

典型轴载作用下小跨径简支梁桥响应特征分析

袁堂超, 吴柳杰, 包大海

(长安大学公路学院, 西安 710064)

摘 要:研究典型轴载作用下小跨径简支梁桥的受力特点,基于 WIM 数据确定典型轴载及其荷载参数,借助影响线加载方法及相关力学原理计算简支梁桥在典型轴载作用下的正弯矩、剪力和位移响应,将其与《公路工程技术标准》(JTG B01-2014)中的设计荷载效应进行比较,并以比值为分析对象,讨论小跨径简支梁桥在典型轴载作用下的响应特征。分析结果表明:单轴荷载较相同载重量的双联轴、三联轴对结构的荷载效应更为明显,小跨径简支梁桥在典型轴载作用下的正弯矩、位移响应较剪力效应更为明显,结构的强度安全由其抗弯强度控制,随着跨径增加,单轴荷载效应与设计荷载效应的比值单调递减,而双联轴、三联轴的荷载效应比值呈现先增后减的变化规律,峰值所对应跨径为 6 m~8 m。

关键词:桥梁工程;小跨径简支梁桥;典型轴载;影响线加载

中图分类号:U446

文献标志码:A

引 言

2014 年 9 月 30 日,中华人民共和国交通运输部发布《公路工程技术标准》(JTG B01-2014)^[1],并于 2015 年 1 月 1 日起执行(文中简称“14 标准”),原《公路工程技术标准》(JTG B01-2003)^[2]及其英文版、法文版同时废止。14 标准对原规范设计汽车荷载的车道荷载加载量值进行了明显调整。

对于小跨径简支梁桥,如简支空心板桥,由于结构跨径较小,公路运输中典型重载卡车荷载效应往往以轴载效应的形式体现,本文基于长期的交通流监测数据,确定公路运输中的典型轴载^[3-4],并基于影响线加载^[5]确定典型轴载效应,将其与 14 标准中的公路-I 级设计荷载效应进行比较,基于比值的计算结果,分析典型轴载作用下小跨径简支梁桥的响应特点及随跨径的变化规律。

1 14 标准车道荷载加载量值规定

14 标准车道荷载仍采用均布力与集中力的组合,如

图 1 所示。与原规范相比,14 标准车道荷载的加载量值提高了对小跨径桥梁的重视程度,在均布荷载标准值 q_k 保持不变的前提下,集中荷载修改为式(1)的取值方法,在计算剪力效应时,将集中力乘以 1.2。车道荷载的其他条文沿用原规范的相关规定。

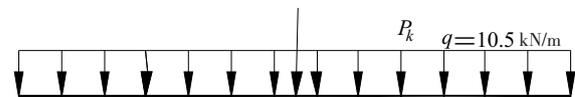


图 1 14 标准车道荷载加载形式

$$P = \begin{cases} 270 \text{ kN} & L \leq 5 \text{ m} \\ (2L + 260) \text{ kN} & 5 \text{ m} < L < 50 \text{ m} \\ 360 \text{ kN} & L \geq 50 \text{ m} \end{cases} \quad (1)$$

2 基于监测数据的典型轴载参数确定

基于河北省宣大高速(2011.01~2012.06)、浙江省 104 国道(2013.04~2014.01)的交通流监测数据,忽略小轿车、客车及轻型卡车对结构的荷载效应,公路运输中常见重载卡车的主要轴型如图 2 所示。重载卡车中间轴距较长,该类车辆对小跨径简支梁桥($L \leq 20 \text{ m}$)的

荷载效应主要体现为后轴或中间轴的轴载效应,基于该调查结果确定典型轴载分别为:单轴、双联轴和三联轴,其荷载组成如图 2 所示。

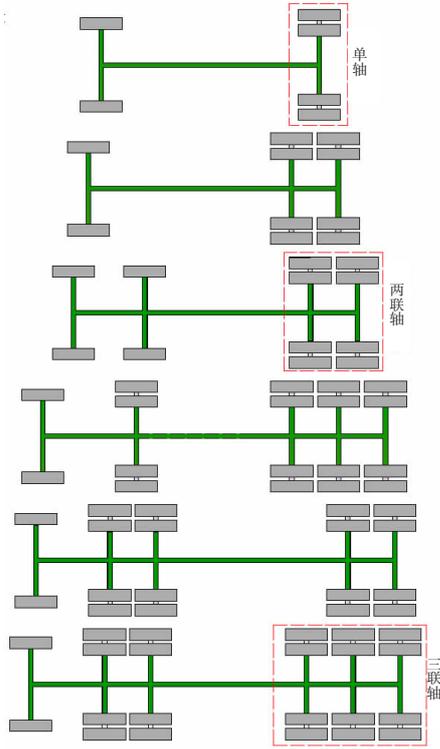


图 2 公路运输常见重载卡车轴型

2.1 两联轴、三联轴轴距确定

典型轴载的荷载参数包括轴距与轴重,首先基于 WIM(Weigh-in-Motion,动态称重系统)^[6-10]数据确定两联轴及三联轴的轴距。两联轴和三联轴实测轴距分布如图 3、图 4 所示,取实测轴距分布的众值作为典型轴载的轴距,即两联轴轴距为 1.46 m,由图 4 可知三联轴的两轴距众值分别为 1.42 m、1.41 m,在分析时,统一取其轴距为 1.41 m。

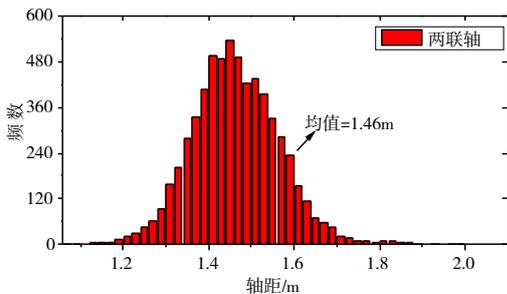


图 3 两联轴实测轴距分布

2.2 典型轴载轴重确定

为分析不同轴型对结构受力的影响,故在确定典型轴载轴重时,使得单轴、两联轴和三联轴总轴重相等,各典型轴载的轴重取值如图 5 所示。

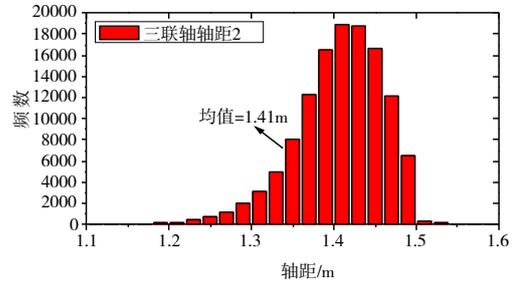
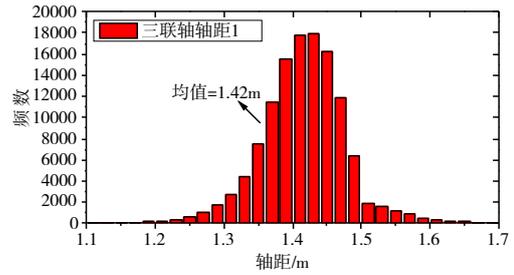


图 4 三联轴实测轴距分布

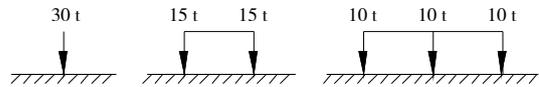


图 5 典型轴载轴重

3 加载计算及结果分析

3.1 小跨径桥梁跨径选择

根据 14 标准的建议,小跨径桥梁应采用标准化跨径、装配式结构、机械化和工厂化施工,并给出了桥涵标准化跨径,结合我国桥梁建设的实际情况及已有的《桥梁上部结构通用图》^[2]等资料,本文选择跨径为 5 m、6 m、8 m、10 m、13 m、16 m 和 20 m 的简支梁为研究对象,当跨径超过 20 m 时,整车荷载效应将代替典型轴载效应成为结构响应的主导因素。

3.2 设计荷载及典型轴载效应计算

以典型轴载荷载效应与公路-I级设计荷载效应的比值 δ 为分析对象。首先通过简支梁的影响线加载计算公路-I级设计荷载效应,以跨径 l 为单一变量,跨中截面设计正弯矩效应 M_D 、位移效应 ω_D 及支点截面设计剪力效应 Q_D 为^[11-12]:

$$\begin{cases} M_D = 2.313l^2 + 62.5l \\ Q_D = 10.05l + 250 \\ \omega_D = 0.22l^4/EI + 5.208l^3/EI \end{cases} \quad (2)$$

在典型轴载荷载效应计算时,使用 k 代替轴距,对于两联轴: $k = 1.46$ m,对于三联轴 $k = 1.41$ m,使用 P_0 代表典型轴载的轴重,对于单轴: $P_0 = 300$ kN,对于两联轴: $P_0 = 150$ kN,对于三联轴: $P_0 = 100$ kN。仍以跨径 l 为单一变量,推导简支梁桥在典型轴载作用下关键

截面响应的表达式。在单轴荷载、两联轴荷载和三联轴荷载作用下,简支梁桥跨中截面正弯矩效应、位移效应及支点截面剪力效应分别为:

$$\begin{cases} M_1 = P_0 \\ Q_1 = P_0 \\ \omega_1 = P_0 l^3 / (48EI) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} M_2 = 2P_0(l-k)/l \\ Q_2 = P_0(2l-k)/l \\ \omega_2 = P_0(l^3 - 3k^2l + 2k^3) / (24EI) \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} M_3 = P_0(3l-4k)/l \\ Q_3 = 3P_0(l-k)/l \\ \omega_3 = P_0(3l^3 - 12k^2l + 8k^3) / (48EI) \end{cases} \quad (5)$$

3.3 δ 计算及结果分析

基于设计荷载及典型轴载效应的计算结果,取 δ = (典型轴载效应)/(设计荷载效应), δ 的表达式中仍是以 l 为单一变量,其表达式为:

$$\begin{cases} \delta_{1M} = 0.25P_0l / (2.313l^2 + 62.5l) \\ \delta_{1Q} = P_0 / (10.05l + 300) \\ \delta_{1\omega} = P_0 / (10.56l + 250) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \delta_{2M} = 0.5P_0l(l-k) / (2.313l^3 + 62.5l^2) \\ \delta_{2Q} = P_0(2l-k) / (10.05l^2 + 300l) \\ \delta_{2\omega} = P_0(l^3 - 3k^2l + 2k^3) / (5.28l^4 + 125l^3) \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \delta_{3M} = 0.25P_0l(3l-4k) / (2.313l^3 + 62.5l^2) \\ \delta_{3Q} = 3P_0(l-k) / (10.05l^2 + 300l) \\ \delta_{3\omega} = P_0(3l^3 - 12k^2l + 8k^3) / (10.56l^4 + 250l^3) \end{cases} \quad (8)$$

基于以上分析,对以下 3 个问题进行讨论:(1)三种典型轴载对结构荷载效应的差别;(2)简支梁在外荷载作用下,各特征响应的显著程度;(3)小跨径简支梁各种响应随跨径的变化规律。

(1) 简支梁桥在总重相等的单轴荷载、双联轴荷载和三联轴荷载作用下的正弯矩响应、剪力响应和位移响应的对比结果如图 6 所示。由图 6 可知:单轴荷载效应大于双联轴效应和三联轴效应,跨径越小其响应差距越大,随着跨径的增大,其差距逐渐缩小,故在重载运输中应尽力推广多轴货车的使用,该措施对小跨径简支梁桥的受力合理性意义较大。

(2) 总重相等的单轴荷载、双联轴荷载和三联轴荷载作用下简支梁桥正弯矩效应、剪力效应和位移效应 δ 值的对比分析如图 7 所示。由图 7 可知:在单轴荷载作用下,位移响应较正弯矩响应和剪力响应更为明显,在

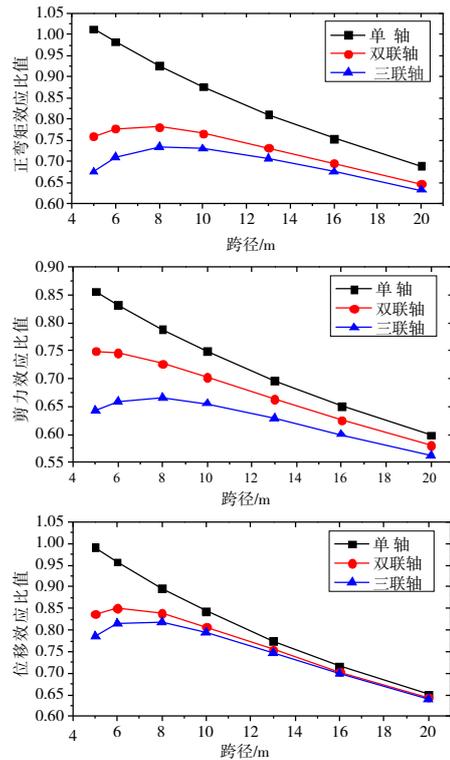


图 6 正弯矩、剪力和位移 δ 值随跨径变化规律

双联轴及三联轴荷载作用下,简支梁的跨中正弯矩响应最为明显。简支梁桥的强度破坏以抗弯和抗剪两种为主。简支梁的强度安全由其抗弯强度控制。此外尽管结构位移响应相对明显,但根据已有研究结果^[13-14],其挠度值一般不会超越桥梁计算跨径的 1/600,结构的刚度能够满足运营需求。

(3) 根据图 6、图 7 可知:单轴荷载所产生的正弯矩、剪力和位移效应与设计荷载效应的比值随跨径的增加而单调减小,双联轴和三联轴荷载所对应的比值随着跨径的增加呈现先增后减的趋势,比值的峰值点约为 l = 6 ~ 8 m。

4 结论

本文首先对 14 标准的车道荷载进行介绍,基于长期的交通荷载监测数据确定了典型轴载及其荷载参数;其次,基于影响线加载及相关力学原理推导了小跨径简支梁桥关键截面的正弯矩、剪力和位移效应计算公式;最后,对三种典型轴载荷载效应差异、简支梁各特征响应的显著程度及其随跨径的变化规律进行了讨论,得到以下结论:

(1) 在载重量相等的情况下,单轴荷载对简支梁的荷载效应最为不利,其次为双联轴、三联轴,推广多轴货运车辆可有效提高小跨径简支梁桥梁的运营安全。

(2) 简支梁桥在外荷载作用下的正弯矩响应、位移响应与设计荷载效应相比,较剪力响应更为明显,小跨径简

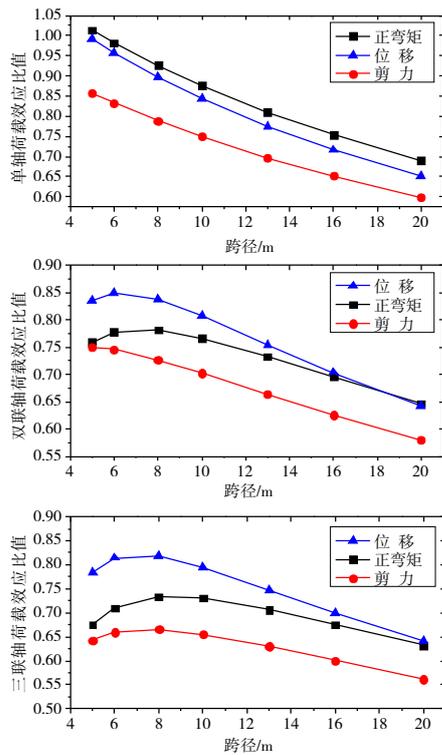


图7 正弯矩、剪力、位移响应相对明显程度分析

支梁桥在运营阶段的强度安全性由其抗弯强度控制。

(3) 随着跨径的增加,单轴荷载效应与设计荷载效应的比值单调减小,而双联轴与三联轴荷载效应与设计荷载效应的比值先增后减,峰值位于 $l = 6 \sim 8$ m, 在小跨径桥梁的设计与运营维护中,应提高对 6 m、8 m 两种跨径桥梁的重视程度。

Response Characteristics Analysis of Small Span Simply Supported Beam Bridge Under Typical Axle Load

YUAN Tangchao, WU Liuji, BAO Dahai

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shanxi)

Abstract: In order to find out the bearing characteristics of small span simply supported bridges under typical axle load, the typical axle load and its load parameters were firstly ascertained based on WIM data. The method of influence line loading and some relevant mechanics principle were used to calculate the responses of sagging moment, shear and displacement of the bridge under typical axle load. The results were compared with the design load effect of JTG B01-2014. Thus the response characteristics were discussed based on the ratio. The result of analysis showed that, the load effect of single-axle is more obvious than that of double-axle and triple-axle with same load, the sagging moment and displacement effect is more obvious than shear effect by comparison, the strength safety of the structure is controlled by flexural strength, besides, the ratio of single-axis load effect and design load effect decreases with the increasing of bridge span, while the ratio of double-axle and triple-axle load effects increase before the span equal to 6 m ~ 8 m, and later decrease with the increasing of span.

Key words: bridge engineering; small span simply supported bridge; typical axle load; influence line loading

参考文献:

- [1] JTG B01-2014,公路工程技术标准[S].
- [2] 中华人民共和国交通运输部.桥梁上部结构通用图[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [3] 马士杰,孙同波.高速公路典型重载交通轴载谱参数与设计轴载分析[J].公路,2014(12):39-44.
- [4] 王强,刘仰韶.公路桥梁汽车的轮轴特征[J].公路交通科技,2013,30(11):41-52.
- [5] 李宁,孙远,徐栋.简支T梁桥影响线与影响面分析的差异[C]//第十九届全国桥梁学术会议论文集(下册).北京:人民交通出版社,2010.
- [6] 张征文,杨飞,赵连峰,等.基于WIM数据的简支梁桥车辆荷载效应分析[J].公路交通科技,2014,31(5):86-92.
- [7] 卢九章.基于WIM的北京市G103国道车辆荷载模型研究[J].市政技术,2015,33(2):58-62.
- [8] 梁旭.基于WIM的典型城市桥梁车辆荷载状况分析[J].土木工程与管理学报,2013,30(4):17-22.
- [9] 郭兰英.汽车动态称重的新方法[J].长安大学学报:自然科学版,2009,29(2):98-100,106.
- [10] 韩万水.基于长期监测的特重车交通荷载特性及动态过桥分析[J].中国公路学报,2014(2):54-61.
- [11] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [12] 龙驭球,包世华.结构力学[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [13] 郭道俊.装配式箱梁桥的特重车响应特征及限载研究[D].西安:长安大学,2014.
- [14] 陈安洋.多地区重载交通下装配式简支T梁桥响应特征研究及安全评价[D].西安:长安大学,2014.