

新型弯桥抗爬移倾覆支座研究

史方华¹ 商雪枫¹ 余茂峰¹ 彭卫兵²

(1. 浙江数智交院科技股份有限公司 杭州 310030; 2. 浙江工业大学建筑工程学院 杭州 310014)

[摘要] 弯桥比起直桥更能适应复杂的地形条件,也更能满足美观的需求,但是弯桥受力复杂、事故频发,因此对弯桥的研究十分重要。文章首先对近年某些典型弯桥事故案例进行分析,根据分析提出一种新型弯桥支座布置方案以及支座形式,然后通过建立三跨弯桥模型模拟弯桥使用过程中,车辆驶过造成的离心力作用、温度变化效应、徐变效应的影响,计算弯桥使用过程中可能发生的位移变化,支座支反力大小。最后根据此结果,确定支座尺寸参数,将其运用于实际的工程中。该布置方案中,自复位支座可以在箱梁受力爬移后通过自重使其复位,起到抗爬移作用;端部拉压式支座不仅能起到抗爬移作用,还起到了抗倾覆的作用。此布置方案可用于实现箱梁倾覆变形的分类控制,为曲线梁桥提升抗爬移及提升倾覆承载力提供科学经济的解决方案。

[关键词] 弯桥事故;弯桥支座布置;自复位支座;抗爬移;抗倾覆

0 引言

随着国内桥梁建设事业的飞速发展,在桥梁中曲线桥的应用越来越广泛。而由于其对各种复杂地形有良好的适应性,特别是在城市的立交桥中优美的线条相互交织,不仅能提高路口的通行能力,而且也成为城市中一道优美的风景线。近年来,各地一些曲线桥梁先后出现各种病害,轻则影响美观、降低行车舒适性;重则出现塌桥等严重公共安全事故,对国家造成巨大的经济损失,在社会上也造成了很大负面影响。曲线桥的结构形式、受力形式较直桥来说更为复杂,车辆离心力、温度变化、收缩徐变等因素都会使曲线桥发生爬移,进而导致桥梁事故的发生。针对曲线桥的爬移和倾覆问题可以通过其支座设计,应用合理的支座结构、支座布置方式来减轻曲线桥在各因素下发生的爬移或避免发生倾覆。

在曲线梁桥横向爬移机理研究方面,赵成功、李攀、林丽娟^[1-3]等多位学者通过对爬移内因外因的分析,应用有限元软件建模模拟曲

线桥在各因素作用下的爬移现象。在支座研究方面,吴成亮^[4]等从球型支座出发,通过构思改进,提出了更优化的球型支座形式。周剑光^[5]等总结了桥梁现有支座,指出了现有支座的优缺点。焦驰宇^[6]等研究实际某桥的爬移情况,探讨了曲线梁桥爬移情况,并且依据分析结果,提出了解决措施。对于支座布置方法,梁仲林、方诗圣^[7-8]等也提出了各自的看法。

现今桥梁支座的研究越来越成熟,种类也越来越多,本文将结合几种现有支座的优缺点,对其进行改进,进而提出一种新型支座的合理布置方式,通过软件分析,最终应用于实际工程中。

1 案例分析

在国内外的桥梁建设中,混凝土连续弯梁桥的应用较为广泛,弯梁桥自身的特点决定了横向位移在病害方面所凸显出来的典型性,从而导致伸缩缝错位和橡胶支座剪切破坏、防震挡块被挤裂破坏、墩柱受弯开裂,桥梁接缝的平整度变差,侧翻概率增大等。2016年7月27

收稿日期:2021-01-04

作者简介:史方华(1964-),男,正高级工程师,主要从事桥梁工程研究。

基金项目:浙江省交通运输厅科技计划项目(2017003)、国家自然科学基金项目资助(51778586)。

日，深圳宝安创业立交桥主桥西行通往创业一路匝道再次被曝梁体发生位移，如图1所示。这是创业立交在1997年8月建成通车后，第4次曝出该问题。根据铁科院铁建所分析，偏移原因包括，预应力连续弯箱梁体因温度产生不均匀变形，引起梁体向外爬移发生偏移；行车转弯产生离心力等。



图1 深圳宝安创业立交桥箱梁爬移

在杭州，上塘高架延伸段运营一段时间后，杭州市路桥有限公司在日常养护检查中发现：第134号桥墩位置（桩号为K6+500，即上塘高架延伸段终点、上石立交起点位置）前后跨桥面和箱梁有相对位移，如图2和图3所示。由于桥墩在建成以后没有发生过位移，推测上塘高架延伸段梁板位移（132~134跨）不是桥墩倾斜所致，而是该产生横向位移的桥跨位于弯道上，箱梁容易发生扭转变形，使箱梁有发生横向位移的趋势，而第134号桥墩湖州侧1号、2号支座采用双向滑动盆式橡胶支座，当箱梁发生扭转变形时，无法对其变形进行约束，所以导致第134跨箱梁在第134号桥墩位置发生横向滑移。横向滑移发生的同时导致了箱梁左侧翼缘板纵向受拉，以致出现横向受力裂缝，裂缝

宽度较大，对桥梁耐久性构成了威胁。



图2 伸缩缝一端顶紧



图3 外侧护栏错位

2017年4月14日下午，杭州萧山工人路高架西侧非机动车匝道3×30m联跨发生整体侧倾事故，如图4，方向由东向西整体侧倾。桥梁上部结构为三跨预应力混凝土箱梁，当时桥上只有一辆电动车在骑行。根据对侧倾残骸进行检测分析，桥台锚栓被剪断已经有较长时间；2号墩与3号墩西侧支座与钢板的接触痕迹如图5~6所示，由图中支座上的滑痕分布及其深浅可以得出，滑痕是在保持一段时间的受压之后才能形成的；在平衡破坏后短时间内的支座垫石滑动无法造成上图所示滑痕的形式。照片上2号墩（固定墩）与3号墩西侧垫石上的痕迹1为箱梁整体发生向西的水平位移后支座与垫石的接触痕迹，并且在该位置保持了一段时间，也就是支座向外侧滑移后无法自动复位了。在倒塌过程中，当上垫石支座开始滑落时，两者之间的接触痕迹为痕迹2。2号墩处西侧支座图中白色发亮部分为侧倾过程中钢板与混凝土摩擦

所致，左边较暗部分由于两者之间隔着四氟板而磨损较轻，但四氟板在下滑的过程中受到较大的磨损而破损。



图4 侧倾倒塌现场

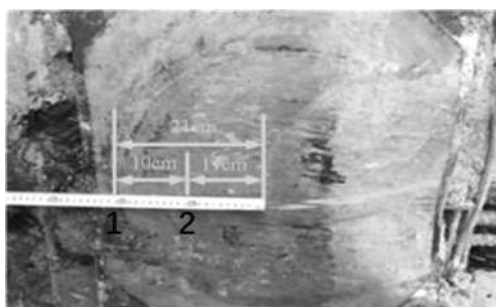


图5 3号墩西侧支座

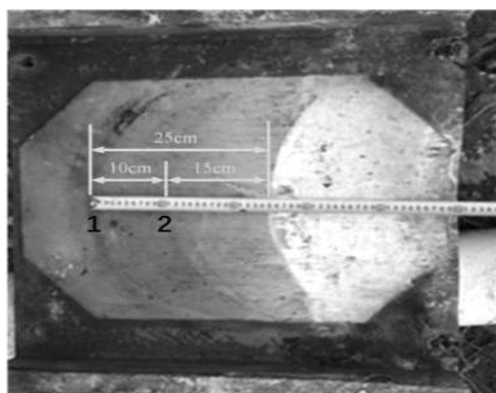


图6 2号墩（固定墩）西侧支座

综上所述，曲线梁桥的爬移是曲线梁桥横向变形的典型表现。所谓爬移，简单来说就是曲线梁桥主梁在外力或环境因素的影响下累积发生的横桥向位移。它是引发桥梁墩身开裂、支座脱空、抗震锚栓断裂、抗震挡块开裂等诸多病害的主要原因之一。曲线梁桥的爬移严重危害着桥梁的安全，且至今仍没有提出很好的防治方法。

2 新型弯桥支座布置方案以及支座形式

在车辆离心力作用、温度变化效应、徐变效应的影响下，曲线梁桥主梁发生无法复原的粘弹性位移，这些位移日积月累逐步使得主梁向外侧爬移，偏离了支座中心，进而发生桥梁事故，因而可以设计采用令主梁在爬移后可以恢复位移的自复位支座。横桥向布置两个支座，形成抗扭支承，更好地抵抗主梁扭转，但其中一个支座在活载作用下有可能产生拉反力，因此考虑布置拉压支座。新型弯桥支座布置方案如图7所示，图中箭头方向表示可爬移的方向，折线表示可以自复位的方向，点表示支座结构可以起到抵抗拉力作用。以三跨桥为例，从曲线梁桥左端部至右端部等间距设定四个位置点依次对应为A~D，每个位置点在梁体与墩台之间沿横桥向布置安装两个支座，其中位置点A和D的四个支座采用纵向平移横向自复位拉压支座，位置点B的两个支座分别采用固定支座和微量位移固定支座，位置点C的两个支座均采用横向自复位支座。

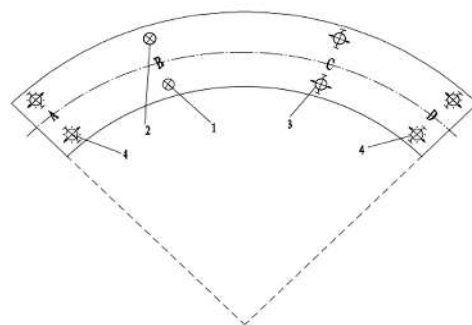


图7 新型弯桥支座布置方式

该弯桥支座布置是通过自复位支座实现弯桥发生横向爬移后的复位，通过拉压支座控制

箱梁横向转动趋势造成的支座拉反力，实现分类控制曲线梁桥的变形和位移，给曲线梁桥提升抗爬移及倾覆承载力提供科学经济的解决方案。

自复位支座的原理是通过自重消耗因温度升高或离心力产生的水平位移，在温度降低或载荷消失时通过重力使箱梁复位，防止多次爬移产生的变形叠加。这样设计杜绝了爬移发生桥梁事故的可能性。

该布置方案中，共有四种类型支座，在图7中用1、2、3、4分别表示。其中1表示固定支座，如图8所示。2表示微量位移固定支座，如图9所示。3为横向自复位支座，如图10所示，4为纵向平动横向自复位拉压支座，如图11所示。

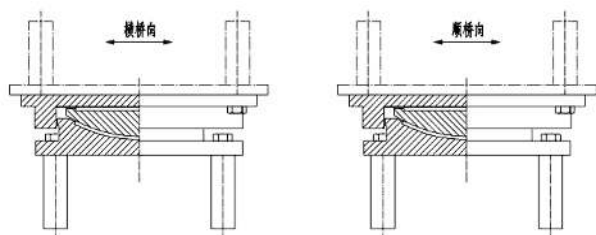


图8 固定支座

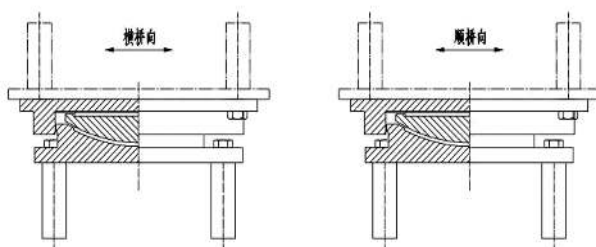


图9 微量位移固定支座

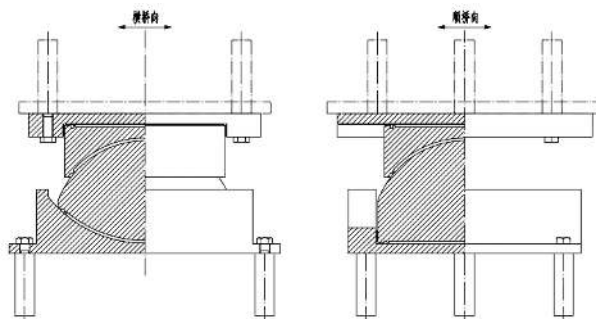


图10 横向自复位支座

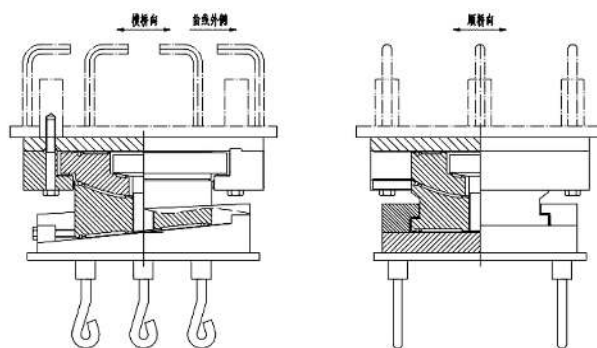


图11 纵向平动横向自复位拉压支座

3 数值分析

3.1 设计资料

本文依托湖州市南浔大桥D匝道第二联弯桥段，该桥段设计为变截面箱梁，其某段截面尺寸如图12所示。其曲线桥曲率半径为50m，三跨布置，每跨跨长16m，横向两支座间距3550mm，支座距离箱梁底面边缘边距985mm，右侧端部与另一匝道桥相接，支座距离箱梁中心线向外偏移。支座平面布置图如图13所示。

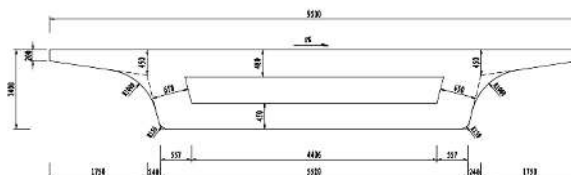


图12 箱梁截面图 (mm)

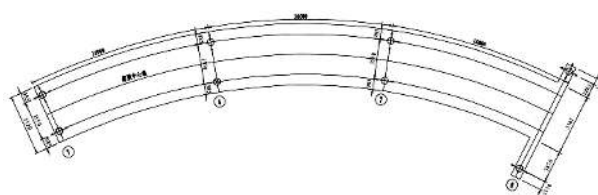


图13 支座平面布置图 (mm)

该桥段设计中，中间四个支座竖向承载力设计值为3500kN，端部四个支座竖向承载力设计值为2000kN，根据规范公式计算出各支座刚度，中间自复位支座刚度为15.75kN/mm，端部支座刚度为9kN/mm。

3.2 模型分析

根据设计资料建立midas/civil模型，考虑车辆离心力荷载作用、箱梁自重、车辆靠边行

驶对桥体造成的扭转作用、温度效应的影响和主梁收缩徐变的影响,分析在这些因素下箱梁的爬移量以及支座的支反力大小。曲线梁桥计算模型如图 14 所示,各荷载造成的爬移结果整理成表 1 所示,支座支反力大小如图 15 所示。

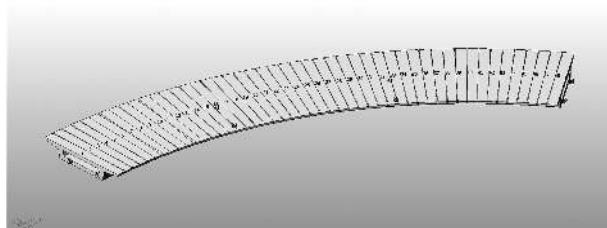


图 14 桥梁计算模型图

表 1 荷载作用下爬移表

数值		最大横向位移 (mm)
自重荷载	箱梁自重	0.237
	均布离心力荷载+	0.943
加速度	车重均布扭矩	
整体升温	30℃	7.007
整体降温	20℃	-4.671
收缩徐变	十年时间	-5.618
合计		8.187 (-10.289)

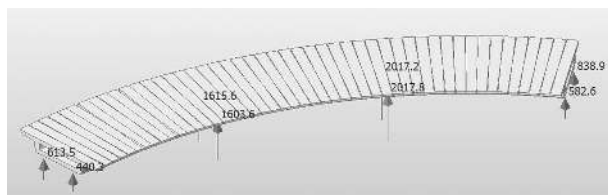


图 15 支座支反力图 (kN)

4 工程运用

根据上一节的模型计算,在湖州市南浔大桥改建工程中,D 匝道第二联弯桥箱梁的最大爬移量在 18mm 左右,同时其支座承载力设计值为中间 3500kN,两端 2000kN,根据这些条件,采用本文提出的新型弯桥支座布置方式以及支座结构,设定支座参数。

边墩的纵向平动横向自复位拉压支座的支座设计向上抗拉力为 400kN,设计位移量为顺桥向 $\pm 100\text{mm}$,支座设计横桥向向外侧爬移启动

260kN,支座水平限位力 450kN,横桥向向外侧爬升位移+50mm,爬升高度为+5mm。

中墩的横向自复位支座横向水平回复力为 420kN,设计水平限位力 700kN,设计顺桥向位移 $\pm 100\text{mm}$,设计横桥向位移量 $\pm 50\text{mm}$,极限爬升高度+4.5mm。

中墩的固定支座横桥向水平承载力为 700kN;微量位移固定支座横桥向水平承载力也为 700kN,其顺桥向和横桥向设计位移量为 $\pm 3\text{mm}$ 。

支座参数设计完毕后,将该支座布置方法应用于南浔大桥改建工程。

5 应用前景

该曲线梁桥抗爬移倾覆专有支座的开发具有较大的市场和较好的应用前景,因为这种布置方法抓住了曲线梁桥的受力及变形特点,从造成爬移倾覆的原理出发,运用多种支座的不同功能和特殊布置形式,对桥梁倾覆和爬移实现分类控制,为曲线梁桥提升抗爬移及倾覆承载力提供了科学经济的解决方案。而且各支座结构简单,易于装配施工,能广泛应用于弯桥支座布置中。

参考文献

- [1] 赵成功,王小冬,杨德厚,李永强.既有中小跨径曲线梁桥梁体径向爬移机理分析[J].中外公路,2018,38(03):162-167.
- [2] 李攀.S型曲线桥梁纵横向爬移机理分析及纠偏设计[J].城市道桥与防洪,2018(07):104-106+111+12.
- [3] 林丽娟.曲线梁桥的横向“爬移”分析[D].郑州:郑州大学,2015.
- [4] 吴成亮,全强,高峰利.一种新型单向滑动球型支座性能与试验研究[J].铁道标准设计,2009(03):67-69.
- [5] 周剑光,丁汉山.桥梁支座类型及其应用[J].四川建筑,2006(02):105-106.
- [6] 焦驰宇,刘陆宇,龙佩恒,侯苏伟.城市曲线梁桥爬移现象及解决措施研究[J].工程力学,2015,32(S1):177-183.
- [7] 梁仲林.曲线梁桥设计中支承形式的选用[J].桥梁建设,2007(S1):7-10.
- [8] 方诗圣,肖兵,张吉烁,章晓晖.支座布置形式对曲线梁桥力学性能的影响[J].世界桥梁,2011(04):49-52.