

城市立交桥施工过程中的支架体系优化与安全管控

宗 霞

江西泉塘春建设工程有限公司 江西九江 332000

摘 要:城市立交桥作为现代城市交通的关键节点,其施工过程具有技术复杂、环境受限、安全风险高等特点。支架体系作为现浇混凝土箱梁施工的核心临时支撑结构,其安全性、经济性和施工效率直接关系到整个工程的成败。本文针对城市立交桥施工的特殊性,系统分析了支架体系的结构特点、功能需求及在复杂施工环境下的受力特性。在此基础上,深入探讨了支架体系的优化技术路径,涵盖材料与结构形式选择、搭拆工艺改进、稳定性提升及环境适应性等多个维度。同时,本文构建了一套全过程的支架体系安全管控机制,包括风险识别评估、过程监测、人员管理与应急处理。本研究旨在为城市立交桥施工提供一套科学、高效、安全的支架体系解决方案,以提升工程建设的本质安全水平,保障城市交通建设的顺利推进。

关键词:城市立交桥;支架体系;体系优化;安全管控;施工技术

引言

随着我国城市化加速,城市交通网络复杂,城市立交桥建设规模和难度增大。现浇预应力混凝土箱梁因优点成为城市立交桥上部结构主流形式,支架体系是现浇施工中临时承重结构,其稳定性和可靠性是施工安全和质量的前提。但城市立交桥施工场地位于交通繁忙区,周边建筑密集、地下管线复杂,施工空间受限,这对支架体系设计、搭设、使用和拆除提出远超一般工程的挑战。传统支架搭设方法依赖经验,存在材料浪费、效率低、安全冗余度不确定等问题。因此,对城市立交桥施工支架体系进行系统性优化并建立安全管控机制,是工程建设领域亟待解决的课题,有显著理论和实践意义。

一、城市立交桥支架体系的结构特点与功能需求

(一) 支架体系的基本组成与分类

城市立交桥施工支架体系是临时性空间结构,由基础、立杆、横杆、斜撑、顶托、底托及分配梁等组成。基础连接支架与地基,传递上部荷载,形式依地基承载力定,有混凝土硬化、型钢扩大或桩基础等。立杆竖向承压,传递荷载;横杆与立杆连接成框架,抵抗水平荷载;斜撑分竖向和水平剪刀撑,保证整体稳定;顶托和底托调节高度、均匀传荷。根据材料和连接方式,支架体系分扣件式、碗扣式、盘扣式和门式等,盘扣式因节点可靠、搭设高效、承载力大,在大型工程应用渐广^[1]。

(二) 城市立交桥施工对支架体系的特殊要求

城市立交桥施工赋予支架体系特殊要求。一是高安

全性,因跨越既有道路或设施,失稳坍塌后果严重,安全系数和可靠性要求高;二是空间适应性,桥位不规则、桥下净空受限且需留通道,要求支架灵活布置;三是施工效率,城市施工工期和夜间施工受限,支架需模块化、标准化,便于快速搭拆;四是环保与文明施工,材料应可循环,搭拆噪音和粉尘要低。

(三) 支架体系在施工过程中的受力特点

支架体系施工中受力动态变化。混凝土浇筑时,荷载达最大,包括混凝土、钢筋、模板自重及人员设备活荷载,通过模板等传递至立杆、基础和地基,且荷载逐步施加、不均匀,易产生附加应力。养护阶段,混凝土强度增长,与支架共同受力,支架荷载减小。预应力张拉时,梁体上拱,部分支架卸载或脱离梁底,部分承受更大压力。这要求支架有足够强度、稳定性和适应荷载变化的能力。

(四) 支架体系的功能定位与设计原则

支架体系作为临时结构,核心功能是安全可靠承担施工荷载,为混凝土成型提供稳定平台。设计要遵循安全第一、经济合理、技术先进、便于施工原则。安全第一要保证支架在各种荷载组合下有足够强度、刚度和稳定性;经济合理要在安全前提下,优化选材和布置,降低成本;技术先进鼓励用新材料、工艺和技术提升性能;便于施工要考虑现场操作,构件便于搬运,连接简单快捷^[2]。

二、支架体系优化技术路径

(一) 支架材料选择与结构形式优化

材料与结构形式的优化是提升支架体系性能的根

本途径。在材料选择上,应优先选用高强度、轻质化的材料。例如,采用Q345B低合金高强度钢材替代传统的Q235钢材,可以在同等承载力条件下减小杆件截面,从而减轻支架自重,降低材料消耗和运输成本。同时,新型复合材料如玻璃纤维增强复合材料(GFRP)制成的杆件,具有耐腐蚀、重量轻、强度高的特点,适用于潮湿或有腐蚀性环境的工程。在结构形式优化方面,应摒弃粗放式的满堂红搭设方式,根据立交桥的结构特点和荷载分布,进行差异化设计。对于荷载集中的区域,如横梁、腹板处,应加密立杆间距或采用双立杆加强;对于荷载较小的区域,如翼缘板处,可适当放大立杆间距。通过采用大跨度的桁架式支架或梁柱式支架替代部分满堂支架,可以在桥下形成开阔空间,满足交通通行或管线保护的需求,实现支架体系的功能与效率的双重优化。

(二) 支架搭设与拆除工艺优化

搭设与拆除工艺的优化直接关系到施工效率和安全水平。在搭设工艺上,应推行模块化和预制化。将支架的立杆、横杆、斜撑等构件在工厂或场外预拼装成标准化的单元模块,现场仅需进行吊装和连接,可大幅减少现场高空作业量和劳动强度,缩短搭设周期。同时,采用BIM技术进行支架搭设的三维模拟和碰撞检查,可以提前发现设计中的空间冲突问题,优化构件的安装顺序,避免现场返工。在拆除工艺上,必须制定与结构受力状态相匹配的拆除顺序。对于预应力混凝土箱梁,拆除应在预应力张拉完成、孔道压浆达到设计强度后进行。拆除顺序应遵循“分阶段、对称、由跨中向支点”的原则,逐步释放支架对梁体的约束,避免因荷载突变导致梁体开裂或支架失稳。利用同步卸荷装置,如千斤顶或砂箱,可以实现多顶同步、缓慢、均匀地卸载,确保拆除过程的结构安全^[3]。

(三) 支架稳定性与承载能力提升策略

支架的稳定性是安全管控的核心。提升稳定性的策略应从局部和整体两个层面入手。在局部层面,要确保节点连接的可靠性。对于盘扣式支架,应保证插销到位并锁紧;对于扣件式支架,要控制扣件的拧紧力矩,防止节点滑移。立杆的接长必须采用对接扣件,严禁搭接,以保证轴心受压。在整体层面,必须设置完整、有效的剪刀撑体系。竖向剪刀撑应沿支架纵向和横向连续设置,从底至顶,形成稳定的几何不变体系。水平剪刀撑应在一定步距内设置,增强支架的整体抗扭刚度。对于超高、超重或位于软弱地基上的支架,还应通过设置缆风绳或与周边已建结构进行刚性连接,提供额外的侧向约束。

此外,对支架基础的处理至关重要,必须确保地基承载力满足设计要求,对不均匀地基或回填土地基必须进行换填、夯实或桩基处理,并设置有足够强度和刚度的整体性基础,如混凝土垫层或型钢分配梁,防止因不均匀沉降导致支架倾斜或失稳。

(四) 施工环境约束下的支架体系适应性改进

城市复杂环境要求支架体系具备高度的适应性。当桥下需要保障交通通行时,可采用门式支架结构。门式支架的立柱设置在道路两侧,横梁跨越车道,从而在桥下形成净空。门式横梁需进行专项设计,确保其强度和刚度能够承受上部荷载,同时要考虑车辆通行可能产生的撞击风险,设置防撞设施。当桥下存在重要管线时,支架基础需避开管线区域,或采用架空方式跨越。此时,可设置转换桁架或大跨度梁,将荷载从管线区域传递至两侧的可靠基础上。在狭窄场地或斜坡地形上,支架的搭设难度大,可采用阶梯式布置或可调节高度的底座和顶托,以适应地形高差。对于夜间施工或光线不足的区域,应在支架上设置充足的照明设施和警示标志,确保施工人员和过往车辆的安全。这些适应性改进措施,使得支架体系不再是僵化的标准产品,而是能够根据具体工程环境进行定制化设计的解决方案^[4]。

三、支架体系安全管控机制

(一) 安全风险识别与评估

科学的安全管控始于精准的风险识别与评估。风险识别应覆盖支架体系从设计、材料进场、搭设、使用到拆除的全过程。设计阶段的风险包括计算模型简化不当、荷载取值偏低、地质勘察数据不准确等。材料阶段的风险包括材料质量不合格、规格型号不符、存在锈蚀或弯曲等缺陷。搭设阶段的风险包括未按方案施工、节点连接不牢固、基础处理不到位等。使用阶段的风险包括超载、不均匀堆载、撞击、极端天气影响等。拆除阶段的风险包括拆除顺序错误、卸载不同步、结构失稳等。对识别出的风险,应采用定性或定量的方法进行评估,确定其发生的可能性和后果的严重性,形成风险清单,并根据风险等级制定相应的管控措施。对于高风险项,如地基承载力不足、超高支架的整体稳定性等,必须作为重点监控对象,制定专项控制方案。

(二) 支架搭设与使用过程中的监测手段

过程监测是动态掌握支架安全状态、实现预警预控的关键。监测手段应结合工程特点,采用人工巡查与仪器监测相结合的方式。人工巡查是最基础的监测方式,要求专职安全员每日对支架进行全面检查,重点检查立

杆有无沉降、节点有无松动、剪刀撑是否齐全、有无超载现象等,并做好记录。仪器监测则能提供更精确、量化的数据。对于重要或复杂的支架体系,应布设监测系统。在支架基础顶部或立杆底部设置沉降观测点,采用精密水准仪定期测量,监控不均匀沉降。在支架的关键受力杆件或节点上粘贴应变片,通过应变仪实时监测其应力变化,判断是否超过设计允许值。在支架的顶部设置全站仪或激光测距仪,监测支架的整体水平位移和垂直度变化。对于大型工程,可引入基于物联网的智能监测系统,将各类传感器数据实时传输至云端平台,通过数据分析模型,自动评估支架的安全状态,一旦发现异常,立即向管理人员发送预警信息,实现从“事后处理”向“事前预防”的转变^[5]。

(三) 施工人员安全培训与操作规范

人的不安全行为是导致安全事故的主要因素之一。因此,对施工人员的安全培训和操作规范管理是安全管控的重要环节。所有参与支架搭设、拆除和作业的人员,必须经过专门的安全技术培训,并考核合格后方可上岗。培训内容不应局限于口头说教,而应结合实际案例和现场操作,使工人深刻理解支架失稳的原理、违规操作的后果以及正确的操作流程。特别是对特种作业人员,如架子工、起重机械操作工等,必须持有效证件上岗。在施工现场,必须制定并严格执行详细的操作规程。例如,规定搭设支架时必须从一端向另一端延伸,逐层搭设;严禁在支架上集中堆放过多材料;严禁随意拆除或松动支架的任何杆件;恶劣天气如大风、大雨、大雪后必须对支架进行全面检查才能继续使用等。通过技术交底、班前喊话、现场监督等方式,将安全要求和操作规范落实到每一个施工环节和每一位作业人员,形成人人讲安全、事事为安全的良好氛围。

(四) 应急预案与事故处理机制

尽管采取了多种预防措施,但仍需为可能发生的突发情况做好充分准备。建立完善的应急预案与事故处理机制是抵御风险的最后一道防线。应急预案应针对支架可能发生的典型事故,如局部坍塌、整体失稳、基础沉降过大等,制定详细的处置流程。预案内容应包括:应急指挥机构的组成及职责、应急响应的启动条件、现场人员的疏散路线和集合点、应急救援队伍和物资的调配、医疗救护和外部救援力量的联系方式等。预案制定后,应定期组织应急演练,检验预案的可行性和有效性,提高相关人员的应急处置能力。一旦发生事故,必须立即启动应急预案。首先,要迅速组织现场人员撤离至安全

区域,防止次生灾害发生。其次,要立即封锁事故现场,保护现场证据,为后续的事故调查提供条件。第三,要按照预案程序,迅速开展抢险救援工作,抢救受伤人员,控制事态发展。第四,要及时向上级主管部门和相关单位报告事故情况。事故处理完毕后,必须组织事故调查,查明事故原因,明确事故责任,并根据调查结果对现有管理体系和预防措施进行反思和改进,形成闭环管理,真正做到“四不放过”,即事故原因未查清不放过、责任人未受到处理不放过、整改措施未落实不放过、有关人员未受到教育不放过。

结语

城市立交桥施工中的支架体系优化与安全管控是一个涉及结构工程、材料科学、施工管理、信息技术等多学科的综合性课题。优化是提升效率、降低成本、保障安全的技术手段,其核心在于通过材料、结构、工艺的创新,使支架体系更轻、更强、更智能。安全管控则是确保优化成果得以实现、防范重大风险的制度保障,其核心在于构建一个贯穿项目全周期、覆盖所有参与方的系统性管理网络。二者相辅相成,缺一不可。未来的发展趋势,是将BIM技术、物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术更深度地融入到支架体系的设计、施工和监控中,实现数字孪生和智慧管控。通过建立支架全生命周期的信息模型,可以实现设计、施工、运维的一体化管理;通过实时监测数据的智能分析,可以实现风险的精准预测和主动防控。最终,推动城市立交桥支架工程从传统的经验驱动型向现代的数据驱动型转变,从根本上提升城市基础设施建设的本质安全水平,为城市的高质量发展保驾护航。

参考文献

- [1] 孔德勋, 鲁文军, 郝传志, 等. 转体连续梁0#块支架体系优化设置分析[J]. 冶金丛刊, 2021(009): 006.
- [2] 张天宝, 徐德, 刘强. 涉水砂性河滩悬浇梁直线段支架体系施工设计优化[J]. 建筑技术, 2022(005): 053.
- [3] 王贺. 城市双线隧道车站施工工艺优化及稳定性研究[J]. 价值工程, 2022(017): 041. DOI: 10.3969/j.issn.1006-4311.2022.17.025.
- [4] 高志极. 道路桥梁工程中现浇箱梁支架施工技术优化研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2022(24): 1-3.
- [5] 连刚贾. 关于优化大跨度连续梁支架体系的探讨研究[J]. 2020. DOI: 10.33142/ec.v3i3.1596.