

波折型钢—混凝土组合桥面板施工技术及应用

孙佳宇

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘 要 随着我国现代化基础设施建设的不断完善和深入推进, 桥梁工程建设规模持续扩大。以标准跨径的预应力钢筋混凝土梁桥为主, 工程建设要求不断提升, 不仅要保证超高建设质量, 还要求高效的施工效率、有序的项目管理、绿色环保的施工技术。为了提高建造效率、保证工程质量、节约使用资源, 本文聚焦波折型钢—混凝土组合桥面板施工技术, 结合 G5 京昆高速公路绵阳至成都段扩容项目清江互通 C 匝道桥, 分析了该技术在结构性能、经济性和环境适应性等方面的优势, 以期为类似桥梁工程建设提供有益参考。

关键词 波折型钢—混凝土组合桥面板; 桥梁工程; 钢板制造; 混凝土浇筑; 环境保护

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.24.019

0 引言

G5 京昆高速公路绵阳至成都段扩容项目(以下简称“成绵扩容项目”)是交通运输平安百年品质示范工程, 是以大力推动智慧高速公路建设为指导思想, 践行高质量发展新理念, 推进精品建造和精细管理, 打造优质耐久、经济高效、绿色集约、智能先进、安全可靠的现代化高速公路。本文通过介绍 G5 京昆高速公路绵阳至成都段扩容项目清江互通 C 匝道桥的建设, 分析波折型钢—混凝土组合桥面板施工技术在桥梁工程中的应用及特点。

1 工程概况

清江互通 C 匝道桥第三联为四孔桥, 主梁由预制 I 型梁+波折型钢—混凝土组合桥面板+横隔板组合而成, 结构型式为主梁简支、桥面连续。其中, 波折型钢—混凝土组合桥面板底板为 5 mm 厚的波折型耐候钢板, 与现浇钢筋混凝土板形成最厚位置 24 cm、最薄位置 14 cm 的组合桥面板, 平均厚度 19 cm。波折型断面平行于路线设计线。波折型底钢板波高 10 cm, 波口宽 20 cm、波底宽 10 cm, 波间距 30 cm, 由平面薄板轧制成型。桥面板采用掺入多锚点、带压痕钢纤维的 C40 混凝土。现场完成波折型底钢板架设后, 吊放钢筋骨架, 最后浇筑 C40 钢纤维混凝土, 形成组合桥面板。波折型钢底板通过端封板与先张预制 I 梁顶板内的预埋钢板现场焊接相连。桥面铺装采用 10 cm 厚钢纤维混凝土; 待桥面板混凝土浇筑完成、检查平整度满足要求后再铺装防水粘结层, 最后铺装改性沥青混凝土面层。

2 波折型钢—混凝土组合桥面板的构造特点

在波折型钢—混凝土组合桥面板中, 钢板起到了承载荷载和提供刚性的作用。波折型钢板是一种具有

特殊形状的钢板, 其特点是在长度方向上呈波浪状折叠。该结构使得钢板具有较高的刚度和强度, 并能够有效分散荷载^[1]。常用的波折型钢板材料包括普通碳钢、高强度钢和耐候钢等。其中, 高强度钢具有较高的屈服强度和抗拉强度, 能够减小钢板厚度并提高桥面板的承载能力。

混凝土是波折型钢—混凝土组合桥面板的另一个重要组成部分。混凝土材料具备良好的耐久性、抗裂性和抗压强度, 以确保桥面板的长期稳定性和承载能力。常用的混凝土材料包括普通混凝土、高性能混凝土和纤维增强混凝土等。其中, 高性能混凝土具有较高的抗压强度和耐久性, 可满足桥面板在重载、频繁交通以及恶劣环境下的使用要求。

型钢—混凝土的组合作用: 波折型钢板与混凝土层之间形成了紧密的粘结作用, 钢板起到了刚性骨架的作用, 而混凝土则能够分散荷载并保护钢板免受腐蚀和损伤。

多点支承方式: 波折型钢—混凝土组合桥面板采用多点支承的方式, 使得荷载能够均匀分布到桥梁结构上, 减小了集中荷载对桥面板的影响^[2]。

3 波折型钢—混凝土组合桥面板施工技术

3.1 钢板制造工艺

1. 材料准备: 选择合适的波折型钢板材料, 包括普通碳钢、高强度钢或耐候钢等, 并进行材料的质量检测和确认。

2. 钢板加工: 采用折弯或滚压工艺对钢板进行加工, 形成波浪状的折叠结构, 并确保加工精度和尺寸符合设计要求。

3. 钢板防腐处理：对钢板表面进行除锈和防腐处理，以提高其耐久性和抗腐蚀性能。

3.2 混凝土浇筑工艺

1. 混凝土配合比设计：根据桥梁的设计要求和使用寿命，确定合适的混凝土配合比，包括水灰比、胶凝材料种类和掺合物等。

2. 混凝土浇筑模式：根据桥面板的尺寸和形状，选择合适的浇筑模式，可以采用预制板浇筑或现场浇筑的方式。

3. 浇筑工艺控制：在混凝土浇筑过程中，控制浇筑速度、振捣方式和浇筑温度等参数，确保混凝土的均匀性和密实性^[3]。

3.3 连接方式和施工工艺

1. 桥面板与桥梁结构的连接：根据设计要求和桥梁结构的特点，选择合适的连接方式，包括焊接、螺栓连接或粘接等，并进行连接的质量检测。

2. 桥面板的安装和拼装：根据桥梁的几何形状和跨度要求，对波折型钢—混凝土组合桥面板进行现场安装和拼装，确保其与桥梁结构的协同工作。

3. 施工工艺控制：在施工过程中，控制施工顺序、工艺参数和质量要求，确保施工的安全性和质量可控。

3.4 施工质量控制

桥面板混凝土中掺入的钢纤维，采用多锚点带压痕的短钢纤维。应满足以下要求：（1）采用多锚固点的碳素冷拔钢丝切断型，表面应有明显的压痕，其长度应为 30 ~ 35 mm，直径为 0.6 ~ 0.9 mm，抗拉强度不低于 600 MPa。（2）钢纤维表面不得有任何杂质，粘连片、铁屑等同类杂质含量必须低于总重量的 1.0%。

（3）尺寸偏差不应超过公称值的 $\pm 10\%$ ，长径比偏差应在 $+15\%$ 以内，单根重量应在公称重量值的 $+15\%$ 以内。

（4）具有较好的外观形状，形状合格率应大于 90%。

（5）具有较好的弯折性能，应在一次弯折 90° 后不发生断裂现象。（6）具有较好的分散性，应在混凝土中不发生变形、结团等现象。

除上述明确要求外，对于一般施工工艺流程还应制定质量控制计划，包括材料检验、施工工艺控制、质量检测和验收等环节，确保桥面板施工质量符合设计要求和标准规范。同时，在施工过程中，进行桥面板的监测和测量，对施工质量进行实时监控，如板面平整度、连接缝间距等，并及时调整施工工艺，以确保施工质量的稳定和一致性。

3.5 安全文明施工

相关人员应充分重视安全措施，按照有关法律、法规、行业技术标准等设置安全设施，制定施工安全计

划和措施，包括人员防护、施工现场安全防护、材料存储和运输安全等，确保施工过程中的人员安全。在施工过程中应做好以下几点：（1）施工期间应提前做好好路段施工组织，减少施工对当地居民和厂矿的影响。

（2）施工时，应设置安全围栏、安全警示灯及指示牌。（3）所有施工人员须接受三级安全教育，特种作业人员（电工、焊工、起重机械操作等）必须持证上岗，每日开展班前安全交底会，针对当日作业内容进行风险分析，建立人员安全考核档案，定期组织应急演练。

（4）施工机械进场前须经第三方检测机构验收合格，临时用电系统执行 TN-S 三级配电两级保护，电缆敷设采用架空或套管保护。（5）编制专项应急预案，成立应急小组并公示 24 小时值班电话，现场设置医疗急救箱，与最近医院建立绿色通道。

3.6 环境保护

1. 施工期间对噪声的防治措施。本桥处城镇居民密集区内，在施工时要注意严禁高噪声设备在休息时间（中午或夜间）作业。

2. 施工期间对大气污染防治措施。要注意在施工期间的大气污染防治，尽可能减少粉尘对周围环境的影响。施工期间运输车辆行驶路线应尽量避免居民点和其他敏感点，并采取冲洗进出施工场地的车辆、对运输车辆进行遮盖等措施，减轻由于施工车辆运行导致的二次扬尘等污染。在施工过程中对可能造成扬尘的搅拌、装卸等施工现场，要有定时洒水等防护措施，以防止较大扬尘蔓延。特别注意不能随意倾倒淤泥垃圾。

3. 施工期间综合环保措施。（1）施工前应充分做好各种准备工作，详细调查，互相配合，对可能产生的影响做出准确、充分的分析，并做好应急准备工作。

（2）施工时，应设置安全围栏、安全警示灯及指示牌。（3）配合好交管部门的工作，确保施工期间城市交通的畅通。（4）运土车辆必须进行密封和覆盖，避免沿路抛洒；施工单位应对车辆进行每车次清洁。（5）施工中的弃土应及时清运至指定地点。（6）尽量使用低噪声的机械设备和施工工艺，限制夜间高噪声、振动施工。（7）避免或减小桥梁施工对河水的污染。（8）桥梁施工时尽量避免破坏原有植被。（9）施工中产生的各种污水应经过沉砂池沉淀后及时排出。

4 波折型钢—混凝土组合桥面板在桥梁工程中的应用

波折型钢—混凝土组合桥面板在成绵扩容项目清江互通 C 匝道桥中的实际应用，在结构性能上表现非常出色。首先，该组合结构的波折型钢板具有较高的

刚度和强度,能够有效分担桥梁荷载,确保桥梁的稳定性和安全性,提高了桥面板的抗弯刚度和承载能力,使桥面板能够承受较大的动态荷载和交通载荷。其次,混凝土与钢板的结合紧密,形成了一体化的桥面结构,具有较好的耐久性和抗裂性能,钢板的防腐处理和混凝土的配合比例优化确保了组合桥面板的长期抗腐蚀性能。混凝土层能够有效保护钢板不受外界环境的侵蚀,并提供了较好的抗裂性能。此外,波折型钢板的特殊形状设计有助于排水,减少积水对桥梁结构的侵蚀和损害。

在经济效益方面,由于波折型钢板的轻量化设计,减少了桥梁自重,降低了基础和支座的要求,节省了建筑材料和成本^[4]。其次,由于该组合结构的模块化设计和工厂预制加工,施工过程相对简化,减少了施工时间和劳动力成本,这对于加快桥梁工程的建设速度和降低施工期间的交通干扰具有重要意义^[5]。此外,钢板的表面防腐处理和混凝土的抗裂性能使得桥面板具有较好的耐久性,减少了维护工作的频率和成本,由于该组合结构的模块化特性,可以快速更换受损的部件,降低了维护过程对交通的影响和维护费用的支出,较长的使用寿命和较低维护需求进一步降低了维护和修复成本,为投资者带来了显著的经济回报。

在环境适应性方面,首先波折型钢—混凝土组合桥面板采用波折型钢板作为主要结构材料,相对于传统桥面板中使用的大量钢筋,其钢材资源利用更为节约。在波折型钢板制造过程中,可以通过合理设计和优化切割方式减少钢材的浪费,同时波折型钢板具有较高的可再生性,可以进行回收再利用。其次,波折型钢—混凝土组合桥面板中的混凝土主要用于填充波折型钢板之间的空间,减少了传统桥面板中大量使用的混凝土用量,采用波折型钢—混凝土组合结构,可以最大程度地减少混凝土的使用,从而降低了对混凝土资源的需求。最后,波折型钢—混凝土组合桥面板在施工阶段相对于传统桥面板具有较低的能耗和碳排放,这主要归因于波折型钢板的制造过程相对简化,减少了钢筋的使用和混凝土的浇筑量。此外,由于波折型钢—混凝土组合桥面板的较长使用寿命,减少了更换桥面板的需求,从整体上降低了资源消耗和能耗。

5 波折型钢—混凝土组合桥面板施工技术的发展方向

成绵扩容项目清江互通 C 匝道桥的波折型钢—混凝土组合桥面板应用案例为该结构技术的发展和推广提供了有力的实证和参考。其优异的结构性能、耐久

性表现和经济效益使得波折型钢—混凝土组合桥面板成为未来桥梁工程中的重要选择之一。该组合结构在桥梁工程中具备广阔的应用前景,并为未来类似工程提供了宝贵的经验和借鉴。

在技术改进和优化方面,既可以研究和开发新型材料以提高波折型钢—混凝土组合桥面板的性能和耐久性^[6],也可以通过结构设计和优化进一步提高波折型钢—混凝土组合桥面板的承载能力和刚度实现更轻、更强的结构,还可以改进施工工艺和连接方式,提高施工效率和质量控制水平,降低施工成本和时间。

在标准规范制定与推广方面,制定与波折型钢—混凝土组合桥面板相关的设计规范、施工规范和检测评价标准,规范化该技术的应用和推广,加强对波折型钢—混凝土组合桥面板技术的宣传和推广,增加相关工程的示范和应用案例,提高行业对该技术的认可度和接受度。

6 结束语

波折型钢—混凝土组合桥面板施工技术在桥梁工程中的应用具有结构性能稳定、耐久性好、施工工期短、维护成本低、能耗少、资源再利用率高等优势,但仍存在技术应用推广不足、标准规范不完善等问题。为了进一步推动波折型钢—混凝土组合桥面板施工技术的应用和发展,建议开展以材料性能、结构性能、施工工艺、标准规范制定与推广为重点方向的进一步研究。波折型钢—混凝土组合桥面板施工技术具有较高的应用潜力和发展前景,通过进一步的研究和探索,以解决现有的问题和挑战,推动该技术在桥梁工程中的广泛应用,为桥梁工程的建设和发展做出贡献。

参考文献:

- [1] 杨静,郑志兵,赵鹏,等.波折型钢—混凝土组合桥面板的抗震性能研究[J].建筑材料学报,2017,20(03):446-453.
- [2] 陈新明,张贤民,徐波,等.波折型钢—混凝土组合桥面板的试验研究[J].交通标准化,2018,38(07):129-133.
- [3] 周鹏,王立杰,陈浩杰,等.波折型钢—混凝土组合桥面板施工工艺研究[J].交通科技与经济,2021,40(04):134-139.
- [4] 房永祥,任更锋.钢折板—混凝土组合桥面板力学性能优化研究[J].桥梁建设,2023,53(02):89-94.
- [5] 陈建军,张庆龙,刘文涛,等.波折型钢—混凝土组合桥面板的力学性能研究[J].公路交通科技,2020,37(11):68-72.
- [6] 郭敏,张静,任伟新.波形钢—混凝土组合桥面板受力性能研究[J].公路交通科技,2022,39(05):45-50.