DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250873

超大型交通枢纽集疏运高架结构方案研究

李洪年
(上海东方枢纽投资建设发展集团有限公司,上海市 200125)

摘　要: 随着城市交通需求的不断增长,全国各大城市陆续开始建设以“站城一体化”为理念的大型交通枢纽。集疏运高架作为串联地上、地下交通的主要载体,可以有效解决超大型交通枢纽交通流量大、交通组织复杂、与周边交通网络衔接困难等问题。目前国内类似东方枢纽上海东站项目这种铁路综合枢纽(站)与机场航站楼(场)结合,并与城市(城)融合的“站、场、城”融合集疏运案例并不多。首先,对6种常规高架结构型式进行了分析和比较;然后,结合上海东站超大型交通枢纽集疏运高架的平面布置特点,对高架上跨铁路节点桥、铁路站台接口桥、小半径弯道桥等5个区段的结构选型方案进行了详细分析和比选;最后,对集疏运高架结构方案进行了总结。结合项目特点,因地制宜地选用合适的高架结构型式,不仅可以有效控制造价,同时能做到功能与景观的和谐统一。

关键词: 集疏运高架;大型交通枢纽;结构选型
中图分类号: U442.5;TU997　　**文献标志码:** B　　**文章编号:** 1009-7716(2026)01-0196-07

Research on Elevated Structure Scheme for Collection and Distribution of Super-large Transportation Hub

LI Hongnian
(Shanghai Oriental Hub Investment and Construction Development Group Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: With the continuous growth of urban transportation demand, the large transportation hubs based on the concept of "integration of station and city" have been gradually constructed in major cities across the country. As the main carrier connecting above-ground and underground transportation, the elevated road for collection and distribution can effectively solve the problems of large traffic flow, complex traffic organization and difficult connection with the surrounding transportation network in super-large transportation hubs. Currently, there are not many cases in China similar to the Shanghai East Railway Station Project in the Oriental Hub, where a railway comprehensive hub (station) is combined with an airport terminal (field) and integrated with the city (town), forming a "station-field-city" integrated collecting and distributing transportation system. Firstly, six common elevated structural forms are analyzed and compared, and then in combination with the planar layout characteristics of the super-large elevated transportation hub for collection and distribution at Shanghai East Railway Station, the structural selection schemes for five sections including elevated overpass railway node bridges, railway platform interface bridges and small-radius curve bridges are analyzed and compared in detail. Finally, the elevated structure scheme for collecting and distributing transportation is summarized. Combined with the characteristics of the project, choosing the appropriate structural form based on local conditions can not only effectively control the cost, but also achieve a harmonious unity of function and landscape.

Keywords: collection and distribution elevated road; large-scale transportation hub; structural selection

0　引　言

随着我国城市化进程的加速推进和综合交通体系的深度重构,以“站城一体化”为核心理念的超大型交通枢纽建设已成为支撑区域协同发展的关键载体。这类枢纽日均客流量常逾百万人次,其集疏运系统面临交通流量大、交通组织复杂、与周边交通网络衔接困难等核心挑战。集疏运高架作为串联地上、地下交通的主要载体,在“站、场、城”融合中扮演着不可或缺的角色,经过长期的实践探索,国内已诞生了一批大型交通枢纽集疏运系统的成功案例,如广州南站、南京南站、深圳宝安国际机场等。一般的集疏运系统主要疏解快速集散带来的巨量客流,侧

收稿日期:2025-09-02
作者简介:李洪年(1978—),男,硕士,高级工程师,从事东方枢纽建设管理工作。

重枢纽与周边经济区的联动,而上海东站并非仅解决单一交通节点的客流,作为“东方枢纽”空铁一体化联运和“站城融合”的核心,它集成了国铁、市域铁路、地铁、捷运线等多种交通方式。在集疏运系统的桥梁设计上,不仅要考虑疏解快速集散带来的巨量客流,还需要满足复合跨越、定向分流、多式联运协同等特殊需求。如何结合项目特点,因地制宜地选用合适的结构型式,同时做到功能与景观的和谐统一,是建设好上海东站综合交通枢纽集疏运系统的关键[1-11]。

1　项目概况及特点

东方枢纽上海东站综合交通枢纽作为上海铁路枢纽总图规划的四大主客站之一,是服务长三角一体化、推动浦东开发开放、落实国家高质量发展战略的核心载体。东方枢纽上海东站综合交通枢纽集疏运系统以“三级分流架构+动态韧性调控”为核心,形成“北进北出、南进南出、快进快出、南北可联”的立体交通网络(见图 1),通过 11 条功能化匝道与双地道冗余通道(站前路+站东路)实现空铁物流直通与 30% 的车流动态调剂,破解传统枢纽单侧拥堵与客货交织难题。其中,集疏运系统高架桥包含北系统主线及匝道、南系统主线及匝道、零号站台匝道三部分高架,桥梁长度合计约 7.1 km[12]。

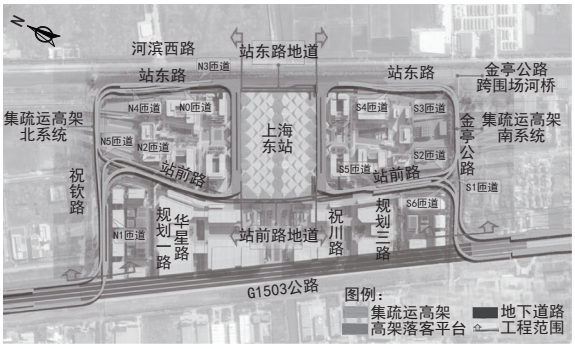


图 1　东站集疏运系统总图

本项目桥梁长度约 7.1 km,且结构型式异常复杂,为满足交通功能,匝道分层设置(最多达 3 层),导致上下层投影重叠多,墩柱立墩空间被极度压缩。同时,线路包含大量小半径弯道(半径 50~85 m)和桥宽变化段,这使得大跨径、异形结构(如曲线梁、变宽箱梁)成为必然选择,对结构选型、计算精度和施工控制提出了极高要求。

新建高架需要在三维空间内与既有的或同步建设的车站站房、捷运线、铁路线、地面道路、下穿地道等结构进行精准避让与衔接。桥梁墩柱的布设受到下方铁路线、地道结构的严格限制,立墩空间极其有限。

上海东站作为上海市对外的形象和窗口,景观要求高,桥梁设计需要贯彻“环境协调性优先”原则,将主体结构、构件细部与周边自然及人文环境系统整合,通过材料质感呼应、空间比例控制及流线形态优化,实现交通功能与景观价值的共生。

2　常规高架结构型式分析

高架桥梁结构一般采用梁式结构体系,可以采用混凝土 T 梁、混凝土小箱梁、混凝土大箱梁、钢混组合大箱梁、钢结构大箱梁[14]。

(1)混凝土 T 梁

预制装配式 T 梁是较为常用的结构型式,主梁为预制构件,可在工厂和施工现场预制,待 T 梁吊装完毕后,浇筑桥面板和横隔板现浇缝,将 T 梁横向连成整体,截面示意详见图 2。

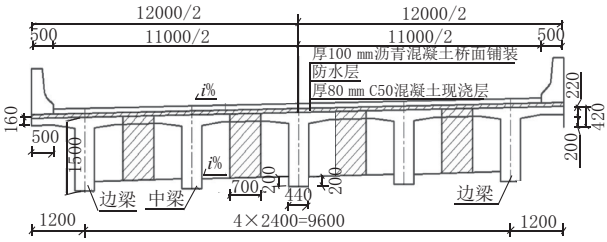


图 2　混凝土 T 梁截面示意图(单位:mm)

(2)预制装配式小箱梁

预制装配式小箱梁凭借其工厂化预制的高效性与灵活的结构适应性,已成为全国城市桥梁建设的优选方案。适配履带吊机、龙门吊机及型架桥机,满足不同施工工况需求[13],截面示意详见图 3。

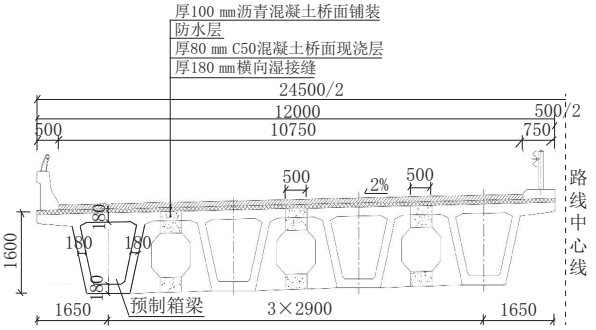


图 3　预制装配式小箱梁截面示意图(单位:mm)

(3)现浇预应力混凝土大箱梁

预应力混凝土大箱梁凭借单箱单室、多室断面的结构可塑性与直、斜、曲线腹板的美学适应性,成为集疏运高架的核心解决方案。它既通过中空截面实现轻量化与管线集成功能,又借腹板形态创新达成力学性能与城市景观的深度协同。对于小跨径预应

力连续梁一般采用支架施工，对于大跨度预应力箱梁可以采用悬臂浇筑施工方案，截面示意详见图4。

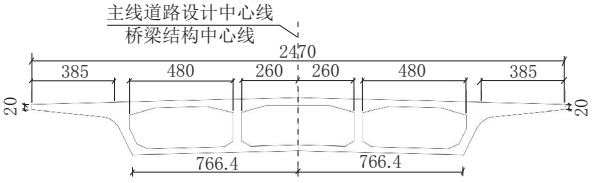


图4　现浇预应力混凝土大箱梁截面示意图（单位：cm）

（4）预制节段箱梁

预制节段箱梁施工采用工厂预制、现场拼装的模式，主要工作在预制场完成。现场拼装可根据需要选用逐跨架设或悬臂拼装两种方式，并使用架桥机、桥面吊机（提升架）或履带吊等设备进行节段吊装。对于宽桥，为减小吊装重量并便于节段运输，可将全宽横断面分幅布置。这样能显著降低节段运输长度与单次吊装重量，同时对架桥机等设备的要求也随之大幅降低，截面示意详见图5。

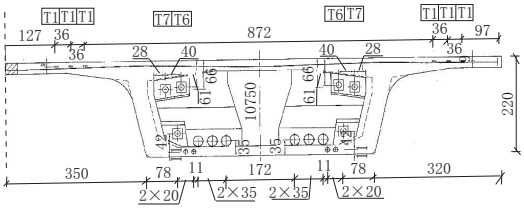


图5　预制节段箱梁截面示意图（单位：cm）

（5）钢混组合大箱梁

钢混组合大箱梁相对于混凝土大箱梁，减轻了结构自重，增加了跨越能力，并通过钢梁提供模板支撑，缩短工期的同时减少了对现场环境的影响，相对于钢结构而言，可以减少用钢量。组合箱梁桥的梁高设计需要同步考量结构受力特性与施工工法的适配性。对于设置跨中临时墩的连续体系，其等高度梁高跨比宜取1/20，截面示意详见图6。

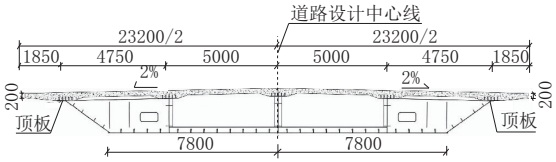


图6　钢混组合大箱梁截面示意图（单位：mm）

（6）钢结构大箱梁

钢结构大箱梁自重轻、跨越能力大，常用施工方法为工厂加工钢结构梁段，现场临时支墩吊装焊接，可上下部结构平行施工，加工制造在场外完成。钢结构大箱梁整体性能好、造型优美、视觉通透。跨度小于60 m时可采用等高梁，连续钢箱梁的高跨比在1/25左右[15]，截面示意详见图7。

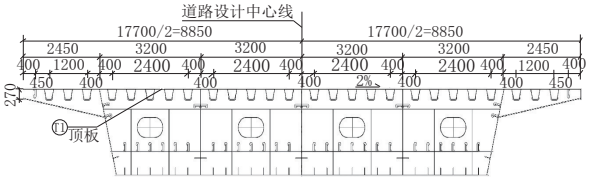


图7　钢结构大箱梁截面示意图（单位：mm）

本项目的集疏运高架定位于“最高标准、最好水平，全力打造新时代国际开放门户枢纽新标杆”。预制小箱梁适用跨径较小，易造成墩柱林立，T梁底部密布纵横梁，两者工程造价均较低，但外型缺陷不适应于站前高架的景观要求，故排除小箱梁和T梁。拟选用现浇混凝土、预制混凝土、钢结构、钢混结构4种型式的大箱梁结构进行方案比选。桥梁型式比较见表1。

表1　桥梁型式比较表

序号	结构型式	混凝土T梁	混凝土小箱梁	现浇混凝土大箱梁	预制混凝土大箱梁	钢混组合大箱梁	钢结构大箱梁
1	结构性能	一般	较好	好	较好	好	好
2	耐久性	好	好	好	较好	较好	较好
3	等高梁适用跨径/m	小于50	小于31	小于50	小于50	小于60	小于60
4	最小高度比	1/16	1/20	1/18	1/16	1/20	1/25
5	施工工艺	工厂预制	工厂预制	现场浇筑	工厂预制	工厂预制	工厂预制
6	施工速度	快	快	慢	快	较快	快
7	养护成本	较低	较低	较低	较低	一般	较高
8	景观效果	差	一般	好	好	较好	好
9	工程造价/(万元·m^{-2})	0.75	0.8	1	1.2	1.2	1.4
	方案比选	不推荐	不推荐	比选	比选	推荐	比选

3　上部结构型式方案比选

3.1　集疏运高架上部结构特点分析

集疏运高架桥梁上部选型受高架平面布置影响，其平面布置的特点有高墩多、小半径弯道多、结构剧烈变宽多，并存在南北环跨铁路关键节点和铁路站台接口关键节点。对高架平面布置特点进行梳理分类（见表2）。

3.2　上跨铁路节点桥结构选型分析

集疏运高架在跨越铁路节点时需要严格按照铁

表2　集疏运高架平面布置特点统计表

区段		面积占比	结构特性
异性段特殊段	小半径弯道桥	33%	半径50~85 m，弯剪扭耦合作用显著
	结构剧烈变宽段	20%	车道分合流，结构变宽剧烈
	铁路站台接口桥	20%	结构支反力受限
	南北环铁路节点桥	13%	控制节点，结构梁高受限
标准段		34%	跨径分布不一，9 m、12.5 m、16 m、20.5 m等

路部门的相关要求进行布置。

在平面布置上，桥墩的墩柱外边线与相邻沪通铁路轨道中心线的水平距离须确保不小于3.1 m，结合铁路线与高架的相对位置，桥梁跨径需要大于50 m才能满足此安全限界。此外，该节点南北环两侧均紧邻站东路和站前路路口，使得桥梁在跨越铁路后需要立即采用大跨径结构跨越路口，并且相接路段均为小半径弯道，半径范围在50~70 m，导致此处成为主线与匝道的分合流复杂区域。

在纵断面上，跨铁路段的轨顶标高为9.202 m，必须满足沪通铁路8 m的净空要求。同时，节点两侧布置有接地匝道，导致桥面标高进一步受限，要求桥梁结构本身的高度极低，其梁体最大净高（扣除铺装、横坡和沉降后）为2.2 m，含铺装、横坡和沉降后的结构总高度极限值为2.7 m。

该节点存在结构剧烈变宽、小半径曲线等诸多不利条件，经初步筛选，节段预制大箱梁方案因标准化程度低、梁高适应性差、纵断面调整困难，且存在造价高、施工合理性不足等问题，故判定为不适用。同时，钢-混组合梁方案在与连续钢箱梁方案的综合比选下优势不明显，因此予以排除。

故针对该节点，重点对支架现浇预应力混凝土连续大箱梁方案和连续钢箱梁方案进行比选。

（1）支架现浇预应力混凝土连续梁方案

北环主线采用41 m+29.5 m+46 m+44 m的1联预应力混凝土连续梁结构跨越铁路，南环主线采用47.5 m+30 m+44 m和35 m+35 m+50 m的2联预应力混凝土连续梁结构跨越铁路，预应力混凝土连续梁梁体结构标准高度为2.2 m（含铺装、横坡、沉降后总高为2.7 m），在净空允许区域可进行局部加高，在与相邻联交界墩位置设置预应力混凝土盖梁进行过度。节点桥平面布置详见图8。

选取受力较不利的联，对混凝土满堂支架现浇

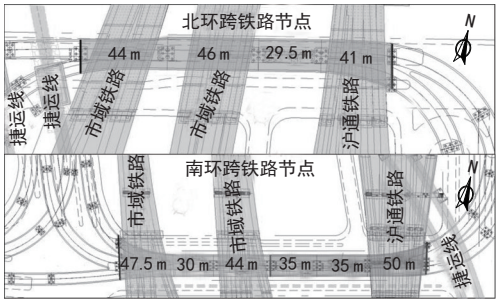


图8　跨铁路节点桥平面布置（混凝土梁方案）

方案进行有限元分析计算。计算表明：虽然梁高受限，边中跨比不合理，但通过合适的箱室布置，加密腹板布置，并适当提高混凝土强度等级（C55以上），在合理的预应力配束下，结构能满足A类预应力构件受力性能。

（2）连续钢箱梁方案

北环线、南环线主线高架在多处跨越新建及预留铁路线，各包含1处沪通铁路和2处市域铁路，同时各有一处跨越捷运线地下盾构结构。

北环主线采用34 m（26 m）+44 m+46 m和29.5 m+41 m+38.5 m（28 m）+44 m（30 m）的2联连续钢箱梁结构跨越铁路，南环主线采用30 m（32 m/35 m）+35.3 m（57.2 m/50 m）+47.5 m+30 m、44 m+35 m和35 m+50 m+46.2 m（54 m）+32 m（39.4 m）的3联连续钢箱梁结构跨越铁路，连续钢箱梁梁体结构净高度为2.2 m等高（含铺装、横坡、沉降后总高为2.7 m）。节点桥平面布置详见图9。

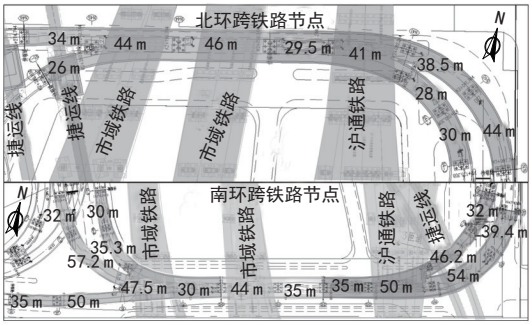


图9　跨铁路节点桥平面布置（钢箱梁方案）

连续钢箱梁方案将分合流点作为连续钢箱梁的中墩，中墩位置设置隐形大横梁，将两侧匝道和主线高架连为整体，受力方面通过主线和匝道的腹板沿纵桥向传力至隐形大横梁，转换为横梁横向受力，结构受力清晰合理，合理化解了复杂结构体系，同时景观效果好。

由于钢材各向同性且具有良好的延性，结构可靠度高，设计时可通过适当加厚钢板，控制钢结构应力，使得结构达到足够的安全富余。

钢结构全生命周期必须考虑养护情况，钢结构的养护检修作业等对铁路运营安排存在影响，且跨越铁路养护较为困难，必须采取特殊措施才能进行养护。

（3）比选结论

预应力混凝土箱梁方案，安全冗余度可控，造价更低，耐久性更好，对铁路运营影响小。

钢箱梁方案，结构性能好，钢结构可通过增加钢材厚度，较容易地提供安全冗余度。但是，钢结构造价高，且容易出现桥面疲劳问题，对钢梁铺装有较高要求，且钢结构的养护不可避免地会对铁路运营造成一定的影响。

考虑到便于养护的问题，跨铁路节点采用预应力混凝土箱梁方案。

3.3　铁路站台接口桥结构选型分析

本工程北环有4处、南环有3处与铁路站台相接，根据集疏运总体方案和铁路站房总体方案，并结合景观，桥梁接站台位置无法设置独立桥墩，站台需要设置牛腿，桥梁搭接于站台牛腿之上。

根据落客平台结构特点，桥梁应尽可能降低搭接荷载。结合相关工程，桥梁结构做如下布置：

（1）站房柱网间距为19 m，桥梁布墩与柱网对齐。桥梁采用0.5的小边中跨比降低荷载，即桥梁跨径布置为38 m+38 m+19 m或19 m+19 m等形式，19 m边跨与站房牛腿搭接。

（2）采用轻盈的钢结构方案以便降低荷载。

综上所述，铁路站台接口桥采用连续钢箱梁。

3.4　小半径弯道桥结构选型分析

本工程存在多处半径范围为50~85 m的小半径弯道，对其进行对比选分析：小箱梁结构因其平面适应半径大于150 m而被排除；预应力混凝土大箱梁在小半径工况下面外力显著，导致结构布置与受力困难、易开裂，且难以适应较大跨径要求，排除；组合梁结构在施工阶段存在开口截面失稳风险，如果增设防失稳措施，将削弱其经济性与施工便利性，相较钢箱梁并无优势。

由于连续钢箱梁为整体闭口箱形截面，具有优异的整体性、抗扭与抗弯强度，对小半径弯道的适应性良好。

综上所述，小半径弯道桥采用连续钢箱梁。

3.5　特殊的匝道分合流点结构选型分析

本工程在匝道分合流点位置均存在8~12 m的结构剧烈变宽情况，其分布见图10。

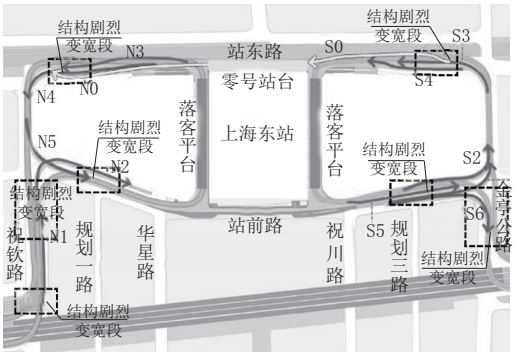


图10　匝道分合流点结构剧烈变宽分布图

根据结构剧烈变宽段的受力特点和平面布置，同时由于本工程结构剧烈变宽段都在匝道分合流点位置，且立柱无法放在匝道中心，故作如下考虑。

（1）预应力混凝土大箱梁结构在结构剧烈变宽位置，两侧边腹板存在较大面外力，受力稍差。

（2）组合梁结构受桥面板跨径限制，导致腹板较多，其经济性和施工便利性与钢箱梁相比无明显优势，受力和施工较钢箱梁复杂。

（3）连续钢箱梁采用整箱截面，整体性能好，且腹板间距适应性强，布置灵活，对结构剧烈变宽段适应性好。采用钢箱梁可将分合流点作为钢箱梁中墩，形成连续整体布置，无需盖梁，故结构剧烈变宽段采用连续钢箱梁型式。

综上所述，特殊的匝道分合流点采用连续钢箱梁型式。

3.6　标准段结构选型分析

在铁路站台接口、小半径弯道、结构剧烈变宽段等多种情况下，均是连续钢箱梁最为适合，合计占比约54%；跨铁路节点（占比13%）考虑养护因素，推荐采用预应力混凝土大箱梁。对其余33%的标准段结构选型进行如下分析：

（1）连续钢箱梁+整箱组合梁（门架上下层）+现浇大箱梁

根据总体方案，站东路存在上下叠层的情况，门架位置的上层主线（双层梁，标高为19.2~20.25 m）若采用现浇大箱梁，支架位置高，且必须在上层梁体现浇完毕并达到设计强度后，方可拆除支架浇筑下层梁体，考虑施工风险、可行性和施工速度，对于叠层的上层采用整箱组合梁方案。叠层门架由于荷载较大，对抗震性能较为不利，下层同步采用组合结构可减轻恒载，同时施工中上下均为组合梁结构，可最大化利用吊机，上下安装工艺类似，施工速度快，故推荐采用上下均采用组合梁方案，其余位置采用现浇

大箱梁方案。

(2)连续钢箱梁+整箱组合梁(门架上层)+现浇大箱梁

考虑尽可能增加现浇混凝土用量,从而降低造价,故在方案一的基础上把门架下层改为现浇混凝土梁。

(3)连续钢箱梁+整箱组合梁+预制大箱梁

考虑到现浇大箱梁预制装配率稍低,故提出采用预制大箱梁方案。同时,为了保持方案的多样性和合理性,跨铁路位置考虑比选采用钢箱梁方案,金亭公路老桥位置考虑采用组合梁方案。对于预制大箱梁而言,考虑其结构存在变宽或平面线形为曲线的位置,施工可行性较差,同时预制模板增加较多,将导致造价大幅增加,与组合梁相比无优势,故仅考虑用于结构等宽、平面线形为直线或大半径曲线的位置,结构变宽、平面线形为曲线的位置采用组合梁型式。

(4)连续钢箱梁+小箱梁+分箱组合梁

根据总体方案,站东路位置主线及匝道上下叠层布置,且东侧紧贴围场河,西侧与站房柱网紧贴。集疏运高架和站房的柱网结构距离最近处仅约 10 m,同时桥面标高较高,主线标高约 19.2~20.2 m,桥下形成通透的视觉空间。

考虑景观效果,站房柱网间距为 19 m,桥梁墩柱设计应与柱网对齐,标准跨径 38 m,与站台接口区域的边跨为 19 m。

对于小箱梁结构:高架桥常规应用小箱梁最大跨径 31 m,单片最大重量约 145 t,边梁防撞栏杆整体预制后最大重量约 185 t;梁长短,运输吊装方便可行。

对于跨径 38 m 的结构:当采用预应力混凝土小箱梁时,单片最大重量约 178 t,边梁防撞栏杆整体预制后最大重量达 230 t;梁体过长,长距离运输难度极高;梁高高,影响净空,视觉上感觉笨重,景观效果很差。

表 3 为标准段结构方案对比表。

结合经济性、预制装配率等因素,通过综合分析比选,标准段结构采用结构方案一:连续钢箱梁+整箱组合梁(门架上下层)+现浇大箱梁方案。

表 3　标准段结构方案对比表

对比方案	截面型式	适用区域	综合分析
结构方案一(大箱梁)	钢箱梁	铁路站台接口、小半径弯道、结构剧烈变宽段等	虽预制装配率较低,但经济性较好,景观效果好
	整箱组合梁	站东路门架上层和下层	
	现浇大箱梁	跨铁路位置、其余位置	
结构方案二(大箱梁)	钢箱梁	铁路站台接口、小半径弯道、结构剧烈变宽段等	经济性好,景观效果好,预制装配率低;双层门架位置荷载大,尤其对抗震性能不利
	整箱组合梁	站东路门架上层	
	现浇大箱梁	跨铁路位置、其余位置	
结构方案三(大箱梁)	钢箱梁	跨铁路、铁路站台接口、小半径弯道、结构剧烈变宽段等	预制装配率高,景观效果好;标准段规模较小,桥梁品种多,位置分散,功效较低,经济性稍差
	整箱组合梁	曲线半径大、变宽幅度小的区段	
	现浇大箱梁	等宽直线区段	
结构方案四(小箱梁)	钢箱梁	跨铁路、铁路站台接口、小半径弯道、结构剧烈变宽段等	经济性好,预制装配率高,施工快速便捷,景观效果差
	分箱组合梁	站东路 38 m 跨径段	
	混凝土小箱梁	其余区段	

4　集疏运高架结构方案

针对上海东站综合交通枢纽集疏运系统不同区域的难、特点,总结出最合理的结构方案。

对于上跨铁路段,选用安全冗余度可控、造价更低、耐久性更好、对铁路运营影响小的预应力混凝土箱梁。

对于铁路站台接口、小半径弯道、结构剧烈变宽段等特殊部位,选用具有优异的整体性、抗扭与抗弯强度的连续钢箱梁,技术合理、经济可靠。

在上下叠层的门架位置采用整箱组合梁(工厂预制、现场吊装),能大幅减少高空作业风险,并实现上下层同步施工,提升效率,极大缩短工期,同时能够减轻恒载,降低地震作用力,提升结构安全储备。

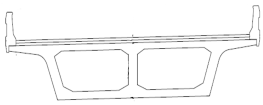
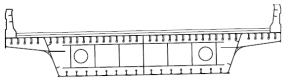
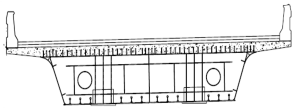
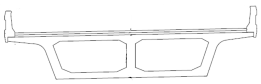
在空间充裕、无特殊限制的常规路段,选择技术成熟、造价经济的现浇大箱梁方案。这种“好钢用在刀刃上”的策略,实现了整体造价的最优控制。

集疏运高架系统结构型式汇总见表 4。

5　结　语

对东方枢纽上海东站综合交通枢纽集疏运高架结构方案众多外部限制因素的特点以及上跨铁路节点、铁路站台接口桥、小半径弯道桥、特殊的匝道分

表4　集疏运高架系统结构型式汇总表

序号	部位	结构型式	代表截面
1	上跨铁路段	预应力混凝土梁	
2	铁路站台接口、小半径弯道、结构剧烈变宽段	连续钢箱梁	
3	站东路双层门架	整箱组合梁	
4	常规路段	现浇大箱梁方案	

合流点、标准段等关键节点进行了分析，始终遵循安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、与环境协调的原则制定选型策略，打造互联互通、便捷安全、高度融合的新时代国际开放门户枢纽新标杆，为后续“站城一体化”集疏运系统提供借鉴。

参考文献：

[1] 张甫田.城市道路互通立交优化设计研究[J].交通世界，2019(17)：62-63.

[2] 李春蕾，方健，殷炜.基于站城融合理念的上海东站综合交通枢纽设计策略[J].铁路技术创新，2024(3)：126-133.

[3] 王志龙.综合枢纽道路集疏运模式研究——以广州南站为例[J].交通与运输(学术版)，2018(1)：161-163.

[4] 毛子珍，张伟.复杂交通流环境下的道路立交功能选择——深圳宝安国际机场南立交群规划实践[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会.2017年中国城市交通规划年会论文集.北京：中国建筑工业出版社，2017：10.

[5] 黄亮.浅谈城市快速路立交节点改造——以北城枢纽为例[J].黑龙江交通科技，2019，42(11)：9-11.

[6] 宋宇衡.城市快速路与高速公路十字形互通方案研究——以S39机场路互通改造方案为例[J].城市道桥与防洪，2019(10)：15-18.

[7] 刘树文.多路互通式立交选型与布设研究[J].智能城市，2020，6(2)：139-140.

[8] 王爱华.铁路南京南站综合枢纽快速环线工程道路设计概述[J].城市道桥与防洪，2011(5)：5-7.

[9] 王作杰.高铁枢纽集疏运系统规划设计应对策略[J].城市道桥与防洪，2018(8)：1-3.

[10] 易军伟.高铁站站前区域交通组织研究——以泉州南站为例[J].城市道桥与防洪，2020(7)：35-39.

[11] 赵建新，顾民.南京南站综合枢纽道路集疏运系统规划设计[J].城市道桥与防洪，2009(12)：11-21.

[12] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司.东方枢纽上海东站集疏运道路新建工程可行性研究报告[R].上海：上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司，2023.

[13] 蔺晓东，刘本正.桥梁节段预制拼装应用与研究[J].技术与市场，2018，25(5)：106-107.

[14] 邵旭东.桥梁工程[M].武汉：武汉理工大学出版社，2002：127-130.

[15] 邹正其.中小跨径钢、钢混梁桥设计选型[J].公路，2019，64(12)：122-126.

(上接第190页)

[7] 张振东.BIM技术在公路路线视距设计和工程管理中的应用研究[D].南宁：广西大学，2024.

[8] 周游，陈键丰，范宇丰，等.BIM技术在市政立交设计阶段的应用研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版)，2019，38(7)：60-65.

[9] 孙祺，段丹军，孔繁盛，等.基于BIM的高速公路有效视距影响因素分析[J].市政技术，2022(2)：20-24.

[10] 林琴，秦宜，高新源，等.中山杉及在徐州市绿色通道工程中的应用[J].现代园艺，2010(4)：11.

[11] 王春晓，杨佩骏.高速公路“三改工程”设计要点与建议分析[J].新城建科技，2024(3)：26-28.

[12] 戴宗松.基于倾斜摄影和BIM技术的高速公路施工监测研究[D].桂林:桂林理工大学，2023.

[13] 胡少翔.无人机测量技术在征地移民实物调查中的应用[J].科学与信息化，2023(18)：47-49.

[14] 李爽，刘苇，章啸程，等.BIM+GIS服务集成可视化框架设计与开发[J].城市建设理论研究(电子版)，2024(2)：92-94.

[15] 尹宝川.基于BIM技术的道路桥梁工程设计与施工管理[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术，2024(3)：000.

[16] 彭阳，余芳强，宋天任.CAD图纸与BIM一致性的全自动审核方法[J].土木工程与管理学报，2022(2)：108-112；119.