

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.04.022

曲线桥梁抗倾覆稳定参数分析

顾晓毅

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要:通过参数分析,探讨曲线桥梁支座布置、平面圆心角和曲率半径对其抗倾覆稳定的影响。结果表明:中墩采用双支座、减少单联桥梁圆心角,能有效改善曲线桥梁的抗倾覆稳定性能;当圆心角 $\varphi < 34^\circ$ 时,抗倾覆稳定系数趋于稳定。

关键词:曲线桥梁;抗倾覆稳定;支座;圆心角;曲率半径

中图分类号: U441

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)04-0078-03

0 引言

20世纪90年代以来,随着高速公路和城市立交桥建设日益增多,在高等级公路相交点或城市主干道交叉口的枢纽处,采用了大量曲线桥梁。曲线桥梁在力学特性上表现为竖向弯曲、面外变形与扭转的“耦合”,结构变形和受力复杂,因而设计时常采用闭口式箱梁截面,以利用结构的整体抗扭刚度。

值得注意的是,在桥梁墩位设置受限、桥梁曲率半径较小、跨度较大和施工条件困难等情况下,曲线桥梁常采用钢结构,以充分发挥钢结构工业化程度高、自重轻和便于现场安装等优点。与此同时,由于钢结构桥梁自重轻、活载和其他可变荷载比重、日照梯度温度效应敏感等不利因素,导致近年来在桥梁施工和运营过程中,桥梁倾覆失稳事故常有发生,详见表1。

本文通过参数分析,从曲线桥梁支座布置、平面圆心角和曲率半径等方面,探讨曲线桥梁的抗倾覆稳定影响效应。

1 桥梁抗倾覆稳定设计准则

目前,国内桥梁规范关于桥梁抗倾覆稳定,考虑两个准则^[1-3]:

(1)“准则一”:作用基本组合下,单向受压支座应始终保持受压状态;

(2)“准则二”:按作用标准组合时,作用效应应符合 $\sum S_{bk,i} / \sum S_{sk,i} \geq K_{qt}$ (注: $\sum S_{bk,i}$ 、 $\sum S_{sk,i}$ 分别为使

收稿日期:2020-08-16

作者简介:顾晓毅(1980—),男,硕士,高级工程师,主要从事城市道路与桥梁方向的设计研究工作。

表1 近年桥梁倾覆失稳事故

时间	桥梁名称	倾覆事故描述
2007	内蒙古包头市民族东路高架桥	宽桥面、独柱墩桥梁。运营中,桥梁发生整体倾覆
2009	津晋高速公路天津段匝道桥	独柱支承曲线桥梁。运营中,匝道桥发生整体倾覆
2010	南京市内环西线南延工程	施工过程中,50 m 钢箱梁发生侧翻
2011	浙江上虞市某立交桥	运营中,整联混凝土连续梁(约120 m)发生倾覆
2012	哈尔滨市阳明滩大桥江南侧引桥	运营中,整联钢混连续叠合梁(约130 m)发生倾覆
2015	粤赣高速公路河源段匝道桥	独柱支承桥梁。运营中,110 m 匝道桥发生整体侧翻
2019	312国道锡港路上跨桥梁	运营中,约80 m 混凝土梁(桥宽约10 m)发生侧翻

结构稳定和失稳的效应设计值,抗倾覆稳定系数 $K_{qt}=2.5$);

准则一考虑基本组合的可变荷载作用下支座不脱空,准则二考虑标准组合下支座对主梁绕某个不利主轴的扭转变形控制。两个准则互为补充。

国外规范对桥梁抗倾覆稳定的规定略有差异。英国《钢、混凝土结合桥规范》(BS5400)规定,对应标准荷载的最小恢复力矩应大于设计荷载的最大倾覆力矩(设计荷载分项系数1.5),相当于抗倾覆稳定系数 $K_{qt}=1.5$;美国AASHTO《公路桥梁设计规范》针对抗倾覆稳定作了定性规定:结构作为一个整体和它的各构件应抵抗滑动、转动、提起和压屈荷载,分析和设计中应考虑荷载偏心矩对抗倾覆能力的影响。

2 桥梁支座布置对抗倾覆稳定影响

桥梁的两端支座布置一般采用双支座,而中墩支座布置各有不同。可分为如图1所示三种形式。

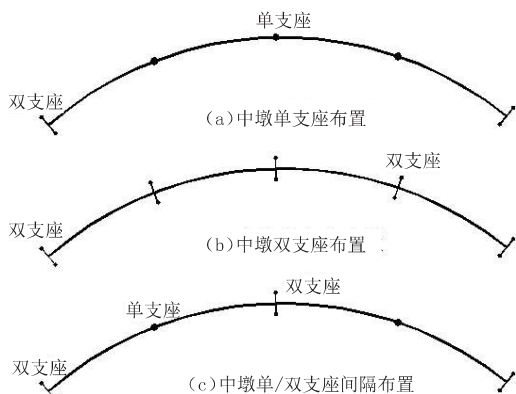


图1 曲线桥梁支座布置形式

理论研究表明,不同支座布置形式影响桥梁扭转受力,进而影响桥梁的抗倾覆性能。图2为有限元参数分析结果曲线,反映了中墩分别采用单、双支座形式对桥梁抗倾覆稳定的影响,可以看出:中墩采用单支座布置时,抗倾覆稳定系数维持在较低水平,对桥梁平面半径不甚敏感;中墩采用双支座布置时,对桥梁抗倾覆稳定有利, K_{qf} 随桥梁平面半径增大而显著提高。

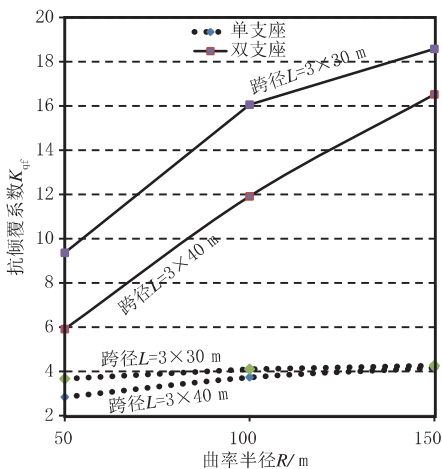


图2 单、双支对抗倾覆稳定影响

为定量分析桥梁中墩在不同支座布置时,不同跨径和曲率半径的曲线桥梁 K_{qf} 和梁端内侧支座最小反力的变化情况,选取以下计算假定:

(1)荷载等级:城—A级;

(2)桥梁结构采用宽度 8.5 m、结构高度 2.0 m 的单箱室钢箱梁断面,梁端压重布置相同;

(3)双支座间距 $D=2.5$ m,按恒载下内外侧支座反力均衡原则调偏;中墩单支座布置在结构中心线;

(4)抗倾覆稳定系数 K_{qf} 、梁端内侧支座最小反力 N 按国内规范^[1-3]验算。

有限元参数分析结果曲线分别如图3、图4所示。

图3反映了基于“准则二”的抗倾覆系数 K_{qf} 变化规律:(1)相同跨径时,采用双支座布置的 K_{qf} 较

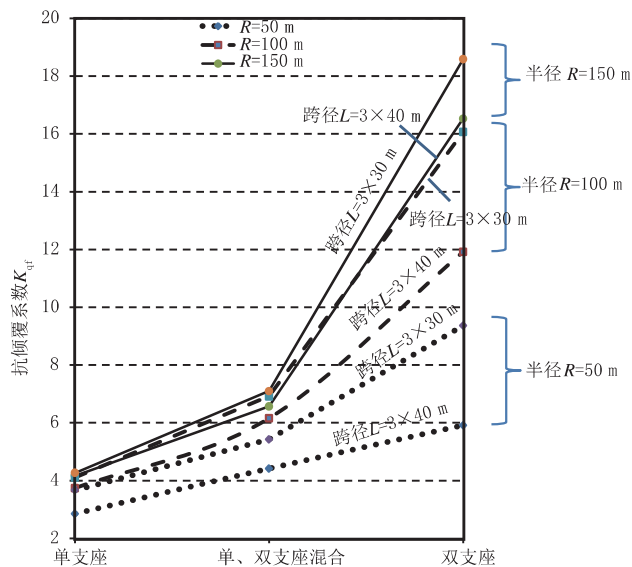


图3 抗倾覆稳定系数

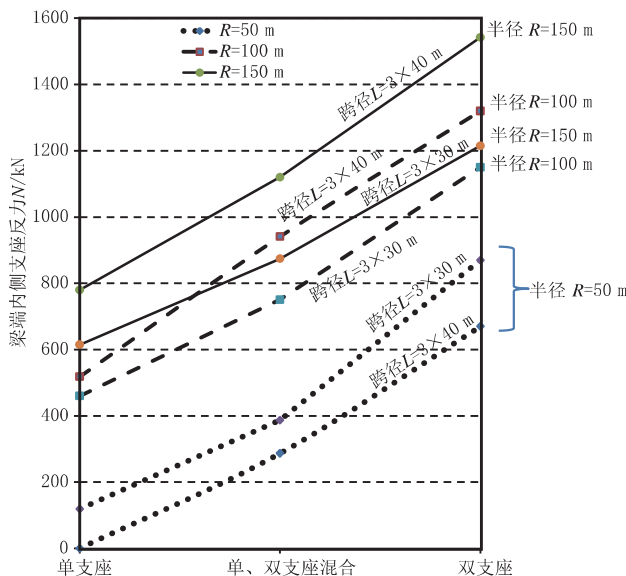


图4 主梁支座最小反力

大,单支座布置 K_{qf} 较小,单双支座间隔布置时在两者之间;(2)随着桥梁曲率半径增大, K_{qf} 相应提高,同样跨径布置下,双支座布置时 K_{qf} 提高最为明显;(3)相同曲率半径时, K_{qf} 随跨径布置增大而变小。

图4反映了基于“准则一”的梁端支座反力变化规律:(1)在桥梁同一跨径和曲率时,采用双支座布置时梁端支座反力储备 N 较大,单支座布置 N 较小,单双支座间隔布置 N 在两者之间;(2)同一跨径桥梁,随着桥梁曲率半径增大,梁端支座反力储备 N 显著增加;(3)桥梁曲率半径 R 较小时(如 $R=50$ m),同样曲率半径下,当跨径布置增大时(即圆心角 φ 增大),由于受温度梯度内力影响,支座反力 N 反而变小。

由此可见,中墩采用抗扭双支座,可以有效改善曲线桥梁抗倾覆稳定性能,且 K_{qf} 随桥梁平面半径增

大而显著提高。考虑到桥梁运营过程中公路超载或其他非预见性荷载常有发生,中墩尽可能采用双支座布置,这是提高桥梁抗倾覆能力的有效措施。

3 桥梁平面圆心角对抗倾覆稳定影响

曲线桥梁平面圆心角 φ 是反映弯曲程度的重要参数,决定弯桥受力和抗倾覆稳定性。曲率半径相同时,一联桥梁的跨长越大,其弯曲程度越大,即扭转效应更为明显。有限元参数分析结果曲线图 5 所示,反映了桥梁平面圆心角对桥梁扭转的影响,可以看到:圆心角 φ 增大,曲线桥梁在抵抗扭转方面需要更大的抗扭力矩,对桥梁抗倾覆稳定影响更为明显。

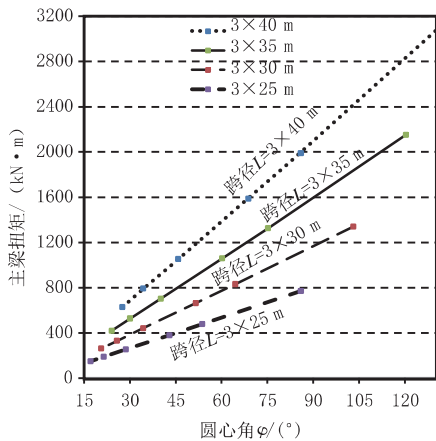


图 5 主梁恒载最大扭矩

图 6 反映了基于“准则二”的中墩采用双支座的三跨钢梁 $K_{qr}-\varphi$ 变化规律:(1)随着圆心角 φ 增大,桥梁抗倾覆稳定系数显著减少;(2)圆心角相同时,趋于稳定,随跨径、半径变化不甚剧烈,圆心角 φ 是 K_{qr} 的决定参数。

图 7 反映了基于“准则二”的中墩采用双支座的三跨钢梁 $K_{qr}-R$ 变化规律:(1)相同曲率半径时,桥梁抗倾覆稳定系数随跨径(或圆心角 φ)增大而减少;(2)曲率半径 $R > 200$ m 时(即圆心角 $\varphi < 34^\circ$), K_{qr} 趋于稳定,随跨径变化不甚剧烈。

由此可见,通过控制曲梁的长度从而减少圆心角 φ ,可以有效改善曲线桥梁抗倾覆稳定性能。实际设计中,圆心角 φ 、桥梁半径和桥梁长度是互为制约,在总体设计时需统一考虑。

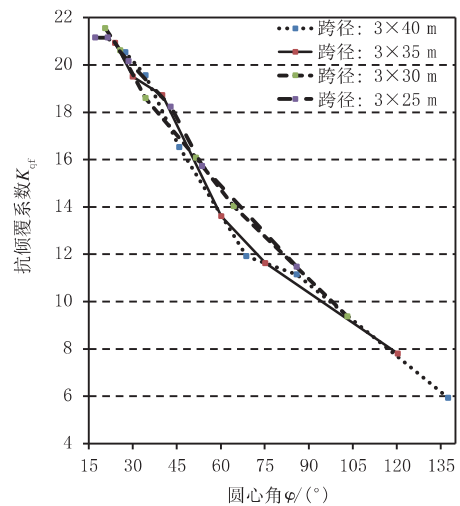


图 6 $K_{qr}-\varphi$ 变化 φ 曲线

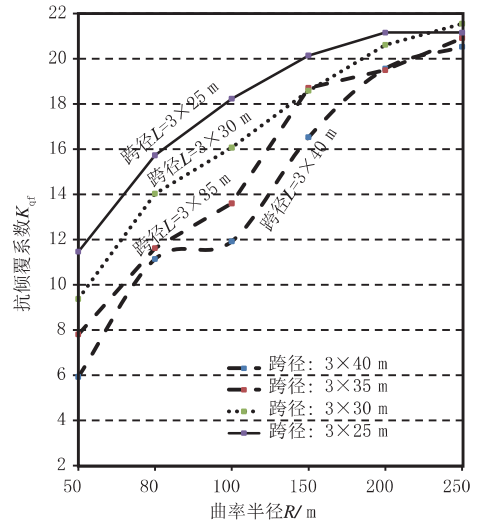


图 7 $K_{qr}-R$ 变化曲线

4 结 语

支座布置、平面圆心角 φ 和曲率半径是影响桥梁抗倾覆稳定性的重要因素。中墩采用双支座能有效约束主梁扭转变形,从而提高桥梁抗倾覆能力;同时,通过控制一联桥梁的长度从而减小圆心角 φ ,也可以有效改善曲线钢桥的抗倾覆稳定性能。

参考文献:

[1] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
 [2] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
 [3] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].