

市政双层交通桥梁结构体系选型

杨广安

[上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200125]

摘 要: 基于节约用地以便为城市发展腾出更大空间的设计理念,许多市政工程采用了双层桥梁的结构形式。对常见市政双层交通布置在桥梁结构体系中的实现方式进行了梳理、总结与拓展,并结合工程实例介绍了双层桥梁的结构选型思路,可为类似桥梁设计提供参考。

关键词: 市政双层交通;双层桥梁;结构选型

中图分类号: U442.5+4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)06-0085-05

0 引言

随着中国经济的发展,土地资源的稀缺及桥梁建设用地紧张的日趋突出,同时交通流量的快速增长,造成多数已建单层交通的城市桥梁日益拥堵,成为阻碍交通畅通的瓶颈。因此,为在有限的土地资源及布置空间内极大地提高城市交通的使用效率,改善桥梁通行条件,双层交通或双层桥面的城市桥梁设计是较佳方案^[1]。

目前双层交通桥梁这类结构形式的设计方法和力学性能暂无一套完整的知识体系,对目前实际工程中双层交通体系桥梁进行一系列的梳理、总结与拓展有着较强的工程实践意义。

1 结构体系选型

双层桥梁结构体系的选型在满足交通功能需求及相关设计规范的前提下尚应注意以下几个方面:

(1)应在综合考虑桥位处的客观条件、结构体系的合理受力、桥梁景观等因素后因地制宜的选择其结构体系,不应片面为追求景观效果而弱化其他方面的要求。

(2)断面上机动车道的空间位置及数量一般由总体交通需求确定,结构体系设计对其优化调整的空间不大,而非机动车道尤其是人行道空间位置的优化调整空间较大,可根据体系受力合理性或景观需求进行较大的突破。

(3)结构体系的选择需考虑施工因素,施工便捷

性、施工期间交通组织、对现状交通的影响等都会影响到结构体系的选择。

(4)非机动车道纵坡宜小于2.5%,大于或等于2.5%时,应按规定限制坡长,但最大不超过3.5%^[2]。若超过3.5%则不能骑行,只能推行,桥梁结构体系选型时应优先考虑骑行。

梁桥、拱桥、斜拉桥及悬索桥等常见桥梁结构体系,除去主梁外其他的上部构件仅起到增大主梁跨越能力的辅助作用;因此除特殊情况外,双层交通桥梁结构的实现主要是通过主梁形式的变体去实现。

1.1 上层机动车道+下层机动车道

一般而言,人非荷载低于机动车荷载,机动车道荷载作为桥梁结构的主要荷载,其布置位置应直接位于主梁的主体位置,而人非荷载可通过其他结构措施附加于主梁主体结构上。对于上下层均布置机动车道的双层桥梁,其主梁从结构受力方面考虑可采用梁体系和桁架体系。

1.1.1 梁体系

对于梁体系双层桥梁,结合实际工程案例,主要包括以下四种:

(1)梁与立柱框架组合体系

由于黄浦江沿线大桥、隧道等越江设施的线位限制,闵浦大桥采用高速公路与地方道路公用一座大桥线位,采用双层桥梁结构,上层为高速公路八车道,下层为地方道路六车道,上下层桥面共用门式桥墩(见图1)。

此种体系结构布置紧凑,在铁路桥梁中使用较多,一般应用在布墩区绿化带相对较宽的工程中。根据上下层桥面的相对宽度不同,桥墩形式也可采用倒

收稿日期:2020-12-15

作者简介:杨广安(1982—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

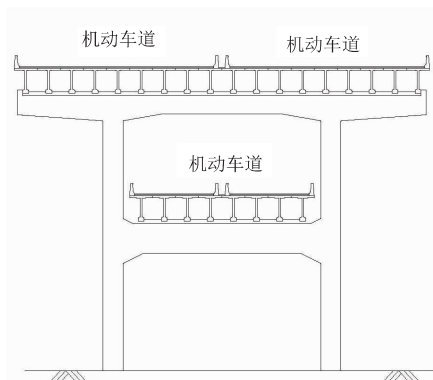


图1 梁与立柱框架组合双层梁体系断面图

梯形或“干”字形,但由于此类体系均为共用下部结构,且桥墩为整体布置,对于施工期间不断交需翻交施工的工程应用受限。

(2) 品字形双层梁体系

一般城市高架在跨越河道时,中幅主线高架沿用地面段相同的结构布置,高架两侧地面道路幅以独立桥梁结构形式布置于中幅主线高架两侧,从而衍生出品字形双层梁体系(见图2)。

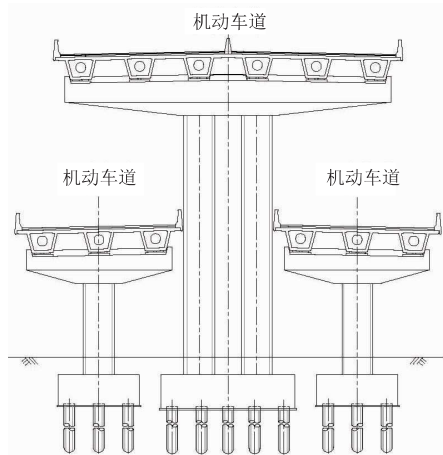


图2 品字形双层梁体系断面图

此种体系由于上下层桥上下部分别独立,三幅桥自成体系。其与两侧接线高架或地面道路衔接方便,也可满足翻交施工的需求,但由于下部结构类别较多,施工繁琐。

(3) 巨型箱形梁体系

对于梁体系,主梁可采用宽大扁平的箱型截面作为承重构件,并利用箱室顶底板形成双层桥面。

澳门西湾大桥主桥为双索面竖琴式稀索斜拉桥,桥梁为分离式单箱单室,每箱顶单向3车道,箱内通行轻轨,台风来临时,关闭桥面,改由箱内通行汽车。为满足箱体内部的通风机采光要求,箱室腹板上每隔8m加开窗洞^[3],见图3。

因箱内通车,此巨型箱形截面梁无法设置常规横隔板且需在腹板上大规模开孔,其整体受力性能、

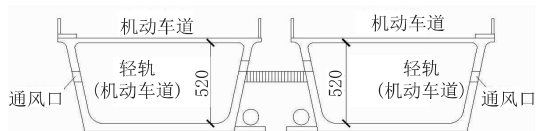


图3 巨型箱形梁体系双层梁断面图(单位:cm)

横向内力、剪力滞后效应、扭转畸变及腹板孔洞引起的局部应力集中等一系列关键问题尚需进行专门研究^[4]。

(4) 异形墩双层梁体系

若有其他边界约束条件无法布置门墩体系时,也可采用其他异形高低墩解决。如台北某工程在现状道路一侧需增设宽约35m的双向交通,但可供布墩范围局限在现状地面道路与河道间宽仅13m的狭长空间内,最终采用双层箱梁+异形墩的结构体系方案(见图4)。

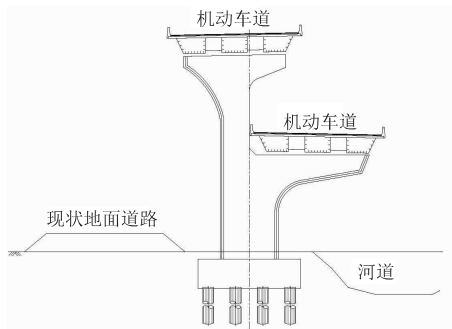


图4 异形墩双层梁体系断面图

此种体系下部结构为异形构造,受力较复杂,且不便工厂化预制拼装施工,故仅在特殊情况下才予考虑。

1.1.2 桁架体系

对于桁架体系,钢桁梁或组合桁梁作为承重构件并利用上下弦杆形成双层桥面,刚性腹杆作为桥面系间的连接。

苏州市斜港大桥为全钢结构桁架式梁拱组合结构,是苏州市第一座双层钢结构桥梁。上层为双向六车道+两条辅助车道共八车道城市快速路,下层为双向八车道城市主干道和人非系统^[5],见图5。

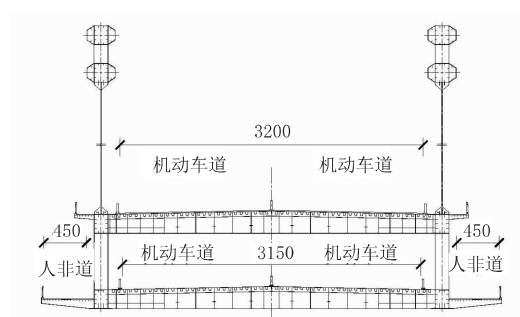


图5 桁梁体系双层梁断面图(单位:cm)

若上下层有非机动车道,则可将其以挑梁布置在下弦杆外侧,由于挑梁结构高度一般小于弦杆,因此还可通过挑梁高程的调整(下层机动车道与人非道相对错层)来进一步减小非机动车道的纵坡,改善行车舒适度。

综上,总结归纳上下层均布置机动车道的双层桥梁结构体系演变模式见图6。

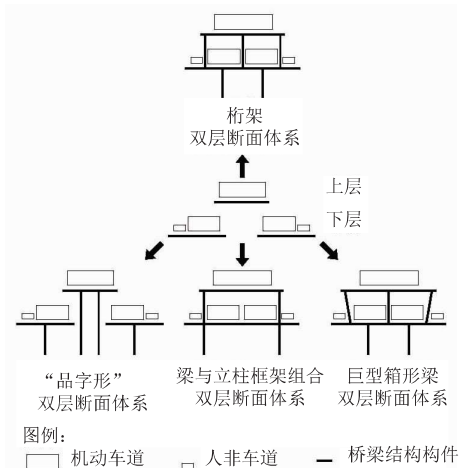


图6 上下层均布置机动车道双层桥体系演变图

通过对比,梁体系与桁架体系在其适用性上分别有以下一些特点:

(1)箱梁体系(巨型箱梁体系除外)的适用跨径范围较大,常见市政桥梁中小跨径和节点桥梁的大跨布置均可适用,而桁架体系从下层桥面净空及经济性考虑一般适用于80 m以上跨越河道的大跨桥梁。

(2)桁架体系下层弦杆结构高度小于梁体系下层主梁结构高度,在跨越河道时可减小引桥规模、降低下层非机动车道纵坡进而改善行车舒适度,故在对结构高度受限的条件下可优先采用桁架体系。

1.2 上层机动车道+下层人非车道

(1)箱梁外挂体系

当下层仅有荷载相对较小的人非通行时,可将人非通道布置于主梁外腹板底部两侧。

崧泽高架路西延伸工程油墩港桥主桥即采用此种体系。主桥桥面层为机动车道,两侧挑臂分别下挂非机动车道和人行道,在引桥侧通过梯坡道落地。主桥下挂人非桥吊杆位置设置加劲横梁,间距3.0~3.5 m,通过刚性吊杆连接下挂钢结构纵横梁构成人非桥面^[6],见图7。

为满足人非车道净空要求,此种体系一般适用于跨度较大的变截面连续箱梁,主梁结构高度一般宜大于3 m。对于局部梁高不满足处也可在桥下净空

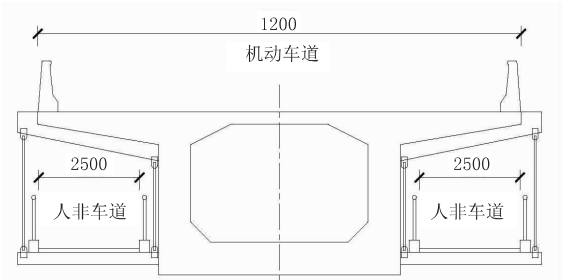


图7 箱梁外挂体系双层梁断面图(单位:cm)

富裕时通过特殊构造将人非车道布置在主体箱梁底板以下。

(2)桁架体系

对于桁架体系,其结构体系与上下层均为机动车的桁架体系类似,由于下层人非一般所需宽度小于上层机动车道宽度,因此,其断面一般采用倒梯形断面。

上海龙华港桥即采用此种结构体系,其为徐汇滨江公共开放空间中的一座桥梁,以动物脊梁为原型,通过形象特征几何抽象化后设计成双层桥面变截面连续钢桁梁,倒梯断面,上层桥面为机动车道,总宽25 m,下层桥面为行人通道,净宽12.6~13.6 m,为来往游客提供了一个明亮、舒适的休闲空间^[7],见图8。

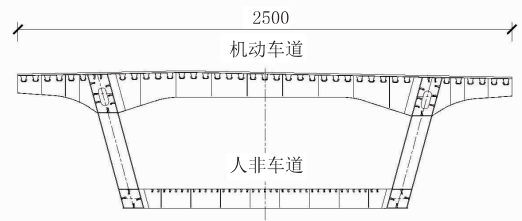


图8 桁架体系双层梁断面图(单位:cm)

综上,总结归纳上层机动车道+下层人非车道的双层桥梁结构体系演变模式见图9。

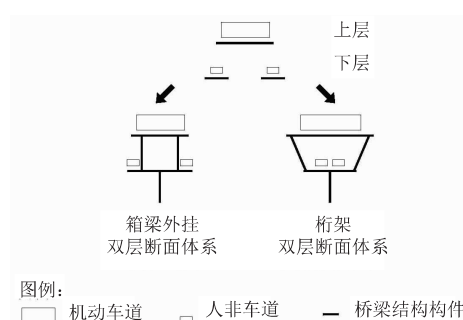


图9 上层机动车道+下层人非道双层桥体系演变图

此两种体系双层桥受力明确,附加的下层人非车道基本不改变桥梁结构整体受力,且可获得较佳的非机动车纵坡,是较经济简便的结构形式。

1.3 上层人非车道+下层机动车道

除在一些特殊边界条件约束或从景观造型上必须采用此种布置形式外,一般情况下此种断面形式

采用不多。

下层机动车道一般布置于桥梁核心受力区,若上层人非车道的布置独立于下层桥面单独设置桥墩使之成为独立结构,则经济性差。因此一般通过结构构造措施将上层人非道依附于下层桥梁核心受力区之上。

(1) 索承结构体系

通过拉索支承上部人非车道。如绵阳三江大桥,即采用此种人、车分离的设计理念,见图 10。上下层主梁完全分离,上层主梁通过上桥塔横梁置于下层主梁一侧上方,上下层主梁各自通过斜拉索与倒 Y 形桥塔连接,且将传统人行道设计改为独立的“S”形曲线梁跨越江面并实现与堤岸接驳^[8]。



图 10 绵阳三江大桥实景图

(2) 桁架体系

对于桁架结构体系,下层布置机动车道,上层弦杆及并联简单改造后即可布置人非机动车道,此类桁架布置形式暂未见实际工程案例。

综上,总结归纳上层人非道+下层机动车道的双层桥梁结构体系演变模式见图 11。

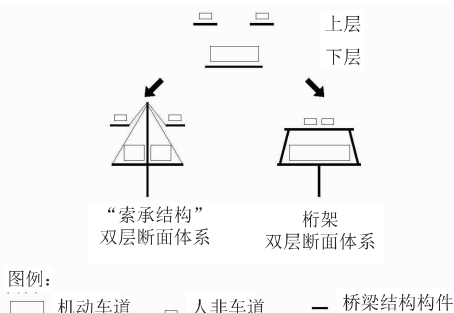


图 11 上层人非+下层机动车双层桥体系演变图

2 实例分析

2.1 概况

浦东运河桥为龙东大道改建工程重要节点之一,浦东运河下穿龙东大道段为南北走向,目前属Ⅶ级航道,宽约 37 m;规划河口宽 85 m,Ⅲ级航道,桥梁需一跨过河。

桥位处现状老桥横向四幅设置,中间两幅为双

向 6 车道机动车道 T 梁,斜交约 10°;两侧两幅为正交 65 m 跨简支钢管混凝土拱人非桥,见图 12。



图 12 浦东运河现状桥梁实景图

根据完善上海市快速路系统的总体要求,浦东运河桥需拆除重建,采用全线高架快速路+地面主干路形式敷设。

2.2 桥梁主要技术标准

(1) 设计荷载:汽车 城—A 级,人群 3.5 kN/m²;

(2) 桥面宽度:主线高架桥整幅式双向六车道标准桥宽 25 m,地面桥双向六车道(2×12 m)+ 两侧非机动车道及人行道(2×6 m);

(3) 地震基本烈度:7 度;峰值加速度:0.1g。

2.3 结构体系选

根据交通规划上层 6 车道高架,下层双向 6 车道机动车道+人非机动车道,两侧接线引桥与龙东大道全线标准段一致采用预制小箱梁的结构形式,截面整体呈“品”字型,见图 13。

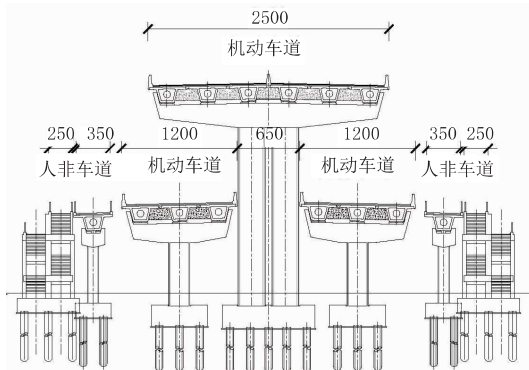


图 13 浦东运河引桥标准断面图(单位:cm)

由前文可知,本桥属于上下层均有机动车道的断面形式,浦东运河桥主桥结构体系选型可采用如下思路,见图 14。

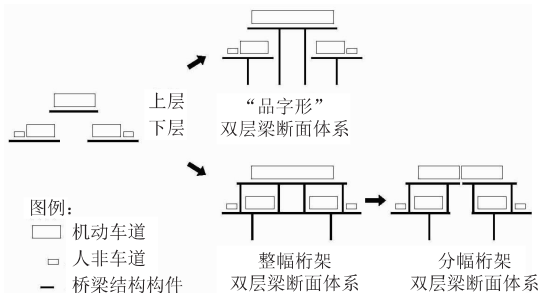


图 14 结构体系演化示意图

据此结构体系演化思路考虑以下两种方案:

(1)连续钢箱梁

主桥采用 80 m+120 m+80 m 变截面连续钢箱梁方案,主桥采用品字形断面能与引桥无缝衔接,见图 15。

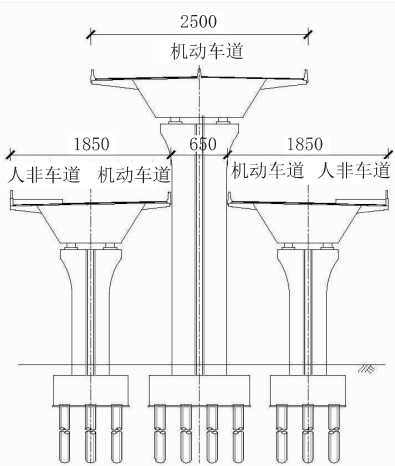


图 15 钢箱方案标准断面图(单位:cm)

但由于引桥两侧地面路口限制,引桥坡长受限,根据钢箱梁结构高度要求,下层桥面纵坡达到 5.5%,势必导致非机动车无法骑行。

(2)简支双层钢桁梁

主桥采用跨径布置为 120 m 的单跨简支钢桁梁,由于钢桁梁上下弦杆的截面高度明显小于钢箱梁,下层桥面的纵坡可降低至 4%。下层桁架外侧设置 6 m 挑臂布置人非道,将挑臂根部底缘与下弦杆底缘对齐,进一步将人非道纵坡降至 3.0%,满足了非机动车骑行需求,见图 16、图 17。

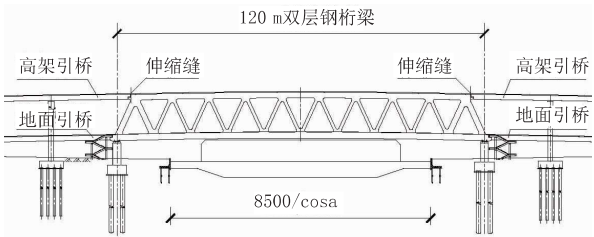


图 16 钢桁梁方案立面图(单位:cm)

考虑到施工期间现状交通不能中断,横桥向将钢桁梁分两幅布置,通过翻交拖拉施工,确保了施工期间现状交通的顺利通行。

综上所述,简支双层钢桁梁方案相对于连续钢箱梁方案有如下优点:

(1)充分利用高架与地面桥所占用的空间,结构

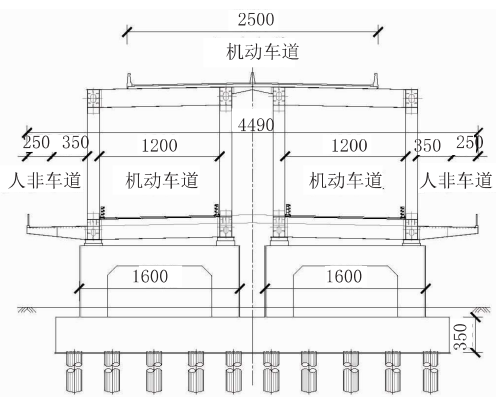


图 17 钢桁梁方案标准断面图(单位:cm)

布置紧凑,简支静定结构,受力简洁;

(2)施工便捷、工期短,施工期间对现状交通干扰小;

(3)地面机动车道纵坡低于连续梁方案,交通安全性好,且非机动车道纵坡为 3%满足骑行要求;

故 120 m 跨简支双层钢桁梁方案作为浦东运河桥主桥双层交通的推荐方案。该桥已于 2020 年底建成通车。

3 结 语

双层交通桥梁结构体系的选型是市政桥梁工程前期总体方案设计阶段需着重进行的工作内容,桥梁设计人员可结合前文归纳总结的演化思路,基于对桥梁力学、工程材料、施工技术、交通组织等方面的深刻理解与认识来综合比选确定。

参考文献:

[1] 孙建渊,陈阶亮.城市桥梁双层交通的概念设计[J].桥梁建设,2006(2):39-42.
[2] CJJ 37—2012,城市道路工程设计规范(2016 年版)[S].
[3] 吴利清,张强.澳门西湾大桥景观分析[J].桥梁建设,2006(1)增刊:11-13,19.
[4] 祝明桥,蒋伟中,霍海强.混凝土巨型箱形截面梁及其设计理论[J].建筑科学与工程学报,2010,27(3):85-88.
[5] 盛中国,冯金坤.苏州市斜港大桥主结构组拼焊接施工工艺研究[J].施工技术,2014,43(7):449-451.
[6] 上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司.崧泽高架西延伸工程施工图[Z].上海:上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司,2017.
[7] 蒋彦征,常付平,岳贵平.丰溪路龙华港桥设计[J].城市道桥与防洪,2010(9):142-145.
[8] 宁平华,乐小刚,杨勇.绵阳三江大桥叠层曲线组合斜拉桥设计理念和关键技术[J].城市道桥与防洪,2014(9):50-53.