

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.01.013

# 考虑桥面板现浇层刚度对连续梁桥静动力性能的影响

刘旭政, 桂奇琦\*, 张翼飞, 肖宏伟

(华东交通大学 土木建筑工程学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:** 进行桥面板现浇层结构计算时,一般不考虑其对主梁刚度的贡献,但实际上现浇层刚度对连续梁桥静动力性能存在影响。为研究影响效果,该文以某连续梁桥(48+80+48)m为例,采用Midas/Civil建立模型,对比分析了是否考虑桥面板现浇层刚度情况下连续梁桥的弯矩、挠度、频率;对比分析了两种桥面板现浇层刚度模拟方式——截面输入和板单元模拟同一桥面板现浇层刚度占比下连续梁桥的弯矩、挠度、频率。经对比研究后发现:①不考虑桥面板现浇层刚度与截面输入模拟桥面板现浇层刚度连续梁桥的挠度、频率相差较大且随着考虑刚度占比增加而增大,弯矩差别可忽略不计;②截面输入和板单元模拟桥面板现浇层刚度的连续梁桥挠度、频率差别较小,弯矩差别较大且随着考虑桥面板现浇层刚度占比增加而增大。在进行桥梁优化设计、旧桥等级评估或者荷载试验时,应考虑桥面板现浇层刚度的贡献。

**关键词:** 桥面板现浇层; 截面输入模拟; 板单元模拟; 有限元分析; 静动力性能

桥面板现浇层作为连续梁桥的保护层,一方面具有联络各主梁共同受力的作用;另一方面可以分散荷载并作为主结构的一部分参与受力。在桥梁设计和计算中,现浇铺装层不计入其刚度贡献,只作为二期恒载施加给桥梁结构。对于连续梁桥来说,实际上由于现浇铺装层与主梁之间采用构造措施而对于主梁刚度有一定提升,所以不考虑现浇铺装层刚度是合理且偏于安全的。而对于旧桥安全评估或者进行荷载试验来说,实测结果是由主梁和桥面板现浇层两部分刚度贡献下的响应值,而理论计算值为仅考虑主梁刚度的数值。假设某实测挠度值与理论计算值相同,认为实测结构刚度与设计理论刚度相同,但考虑桥面板对结构刚度的贡献后,实际结构的刚度将会小于设计刚度。所以从旧桥等级评估或者进行荷载试验角度来说,不考虑桥面板现浇层刚度的贡献是不合理且存在安全风险的。故探究是否考虑桥面板现浇层刚度以及考虑不同桥面板现浇层刚度占比对连续梁桥静动力性能的影响很有必要。

目前,对于预应力混凝土空心板梁桥是否考虑桥面板现浇层的贡献有一定的研究成果,对于连续梁桥是否考虑桥面板现浇层的贡献和考虑桥面板现浇层多

少百分比的贡献的研究不多,同时JTG D60—2004《公路桥涵设计通用规范》中对是否考虑桥面板现浇层的贡献也没有作出明确规定。针对这一现状,该文依据某已建成的大跨度变截面连续梁桥,计算分析不同桥面板现浇层刚度占比对结构静动力性能的影响;同时分析现有两种不同的桥面板刚度模拟方法(截面输入模拟和板单元模拟)对结构静动力性能的影响。

## 1 工程概况

浙江永嘉某已建预应力混凝土变截面连续梁桥,跨径组成为(48+80+48)m。桥面板现浇层为:7cm混凝土调平层+8cm沥青混凝土铺装层。箱梁采用单箱单室,顶宽12.25m,底宽6.25m,箱梁主跨跨中及边跨支点梁高2.3m,主跨支点梁高4.8m,箱梁梁高按二次抛物线渐变。箱梁顶板厚28cm,箱梁底板根部厚60cm,跨中30cm,箱梁底板按二次抛物线变化。

采用Midas/Civil建立有限元模型,为了研究问题,建立了3类有限元模型,3类模型边界条件一致,具体如表1所示。模型1:不考虑桥面板现浇层刚度,共划分为60个单元,61个节点,顶板厚度不做处理,

收稿日期:2018-07-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51468019,51568020)

作者简介:刘旭政,男,博士,副教授.E-mail:3728468@qq.com

\*通信作者:桂奇琦,男,硕士研究生.E-mail:923097378@qq.com

主梁顶面不加板单元;模型 2:采用截面输入模拟桥面板现浇层刚度,共划分为 60 个单元,61 个节点,顶板厚度随着模拟桥面板现浇层刚度的贡献变化而变化,同时对应调整桥面二期恒载,保证模型 1、2 自重一致;模型 3:采用板单元模拟桥面板现浇层刚度,共划分为 294 个单元,179 个节点(178 个梁单元、116 个板单元,为了添加板单元,增加了虚拟梁单元),相应地调整桥面板单元的压力荷载,表 2 为 3 类模型对比情况。3 类模型自重一致。

表 1 模型的边界条件

约束位置	$D_x$	$D_y$	$D_z$	$R_x$	$R_y$	$R_z$
左边跨支点	0	1	1	1	0	1
中跨左端支点	1	1	1	1	0	1
中跨右端支点	0	1	1	1	0	1
右边跨支点	0	1	1	1	0	1

表 2 3 类模型情况对比

模型 类型	单元/ 个	节点/ 个	处理方式
1	60	61	不考虑现浇层刚度,仅考虑其自重
2	60	61	通过调整顶板厚度来考虑现浇层刚度贡献比,且保证结构自重与原结构相同
3	294	179	通过调整桥面板单元来考虑现浇层刚度贡献比,且保证结构自重与原结构相同

2 考虑桥面板现浇层刚度的静动力性能分析

研究桥面板现浇层刚度对连续梁桥静动力性能的影响,采用模型 1 和 2。对于静力性能,在正常使用极限状态下的荷载短期效应组合(挠度应考虑荷载长期效应的影响,该节仅仅是分析桥面板现浇层刚度的影响,故均考虑荷载短期效应组合)下,选取中跨跨中截面为控制截面,分析不同桥面板现浇层刚度占比对连续梁桥弯矩、挠度的影响;对于动力性能,分析不同桥面板现浇层刚度占比对连续梁桥频率的影响。

根据现行规范要求,对模型 1、2 施加相同的荷载短期效应,所有计算全部采用成桥后的荷载工况:1.0 恒荷载+1.0 钢束张拉 1 次+1.0 钢束张拉 2 次+1.0 徐变 2 次+1.0 收缩 2 次+0.667 车道荷载(其中车道

荷载为三车道、公路—Ⅰ级)。

一般认为桥面板的构造连接措施可使桥面板有效刚度达 70%~80%,所以考虑了用截面输入模拟桥面板现浇层 50%、60%、70%、80%、90%、100% 的刚度占比对连续梁桥弯矩、挠度、频率的影响。

2.1 考虑桥面板现浇层刚度占比对结构静力性能的影响

表 3 为考虑桥面板现浇层刚度对结构弯矩、挠度的影响结果。

表 3 桥面板现浇层刚度占比对结构弯矩、挠度的影响

桥面板刚度占比	中跨跨中截面	
	弯矩/(kN·m)	挠度/mm
不考虑现浇层刚度	15 709.71	-25.09
模拟 50%现浇层刚度	15 728.70	-24.10
模拟 60%现浇层刚度	15 733.82	-23.89
模拟 70%现浇层刚度	15 738.86	-23.68
模拟 80%现浇层刚度	15 743.50	-23.48
模拟 90%现浇层刚度	15 748.44	-23.29
模拟 100%现浇层刚度	15 753.66	-23.10

从表 2 可知:考虑 50%桥面板现浇层刚度比不考虑桥面板现浇层刚度时,弯矩增加 0.12%,挠度减少 3.98%;考虑 100%桥面板现浇层刚度比不考虑桥面板现浇层刚度时,弯矩增加 0.28%,挠度减少 7.95%。

2.2 考虑桥面板现浇层刚度对结构动力性能的影响

根据 Midas/Civil 建立的预应力混凝土变截面连续梁桥有限元模型,计算连续梁桥的动力特性。特征向量采用子空间迭代法进行求解,参与计算的频率数量为该模型前 10 阶自振振型的频率;迭代次数为 20 次,子空间数量为 1,收敛误差为  $1 \times 10^{-10}$ 。图 1 为考虑不同桥面板现浇层刚度百分比(50%、60%、70%、80%、90%、100%)时结构的前 10 阶振型。

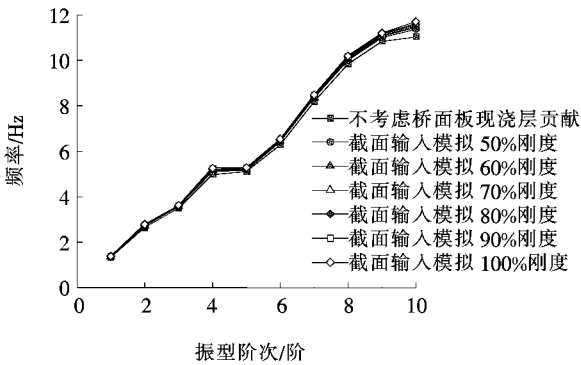


图 1 模型不同刚度比对前 10 阶频率的影响

从图 1 可知:考虑桥面板现浇层刚度时,基频随着现浇层刚度占比的增加而略有增加,考虑 50%、100% 现浇层刚度比不考虑现浇层刚度基频分别增加了 2.25%、4.5%。

通过对比分析可知,考虑桥面板现浇层刚度对于结构动力性能有一定影响,考虑现浇层刚度使得桥梁的基频有所提高,但影响较小。

### 3 两种桥面板现浇层刚度模拟方式对结构静动力性能的影响

Midas 中考虑桥面板现浇层刚度有两种实现方式:截面输入、板单元模拟。采用截面输入方式模拟桥面板现浇层刚度是准确合理的,但这种方式不够简便,尤其是对多跨、大跨度、变截面组多的连续梁桥。所以在实际中,一般采用板单元模拟桥面板现浇层刚度的方式。因此该文研究截面输入和板单元模拟两种方式对连续梁桥弯矩、挠度、频率的影响。

研究两种桥面板现浇层刚度模拟方式对连续梁桥静动力性能的影响,采用模型 2、3。对于静力性能,在正常使用极限状态下的荷载短期效应组合(挠度应考虑荷载长期效应的影响,但该节仅仅分析考虑与不考虑桥面板现浇层刚度的差别,故均考虑荷载短期效应组合)下,选取中跨跨中截面为控制截面,分析两种桥面板刚度模拟方式考虑同一桥面板现浇层刚度占比下对连续梁桥弯矩、挠度的影响;对于动力性能,分析两种桥面板刚度模拟方式考虑同一桥面板现浇层刚度占比下对连续梁桥频率的影响。

#### 3.1 两种桥面板现浇层刚度模拟方式的静力性能对比分析

根据 Midas/Civil 建立的预应力混凝土变截面连续梁桥有限元模型,计算连续梁桥的静力特性。按现行规范要求,对模型 2、3 施加相同的荷载短期效应,计算结果见图 2、3。

从图 2、3 可知:① 采用截面输入模拟桥面板现浇层刚度时,中跨跨中弯矩随着桥面板现浇层刚度占比的增加呈线性增加,增幅较小者约为 0.03%;中跨跨中挠度随着桥面板现浇层刚度占比的增加呈线性减少,减幅较小者约为 0.86%;② 采用板单元模拟桥面板现浇层刚度时,中跨跨中弯矩随着桥面板现浇层刚度占比的增加呈线性减少,减幅较小者约为 0.64%;中跨跨中挠度随着桥面板现浇层刚度占比的增加呈线性减少,减幅较小者约为 0.66%;③ 截面输入和板单元模

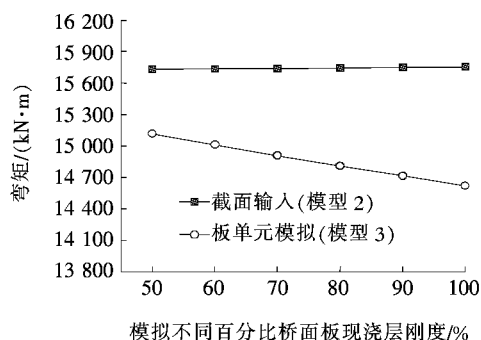


图 2 模型 2、3 不同刚度比下中跨跨中弯矩

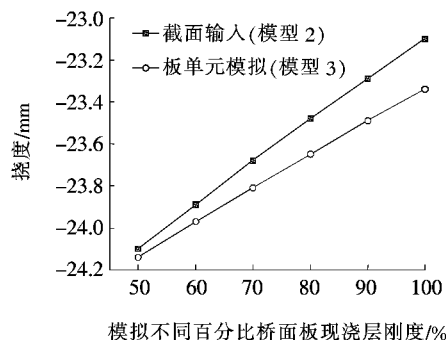


图 3 模型 2、3 不同刚度比下中跨跨中挠度

拟同一百分比桥面板现浇层刚度贡献时,中跨跨中弯矩差值随着模拟刚度占比的增加而增加,截面输入和板单元模拟 50%、100% 桥面板现浇层刚度贡献时,中跨跨中弯矩差值分别为 4.04%、7.75%,弯矩差值较大;④ 采用截面输入和板单元模拟桥面板现浇层刚度时,中跨跨中挠度均随着模拟桥面板现浇层刚度占比的增加而减小,截面输入的减小幅度略大于板单元模拟的减小幅度,且减小幅度随着模拟桥面板现浇层刚度占比的增加愈加明显。截面输入和板单元模拟同一百分比桥面板现浇层贡献时,中跨跨中挠度差值随着模拟百分比的增加而增加,截面输入和板单元模拟 50%、100% 桥面板现浇层贡献时,中跨跨中挠度差值分别为 0.20%、1.03%,挠度差值较小。

#### 3.2 两种桥面板现浇层刚度模拟方式的动力性能对比分析

根据 Midas/Civil 建立的预应力混凝土变截面连续梁桥有限元模型,计算连续梁桥的动力特性。特征向量采用子空间迭代法进行求解,参与计算的频率为该模型前 10 阶自振振型的频率;迭代次数为 20 次,子空间数量为 1,收敛误差为  $1 \times 10^{-10}$ 。图 4、5 为截面输入和板单元模拟两种方式考虑桥面板现浇层刚度百分比前 10 阶振型图。

从图 4、5 可知:采用截面输入和板单元模拟桥面

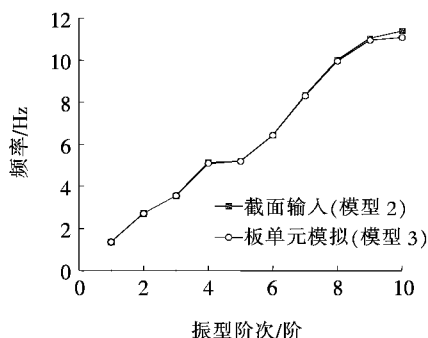


图4 模型2、3考虑桥面板现浇层50%刚度比的前10阶频率对比

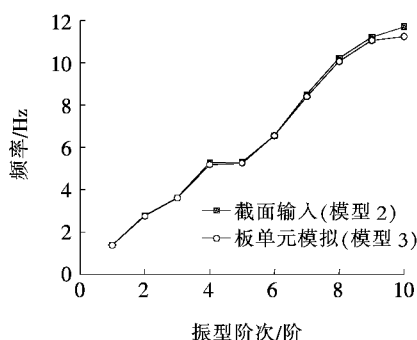


图5 模型2、3考虑桥面板现浇层100%刚度比的前10阶频率对比

板现浇层刚度贡献百分比时,基频均随着模拟桥面板现浇层刚度百分比的增加而略有增大。截面输入和板单元模拟同一百分比桥面板现浇层贡献时,基频差值随着模拟百分比的增加而增加,模拟50%、100%桥面板现浇层刚度基频差值分别为0.003%、0.23%,基频差值很小。

## 4 结论

以某连续梁桥(48+80+48)m为例,采用Midas/Civil建立3类模型,对比分析了桥面板现浇层刚度对连续梁桥的影响。得到以下结论:

(1) 采用截面输入(模型2)模拟桥面板现浇层刚度时,随着桥面板刚度比的增加,中跨跨中弯矩呈线性增加,中跨跨中挠度呈线性减小,但影响均较小。采用板单元模拟(模型3)模拟桥面板现浇层刚度时,随着桥面板刚度比的增加,中跨跨中弯矩呈线性减小,中跨跨中挠度呈线性减小,但影响均较小。

(2) 模型1与截面输入(模型2)进行对比发现,考虑桥面板现浇层刚度对于结构挠度、基频均有一定影

响。其中,挠度影响最大,基频影响一般,弯矩影响最小。可见,进行桥梁优化设计、旧桥等级评估或者荷载试验时,考虑桥面板现浇层刚度很有必要。

(3) 采用截面输入(模型2)和板单元模拟(模型3)桥面板现浇层刚度时,两种方式间的弯矩、挠度、基频差距随着模拟百分比的增加而增加,挠度、基频差值均较小,弯矩差值最大。可见,采用板单元这一简便操作代替截面输入这一繁琐操作,模拟桥面板现浇层刚度贡献是可行的。

## 参考文献:

- [1] 顾安邦,范立础.桥梁工程[M].上册.北京:人民交通出版社,2000.
- [2] JTG F30—2003 水泥混凝土路面施工技术规范[S].
- [3] JTG D40—2002 公路水泥混凝土路面设计规范[S].
- [4] 谭茶生,曾庆敦.公路桥桥面铺装受力分析与力学特性研究进展[J].中外公路,2006(4).
- [5] 赵岩荆,蒋玲.水泥混凝土桥梁双层桥面铺装结构力学分析[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2014(2).
- [6] 臧继成,潘正华,罗君,等.超载及调平层厚度对连续刚构桥桥面铺装层受力的影响[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2013(6).
- [7] 刘国明.连续梁桥桥面铺装对主梁安全影响分析[J].中国水运:下半月,2014(12).
- [8] 唐艺,谢强,何小波,等.简支箱梁桥桥面加载铺装结构安全性分析[J].土木工程学报,2015(S1).
- [9] 李志洪.铺装层厚度对空心板桥受力性能的影响分析[J].福建交通科技,2016(3).
- [10] 史磊.连续箱梁桥桥面混凝土铺装层的受力分析[J].公路交通科技:应用技术版,2014(6).
- [11] 陆进祥.不同厚度的桥面现浇层对预应力混凝土空心板梁桥的影响分析[J].青海交通科技,2010(5).
- [12] 管品武,唐国斌,孟会英,等.桥面铺装对预应力混凝土空心板受力性能影响的试验研究[J].混凝土,2007(10).
- [13] 唐国斌.桥面铺装层对空心板桥受力性能影响研究[D].郑州大学硕士学位论文,2007.
- [14] 朱自萍,席进,魏民.不同桥面板厚度30m组合箱梁受力性能的计算与分析[J].公路交通科技:应用技术版,2012(1).
- [15] 蒋洁,李宾.箱梁桥面层铺装受力特性研究[J].山东交通科技,2009(5).
- [16] JTG D60—2004 公路桥涵设计通用规范[S].
- [17] 王恩东.箱梁桥面铺装受力特性研究[J].山东大学学报:工学版,2008(2).