯板、涂抹润滑脂等方式，将摩擦系数降至0.05以下，减少牵引动力消耗；动力平衡调节则利用实时监测系统（如位移传感器、应力监测仪），动态调整两侧牵引力度，避免上部结构因重心偏移出现倾斜，保障转体过程平稳安全。

1.2 技术分类

(1) 平转法适用于大跨径连续梁桥、刚构桥等，转动轴心垂直于桥轴线，以上下转盘的相对滑动实现水平旋转。施工时先在桥梁两侧台后搭设支架浇筑上部结构，再通过对称牵引使结构绕轴心转动至跨铁位置，具有施工精度高、对铁路运营影响小的优势，已广泛应用

于跨高速铁路桥梁工程。(2) 竖转法主要用于肋拱桥、桁架拱桥，针对拱肋结构重量大、吊装难度高的特点，先在桥孔两侧低位浇筑拱肋半结构，再利用塔架、卷扬机等设备将拱肋竖向提升至设计高程，最后进行合龙。该方法无需大型吊装设备，适用于峡谷、深沟等复杂地形的跨铁桥梁施工。(3) 平竖结合法是针对斜拉桥、组合体系桥梁等复杂结构的创新技术，施工中先通过平转调整桥梁水平位置，再通过竖转实现高程微调，或先竖转拱肋、后平转主梁，结合两种方法的优势，解决了复杂结构跨铁施工的空间位置控制难题，为特殊跨径跨铁桥梁建设提供了技术支撑^[1]。

2 跨铁桥梁转体施工的关键技术要点

2.1 转动系统设计与优化

2.1.1 转动支承系统

(1) 磨心支承作为核心受力部件，其中心撑压面需承载桥梁转体过程中的全部重量，因此对接触面加工精度要求极高。通常采用精密数控机床对撑压面进行抛光处理，表面粗糙度需控制在 $Ra0.8\mu m$ 以下，同时均匀涂抹由二硫化铜与黄油按3:7比例调配的润滑剂，使摩擦系数稳定在0.03-0.06区间，减少转体时的动力损耗。(2) 撑脚支承通过沿环道均匀布置的4个及以上撑脚，形成多点支撑结构，显著提升桥梁抗倾覆稳定性。施工中需采用激光平整度检测仪对环道进行全程监测，确保环道表面平整度误差 $\leq 1mm$ ，避免撑脚受力不均导致结构变形；同时在撑脚底部安装聚四氟乙烯滑块，降低撑脚与环道间的摩擦阻力，保障转体顺畅^[2]。(3) 混合支承结合磨心与撑脚的优势，在磨心承受主要荷载的同时，通过保护撑脚分散局部应力，适用于超静定桥梁结构。设计时需通过有限元分析软件模拟不同工况下的荷载分布，精准计算保护撑脚的承载比例，一般控制在总荷载的15%-20%，防止因受力不均引发结构开裂；施工中需

实时监测磨心与撑脚的压力变化,动态调整支撑状态。

2.1.2 球铰系统

(1) 上、下球铰采用高强度铸钢整体铸造,球面曲率半径需根据桥梁转体角度和荷载精准计算。在两球铰接触面嵌入厚度5-8mm的聚四氟乙烯板,其表面加工有菱形储油槽,可储存润滑剂,进一步降低摩擦系数;同时通过定位钢销贯穿上、下球铰中心,确保旋转轴心偏差 $\leq 2\text{mm}$,保障转体过程中结构不发生偏移。(2) 以某跨高速铁路连续梁桥为例,该桥转体重量达1.8万吨,采用直径3.2m的球铰系统,球铰球面经渗氮处理,表面硬度达HRC50以上,承载力高达2.5万吨。转体施工中,通过球铰实现120°角度旋转,全程旋转时间仅1.5小时,转体就位后轴线偏差仅3mm,满足高速铁路桥梁施工精度要求。

2.2 牵引系统与动力控制

2.2.1 牵引设备选择

(1) 对于转体重量 < 5000 吨的中小吨位桥梁,通常采用卷扬机+滑轮组组合系统。卷扬机选用慢速卷扬机,额定拉力根据转体荷载计算确定,一般预留20%-30%的安全系数;滑轮组采用省力滑轮组,通过调整滑轮组倍率,降低卷扬机输出功率需求,同时配备电磁制动装置,确保转体过程可随时暂停,提升施工安全性。

(2) 大吨位转体(重量 ≥ 5000 吨)优先采用液压千斤顶同步系统,该系统由多台液压千斤顶、同步控制系统及位移传感器组成。千斤顶选用自锁式液压千斤顶,单台额定顶推力根据总牵引力均匀分配,同步控制系统通过位移传感器实时采集各千斤顶位移数据,控制精度达 $\pm 0.5\text{mm}$,实现多台千斤顶同步发力,避免因受力不均导致结构扭转^[3]。

2.2.2 动力平衡调节

(1) 转体启动阶段,由于静摩擦力较大,启动摩擦系数需按0.06-0.08设计,通过增大初始牵引力确保结构顺利启动;当转体进入匀速阶段后,摩擦系数逐渐降至0.03-0.05。若遇到轨道局部阻力增大等特殊情况,可通过临时增加配重或提高润滑剂浓度,将摩擦系数临时增至0.1,保障启动动力充足。(2) 采用推力与拉力结合的复合动力模式,在桥梁两侧对称布置液压千斤顶提供推力,同时通过牵引索连接桥梁与反力座提供拉力,形成双向受力体系。施工中需通过力传感器实时监测推力与拉力数值,确保两侧受力差 $\leq 5\%$,防止单侧受力过大导致桥梁结构失稳;当转体接近就位位置时,逐渐减小牵引力,利用惯性实现精准就位。

2.3 结构稳定性与安全控制

2.3.1 风荷载与振动影响

(1) 竖转法施工中,需结合桥梁所处区域的气象数据,通过风洞试验确定索塔高度对应的风振系数。一般要求索塔高度超过30m时,风振系数需按1.2-1.5取值;拱肋脱架阶段,需调整拉索水平角 $> 45^\circ$,此时拉索竖向分力占比显著降低,可有效减少拱肋竖向振动,避免拱肋与临时支架发生碰撞。(2) 平转法施工需实时监测悬臂端挠度变化,通过在悬臂端安装位移监测点,每5分钟采集一次挠度数据,当挠度变化量超过设计值的10%时,立即暂停施工并分析原因。同时密切关注风速变化,采用便携式风速仪每小时测量一次风速,当风速 $> 10\text{m/s}$ 时,停止转体作业并启用抗风缆绳固定桥梁结构,防止强风导致桥梁晃动。

2.3.2 临时支撑与加固措施

(1) 试转阶段在桥梁底部均匀布置临时砂箱支撑,砂箱采用钢板焊接而成,内部填充干燥河砂,砂箱高度根据桥梁底部高程确定,确保砂箱顶部与桥梁底部紧密接触。试转完成后,正式转体前需通过砂箱底部的泄砂孔缓慢卸载,卸载速率控制在每小时5-10mm,避免因卸载过快导致桥梁局部应力集中。(2) 转体到位后,需在30分钟内启动临时固定作业,首先焊接上下转盘预留的连接钢筋,钢筋焊接采用双面焊,焊缝长度不小于10d(d为钢筋直径);随后浇筑C50微膨胀混凝土对转盘间隙进行封固,混凝土中掺入膨胀剂,膨胀率控制在0.02%-0.03%,确保混凝土与转盘接触面紧密结合,防止雨水渗入影响转盘使用寿命^[4]。

2.4 合拢与体系转换技术

2.4.1 合拢精度控制

边跨合拢选择在夜间低温时段(通常为22:00-次日6:00)进行,此时环境温度稳定,混凝土收缩变形较小。合拢前需在合拢口两侧安装温度传感器,实时监测梁体温度变化,当温度波动 $\leq 2^\circ\text{C}$ 时开始浇筑合拢段混凝土,混凝土采用补偿收缩混凝土,初凝时间控制在6-8小时,确保混凝土在凝固过程中充分填充合拢间隙。中跨合拢采用顶推辅助工艺,通过在梁体两端设置液压千斤顶施加顶推力,顶推力根据梁体收缩量计算确定,一般为梁体自重的5%-8%,推动梁体缓慢靠拢,将合拢口间隙控制在20-30mm,最终合拢精度误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。

2.4.2 体系转换步骤

(1) 解除临时固结措施,先拆除临时支座与梁体间的连接螺栓,再通过千斤顶缓慢顶起梁体,使梁体与临时支座分离,分离过程中需实时监测梁体高程变化,确保梁体受力均匀;(2) 张拉后期预应力束,按照设计顺

序分次张拉纵向、横向预应力束,张拉控制力根据预应力损失情况进行修正,每束预应力束张拉完成后需进行锚固,锚固后预应力损失值不得超过设计值的5%;(3)拆除牵引系统,先拆除液压千斤顶、牵引索等设备,再清理转盘表面的润滑剂和杂物,对转盘进行防腐处理;(4)完成结构受力体系转换,通过监测梁体应力、位移数据,确认梁体由转体阶段的临时受力体系顺利转换为设计的永久受力体系,体系转换完成后,桥梁正式进入运营受力状态。

3 跨铁桥梁转体施工风险与应对策略

3.1 主要风险

(1)转动卡滞:多因转动系统接触面润滑不足、撑脚与环道卡顿或球铰定位偏差引发,可能导致牵引设备过载损坏,甚至迫使转体中断,若在铁路运营时段发生,将延长施工对铁路运输的干扰时间。(2)结构失稳:受风荷载突变、临时支撑卸载过快或动力平衡失调影响,易出现桥梁悬臂端倾斜、拱肋振动幅度过大等问题,严重时可能造成结构开裂,威胁跨铁施工安全。(3)合拢误差超限:受温度变化、预应力张拉控制不当或转体就位精度不足影响,合拢口间隙偏差可能超出 $\pm 5\text{mm}$ 标准,若强行合拢,会导致梁体产生附加应力,影响桥梁长期承载性能。(4)铁路设备损伤:转体过程中若出现结构部件坠落、牵引索断裂等意外,可能砸碰下方接触网、轨道或信号设备,引发铁路行车事故,造成重大经济损失与安全隐患。

3.2 应对措施

(1)建立BIM+物联网监测平台,在转动系统关键部位(如球铰、撑脚、牵引千斤顶)安装应力传感器、位移监测仪与速度传感器,实时采集转动速度(控制在 $0.5^{\circ}\sim 1^{\circ}/\text{min}$)、梁体应力应变数据,通过BIM模型动态模拟转体轨迹,当数据超出预警阈值(如应力超设计值10%、位移偏差超3mm)时,自动触发声光报警,便于管理人员及时调整施工参数。(2)制定专项应急预案,明确转动卡滞、结构失稳等不同风险的处置流程:备用牵引设备需提前调试到位,包括2台以上备用液压千斤顶、1套卷扬机备用系统,确保30分钟内可完成设备切换;组

建由桥梁工程师、机械操作员、铁路设备防护人员组成的抢修队伍,配备接触网抢修工具、轨道复位设备等,定期开展应急演练,确保意外发生时能在铁路天窗时段内完成抢修,最大限度降低对铁路运营的影响^[5]。(3)针对合拢误差超限风险,提前在合拢口两侧设置温度调节装置,通过喷淋降温或覆盖保温棉被,控制梁体温度波动在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内;预应力张拉前对张拉设备进行标定,采用“双控法”(应力控制为主、伸长值校核为辅)确保张拉精度,若合拢间隙偏差超限时,采用千斤顶顶推微调或局部凿除混凝土的方式修正,严禁强行合拢。(4)为防范铁路设备损伤,转体下方铁路线路设置防护棚架,棚架顶部采用厚50mm钢板+缓冲橡胶层,侧面设置防护网;转体期间安排专人24小时监护铁路设备,在接触网两侧安装绝缘防护套,同时与铁路部门建立联动机制,提前申请施工天窗时段,确保意外发生时能第一时间通知铁路调度部门暂停行车。

结束语

跨铁桥梁转体施工技术凭借其高效、精准、低干扰的优势,已成为破解复杂环境下铁路桥梁建设难题的关键技术。通过优化转动体系设计、强化动力平衡控制、完善结构稳定性监测等措施,该技术有效保障了施工安全与质量。未来,随着智能监测、BIM协同等技术的深度融合,转体施工将向智能化、精细化方向发展,进一步推动桥梁工程与铁路运输的协同共进,为交通基础设施的高质量建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1]付琳.桥梁转体施工监控技术研究[J].北方建筑,2025,10(01):63-69.
- [2]韦逢维.桥梁T构转体施工关键技术与质量控制研究[J].价值工程,2025,44(06):130-132.
- [3]吕玉森.桥梁工程转体施工关键技术研究[J].交通世界,2024,(32):142-144.
- [4]刘川.大跨径连续梁桥转体施工技术与监控[J].交通世界,2024,(30):175-177.
- [5]郑雪鹏.探讨桥梁转体施工监理技术控制要点[J].建设监理,2024,(S1):16-18.