

浅析独柱曲线梁桥稳定性及抗倾覆对策

王紫玉

(北京市市政工程设计研究总院有限公司,北京市 100082)

摘要: 伴随独柱曲线梁桥的广泛应用,其自身病害也多向发展。目前,桥梁稳定问题已经引起了社会和越来越多结构设计者的重视。通过对独柱曲线梁桥的受力特点和病害形态进行剖析,并结合具体算例进行计算分析,总结出影响独柱曲线梁桥稳定的各种因素,并提出相应的解决对策,打造出合理的支承体系,从而为今后此类桥梁的设计提供一些参考和借鉴。

关键词: 独柱曲梁;稳定性分析;倾覆轴;模型比对

中图分类号: U445.7+1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)08-0152-04

0 引言

伴随国民经济的发展和综合国力的提升,我国城市建设进入一个新的纪元。为更好适应行车要求、节约建设用地,在市政和公路立交中建设了众多大曲率定向、转向匝道,曲线梁桥结构得到了广泛的应用。设计人员一般更注重构件强度的设计,而忽视支承体系的合理性。因此,本文通过对独柱曲线梁桥受力特点和病害形态的分析,结合具体算例,总结出影响独柱曲线梁桥稳定的因素,并提出相应的解决对策,从而为今后此类桥梁的设计提供一些参考和借鉴。

1 影响曲线梁桥稳定的潜在因素

近年来,桥梁失稳倾覆的现象频发,逐步引发社会的关注。曲线梁桥作为受力较复杂的一类桥梁,其稳定性问题显得更突出。在了解桥梁结构受力特点的前提下,把握结构强度和刚度的同时,还应构建一个良好的运营环境,保证结构整体可以在一个稳定的状态下正常工作。

1.1 结构受力特点存在安全隐患

(1)对于曲线梁桥,其变形表现为弯曲和扭转的叠加。在均布荷载作用下,弯桥在挠度和内力分配上,均是外边缘大于内边缘。这一特征随着曲率半径的减少而更加明显,因此对于小半径曲线桥梁,在结构设计伊始,内外腹板的受力状态便存在较大差异。

(2)曲线梁桥的支承反力也呈现出外梁变大、内梁变小的倾向。尤其是曲率半径小、静荷载比较小时,内侧支座更易“脱空”或出现负反力。此特点在连续曲线梁中越发突出。

(3)曲线梁桥的预应力效应对反力分配影响较大,在计算时不可忽视。

1.2 设计时并未引起足够的重视

部分设计人员更加看重上部结构的自身强度,至多为超载情况预留一定的安全储备,而忽视了结构的稳定性,缺乏对其空间性能的深入了解,在设计阶段就埋下了安全隐患。

1.3 超载的外因突显结构隐患

虽然交通运输业在不断发展,运输的形式也变得多元化,但是车辆陆运仍旧以其“点对点”的特性,占有极高比重和地位。而在经济利益的驱使下,超载现象频发,并成为设计人员的“噩梦”。经分析,大部分的现状桥梁倾覆事件,罪魁祸首基本上是超载车辆,对其进行合理限制,已经成为避免倾覆事故的重中之重。

2 曲线梁桥的失稳病害并究其成因

近些年,曲线梁桥事故频发。究其原因,还是稳定性问题。各种病害发生后,并未真正得到重视,久而久之,导致了结构的失稳破坏。

2.1 “爬移”现象

“爬移”现象指曲线梁桥在运营过程中会出现纵向及侧向变位,并在长期反复的作用下不断地积累,造成梁体的“爬移”,从而导致支承体系的改变,以及伸缩缝等附属结构的破坏,如图1、图2所示。造成其

收稿日期:2020-12-14

作者简介:王紫玉(1984—),男,本科,高级工程师,从事桥梁设计工作。

位移发生的主要外部因素包括温度荷载、预应力荷载、收缩徐变和汽车荷载(离心力和制动力)等^[1]。



图1 纵向“爬移”



图2 侧向“爬移”

2.2 支座“脱空”

其主要表现为在车辆荷载和温度荷载的作用下,内侧支座“脱空”,造成原有的支承体系失效,新形成的支承体系在外荷载的作用下超负荷工作。造成内侧支座“脱空”的主要原因有支承体系的抗扭刚度不足、结构扭矩分布不合理,以及未设置拉力支座等。

2.3 支座“拉裂”

部分建成已久的桥梁,其中墩独柱支承采用橡胶支座,在温度荷载的作用下,梁体结构发生径向变位,橡胶支座在剪切作用下发生环向开裂而失效。

2.4 拉力支座破坏

计算手段的局限性和工况模拟的不周全,导致在桥梁设计时,虽然考虑到了曲线内侧支座的“脱空”效应而设置了拉力支座,但其拉力设计值与实际值相差较大、选用支座的不合理,最终发生了拉力支座的失效破坏。

2.5 翻转落梁

翻转落梁是整个支承体系超过了抗倾覆的临界点,桥梁发生了失稳的破坏,如图3、图4所示。其原因多是超载车辆的偏载作用。除此之外,固结墩体系的自身强度不足,也有可能是发生落梁的原因之一。

独柱曲线梁桥发生倾覆的主要原因是梁体在外部荷载作用下,超过了梁体自身的抗倾覆力矩。通常



图3 直线桥落梁



图4 曲线桥落梁

其过程可分为以下3个阶段:

(1)当车辆荷载较小,其产生的倾覆力矩小于结构的抗倾覆力矩。此时各个支座正常工作,均未出现负反力,梁体处于稳定状态。

(2)随着荷载的增大,内侧支座出现了“脱空”等病害现象,支承体系随即发生变化,倾覆力矩与抗倾覆力矩相等。此时处于临界状态。

(3)荷载继续增大,倾覆力矩超过了抗倾覆力矩,此时结构发生失稳落梁。

因此,重视曲线梁桥的病害显现、分析病害诱因,将其遏制在萌芽状态显得尤为重要。配合全寿命周期,为曲线梁桥建立良好的健康档案、定期观测其位移量和反力变化,将大大有利于对桥梁稳定性的把控。

3 曲线梁桥倾覆轴的确定原则

研究结构的稳定性,最重要的一点是要根据支承体系确定结构的倾覆轴,根据自重、预应力和汽车荷载对倾覆轴的力矩大小确定结构的抗倾覆系数。因此,倾覆轴的确定是研究倾覆问题的关键所在。

倾覆轴应为“未脱空”的两支座的连线,其位置与支座的布置和箱梁半径有关,并遵循下列原则:

(1)当整个支承体系的全部支座均位于最外侧支座的连线以内时,倾覆轴线为外侧支座连线,如图5所示。

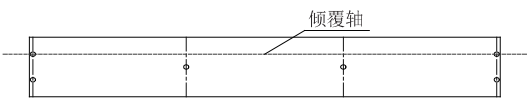


图5 直线桥倾覆轴线

(2)当跨中的所有支座位于外侧支座连线以外时,倾覆轴线取为一外侧支座与跨中支座的连线或跨中支座之间的连线,如图6所示。

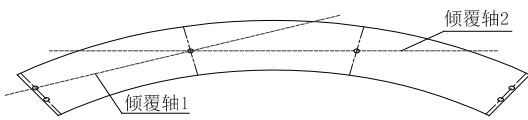


图6 曲线桥倾覆轴线

(3)同一座曲线梁桥的倾覆轴有可能不止一条,在进行抗倾覆分析时,需进行多工况的计算,从而选定最不利的倾覆轴。

4 计算分析

4.1 建立模型

以某工程三跨曲线梁桥为例,采用 Midas Civil 计算程序建模,重点考查预应力效应和自重效应等主要因素对结构产生的影响。同时,分析在活载效应下是否有加速结构倾覆的趋势,具体模型如图7、图8所示。

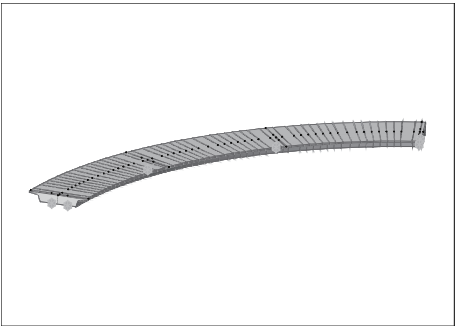


图7 杆系模型

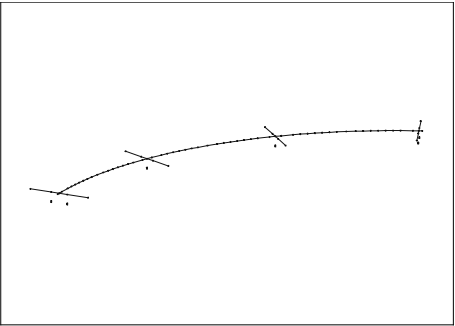


图8 杆系消隐模型

模型边墩采用抗扭性能较好的双支承,中墩采用多种支承计算比对,具体形式见表1。

4.2 结果分析

(1)方案一,倾覆轴如图9所示。

按照最不利荷载位置加载,曲线内侧支座出现

表1 模型参数

项目	0# 墩	1# 墩	2# 墩	3# 墩
方案一	双支承	单支承	单支承	双支承
方案二	双支承	单支承	双支承	双支承
方案三	双支承	双支承	双支承	双支承

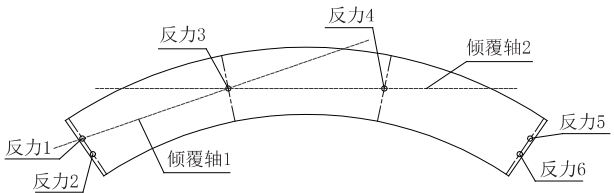


图9 方案一倾覆轴示意图

了支座“脱空”。此时结构根据两条倾覆轴得到的抗倾覆系数分别为: $K_1=47.7$ 、 $K_2=15.1$,此桥的抗倾覆系数为 $15.1>2.5$ (规范值)。

(2)方案二,倾覆轴如图10所示。

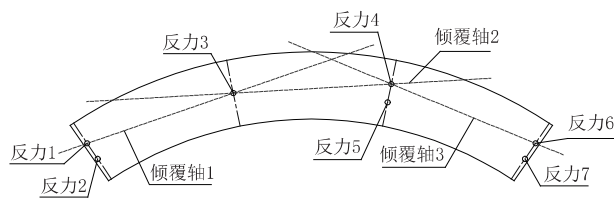


图10 方案二倾覆轴示意图

按照最不利荷载位置加载,曲线内侧支座仍出现了支座脱空,但其数值较小。此时结构根据三条倾覆轴得到的抗倾覆系数分别为: $K_1=48.4$ 、 $K_2=23.2$ 、 $K_3=85.0$,此桥的抗倾覆系数为 $23.2>2.5$ (规范值)。

(3)方案三,倾覆轴如图11所示。

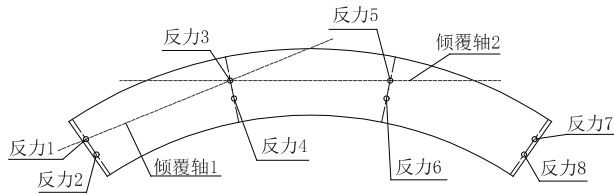


图11 方案三倾覆轴示意图

按照最不利荷载位置加载下,曲线内侧支座并未出现支座“脱空”。此时结构根据两条倾覆轴得到的抗倾覆系数分别为: $K_1=84.9$ 、 $K_2=36.6$,此桥的抗倾覆系数为 $36.6>2.5$ (规范值)。

通过计算分析,预应力效应、温度梯度效应和活载效应对曲线桥梁影响较大,在建模和分析中不可忽视。本例具有桥宽较宽、支承间距较小的特点,所以支座的反力在活载作用下显得十分敏感。实际设计时,推荐采用方案三的支承形式,以曲线内侧支座不出现负反力为控制原则,在中墩设置抗扭支承的双支。

4.3 模型对比

考虑到不同的建模方式对结构受力的影响,本文根据方案三的支承条件,采用空间杆系单元和空间梁格单元两种方式进行验证,如图12、图13所示。

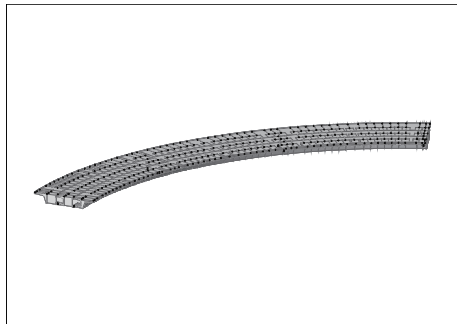


图12 梁格模型

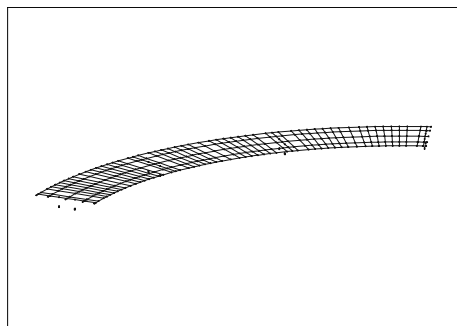


图13 梁格消隐模型

经过对比,通过梁格模型计算得到的结果比杆系模型不均匀性表现得更明显。所以,计算小半径曲线梁桥时,建议采用梁格模型;计算大半径曲线梁桥及直线梁桥时,可采用简化的杆系模型,从而提高计算的效率。

综上所述,对于独柱曲线梁桥,通过建立合理的空间计算模型,并运用稳定性理论和相关的抗倾覆系数计算公式,能够直观地把握各个支承体系下的结构安全状况。

5 曲线梁桥抗倾覆对策

虽然独柱曲线梁桥的稳定性受到诸多因素的影

响,但可以根据工程经验和设计验算制定多种对策,从其设计伊始,为其打造具有良好稳定性的结构体系。

5.1 合理稳定的支承体系加大抗扭能力

(1)除在梁端设置抗扭支承外,在中墩尽量采用固结或双支承等抗扭支承形式,以加大结构自身的抗扭性能,提高其稳定性。

(2)在条件允许的情况下,可以将横梁外延而加大支承间距,增大桥宽与边支座间距比,从而降低曲线内侧支点出现负反力的发生几率。

5.2 合理的偏心距设置调节扭矩分布

(1)将中墩支座或者双支承设置横向(曲线外侧)预偏心,提高梁端抗扭性能,防止支座“脱空”。

(2)对于大曲率的曲线梁桥,设置偏心效果甚微,可通过增加配重混凝土的方法消除支座负反力。

5.3 增加结构的抗扭刚度

加强横梁和横隔板构造设计,从而提高结构的抗扭性能,降低曲线内外侧腹板的受力差异。

5.4 完备的构造设施保障

(1)设置限位措施,有效限制曲线梁桥的径向位移。

(2)增设必要的防落梁措施,提高梁体的稳定性。

6 结语

近年来,独柱曲线梁桥被更多地应用于城市和公路立交建设中,关注结构的整体稳定性成为独柱曲线梁桥设计的重中之重。本文旨在通过对结构受力和典型病害的剖析,参考相应的稳定计算方法,合理的建模并实例分析,从而得出一些建议,为类似工程的设计提供思路和指引。

参考文献:

- [1] 刘国柱.曲线梁桥平面位移机理分析[J].交通科技,2007(3):20-22.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com