

纵横梁耦合连续体系在城市立交桥分合流位置处的应用分析

汪浩, 李京

(上海浦东建筑设计研究院有限公司, 上海市 201206)

摘要: 城市立交桥在分合流位置常通过采用异形钢结构桥梁,并设置伸缩缝的形式适应桥面宽度的改变。但对于日益增多的城市立交桥改扩建工程,分合流位置有时需要设置大型门架横梁跨越地下管网或构筑物,此时在该处设置伸缩缝会因主梁与横梁高度的叠加,导致结构高度过大。为研究该情况下的桥梁结构选型问题,提出在分合流位置采用纵横梁耦合的连续体系方案,借助有限元计算方法,对该类桥型的结构可行性进行分析,并讨论了支座横向偏心、门架横梁弯曲刚度对内力状态、整体刚度及支反力的影响,以期探明该类桥型的受力特点及关键力学参数。结果表明:恒载状态下的支反力均匀程度可作为控制性指标,检验该类桥型的受力合理性;适当增大门架横梁的弯曲刚度,可有效控制结构的竖向及扭转变形。

关键词: 立交桥;分合流;门架横梁;伸缩缝;弯曲刚度

中图分类号: U443.32

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0077-05

0 引言

随着我国城市化进程的不断加快,城市道路,尤其是城市快速路的路网密度正逐渐增加,交通需求的快速提升对城市立交桥的交通量承载能力提出了越来越高的要求。在此背景下,在役城市立交桥的改扩建工程呈逐年增多的趋势。

城市立交桥在分合流位置由于车道数量变化等原因,常通过采用异形钢结构桥梁,并在分合流位置设置伸缩缝的形式适应桥面宽度的改变,这种桥型布置方式可在最小范围内完成异形桥梁与匝道标准段桥梁的转换,具有结构受力相对明确、造价经济合理等优点^[2-3]。对于城市立交桥改扩建工程,分合流位置往往受地下管网、构筑物等因素的制约,需要设置跨度较大的门架横梁,此时,若在分合流位置设置伸缩缝,则需将伸缩缝两侧的主梁均支承于门架横梁上,从而导致结构高度过大,影响桥下净空^[4-6]。

为研究立交桥在分合流位置设置较大跨度的门架横梁,且桥下净空受限时的合理化结构方案,本文以某立交桥改扩建工程为背景,分析了立交桥在分合流位置采用纵横梁耦合连续体系的结构可行性,并对支座横向偏心、门架横梁弯曲刚度进行参数化分

析,探明了该类桥型的空间受力特性及影响结构受力状态的关键力学参数。

1 工程背景

图1所示为某立交桥改扩建工程匝道分合流位置处的平面布置方案,图2所示为门架横梁横断面图。桥梁采用连续钢箱梁结构,主线NS匝道跨径布置为23 m+20.338 m+30 m=73.338 m,标准段桥面宽度为8.5 m,梁高1.3 m,高跨比1/23.1~1/15.6;ES匝道跨径布置为单跨30 m,平曲线半径 $R=35$ m,标准段桥面宽度为8.0 m,梁高1.3 m,高跨比1/23.1。分合流位置处的门架横梁标准跨度为30.1 m,计算跨径28.4 m,门架横梁与纵梁采用纵横梁耦合体系,梁高1.8 m,门架横梁高跨比1/15.8。

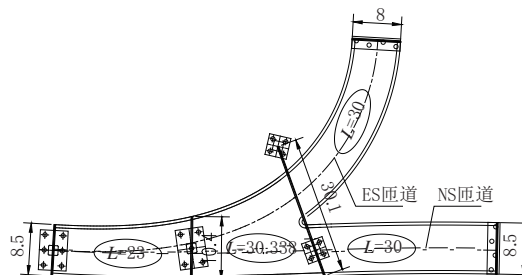


图1 桥梁平面布置图(单位:m)

2 有限元模型

采用有限元软件 Midas Civil 2021 建立空间有限元模型,钢梁各板件均采用 Mindlin 板单元模拟^[7-11],

收稿日期: 2023-03-01

作者简介: 汪浩(1982—),男,硕士,高级工程师,从事市政桥梁设计工作。

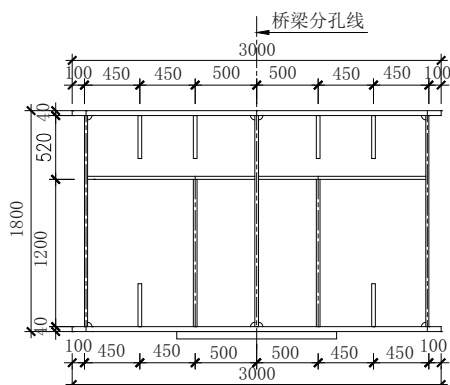


图2 门架横梁横断面图(单位:mm)

铅芯支座采用一般连接模拟,全桥共建立16 430个板单元,有限元模型见图3。

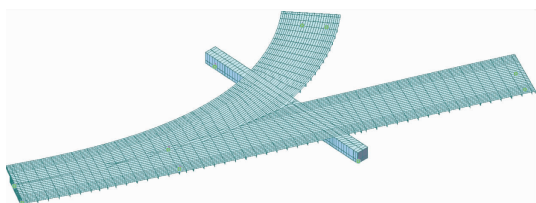


图3 全桥有限元模型

3 承载能力状态验算

3.1 钢主梁强度验算

采用作用基本组合进行承载能力极限状态验算,考虑结构重要性系数 $\gamma_0=1.1$ 。

图4~图7为钢主梁 Von-Mises 有效应力云图。钢梁顶板有效应力最大值为203 MPa,底板有效应力最大值为197 MPa,腹板有效应力最大值为204 MPa,均小于强度设计值270 MPa,满足要求;腹板最大剪应力为84 MPa,小于抗剪强度设计值155 MPa,满足要求。

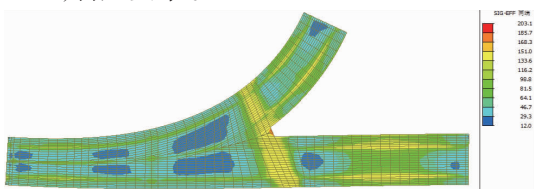


图4 钢梁顶板有效应力(单位:MPa)

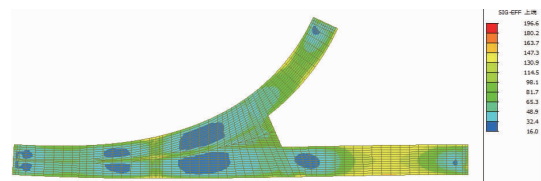


图5 钢梁底板有效应力(单位:MPa)



图6 钢梁腹板剪应力(单位:MPa)



图7 钢梁腹板有效应力(单位:MPa)

3.2 门架横梁强度验算

图8~图11为中横梁 Von-Mises 有效应力云图。中横梁顶板有效应力最大值为166 MPa,底板有效应力最大值为157 MPa,腹板有效应力最大值为166 MPa,均小于强度设计值270 MPa,满足要求;腹板最大剪应力为76 MPa,小于抗剪强度设计值155 MPa,满足要求。

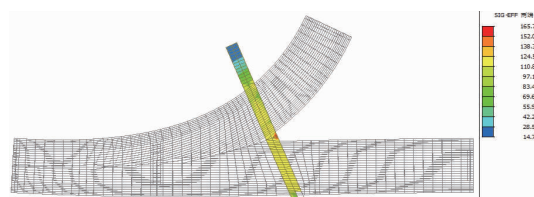


图8 门架横梁顶板有效应力(单位:MPa)

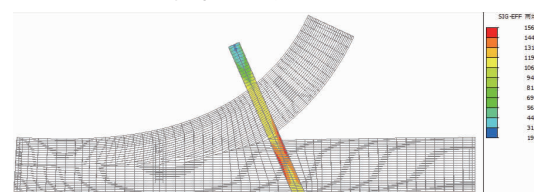


图9 门架横梁底板有效应力(单位:MPa)

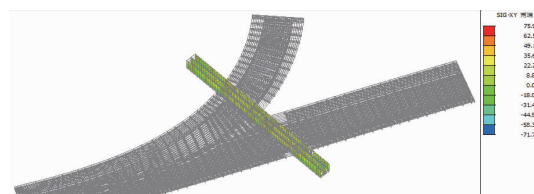


图10 门架横梁腹板剪应力(单位:MPa)

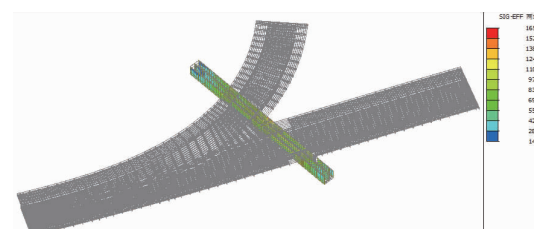


图11 门架横梁腹板有效应力(单位:MPa)

3.3 纵横向耦合应力验算

图12~图15为门架横梁附近纵横向弯曲正应力耦合应力云图。由计算结果知:门架横梁附近的顶板纵向最大正应力100 MPa,对应横向最大正应力132 MPa,则最大耦合应力 $\sqrt{100^2+132^2}=166 \text{ MPa} < 270 \text{ MPa}$,满足要求;门架横梁附近的底板纵向最大正应力130 MPa,对应横向最大正应力67 MPa,则最

大耦合应力 $\sqrt{100^2+67^2}=146\text{ MPa}<270\text{ MPa}$, 满足要求。

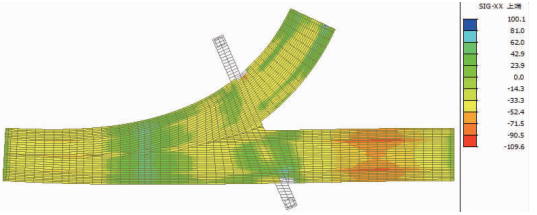


图 12 钢主梁顶板纵横向耦合应力(单位:MPa)

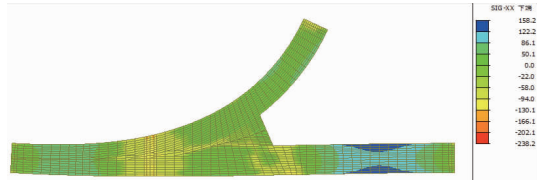


图 13 钢主梁底板纵横向耦合应力(单位:MPa)

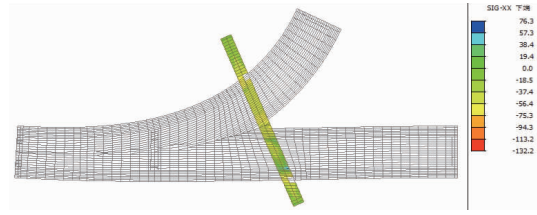


图 14 门架横梁顶板纵横向耦合应力(单位:MPa)

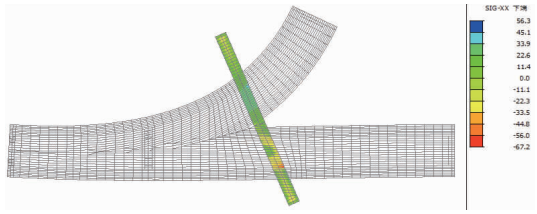


图 15 门架横梁底板纵横向耦合应力(单位:MPa)

3.4 结构刚度验算

图 16 为汽车荷载作用下结构竖向变形云图。由计算结果知:活载作用下主梁最大挠度为 30.2 mm, 挠跨比为 $\delta/L=30.2/30\ 000=1/993<1/500$, 满足要求。

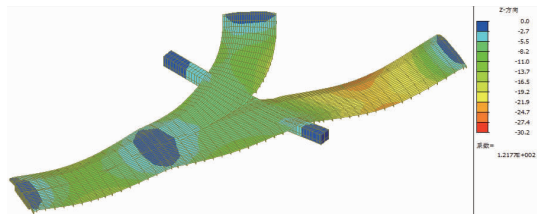


图 16 汽车荷载作用下结构竖向挠度(单位:mm)

4 参数化分析

4.1 支座横向偏心的影响

结合工程实际,保持纵、横梁各钢结构板件的规格不变,将匝道分流后的边墩支座横向偏心取值区间取为[0 m,0.5 m],偏心方向均偏向曲线外侧。表 1、表 2 分别为成桥恒载状态下及运营状态下支座横向偏心对结构受力状态的影响,图 17~ 图 19 分别为支

座横向偏心对结构应力、结构刚度、支反力均匀程度的影响,其中:支反力均匀程度由横向支座的支反力最大差值进行量化。由图表中的数据可知:纵梁最大应力发生在 30 m 跨的跨中位置附近,横梁最大应力发生在横梁跨中位置附近;随着支座横向偏心的减小,纵梁及横梁的应力逐渐增大,并近似呈凹抛物线形式变化;恒载及活载作用下的纵梁挠度及支反力均匀程度同样逐渐增大,并近似呈线性变化。因此,结构的内力状态及结构刚度对支座横向偏心值较为敏感。对于该类空间受力特性较为明显且复杂的桥梁,可通过调整支座横向偏心,对结构内力状态进行调整优化。

表 1 支座横向偏心对结构恒载状态下受力的影响

偏心 /m	纵梁最大应力 /MPa	横梁最大应力 /MPa	纵梁最大挠度 /mm	支反力最大差值 /kN
0	197	111	158	1 005
0.1	177	99	140	932
0.2	153	92	123	787
0.3	133	80	97	566
0.4	121	73	77	318
0.5	114	71	62	203

表 2 支座横向偏心对结构运营状态下受力的影响

偏心 /m	纵梁最大应力 /MPa	横梁最大应力 /MPa	活载最大挠度 /mm	支反力最大差值 /kN
0	317	233	90	1 724
0.1	285	207	67	1 401
0.2	263	183	50	1 113
0.3	231	176	38	869
0.4	216	156	33	537
0.5	204	151	30	391

注:应力采用作用基本组合,支反力采用标准组合。

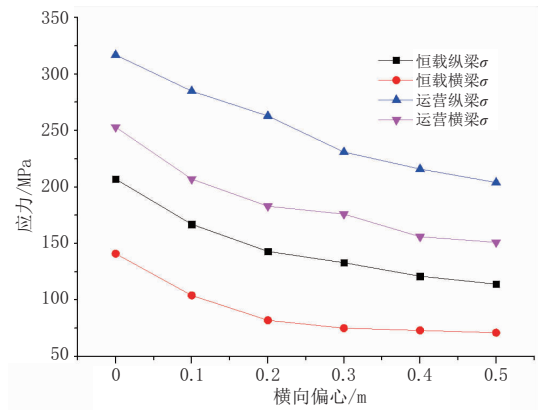


图 17 支座横向偏心对钢梁应力的影响

4.2 门架横梁弯曲刚度的影响

由前述计算分析可知,横梁的竖向变形幅度与纵梁的内力变化幅度、纵梁的竖向及扭转变形幅度均呈正相关,即:当横梁刚度较小时,横梁自身的竖

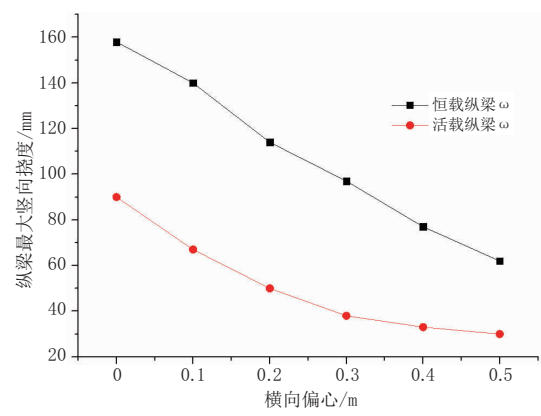


图 18 支座横向偏心对结构刚度的影响

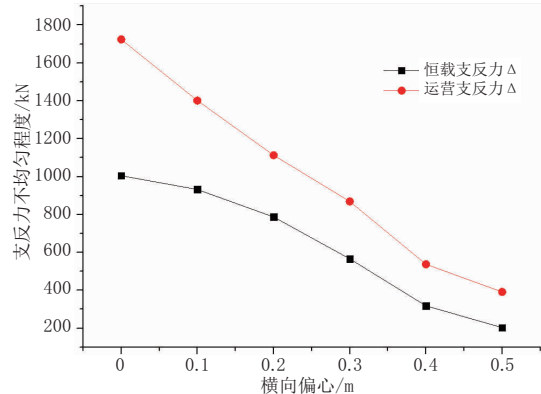


图 19 支座横向偏心对支反力分布均匀程度的影响

向变形会引起较为明显的主梁扭转变形,进而引起匝道分流后的边墩支反力分布不均匀的现象。因此,可以以门架横梁的弯曲刚度为变量,分析其对结构整体受力状态的影响。

将前述图 2 截面的弯曲刚度作为基准弯曲刚度值,引入门架横梁弯曲刚度比 η ,其中 η 表示计算采用的弯曲刚度值与基准弯曲刚度值的比值。保持纵、横梁结构高度及钢结构板件规格不变,通过调整门架横梁的弹性模量^[12],模拟门架横梁弯曲刚度的变化。

表 3、表 4 分别为成桥恒载状态下及运营状态下,不同门架横梁弯曲刚度比对应的结构受力状态;图 20、图 21 分别为门架横梁弯曲刚度比对结构内力、结构刚度的影响。由图表中的数据可知:随着门架横梁弯曲刚度的增大,纵梁竖向挠度逐渐减小,近似呈凹抛物线形式变化;且当门架横梁的弯曲刚度增大到一定程度时,纵梁的应力、竖向挠度均趋于稳定,不再随横梁刚度的变化而变化。因此,门架横梁可以为纵梁提供较为可靠的变形约束,适当增大其弯曲刚度,有利于控制纵梁的竖向和扭转变形,改善结构的整体受力。

5 结 论

本文采用全桥板壳元有限元模型,对某一城市

表 3 横梁弯曲刚度对结构恒载状态下受力的影响

η	纵梁最大应力 /MPa	横梁最大应力 /MPa	纵梁最大挠度 /mm
0.5	177	132	119
1.0	114	71	62
1.25	101	63	53
1.5	93	57	45
1.75	79	49	38
2.0	71	43	34
3.0	60	39	32
6.0	53	27	29
10.0	51	25	29

表 4 横梁弯曲刚度对结构运营状态下受力的影响

η	纵梁最大应力 /MPa	横梁最大应力 /MPa	活载最大挠度 /mm
0.5	280	255	77
1.0	204	151	30
1.25	190	139	25
1.5	168	121	21
1.75	145	105	19
2.0	128	92	15
3.0	120	90	15
6.0	118	89	15
10.0	115	88	15

注:应力采用作用基本组合。

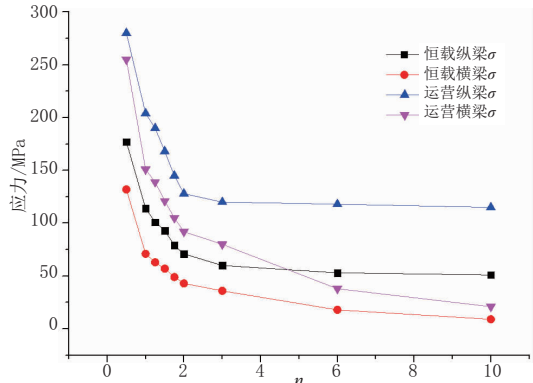


图 20 门架横梁弯曲刚度对钢梁应力的影响

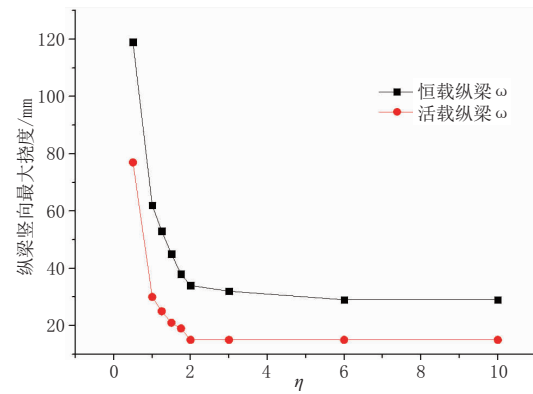


图 21 门架横梁弯曲刚度对结构刚度的影响

立交桥分合流位置处采用纵横梁耦合连续体系的结构可行性进行了系统研究,在此基础上分析了支座横向偏心、门架横梁弯曲刚度对结构内力状态、整体刚度及支反力的影响。可以得出如下主要结论:

(1)支座横向偏心对结构的内力状态及结构竖向刚度影响较大,可作为结构内力状态合理性的判断指标。

(2)门架横梁对纵梁的竖向及扭转变形均有较为显著的约束作用。

(3)适当增大门架横梁的弯曲刚度,可有效控制结构整体的受力状态。

参考文献:

[1] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
 [2] 郑翔.城市立交跨越既有轨道交通的门架墩方案分析比选[J].特种结构,2021,38(1):44-47,52.
 [3] 李江,李磊.复杂城市环境下立交桥钢箱梁架设方案比选[J].桥梁建

设,2021,51(2):137-143.
 [4] 李旻.刚度不均匀大型复杂异形钢结构整体提升成套施工技术[Z].2021.
 [5] 张伟.立交门架墩设计的思考[J].城市道桥与防洪,2018(8):154-155.
 [6] 蔡佳骏,张玉.城市异形钢箱梁设计若干问题探讨[J].交通科技,2012(3):25-27.
 [7] 林立华.变宽连续钢箱梁桥计算模型比较分析[J].结构工程师,2021,37(2):54-59.
 [8] 李俊.带有门架横梁的箱梁内力分析[J].城市道桥与防洪,2012(10):158-160,166.
 [9] 刘亮.三跨异形钢结构连续梁设计分析[J].四川水泥,2022(7):181-183.
 [10] 巩同川,刘金栓,张伯英.异形钢箱梁人行连廊精细化分析[J].建筑科学,2022,38(3):146-152.
 [11] 李立峰.正交异性钢箱梁局部稳定分析理论及模型试验研究[D].长沙:湖南大学,2005.
 [12] 罗东海.城市立交桥异形钢箱梁疲劳性能研究[D].杭州:浙江工业大学,2018.

(上接第 46 页)

严重程度,保障高速公路用户生命和财产安全。

(3)中分带再利用护栏实现了原防眩设施的重复使用,并增加防眩高度约 35 cm,可更好地有效遮挡夜间大型车辆对向车辆前照灯的眩光,将大幅提升运营安全水平。

参考文献:

[1] JTG D81—2006,公路交通安全设施设计规范[S].
 [2] JTG D81—2017,公路交通安全设施设计规范[S].
 [3] JTG/T L80—2014,高速公路改扩建交通工程及沿线设施设计细则[S].

[4] JTG/T L11—2014,高速公路改扩建细则[S].
 [5] 陈岳峰,陈礼彪,曾俊铖.高速公路在用波形梁护栏适应性评价和提升改造技术研究[J].公路交通科技,2019,36(9):124-128,146.
 [6] 张轩.一般路段波形梁护栏加强改造设计方案[J].交通世界,2020(16):28-29.
 [7] 赛志毅.高速公路护栏改造关键技术与应用[M].北京:人民交通出版社,2018.
 [8] JTG B05-01—2013,公路护栏安全性能评价标准[S].
 [9] 闫书明.有限元仿真方法评价护栏安全性能的可行性[J].振动与冲击,2011(1):152-156.
 [10] 刘航,龚帅,刘思源,等.高速公路旧波形梁护栏改造研究[J].公路工程,2020,45(6):173-180.