

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.028

# 立交拼宽桥挠度控制方法研究

郝佳佳

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

**摘要:**随着城市规模扩大,既有城市立交桥往往通行能力不足,为缓解不断增加的交通压力,越来越多的立交拼宽桥工程得以实施,而其设计建造的限制条件却非常多。以郑州某立交改造工程为例,总结了桥梁设计原则与思路,详细阐述了工程的限制条件和设计方案,提出了多种拼宽桥挠度控制的方法,并采用有限元软件 Midas Civil 模拟桥梁方案,进一步比较分析了各种提高钢箱梁刚度方法的合理性与可行性。最后得出最合理的结构方案,对类似城市拼宽桥工程设计具有一定的借鉴意义。

**关键词:**立交拼宽桥;挠度控制方法;钢箱梁刚度

中图分类号:U445.6

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)05-0114-03

## 0 引言

交通是城市经济生活的命脉,自1974年全国第一座城市立交——北京复兴门立交桥的建成,截止2021年全国城市立交桥共计6107座<sup>[1]</sup>,立交桥通过道路平面交叉改为立体交叉,缓解了繁忙的城市交通压力。

随着城市的快速扩张,交通拥堵仍然是各大城市的重大难题,既有城市立交桥的改扩建已成为城市建设的重要组成部分。

立交桥是多层布置的空间结构,且现场环境复杂,其改扩建工程的建设受地形、地物、工期等条件限制,桥梁设计需考量多方面因素,而钢箱梁结构有抗扭刚度大、强度高、整体性好、架设工期短等诸多优点,具备在拼宽工程中广泛应用的优势。

立交拼宽桥往往由于场地限制,立墩位置决定了桥梁跨度难以调整,且桥上、桥下通行净空又制约了梁高,当跨度、梁高等关键参数已经确定时,工程的可行性、合理性亦基本确定。本文结合实际工程,探讨了多种在跨度及梁高受限时控制下挠的方法。

## 1 工程概况及总体设计

某立交桥位于郑州市,现状高架桥为双向八车道,分两幅布置,目前该立交节点交通拥堵严重,亟需改造提升,因此在主线东西两侧各增设一幅拼宽

桥,桥宽6.6~9 m。

图1所示为桥梁平面,现状存在地铁、地面路、河道等多类地物。P3墩立墩位置需考虑桩基与现状地铁线的安全距离,以及避让现状地面路,尽量减少对路面交通的干扰。为满足防洪要求,P2墩应避让河道。P4墩仅需避让现状地面路即可。当P2、P3、P4墩位置确定后,中跨即为46 m+32.05 m,且已难以优化。另外为提高结构刚度,增加设置边跨,以形成对中跨的锚固效应,最终确定了21.1 m+46 m+32.05 m+25.1 m的跨径布置。

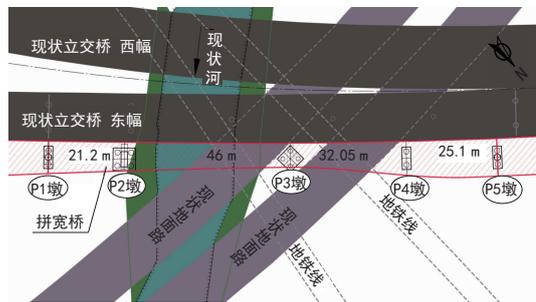


图1 桥梁平面(单位:m)

拼宽桥顺接现状立交桥的横坡设置,桥面标高已明确,而桥下现状地面路的通行净空不低于4.5 m,且需保证一定的安全距离,这直接制约了桥梁梁高,其中最不利位置的梁高不能超过1.1 m,见图2。

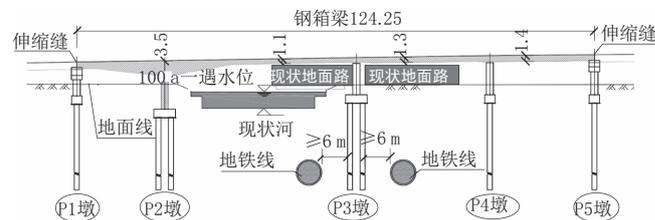


图2 桥梁总体布置立面(单位:m)

收稿日期:2023-05-28

作者简介:郝佳佳(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

## 2 拼宽桥挠度控制方法

### 2.1 结构方法及计算模型介绍

本联立交拼宽桥最大跨度 46 m, 梁高却只有 1.1 m, 高跨比仅为 1/42, 结构竖向刚度小, 而桥下通行尚需考虑足够的安全距离, 挠度太大会侵入桥下通行净空, 且不利于新老桥间可靠衔接。针对苛刻条件限制下的桥梁设计, 往往需要采用多种结构方法, 为控制拼宽桥的下挠, 提高其结构刚度, 可选择墩梁固结、组合结构、变高梁等结构方案。

最大桥宽达到 9 m, 采用单箱双室钢箱断面, 以增加结构的竖向刚度, 见图 3。钢材采用 Q345qD, 箱梁板厚根据受力不同而分区段相应取值, 顶板厚 20/30 mm, 底板厚 20/24/30 mm, 腹板厚 16/20/24 mm。

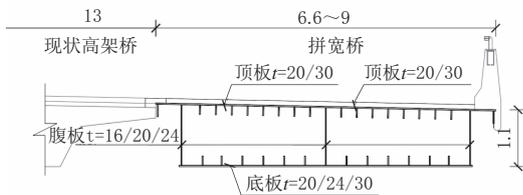


图3 钢箱梁横断面(单位:m)

采用 Midas Civil 软件建立全桥有限元模型, 由于拓宽桥与现状高架间通过在铺装层中设置高弹混凝土变形缝, 能适应足够的位移差, 且新老桥相互作用并不影响各挠度控制方法的比较, 计算模型不考虑现状高架对拓宽桥的作用。

汽车荷载为城—A 级车道荷载, 并考虑车道的偏载布置。为便于比较各方法的有效性, 后续所提及的挠度值均采用不计入冲击力的汽车荷载频遇组合下主梁的最大挠度值<sup>[2]</sup>。

### 2.2 各方法设计要点及挠度计算

#### 2.2.1 原方案

原方案采用连续钢箱梁结构, 第 1 跨梁高 1.6 m, 第 2 跨梁高 1.1 m, 第 3 跨梁高 1.3 m, 第 4 跨梁高 1.4 m, 其中第 2、3 跨梁高受限于桥下通行净空, 难以增加梁高, 见图 4。全桥材料用量为: 钢材 678 t, 混凝土 1 172 m<sup>3</sup>。

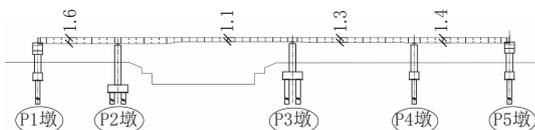


图4 原方案结构示意图(单位:m)

由计算可知, 主梁最大挠度为 36 mm, 而本项目采用的新老桥间变形缝构造要求该值不宜大于 30 mm, 且挠度值越小越有利。

#### 2.2.2 固接 P3 墩方案

相比原方案, 将 P3 墩改为钢结构, 并与主梁固结, 形成 T 构 + 连续梁的混合结构, 见图 5。全桥材料用量为: 钢材 731 t, 混凝土 1 032 m<sup>3</sup>。

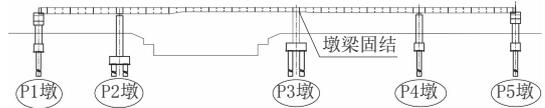


图5 固接 P3 墩方案结构示意图(单位:m)

为更准确地模拟结构刚度, 将群桩基础的整体刚度折算出等效自由桩长后建模分析<sup>[3]</sup>。由计算可知, 主梁最大挠度为 31 mm。

#### 2.2.3 固接 P3 墩 + 组合墩方案

相比固接 P3 墩方案, 将 P3 墩改为钢混组合结构, 见图 6。全桥材料用量为: 钢材 731 t, 混凝土 1 172 m<sup>3</sup>。

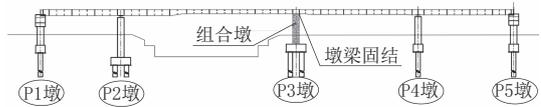


图6 固接 P3 墩 + 组合墩方案结构示意图(单位:m)

由计算可知, 主梁最大挠度为 29 mm。

#### 2.2.4 固结 P2 墩方案

相比原方案, 将 P2 墩改为钢结构, 并与主梁固结, 形成 T 构 + 连续梁的混合结构, 见图 7。全桥材料用量为: 钢材 743 t, 混凝土 1 016 m<sup>3</sup>。

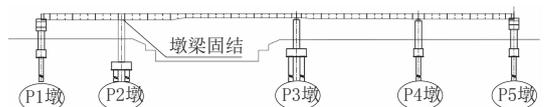


图7 固接 P2 墩方案结构示意图(单位:m)

由计算可知, 主梁最大挠度为 31 mm。

#### 2.2.5 固结 P2、P3 墩方案

相比原方案, 将 P2、P3 墩设计为钢结构, 并与主梁固结, 形成连续刚构 + 连续梁的混合结构, 见图 8。全桥材料用量为: 钢材 796 t, 混凝土 1 253 m<sup>3</sup>。

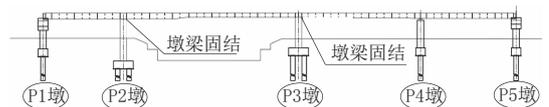


图8 固接 P2、P3 墩方案结构示意图(单位:m)

由计算可知, 主梁最大挠度为 25 mm。虽然主梁下挠改善明显, 但是出现了非常大的墩底水平力及弯矩, 当钢梁整体升温 40℃ 时, P2 墩墩底水平力 2 074 kN、弯矩 13 499 kN·m, 基础构造需相应加强处理。

#### 2.2.6 组合顶板方案

相比原方案, 钢箱梁梁高整体降低 25 cm, 相应高度空间设置 25 cm 厚的混凝土顶板, 并通过剪力

钉与钢结构顶板连接,形成组合结构,见图9。全桥材料用量为:钢材663 t,混凝土1409 m<sup>3</sup>。

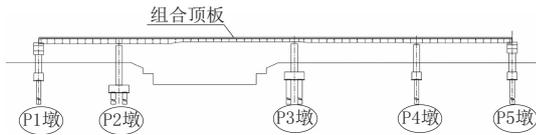


图9 边跨组合底板方案结构示意图(单位:m)

由计算可知,主梁最大挠度为38 mm,由单纯的钢箱梁改组合梁时,组合顶板对主梁下挠有一定改善效果,却无法弥补由于钢梁梁高降低而导致的结构刚度下降。

### 2.2.7 组合底板方案

尽量不变动原方案钢梁结构,在箱梁底部增加设置25 cm厚的混凝土底板,并通过剪力钉与钢结构底板连接,形成组合结构,见图10。全桥材料用量为:钢材678 t,混凝土1378 m<sup>3</sup>。

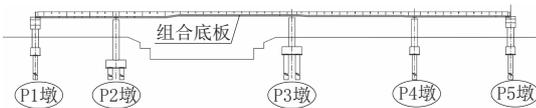


图10 边跨组合底板方案结构示意图(单位:m)

由计算可知,主梁挠度为28 mm。

### 2.2.8 边跨组合底板方案

由于第2跨的最低梁高仅1.1 m,断面箱室空间有限,设置混凝土底板构造困难。相比原方案,在第1、3和4跨箱梁底部设置25 cm底板,并通过剪力钉与钢结构底板连接,形成组合结构,见图11。全桥材料用量为:钢材678 t,混凝土1323 m<sup>3</sup>。

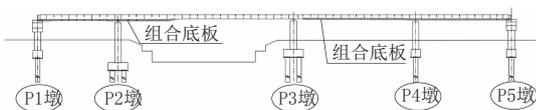


图11 边跨组合底板方案结构示意图(单位:m)

由计算可知,主梁最大挠度为33 mm。

### 2.2.9 变高梁+固结P2墩方案

P2墩处桥下空间不受限,相比原方案,加高P2墩处的箱梁高度,梁高3.5 m,并将P2墩设计为钢结构,与主梁固结后,形成T构+连续梁的混合结构,见图12。全桥材料用量为:钢材825 t,混凝土1016 m<sup>3</sup>。

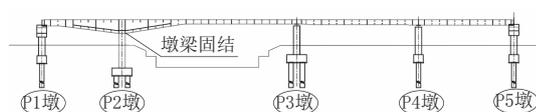


图12 变高梁方案结构示意图(单位:m)

由计算可知,主梁最大挠度为24 mm。

## 2.3 技术经济参数分析

为便于比较各方法的技术有效性以及造价经济性,以原方案为基准,对其余6个方案的挠度、造价

进行比较,具体数值见表1。

表1 各方法技术经济参数对比

编号	方案描述	主梁最大挠度/mm	技术有效性	造价经济性
1	原方案	36	100%	100%
2	固接P3墩	31	86%	101%
3	固接P3墩+组合墩	29	81%	105%
4	固结P2墩	31	86%	101%
5	固结P2、P3墩	25	69%	114%
6	组合顶板	38	106%	106%
7	组合底板	28	78%	106%
8	边跨组合底板	33	92%	105%
9	变高梁+固结P2墩	24	67%	109%

由表1可知,固结单墩方案的性价比最高,且固结中墩、边中墩的挠度控制效果相同。设置钢混组合结构墩柱可以显著改善跨中下挠,同样也会大大增加方案造价。

组合顶板方案使主梁挠度增大,与组合结构的优势相比,钢梁高度对挠度控制效果贡献更大;与组合顶板方案相比,组合底板方案充分结合了组合梁和钢梁高度的优势;边跨组合底板方案控制挠度效果较差,这也与仅在边跨设置组合底板,而非直接在中跨设置组合底板有关。本工程梁高1.1 m处,设置25 cm厚板后,实际结构空腔仅有0.85 m的高度,钢结构焊接、混凝土浇筑等施工操作空间有限,工艺难度高,不建议采用。

变高梁+固结P2墩方案及固结P2、P3墩方案控制挠度最有效。对于墩高较低的城市立交桥工程,固结P2、P3墩方案结构受力极不合理,本工程墩高较低,墩柱刚度大,易出现较大的墩底反力,另外桥位所处地质条件较差,即使通过加大桩径桩长、增加桩数等措施满足了受力需要,但是较差的地基条件且长期处于水平力工况,仍然是极大的安全隐患,不建议采用。

综上所述,本工程推荐采用变高梁+固结P2墩方案,在造价可控的前提下,极大地改善了主梁下挠。

## 3 结语

本文基于某立交拼宽工程,提出了多种挠度控制方法,建立对应的全桥有限元模型,提取主梁挠度值,用于比较各方法的技术经济参数分析,得出以下结论:

(1)直接改善低梁高区域的刚度,例如等高梁改为变高梁、设置组合底板等,能最有效的控制结构

(下转第126页)

(2)经现场测量、探槽、检测,过渡段路面变形量大,沉降不均匀,呈“多级台阶”形式,PHC管桩桩身完整性较差,已发生断桩、错位、倾斜等,表明原来变桩长、变桩距PHC管桩控沉疏桩的处理方式,在回填了大量填土的深厚软基中的可实施性值得商榷。

(3)在通车运营6a期间软土层物理力学性质基本未有改善,未能有效发挥复合地基的作用,这也是引起该桥过渡段沉降不断发生的主要原因。

(4)通过计算分析,路基实测沉降量超过理论计算沉降量,初步分析原因一方面是形成陆域的填土本身压缩变形及其作为荷载导致桩间软土产生的固结沉降变形,另一方面是土体的侧向位移进一步引起的竖向变形。受上部回填荷载作用,导致桩间土沉降过大,持续发生发展,桩间土与PHC管桩未能协调变形、共同发挥作用,因此整体上无法有效地形成复合地基,进而导致其对该桥过渡段软土地基沉降控制十分有限。在实际处置中应充分考虑上部填土对软基的长期影响。

#### 参考文献:

- [1] 陈晓平,黄国怡,梁志松.珠江三角洲软土特性研究[J].岩石力学与工程学报,2003(1):137-141.
- [2] 乔军.市政道路软基的处理方式[J].发展,2010,239(9):110-111.
- [3] 林世新.浅谈市政道路软基处理方法[J].科技与企业,2014,253(4):212-213.
- [4] 唐育同.不同地基处理方式下公路软土地基加固效果分析[J].西部交通科技,2022,185(12):69-71,81.
- [5] 高文生,刘金砺,赵晓光,等.关于预应力混凝土管桩工程应用中的几点认识[J].岩土力学,2015,36(增刊2):610-616.
- [6] 蒙核量,张淑芳.基于CFG桩复合地基的软基处理应用研究[J].建筑技术开发,2023,50(2):154-156.
- [7] 姚健勇,郭灿.高速公路软土路基桥头病害原因分析及加固处治措施[J].广东公路交通,2015,139(4):74-80.
- [8] DBJ/T 15-60—2019,建筑地基基础检测规范.
- [9] 陈凡,罗文章.预应力管桩低应变反射波法检测时的尺寸效应研究[J].岩土工程学报,2004(3):353-356.
- [10] JGJ 340—2015,建筑地基检测技术规范.
- [11] 《工程地质手册》编委会.工程地质手册(第五版).北京:中国工业出版社,2018.

(上接第116页)

挠度。

(2)墩高适宜且地质条件好时,采用固结双墩的连续刚构方案,能大大改善主梁下挠。由于连续刚构结构体系的特殊性,需要特别注意下部结构的构造设计,以抵抗墩底反力,这也大大增加了造价。

(3)与连续刚构相比,固结单墩不存在过大的墩底反力,能在不过分增加造价的前提下,有效地降低挠度,且结构整体性更好,安全性更高。

(4)无论是钢混组合墩柱,抑或是组合底板,组

合结构能在一定程度上提高结构刚度,改善主梁下挠,同时也需要更高的造价。在更精细的构造设计前提下,组合结构亦不失为一种有效方法。

#### 参考文献:

- [1] 2021年城市建设统计年鉴 [EB/OL].(2022-10-12)[2023-03-15].  
<https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/sjfb/tjxx/jstjnj/index.html>.
- [2] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [3] 鲍卫刚.桥梁承台桩基柔度的模拟[J].华东公路,1992(5):16-17.