

新型 Y 形主梁大跨度桥梁方案设计研究

邹小洁

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: Y 形主梁一般应用于小跨径人行桥,但实际工程中,有时也需要建设主梁呈 Y 形、主梁各分支交点处无条件设置桥墩的大跨度车行桥。为了适应上述条件要求,一种由“撑杆-主梁”组合受力的新型 Y 形主梁大跨度桥梁结构体系被提出。通过分析该结构体系的传力机制,介绍了采用该结构的某桥梁工程的设计方案和受力情况。同时,采用有限元软件分析并总结了该结构体系随主梁水平夹角变化的内力和反力变化规律,为类似建设条件下的桥梁设计提供了有益参考。

关键词: Y 形主梁;三叉主梁;三向主梁;大跨度桥梁;方案设计

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0047-05

0 引言

主梁平面呈 Y 形的桥梁结构一般会在主梁三个分支交点处设置桥墩^[1],且跨径一般较小,通常用于人行桥^[2]。由于跨径小、所受荷载小,一般采用梁式桥即可满足受力要求。

实际工程中,桥梁设计有时会遇到主梁平面呈 Y 形,同时受到港航、水利或其他限制条件,无法在 Y 形主梁三个分支交点处设置桥墩而导致跨径很大的情况。例如,在三岔河道口处为连接三个地块交通而采用 Y 形主梁,却因受河道通航要求无法在主梁三个分支交点处设置桥墩。又如,城市桥梁因受征地拆迁限制而必须采用平面呈 Y 形的大跨度桥梁。

对于主梁每个分支的长度均达到 100 m 甚至超过 150 m,主梁三个分支交点处因通航、水利、桥下道路、征地拆迁等建设条件限制而不能设置桥墩,同时还需要通行汽车的 Y 形大跨度桥梁结构,常规的梁式桥将因受力性能差、经济性能差而丧失可行性。因此,本文构思了一种既能满足建设条件,又具有较好受力性能、优越景观效果和良好经济性能的新型 Y 形主梁大跨度桥梁结构,并分析了该结构的受力特点。

1 工程背景

位于某三省交界处的一河道上拟修建一座车行桥梁。区域总体景观研究提出了该桥采用 Y 形的三

分支结构的方案,主梁每一个分支连接其中一个省份,三个分支相交于一点,象征三省密切沟通、协同发展(见图 1)。

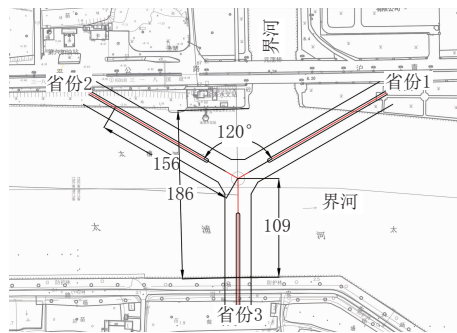


图1 桥位平面布置(单位:m)

河道河口宽度约为 186 m,主梁三个分支的交点位于河道中间。根据通航要求,三个分支的交点处不允许设置桥墩,且每个分支端部的桥墩均应尽量靠近岸边布置,故每个分支的长度均超过了 100 m。国内外已有的 Y 形桥梁方案均无法满足本桥的建设条件。

2 桥型方案构思

2.1 桥梁结构体系

根据本桥建设条件要求,构思了一种具有较强承载能力、可适应大跨径和通行汽车要求的新型 Y 形主梁大跨度桥梁结构^[3]。结构体系如图 2 所示。

该桥梁结构包括撑杆、拉索、主梁、桥墩(或桥台)、基础、支座。主梁由桥轴线相交于一点的三个分支构成,平面上呈 Y 形。撑杆共三根,分别倾斜设置在主梁三个分支的桥轴线所在的竖直平面内,每根撑杆底部分别与一个主梁分支的梁端刚性连接,三根撑

收稿日期: 2023-02-13

作者简介: 邹小洁(1980—),女,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

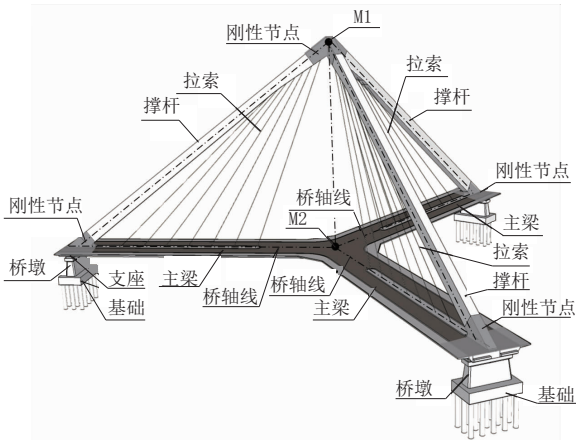


图 2 桥梁结构示意图

杆顶部相交于一点并刚性连接。撑杆相交顶点 M_1 在水平面上的投影与主梁桥轴线相交节点 M_2 重合。拉索下端锚固于主梁,上端锚固于撑杆顶部,起到将主梁荷载传递至撑杆的作用。桥墩(或桥台)共三个,分别位于三个主梁分支的外侧端部,三个主梁交点下方不设桥墩。桥墩(或桥台)与主梁结构分离,其顶部设置可沿桥轴线方向纵向滑动的支座,用以支撑主梁结构。

2.2 轴力传力途径

新型 Y 形主梁大跨度桥梁为“撑杆 - 主梁”组合受力体系,主要受力构件为斜向设置于主梁上方的三片撑杆和水平设置的三片主梁。各主要受力构件的轴力传力路径如图 3 所示。

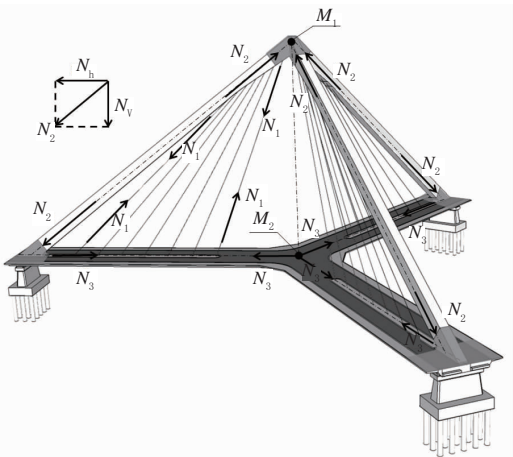


图 3 轴力传力路径示意图

主梁直接承受结构自重、桥面铺装、栏杆、汽车荷载、人群荷载等的作用。拉索作为主梁的弹性支撑,将主梁上大部分荷载传递至撑杆顶部,主要承受轴向拉力 N_1 作用。撑杆为本桥梁结构的主要承重结构,在拉索作用下,撑杆以承受轴向压力为主,撑杆的轴向压力 N_2 通过撑杆与主梁的刚性连接节点传递给主梁,撑杆轴向压力 N_2 可分解为竖向分力 N_v 和水平分力 N_h 。其中,竖向分力 N_v 传递给主梁后,通

过设置于主梁底部、桥墩顶部的支座传递给桥墩和基础。水平分力 N_h 传递给主梁后,由于桥墩顶部的支座可沿桥轴线方向纵向滑动,故该水平分力不会传递至桥墩和基础,而是通过主梁三个分支承受轴向拉力予以平衡。主梁三个分支的轴向拉力 N_3 在主梁桥轴线相交节点 M_2 处互相平衡,使桥梁结构受力处于内部“自平衡”状态。

3 大桥结构设计

3.1 主梁设计

大桥主梁的三个分支分别连接了三个方向的交通,三个方向的交通在主梁相交节点 M_2 附近通过交通信号灯控制实现相互转换。主梁每个分支的长度均为 140 m,相邻两个分支之间的水平夹角均为 120° ,如图 4 所示。

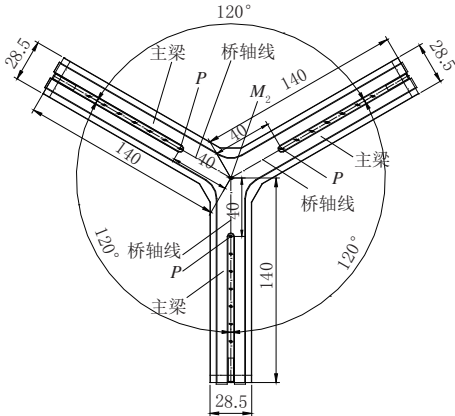


图 4 主梁平面布置(单位:m)

主梁每个分支在横桥向分为三个区域。桥轴线附近为结构区,宽 4 m,为设置撑杆和拉索的空间。结构区两侧为功能区,包括人行道、车行道和相应的防撞栏杆、人行栏杆等附属构造,主梁全宽 28.5 m,如图 5 所示。

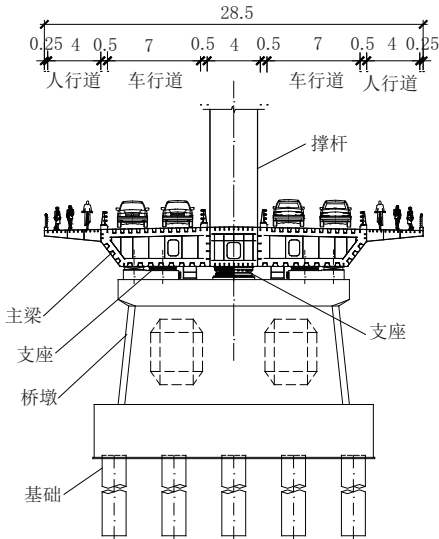


图 5 标准横断面(单位:m)

5 夹角参数化分析

5.1 分析工况

上述工程实例中,主梁相邻两个分支之间的水平夹角均为 120° 。实际工程中有可能遇到相邻分支之间水平夹角并不完全相等的情况。本节通过调整主梁分支之间的水平夹角大小进行恒载下的静力分析,探寻新型 Y 形主梁大跨度桥梁的普遍受力规律。分析仍采用有限元软件 Midas Civil 进行,夹角 θ 定义如图 9 所示。

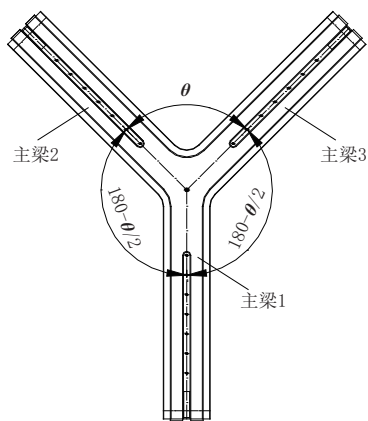
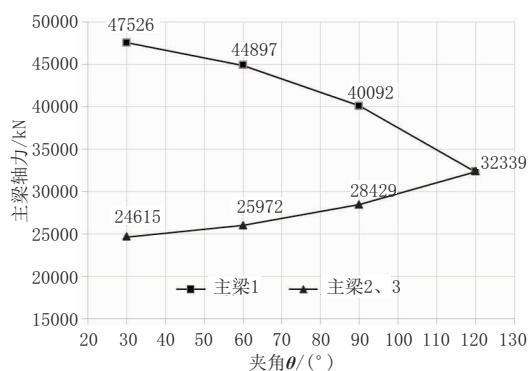


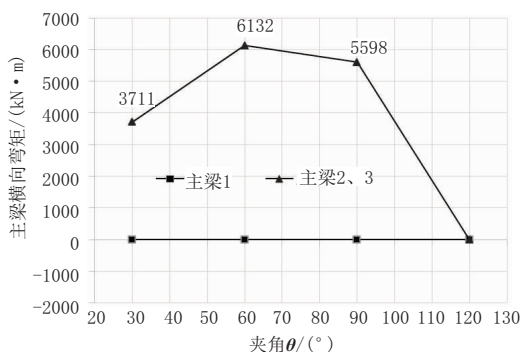
图 9 夹角 θ 定义图

5.2 内力变化规律

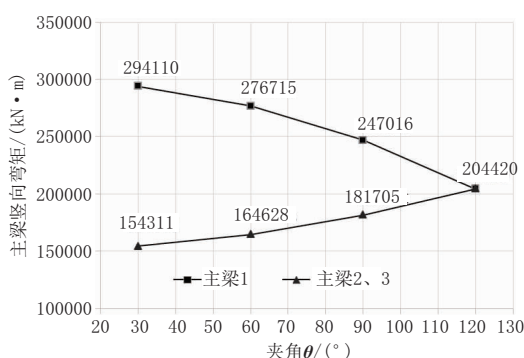
撑杆相交点 M_1 、主梁相交点 M_2 处各构件的内力,以及内力随夹角 θ 变化的趋势如图 10、图 11 所示。根据图中数据分析,可总结出恒载下内力的变化



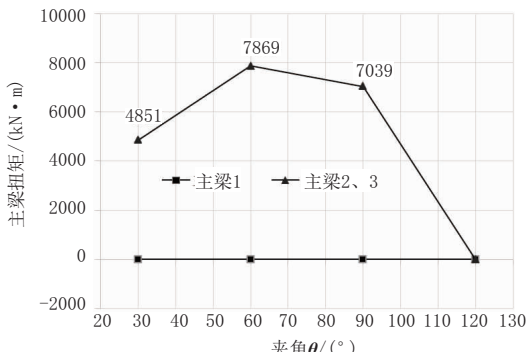
(a) 主梁轴力



(c) 主梁横向弯矩



(b) 主梁竖向弯矩



(d) 主梁扭矩

图 10 恒载工况主梁内力随夹角 θ 变化的趋势

规律如下:

(1)当 $\theta=120^\circ$ 时,主梁各分支受力相同,均以承受轴力和竖向弯矩为主,不受横向弯矩和扭矩的作用。

(2)随着 θ 值逐渐减小,主梁 1 的轴力和竖向弯矩逐渐增加,而主梁 2、3 的轴力和竖向弯矩逐渐减小。同时,当 $\theta \neq 120^\circ$ 时,主梁 2、3 会受到横向弯矩和扭矩的作用。随着 θ 从 120° 逐渐减小到 30° ,横向弯矩和扭矩呈现出先增大后又减小的趋势。

(3)撑杆内力随 θ 的变化规律与相对应的主梁一致。

5.3 反力变化规律

不同夹角 θ 下,主梁各分支端部的支承反力值列于表 2 中。通过表 2 中数据分析,可总结出恒载下反力变化规律如下:

(1)当 $\theta=120^\circ$ 时,主梁各分支端部的支承反力完全相同,且均只受到竖向反力的作用,纵向反力、横向反力和弯曲反力均为 0。

(2)当 $\theta \neq 120^\circ$ 时,尽管主梁 2、3 受到横向弯矩的作用,但其梁端支座处的横向反力仍然为 0。其原因是每个分支处的主梁和相对应撑杆的横向剪力在两者的刚性连接节点处互相平衡了。

(3)当 $\theta \neq 120^\circ$ 时,主梁 2、3 均受到了绕桥轴线方向旋转的弯曲反力,说明在恒载等对称荷载下,

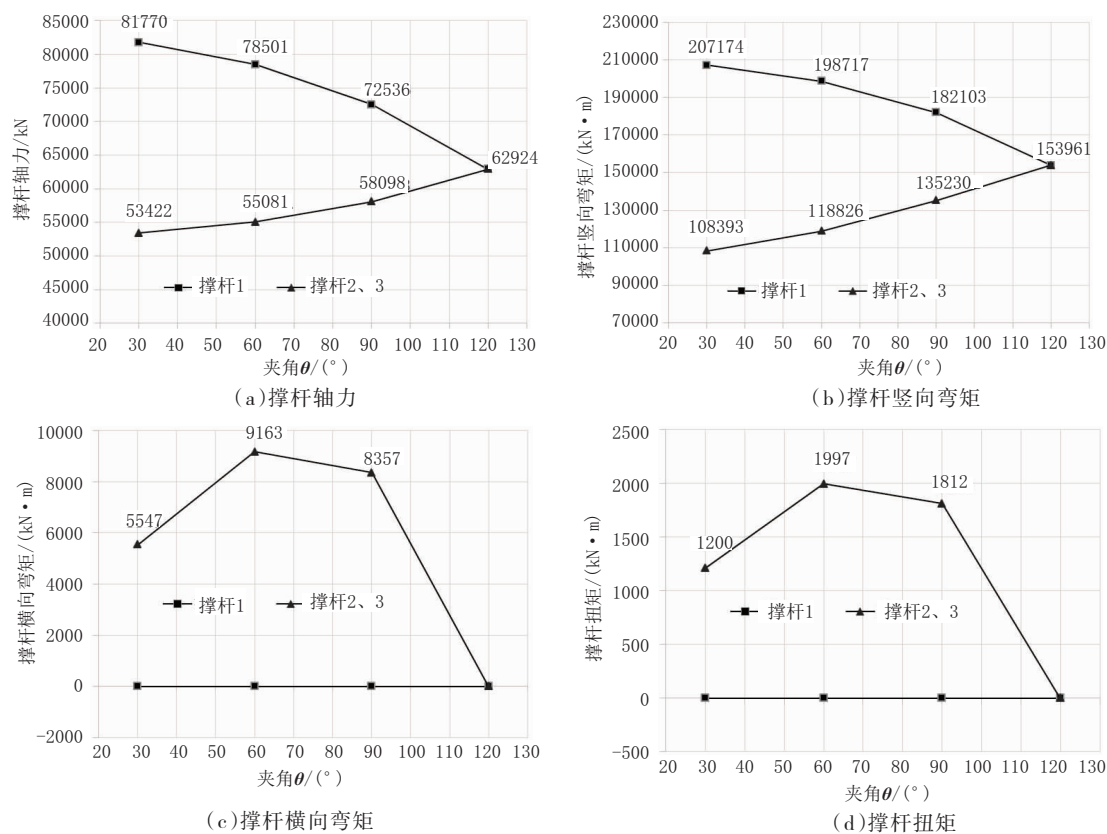


图 11 恒载工况主要构件内力随夹角 θ 变化的趋势

表 2 夹角不同时恒载工况支反力分析结果

θ /(°)	位置	各项反力值					
		竖向 D_x /kN	横向 D_y /kN	纵向 D_z /kN	弯曲 M_x /(kN·m)	弯曲 M_y /(kN·m)	弯曲 M_z /(kN·m)
120	主梁 1	49 190	0	0	0	0	0
	主梁 2、3	49 190	0	0	0	0	0
90	主梁 1	55 113	0	0	0	0	0
	主梁 2、3	46 228	0	0	8 580	0	0
60	主梁 1	58 815	0	0	0	0	0
	主梁 2、3	44 377	0	0	9 536	0	0
30	主梁 1	60 854	0	0	0	0	0
	主梁 2、3	43 358	0	0	5 855	0	0

分居桥轴线两侧的支座也出现了竖向反力的不均匀分配。由于弯曲反力 M_x 的数值不大,两侧支座的竖向反力差值较小。

5.4 分析结论

了解上述规律后,可得出以下结论:

- (1)当 $\theta=120^\circ$ 时,整个结构处于最优的受力状态。
- (2)当 $\theta \neq 120^\circ$ 时,在对称荷载下,分居桥轴线两侧的支座也出现了竖向反力的不均匀分配,但差值较小。不管 θ 如何变化,纵向反力、横向反力始终为 0,即桥梁结构始终处于“自平衡”状态,不会对桥墩和基础产生水平力。

- (3)当 $\theta \neq 120^\circ$ 时,只要顺应主梁和撑杆各分支的内力分布变化进行主梁和撑杆的截面设计,仍然可以使整个桥梁结构处于较好的受力状态。

6 结 语

本文构思了一种新型 Y 形主梁大跨度桥梁结构,该结构通过合理设计主梁、拉索和撑杆的轴力传力路径,充分利用撑杆、拉索与主梁共同受力,在主梁平面呈 Y 形的同时具有较强的承载能力,突破了 Y 形桥一般用于小跨径人行桥的局限性,可适应大跨径和通行汽车的要求。同时,由于结构受力为内部

(下转第 100 页)

水位进行预降。

湖泊平急两用雨水调蓄设施的平面布局和规模应根据其功能定位、地形地貌、区域排水防涝、防洪和水系规划、景观要求等因素确定。湖泊护岸、护坡设计,应满足调蓄水位变动对结构的要求,护岸、护坡和雨水管渠出水口的结构设计应相互协调,可设置应急围挡,提前预埋相应基础装置,调蓄时可快速启用,湖泊周边应增设安全围栏以及声光警示装置。

作为平急两用雨水调蓄设施的湖泊,如须新增填占调蓄库容的涉水构筑物,如人工岛、亲水平台、滨水栈道、游船码头等,必须经过排水防涝影响论证后方可建设。

进水方式可分为三类,分别为地表漫流进水、管道溢流进水和水泵提升进水。进水位置应根据极端天气时积水情况、调蓄设施位置和周边环境综合确定。湖泊调蓄设施宜通过构建生态护坡和陆域缓冲带等生态措施,削减进入湖泊的雨水径流污染。

湖泊平急两用雨水调蓄设施应在极端天气过后及时放空,当湖泊与外河相连通时,应利用周边河道放空;当湖泊与外河不连通时,宜通过周边市政管网放空。应及时进行蓄后恢复,以便复原湖泊的使用功能,评估及复位湖泊内涉水构筑物功能,并进行湖泊水质检测。

5 结 语

城市内涝防治是一项系统性工程,涉及源头减排、雨水管渠、排涝除险等工程性措施和应急管理等非工程性措施,是一项跨地域、跨部门的系统工程^[5]。结合平急两用理念开展雨水调蓄设施的规划建设是在应急层面的一种尝试,其规划选址应该结合城市地形、市政雨水系统和河道水系等各项要素,依托区域规划雨水排水系统,根据内涝风险评估结果,明确布局和规模,并征询相关利益主体意见。新建平急两用雨水调蓄设施应依托相关主体设施的建设,同步建设施工和验收。通过改建增加调蓄功能的设施在改造过程中须充分论证,并进行相关的事前损失及风险评估预测,在满足主体设施自身安全的前提下,确保增设调蓄功能方案的科学性和可操作性。

参考文献:

- [1] 张辰.基于韧性安全的城镇内涝防治技术标准与规划研究[J].上海建设科技,2022(6):1-5.
- [2] 周宏,刘俊,高成,等.我国城市内涝防治现状及问题分析[J].灾害学,2018,33(3):147-151.
- [3] 张辰,章林伟,莫祖澜,等.新时代我国城镇排水防涝与流域防洪体系衔接研究[J].给水排水,2020,46(10):6-9.
- [4] 夏军强,董柏良,李启杰,等.近年城市洪涝致灾的水动力学机理分析与减灾对策研究[J].中国防汛抗旱,2022,32(4):66-71.
- [5] 谢映霞.城市排水与内涝灾害防治规划相关问题研究[J].中国给水排水,2013,29(17):4-6.

~~~~~  
(上接第 51 页)

“自平衡”,该桥梁结构不对基础产生水平推力,可适用于各种地质条件,在适用性、经济性和桥梁景观等诸方面均有较高推广价值。

本文的研究成果可为类似建设条件下的桥梁设计提供有益参考。

### 参考文献:

- [1] 吴抗昇.三向斜拉桥拉索施工[J].建筑施工,1990(4):31-32.
- [2] 胡方健,何飞,汤秋华,等.空间三叉张弦梁人行桥:中国,201610008350.1[P].2016-04-06.
- [3] 邹小洁,马磊,王浩,等.Y型主梁的大跨度桥梁结构:中国,202110826622.X[P].2021-10-08.