DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260488

吴淞江工程G1503高速公路桥总体设计

曹程远
[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘　要： 吴淞江工程G1503高速公路桥改扩建后桥梁全长705.5 m,由主桥、保留利用段引桥和新建段引桥组成。主桥采用104 m跨正交异性组合桥面板钢桁梁桥,桥面全宽37.2 m,分幅布置,单幅桥宽18.2 m。主桁为拱形桁架,桁式采用N形桁,跨中桁高10 m,不设上平联。上下弦杆均采用矩形断面,腹杆为工字形断面。桥面采用正交异性组合桥面板,标准横梁间距4 m,通过横梁低置以降低建筑高度。保留利用段引桥断柱顶升至设计高度后,墩柱外包碳纤维布以提高抗震延性、承载能力和抗裂性能,主桥附近引桥通过换梁适应平面线形变化。新建段引桥采用预应力混凝土刚接空心板梁结构。主桥拆除重建、部分引桥顶升利用,既满足了行洪和通航要求,又控制了桥梁规模,提高了施工效率,具备较好的经济性。

关键词： 改扩建;组合钢桁梁桥;拱形桁架;断柱顶升;换梁;桥梁设计
中图分类号： U442;TU997　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1009-7716(2026)11-0160-06

Overall Design of G1503 Expressway Bridge for Wusong River Project

CAO Chengyuan
[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The G1503 Expressway Bridge of the Wusong River Project has a total length of 705.5 m after reconstruction and expansion, which is composed of the main bridge, retained and utilized approach bridge and newly-built approach bridge. The main bridge is a 104 m-span steel truss girder bridge with orthotropic composite bridge deck. The total deck width is 37.2 m, separated arranged, and the width of a single-separated bridge deck is 18.2 m. The main truss is arched truss and N-type layout. The mid-span truss height is 10 m without top lateral bracing. The upper and lower chord members are designed with rectangular sections, and the web members are in I-shaped sections. The bridge deck is orthotropic composite deck slab, and the standard beam spacing is 4 m. The structural height is effectively reduced by a low layout of beams. After the pier cutting and jacking of the approach bridge in the retained utilization section is raised to the designed height, the piers are wrapped with carbon fiber cloth to enhance their seismic ductility, load-bearing capacity and crack resistance. The approach bridges near the main bridge adapt to the changes in planar alignment by replacing beams. The newly-built approach bridge adopts prestressed concrete rigid-connected hollow slab girder structure. The demolition and reconstruction of the main bridge and the jacking and utilization of some approach bridges not only meet the requirements of flood discharge and navigation, but also control the scale of the bridge, improve the construction efficiency, and have good economic performance.

Keywords: reconstruction and extension; composite steel truss bridge; arched truss; pier cutting and jacking; beam replacement; bridge design

0　工程概况

吴淞江工程(上海段)练祁河—蕰藻浜段是吴淞江工程的有机组成部分,工程范围南起蕰藻浜,向北至练祁河,连接已开工建设的罗蕰河,河道整体呈南北向布置,总长10.13 km。规划河岸沿线多为企业、村宅、农用地等,支河密布,地势总体较平坦。规划河道等级为Ⅲ级,河口宽96 m,设计最高通航水位3.800 m,设计最低通航水位2.000 m,通航净高7 m,通航净宽76 m,为矩形通航孔。河道按规划河宽疏拓,主要建设内容包括工程范围内河道疏拓工程(含护岸及防汛道路、支河桥梁工程)及跨河桥梁工程等,其中跨河桥梁工程需建设桥梁5座(4座车行桥,1座人非桥),监测保护桥梁1座(S6公路罗蕰河桥),如图1所示。

G1503高速公路桥位于上海绕城高速北段,联系嘉定和宝山两区,是上海市北部地区的一条重要的

收稿日期：2025-05-01
作者简介：曹程远(1993—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

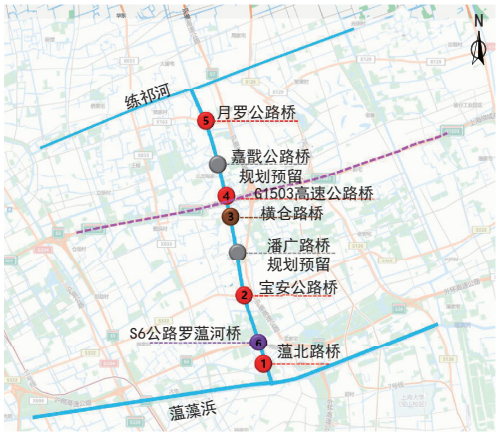


图 1　跨河桥梁总体布局图

东西向交通干道，为高速公路网的重要组成部分，承担大量客货运交通，主要服务于长距离过境交通，红线宽度 60 m，现状及规划均为双向 6 车道。距上游横仓路（人非桥）约 450 m，距规划预留的潘广路约 2 250 m，距下游规划预留的嘉戬公路约 1 230 m。现状桥位处无河，桥梁全长 475 m，主桥为 30 m+45 m+30 m 预应力混凝土简支 T 梁，引桥为预应力混凝土铰接空心板梁。桥宽 34 m，主墩承台净距 41.6 m，梁底标高 8.62 m。河道工程实施后，主桥不满足行洪和通航要求，需拆除重建，考虑到节约投资、经济环保，部分引桥保留利用。

改扩建后，G1503 高速公路桥西起现状陈宝路，沿规划走向向东，上跨罗蕴河、杨泾后落地，与现状道路接顺。桥梁全长 705.5 m，由主桥、保留利用段引桥和新建段引桥组成，按现状双向 6 车道规模一次性建成，如图 2 所示。

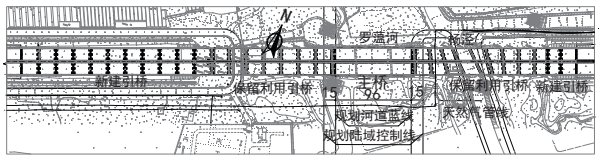


图 2　G1503 高速公路桥平面布置

G1503 高速公路桥桥址位于上海嘉定区与宝山区交界处，年平均气温 15.7 ℃，极端最高气温 40.2 ℃，极端最低气温−12.1 ℃。根据勘察揭露的地层，拟建场地 105 m 深度范围内为第四纪全新世 Q_4—中更新世 Q_2 沉积层，主要由填土、淤泥质土、黏性土、粉性土、粉砂组成。不存在滑移、震陷等不良地质作用，属稳定场地，适宜工程建设。

1　主要技术标准

（1）道路等级：高速公路。

（2）设计速度：100 km/h。

（3）车道布置：双向 6 车道。

（4）桥梁横坡：分幅布置，均采用单向 2% 横坡。

（5）桥梁荷载等级：公路−Ⅰ级。

（6）桥梁设计安全等级：一级，结构重要性系数 1.1。

（7）设计洪水频率：1/300；片区最高控制水位：3.870 m。

（8）通航：规划Ⅲ级航道，通航净宽≥76 m，通航净高≥7 m；最高通航水位：3.800 m。

（9）地震：地震基本烈度为Ⅶ度，地震动峰值加速度 0.10g；抗震设防类别为 B 类，抗震措施等级为三级。

（10）环境类别：钢结构腐蚀环境为 JC4；

混凝土桥面板为Ⅵ类，盖梁、立柱、桩基为Ⅰ类。

（11）风速：地表类别：B 类；基本风速（百年一遇）：32.8 m/s（规范值）；行车风速 25 m/s。

2　总体设计

2.1　平面设计

G1503 高速公路桥依照规划道路中心线进行平面布设，全线为直线段。主桥和引桥桥宽不同，两者之间设置 1∶100 渐变段过渡。

2.2　纵断面设计

本工程主要控制因素如下：

（1）罗蕴河通航标准：梁底控制标高≥ 10.8 m；

（2）杨泾梁底控制标高≥4.8 m；

（3）防汛通道通行净空：桥下通行净空≥4.5 m。

依照上述控制条件，主线纵断面最小纵坡 0.1%，坡长 177.844 m，最大纵坡 2.5%，坡长 450 m。

2.3　跨径布置

主桥跨径需满足通航净宽要求，可选的方案主要有：一跨过河（承台驳岸共建）、水中设墩（高桩承台）和水中设墩（低桩承台）。水中设墩两种方案均可减小主跨约 15 m，但施工、防汛、船撞的风险都更高。水中设墩（高桩承台）方案阻水率大，需对防汛墙进行特殊设计以补充过水断面。水中设墩（低桩承台）方案虽无需补充过水断面，但基坑开挖深度近 11 m，深基坑造价显著增加；且船舶可从正面、侧面直接撞击立柱，需加设独立防撞墩，导致工程造价较高。综合考虑安全性、经济性和适用性，主桥采用一跨过河（承台驳岸共建）方案，主跨跨径确定为 104 m。

保留利用段引桥维持现状跨径不变，西侧新建

段引桥主要考虑现状道路通行和上部结构适用性，合理布跨，采用标准跨径22 m；东侧引桥为避开老桥桩基，尽快落地并避免桥梁进入S7预留匝道范围，采用16.6 m和20 m两种跨径。

2.4　横断面布置

G1503高速公路桥规划红线宽60.0 m，桥梁两侧无需设置辅道。桥梁分幅布置，双向6车道。主桥全宽37.2 m，单幅桥宽18.2 m，设0.8 m宽分隔带。引桥桥面全宽34 m，单幅桥宽16 m，分隔带宽2 m。

3　结构设计

3.1　主桥

3.1.1　桥型方案的选择

适用104 m跨径的有较多桥型，连续梁、拱桥、桁架桥都可供选择[1-2]。桥型的选择是桥梁设计的关键，确定合适的上部结构体系和主梁结构形式，使结构受力合理，适用、安全，并达到经济节约的效果。

G1503高速公路桥为上海市郊环线，现状交通量较大，为维持现状道路规模，采用分幅断面，翻交施工，为工期控制性桥位。线路东侧顺接S7预留匝道，桥梁总长较短，梁高受限，不宜选择连续梁桥型。系杆拱桥与桁架梁桥均能满足主桥梁高需求，相比系杆拱桥，桁架梁桥施工工序相对简单，施工周期短，结构刚度大[3-5]，且桥址现状可提供有利的桁架安装施工条件。另外，桁架梁桥在60 m以上跨径具有较好的经济性[6]。尽管景观效果上并无优势，但可以通过优化桁架造型进行弥补，因此G1503高速公路桥主桥采用桁架梁桥方案。

3.1.2　结构设计

主桥采用104 m跨正交异性组合桥面板钢桁梁桥，结构简支。桥面全宽37.2 m，分幅布置，单幅桥宽18.2 m，设0.8 m宽分隔带。主桥总体布置图如图3所示。

主桁由2片桁架组成，上弦杆线形为R=142.359 m的圆弧。钢桁梁桁式主要有华伦桁、三角桁（又称纯华伦桁）及N形桁（又称普拉特桁）[6-9]，区别主要在于腹杆的布置，对比3种桁架形式，N形桁腹杆向两侧展开，结构舒展、造型简洁、景观效果更佳。因此，本桥桁式采用N形桁。主桁跨中桁高10 m，2片桁架中心距17.1 m，根据整体稳定计算结果，最小稳定安全系数为7.071，失稳模态为面外失稳，如图4所示，故取消了上平联，行车视野开阔[10]。单片桁架包括上弦杆、下弦杆和腹杆。对于节段之间连接，综合考

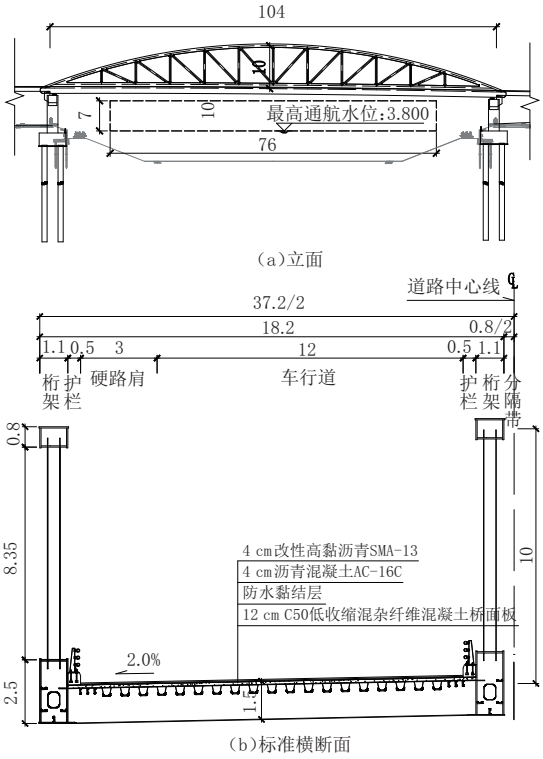


图3　主桥总体布置图（单位：m）

虑设计、加工及施工等各方面因素，本次设计采用焊接方案。

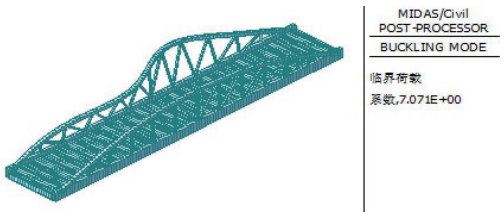


图4　主桥第1阶失稳模态

上弦杆采用矩形断面，宽度为1 100 mm，高度为800 mm，板厚为45 mm，依托国内外现行设计规范，并辅以有限元稳定分析，桁架上弦杆各受压板件无需设置纵向加劲，便可满足局部稳定控制标准，既精简了杆件结构形式，又大幅降低构件加工制作难度[11]；下弦杆采用带肋矩形断面，宽1 100 mm，高度为2 500 mm，板厚为16、28、45 mm，顶板2道纵向加劲与腹杆翼缘对齐，兼做节点加劲，内腹板与钢桥面对齐处设置1道纵向加劲以增强内腹板面外刚度，其余纵向加劲按构造需要设置；腹杆为工字形断面，高500 mm，翼缘宽400 mm，板厚20、32 mm。主桁钢结构材质采用Q345qD，根据受力需要，上弦杆底板、下弦杆顶板和内腹板采用Z25钢板。主桁各杆件标准断面如图5所示。

由于上下弦均为矩形截面且等宽，上下弦节点设计为依靠腹板（节点板）来传力的整体式节点[12]，如图6所示。这种构造传力路径清晰可靠。下弦腹

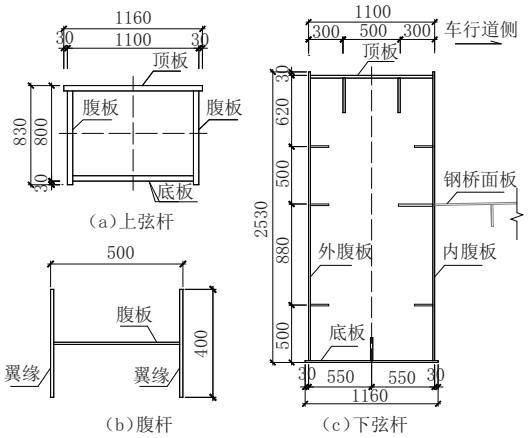


图5　主桁杆件构造图(单位：mm)

板因与上弦腹板共板，加厚到45 mm以与上弦腹板一致，顶板加厚到45 mm，底板加厚到32 mm。下弦顶板伸入节点板长度根据计算确定，在满足传力需求后断开，避免与支点横隔板交汇形成狭小空间而难以加工。另外，考虑到景观效果，端部采用倒圆弧设计，封板厚度采用8 mm，以便制作。

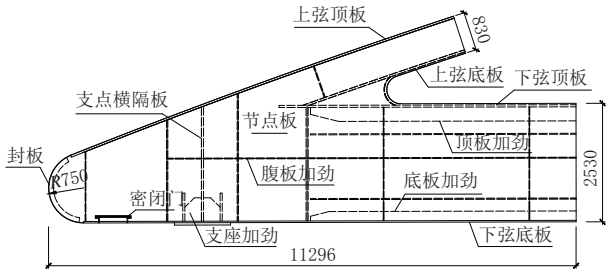


图6　上下弦节点构造图(单位：mm)

桥面采用正交异性组合桥面板，混凝土桥面板厚120 mm，钢桥面板厚16 mm，下设U肋和板肋。桥面系横梁标准间距4 m，每个节点和节间正中各设一道横梁，采用倒“T”形，梁高1 380 mm，翼缘宽500 mm，厚16～24 mm，腹板厚16 mm。通过横梁低置，有效降低了建筑高度，减小了引桥规模，节约工程投资[13]。

主墩采用V形桥墩，如图7所示。桥墩采用矩形断面，墩底断面尺寸为3.5 m(横)×2.5 m(顺)，墩顶尺寸为1.6 m(横)×2.5 m(顺)，墩柱高8.9 m，墩顶中心距17.1 m，墩身采用C40混凝土。横梁采用预应力混凝土结构，矩形断面带牛腿，横梁跨中高1.7 m，牛腿宽0.9 m，高2.25 m，盖梁长18.7 m，采用C50混凝土。

主墩承台为钢筋混凝土结构，采用矩形承台，承台顶埋深约1.0 m，厚度3.0 m，垫层厚度0.15 m。承台平面尺寸约6.25 m(顺)×16.6 m(横)。承台混凝土强度等级为C35，垫层混凝土强度等级为C20。承台

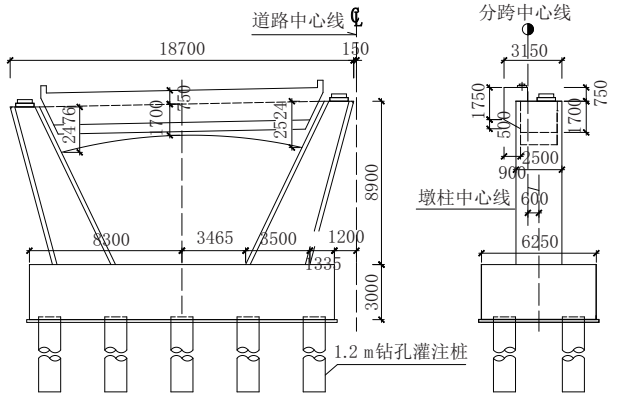


图7　主墩构造图(单位：mm)

混凝土属大体积混凝土，施工时采取预埋冷却管等散热措施确保浇筑混凝土的质量。

主墩基础采用10根ϕ1.2 m钻孔灌注桩，桩长72 m，桩基均为摩擦桩，持力层为⑨$_{12}$灰色粉细砂。钻孔灌注桩材料采用C30水下混凝土。

3.1.3　景观设计

吴淞江工程(上海段)练祁河—蕰藻浜段跨河桥梁设计从系列化考虑“五桥五景”，与保留桥梁共同组成起伏有序、融于自然的桥梁群组[14-15]。G1503高速公路桥取意惊蛰，风驰电掣、其影绰绰，突显高效快捷的路网特色。本桥与南侧横仓路桥相距仅约450 m，考虑视觉形式上相呼应，采用了类似的结构，在结构上同样遵循通透性与简洁性，上下弦截面高度差异明显，具备较强的视觉冲击效果，端部采用倒圆弧设计，使桥梁更加精致大方。主桥效果图如图8所示。



图8　主桥效果图

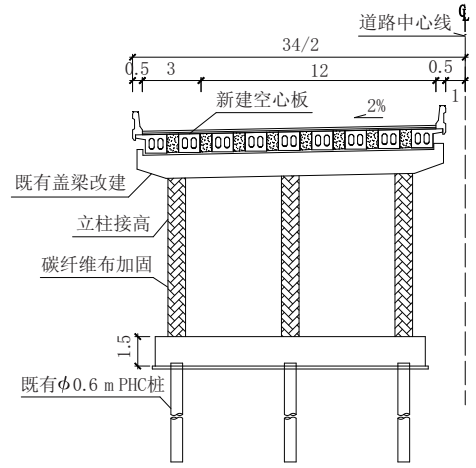
3.2　引桥

老桥主桥西侧6跨引桥和东侧7跨引桥保留利用，其余引桥拆除新建。引桥分两幅设置，桥面全宽34 m，单幅桥宽16 m，分隔带宽2 m。

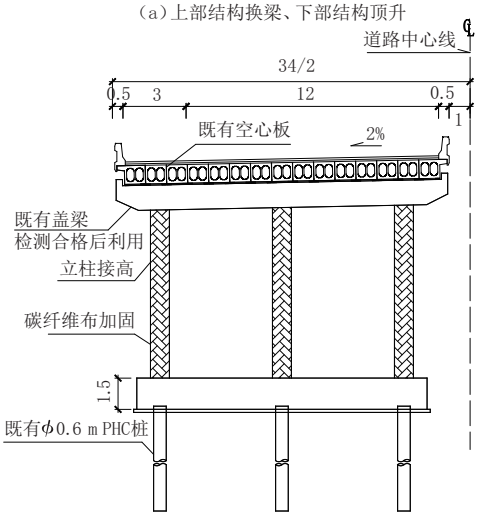
3.2.1　保留利用段引桥

由于新建主桥中央分隔带和桁架总宽比现状中央分隔带宽1 m，为保证线形平顺，老桥主桥两侧各3跨引桥上部结构由现状铰接空心板更换为刚接空心板，现状盖梁横桥向通过植筋现浇混凝土进行加宽改建，如图9(a)所示；其余铰接空心板和盖梁进行

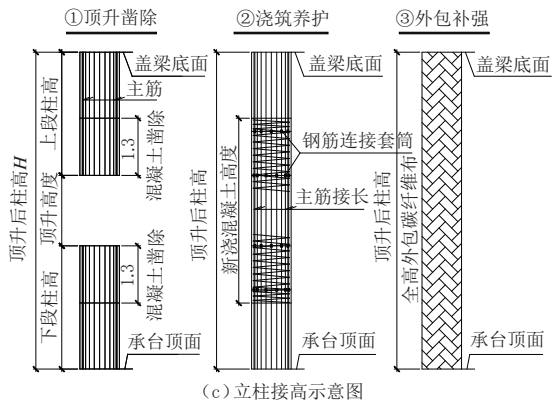
维修并检测合格后保留利用，如图9(b)所示。桥梁采用断柱法整体同步顶升0.741～3.871 m，断柱位置选择在墩柱中间，待到达设计标高后，接长墩柱钢筋，浇筑混凝土并养生至设计强度。引桥抗震按照延性设计，墩柱全高范围外包碳纤维布以提高塑性铰区域抗震延性，同时可提高新旧混凝土接缝处承载力及抗裂性能，碳纤维布外侧通过涂装提升景观效果，如图9(c)所示。



(a)上部结构换梁、下部结构顶升



(b)上下部结构整体顶升



(c)立柱接高示意图

9　保留利用引桥构造图(单位：m)

3.2　2新建段引桥

为满足标准化、工业化、装配化、绿色化的要求，新建引桥主要采用预制拼装结构。传统铰接空心板梁病害较多，影响桥梁的运营安全和结构寿命[16-17]。上海市城乡建设和交通委员会已明确发文限制预制装配式铰接空心板结构在高等级公路和城市道路上的使用[18]。另外，考虑到新建引桥梁高与既有老桥梁高不宜差异太大，故上部结构采用预制预应力混凝土刚接空心板梁结构。下部结构造型与保留利用引桥基本保持一致，采用预制盖梁+预制三柱式桥墩，承台采用现浇结构，桩基采用ϕ0.85 m钻孔灌注桩。

4　施工方案

G1503高速公路桥位于上海绕城高速北段，承担大量客货运交通，施工期间需维持现状交通，为减少对现状交通的影响并减小交通便道规模，桥梁采用分幅施工。同时，考虑到G1503公路桥现状流量较大，施工时在老桥两侧搭设便桥，利用半幅老桥及便桥布置双向4车道，然后进行翻交施工。桩基、承台、墩身施工时设置钢板桩支护，确保另一幅桥能满足正常运行。

主桥钢结构采用少支架法拼装。钢桁架和钢桥面板均在工厂内加工，加工前应按全桥进行1∶1精确放样，钢构件在工厂内进行预拼装，预拼装节段数不少于3段，确保接口误差、建筑线形和中心轴线符合要求。在工厂加工钢结构的同时，现场施工临时支架，并对支架进行预压以消除非弹性变形。钢结构运输至现场后，吊装至支架上进行拼装。待钢结构组拼完成后拆除支架，然后绑扎钢筋并按照先跨中、后梁端的顺序现浇混凝土桥面板，养生至设计强度后，开展桥梁附属结构施工。

保留利用段空心板梁采用断柱顶升法整体同步提升，施工过程中在主梁两侧加装纵横向限位装置，防止顶升过程中梁体偏移。梁体到达设计高程后接长墩柱并外包碳纤维布，以提高墩柱抗震延性、承载能力和抗裂性能。

新建段引桥积极推广应用标准化、工业化、装配化、绿色化施工模式，按照尽量减少现场混凝土现浇施工的原则，引桥上部结构空心板以及下部结构的立柱和标准盖梁均为预制拼装构件。桩基施工完成后，采用现浇的方法施工钢筋混凝土承台，在基础施工的同时，立柱、盖梁、小箱梁等预制构件在工厂集中生产。采用吊装施工方法将立柱、盖梁、空心板梁等预制构件逐步就位。

单幅桥施工总工期16个月，全桥施工总工期32个月。

5　结　语

G1503高速公路桥位于上海绕城高速北段，联系嘉定和宝山两区，桥梁全长705.5 m。主桥拆除重建、部分引桥顶升利用，既满足了行洪和通航要求，又控制了桥梁规模，具备较好的经济性。全线包含拱形桁架、刚接空心板、铰接空心板等多种结构形式。主桥为104 m跨正交异性组合桥面板钢桁梁桥，结构受力体系明确，上弦不设平联，正面行车视野好，上下弦截面高度差异明显，具备较强的视觉冲击效果，桥面系采用横梁低置方案，显著降低建筑高度，以降低工程规模，节约投资。部分引桥采用断柱法顶升，墩柱接长后采用碳纤维布加固，以提高抗震延性、承载能力和抗裂性能，具有较好的受力性能和经济性。新建段引桥采用预制拼装结构，工业化程度高、施工速度快。上部结构采用刚接空心板，解决了传统小铰缝空心板铰缝连接可靠性较差的缺点，提升了结构的整体性，同时具备较好的行车条件和耐久性。

参考文献：

[1] 岳申舟.吴淞江工程（罗蕴河北段）跨河桥梁方案研究[J].城市道桥与防洪，2026(3)：200-205.

[2] 潘路杰.城市双层钢混组合桁架梁桥总体设计与关键节点分析[J].中国市政工程，2021(3)：21-25；118-119.

[3] 吴冲.现代钢桥[M].北京：人民交通出版社，2006.

[4] 肖文.钢桁架桥梁结构设计分析[J].交通世界，2020(34)：108-109.

[5] 蒋义.90 m钢桁架桥设计计算要点[J].福建交通科技，2017(2)：47-51.

[6] 邵长宇.梁式组合结构桥梁[M].北京：中国建筑工业出版社，2015.

[7] 侯满，王茂强.毕都北盘江大桥钢桁梁设计关键技术[J].世界桥梁，2018，46(3)：1-6.

[8] 赖亚平，张智勇，邓宇.重庆红岩村嘉陵江大桥景观设计[J].世界桥梁，2018，46(5)：21-26.

[9] 李永庆，樊冰冰，冯云成，等.贵黄高速阳宝山大桥超宽钢桁梁设计[J].世界桥梁，2021，49(6)：1-7.

[10] 张强，李京，马晓刚，等.开敞式钢桁梁桥的设计[J].城市道桥与防洪，2019(8)：54-56；87.

[11] 张德明，陈亮，张朝阳，等.泉州金鲤大桥总体设计[J].世界桥梁，2025，53(2)：8-14.

[12] 葛耀军，苏庆田.钢桥[M].北京：人民交通出版社股份有限公司，2014.

[13] 鲍宇文.开敞式钢桁梁桥在桥梁改扩建工程中的应用[J].四川建筑，2020，40(3)：271-273.

[14] 张澎涛.城市河道桥型系列规划方法研究[D].同济大学，2006.

[15] 张澎涛，范立础.城市河道桥型系列规划方法研究[J].同济大学学报(自然科学版)，2007(12)：1607-1611.

[16] 黄巍峰.新型刚接空心板桥梁应用与技术指标分析[J].城市道桥与防洪，2016(5)：227-229；238.

[17] 秦怀荣，徐平安.装配式板桥单板病害原因分析及对策[J].工程与建设，2007(1)：21-22；25.

[18] 上海市城乡建设和交通委员会.上海市城市道路和公路设计指导意见(试行)[Z].上海：上海市城乡建设和交通委员会，2009.

（上接第114页）

南京：东南大学，2022.

[12] 上海市城乡建设和交通发展研究院.超大城市快速路多源数据融合应用技术导则 [R].上海：上海市城乡建设和交通发展研究院，2023.

[13] 朱兴林，吴隽朝，刘泓君，等.多源数据融合的城市道路换道风险识别研究[J].重庆理工大学学报(自然科学版)，2025，39(12)：245-254.

[14] Highway England. M25 Controlled Motorway Summary Report[R]. London: Department for Transport. 2022.

[15] 北京交通发展研究院.北京快速路匝道控制系统后评估报告[R].北京：北京交通发展研究院，2023.

[16] 吴德华，张生瑞，徐文娟.城市快速路可变限速与匝道信号协同控制策略[J].公路，2022，67(8)：186-193.

[17] Gu C Y, Li M, Wu H. Coordinating ramp metering and variable speed limits: A cell transmission model approach with MPC optimization [J].IEEE Access, 2026, 14: 34125-34138.

[18] 杨雪驰.基于分布式模型预测控制的城市快速路多匝道协同控制[J].建模与仿真，2023,12(4)：3550-3563.

[19] 顾川野，张颖.恶劣气象下快速路拥堵－二次事故耦合风险Copula建模[J].公路交通科技，2024，41(8)：132-140.

[20] Zhang L, Wang Y, Liu H. Traffic cascading risk prediction of urban expressway based on Copula function [J]. IET Intelligent Transport Systems, 2021, 15 (9): 1182-1191.

[21] Cai X Y, Lei C L, Peng B, et al. Road traffic safety risk estimation based on driving behavior and information entropy [J]. China Journal of Highway and Transport, 2020, 33 (6): 190-201.

[22] Qu Q,Shen Y,Yang M,et al.Towards efficient traffic crash detection based on macro and micro data fusion on expressways:A digital twin framework [J].IET Intelligent Transport Systems,2024,18 (11):2725-2743.