

济南齐鲁黄河大桥总体方案研究

王伟

(济南城市建设集团有限公司, 山东 济南 250131)

摘要: 齐鲁黄河大桥是济南北跨携河发展的“三桥一隧”战略通道之一,直接联系南岸组团与北岸桑梓店地区中心,项目建设对济南市实现北跨发展建设黄河新区、建设新旧动能转换先行区有重要意义。基于桥位建设条件和限制因素,综合考虑技术条件、工程造价、环境影响等因素,对齐鲁黄河大桥路线方案、公轨合建模式、跨黄河大桥方案进行比选与设计,相关经验和结论可供相关工程参考。

关键词: 总体方案;跨黄河大桥;路线比选;公轨合建;桥型比选

中图分类号: U442.5+4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)03-0055-05

1 项目背景

齐鲁黄河大桥是济南北跨携河发展的“三桥一隧”战略通道之一,经过济南市槐荫区、天桥区,南起齐鲁大道与济齐路交叉口,接现状齐鲁大道,依次跨越美里路、济广高速,经过郑家店村东,跨越黄河后,与G309交叉相交。路线的主要控制点有路线起点、济广高速现状桥孔、黄河特大桥桥位、邯济铁路线、路线终点、沿线村庄等。

目前,济南市域内沟通黄河两岸的交通设施严重不足,城市道路过河通道仅建邦黄河大桥、济南黄河一桥以及零星浮桥,导致现状大桥拥堵严重,交通压力过大,亟需建造新的过河交通设施缓解日益增长的交通压力。本项目建设是贯彻济南市“携河发展”战略,对完善区域规划路网、提高路网运输能力、改善区域交通出行环境有重要意义^[1](见图1)。



图1 项目地理位置图

收稿日期: 2021-05-30

作者简介: 王伟(1988—),男,硕士,工程师,从事道路桥梁建设与管理工作。

2 建设条件

2.1 地形、地貌

场地地貌单元属黄河冲洪积平原与山前冲洪积倾斜平原叠交地带,局部微地貌单元系黄河河床,原始地形较平坦。受黄河淤积及人工填筑的作用,形成中间高,南北两侧低的地形,河漫滩地面标高27.5~29.0 m,黄河大堤堤顶标高约32.8~36.7 m,堤坝外侧地面标高约23.0~25.0 m。沿线两岸基本无开发,现状主要为村庄和农田。

2.2 地质^[2]

场地为黄河冲洪积平原与山前冲洪积倾斜平原叠交地带,局部微地貌单元系黄河河床,地形较平坦,第四系覆盖层厚度较大,厚度50~80 m。工程场地无不良地质。

2.3 河流与水文

黄河干流从平阴县清河门进入济南市境,沿市境北部逶迤东北,流经平阴、长青、济南市郊区、历城及章丘,于章丘黄河乡的常家庄出境,流经市境长度172.9 km。黄河济南段现行河道,是1855年黄河在铜瓦厢决口,北徙夺大清河,改道至利津注入渤海时形成的,市境黄河流向自西南而东北,地面相对稳定。

拟建工程河段位于泺口水文站上游,该河段为黄河下游弯曲性河道,黄河河道在该河段主河槽形态及位置相对比较稳定,大堤宽约1.4 km,河道断面形态为复式,主槽一般呈U型断面,主河槽水面宽约400~600 m,滩地宽一般为300~1 200 m,主河槽平均水深4.6 m,宽深比约4~5。河道弯曲系数一般在1.20左右,河道纵比降约0.01%。

2.4 通航

根据《黄河水系航运规划报告》(交通部黄河水系航运规划办公室,1988年),桥位河段规划为Ⅳ级航道。

2.5 地震^[3]

本场地位于济南市,根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015),判定本场地抗震设防烈度为7度,属设计地震第三组。拟建工程抗震设防类别为标准设防类(甲类),场地及邻近地区全新世以来未见活动断裂,场地较稳定,可作为建设用地。

3 设计主要限制因素

3.1 路网衔接

项目区域内道路网发达,与本项目相关的主要道路有京福高速公路、济广高速公路、国道309、国道308、二环西路快速路、腊山河西路和济齐路。项目总体方案选择应考虑好与周边路网衔接工作。

3.2 黄河水利委员会行政审批

黄河水利委员会对相邻跨黄桥梁间距要求高,线位选择条件复杂。根据黄委会要求,本工程跨黄线位与上游京沪高铁跨黄河大桥及下游济南建邦黄河大桥的间距需满足一定要求,中间还要避开黄河水文测量断面,选线条件复杂。另一方面,黄河防洪要求高,桥梁布跨要求严格,桥型选择受限。

跨黄河大桥应按照黄河水利委员会对跨黄河桥梁线位间距要求进行选线,按照防洪评价中的桥梁布跨及标高等要求进行结构方案设计,是本项目需重点考虑的问题。

3.3 公路与轨道建设方式

依据济南市轨道交通线网规划,远期拟新增一条轨道交通线位沿齐鲁大道北延布设,并与本通道工程一并过河。

本项目跨黄河桥梁设计需考虑与轨道交通的合建与衔接,要求跨黄河段桥梁为公轨合建,两侧接线为公轨分建。如何处理好桥梁与轨道交通的合建、分建关系、与轨道交通的衔接条件、施工及运营期的相互影响是总体设计主要任务之一。

4 总体设计方案

4.1 路线方案设计

路线方案设计将两岸接线与桥位选址结合起来整体研究,结合路线的主要控制因素,从方案与上游京沪高铁大桥的距离出发,优化组合,选定了近、中、

远4条线位,分别为距离京沪高铁大桥最近的A线位,距离京沪高铁大桥适中的K线位、以及距离京沪高铁大桥最远的B、B'线位(见图2)。

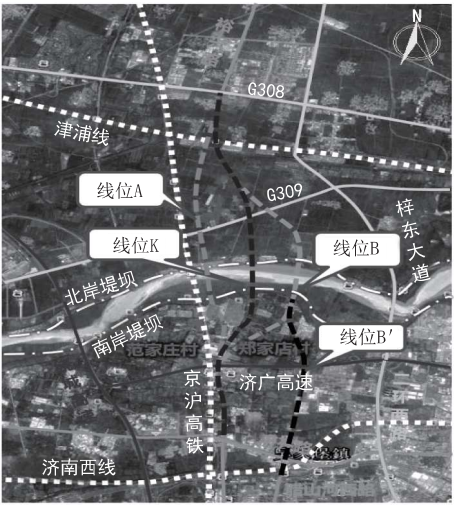


图2 线位K示意图

4条线位A、K、B、B'之间最大的区别在于与上游京沪高铁大桥的间距,以下就与规划衔接、功能定位、线形条件等方面做综合比选,如表1所示。

表1 路线方案比选一览表

比选线位	线位A	线位K	线位B	线位B'
与规划路网衔接条件	较好	较好	差	较好
对规划地块影响	几无	几无	不规则切割	几无
过河通道与京沪高铁桥梁间距/km	0.3	1.2	2.1	2.1
对京沪高铁桥结构影响	可能有一定影响	无	无	无
线形条件	好	好	差,绕行较远	好
通道规模	一致	一致	一致	一致
拆迁量	较大	较大	小	大
推荐	比选	推荐	比选	比选

线位A距京沪高铁大桥过近,本通道施工运营中可能对现状桥梁有影响,并且桥较难通过黄委会审批;线位K与京沪高铁大桥距离适中,与规划衔接较好;线位B与京沪高铁大桥距离相对最远,但与规划路网相差较大,道路绕行较远;线位B'无法直接串联西客站次中心和桑梓店地区中心,不符合近期通道建设意图。综上所述,本通道工程拟推荐线位K。

4.2 公轨桥梁建设模式

根据前期桥隧方案比选结论,隧道方案工程风险大,投资高,因此本通道采用桥梁形式过河。轨道交通与本通道的总体布置模式存在合建和分建两种方式。

4.2.1 公轨分建

轨道交通若单独采用桥梁形式过河,占用宝贵

的过河通道资源,且桥梁过密不满足黄委会对黄河桥梁间距的要求,难以通过黄委会批复。故公轨分建轨道交通宜采用隧道形式。

轨道交通采用隧道方式过河,并在黄河南北两岸沿齐鲁大道采用地下线布置。齐鲁大道桥梁仅考虑机动车、非机动车和行人过河需求布置。本布置模式造价相对合建更高昂,若采用该模式布置,桥梁方案与后续介绍的公轨合建同层布置方案基本相同(除桥梁横向宽度方面存在差异),轨道采用单独的盾构穿越黄河。

4.2.2 公轨合建

综合分析国内外已(在)建公轨合建桥梁断面布置^[4-8],如表 2 所示,一般存在以下公轨同层和公轨分层两种布置模式。

表 2 国内外城市道路、公路与轨道交通合建桥梁一览表

布置形式	桥名	国家	主跨/m	桥型	桥面布置
公轨同层	博斯普鲁斯海峡三桥	土耳其	1 408	斜拉-悬索协作体系	轨道交通中间双向八车道
	萨瓦河桥	塞尔维亚	376	独塔斜拉桥	轨道交通中间双向六车道
	上海长江大桥	中国	730	斜拉桥	轨道交通两侧双向六车道
	重庆鹅公岩长江大桥	中国	600	悬索桥	轨道交通中间双向六车道
公轨分层	青马大桥	中国香港	1 377	悬索桥	上层双向六车道 下层两线轻轨+两条紧急行车道
	重庆东水门长江大桥	中国	520	斜拉桥	上层双向四车道 下层两线轻轨
	上海闵浦二桥	中国	250	独塔斜拉桥	上层双向四车道 下层两线轻轨
	重庆朝天门长江大桥	中国	552	钢桁拱桥	上层双向六车道 下层两线轻轨+两条预留车道
	重庆菜园坝长江大桥	中国	420	系杆拱桥	上层双向六车道 下层两线轻轨

根据调研国内已(在)建公轨合建桥梁,尤其是公路桥梁或铁路桥梁,采用分层布置模式居多,即上层布置车行道、下层布置轨道交通及慢行系统。本次方案设计分层方案如图 3 所示,将机动车道布置在上层,下层布置轨道交通、非机动车道和人行道,从而大大降低慢行系统过河的爬坡高度。

根据调研国内已(在)建公轨合建桥梁,同层布置的有:上海轨道交通 6 号线赵家沟大桥、上海长江大桥、重庆鹅公岩长江大桥、重庆鱼洞长江大桥等。从轨道交通在桥面布置的位置来看,除上海长江大桥轨道交通布置在车行道外侧,其他均布置在车行道中间(即桥梁结构中心)。上海长江大桥由于桥梁

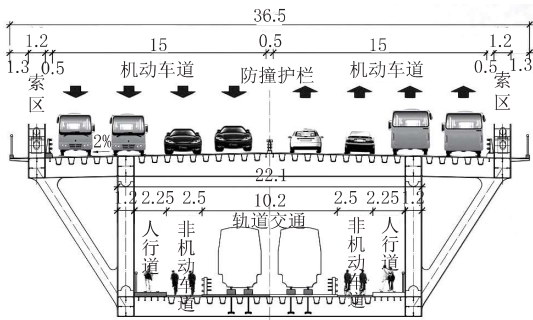


图 3 公轨分层布置桥梁横断面(单位:m)

长度较大,布置在中间无法设置掉头区等轨道交通事故救援的必须措施而将轨道交通布置在两侧。

从结构受力的合理性以及轨道交通运行的安全性上来看,轨道交通布置在外侧桥面排水不易处理,列车靠近拉索,对拉索疲劳也不利。在发生紧急情况时,轨道交通布置在桥梁内侧对疏散人群更为有利。为此,本次设计按照公轨同层轨道居中布置进行设计,如图 4 所示。

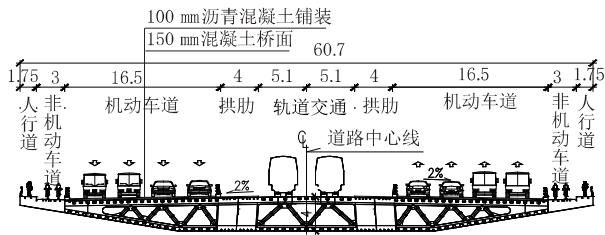


图 4 公轨同层布置桥梁横断面(单位:m)

对于公轨合建的不同布置方式,各有其优缺点,具体比较如下表 3 所示。

表 3 公轨合建桥梁布置形式比选

布置形式	公轨同层	公轨分层
优点	机动车爬坡高度小,结构完全对称	轨道交通与机动车完全分离,互不干扰;桥梁横向断面宽度小
缺点	轨道交通在两侧接线段与机动车存在交叉;桥梁横向断面宽度大	机动车爬坡高度大,两岸接线长度长;桥梁结构高,不美观;钢结构养护困难
适用情况	适用于机动车在两岸需尽快落地的情况	适用于下层为铁路、上层为长距离过境交通的情况
比选结论	推荐	不推荐

4.2.3 比选结果

公轨合建的建设模式能更集约地利用过河通道资源,节省工程投资,但城市道路与轨道交通建设往往不同步,方案需充分考虑轨道交通需求,做好预留。市政道路与轨道交通建设主体不同,建设及后期管养协调难度和工作量都较大;公轨分建模式建设和管养等协调工作简单,但浪费宝贵的过河通道资源,工程投资相对也高。相比较而言,济南黄河段过河通道资源相对稀缺,采用分建模式不利于远期再

新增过河通道。因此,本通道拟采用公轨合建模式,预留远期轨道交通过河需求。

对于公轨合建轨道布置方式而言,公轨合建分层布置因受结构高度影响,机动车爬坡高、桥梁接线长,且钢结构养护困难,不适用于本通道机动车需尽快落地的情形;公轨合建同层轨道居中布置则结构完全对称,国内建成的实例也较多,机动车爬坡高度相对较小。本工程拟推荐采用公轨合建同层轨道居中的布置模式。

4.3 跨黄河大桥设计

4.3.1 控制条件

根据黄建管[2007] 48号文件要求:在黄河干流陶城铺以下河段主河槽孔跨不少于180 m,滩地不少于50 m,跨越方式为全桥跨越。

根据《齐鲁大道北延跨黄河大桥防洪评价报告》^[9],拟建桥梁桥位河槽断面图如图5所示,现状主河槽宽度为575.8 m,通过分析桥位上下游历年断面变化及主槽左右起点距变化,因此确定桥位断面主槽宽度最大为610 m。

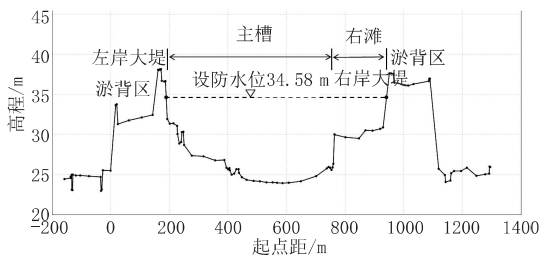


图5 河槽断面图

黄河堤身设计断面内不得设置桥墩。桥梁跨越堤防,桥墩应离开堤身设计堤脚线一定距离(原则上黄河不得小于5 m)。

根据《黄河水系航运规划报告》(交通部黄河水系航运规划办公室,1988年),桥位河段规划为Ⅳ级航道。

本桥桥位与现状京沪高铁黄河铁路大桥距离较近,总体布置上应考虑增大跨径以减少桥墩数量,从而减小对行洪的影响,经过与防洪专题单位沟通后确定,两岸大堤内只布置两个桥墩。

4.3.2 孔跨布置

考虑到上述控制条件,结合防洪评价单位推荐布跨意见,齐鲁黄河大桥的孔跨布置如下:桥梁以全桥跨方式跨越黄河,主桥推荐方案孔跨布设为95 m+280 m+420 m+280 m+95 m,主河槽跨度为420 m,滩地跨度为280 m,淤背区跨度为95 m,主桥全长1 170 m,满足黄建管[2007] 48号文件相关规定。

跨黄河大桥方案比选考虑不同桥型方案及相应合理边中跨比,主河槽跨度适当增加,滩地跨度适当减小,保证主桥长度不变并满足桥跨控制条件。

4.3.3 主桥方案

结合防洪评价单位推荐布跨意见,进行了两种主桥方案比选。

(1) 系杆拱桥方案

主桥方案一采用网状吊杆组合梁拱桥,跨径布置为 $(95+280)+420+(280+95)=1\,170$ m。桥面宽度60.7 m。总体布置如图6所示,横断面布置如图4所示。

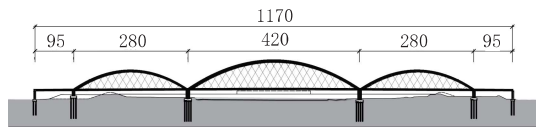


图6 方案一网状吊杆系杆拱桥总体布置(单位:m)

420 m跨拱矢跨比为1/6,矢高70 m,内倾角度 3.0° ;280 m跨拱矢跨比也为1/6,矢高46.67 m,内倾角度 5.3° ,拱肋采用五边形钢箱断面。拱肋横联形式采用一字撑,撑杆为八边形钢箱断面。吊索采用网状布置,主梁上标准间距为9 m,顺桥向倾角约 60° 。主梁采用正交异性组合桥面板组合梁,梁高4.15 m。下部结构采用尖端型薄壁墩形式,矩形承台,钻孔灌注桩基础。

约束体系:95 m+280 m一联在P19墩设置顺向固定支座,其余桥墩设置顺向活动支座;420 m一联在P20墩设置顺向固定支座,其余桥墩设置顺向活动支座;280 m+95 m一联在P21墩设置顺向固定支座,其余桥墩设置顺向活动支座;主桥三联在各桥墩均设置一个横向固定支座、一个横向活动支座。全桥共设置16个竖向支承支座。

(2) 双塔斜拉桥方案

主桥方案二采用双塔组合梁斜拉桥,跨径布置为 $95+240+500+240+95=1\,170$ m。桥面宽度60.7 m。总体布置如图7所示。

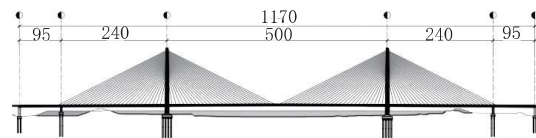


图7 方案二双塔斜拉桥总体布置(单位:m)

主塔采用A形桥塔,主塔塔身高约143 m,桥面以上塔高122.5 m。全桥共216根拉索,呈空间双索面扇形布置。主梁采用正交异性组合桥面板组合梁,钢梁高4.0 m,桥面板厚0.15 m。边墩、辅助墩沿横桥向设置两个,采用独柱墩。主塔基础采用 $45\phi 2.0$ m钻孔灌注桩;边墩、辅助墩采用 $2\times 8\phi 2.0$ m钻孔灌

注桩,分离式承台,如图8所示。

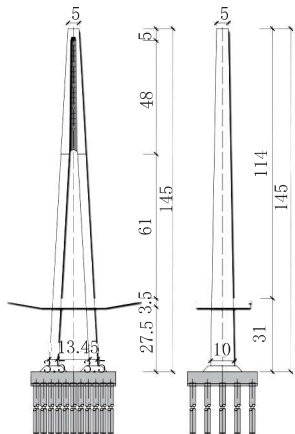


图8 方案二桥塔构造图(单位:m)

采用扭绞型平行钢丝斜拉索,冷铸锚,钢丝标准强度1860MPa。全桥共144根斜拉索,最长斜拉索长度约264m。斜拉索外设双层PE护套,颜色可根据景观要求选用。对拉索表面采取螺旋线、凹坑等气动辅助措施,以及在斜拉索两端安装内置式阻尼器,以提高斜拉索抗风雨振性能。

主桥采用漂浮体系,塔墩固结、塔梁分离,主梁与主塔之间无竖向支座,设置纵向连接装置。桥墩上均设置竖向支承。

(3)综合比选

两种主桥方案比选表如表4所示。综合技术难度、施工风险、施工周期、结构力学性能、景观效果及工程造价,考虑到济南黄河上斜拉桥过多,在造价基本相当的前提下,推荐采用结构性能更优的网状吊杆组合梁拱桥。

5 结 论

本文系统地介绍了济南齐鲁黄河大桥工程的项目背景、建设条件、设计主要限制因素、总体方案、桥型比选等内容,综合考虑了周边路网衔接、黄委要求、工程造价等因素,比选确定了总体路线方案。

在大量调研国内外公轨合建桥梁建设方式的前提下,结合本项目工程背景及实际情况,本工程拟推荐采用公轨合建同层轨道居中的布置模式,并预留远期轨道交通过河需求。

结合跨黄河大桥设计控制条件,进行了网状吊杆系杆拱桥和双塔斜拉桥两种主桥方案总体布置与设计,综合技术难度、施工风险、施工周期、结构力学性能、景观效果及工程造价,考虑到济南黄河上斜拉桥过多,在造价基本相当的前提下,推荐采用结构性能更优的网状吊杆组合梁拱桥方案。

表4 桥梁方案比选表

比较项目	方案一 网状吊杆组合梁拱桥	方案二 双塔组合梁斜拉桥
桥跨布置/m	(95+280)+420+(280+95)	95+240+500+240+95
结构构造	主梁为正交异性组合板组合梁; 拱肋为钢箱提篮拱; 吊索采用高应力幅钢绞线拉索,网状布置; 基础为群桩基础、矩形承台	主梁为正交异性组合板组合梁; 主塔采用A型塔,混凝土塔柱; 斜拉索采用平行钢丝,扇形布置; 基础为群桩基础、矩形承台
技术难度	国外成功经验较多,技术可行	成熟桥型,技术可行
施工方法与施工风险	拱肋转体施工,拱梁整体顶推,施工工艺成熟,风险较小	主塔采用爬模施工,主梁采用悬拼,施工工艺成熟,风险较小
施工周期	42个月	42个月
行车舒适性	结构刚度大,适合轨道交通	结构刚度满足规范要求
结构耐久性	混凝土桥面铺装耐久性好,维护工作量小	混凝土桥面铺装耐久性好,维护工作量小
景观比较	两小拱一大拱的造型形似“山”,造型连续舒展、纤细轻盈,柔中带刚,中间大跨气势流畅,曲线飘逸俊秀,寓意丰富	“A”字型主塔现代简洁,刚劲有力,欣长挺拔,但黄河上斜拉桥过多,流于普通,且寓意略有欠缺
造价比	1	0.974
经济性	略高	略低
比选结果	推荐	比选

参考文献:

[1] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司. 济南齐鲁大道北延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, 2017.

[2] 黄河勘测规划设计有限公司. 齐鲁大道北延跨黄河通道工程 岩土工程勘察报告[R]. 郑州: 黄河勘测规划设计研究院有限公司, 2017.

[3] 山东同方防震技术有限公司. 济南齐鲁大道跨黄河通道工程 工程场地地震安全性评价报告[R]. 济南: 山东同方防震技术有限公司, 2017.

[4] 邵长宇, 黄少文, 卢永成. 上海长江大桥总体设计与构思[J]. 世界桥梁, 2009(51): 6-9.

[5] 屈庆录, 陈桦, 汪超, 等. 重庆鹅公岩长江大桥桥型可行性研究[C]// 中国土木工程学会桥梁及结构工程学会第十三届年会论文集(上册). 上海: 中国土木工程学会, 1998: 96-102.

[6] 耿波, 王福敏, 魏思斯. 重庆东水门长江大桥设计关键技术[J]. 桥梁建设, 2017(4): 90-95.

[7] 段雪炜, 徐伟. 重庆朝天门长江大桥主桥设计与技术特点[J]. 桥梁建设, 2010(2): 41-44.

[8] 邹云, 刘孝辉. 重庆菜园坝长江大桥工程总体方案设计[J]. 公路交通技术, 2005(21): 9-12.

[9] 黄河水利科学研究院. 济南齐鲁大道北延跨黄河大桥防洪评价报告[R]. 郑州: 黄河水利科学研究院, 2017.