

独柱墩桥梁抗倾覆加固施工技术应用探析

康 成

四川建筑职业技术学院 四川 德阳 618000

摘 要：独柱墩桥梁因结构特点，抗倾覆能力受多因素影响。本文先分析其抗倾覆机理，涵盖结构特点、评价指标及影响因素。接着介绍增大截面、粘贴钢板等加固技术分类。随后阐述施工技术要点与难点及应对措施。最后探讨发展趋势，包括新材料、新技术应用及绿色环保施工。旨在为独柱墩桥梁抗倾覆加固提供全面参考，保障桥梁结构安全与稳定运行。

关键词：独柱墩桥梁；抗倾覆；加固施工技术；应用分析

1 独柱墩桥梁抗倾覆机理分析

1.1 独柱墩桥梁结构特点

独柱墩桥梁以单根墩柱作主要竖向支撑。其墩柱截面多样，有圆形、矩形或异形，墩身高度依跨径与地形灵活调整，能减少下部结构占地，适用于城市道路交叉口等场地受限处。受力上，它要承受上部结构的竖向、水平荷载及扭矩。竖向荷载由墩柱轴心或偏心承受，水平荷载含车辆制动力等，扭矩源于车辆偏载等。上部结构多用连续梁或刚构体系，墩梁多为刚接或半刚接，这种连接使墩梁协同受力，提升整体刚度，但也对墩柱抗倾覆性能提出更高要求，结构稳定性依赖墩柱强度与刚度匹配。

1.2 抗倾覆稳定性评价指标

独柱墩桥梁抗倾覆稳定性评价靠量化指标反映抵御倾覆风险能力，核心指标有抗倾覆安全系数、墩顶水平位移、截面应力状态等。抗倾覆安全系数最为关键，是结构抗倾覆力矩与倾覆力矩的比值，前者由上部结构等自重产生，后者来自车辆偏载等不利因素，规范要求不同荷载组合下满足限值^[1]。墩顶水平位移指标通过监测墩顶在水平荷载下的位移量实现，超限表明结构刚度不足。截面应力状态指标检测墩柱关键截面应力分布，判断是否开裂、屈服，避免因截面破坏丧失抗倾覆能力。

1.3 影响抗倾覆能力的因素

独柱墩桥梁抗倾覆能力受多因素影响。结构设计上，墩柱截面尺寸决定抗弯刚度与承载能力，尺寸小则抗倾覆力矩小；墩身高度与长细比正相关，高度大则抗倾覆能力弱；墩梁连接方式中，刚接能提升整体抗倾覆性能，半刚接或铰接会降低。荷载条件方面，车辆偏载是主要不利因素，重载车偏离车道会增大倾覆力矩，车辆制动等动态荷载会降低抗倾覆安全储备。材料性能上，混凝土强度不足、钢筋锈蚀会影响结构抗倾覆能

力。环境因素方面，温度变化、基础不均匀沉降等会改变结构受力状态，降低抗倾覆稳定性。

2 独柱墩桥梁抗倾覆加固施工技术分类

2.1 增大截面加固法

增大截面加固法是通过扩大独柱墩墩柱截面尺寸，提升其抗弯、抗剪及抗倾覆能力的传统加固技术，适用于墩柱强度不足、刚度较差的加固场景。该技术施工流程包括表面处理、钢筋绑扎、模板安装及混凝土浇筑等关键步骤。施工前需对墩柱表面进行凿毛处理，清除表面浮浆、油污及破损混凝土，露出新鲜骨料，随后植入新增受力钢筋，确保新增钢筋与原墩柱钢筋可靠连接，形成整体受力体系。模板采用钢模板或高强度木模板，安装时需保证拼缝严密、支撑牢固，防止混凝土浇筑时出现漏浆、变形等问题。混凝土选用高于原结构强度等级的补偿收缩混凝土，浇筑过程中采用振捣棒分层振捣密实，消除混凝土内部空隙。浇筑完成后需进行覆盖洒水养护，养护时间不少于14天，确保混凝土强度充分发展。

2.2 粘贴钢板加固法

粘贴钢板加固法是利用结构胶将钢板粘贴于独柱墩受拉区或薄弱截面，通过钢板与墩柱协同受力，提升结构抗倾覆能力的加固技术，具有施工便捷、工期短的特点，适用于墩柱截面承载力不足但混凝土强度等级较高的情况。施工前需对墩柱粘贴面进行处理，先采用砂轮打磨去除混凝土表面浮浆及碳化层，再用丙酮擦拭表面油污，确保粘贴面干燥、洁净。钢板需进行除锈、打磨处理，增大与结构胶的粘结面积。结构胶选用环氧类专用粘结剂，按配比准确搅拌均匀，涂刷时在钢板与墩柱粘贴面均匀涂抹，涂抹厚度控制在2-3mm。粘贴后采用压条、螺栓等进行加压固定，确保结构胶与粘贴面紧密贴合，加压时间需满足结构胶固化要求。固化完成后拆除固定装置，对钢板表面进行防腐处理，涂刷防锈漆及面

漆,防止钢板锈蚀。该技术加固过程中无需大型施工机械,对交通干扰较小,但对粘贴面处理质量要求极高,且在高温、高湿环境下需选用耐候性强的结构胶,避免粘结性能下降。

2.3 体外预应力加固法

体外预应力加固法是通过在独柱墩外部设置预应力筋,施加预压应力抵消部分外荷载产生的拉应力,提升结构抗倾覆能力的先进加固技术,适用于大跨径独柱墩桥梁或墩柱受力较为复杂的场景^[2]。该技术核心是通过预应力筋的张拉产生反向弯矩,降低墩柱在荷载作用下的应力峰值,从而提高结构抗倾覆安全系数。施工流程包括预应力筋布设、锚具安装、张拉及锚固等步骤。预应力筋通常采用高强度低松弛钢绞线,根据墩柱受力特点确定布设位置,可采用单侧布设、双侧布设或环形布设等方式。锚具选用与钢绞线匹配的夹片式锚具,安装前需检查锚具尺寸及表面质量,确保安装精度。张拉过程采用分级张拉方式,严格控制张拉应力及伸长量,避免因张拉过快导致结构受力突变。张拉完成后对预应力筋进行防腐处理,采用防腐涂料涂刷或套管包裹,防止预应力筋锈蚀。

2.4 增设支座加固法

增设支座加固法是通过在独柱墩桥梁上部结构底部新增支座,改变结构受力体系,将单支撑受力转变为多支撑受力,从而提升整体抗倾覆稳定性的加固技术,是解决独柱墩倾覆问题的有效手段之一。该技术核心原理是通过新增支座分担原独柱墩的荷载,降低墩柱承受的弯矩及扭矩,同时利用新增支座提供抗倾覆反力,增大抗倾覆力矩。施工前需对原桥梁上部结构进行受力分析,确定新增支座的位置、数量及承载能力,通常在墩柱两侧或跨中区域增设支座。支座选用板式橡胶支座或盆式橡胶支座,根据桥梁荷载及位移需求确定型号。施工时先对新增支座安装位置的梁底进行处理,凿除混凝土浮层并平整表面,随后安装支座垫石,确保垫石强度及平整度满足要求。支座安装过程中需精确调整标高及水平位置,保证支座与梁底、垫石紧密贴合。安装完成后需对支座进行检查,确保其受力均匀,无偏压、脱空等现象。该技术施工周期较短,对交通通行影响较小,加固后结构受力体系更合理,抗倾覆能力显著提升,但新增支座需与原结构协同工作,需确保支座位型及安装精度符合要求,避免出现应力集中现象。

2.5 其他加固技术

除上述常用加固技术外,独柱墩桥梁抗倾覆加固还包括植筋加固法、外包型钢加固法及改变结构体系加固

法等多种技术,这些技术根据桥梁具体工况及加固需求灵活选用。植筋加固法通过在墩柱混凝土中植入钢筋,增强墩柱配筋率,提升截面抗弯、抗剪能力,施工时需控制植筋深度、孔径及钢筋锚固长度,确保植筋粘结强度。外包型钢加固法采用角钢或槽钢包裹墩柱表面,通过结构胶与原墩柱粘结,形成复合受力截面,该技术适用于墩柱截面尺寸受限制且需大幅提升承载力的情况,施工时需保证型钢与墩柱紧密贴合,焊缝质量符合要求。改变结构体系加固法通过增设跨梁、加劲肋等构件,调整结构受力路径,降低独柱墩荷载负担,例如在相邻墩柱间增设连梁,使多个墩柱协同受力,提升整体抗倾覆稳定性。这些技术各有优势,植筋加固法施工便捷,外包型钢加固法加固效率高,改变结构体系加固法适用于复杂受力场景,实际应用中需结合桥梁结构特点、病害程度及施工条件综合选择。

3 独柱墩桥梁抗倾覆加固施工技术要点与难点

3.1 施工技术要点

独柱墩桥梁抗倾覆加固施工技术要点涵盖施工准备、核心工序控制及质量检测,以保障加固质量与结构安全。施工准备时,要对桥梁结构全面检测,包括墩柱混凝土强度、钢筋锈蚀程度等指标,据此制定针对性加固方案,明确施工工艺、材料选型与质量标准。材料选用要合规,混凝土需设计配合比并试配,保证强度与耐久性;钢材要检测力学性能,结构胶需提供粘结强度报告^[3]。核心工序控制依加固技术特点精准实施,增大截面加固要控制钢筋连接与混凝土振捣;粘贴钢板加固要保证粘贴面处理与结构胶固化时间;体外预应力加固要严格控制张拉应力与伸长量;增设支座加固要确保支座安装标高与水平精度。质量检测贯穿施工全程,采用无损与实体检测结合方式,如混凝土强度用回弹或钻芯法,钢板粘结质量用超声波检测等,确保各工序符合设计要求。

3.2 施工难点及应对措施

独柱墩桥梁抗倾覆加固施工存在交通组织、结构协同受力及施工干扰等难点,需针对性解决。交通组织方面,多数桥梁处于交通繁忙区,加固占道易致拥堵。可制定分阶段疏导方案,采用夜间、半幅施工,设临时标志与警示设施,安排专人指挥,必要时协调交管制。结构协同受力上,新增构件与原结构需可靠连接,避免应力集中。施工前精细计算受力,优化节点设计,用植筋、焊接等可靠方式连接并加强,实时监测变形与应力,依数据调整参数。施工干扰方面,既有桥梁空间受限,大型机械难展开且可能伤原结构。可选用小型、高精度设备,优化工序,保护原结构关键部位,设临时支

撑,加强人员培训,提升熟练度,减少施工失误。

4 独柱墩桥梁抗倾覆加固施工技术的发展趋势

4.1 新材料的应用

新材料的研发与应用是独柱墩桥梁抗倾覆加固施工技术的重要发展方向,能显著提升加固效果、延长结构使用寿命并降低施工难度。高性能复合材料因其轻质高强、耐腐蚀等优势,在加固工程中应用日益广泛,其中碳纤维增强复合材料(CFRP)具有极高的抗拉强度,重量仅为钢材的四分之一左右,采用粘贴CFRP布或板加固独柱墩,能在不显著增加结构自重的前提下大幅提升墩柱抗弯、抗剪能力,且施工便捷,无需大型机械,适用于空间受限的施工场景。超高韧性混凝土(UHTCC)具有优异的抗裂性能和变形能力,将其用于增大截面加固中,能有效提升加固层与原墩柱的协同工作能力,减少裂缝产生,提升结构耐久性。另外,新型结构胶、防腐涂料等材料也在不断升级,新型环氧基结构胶具有更强的粘结强度和耐候性,能适应高温、高湿等恶劣环境;纳米改性防腐涂料能形成更致密的防护层,有效延缓钢材及混凝土的腐蚀速度。新材料的应用推动加固技术向高效、耐久、环保方向发展,为独柱墩桥梁加固提供更多解决方案。

4.2 新技术的研发与应用

新技术的研发与应用为独柱墩桥梁抗倾覆加固施工注入新动力,推动加固施工向智能化、精准化方向发展。智能化监测技术在加固施工中应用广泛,通过在墩柱、支座及预应力筋等关键部位布设传感器,实时采集结构应力、变形、温度等数据,利用无线传输技术将数据传输至监控平台,实现施工过程全程动态监测,及时发现施工过程中的异常情况并调整施工参数,确保施工安全。BIM(建筑信息模型)技术在加固方案设计、施工模拟及运维管理中发挥重要作用,利用BIM技术构建桥梁三维模型,对加固方案进行可视化设计,优化构件布置及施工工序;通过施工模拟提前预判施工过程中可能出现的问题,制定应对措施;加固完成后将施工数据导入模型,为后续运维管理提供数据支持。工业化预制装配技术逐步应用于加固施工,将新增支座、加固构件等在工厂预制生产,现场进行拼装连接,减少现场施工工序,缩短施工周期,降低对交通及环境的影响,同时保

证构件生产质量。这些新技术的应用提升了加固施工的效率与质量,推动加固技术向现代化方向迈进。

4.3 绿色环保施工技术的发展

随着绿色发展理念的深入,独柱墩桥梁抗倾覆加固施工技术向绿色环保方向发展,注重减少施工过程中的资源消耗、环境污染及生态破坏。节能施工技术得到广泛应用,施工过程中选用节能型施工设备,优化施工工序减少设备闲置时间,降低能源消耗;采用LED节能照明设备,减少施工现场照明能耗。环保施工技术重点解决施工扬尘、噪音及废弃物处理问题,施工现场设置喷淋降尘系统,对施工道路进行硬化处理并定期洒水,减少扬尘污染;选用低噪音施工设备,合理安排施工时间,避开居民休息时段,降低噪音影响;对施工产生的混凝土废渣、钢筋废料等进行分类回收,混凝土废渣经破碎处理后可作为再生骨料用于道路基层或垫层,钢筋废料进行回收再利用,减少固体废弃物排放^[4]。绿色建材的推广应用也是重要发展方向,优先选用低碳水泥、再生骨料混凝土等环保建材,降低建材生产过程中的碳排放。绿色环保施工技术的发展不仅符合可持续发展要求,还能提升施工企业形象,降低施工对周边环境的影响,实现加固施工与生态环境的协调发展。

结束语

独柱墩桥梁抗倾覆加固施工技术对保障桥梁安全意义重大。通过深入分析抗倾覆机理,合理选用加固技术,把握施工要点、攻克难点,能有效提升桥梁抗倾覆能力。随着新材料、新技术不断涌现,绿色环保施工理念深入人心,加固施工技术将朝着更高效、精准、环保方向发展。未来需持续探索创新,以适应桥梁建设与养护需求,确保桥梁长期安全服役。

参考文献

- [1]罗定伦.独柱墩桥梁抗倾覆改造加固技术研究[J].江苏科技信息,2022,39(32):62-65.
- [2]陈针.独柱墩桥梁抗倾覆加固技术应用[J].福建交通科技,2022(04):65-69.
- [3]杜军.城市独柱墩桥梁抗倾覆加固改造设计探讨[J].城市道桥与防洪,2022(03):69-73+13.
- [4]汪芳芳.徐祖恩.严伟飞.独柱墩桥梁抗倾覆安全分析及加固设计技术研究[J].2021(2014-4):13-18.