

山地城市小半径弯桥的支座设置与分析

肖咏妍¹ 胡安林²

1 重庆工贸职业技术学院, 重庆, 408000;

2 中冶赛迪工程技术股份有限公司, 重庆, 400013;

摘要: 小半径弯桥的支座布置对于整个桥梁上部结构和下部结构都很重要, 支座设置不当会导致支座失效, 墩梁固结处开裂, 甚至梁体侧翻等。本文以山地城市重庆的四公里 TOD 项目 C 区北路第二联 2×13m 钢筋混凝土小半径弯桥为背景, 采用有限元分析软件 MIDAS Civil 计算分析影响小半径弯桥支座反力和桥梁内力的因素, 提出抗扭支座布置形式, 为小半径弯桥支座设计提供思路。

关键词: 小半径弯桥; 抗扭支座; 抗倾覆

DOI: 10.69979/3029-2727.26.03.012

绪论

弯桥线形变化多端, 结构受力比较复杂, 特别是小半径弯桥, 除承受弯矩、剪力外, 还有较大扭矩和翘曲双力矩的作用。影响弯桥受力的主要因素有: 桥长与曲线半径的比值(圆心角)、桥宽与曲线半径的比值、弯扭刚度比、扇性惯矩^[1-2]等。

本文主要基于南岸区南坪组团 H 分区 H8-1-1/06 地块开发项目(一期), 项目所处区域为重庆市南岸区轨道四公里停车场地块, 该项目为 TOD 车辆段开发项目, 项目用地呈明显的不规则形状, 高差较大, 其中 C 区为已运营的轨道环线四公里停车场, 是轨道车辆停放及维修、保养的场所基地。本文以该项目中 C 区北路桥梁的第二联 2×13m 钢筋混凝土弯桥为例, 对极小半径弯桥的受力特点和支座反力进行研究, 浅谈小半径弯桥的支座布置型式。

1 小半径弯桥结构特点

1.1 主梁受力特点

在弯桥中, 由于主梁的弯扭耦合效应, 无论荷载是否偏心, 弯桥主梁截面内均会产生较大的扭矩, 弯桥则会出现外侧荷载超重, 内侧荷载卸载的现象, 在梁内产生向外翻转的扭矩, 因此, 在弯桥的设计中, 宜选用整体性好、抗扭刚度较大的箱型截面。

小半径弯桥预应力钢束产生的径向力对小半径弯桥箱梁的外侧腹板非常不利, 半径越小, 钢束产生的径向力越大。故小半径弯桥最好不要采用预应力钢筋混凝土结构, 施工运营风险较大, 且难以达到预期的受力效

果, 本文建议小半径弯桥最好采用普通钢筋混凝土结构, 结构受力明确, 运营风险较小, 且相对于自重较轻的钢结构, 普通钢筋混凝土结构的刚度更大, 稳定性更好。

1.2 支座受力特点

由于扭矩的作用, 弯桥的支座反力一般呈现外侧支座反力大于内侧支座反力的趋势, 且曲率半径越小, 趋势越明显, 内侧支座甚至会出现负反力, 极易造成内侧支座脱空的现象, 严重的就会发生主梁侧翻, 故合理的支座布置和下部结构设计对于防止弯桥主梁发生侧翻有很重要的意义。

1.3 梁体变形特点

由于弯扭作用的叠加, 弯桥主梁会产生较大的扭转变形, 且外侧的竖向挠度会明显大于内侧, 在主梁的梁端可能会出现翘曲的现象, 若梁端处横向约束较小, 梁体易出现向曲线外侧爬移的现象^[3]。

2 工程概况

南岸区南坪组团 H 分区 H8-1-1/06 地块开发项目所处区域为重庆市南岸区轨道环线四公里停车场地块, C 区北路道路总长约 309.789m, 标准路幅宽度 6m, 双向 2 车道, 道路最大纵坡为 8%。C 区北路桥梁分为三联, 其中第一联第三联均位于直线段, 第二联位于小半径曲线段, 曲率半径为 16m, 跨径布置为 2×13m, 为提高弯梁桥得抗倾覆稳定能力, 第二联的 P3 墩设计成墩梁固结, C 区北路桥梁平面图如图 1 所示。

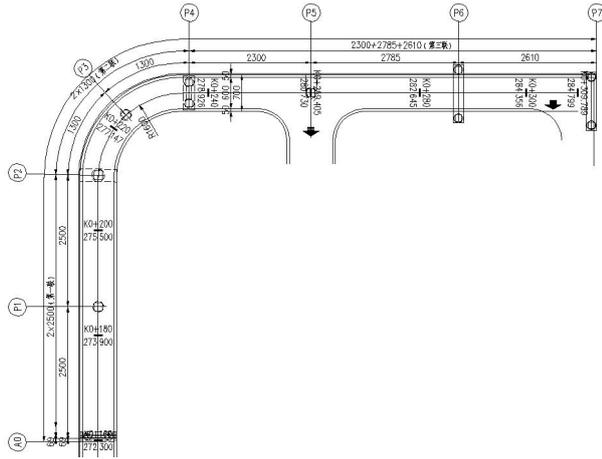


图 1 C 区北路桥梁平面图

C 区北路桥梁采用单箱单室横断面布置，梁高 1.6m，桥面宽度 7m，悬臂 1.5m，跨中段顶板厚 25cm，底板厚 22cm，腹板厚度 50cm，支点段顶板厚 45cm，底板厚 42cm，腹板厚度 80cm。下部结构墩柱均为矩形墩加桩基础，其中 P2 墩的基础为尽量远离旁边的既有挡墙，将 P2 墩设计成独柱墩加盖梁的形式，P4 墩为双墩柱加盖梁形式，箱梁在 P2、P4 处均为双支座支撑，P3 墩为墩梁固结，独柱墩设计。

3 有限元计算分析

3.1 有限元模型

用有限元软件 MIDAS Civil 中对该桥第二联进行建模分析，并按实际位置模拟出墩梁固结处的桥墩，并将桥墩单元的容重设为 0，以便查看箱梁反力。

3.2 荷载

3.2.1 恒载

箱梁容重取 26 kN/m³，桥面铺装及防撞护栏等二

期恒载取 5 kN/m²，考虑到弯桥内外侧弧长不同，防撞护栏长度不同，箱梁内外侧腹板长度不同，铺装内外侧面积重量也不同，故箱梁的自重和二期恒载会产生一个向外的扭矩，通过计算可得该扭矩为 40.15kN*m/m，将该扭矩施加在主梁上即可。

3.2.2 温度

温度荷载按《公路桥涵设计通用规范》^[4]JTG D60-2015（以下简称《通规》）第 4.3.12 条执行。

3.2.3 活载

汽车荷载等级：城—B 级；

对于汽车荷载纵向整体冲击系数 μ ，按照《通规》第 4.3.2 条，计算的结构基频 $f=14.57\text{Hz}$ ，冲击系数 $\mu=0.46$ 。

汽车荷载离心力按《通规》第 4.3.3 条计算，并利用 MIDAS Civil 的移动荷载追踪器获得最不利加载位置，然后用梁单元荷载施加汽车荷载离心力。

3.2.4 支座沉降

桥墩考虑了 5mm 的不均匀沉降位移。

3.3 支座反力和结构内力计算及分析

1 支座间距对支座反力和结构内力的影响

以本项目弯桥为例，端横梁的两个支座对称布置于结构中心线两侧，分析端横梁处两个支座间距由 3m 逐步增加至 5.5m 时支座反力和结构内力的变化情况。其中，两个支座间距为 3m 时定义为支座布置形式一，间距为 3.5m 时定义为形式二，间距为 4m 时定义为形式三，间距为 4.5m 时定义为形式四，间距为 5m 时定义为形式五，间距为 5.5m 时定义为形式六。

在基本组合作用下的最小支座反力如表 1 所示。

表 1 不同支座间距时的支座反力

支座布置形式	P2 支座		P3 支座	P4 支座	
	外侧反力 (kN)	内侧反力 (kN)	墩顶反力 (kN)	外侧反力 (kN)	内侧反力 (kN)
一	826.00	-381	2075.80	804.80	-372.7
二	782.20	-215.7	2075.80	764.10	-208.4
三	748.70	-94.8	2075.80	732.70	-88.3
四	722.30	-4	2075.80	708.20	2.10
五	700.90	65.80	2075.80	688.50	71.60
六	683.40	120.80	2075.80	672.10	126.50

从计算结果可以看出，随着端横梁支座间距的增加，内侧支座最小反力增大，由较大的负反力逐渐变化至正反力，外侧支座最小反力减小，且随着支座间距的增大，内外侧支座最小反力趋于平均，P3 支座反力不受影响。

通过模型计算结果对比，端横梁不同支座间距下，主梁和桥墩的结构内力基本一致，故可知端横梁支座位

距对弯桥结构内力没有明显影响。

2) 中间支座预偏心对支座反力和结构内力的影响

保持端横梁处支座间距为 5.5m，调整弯桥中间 P3 支座的向外偏心距由 0 逐步增加至 30cm 时支座反力和结构内力的变化情况。其中偏心距为 0 时定义为形式一，偏心距为 5cm 时定义为形式二，偏心距为 10cm 时定义

为形式三，偏心距为 15cm 时定义为形式四，偏心距为 20cm 时定义为形式五，偏心距为 25cm 时定义为形式六，偏心距为 30cm 时定义为形式七。

在基本组合下的最小支座反力，基本组合包络情况下对主梁的弯矩、扭矩和 P3 墩顶横向弯矩的最大值和最小值进行对比如表 2 所示。

表 2 不同偏心距时的支座反力和结构内力

支座布置形式	支座反力					结构内力			
	P2 支座		P3 支座	P4 支座		类型	梁内弯矩 (kN·m)	梁内扭矩 (kN·m)	P3 墩顶横向弯矩 (kN·m)
	外侧反力 (kN)	内侧反力 (kN)	墩顶反力 (kN)	外侧反力 (kN)	内侧反力 (kN)				
一	683.4	120.8	2075.8	672.1	126.5	max	6740.6	3572.5	1288.6
						min	-8226.1	-3565.4	-695
二	678.2	130.5	2072	666.9	136.2	max	6751.1	3532.9	1220.9
						min	-8172.7	-3525.9	-758.6
三	673.1	140.2	2068.3	661.8	146	max	6762	3493.8	1154
						min	-8118.4	-3486.7	-821.4
四	668	149.9	2064.4	656.7	155.6	max	6773.3	3455	1087.9
						min	-8063.3	-3447.9	-883.3
五	663	159.5	2060.5	651.8	165.2	max	6784.9	3416.7	1022.6
						min	-8007.6	-3409.6	-944.4
六	658.2	169	2056.5	646.9	174.8	max	6796.9	3378.7	958
						min	-7951.1	-3371.7	-1004.7
七	653.4	178.6	2052.4	642.2	184.3	max	6809	3341	894
						min	-7894	-3334	-1064.2

从计算结果可以看出，在支座反力对比中，P3 支座的偏心距对支座反力有一定的影响，随着偏心距的增大，端横梁处外侧支座最小反力减小，端横梁处内侧支座最小反力增大，且墩梁固结的 P3 支座反力随着偏心距的增大而减小。在结构内力对比中，随着 P3 支座偏心距的增大，梁内负弯矩逐渐减小，偏心距为 30cm 时的梁内负弯矩比偏心距为 0cm 时的梁内负弯矩减小约 4.0%，梁内扭矩也逐渐减小，偏心距为 30cm 时的梁内扭矩比偏心距为 0cm 时的梁内扭矩减小约 6.5%。P3 支座的偏心距对墩顶横向弯矩的影响较大，偏心距为 30cm 时的墩顶最大弯矩比偏心距为 0cm 时的墩顶最大弯矩减小约 30.6%，可见，通过调整弯桥中间墩的偏心距，不但可以调节主梁内的弯矩和扭矩的大小及分布，更重要的是可以有效降低固结墩处的墩顶横向弯矩，使得桥墩受力更加合理。

4 结论及建议

1) 小半径弯桥设计时，加大端横梁处支座间距，会明显引起外侧支座反力减小，内侧支座反力增大，弯桥设计时应合理考虑支座间距的设置，改善支座受力情况，防止支座脱空和梁体侧翻。

2) 中间独柱墩的偏心设置可以调整全桥的扭矩和

弯矩的分布和大小，最重要的是能有在不增加任何投资的前提下就能减小墩柱的横向弯矩，达到有效改善内力、节约材料的目的，并且将中间独柱墩支座沿径向外移，同时也能改变支座反力的分配。

3) 由于弯桥受到的扭矩较大，在进行截面设计时宜在桥跨范围内增设部分横隔板，以达到加强箱梁横向刚度，增加桥梁稳定性的目的。配筋设计时需充分考虑扭矩效应，在腹板侧面布置较多的受力钢筋和抗扭箍筋。

参考文献

- [1] 姚玲森. 曲线梁桥的实用计算方法[J]. 土木工程学报, 1982, 15 (3): 36-51.
- [2] 徐涛. 大圆心角、小半径弯桥支座布置设计与分析[J]. 北方交通, 2019 (5): 36-38.
- [3] 张英新. 曲线桥的病害及防治对策[J]. 西部交通科技, 2009 (12): 66-70.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥涵设计通用规范 JTG D60-2015[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.

作者简介: 肖咏妍 (1989.06—) 女, 汉族, 湖南邵阳人, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 道路与桥梁设计。