

城市立交异形变宽预制节段箱梁设计关键技术研究

李福鼎

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要:结合城市立交常见的变宽形式,对异形变宽预制节段箱梁进行设计构思,提出合理的变宽方案,分析变宽预制节段箱梁的受力性能,并对其关键结构进行优化,以提高变宽预制节段箱梁的标准化程度和拼装效率,拓宽预制节段箱梁在城市立交桥梁中的应用范围,对同类型桥梁的设计工作具有一定的借鉴价值。

关键词:城市立交;异形变宽;预制节段箱梁

中图分类号:U448.21¹3;U448.21¹8 文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)05-0092-05

0 引言

目前,预制节段箱梁^[1-2]在城市桥梁中得到了大力推广和运用。其主要应用于桥梁等宽段,对于桥梁变宽段,常采用现浇箱梁或组合梁等结构形式^[3]。城市立交桥梁往往在某些部位需要对立交主线和立交匝道的宽度进行调整,以适应车辆的通行和交通流量的变化,其变宽段占比较大,标准化程度相对较低,预制和架设施工难度大,限制了预制节段箱梁在城市立交中的进一步推广应用。城市立交桥梁常见变宽如图1所示。



图1 城市立交桥梁常见变宽示意

城市立交中的变宽段不同于标准等宽段,其桥宽沿顺桥向逐渐变宽,如果设计不当,预制节段类型过多,导致独立定制的模板套数大大增加,经济性较差。鉴于此,本文对异形变宽预制节段箱梁^[4-5]的合理构造、变宽形式和受力性能等进行研究,以提高变宽预制节段箱梁的标准化程度及预制拼装效率,拓宽预制节段箱梁在城市立交桥梁中的应用范围。

1 异形变宽节段箱梁变宽方案设计

1.1 变宽方案种类

对于城市立交而言,常见的变宽需求有圆曲线

收稿日期:2023-09-27

作者简介:李福鼎(1983—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计和科研工作。

加宽、加减速车道渐变段及匝道分叉口等。根据功能需求的不同,桥宽的变化也略有差异。为方便进行分类,对于城市立交匝道,以标准双车道断面(桥宽9 m,见图2)作为变宽基准进行研究;对于城市立交主线,分幅断面与匝道桥宽度相似不再赘述,因此主线以标准双四整幅断面(桥宽17 m,见图3)或标准双六整幅断面(桥宽为24 m,见图4)作为变宽基准进行研究。

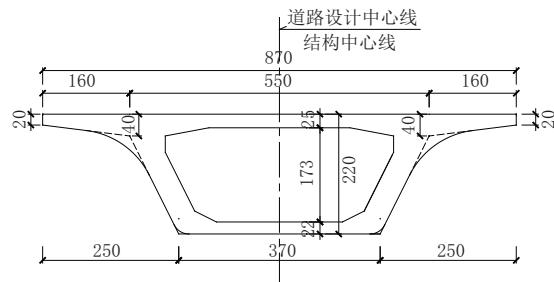


图2 城市立交匝道标准断面($B=9.0\text{m}$)

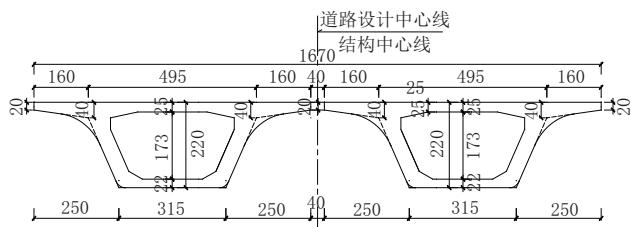


图3 城市立交主线双四标准整幅断面($B=17.0\text{m}$)

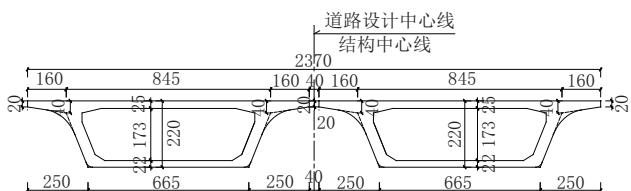


图4 城市立交主线双六标准整幅断面($B=24.0\text{m}$)

(1)城市立交匝道。对于城市立交匝道,遵循模块化、标准化、轻型化设计原则,提出3种节段梁变宽方案。

方案1采用拉伸箱室平直段形式进行变宽,由外侧标准模块及中间调节模块进行组合,形成变宽段模板,保证外模通用性(见图5)。结合单箱单室节段梁可行的箱室宽度,变宽取值范围为0~3.5 m。

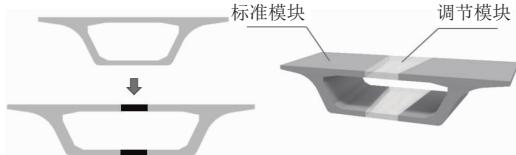


图5 拉伸箱室平直段(方案1)

方案2采用拉伸挑臂平直段形式进行变宽,挑臂端模放置调节模块,形成挑臂调节模板(见图6)。结合是否设置横向桥面板钢束,变宽取值范围分别为0~1.8 m及1.8~4.8 m。

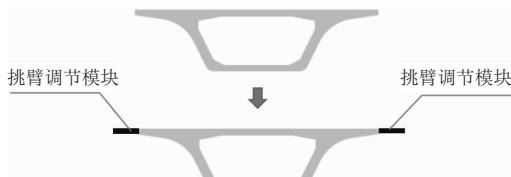


图6 拉伸挑臂平直段(方案2)

方案3采用增设箱室数量进行变宽,外侧标准模块保持统一,中间设置调节模块,形成变宽段模板,保证外模通用性(见图7)。

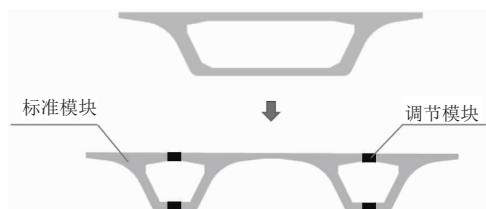


图7 增设箱室数量(方案3)

方案3一般与方案1、方案2结合使用,其常见变宽取值范围见表1。

表1 变宽方案适用范围

序号	变宽方案形式	变宽取值范围/m
1	方案3+方案1	0~11
2	方案3+方案2(不设置桥面板横向束)	0~3.6
3	方案3+方案2(设置桥面板横向束)	3.6~9.6
4	方案3+方案1+方案2(不设置桥面板横向束)	0~14.6
5	方案3+方案1+方案2(设置桥面板横向束)	0~20.6

(2)城市立交主线。对于城市立交主线,预制拼装桥梁的标准断面一般由2个箱室构成,变宽处可能由3个箱室构成。除匝道的3种变宽方案外,还可以通过保持外模不变,仅对现场湿接缝作业宽度进行变化,保证外模通用性,即变宽方案4(见图8)。结合湿接缝可行宽度,变宽取值范围为0~nx0.6 m,

其中n为湿接缝数量。相同的,变宽方案4也能与其余变宽方案进行组合使用。

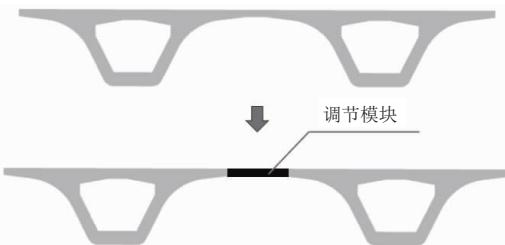


图8 拉伸湿接缝段(方案4)

1.2 合理变宽方案确定

针对城市立交不同的变宽范围,结合模板通用性、景观性、施工难易性及适用范围,对各变宽方案进行比选,各方案优缺点情况见表2。

表2 变宽方案比选

项目	方案1	方案2	方案3+1	方案3+2	方案3+1+2	方案4
变宽适用范围/m	0~3.5	0~1.8/1.8~4.8	0~11	0~9.6	0~20.6	0~0.6/0~1.2
模板通用性	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
景观协调性	★★★	★★★★	★★★	★★★	★★★	★★★★
施工难易性	★★★	★★★★	★★★	★★★	★★★	★★★★
适用区域	匝道/主线	匝道/主线	匝道/主线	匝道/主线	匝道/主线	主线

根据表2可知,对于城市立交匝道,变宽较小时,优先采用方案1或方案2,通过挑臂平直段或箱室平直段的拉伸进行变宽;变宽较大时,可采用方案3结合方案1、方案2的形式进行变宽。

对于城市立交主线,变宽较小时,优先采用方案4,通过箱室间湿接缝的调节进行变宽;变宽值适中时,优先采用方案1或方案2,通过挑臂平直段或箱室平直段的拉伸进行变宽;变宽值较大时,可采用方案3结合方案1、方案2的形式进行变宽。

1.3 标准化构造措施

为满足节段通用化的需求,提高模板的标准化率,变宽节段梁设计时可额外采取一些构造措施。

(1)桥宽变化速率(见图9)。对于不同的桥宽变化方案,在单跨或多跨内按恒定斜率进行变化,可提高调节外模模块和端模的通用性。

(2)横坡调节措施(见图10)。城市立交匝道的桥宽变化,往往同样伴随着横坡的变化。横坡数值变化较少时,可通过铺装进行适当调节。横坡数值变化较大时,铺装难以调节,如单向坡变化为双向坡。此类

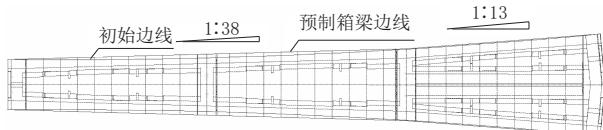


图 9 恒定变化示意图

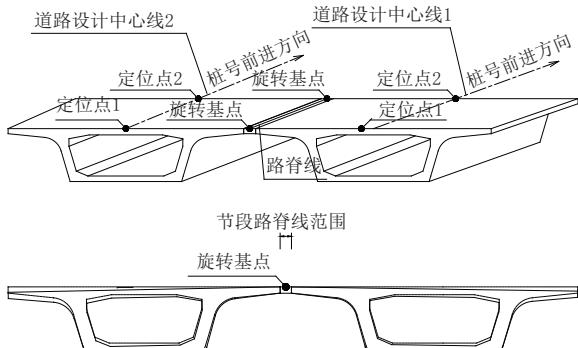


图 10 箱梁横坡变化示意图

情况常见于匝道交汇处,节段梁箱室数量一般增加至2个。为保证预制构件标准化率,可将路脊线设置在箱室间湿接缝处,通过箱室整体旋转进行横坡调节。

2 异形变宽节段箱梁关键构造及受力性能

对于异形变宽节段箱梁而言,不同变宽方案的关键点略有不同。各变宽方案关键构造见表3。

表 3 变宽方案关键构造

序号	变宽方案形式	关键构造
方案 1	拉伸箱室平直段	桥面板构造设置
方案 2	拉伸挑臂平直段	横向预应力设置
方案 3	增设箱室数量	箱室变化处构造设置
方案 4	拉伸湿接缝段	湿接缝构造设置

其中,横向预应力及湿接缝构造设置与常规结构类似,不再赘述。本节主要研究桥面板和箱室变化处的构造设置及受力性能。

2.1 桥面板构造及受力性能研究

拉伸箱室平直段长度即增大腹板间单个箱室的净宽度,该方案可调节性强,变宽范围广,但桥面板的受力情况决定了单个箱室的宽度无法一直增长,过大的箱室宽度容易导致在车辆轮载作用下产生裂缝,特别是对于超载严重的区域,其车辆轴重可能超过规范,桥面板的受力更应当进行重视。

桥面板的受力情况决定了单个箱室的界限宽度,超出界限宽度时,应当结合其余方案进行组合式变宽。为研究单个箱室的界限宽度,以箱室宽度及顶板厚度为参数,对最大界限箱室宽度进行试算和判定。

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)中对车轮荷载的规定,桥面板模型中的最不利车轮

荷载加载断面如图11所示。

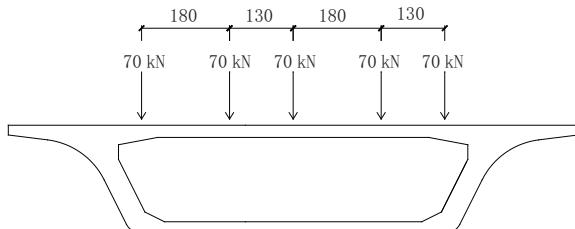


图 11 车轮荷载加载断面(单位:cm)

采用MIDAS FEA NX软件进行实体模拟分析,首先进行基准模型的建立,标准模型箱室宽度为5.5 m,顶板厚度为25 cm。结合规范中关于桥面板计算时对分布宽度的要求,取纵向5 m梁段进行桥面板模型的验算,模型如图12所示。

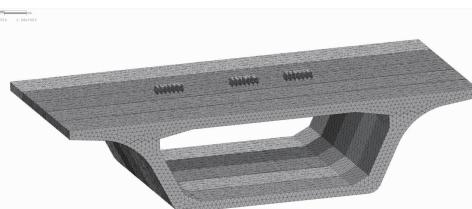


图 12 桥面板实体模型

桥面板模型应力结果如图13所示。

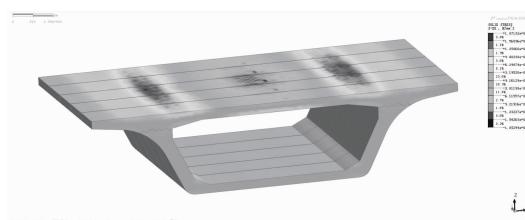


图 13 桥面板应力云图

由图13可知,桥面板拉应力主要集中于跨中板底和悬臂根部板顶处。

以基准模型为标准模型,按不同箱室宽度及顶板厚度进行参数分析,工况设置见表4。

表 4 工况设置一览 单位:m

工况	桥面板厚度	箱室净宽
1	0.25	5.5
2	0.25	6.0
3	0.25	6.5
4	0.25	7.0
5	0.25	7.5
6	0.28	7.5
7	0.30	7.5

对不同箱室净宽及桥面板厚度,研究桥面板横向应力情况。各工况应力情况如图14、图15所示,其中横坐标为箱室净宽及顶板厚度,纵坐标为桥面板拉应力。

从图14结果可知,桥面板厚度不变,桥面板拉

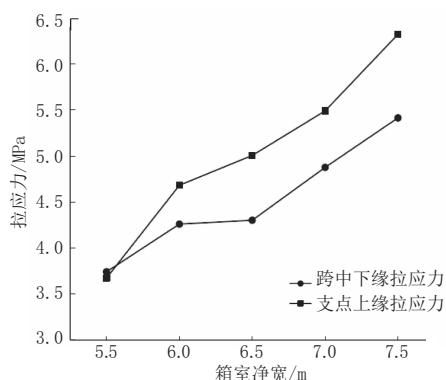


图 14 应力对比 1

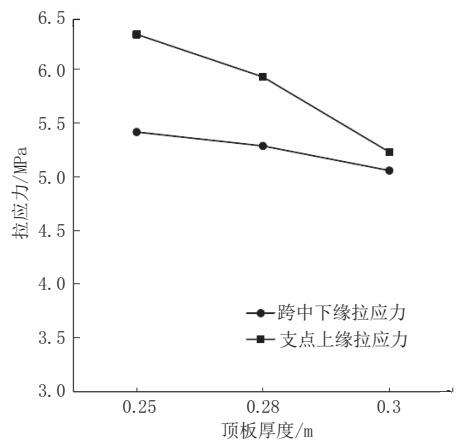


图 15 应力对比 2

应力随箱室净宽加宽而逐渐增大。净宽 6.5 m 以上时,桥面板拉应力已超过 5 MPa。从图 15 结果可知,桥面板厚度从 0.25 m 变化至 0.30 m,桥面板拉应力逐渐降低,其中跨中下缘拉应力约减小 6.6%,支点上缘拉应力约减少 17.3%。

根据规范对桥面板进行承载能力、裂缝计算,发现主要为裂缝控制。各工况下的裂缝宽度详见表 5。

表 5 各工况裂缝宽度 单位:mm

工况	跨中裂缝	根部裂缝
1	0.066	0.096
2	0.072	0.110
3	0.086	0.116
4	0.098	0.136
5	0.109	0.152
6	0.123	0.153
7	0.138	0.155

结合裂缝限值,桥面板采用常规厚度 0.25 m 时,最大界限箱室净宽建议采用 6.5 m;提升顶板厚度对改善桥面板受力有效果,桥面板厚度采用 0.3 m 时,最大界限箱室净宽可提高至 7.5 m。

2.2 箱室数变化处构造及受力性能研究

对于桥面变宽较大,增大箱室净宽难以适应时,

变宽方案转为增加箱室数量是相对合理的。箱室数量变化的位置一般选择在横梁处进行突变。

与现浇梁箱室变化不同的点在于,变宽节段梁往往需考虑模板的标准化与通用性。为保证外模通用,箱室数变化时,挑臂宜保持构造连续。

对箱室数量变化处进行关键构造及受力性能研究。以典型三跨变宽节段梁为例,跨径布置为 3×35 m,桥宽由 9.0 m 变化为 18.0 m,梁高 2.2 m。

针对单箱变双箱中横梁处左右各 7 m 范围内,建立了局部三维实体有限元模型,如图 16 所示。



图 16 实体有限元分析模型

以恒载为例,单箱侧与双箱侧腹板剪应力结果如图 17、图 18 所示。



图 17 恒载作用下单箱侧腹板剪应力 S-ZX(单位:MPa)



图 18 恒载作用下双箱侧腹板剪应力 S-ZX(单位:MPa)

对横梁处腹板剪力合力进行提取,腹板按横桥向相对位置进行编号,各腹板相应剪力结果见表 6。

表 6 剪力一览表 单位:kN

双箱远横梁侧	腹板 1 剪力	腹板 2 剪力	腹板 3 剪力	腹板 4 剪力
	97.7	316.2	350.9	89.9
双箱近横梁侧	腹板 1 剪力	腹板 2 剪力	腹板 3 剪力	腹板 4 剪力
	463.4	1 088.9	1 216.1	457.6
单箱近横梁侧	腹板 1 剪力	腹板 2 剪力		
	1 257.9		1 261.6	
单箱远横梁侧	腹板 1 剪力	腹板 2 剪力		
	780.1		797.0	

由图 17、图 18 及表 6 可知, 恒载作用下, 对于单箱侧断面, 两道边腹板剪力分布较为均匀; 对于双箱侧断面, 腹板剪力分布相对不均。相对于外侧腹板, 内侧腹板分配了更多的剪力, 边中腹板剪力比约为 1 : 2.3。

双箱侧断面腹板剪力不均匀可能的原因是模型横梁支座位置更靠近内侧腹板, 从而影响了腹板剪力分布。对模型支座位置进行调整, 将其设于双箱断面的正下方, 重新进行计算, 其剪应力及剪力汇总表如图 19、图 20 及表 7 所示。



图 19 恒载作用下单箱腹板剪应力 S-ZX(单位:MPa)



图 20 恒载作用下双箱腹板剪应力 S-ZX(单位:MPa)

由图 19、图 20 及表 7 可知, 横梁处双箱侧断面腹板剪力的分配不均匀性有所改善, 但内侧腹板依然分配更多的剪力, 边中腹板剪力比约为 1 : 1.3。因此, 在箱室数变化处, 设计时应当注意尽可能将支座

表 7 剪力一览 2

单位:kN

双箱远 横梁侧	腹板 1 剪力 178.4	腹板 2 剪力 238.7	腹板 3 剪力 270.5	腹板 4 剪力 168.7
双箱近 横梁侧	腹板 1 剪力 654.4	腹板 2 剪力 873.3	腹板 3 剪力 954.2	腹板 4 剪力 683.3
单箱近 横梁侧	腹板 1 剪力 1 282.2		腹板 2 剪力 1 295.3	
单箱远 横梁侧	腹板 1 剪力 786.2	腹板 2 剪力 792.2		

设置于双箱箱室下方, 同时适当加强内侧腹板设计。

3 结语

本文对于异形变宽的预制节段箱梁的精细化设计进行了详细论述, 针对城市立交常见的变宽形式, 推荐了合适的变宽方案, 同时对其关键构造和受力性能进行了相关研究, 对城市立交的异性变宽预制拼装桥梁设计工作具有一定的借鉴价值。

参考文献:

- [1] 李国平.全预制混凝土桥梁技术概论[C]// 第十八届全国桥梁学术会议论文集.北京:人民交通出版社,2008.
- [2] 周良,闫兴非,李雪峰.桥梁全预制拼装技术的探索与实践[J].预应力技术,2014(6): 15-17.
- [3] 刘琼,李向民,许清风.预制装配式混凝土结构研究与应用现状[J].施工技术,2014(12):9-13.
- [4] 陶超.变宽双箱室短线匹配预制箱梁的施工技术[J].科学视界,2018(1):172-173.
- [5] DG/TJ 08-2255—2018, 节段预制拼装预应力混凝土桥梁设计标准[S].

《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