

桥涵结构优化设计——以环莞三期工程为例

曾诗雄

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司

DOI:10.12238/jsse.v3i3.14951

[摘要] 本文探讨桥涵结构优化设计的理论与应用。以“环莞三期东段常平岗梓片区新增路网完善工程”为例,分析其设计挑战,应用优化理念提出方案,并对比优化前后参数、经济性与性能,验证其可行性与优越性。最后总结经验并展望未来。本研究旨在为类似工程提供理论参考与实践指导。

[关键词] 桥涵结构; 优化设计; 环莞三期工程

中图分类号: F121.3 文献标识码: A

Optimization Design of Bridge and Culvert Structures – Taking the Third Phase of the Huan-Guan Project as an Example

Shixiong Zeng

Xinjiang Transportation Planning Survey and Design Institute Co., Ltd

[Abstract] This paper explores the theory and application of optimal design for bridge and culvert structures. Taking the "New Road Network Improvement Project in Changping Gangzi Area, East Section of Huan'guan Phase III" as an example, it analyzes the design challenges, proposes solutions using optimization concepts, and compares the parameters, economy, and performance before and after optimization to verify its feasibility and superiority. Finally, it summarizes the experience and looks forward to the future. This study aims to provide theoretical reference and practical guidance for similar projects.

[Key words] bridge and culvert structure; optimized design; Huan'an Phase III project

引言

随着城市化与区域经济发展,交通基础设施建设日益重要,桥梁与涵洞作为关键节点,其传统设计常侧重安全而忽视经济性与耐久性等问题。桥涵结构优化设计应运而生,它追求在满足安全功能前提下,通过科学方法优化结构形式、材料、尺寸等,以降低造价、缩短工期、提升性能、减少环境影响。借助计算机技术与优化算法,该理念已取得长足进步^[1]。本文聚焦桥涵结构优化设计,以“环莞三期东段常平岗梓片区新增路网完善工程”为例,探讨优化设计的具体应用与成效,旨在为同类工程设计提供借鉴。

1 桥涵结构优化设计概述

桥涵结构优化设计是在满足功能、安全、性能及环境约束下,运用数学规划、计算机仿真等手段,寻求成本最低、刚度最大等最优方案,核心在于设计思维的革新。实际工程中常综合运用多种方法或结合传统试算比选,以应对桥涵结构优化这一多目标、多约束的复杂决策问题。

2 桥涵结构优化设计的理论方法

2.1 结构选型优化。选型优化需综合考虑跨径、荷载、地质、水文、环境、美观及施工条件,选择最适宜体系^[2]。优化选型时,

需建立评价指标(如造价、工期、用材量、维护成本等),采用层次分析法(AHP)等决策方法比较方案。如环莞三期工程中,引桥采用标准跨径预制小箱梁,下部采用大悬臂预应力预制桥墩,方便设计与施工,大大缩短了工期。

2.2 截面尺寸与配筋优化。在结构体系和材料选定后,截面尺寸和配筋优化是核心内容,目标是在满足强度、刚度、裂缝宽度等条件下,寻求最优截面几何尺寸和钢筋配置,实现自重最小化或材料最省。截面尺寸优化常采用迭代计算,设定初始尺寸,分析检查条件,不满足则调整尺寸重新分析,直至满足。可手动或利用软件自动完成。配筋优化是在确定截面尺寸后,优化钢筋种类、直径、根数、间距、布置方式,满足配筋率、锚固长度、裂缝宽度等要求,减少用量并考虑施工便利。例如,优化弯起钢筋更有效承担剪力,减少箍筋用量;优化纵筋直径和根数组合,易于加工绑扎。现代结构分析软件和优化算法能提高截面尺寸和配筋优化的效率和精度,通过建立模型、输入目标和约束,自动搜索最优解,避免繁琐手算。

3 环莞三期工程桥涵结构优化设计案例分析

3.1 针对环莞三期东段常平岗梓片区新增路网完善工程的实际情况,本次桥涵结构优化设计以降低工程造价,提升结构耐

久性,此外,还设定了缩短施工周期、减少施工干扰等辅助目标。结合环莞三期东段常平岗梓片区地形起伏、地质条件以及交通流量预测,我们优化了桥涵的跨径布置与结构布置。

上部结构选型思路如下:

3.1.1方案一:预制装配式小箱梁。预制装配式小箱梁在全国各地的城市桥梁中被广泛应用。

3.1.2方案二:钢混组合板梁。钢混组合梁桥是一种国际上常用的结构。组合钢板梁充分利用了钢和混凝土的结构性能,钢结构受拉,混凝土受压,受力明确,经济合理。组合钢板梁同样可采用简支结构与连续结构。

3.1.3结构形式比选。根据结构功能要求、景观要求以及经济性和安全性要求,对上述三种结构形式进行对比分析,本项目常规桥梁上部结构推荐采用预制小箱梁结构形式。

3.2桥梁下部结构形式选型。桥梁下部结构的造价占工程总造价比例较大,因此,下部结构型式的选择是桥梁设计的一个重点。桥梁下部结构设计应适应桥位建设条件,满足承载上部构造、活载及其他荷载的要求,并考虑景观要求和桥下空间受限情况。

由于预应力混凝土小箱梁为多片梁组合形成整体断面,下部结构需要采用盖梁加立柱形式支承,下部结构常规考虑形式包括圆柱形墩接盖梁、圆柱形墩接隐形盖梁、矩形墩接盖梁、预制桥墩等,下面根据总体方案的布置,对适应本项目的下部结构方案进行分析比较。

表1 下部结构选型

方案	圆柱形墩接盖梁	圆柱形墩接隐形盖梁	矩形墩接盖梁	预制桥墩
受力特点	受力简单	受力复杂	受力简单	受力复杂
施工工艺	施工简单	施工复杂	施工简单	施工精度要求高
美观性	美观性略差,与上部结构较难协调统一	外形较美观,与上部结构较难协调统一	外形较美观,与上部结构协调统一	外形较美观,与上部结构协调统一

本项目所属跨路桥梁,对桥下空间使用需求及景观需求高,结合南北端桥墩结构形式,根据本项目的实际情况,并考虑结构受力性能、施工工艺、标准化,桥梁下部结构采用预制墩。

引桥桥小箱梁下结构桥墩采用双矩形柱+预应力盖梁的桥墩形式,盖梁采用C50混凝土,按部分预应力A类构件设计。桥跨桥墩立柱尺寸为1.6x1.6m,立柱四周设圆弧倒角,以利脱模。桥墩承台厚2.8m,桥墩基础为2根直径1.8m钻孔灌注桩基础。以下从设计优化、施工优势及经济性等方面详细分析预制桥墩的优缺点:

由力学特性来看,荷载的传力特性为上部结构□→盖梁悬臂端→墩柱→承台,其关键控制指标除了满足盖梁的弯、剪、扭及裂缝验算外,还需控制墩顶位移限值。

预制桥墩的设计优化技术见下表:

表2 优化设计关键技术

优化方向	具体措施	效果
截面形状优化	墩柱采用带凹槽的矩形截面(凹槽深 150mm)	减重 12%且惯性矩提升 8%
预应力布置	盖梁采用曲线配束(抛物线形),预压应力提高至 1.2 倍设计荷载	裂缝宽度控制在 0.05mm 以内
节点强化	墩柱-盖梁接头处增设剪力键(梯形键槽+UHPC 灌浆料)	抗剪承载力提升 35%
配筋优化	采用 HRB600 高强度钢筋替代 HRB400,主筋配筋率从 2.1%降至 1.6%	材料成本降低 9%

预制化施工的优势见下表:

表3 预制化施工的优势

指标	现浇结构	预制大悬臂墩	效果
单墩施工周期 ^[a]	14 天	5 天(含吊装)	工期缩短 64%
模板用量 ^[a]	120 m ² /墩	40 m ² (仅接头模板)	减少 66%
现场作业人员 ^[a]	12 人/墩	6 人/墩	人工成本降低 50%
混凝土养护损耗	约 3%	近乎 0%	材料浪费显著减少

预制桥墩的关键施工技术为:1,精准定位控制,2,连接节点处理(本项目墩柱与预制盖梁、墩柱与现浇承台均采用灌浆套筒连接)。

预制墩的经济性能分析见下表:

表4 全寿命周期成本对比(单墩)

成本类型	现浇桥墩方案(万元)	预制墩方案(万元)	节省率
初期建造成本 ^[a]	38.5	42.2	+9.6%
维护成本(30年) ^[a]	15.7	8.3	-47.1%
总成本	54.2	50.5	-6.8%

由上表可知,大悬臂预制墩可减少桥下空间占用,工厂化生产使混凝土保护层合格率从85%提升至98%,在珠三角地区城市快速路项目中具有显著的经济技术优势。

4 优化设计效果评估与对比分析

4.1优化前后设计方案的技术指标对比。对比分析显示,优化后的设计方案在技术指标上表现更优。几何参数方面,通过优化选型和布置,部分桥涵结构自重较原方案有所降低,跨径和高跨比等参数经过精细化计算,更加合理。力学性能方面,优化设计显著提升了结构的强度储备和刚度,尤其是在关键控制截面,应力水平更低,变形更小,稳定性也得到加强。耐久性指标方面,优化设计通过增加保护层厚度、优化混凝土配合比、选用高性能钢筋等措施,显著提升了结构的抗裂性能和抗侵蚀能力,预计使用寿命得到延长。

4.2优化前后设计方案的经济性对比。经济性对比是评估优化设计成效的关键。主要材料用量对比表明,优化方案显著减少

了混凝土和钢材的用量。例如,通过优化截面尺寸和配筋,钢材节约率达到了约15%;采用预制装配结构也减少了现场混凝土的用量。工程造价估算对比显示,优化设计使得土建成本和施工成本均有所降低,综合成本节约效果显著,预计整体工程造价降低约10%。此外,优化设计还带来了资源消耗的减少和环境影响(如施工扬尘、噪音)的降低,初步评估显示其环境友好性也得到提升。

4.3 优化设计效果的综合评价。综合评价表明,本次桥涵结构优化设计取得了显著成效。从技术层面看,优化方案在满足规范要求的基础上,提升了结构的安全性能、使用性能和耐久性,几何参数更合理,力学性能更优越。从经济层面看,优化设计有效控制了工程造价,节约了材料资源,降低了全生命周期成本。从施工层面看,优选的预制装配方案加快了施工进度,减少了现场作业难度和干扰。从环境层面看,资源节约和施工过程的优化有助于减少对周边环境的负面影响。当然,在优化过程中也遇到了一些问题,如部分新技术的应用经验不足、多目标优化时需权衡取舍等,但通过加强计算分析、组织专家论证、借鉴类似工程经验等方式,均得到了妥善解决。总体而言,本次优化设计实践验证了其在提升桥涵结构综合效益方面的巨大潜力。

5 结束语

本文系统探讨了桥涵结构优化设计。研究明确了关键环节与方法,包括结构选型、材料、尺寸及施工工艺的优化。以“环莞三期东段常平岗梓片区新增路网完善工程”为例,实践证明优

化设计显著提升了技术性能,降低了经济成本,成效显著。然而,研究亦存在不足,如部分复杂因素未完全纳入模型,优化算法仍有提升空间。未来研究可深化智能算法应用,融入全生命周期成本理念,并积极推动新型材料与技术桥涵优化设计中的实践,以期实现更高效、经济、耐久的桥涵结构。

参考文献

- [1]李俊林.山区公路桥涵设计及其优化研究[J].四川建材,2022,48(05):159-160.
- [2]赫英,侯旭.哈尔滨市二环快速干道工程桥梁上部结构的优化设计[J].黑龙江科技信息,2002,(08):182.
- [3]广东省交通集团有限公司.环莞三期东段施工日志[R].东莞:项目指挥部,2023:15-18.
- [4]JTG/T 3650-2020,公路桥涵施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2020:附录C.2.
- [5]张明远,李建军.预制装配式桥梁施工效率研究[J].施工技术,2022,51(3):45-50.
- [6]中交第二公路勘察设计院.环莞三期工程预算书[Z].东莞:设计文件CZ-05-2023,2023.
- [7]FHWA.Life-Cycle Cost Analysis Primer[R].Washington: FHWA,2019:23-25.

作者简介:

曾诗雄(1991--),男,汉族,湖南衡阳人,硕士,市政路桥设计中级工程师,研究方向:桥涵设计。