

大件运输车辆荷载下中小跨径桥梁验算流程的探讨

袁 强 熊虹娇 郭欣军

杭州市交通规划设计研究院有限公司 浙江 杭州 310011

摘 要: 针对大件运输车辆通行时在役中小跨径桥梁的验算需求, 为规范验算流程、提高验算效率与准确性, 本文对大件运输荷载下中小跨径桥梁的验算方法、参数选取及具体流程展开系统研究。首先明确了车辆荷载效应验算法和车辆荷载效应对比法两种核心验算方法的适用条件与计算要求; 随后结合中小跨径桥梁的结构特性, 重点分析横向分布系数、桥梁承载能力评定系数及组合与分项系数的选取原则和计算规范; 进而构建涵盖信息收集、初步判断、分方法验算、分部位核验的完整桥梁验算流程。以两座预应力混凝土空心板桥为工程算例, 采用两种验算方法开展桥梁可通行性分析, 验证了该流程的可行性与实用性。结果表明, 车辆荷载效应对比法可实现1、2类桥梁的快速验算, 车辆荷载效应验算法能够完成复杂工况下桥梁的精准核验, 两类方法结合的验算流程能在保证验算精度的同时大幅提升效率。本文提出的验算流程适用于多数中小跨径桥梁的大件运输验算工作, 可为大件运输车辆过桥的桥梁安全性评价提供标准化参考, 助力提升大件运输通行审批效率。

关键词: 大件运输; 中小跨径桥梁; 荷载验算; 验算流程; 参数选取

引言

随着我国重工业和大型工程建设快速发展, 大件设备运输需求稳步增长。大件运输车辆轴载重、车货总重大、轮距特殊, 其通行对在役桥梁结构安全形成严峻考验。中小跨径桥梁是公路路网重要组成部分, 数量占比高、分布广, 且部分桥梁服役年限久, 受环境侵蚀、材料老化等影响, 结构性能存在不同程度的退化^[1], 其承载能力能否满足大件运输车辆通行要求, 已成为大件运输安全保障的核心问题。

目前针对大件运输荷载下的桥梁安全性能评估, 已提出荷载效应对比法、荷载试验验证法、多层次安全评估法等计算方法^[2-4]。但现有研究尚未形成一套适配中小跨径桥梁结构特点、兼顾验算效率与精准度的标准化验算流程。在实际工程应用中, 验算方法选用不当、参数取值不合理或验算流程存在缺失冗余等问题, 均会影响大件运输通行的审批效率与桥梁运营安全。

基于此, 本文以在役中小跨径配筋混凝土桥梁为研究对象, 系统梳理大件运输车辆荷载下桥梁的两种核心验算方法, 明确各验算参数的选取原则与计算方法, 结合桥梁技术状况等级, 构建分等级、分部位、分方法的验算流程, 并通过工程算例验证流程的合理性与可行性。研究成果旨在弥补现有验算工作的不足, 为工程技术人员开展大件运输桥梁验算提供标准化的操作指引, 提升大件运输桥梁安全评价的科学性与效率, 为公路大件运输安全管理提供技术支撑。

1 大件运输桥梁验算基本方法

1.1 车辆荷载效应验算法

车辆荷载效应验算法包括承载能力极限状态验算和正常使用极限状态验算两大核心内容。其中, 承载能力极限状态验算采用作用的基本组合, 计算需满足下式要求:

$$S_{ud} \leq R_s \quad (1)$$

式中, S_{ud} 为承载能力极限状态下作用基本组合的效应设计值, R_s 为构件承载力设计值。

正常使用极限状态采用作用的标准组合, 主要对结构构件的应力、裂缝宽度等进行核验。在役中小跨径桥梁多为配筋混凝土结构, 采用车辆荷载效应验算法时, 各项计算与验算指标均应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的相关规定。

1.2 车辆荷载效应对比法

为简化大件运输车辆过桥时桥梁结构的验算流程, 桥梁结构承载力评定可采用《公路大件运输安全通行评价技术规范》^[5] (以下简称《大件运输规范》) 中的车辆荷载效应对比法。该方法的核心原理为: 大件运输车辆过桥与常规车辆过桥在桥梁验算中的差异仅体现为车辆荷载的不同, 因此仅需对比设计车辆荷载与大件运输车辆荷载的作用效应, 即可判断桥梁结构承载能力是否满足通行要求。采用该方法验算时, 需满足下式要求:

$$S_b \leq S_d \quad (2)$$

式中, S_b 为大件运输车货荷载效应值, S_d 为设计车辆荷载效应值。

2 验算参数选取

2.1 横向分布系数

中小跨径桥梁的主要结构形式有空心板梁、T梁及小箱梁，桥梁结构验算时通常选用单梁模型，因此车辆横向分布系数的精准计算是保证桥梁验算结果准确性的核心环节之一。

公路梁桥横向分布系数的常用计算方法包括杠杆法、刚性横梁法、铰接板（梁）法、刚接板（梁）法，各方法的基本假定与适用条件不同^[6]。结合空心板桥、T梁、小箱梁的构造与受力特点，总结三类截面形式桥梁横向分布系数的适用计算方法：跨中横向分布系数计算中，空心板桥采用铰接板（梁）法，宽跨比 $B/L \leq 0.5$ 的小箱梁和T梁采用刚性横梁法，宽跨比 $B/L > 0.5$ 的小箱梁和T梁采用刚接板（梁）法；支点处横向分布系数计算中，三类桥梁均采用杠杆法。

需特别注意的是，计算大件运输车辆荷载的横向分布系数时，还应遵循《大件运输规范》中关于荷载横向布置位置的相关规定。

2.2 桥梁承载能力评定系数

桥梁的承载能力会随着服役时间增加、环境侵蚀、材料性能劣化、结构损伤等因素而降低，因此对在役桥梁进行极限承载力评定时，需引入相应折减系数修正计算。常见中小跨径桥梁为配筋混凝土桥梁，《公路桥梁承载能力检测评定规程》将桥梁技术状况等级划分为五类，在桥梁承载能力极限状态评定时，以桥梁定期检查确定的技术状况等级作为系数分级的评定标度，引入桥梁检算系数 Z_1 、承载能力恶化系数 ζ_c 、混凝土结构截面折减系数 ζ_s 和钢筋截面折减系数 ζ_r ，对桥梁结构的抗力进行修正计算。

2.3 组合与分项系数

桥梁结构承载能力极限状态验算时，桥涵结构重要性系数 γ_0 取1.0，大件运输车辆荷载分项系数 γ_{Q1} 取1.1，结构重力系数取1.2，预加力系数取1.2，混凝土的收缩及徐变作用系数取1.0。同时，《大件运输规范》对此验算提出了额外要求，需根据大件运输车辆总体荷载效应占比，对永久作用效应和大件运输车辆效应的标准值实施分级提高，最大提高幅度为3%。

桥梁结构正常使用极限状态验算时，因大件运输车辆荷载为确定性荷载，其荷载组合形式为1.0倍恒载+1.0倍大件运输车辆荷载。

3 验算流程

结合桥梁结构特点，将桥梁验算部位划分为上部结构、下部结构和支座三部分，基于上述验算方法和验算参数选取原则，构建大件运输车辆荷载下中小跨径桥梁的标准化验算流程，具体步骤如下：

(1) 信息收集与初步判断：收集并核验大件运输车辆信息和通行桥梁的基础资料，查阅桥梁定期检查报告，根据桥梁技术状况等级初步判断桥梁的可通行性。

(2) 车辆荷载效应对比法验算：对技术状况等级为1类或2类的桥梁，首先采用车辆荷载效应对比法展开验算。建立简易单梁模型，模型无需输入准确的截面、钢筋、钢束信息，但需要根据实际桥宽、桥面布置、梁片数计算出设计车辆和大件运输车辆的横向分布系数。对比两种车辆荷载下的荷载效应值，若均满足 $S_b \leq S_d$ ，则桥梁验算通过，无需后续验算，反之则进入下一验算环节。

(3) 车辆荷载效应验算法验算：对技术状况等级为3类的桥梁，以及车辆荷载效应对比法验算中，存在荷载效应值 $S_b > S_d$ 的桥梁，采用车辆荷载效应验算法进行验算。针对未通过的荷载效应对应的桥梁部位，完善计算模型，开展承载能力极限状态和正常使用极限状态的完整验算。

通过车辆荷载效应对比法或车辆荷载效应验算法的1类、2类、3类桥梁，满足大件运输通行要求。桥梁技术状况等级为4类、5类的桥梁或未通过车辆荷载效应验算法的1类、2类、3类桥梁，不满足大件运输通行要求。

4 算例分析

4.1 桥梁基本信息

选取某大件运输通行线路上的两座预应力混凝土空心板桥为工程算例，按照本文提出的验算流程开展桥梁可通行性分析，两座桥梁的基本信息如表1所示。

表1：桥梁基本信息

桥梁名称	结构形式	截面形式	跨径组合(m)
一号桥	预应力混凝土简支梁	空心板	3 × 13
二号桥	预应力混凝土连续梁	空心板	3 × 13

两座桥梁梁高均为60cm，梁板宽1.25m，均分为两幅，机动车道采用双向六车道，建成于2011年，设计荷载等级采用公路-I级，下部结构为圆柱式墩台，桥梁技术状况等级均为1类。其中，一号桥半幅桥宽21m，半幅共16片梁；二号桥半幅桥宽18.5m，半幅共14片梁。

4.2 大件运输车辆信息

本次验算采用车货总重为198t的大件运输车辆模型，轴载分布为 $3 \times 10 + 12 \times 14t$ ，轴距分布为 $3.2 + 1.4 + 2 + 5 \times 1.55 + 9 + 5 \times 1.55m$ ，横向轮距为 $0.75 + 1.075 + 0.75m$ 。

4.3 计算与验算分析

对于中小跨径桥梁来说，配有护送车辆的大件运输通行可按封闭交通处理，在计算横向分布系数时，除大件运输车辆外，其他车道不布置车辆荷载。两座桥梁均

为空心板桥，按支点采用杠杆法，跨中采用铰接板法，算得横向分布系数如表2所示。

表2：横向分布系数计算结果

桥梁名称	设计车辆-支点	设计车辆-跨中	大件运输车辆-支点	大件运输车辆-跨中
一号桥	0.6	0.228	0.386	0.127
二号桥	0.6	0.261	0.392	0.135

组合及分项系数值均按本文2.3节的选取原则确定。采用Midas Civil NX建立桥梁有限元计算模型，两座桥的技术状况等级均为1类，首先采用车辆荷载效应对比法展开验算，选取弯矩、剪力、支反力作为代表性荷载效应，验算结果如表3所示。

表3：车辆荷载效应对比法验算结果

荷载效应值	一号桥		二号桥	
	设计车辆	大件运输车辆	设计车辆	大件运输车辆
最大正弯矩(kN·m)	368.3	344.8	349.0	278.2
最大负弯矩(kN·m)	0	0	244.0	277.8
剪力(kN)	300.7	181.1	328.1	215.4
支反力(kN)	326.9	198.1	377.0	292.8

由车辆荷载效应对比法的验算结果可知：一号桥大件运输车辆引起的各项代表性效应值均小于设计车辆，验算通过，无需后续验算；二号桥大件运输车辆引起的支反力效应值小于设计车辆，支座与下部结构验算通过，无需后续验算，但大件运输车辆引起的负弯矩效应值大于设计车辆，需要采用车辆荷载效应验算法对上部结构开展深入验算。

采用车辆荷载效应验算法对二号桥上部结构的承载能力极限状态验算和正常使用极限状态进行验算，结果如表4所示。由验算结果可知，二号桥上部结构的各项效应值均小于限值，验算通过。

表4：二号桥上部结构车辆荷载效应验算法验算结果

效应类型	效应值	限值
最大正弯矩(kN·m)	764.6	1386.5
最大负弯矩(kN·m)	498.5	857.1
剪力(kN)	401.9	897.3
正截面拉应力(MPa)	0.243	1.855
斜截面主拉应力(MPa)	0.906	1.855
裂缝宽度(mm)	0.145	0.200

综合验算结果可得，一号桥仅通过车辆荷载效应对比法即可完成全部验算工作，二号桥在此基础上补充车辆荷载效应验算法也可判断满足通行要求，两座桥梁均允许该大件运输车辆通行。

5 结论和展望

本文通过系统研究大件运输车辆荷载下中小跨径桥梁的验算方法、参数选取原则，构建了标准化的验算流程，并结合工程算例验证了流程的可行性与实用性，主要结论及展望如下：

(1) 大件运输车辆与常规设计车辆在桥梁验算中的参数选取存在一定差异，如荷载组合与分项系数、横向分布系数等，需在验算工作中重点关注。

(2) 车辆荷载效应对比法的验算效率显著高于车辆荷载效应验算法，可避免复杂有限元模型的建立，大幅缩短验算时间，适用于1、2类桥梁的快速核验，但需确保选取的代表性效应值能完整反映桥梁的承载力特征。

(3) 本文提出的验算流程适用于多数中小跨径桥梁的大件运输验算工作，尤其适用于夜间车流量少、可按封闭交通处理的中小跨径桥梁。若验算场景为车流量较大的开放交通，需考虑普通车辆与大件运输车辆同时过桥的荷载叠加影响。

(4) 后续可针对车型、桥宽、梁片数等限制性因素展开耦合研究，探究各因素对中小跨径桥梁大件运输车辆通行的影响规律，进一步优化验算流程与参数选取方法，提升大件运输通行申请的审批效率与科学性。

参考文献

[1]郑旭,伊廷华,杨东辉,等.中小跨径桥梁承载能力快速检测与虚拟评定方法研究[J].工程力学,2025,42(04):69-77.

[2]王俊峰,刘博,阮素静,等.不封闭交通下大件车通行中小跨径桥梁安全评估[J].浙江大学学报(工学版),2025,59(05):1092-1102.

[3]李浩恒.梁式桥大件运输过桥安全性评估及控制轴载研究[D].哈尔滨工业大学,2020.

[4]宋恒扬,钟杰,彭浪鸣,等.关于桥梁结构大件运输通过性评估方法的思考[J].广东建材,2023,39(11):74-77.

[5]中华人民共和国交通部.JTG/T2213-2023《公路大件运输安全通行评价技术规范》[S].北京:人民交通出版社,2023.

[6]邵旭东.桥梁工程[M].5版.北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.