

现浇桥梁支架施工关键技术与质量控制研究

易璐^{1,2*}

1 湖南大学设计研究院有限公司

2 长沙理工大学桥梁工程安全控制教育部重点实验室

DOI:10.32629/bd.v9i6.4514

[摘要] 现浇桥梁凭借整体性强、刚度大及抗震性能优异等优势,在交通基础设施建设中应用广泛。支架施工作为现浇桥梁建设的核心环节,其施工质量直接决定桥梁结构的安全稳定性与长期使用寿命。本文系统梳理支架施工全流程,从支架选型优化、地基处理强化、搭设工艺规范、预压监测实施及拆除作业管控等关键技术要点展开深入分析,结合工程实践案例剖析施工常见问题及针对性解决方案,构建全流程质量控制体系,为现浇桥梁支架施工提供技术参考与实践指导。

[关键词] 现浇桥梁; 支架施工; 关键技术; 质量控制; 安全保障

中图分类号: U445.4 文献标识码: A

Research on Key Technologies and Quality Control of Cast-in-Place Bridge Scaffold Construction

Lu Yi^{1,2*}

1 Hunan University Design and Research Institute Co., Ltd.

2 Key Laboratory of Bridge Engineering Safety Control, Ministry of Education, Changsha University of Science and Technology

[Abstract] Cast-in-place bridges are widely used in transportation infrastructure construction due to their advantages of strong integrity, high stiffness, and excellent seismic performance. Scaffold construction, as the core link of cast-in-place bridge construction, directly determines the safety, stability, and long-term service life of the bridge structure. This paper systematically reviews the entire process of scaffold construction, conducting in-depth analysis from key technical aspects such as scaffold type optimization, foundation treatment reinforcement, erection process standardization, preloading monitoring implementation, and dismantling operation control. Combined with engineering practice cases, common construction problems and targeted solutions are analyzed, and a whole-process quality control system is constructed, providing technical reference and practical guidance for cast-in-place bridge scaffold construction.

[Key words] cast-in-place bridge; scaffold construction; key technology; quality control; safety assurance

1 引言

在我国交通网络快速扩张的背景下,桥梁工程作为交通枢纽的核心组成部分,建设规模与技术难度持续提升。现浇桥梁因能适应复杂地形条件、保证结构整体受力性能,在大跨度桥梁、异形结构桥梁等工程中得到广泛应用。支架作为现浇桥梁施工的临时性支撑结构,承担着模板、混凝土自重及施工荷载等多重作用力,其设计合理性、搭设规范性与运行稳定性直接关系到桥梁线形精度、结构强度及施工安全。

近年来,国内桥梁工程中因支架设计缺陷、地基处理不当、搭设不规范等引发的安全事故时有发生,不仅造成经济损失,更威胁施工人员生命安全。因此,深入研究现浇桥梁支架施工技术,

完善质量控制措施,具有重要的工程实践意义。支架施工是一项系统性工程,涵盖支架选型、地基处理、搭设、预压、监测及拆除等多个关键环节,每个环节的技术参数与操作规范都需严格把控。同时,随着新材料、新工艺的不断涌现,液压爬升支架、智能监测系统等现代化技术在支架施工中的应用,为提升施工效率与质量提供了新的路径。

本文基于现行行业规范与工程实践经验,聚焦支架施工关键技术要点,结合实际工程案例,探讨施工过程中的质量控制难点与解决方案,旨在为工程技术人员提供全面、实用的施工指导,推动现浇桥梁支架施工技术的规范化、精细化发展。

2 现浇桥梁支架施工关键技术

2.1 支架类型选型与优化

支架类型的科学选型是保障施工安全与效率的前提,需综合考虑桥梁结构形式、跨度大小、荷载特性、地形地质条件、施工周期及经济性等多方面因素。目前工程中常用的支架类型及适用场景如下:

满堂支架结构简洁、搭设便捷、成本较低,适用于跨度 $\leq 20\text{m}$ 、桥高 $\leq 10\text{m}$ 且地质条件稳定的桥梁工程,能快速形成整体支撑体系,但对地基承载力要求较高,需避免在软土地基区域直接应用。梁柱式支架通过立柱与横梁组成受力框架,承载能力强、稳定性好,适用于跨度 $20\text{--}50\text{m}$ 、桥高较大的桥梁,尤其适合跨越道路、沟渠等场景,但施工工艺复杂,需配备专业设备进行安装调试。悬臂支架采用分段悬臂施工方式,对周边环境干扰小,适用于跨越河流、峡谷等复杂地形的大跨度桥梁,施工速度快且能减少对生态环境的破坏,但需精确控制悬臂段平衡,对施工精度要求极高。

此外,随着施工技术的发展,液压爬升支架、移动模架等新型支架逐渐推广应用。液压爬升支架依托桥梁主体结构实现自爬升,无需地面支撑,适用于高墩大跨桥梁;移动模架可实现标准化、流水化施工,显著提升施工效率,但初始投入成本较高。在选型决策中,还需考虑荷载分布均匀性,对荷载集中区域应选择局部刚度强化的支架类型;针对工期紧张的项目,优先选用搭设速度快的支架形式,在保证质量安全的前提下实现经济性与其工期的平衡。

2.2 地基处理技术与质量控制

地基作为支架的承载基础,其稳定性直接影响支架整体安全,需根据地质条件采取针对性处理措施,核心目标是提升地基承载力、减少不均匀沉降。

对于地质条件较好的硬土地基,采用机械夯实法处理,压实度需达到95%以上,并在表面铺设 $10\text{--}15\text{ cm}$ 厚的级配碎石垫层,增强地基整体性。针对软土地基、湿陷性黄土或不均匀土层,需采用复合处理技术:软土地基可选用换填法(换填级配碎石、灰土等材料,换填深度 $\geq 1.5\text{m}$)、水泥土搅拌桩加固或桩基支撑(如CFG桩),确保地基承载力 $\geq 250\text{ kPa}$;湿陷性黄土区域需进行浸水预压或注浆加固,消除湿陷性;对于软硬土层交界区域,采用渐变式加固技术,通过不同处理强度的过渡,避免因刚度突变导致局部沉降。地基排水防护是易忽视的关键环节,尤其在多雨季节或地下水位较高的区域,需设置完善的排水系统:沿施工区域周边开挖排水沟,间距 $\leq 30\text{m}$,沟底坡度 $\geq 3\%$;在地基表层铺设土工布与防水层,防止雨水渗透软化土体;对地下水位较高的区域,可设置降水井进行井点降水,将地下水位控制在地基以下 50cm 。地基处理完成后,需进行承载力检测与沉降观测:采用平板载荷试验验证地基承载力是否满足设计要求,设置沉降观测点进行72小时连续监测,沉降速率 $\leq 2\text{mm/d}$ 方可进行支架搭设。

2.3 支架搭设、预压与监测技术

支架搭设需严格遵循“先下后上、先主后次、先整体后局

部”的原则,确保施工过程安全有序。首先对支架材料进行质量检验,钢管、扣件等构配件需符合《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205-2020)要求^[1],钢管壁厚偏差 $\leq 0.3\text{mm}$,扣件抗滑承载力 $\geq 8\text{ kN}$;严禁使用锈蚀、变形或破损的材料。搭设过程中,立杆间距、横杆步距需严格按照设计图纸执行,一般立杆间距 $\leq 1.2\text{m}$,横杆步距 $\leq 1.5\text{m}$,立杆底部设置可调底座与垫板,垫板尺寸 $\geq 200\text{mm}\times 200\text{mm}\times 10\text{mm}$;立杆垂直度偏差 $\leq 3\%$,横杆水平度偏差 $\leq 2\text{mm/m}$ 。节点连接采用双扣件紧固,拧紧力矩控制在 $40\text{--}60\text{ N}\cdot\text{m}$,确保连接可靠,避免出现松动;对于大跨度支架,需设置剪刀撑增强整体稳定性,纵向剪刀撑间距 $\leq 6\text{m}$,横向剪刀撑每3-4排立杆设置一道,剪刀撑与地面夹角控制在 $45^\circ\text{--}60^\circ$ 。预压试验的核心目的是消除支架非弹性变形、验证承载能力,避免混凝土浇筑过程中因支架变形导致桥梁线形偏差。预压荷载取值为设计荷载(桥梁自重+施工荷载)的 $1.1\text{--}1.2$ 倍,采用沙袋、水箱或千斤顶分级加载,分级荷载比例为 $30\%、60\%、80\%、100\%、110\%$ (或 120%),每级加载完成后静置12小时,监测支架沉降变形。

预压过程中,在支架顶部、中部及底部设置监测点,监测指标包括沉降量、水平位移及应力变化,采用精密水准仪、位移计及应力传感器进行实时数据采集,数据采集频率为每2小时一次,加载至设计荷载后持续监测24小时,沉降稳定标准为连续12小时沉降量 $\leq 0.1\text{mm}$ 。预压完成后分级卸载,记录支架回弹量,根据预压数据调整支架高程,预留弹性变形量,确保桥梁浇筑后线形符合设计要求^[2]。支架施工及混凝土浇筑期间,需进行全过程动态监测,监测内容包括支架沉降、水平位移、节点应力及地基沉降。监测频率:支架搭设阶段每日1次,预压阶段每级加载后每2小时1次,混凝土浇筑阶段每小时1次;当监测数据出现异常(如沉降速率突然增大、位移超设计限值)时,需立即停止施工,分析原因并采取加固措施。采用智能监测系统可提升监测效率与精度,通过无线传感器网络实时传输数据,结合数据分析平台进行预警,及时发现潜在安全隐患。监测数据需及时整理分析,形成监测报告,作为调整施工参数、保障施工安全的依据。

2.4 支架拆除技术要点

支架拆除需在混凝土强度达到设计强度的80%以上(大跨度桥梁需达到100%),且经监理单位验收合格后进行,拆除原则为“先上后下、先次后主、对称卸载”,避免对桥梁结构造成冲击。拆除前需制定详细方案,明确拆除顺序、时间节点及安全措施,对施工人员进行技术交底;拆除前检查支架连接节点,清除支架上的杂物,设置临时防护设施。拆除顺序与搭设顺序相反,先拆除剪刀撑、横杆等次要构件,再拆除立杆、横梁等主要构件;对于大跨度支架,需设置临时支撑体系,逐步释放支架荷载,避免局部应力集中;拆除过程中,严禁抛掷构配件,采用绳索吊运至地面,分类堆放。拆除期间需持续监测桥梁结构变形,若出现裂缝、位移等异常情况,立即停止拆除并采取应急措施;高空作业人员必须佩戴安全带、安全帽,施工现场设置警戒区域,禁止无关人员进入,确保拆除作业安全。

3 施工注意事项与工程实例分析

3.1 施工全过程管控要点

支架施工属于高空作业,安全风险较高,需建立健全安全管理制度:施工人员必须经过专业培训并考核合格后方可上岗,上岗前佩戴安全帽、安全带等个人防护装备;施工现场设置安全网、防护栏杆、警示标志等设施,脚手架与地面之间设置安全通道;定期对支架结构、施工设备进行检查维护,重点排查扣件松动、钢管锈蚀、立杆变形等问题,发现隐患及时整改。质量控制贯穿施工全过程:材料进场需严格检验,提供质量合格证明文件,不合格材料严禁使用;支架搭设过程中,技术人员全程旁站监督,确保几何尺寸、连接方式符合设计要求;预压试验数据需真实可靠,严禁弄虚作假;混凝土浇筑过程中,密切监测支架变形,避免因荷载突变导致支架失稳。

3.2 工程实例分析

某跨河大桥主桥为 3×40 m预应力混凝土连续箱梁,采用满堂支架法施工。该桥桥位处地质条件复杂,表层为0.8-1.5m厚的粉质黏土层,下部为中风化砂岩,地下水位较高(地表以下1.2m)。针对该工程特点,制定了以下施工方案:支架选型:选用 $\phi 48 \times 3.5$ mm钢管满堂支架,立杆间距 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$,横杆步距1.2m,纵向剪刀撑间距5m,横向每3排立杆设置一道剪刀撑,确保支架整体稳定性。

地基处理:采用换填法+排水固结综合处理,清除表层粉质黏土,换填1.5m厚级配碎石,分层夯实(压实度 $\geq 96\%$);周边开挖 $30\text{cm} \times 40\text{cm}$ 排水沟,设置4口降水井进行井点降水,将地下水位控制在换填层以下;表面铺设土工布与防水卷材,防止雨水渗透。

支架搭设与预压:严格按照设计图纸搭设支架,采用双扣件紧固节点,搭设完成后进行预压试验,预压荷载为设计荷载的1.2倍,分级加载至设计荷载后持续监测24小时,最大沉降量为8mm,满足设计要求;根据预压数据调整支架高程,预留10mm弹性变形量。

施工监测:采用智能监测系统,在支架顶部设置20个沉降监

测点、10个水平位移监测点,混凝土浇筑过程中实时监测,最大沉降量为5mm,未出现异常变形。

该工程通过科学的支架施工方案与严格的质量控制,顺利完成现浇施工,桥梁线形偏差 $\leq 3\text{mm}$,混凝土强度满足设计要求,无安全事故发生。

4 结语

现浇桥梁支架施工是一项技术密集、系统性强的工作,支架选型、地基处理、搭设预压、监测拆除等环节环环相扣,任一环节的疏漏都可能引发质量安全问题。本文通过对支架施工关键技术的系统分析,结合工程实例验证了技术方案的可行性,强调了全过程质量控制与安全管理的重要性。

随着交通基础设施建设向大跨度、高难度方向发展,支架施工技术将面临更多挑战。未来应加强新型支架材料、智能监测技术的研发与应用,优化施工工艺,完善行业规范,推动现浇桥梁支架施工向精细化、智能化、绿色化方向发展,为我国桥梁工程质量与安全提供更坚实的技术保障。

[基金项目]

长沙理工大学桥梁工程安全控制教育部重点实验室开放基金资助项目(24KB05)。

[参考文献]

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构工程施工质量验收标准:GB50205-2020[S].北京:中国计划出版社,2020.
- [2]牛亚鹏.组合式基床半刚性沉管隧道沉降特性及控制标准研究[D].长安大学,2023.
- [3]李国权,马冰,孙红义,等.应急处置(抢险救灾)工程河道岸坡塌岸分析及其防治[J].人民黄河,2023,45(S1):9-10.
- [4]常玮琦,柴猛.桥梁工程中支架现浇连续箱梁施工技术要点分析[J].建筑工程技术与设计,2016,21:108.

作者简介:

易璐(1982-),湖南长沙人,高级工程师,硕士研究生,主要研究方向为:公路与桥梁。