

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.03.019

引用格式: 李杰, 胡哲, 罗思慧, 等. 互通立交桥预制梁参数化设计关键技术研究[J]. 公路与汽运, 2024, 40(3): 90-94+99.

Citation: LI Jie, HU Zhe, LUO Sihui, et al. Research on key technology of parametric design of prefabricated beam of interchange overpass[J]. Highways &amp; Automotive Applications, 2024, 40(3): 90-94+99.

# 互通立交桥预制梁参数化设计关键技术研究

李杰<sup>1</sup>, 胡哲<sup>2</sup>, 罗思慧<sup>1</sup>, 彭小明<sup>1</sup>

(1. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410200; 2. 浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 311112)

**摘要:** 预制装配式桥梁具有施工周期短、工程造价低、可标准化施工等优点, 已成为公路建设中主要桥梁形式。复杂互通立交设计中, 在满足平曲线指标和湿接缝宽度的前提下应尽可能采用预制装配式桥梁结构。文中结合湖南常德芦荻山枢纽互通设计, 研究装配式桥梁的参数化设计技术, 阐述非标准跨径预制装配式桥梁的设计要点, 为实现互通立交桥快速化设计提供参考。

**关键词:** 桥梁; 互通立交; 预制装配式桥梁; 参数化设计

**中图分类号:** U442.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2024)03-0090-05

## 1 工程概况

芦荻山枢纽互通位于湖南常德市东南部, 是益常(益阳—常德)高速公路与二广(二连浩特—广州)高速公路、常德洞庭大道相交的复合式枢纽互通, 是进出常德市城区的门户。芦荻山枢纽互通包含11座桥梁, 桥梁长度共6 096.152 m, 占整个互通的95%, 该互通基本为全桥方案。

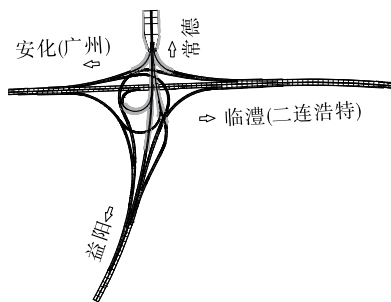


图1 芦荻山互通的总体布置

## 2 桥梁总体方案

芦荻山互通初步设计方案中除2座主线桥外, 其余9座匝道桥均采用现浇箱梁。与整体式现浇结构桥梁相比, 预制装配式桥梁的结构形式简单, 受力特点明显, 设计、施工周期短, 工程造价低, 易标准化施工, 质量可控, 深受建设单位及施工单位的青睐<sup>[1-2]</sup>。鉴于此, 在该项目施工图设计前再次对桥型方案进行研究。

互通立交采用预制装配式桥梁结构的控制因素主要有平曲线半径和同一跨起终点的预制梁翼板湿接缝宽度。平曲线上预制梁可以采用曲桥直做的方式, 即上部结构预制梁预制成直线构件, 在平曲线上以直代曲, 各墩台中心线即为折线交点, 曲线内外侧边梁翼缘板设置为曲线以适应平面线形。预制梁采用曲桥直做的方式会导致曲线内外侧预制梁长度与标准跨径长度有差异, 出现曲线外侧梁长、内侧梁短的情况; 边梁外侧翼缘板由于曲线化其长度也会与标准外侧翼缘板长度产生差异, 且曲线半径越小, 预制梁长度、边梁外侧翼缘板长度和标准长度的差异越大, 导致其受力性能不能满足要求。因此, 曲桥直做的平曲线半径不能太小。根据实际工程经验, 当曲线半径大于10倍跨径时, 预制梁长度和边梁外侧翼缘板长度与标准长度的差异应在受力要求范围内。

为保证施工时有足够的操作空间和湿接缝内环形钢筋与预制梁伸出钢筋的搭接或焊接长度, 预制梁的翼缘板湿接缝宽度不宜过小。但也不宜过大, 过大时预制装配桥梁的横向联系较弱, 易导致湿接缝开裂, 由多片梁整体受力退化至单片梁受力, 不利于结构安全。实际工程经验和有限元计算结果表明预制装配式桥梁的湿接缝宽度宜为400~1 000 mm。对于变宽桥梁, 当桥梁宽度变化较大时, 同一跨起终点的预制梁翼缘板湿接缝宽度不能同时保证在400~1 000 mm范围内, 不宜采用预制

装配式桥梁结构。

根据以上原则,芦荻山互通设计中,除较小曲线半径(小于 10 倍跨径)和变宽幅度较大不能保证同

一跨起终点湿接缝宽度的位置外,其余位置均采用预制装配式桥梁,互通匝道桥梁与主线桥梁保持一致,采用 30 m 预制装配式小箱梁(见表 1)。

表 1 芦荻山互通桥型布置

桥梁名称	跨径/m	桥面净宽/m	桥梁长度/m
K92+611.000 主线桥	<b>7×30.000</b>	15.750	210.000
K92+858.000 主线桥	<b>7×30.000+(22.000+30.000+22.000)</b>	15.750	284.000
AK0+525.193 匝道桥	<b>10×30.000+(17.000+17.708+17.000)+7×30.000</b>	9.500~22.067	561.708
BK0+281.036 匝道桥	<b>4×30.000</b>	8.000	123.000
CK0+328.581 匝道桥	<b>4×30.000</b>	8.000	123.000
DK0+517.170 匝道桥	<b>6×30.000+(16.500+17.000+16.500)+2×18.000+11×30.000+(20.000+20.500+20.500+20.000)+2×13.795+11×30.000</b>	11.250~26.432	1 034.339
EK0+485.888 匝道桥	(20.000+2×25.000+20.000)+(36.000+45.000+41.000)+(25.000+25.000+25.000)+(24.000+25.000+23.000)+ <b>9×30.000</b> +5×17.586	9.500~19.706	716.930
FK0+243.790 匝道桥	7×17.500+(16.500+20.000+17.000+16.500)+4×17.500	8.000	265.500
HK1+024.137 匝道桥	<b>14×30.000+(26.384+27.000+25.000)+3×20.000+(20.000+23.000+24.000+20.000)+(34.000+47.000+36.000)+3×30.000+4×25.250+4×30.000+(2×30.000+26.668)+2×18.500+(35.000+2×40.000+33.049)+6×30.000</b>	11.250~24.183	1 524.215
LK1+189.078 匝道桥	<b>15×30.000+(21.680+30.000+21.680)+7×30.000</b>	11.250~24.592	736.360
RK0+435.000 匝道桥	<b>7×30.000</b> +8×25.000	11.250	413.000

注:数字加粗的表示预制装配式小箱梁,预制装配式桥梁面积占比高达 75.4%,互通内共计 2 108 片小箱梁。

3 标准跨径预制装配式小箱梁参数化设计

交通运输部颁布了《装配式预应力混凝土小箱梁通用图》,各省也根据本省项目特点推出了预制装配式小箱梁通用图,但这些预制装配式小箱梁通用图均只适用于标准路基宽度,对于互通立交中多种等宽非标准路基宽度及各种变宽桥梁无法适用,跨湿接缝、端横隔梁、中横隔板、现浇中横梁均须重新设计,工程量统计也十分烦琐,易出错。目前主流桥梁设计软件也不能很好地解决非标准宽度和变宽预制装配式小箱梁的设计问题。

芦荻山互通设计中,依据湖南省交通规划勘察设计院有限公司编制的《装配式预应力连续小箱梁上部构造通用图》<sup>[3]</sup>编制参数化装配式小箱梁图纸和参数化设计表格,实现互通立交预制装配式小箱梁的一键出图和工程量自动汇总。

3.1 预制装配式小箱梁参数化设计总体思路

互通总体方案确定后,根据桥梁方案进行桥梁布跨,最后进行具体设计。如图 2 所示,每跨桥梁起

终点宽度  $B_1$ 、 $B_2$ 通过调整梁片数( $m+1$ )、湿接缝宽度  $S_1$ 、 $S_2$ 实现,平面线形通过变化边梁外侧翼缘板长度  $A_i$ 拟合实现。 $A_i$ 加宽值不超过 20 cm,各片梁的实际跨径与标准图跨径的差值控制在±500 mm,梁长变化段设置在跨中等截面区域,预制梁内预应力钢束变化段设置在跨中直线段内。若梁长超过该范围,则根据各桥具体情况进行计算调整。

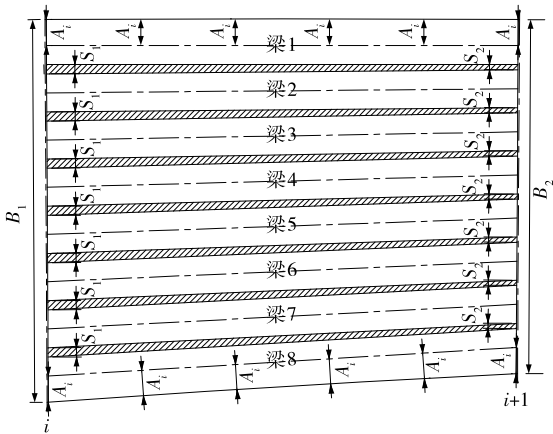


图 2 主梁布置示意图

小箱梁一般构造、预应力钢束构造、顶板负弯矩钢束构造、普通钢筋构造、梁端锚下钢筋构造、负弯矩槽口钢筋构造、梁端封锚钢筋构造、预制堵头钢筋构造均参考标准宽度通用图设计,计量时在参数化表中考虑梁片数即可。小箱梁典型横断面、现浇湿接缝钢筋构造、端横梁钢筋构造、现浇中横梁钢筋构造、跨中横隔板钢筋构造则须参数化,出具统一的参数化图纸,并编制参数化表格。在具体项目中,参数化图纸都是统一的,但须根据每座桥梁的宽度修改参数化表格中的参数。预制装配式小箱梁参数化流程图见图 3。

### 3.2 参数化小箱梁典型横断面

预制装配式小箱梁参数化典型横断面见图 4,含桥梁宽度、主梁片数、湿接缝宽度等。

每座桥梁须给出每一跨起终点的构造参数,表 2 为 A 匝道第一联的构造参数。

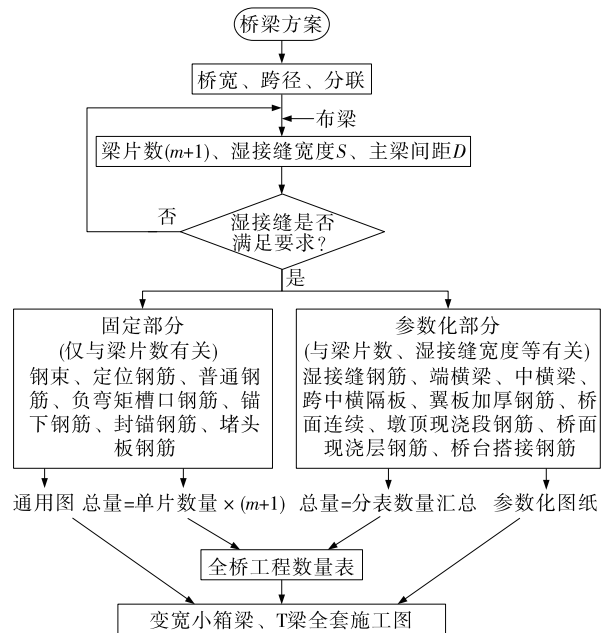


图 3 预制装配式小箱梁参数化设计流程

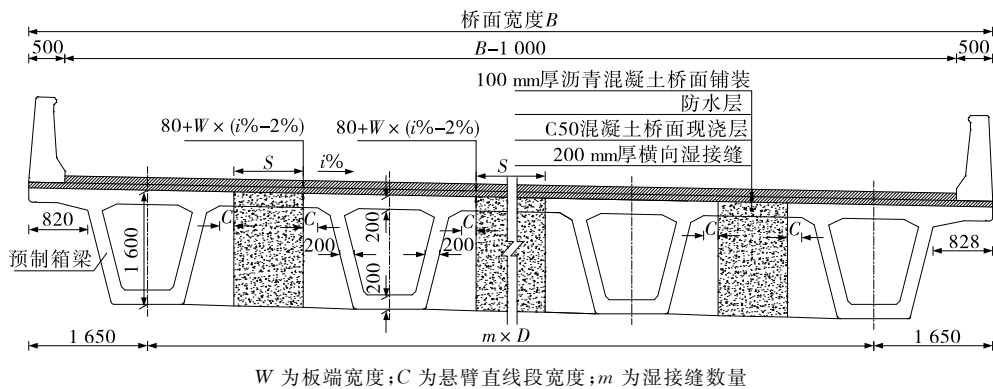


图 4 参数化小箱梁典型横断面(单位: mm)

表 2 参数化小箱梁的构造参数(以 A 匝道第一联为例)

支点类型	桥墩编号	桥跨位置	桥面宽度 $B$ / mm	边板		中板		湿接缝		主梁间距 $D$ / mm	悬臂直线段宽度 $C$ / mm
				板端宽度 $W$ / mm	梁片数	板端宽度 $W$ / mm	梁片数 / 片	宽度 $S$ / mm	数量 $m$ / 道		
边支点	1#墩	第 1 跨	起点	10 500	2	2 000	2	400	3	2 400	0
中支点	2#墩		终点	10 875	2	2 000	2	525	3	2 525	0
中支点	2#墩	第 2 跨	起点	10 875	2	2 000	2	525	3	2 525	0
中支点	3#墩		终点	10 676	2	2 000	2	459	3	2 459	0
中支点	3#墩	第 3 跨	起点	10 676	2	2 000	2	459	3	2 459	0
中支点	4#墩		终点	10 663	2	2 000	2	454	3	2 454	0
中支点	4#墩	第 4 跨	起点	10 663	2	2 000	2	454	3	2 454	0
边支点	5#墩		终点	10 663	2	2 000	2	454	3	2 454	0

跨径类型、桥跨位置、桥面宽度、边梁宽度、中梁宽度和梁片数须自行输入;跨径类型、桥跨位置和桥面宽度等根据桥梁方案确定的参数填写;边梁宽度、

中梁宽度和梁片数等根据布梁情况进行调整,构造参数表中已编辑好公式;其余参数根据输入的参数自动计算。

3.3 参数化小箱梁现浇湿接缝钢筋构造

对于宽度变化的桥梁,可通过调整预制梁横向湿接缝宽度来适应,湿接缝宽度调整范围为 400~1 000 mm。参数化小箱梁现浇湿接缝钢筋构造见图 5,通过调节纵向主钢筋数量  $n$ ,可以保证桥跨起

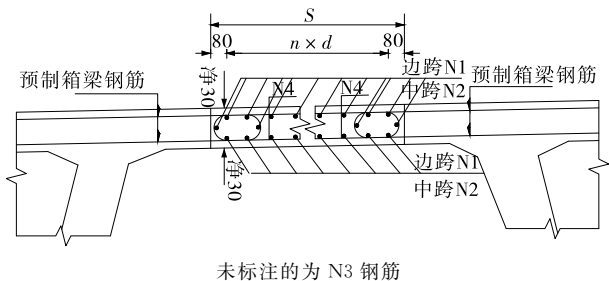


图 5 参数化湿接缝钢筋的构造(单位:mm)

终点纵向主钢筋间距  $d$  为 90~150 mm。

参数化小箱梁湿接缝钢筋的构造参数根据参数化小箱梁构造参数(见表 2)自动计算,结果见表 3。参数化小箱梁现浇湿接缝钢筋明细根据现浇湿接缝构造参数(见表 3)自动计算,结果见表 4。

表 3 参数化湿接缝构造参数(以 A 匝道第一联为例)

适用桥跨	$S/\text{mm}$	$n/\text{根}$	$d/\text{mm}$	湿接缝数量 $m/\text{道}$
第 1 跨	463	3	101	3
第 2 跨	492	3	111	3
第 3 跨	457	3	99	3
第 4 跨	454	3	98	3

表 4 参数化湿接缝钢筋构造图明细(以 A 匝道第一联为例)

位置	钢筋编号	钢筋型号	钢筋直径/mm	单根长度/mm	数量/根	总长度/m	总质量/kg	整跨质量/kg
第 1 跨	N1	HPB300	10	29 500	12	354.00	218.4	655.3
	N3	HRB400	12	1 401	295	413.30	367.0	1 101.0
	N4	HPB300	10	413	74	30.56	18.9	56.6
	N2	HPB300	10	29 880	12	358.56	221.2	663.7
第 2 跨	N3	HRB400	12	1 460	299	436.44	387.6	1 162.7
	N4	HPB300	10	413	75	30.98	19.1	57.3
	N2	HPB300	10	29 880	12	358.56	221.2	663.7
	N3	HRB400	12	1 389	299	415.31	368.8	1 106.4
第 3 跨	N4	HPB300	10	413	75	30.98	19.1	57.3
	N1	HPB300	10	29 500	12	354.00	218.4	655.3
	N3	HRB400	12	1 385	295	408.48	362.7	1 088.2
	N4	HPB300	10	413	74	30.56	18.9	56.6

3.4 参数化小箱梁端横梁钢筋构造

端横梁可分为预制部分与现浇部分,预制部分包含边梁预制和中梁预制,按梁片数计量,可仅对现

浇部分进行参数化。参数化小箱梁端横梁钢筋构造见图 6,箍筋间距  $d$  为 80~110 mm,箍筋数量  $n$  由  $d$  和湿接缝宽度  $S$  确定。

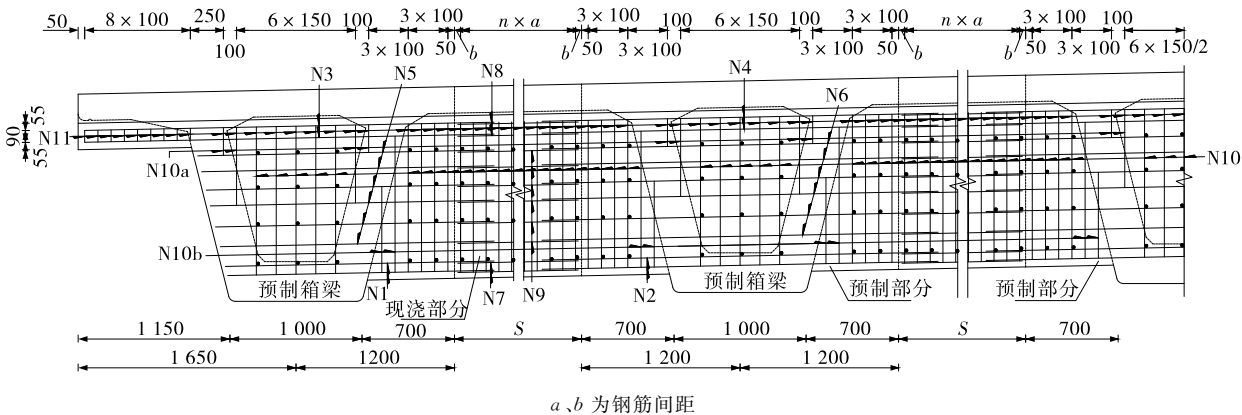


图 6 参数化小箱梁端横梁钢筋构造(单位:mm)

参数化小箱梁端横梁钢筋的构造参数根据参数化小箱梁构造参数(见表 2)自动计算,结果见表 5。

参数化小箱梁端横梁钢筋明细根据小箱梁端横梁钢筋构造参数(见表 5)自动计算,结果见表 6。

表 5 参数化小箱梁端横梁的构造参数(以 A 匝道第一联为例)

S/mm	n/根	a/mm	b/mm	适用位置	处数	S/mm	n/根	a/mm	b/mm	适用位置	处数
400	3	107	40	第 1 跨/起点	3	459	4	95	40	第 3 跨/起点	3
525	5	89	40	第 1 跨/终点	3	454	4	94	40	第 3 跨/终点	3
525	5	89	40	第 2 跨/起点	3	454	4	94	40	第 4 跨/起点	3
459	4	95	40	第 2 跨/终点	3	454	4	94	40	第 4 跨/终点	3

表 6 参数化小箱梁端横梁钢筋构造图明细(以 A 匝道第一联为例)

S/mm	钢筋编号	钢筋型号	钢筋直径/mm	单根长度/mm	数量/根	总长度/m	单位质量/(kg·m <sup>-1</sup> )	总质量/kg	C50 混凝土用量/m <sup>3</sup>
400	N7	HRB400	22	360	4	1.44	2.980	4.29	0.15
	N8	HRB400	20	360	8	2.88	2.470	7.11	
	N9	HRB400	12	360	12	4.32	0.888		
	N10	HRB400	12	2 914	4	11.67	0.888		
	N11	HRB400	12	1 348	4	5.39	0.888	25.00	
	N12	HRB400	12	499	12	5.99	0.888		
	N13	HRB400	12	397	2	0.79	0.888		
525	N7	HRB400	22	485	4	1.94	2.980	8.67	0.19
	N8	HRB400	22	485	2	0.97	2.980		
	N9	HRB400	12	485	16	7.76	0.888		
	N10	HRB400	12	2 914	6	17.48	0.888	40.37	
	N11	HRB400	12	1 348	15	20.22	0.888		
459	N7	HRB400	22	419	4	1.67	2.980	7.49	0.17
	N8	HRB400	22	419	2	0.84	2.980		
	N9	HRB400	12	419	16	6.70	0.888		
	N10	HRB400	12	2 914	5	14.57	0.888	36.84	
	N11	HRB400	12	1 348	15	20.22	0.888		
454	N7	HRB400	22	414	4	1.66	2.980	7.41	0.16
	N8	HRB400	22	414	2	0.83	2.980		
	N9	HRB400	12	414	16	6.63	0.888		
	N10	HRB400	12	2 914	5	14.57	0.888	36.78	
	N11	HRB400	12	1 348	15	20.22	0.888		

注:N7~N11 钢筋为现浇部分钢筋,其余数量表中未展示的 N1~N16、N10a、N10b 钢筋见预制部分通用图。

参数化跨中横隔板、参数化现浇中横梁钢筋构造的出图方式和工程量计算方式与参数化小箱梁端横梁相同。

4 非标准跨径预制装配式小箱梁的设计要点

受互通总体平面布置、被交道、河流等影响,在满足采用预制装配式桥梁条件的位置,并不能完全设置为标准跨径,如芦荻山互通中 K92+858 主线桥第三联 22.000 m+30.000 m+22.000 m 预制装

配式桥梁、H 匝道桥第十二联 2×30.000 m+26.668 m 预制装配式桥梁和 L 匝道桥第六联 21.680 m+30.000 m+21.680 m 预制装配式桥梁。从结构合理受力角度考虑,一般边跨跨径为 0.7~1.0 倍标准跨径。为保证模板统一,方便施工,边跨截面形式及高度与标准跨径保持一致,梁长通过缩短标准段长度来实现,渐变段及加厚段长度保持一致。

(下转第 99 页)