

中新天津生态城彩虹桥并线桥工程

防洪评价报告

(报批稿)

水利部
交通运输部
国家能源局

南京水利科学研究院

2024年12月

项目名称： 中新天津生态城彩虹桥并线桥工程防洪评价咨询服务

项目编号： Hj220017

项目来源： 天津生态城市政景观有限公司

项目负责人： 肖立敏

韩 信

唐 磊

报告编写人： 韩 信 唐 磊 戴 鹏

报告评审人： 陆培东（专业总工，正高级工程师）

余小建（正高级工程师）

陈大可（高级工程师）

报告审批： 王艳红（副所长、正高级工程师）

防洪评价主要成果简表

项目名称	中新天津生态城彩虹桥并线桥工程		
所在水系	海河流域永定河水系		
位置描述	永定新河左堤桩号 64+510，桥线位河道桩号 62+235，右堤桩号 62+765		
建设项目基本情况	建设项目立项情况	建设项目建议书已取得天津市滨海新区行政审批局津准审批一室准[2019]730号批复	
	建设项目防洪标准	100年一遇	
	总体布置	<p>并线桥中心线位于彩虹桥中心线南侧 35.3m，并线桥桥宽 21m，两桥上部结构相距 10.3m、下部结构相距 6.2m；并线桥全长 1238m（由南向北）起点 P00 桥台中心坐标（4330488.189，Y=562235.99，2000 国家大地坐标系，下同），终点 P21 桥台（X=4331306.775，Y=563142.889），其中，海委审批权限范围桥墩：P06（X=4330636.113,Y=562338.229）、P07（X=4330661.852，Y=562361.608）、P08（X=4330708.541，Y=562417.059）、P09（X=4330757.432，Y=562487.756）、P10（X=4330851.037,Y=562623.641）；天津市水务局审批权限范围桥墩：P10（X=4330851.037，Y=562623.641）、P11（X=4330946.344，Y=562761.997）、P12（X=4331039.949，Y=562897.882）、P13（X=4331089.740，Y=562968.164）和 P14（X=4331135.958，Y=563021.075）；涉河桥梁跨径布置 35+73+86+165+168+165+86+70=848(m)，采用连续梁结构布置，桥墩中心线与右堤中心线交点处坐标为（X=4330681.0226，Y=562382.0036），与左堤中心线交点处坐标为（X=4331112.1796，Y=562995.4113），桥梁轴线与河道中高水流方向夹角为 85 度。河道内 P08~P12 桥墩承台面均在最大冲刷线 0.5m 以下。P07 号桥墩距规划右堤外堤脚最小距离为 1.16 米，P08 号桥墩距规划右堤内堤脚最小距离为 21.30 米；P13 号桥墩距规划左堤内堤脚最小距离为 2.82 米，P14 桥墩距离距规划左堤外堤脚最小距离为 1.49 米。桥墩及承台布置未占压堤防设计堤身断面。桥梁投影区占用左岸岸线控制利用区岸线长 33.53m，占用右岸岸线保护区岸线长 24.59m。</p>	
河段主要指标	河道防洪标准	永定新河右堤 200 年一遇、永定新河左堤 100 年一遇、永定新河防潮闸 50 年一遇，永定新河满足 100 年一遇防洪标准	
	设计水位及相应流量	设计流量 4640m ³ /s，设计水位 2.751m	
分析计算主要成果	阻水比	新建并线桥阻水比 3.93%	
	壅水高度及范围	设计流量 4640m ³ /s 时，最大壅水高 0.020m，壅水全长约 289m；校核流量 4820m ³ /s 时，最大壅水高 0.021m，壅水全长约 312m；	对华润燃气管线、永定河管理处第三人合法水事权益没有不利影响
	冲淤情况	一般冲深 0.60~0.70m，并线桥最大总冲深 3.53m	

<p>消除和减轻影响措施</p>	<p>对桥梁投影区右岸（水利部海委审批权限范围）上游、下游各 50m 的河道二级迎水坡采用厚 40cm 浆砌石、下设 10cm 厚砂砾垫层防护，迎水坡一级边坡和一级压坡平台为预制混凝土框格（菱形混凝土框格 65cm×65cm×15cm 厚）植草护坡；对海委审批权限范围桥梁投影区右岸长约 78m 右堤堤身实施锥探灌浆加固，沿堤轴线方向孔距 2.0m，排距 1.0m，堤顶共布置 7 排，梅花形布置，首排距离迎水侧堤顶线 1.0m，共布置灌浆孔 280 个，灌浆深度 10m，总灌浆长度 2800m。</p> <p>对水利部海委和天津市水务局审批权限范围交界处的彩虹桥 13 号与并线桥 P10 顺流对齐主桥墩组周边抛填防护，范围：顺河 80m×跨河 45m×厚度 0.6m，抛填区顶面不高于清淤槽底高程-6.03m（大沽基面-4.36m）。</p> <p>在海委审批权限范围内设计布置右堤绕行路，绕行处在现状彩虹桥和并线桥投影下的桩号范围内，即 DDK0+160-DDK0+230 路段，距离永定新河右堤背水坡坡脚水平距离大于 10m，高于现状地面 1m。起终点（起点位置处右堤桩号 62+688，终点位置处右堤桩号 62+914）接顺现状堤位置，绕行路总长约 280m，路面净宽 6m，上、下堤坡段纵坡不大于 4%，并线桥下最小净空不小于 4.5m。</p>
------------------	--

摘 要

中新天津生态城彩虹桥并线桥工程将有力提升天津滨海新区通往天津市主城区和天津滨海国际机场的区域交通通行能力，本项目已列入 2024 年市级重点建设项目中的重大基础设施。根据《中华人民共和国防洪法》等法律法规的有关规定，进行彩虹桥并线桥工程项目防洪评价是十分必要的。

按照《河道管理范围内建设项目防洪评价报告编制导则》（SL/T808-2021），在收集资料和熟悉设计方案的基础上，本报告采用规范公式计算评估、数学模型数值模拟等技术手段，对彩虹桥并线桥工程项目防洪评价。摘要如下：

本并线桥项目线位方案，是在当前交通路网格局条件下均衡永定新河两岸跨河交通基础设施布局的综合最优和最可行选择，并线桥工程建设方案总体布局基本合理。本并线桥项目设计防洪标准为 100 年一遇，与所涉及永定新河防洪标准一致，其设防标准符合《海河流域防洪规划》《防洪标准》及相关行业规范要求，本并线桥项目工程符合所涉及河系的水利规划要求，不会对相关的水利规划产生不利影响。

本并线桥项目工程的建设对相关的永定新河堤防、护岸和其它水利工程及设施、工程河段河势稳定、河道泄洪影响较小，也不会影响第三人合法水事权益。并线桥项目梁底净空高度满足相关规范要求，在对桥梁投影区长约 78m 右堤堤身实施灌浆加固并对桥梁投影区右岸二级迎水坡、上下游各 50m 实施厚 40cm 浆砌石、下设 10cm 厚砂砾垫层防护，及对一级迎水坡及其压坡平台采取预制混凝土框格植草护坡的前提下，本工程建成后不会对永定新河防汛抢险产生不利影响。

本建设项目工程涉及永定新河河道管理、水利工程及河口管理等法规、规程的管护范围，并线桥桥墩平面布置方案、消除和减轻影响措施均须经相关水行政主管部门审查同意。在永定新河口管理范围内的本项目工程设施，由海河水利委员会按照河道管理范围内建设项目管理等有关规定审查同意并实施监督管理；在永定新河河道范围内的本项目工程设施，由天津市人民政府水行政主管部门按照河道管理范围内建设项目管理等有关规定审查同意并实施监督管理，并报海河水利委员会备案。

关键词：中新天津生态城 彩虹桥并线桥 永定新河 桥墩布置 局部冲刷

防洪评价 消除和减轻影响措施

目 录

1 概述	1
1.1 建设项目背景	1
1.1.1 建设项目名称、地理位置	1
1.1.2 建设项目必要性、选址合理性和项目前期工作	1
1.1.3 建设项目及涉河工程建设方案总体布局、规模	3
1.2 评价依据	5
1.2.1 国家有关法律、行政法规、地方性法规、规章	5
1.2.2 有关技术规范规程和技术标准	6
1.2.3 有关批准的规划设计文件	6
1.2.4 建设项目前期工作的有关文件等	7
1.3 防洪影响分析范围	7
1.4 涉河建设项目水行政审批权限范围	8
1.4.1 建设项目与河道/河口管理区、岸线规划和防潮闸管护范围关系	8
1.4.2 涉河建设项目海委审批权限范围	9
1.4.3 涉河建设项目天津市水务局审批权限范围	9
2 基本情况	11
2.1 建设项目基本情况	11
2.1.1 涉河工程建设方案	11
2.1.2 设计防洪标准	13
2.1.3 施工方案	14
2.2 河道基本情况	19
2.2.1 流域概况	19
2.2.2 河道基本情况	22
2.2.3 工程河段基本情况	25
2.3 影响分析范围内水利工程及其他设施	29
2.3.1 水利工程	29
2.3.2 其他设施	31
2.4 水利规划及实施安排	33
2.4.1 有关流域综合规划、防洪规划	33
2.4.2 岸线保护与利用规划	33
2.4.3 永定新河口管理范围与要求	35
2.4.4 永定新河河道管理范围	36
2.4.5 水闸管理范围和要求	36
2.4.6 建设项目所在河段规划内容与实施安排	37
2.4.7 建设项目实施及运行可能产生的影响	38

3	河道演变	39
3.1	河道历史演变概况	39
3.1.1	河道	39
3.1.2	河口	39
3.2	河道近期演变分析	39
3.3	河道演变趋势分析	41
3.3.1	河道	41
3.3.2	河口	41
4	防洪评价分析与计算	43
4.1	水文分析计算	43
4.1.1	依据资料	43
4.1.2	阻水比	43
4.1.3	拟建桥轴线与主流之间夹角	45
4.2	壅水与行洪能力分析计算	46
4.2.1	防洪设计流量壅水分析	46
4.2.2	平面二维恒定流泄流数学模型计算	48
4.2.3	非恒定流数模计算成果	52
4.3	冲刷淤积计算与河势影响分析	57
4.3.1	河床冲刷深度分析计算方法	57
4.3.2	滩槽冲刷深度计算	58
4.3.3	桥墩局部冲刷深度计算与分析	59
4.3.4	最大冲刷深度取值	61
4.3.5	局部冲刷防护	62
4.4	梁底高程分析	63
4.4.1	主桥孔梁底高程分析	63
4.4.2	跨越河堤梁底高程分析	63
4.5	堤防及岸坡稳定分析计算	64
4.5.1	堤身安全分析	64
4.5.2	堤防冲刷计算	65
4.5.3	堤防渗流及抗滑稳定复核计算	66
4.6	第三人合法水事权益的影响分析	74
5	防洪综合评价	76
5.1	建设项目与有关规划符合性评价	76
5.1.1	与区域发展规划的符合性	76
5.1.2	与岸线规划的符合性	76
5.1.3	与通航规划的符合性	78

5.2 建设项目与防洪标准和有关技术要求符合性评价	79
5.2.1 与防洪标准的符合性	79
5.2.2 与有关技术要求的符合性	79
5.3 建设项目对河道行洪的影响评价	79
5.4 建设项目对河势稳定影响评价	80
5.5 建设项目对堤防安全及岸坡稳定和其他水利工程影响评价	81
5.6 建设项目对水利工程运行管理和防汛抢险的影响评价	81
5.7 建设项目施工期影响评价	82
5.8 建设项目对第三人合法水事权益的影响评价	83
6 消除和减轻影响措施	84
6.1.1 主桥墩局部冲刷防护措施	84
6.1.2 河岸加固防护措施	84
6.1.3 右堤绕行方案措施	85
6.1.4 建设期工程措施	86
6.1.5 运行期措施	87
7 结论与建议	88
7.1 防洪综合评价主要结论	88
7.2 消除和减轻影响措施的结论	90
7.3 建议	90

1 概述

1.1 建设项目背景

1.1.1 建设项目名称、地理位置

建设项目名称：中新天津生态城彩虹桥并线桥工程，以下简称并线桥项目。

项目建设单位：天津生态城市政景观有限公司。

并线桥项目在天津市中心城区正东约 45km 的天津滨海新区北塘，位于天津中新生态城西侧、中央大道北侧、在永定新河河口段紧邻现状彩虹桥（中新大道）南侧。并线桥主桥与彩虹桥平行，河道中的主桥墩在永定新河防潮闸上游，与防潮闸相距 354~735m。

1.1.2 建设项目必要性、选址合理性和项目前期工作

(1) 建设项目必要性

本项目作为滨海新区基础设施的一部分，是中新天津生态城陆域开发与建设顺利完成的基础和重要保证。通过完善道路、排水管网、照明、绿化等条件，更好地实现区域服务旅游产业及周边地区发展的功能，有利于生态城的城市发展。

按照滨海新区区域规划路网，规划的黄海北路—彩虹桥—中新大道为中新生态城南向交通重要的过境交通通道，规划为双向 6~8 车道规模。而现状车道为双向 4 车道规模，不满足规划规模。上述规划通道是生态城南向交通等级最高、进出最为便捷的通道，也是区域南北向重要的混合性城市路网主干道，是永定新河两岸路网一体化的重要组成，并线桥项目建设符合滨海新区城市总体规划。为解决生态城交通拥堵现状，支撑滨海核心区一体化建设发展，并线桥项目建设是必要且紧迫的。

本项目已列入 2024 年市级重点建设项目中的重大基础设施和《天津市城市道路桥梁专项规划（2021-2035 年）》，属于天津市交通类重要基础设施项目。

(2) 选址合理性

1) 均衡永定新河两岸跨河设施布局、最大程度提升主要通道通行能力

根据中新天津生态城区域主要路网规划，永定新河口附近共有 6 条主要跨河通道，沿河自上而下为：塘汉快速、中新大道（彩虹桥）、中央大道、海滨大道、景盛路—

跃进路和海旭道（南向通往天津港东疆港区），其中塘汉快速跨河大桥河道于 2010 年 9 月通车，位于河道桩号约 58+800 处（河道桩号以曲家店闸下为 0+000 起算，下同）、防潮闸上游约 4.1km，主要承担过境交通功能；中新大道（彩虹桥，62+200 处，河口防潮闸上游约 0.8km）建成于 1998 年 10 月，中央大道永定新河特大桥（防潮闸下游约 1.5km 处，64+500）和海滨大道永定新河特大桥（防潮闸下游约 3.1km 处，66+150）分别于 2010 年 10 月和 2010 年 11 月竣工，而规划的景盛路—跃进路和海旭道均位于永定新河防潮闸下游、海滨大道以东，该两条通道尚未建成。

在上述 5 个（不计塘汉快速）跨河通道中，现有中新大道彩虹桥、中央大道永定新河特大桥和海滨高速永定新河特大桥三条通道，其中通往天津主城区和天津滨海国际机场方向仅有的中新大道（彩虹桥）和中央大道两条通道均处于饱和状态。随着生态城城市区域经济社会发展，常住及就业人口逐年稳定增长，交通拥堵将会更加严峻。现有彩虹桥为双向 4 车道规模，未达该区间双向 8 车道规划规模，早晚高峰时段生态城南向对外通道严重拥堵，其设计通行能力与中新生态城社会经济发展要求之间的矛盾最为突出，提升拥挤通道的通行能力迫在眉睫。并线桥的建设能够与周边汉北路、中津大道、黄海北路、北塘大街等道路、市政基础设施相连接，将形成区域的交通骨架，可应对永定新河两岸的大规模开发，满足逐渐增加的跨河交通需求，最大程度地打通交通堵点、均衡周边路网的交通压力，能够直接有效提升生态城对外交通能力。

2）线位、跨河方式、跨径等因素多方案比选最优

建设单位委托设计单位对并线桥线位从与彩虹桥位置关系（东侧线位、西侧线位；并行、绕行）和跨河方式（一跨过河、垂直过河、隧道过河）进行了六个方案论证，多方案论证总结论如下：

方案一（西侧并行）占用军事碉堡古迹，既不具备拆改条件，还要占用生态谷规划轨道交通线位，不具备实施条件；方案三主桥跨径需 920m，常规桥梁无法满足，实施难度太大；方案二、方案四和方案五均不可行，方案六即东侧并行方案经防洪影响初步论证分析，满足泄洪相关要求，是在当前交通路网格局条件下能够均衡永定新河两岸跨河交通基础设施布局的综合最优和最可行选择，有利于实现滨海新区城市总体规划，因此推荐东侧并行方案

(3) 项目前期工作

建设单位天津生态城市政景观有限公司完成的项目前期工作主要为：

①完成中新天津生态城彩虹桥并线桥工程项目建议书，取得中新天津生态城彩虹桥并线桥工程项目建议书的批复；

②参考《滨海新区轨道 Z4 线一期工程（一标段）北塘站至生态城站区间岩土工程勘察报告（详细勘察阶段）》，2018 年 5 月；

③参考“天津生态城 2010 年汉北路改造工程-雨水工程竣工图”，2019 年 8 月；

④参考“中新天津生态城中津大道（和惠北路至和韵路）道路工程施工图设计”，2019 年 8 月；

⑤委托天津市中新生态城天测测绘有限公司完成中新天津生态城彩虹桥并线桥梁工程管线现状地形图，2019 年 8 月；

⑥委托上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司完成《中新天津生态城彩虹桥并线桥工程工程可行性研究报告》，2019 年 12 月；

⑦委托天津市测绘院有限公司完成“中新天津生态城彩虹桥并线桥工程周边水域及岸边地形图”，2023 年 9 月

⑧委托上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司完成《中新天津生态城彩虹桥并线桥工程桥墩平面布置优化设计方案》，2023 年 5 月，2023 年 10 月；

⑨委托天津市测绘院有限公司完成“中新天津生态城彩虹桥并线桥工程周边水域及岸边地形图”，2023 年 9 月

⑩委托南京水利科学研究院编制《中新天津生态城彩虹桥并线桥防洪影响评价报告》，2019 年 12 月；2023 年 10 月。

1.1.3 建设项目及涉河工程建设方案总体布局、规模

(1) 建设项目及涉河工程建设方案总体布局

并线桥项目位于永定新河口防潮闸上河段，原初设方案总体布局为紧邻现状彩虹桥南侧与之平行，桥轴线大致呈西南—东北走向。南起北塘大街（桩号 0+000），北至中津大道（桩号 K2+105.905），全线约 2.11km。左右两侧为引桥，中间主桥桥面宽度 21.5m、长 696m，采用（99+165+168+165+99）m 连续变截面钢箱梁桥梁；采

用立交方式跨越永定新河左堤桩号为 Z64+510、右堤桩号 62+765，桥轴线河道桩号为 62+235，桥梁总长 1211m；采用 5 跨变截面连续钢箱梁，在永定新河河槽范围内的 6 个桥墩 P07~P12 主桥跨径布置为，引桥采用 30m 小箱梁，跨大堤位置采用 50m/55m 组合梁。桥跨布置总体上减少新建桥墩对永定新河阻水的影响，新建主桥墩与现状彩虹桥桥墩对孔一致，主桥轴线与河道中高水流方向接近正交。

2023 年 7 月初，设计单位根据前期防洪影响评价成果，调整了并线桥桥墩平面布置设计方案，设计方案的桥址、桥轴线和河道中原 P08~P11 四个主桥墩布置保持不变，调整了河道右堤和左堤附近四个桥墩（原 P05、原 P07、原 P12 和原 P14）平面位置及承台与邻近堤防坡脚线的适应关系，主桥由 5 跨调整至 7 跨，跨径布置采用（70+88+165+168+165+86+70）m 七跨连续梁结构跨越，总长为 812m。涉及河道的 9 个桥墩编号是 P06~P14，桥墩 P14 左堤外、在防潮闸北侧 778m。

2023 年 9-10 月，根据并线桥防洪评价报告咨询会专家意见，设计单位进一步调整了并线桥桥墩平面布置方案布局和主桥墩承台高程，主桥桥面宽度由原初设方案的 21.5m 减小至 21m。调整后方案涉河 9 个桥墩是 P06~P14（P07~P14 桥墩均为长圆端型柱体，承台为长方体），主桥墩 P09~P12 与彩虹桥主桥墩 12 号~15 号依次顺水流流向对齐，主桥跨径布置采用（73+86+165+168+165+86+70）m 七跨连续梁结构跨越，总长 813m，桥梁总长 1238m，布置桥墩 P01~P20 共 20 个，两端的 P00 和 P21 为墩台。在河道内 6 个桥墩 P08~P13 中，桥墩 P08 距防潮闸最近（354m），桥墩 P13 离防潮闸最远（735m），其余 P09~P12 与防潮闸相距依次为 402m、495m、591m 和 684m。

（2）建设项目规模

本建设项目道路等级为城市主干路，双向 8 车道规模，设计车速 60km/h，项目建设批复投资为 59974.56 万元，全部为政府投资。

并线桥单向采用 4 车道+单侧人非系统建设规模，拟在现状彩虹桥东侧新建单向 4 车道并线桥进生态城，改造现状彩虹桥为单向 4 车道出生态城。工程总体线位分为三部分：北塘段、主桥段、生态城段。

北塘段：东西半幅分别进行中心线设计，道路西半幅总体上利用现状路基段、引路段、引桥段，道路东半幅总体上黄海北路进行路基段单侧拓宽，东半幅形成单向 2 车道规模，并对东海路进行路基拓宽，形成单向 2 车道进生态城方向，黄海北路东半幅与东海路在引路段进行合流；

主桥段：利用现状彩虹桥作为西半幅，拟位于现状彩虹桥东侧（永定新河下游）新建并线桥，并线桥与现状桥梁结构外边线预留 10.3m 净距，主要为桥梁结构下部结构施工及减少现状桥梁桩基影响综合考虑确定；

生态城段：东西半幅分别进行中心线设计，道路西半幅总体上利用现状引路、引桥，东半幅新建引路、引桥，东西半幅路基段进行两侧拓宽，东西半幅中心线逐步向规划中心线靠拢直至与规划中心线重合。

（3）占用河道空间情况

永定新河堤防附近桥墩平面位置为：桥墩 P13 与左堤内坡脚线最少相距 2.28m，P08 在右岸岸线保护区外 2.18m、右堤内坡脚线外 21.3m，桥墩 P07 在右堤外坡脚线外最少 1.16m。并线桥项目在河道（河口）管理范围内投影面积为 20578.6m²，其中：左岸岸线控制区内 3621.2m²，永定新河河道主槽 6934.7m²，永定新河口管理区 7279.5m²，右岸岸线保护区内 2743.2m²。

桥墩 P14 在河道左堤外坡脚之外，P06 和 P07 在河道右堤外坡脚外。确定河道内桥墩 P08~P13 承台面高程（1985 国家高程基准）分别为 0.232m、-5.868m、-10.168m、-10.168m、-1.068m 和 3.132m，承台在最大冲刷线以下的埋深依次为 0.819m、0.739m、0.609m、0.609m、0.849m 和 0.549m，河道内桥墩承台面均在最大冲刷线 0.5m 以下。

1.2 评价依据

1.2.1 国家有关法律、行政法规、地方性法规、规章

- (1). 《中华人民共和国水法》，2016 年 7 月修订；
- (2). 《中华人民共和国防洪法》，2016 年修订；
- (3). 《中华人民共和国河道管理条例》，2022 年修订；
- (4). 《中华人民共和国防汛条例》，2022 年 7 月修订；
- (5). 《海河独流减河永定新河河口管理办法》，中华人民共和国水利部令第 37 号，

2009年7月1日起施行；

- (6). 《中华人民共和国湿地保护法》，中华人民共和国自然资源部，2021年11月；
- (7). 《水文监测环境和设施保护办法》，中华人民共和国水利部令第43号，2015年修订；
- (8). 《天津市河道管理条例》，天津市人大常委会公告第31号，2018年12月；
- (9). 《海委审批权限范围内涉河建设项目技术审查规定》(试行)(海建管[2013]33号文)；
- (10). 《堤防运行管理办法》《水闸运行管理办法》，水利部2023年4月印发。

1.2.2 有关技术规范规程和技术标准

- (1). 《防洪标准》(GB 50201-2014)；
- (2). 《水利水电工程水文计算规范》(SL 278-2020)；
- (3). 《堤防工程设计规范》(GB/T 50286-2013)；
- (4). 《堤防工程施工规范》(SL260-2014)；
- (5). 《公路工程水文勘测设计规范》(JTG C30-2015)；
- (6). 《水闸设计规范》(SL 265-2016)；
- (7). 《水闸工程管理规定》(DB32/T 3259-2017)；
- (8). 《堤防工程管理设计规范》(SL/T 171-2020)；
- (9). 《铁路工程水文勘测设计规范》(TB 10017-2021)；
- (10). 《河道管理范围内建设项目防洪评价报告编制导则》(SL/T 808-2021)，中华人民共和国水利部，2021年8月6日发布，2021年11月6日实施。

1.2.3 有关批准的规划设计文件

- (1). 《海河流域防洪规划报告》，水利部海河水利委员会2007年11月编制，国务院国函[2008]11号批复；
- (2). 《北三河系防洪规划》(2008年)；
- (3). 《永定河系防洪规划》(2008年)；
- (4). 《永定河洪水调度方案》，水利部海河水利委员会，2011年；
- (5). 《天津永定河系防汛手册》，天津市永定河管理处编制，2018年；

- (6). 《天津滨海新区区域规划》，天津市规划和国土资源管理局，2010年3月；
- (7). 《永定新河治理一期工程初步设计报告》，中水北方勘测设计研究院有限责任公司，2006年。
- (8). 《永定新河治理二期工程可行性研究报告》，中水北方勘测设计研究院有限责任公司，2013年。
- (9). 《海河流域重要河道岸线保护和利用规划》（水利部水河湖[2021]340号），水利部海河水利委员会，2021年11月；
- (10). 《天津市河湖岸线保护和利用规划》，天津市水务局，2022年3月。
- (11). 《天津市河湖岸线保护和利用规划图册》，天津市水务局，2022年3月。

1.2.4 建设项目前期工作的有关文件等

- (1). 中新天津生态城彩虹桥并线桥工程项目建议书；
- (2). “中新天津生态城彩虹桥并线桥梁工程可行性研究报告”，2019年；
- (3). 中新天津生态城彩虹桥并线桥梁工程管线现状地形图，2019年8月；
- (4). 《滨海新区轨道Z4线一期工程（一标段）北塘站至生态城站区间岩土工程勘察报告（详细勘察阶段）》，2018年5月；
- (5). 《永定新河治理二期工程初步设计报告》（国家发改委核定稿），中水北方勘测设计研究院有限责任公司，2013年10月；
- (6). 《天津开发区彩虹桥新建工程地质勘察报告》（铁道部第三勘测设计院，1996年7月）；
- (7). “天津市设计洪水、中小洪水调度方案”，天津市防办，津汛发[2003]7号，2003年6月。
- (8). 《中新生态城彩虹桥并线工程勘察初步成果》，天津市勘察设计院集团有限公司，2022年9月。
- (9). 天津市测绘院有限公司完成“中新天津生态城彩虹桥并线桥工程周边水域及岸边地形图”，2023年9月。

1.3 防洪影响分析范围

根据《河道管理范围内建设项目防洪评价报告编制导则》（SL/T808-2021），平

原区防洪评价报告影响分析范围参考取值为河段两岸堤防之间宽度 B 的 5~10 倍。

并线桥项目位于永定新河防潮闸上游约 550m 处，桥轴线河道桩号为 62+235（以彩虹桥轴线河道桩号 62+200 加上两桥轴线之间距离 35.3m），并线桥、彩虹桥轴线上河道左堤与右两堤防之间的堤距分别为 725m 和 740m，工程河段河道堤距为 700~750m。因此，本次评价范围为永定新河河段并线桥轴线上游 3.76km（自断面桩号 58+000 起），下游 2.75km（至断面桩号 65+000），共约 6.5km。

影响分析范围包括京山铁路桥、塘汉快速路永定新河特大桥、公路桥、三河岛、永定新河河段左右堤防、华润燃气管线、蓟运河口闸下、彩虹桥、彩虹桥并线桥和永定新河防潮闸及其闸上水文站（62+935）、闸下水位站（63+210），闸下清淤槽河段中的 63+195~65+000、在建中的 Z4 线跨永定新河桥和中央大道跨永定新河特大桥等。

本报告除特别标明外，高程采用 1985 国家高程基准，简称“85 高程”，桥梁设计采用了天津市大沽基面-2015 高程，简称“大沽高程”，永定新河防洪规划和河道治理工程报告采用了 1956 黄海高程基准，简称“56 黄海高程”。高程系统之间转换关系为：85 高程=56 黄海高程-0.029m，85 高程=大沽高程-1.668m。

1.4 涉河建设项目水行政审批权限范围

本建设项目工程所处位置较为特殊，根据总体布局方案，桥梁工程主要涉及永定新河河道管理区、永定新河岸线规划功能区（岸线保护区和岸线控制利用区）、永定新河防潮闸管护范围和永定新河口管理区，上述管理区、管护范围或保护和利用区有些互有交叠，并且在管控上隶属天津市水务局和水利部海河水利委员会两个水行政主管部门（机关）。为了明晰本涉河建设项目水行政审批权限范围，根据《海河独流减河永定新河口管理办法》、《天津市河道管理条例》等的相关规定（详见 2.4.2 节~2.4.5 节），对桥梁工程涉河建筑物划分水行政审批权限范围隶属。

1.4.1 建设项目与河道/河口管理区、岸线规划和防潮闸管护范围关系

根据并线桥项目工程建设方案总体布置，本项目工程涉及防洪影响评价的建筑物为 P06~P14 共 15 个桥墩，其中河道内 6 个桥墩（承台）P08~P13（自河道右至左）。

与河道/河口管理区、岸线规划和防潮闸管护范围等的关系具体为：桥墩 P00~P07 涉及永定新河右岸岸线保护区（河道右岸红线区域），P07 还涉及右堤护堤地和邻近

右堤外坡脚线（其承台与之最近相距 1.16m）；P05~P08 涉及防潮闸水闸管理范围，P03~P09 涉及防潮闸保护范围，P06~P10 涉及永定新河口管理范围；P08 在右岸岸线保护区外东侧 2.18m；桥墩 P12~P14 三桥墩涉及永定新河左岸岸线控制利用区（河道左岸青线区域），其中 P13 在左堤内坡脚线以里（其承台与之最近 2.82m）。因其不妨碍行洪，也不影响河势稳定和危害堤防安全，桥墩 P00~P05 不直接涉及防洪影响评价。

界址点 B 为并线桥桥墩轴线与永定新河口管理区闸上河段右岸界址线 AC 的交点，界址点 E 为并线桥桥墩轴线与永定新河口管理区闸上河段北侧界址线 DF 的交点。注：此处“河口管理区”闸上河段界址线根据《海河独流减河永定新河河口管理办法》相关定义文本划定，故界址点坐标仅供参考；因左堤外坡脚线位置不显著，左岸一侧河口管理线走向（FG）取为与水闸管理范围线相重叠。

1.4.2 涉河建设项目海委审批权限范围

《海河独流减河永定新河河口管理办法》等法律法规，赋予水利部海河水利委员会（以下简称“海委”）在永定新河口行使包括河口综合整治规划在内的水行政审批管理权限。经征询并得到海委和天津市水务局相关主管部门同意，同时为简化表述，根据永定新河口管理范围（闸上河段）的定界，沿并线桥桥墩轴线以界址点 B 和 E 作为分界点，对并线桥工程涉及防洪影响评价的桥墩划分审批权限范围。

将桥墩 P06（桥墩中心坐标：X=4330636.1131,Y=562338.2285，2000 国家大地坐标，下同）~P10（桥墩中心坐标：X=4330851.0369,Y=562623.6410）区分为海委审批权限范围。该范围工程方案须经海委根据防洪要求审查同意。

因 P06 桥墩也在永定新河防潮闸管理范围内，因此，该桥墩工程布置方案也要得到防潮闸管理所隶属的天津市永定河管理处的同意。

1.4.3 涉河建设项目天津市水务局审批权限范围

《天津市河道管理条例》和《天津市河湖岸线保护和利用规划》等法律法规，赋予天津市水务局在永定新河行使涉河建设项目审批权限，一直以来永定新河河道和防潮闸的管理隶属天津市水务局。防潮闸上游附近右岸岸线保护区，其功能是保护防潮闸及堤防相关防洪与水利设施安全；防潮闸上游附近为左岸岸线控制利用区，而闸上

水文（位）站（新防潮闸）隶属于天津市管辖的国家基本水文测站。

鉴于上述管理范围隶属，将河道内桥墩 P10（桥墩中心坐标：X=4330851.0369，Y=562623.6410）、P11（X=4330946.3441，Y=562761.9968）和左岸附近的 P12（X=4331039.9494，Y=562897.8821）~P14（X=4331135.9576，Y=563021.0747）区分为天津市水务局审批权限范围。该范围工程方案须经天津水务局根据防洪要求审查同意。

2 基本情况

2.1 建设项目基本情况

2.1.1 涉河工程建设方案

(1) 涉河工程方案总体布局

涉河工程方案总体布局：并线桥项目位于彩虹桥南侧，与现有彩虹桥平行，两桥主桥轴线相距 35.3m，与彩虹桥主桥孔对孔、主桥墩顺流对齐布置，上部结构相距 10.3m，主桥墩承台相距 6.2m，功能上实现与现状彩虹桥上下通行，河槽中主桥墩从水工建筑物角度可视为一体。并线桥左右两侧为引桥，中间为主桥，桥面宽度 21m，主桥轴线走向为 $55^{\circ} 26' 19.6'' - 235^{\circ} 26' 19.6''$ 。P06~P14 跨河桥梁采用 73+86+165+168+165+86+70(m)七跨连续梁结构布置，总长 848m，其中 6 个桥墩 P08~P13 位于河道内；采用立交方式跨越永定新河左、右堤，跨径分别为 70m、73m，桥墩轴线（河道桩号 62+235）与左、右堤的夹角分别为 39.03° 和 57.38° ，对应左堤桩号为 64+510，右堤桩号为 62+765。P13 承台在左堤内坡脚线以里（最近相距 2.82m），P07 承台在右堤外坡脚线外（最近相距 1.16m），P08 承台在右堤内坡脚线以里 21.3m。桥梁轴线与河道中高水流方向夹角 85° ，接近正交。全桥共有 P01~P20 桥墩 19 个，P00 和 P21 为桥台。并线桥中心主桥孔在永定新河防潮闸上游约 550m 处，与西北上游三河岛岛体中心相距约 300m，P11 桥墩与正北上游蓟运河闸相距约 800m。

并线桥全长 1238m，桥梁起点 P00 桥墩（台）中心坐标（X=4330488.1891，Y=562235.9939，国家 2000 大地坐标系，下同），终点 P21 桥墩（台）（X=4331306.7751，Y=563142.8889），其中，涉及防洪影响评价的桥墩为 P06~P14，桥墩中心线与右堤中心线交点（X=4330681.0226，Y=562382.0036）、P06（X=4330636.1131，Y=562338.2285）、P07（X=4330661.8523，Y=562361.6079）、P08（X=4330708.5405，Y=562417.0593）、P09（X=4330757.4316，Y=562487.7558）、P10（X=4330851.0369，Y=562623.6410）为海委审批权限范围；P10（X=4330851.0369，Y=562623.6410）、P11（X=4330946.3441，Y=562761.9968）、P12（X=4331039.9494，Y=562897.8821）、P13（X=4331089.7398，Y=562968.1643）、P14（X=4331135.9576，Y=563021.0747）和桥墩中心线与左堤中心线

交点（X=4331112.1796，Y=562995.4113）为天津水务局审批权限范围。桥墩P10位于海委与天津水务局审批权限范围交界处。

表 2.2 为并线桥项目跨河跨堤梁底高程一览表。并线桥跨越左堤、右堤处梁底高程分别为 9.622m 和 8.482m，左堤、右堤的堤顶规划设计高程分别为 4.751m 和 5.751m，左、右堤堤顶路净空高度分别为 4.871m、2.731m。为了 P07 桥墩避开堤身，跨右堤采用 73m 大跨径，因而梁较高，右堤不能满足 4.5m 净空，采用满足下一等级净空 2.5m，可满足小汽车通行。自左至右河道内桥孔的梁底高程分别为 3.51m、3.51m、4.00m、3.51m 和 3.51m；右堤绕行路净宽 6m，绕行处梁底高程为 8.75m，并线桥下路面最高高程 3.95m，即最小净空高度 4.80m，满足 4.5m 净空要求。河道内梁底高程满足《城市桥梁设计规范》CJJ 11-2011（2019 版）非通航河流无大漂流物设计规范要求。

表 2.2 并线桥项目跨河跨堤梁底高程一览表

桥墩编号	梁底标高，85 基面[m]	备注	审批权限范围隶属
P06~P07	8.752m，右堤绕行路面 3.952m	35m 跨径桥孔，与东海路相邻；绕行路最小净空 4.80m	水利部 海河水利委员会
P07~P08	8.482m，右堤堤顶设计 高程 5.751m	73m 跨径桥孔，跨越右堤；右堤净空 2.731m	
P08~P09	3.512	86m 跨径桥孔，最小净空 0.761m	
P09~P10	3.512	165m 跨径主桥孔，最小净空 0.761m	
P10~P11	4.007	168m 跨径主桥孔，最小净空 1.256m	天津市水务局
P11~P12	3.512	165m 跨径主桥孔，最小净空 0.761m	
P12~P13	3.512	86m 跨径桥孔，最小净空 0.761m	
P13~P14	9.622m，左堤堤顶设计 高程 4.751m	70m 跨径桥孔，跨越左堤，此处左堤与道路相连，无明显外坡脚；左堤净空 4.871m	
P14~P15	9.582	30m 跨径桥孔，和惠路	

(2) 建设规模

现状彩虹桥建于 1998 年，桥梁规模为双向 4 车道。随着区域城市建设发展，现状彩虹桥通行能力已经饱和，早晚拥堵现象已成常态。为解决现状彩虹桥的拥堵现状，提高永定新河北部汉沽、生态城与南部北塘地区、天津经济开发区和天津中心城区的连通效率，拟位于现状彩虹桥东侧新建单向 4 车道并线桥进生态城，改造现状彩虹桥为单向 4 车道出生态城。本建设项目道路等级为城市主干路，双向 8 车道规模，设计车速 60km/h，项目建设批复投资为 59974.56 万元。

(3) 涉河工程结构形式

2023年9-10月，根据并线桥防洪评价报告咨询会专家意见，设计单位优化调整了并线桥平面布置方案布局 and 主桥墩承台高程。涉河8个主桥墩是P07、P08、P09、P10、P11、P12、P13和P14，主桥跨径布置采用(73+86+165+168+165+86+70)m七跨连续梁结构跨越河道，总长为813m；引桥采用小箱梁，南侧引桥跨径组合为4×30m+(30+30+35)m，北侧引桥跨径组合为3×30m+4×30m，桥梁总长1238m。按照设计方案，P07~P13桥墩为长椭圆形截面柱体，其平面外轮廓尺寸为：P07、P08和P13桥墩16m长×4m宽，P09~P12桥墩18m×6m；桥墩承台为长方体，P07桥墩承台21.25m长×10.0m宽×2.5m高，P08和P13桥墩承台21.25m×10.0m×3.0m，P09~P12桥墩承台21.25m×13.75m×3.5m；P07、P08和P13桥墩承台桩基为3排×6根=18根（桩径 $\Phi=1.50\text{m}$ ）钻孔灌注桩，P09~P12桥墩承台桩基为4排×6根=24根（桩径 $\Phi=1.50\text{m}$ ）钻孔灌注桩。

河道内P08~P13主桥墩承台面均在最大冲刷线0.5m以下。

2.1.2 设计防洪标准

(1) 设计防洪标准

并线桥项目设计洪水频率为1%，亦即100年一遇防洪设计标准。

(2) 相应水位、流量等参数

根据《海河流域防洪规划报告》（国务院国函[2008]11号批复）和“永定新河治理二期工程初步设计报告”，工程涉及的永定新河段设计流量为 $4640\text{m}^3/\text{s}$ （100年一遇防洪标准），该河右堤是天津市城市防洪圈北部防线，防洪标准为200年一遇，左堤防洪标准为100年一遇。根据线性插值，得到彩虹大桥(62+200)与并线桥(62+235)桥轴线断面设计水位分别为2.751m和2.746m。本报告在水文分析时，彩虹大桥(62+200)与并线桥(62+235)桥轴线断面设计水位均采用2.751m。

永定新河防潮闸设计泄洪流量 $4640\text{m}^3/\text{s}$ ，校核泄洪流量 $4820\text{m}^3/\text{s}$ ，当外海水位为汛期高高潮平均值2.341m时，防潮闸闸上、闸下设计水位分别为2.641m和2.491m。

海河“23.7”流域性特大洪水（详见第2章2.2.2节），在永定新河口产生了4.10天（泄洪有间断）平均流量 $1922\text{m}^3/\text{s}$ ，1.78天（连续泄洪）平均流量为 $2103\text{m}^3/\text{s}$ 。 $2000\text{m}^3/\text{s}$

约为设计流量的 43%，本报告称 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 为一般洪水流量。

2.1.3 施工方案

(1) 建设项目施工方案和施工安排

根据本建设项目施工方案，本工程施工安排预计在 2024 年 12 月至 2027 年 9 月。根据《海河流域防洪规划》，汛期工程施工河段永定新河承泄 $4640\text{m}^3/\text{s}$ ；非汛期工程施工河段设计洪水为 10 年一遇，流量为 $1450\text{m}^3/\text{s}$ 。本工程施工主要分为四个阶段，第一阶段为桥梁工程施工，第二阶段为道路工程施工，第三阶段为附属工程施工，第四阶段为绿化工程恢复。总工期预计 33.5 个月。

(2) 桥梁工程施工方案

本工程涉及防洪部分主要为第一阶段桥梁工程施工。桥梁工程主要分为引桥工程 and 主桥工程，引桥采用预制预应力混凝土箱梁结构，主桥采用钢箱梁结构。

引桥工程施工流程包括：绿化及结构拆除、管线改迁→场地平整和硬化→钢栈桥施工→桩基施工→承台施工→墩柱施工→盖梁施工→支座安装→预制梁施工及架设→桥面附属结构施工→验收通车。

桥梁工程施工方案如下：

1) 拆绿改管线施工方案

① 绿化迁移流程为：现场放线测量→行政许可中心申请→资料准备→审批局审批→现场调查→上报预算报价→报价审批→绿化迁移→现场施工→归还临时破绿场地→绿化恢复。

② 管线改移

我单位派专人负责配合协调影响施工的线路拆改工作。我单位根据建设单位要求及时配合联系产权所有单位，和产权所有单位协商确定拆除或迁移方案，办理拆迁手续。

对于所有权明确，能够联系到产权人的私有构筑物，积极和产权人协商确定拆除或迁移方案。对于所有权不明确或一时无法联系到产权人的构筑物，为了不影响整体施工进度，加强走访并在媒体上发布或在现场及周边区域显著位置张贴拆迁公告，公告拆迁期限，到期仍找不到产权人，再经建设单位同意后进行拆除或迁移。

2) 场地平整临建

场地平整和硬化：根据现场施工需要，在桥梁东侧进行施工临时道路硬化，临时道路采用 C30 混凝土，宽度为 9m，厚度 25cm，部分根据实际需要进行调整。

3) 钢栈桥施工方案

主桥钢栈桥宽度为 9m，跨径 12m，总长度约 698.2m，沿桥梁走向大致平行布置。栈桥横向布置 3 根钢管桩，采用 $\Phi 630\text{mm} \times 12\text{mm}$ 钢管桩，钢管桩总长 36m、入土约 26.4m。钢管桩顶双拼 45b 工字钢横梁，纵向主梁采用“321”贝雷桁架结构，9m 宽钢栈桥横向布置 4 组 3+2+2+3 片，贝雷梁顶部铺设纵横向分配梁和桥面板，横向分配梁为设置 25b 工字钢，间距 750mm、长度 9m。桥面板采用 10mm 厚的花纹钢板，钢板下设置 12.6 工字钢，间距 300mm。柱间设置 C20 型槽钢系杆。

① 钢栈桥施工方法

钢管桩为 $\Phi 630 \times 12\text{mm}$ 型号，钢管桩总长 36m、入土约 26.4m。钢管桩在钢结构加工场按设计长度拼接成型，平板车运至现场。钢管桩采用两点吊，每节桩顶部设置两个对称吊点，吊点直接在钢管桩顶处割孔穿入 U 型扣。钢管桩在运至打桩现场前，预先进行防腐处理，并在桩上用油漆作出刻度标示，便于打桩时观测其贯入度。钢管桩采用 QUY-50 履带吊配合 DZ60、DZ90 型振动锤振动下沉。

钢管桩下沉控制采取标高与贯入度双控，贯入度控制为主，以保证单桩承载力。打桩时技术人员进行实时观测，记录钢管桩的入土深度及贯入度，做好相应的施工记录。安装纵向分配梁及桥面板，前移至下一孔，按此方法推进，直至栈桥施工完毕。

② 横梁安装

钢管桩下沉到位后，割除桩顶至设计标高并开设槽口，将拼装成整体的主横梁双拼 45b 工字钢横梁吊装嵌入槽口内，钢管桩下槽口一定要割平，如出现切割不平整时，采用手工打磨平顺，以保证主横梁搁置平稳，在槽口两侧和下部焊接加劲板将主横梁与钢管桩焊接固定，焊接采用三围焊接法。

③ 纵梁及桥面安装

纵向主梁采用“321”贝雷桁架结构，9m 宽钢栈桥横向布置 4 组 3+2+2+3 片，贝雷梁顶部铺设纵横向分配梁和桥面板，横向分配梁为设置 25b 工字钢，间距 750mm、

长度 9m。桥面板采用 10mm 厚的花纹钢板，钢板下设置 12.6 工字钢，间距 300mm。柱间设置 C20 型槽钢系杆。

4) 桩基施工

桩基根据现场地质情况选择正循环或冲击钻施工，其施工平台与栈桥搭设相同，同时依次打入桩基钢护筒，钻进期间现场泥浆采用泥浆车外运，成孔符合要求后安装钢筋笼，浇筑水下混凝土。

桩基施工主要工序：钢护筒埋设→泥浆制备→钻孔→成孔与第一次清孔→钢筋笼制作→导管安装及第二次清孔→水下混凝土灌注→桩基检测。

5) 围堰施工

①围堰施工方法主要流程

材料进场验收→锁扣钢管桩施工（施工放样与定位，钢管桩打入）→钢管桩引孔施工（若钢管桩插打困难，采用长螺旋钻机或定制小型旋挖钻机进行引孔施工）→降水井施工（降水井布置，降水井施工，试降水，降水）→基坑开挖施工（不封底开挖，[若降水井无法将水位降低，则采取水下挖泥后进行混凝土]封底开挖）→[若降水井无法将水位降低，则在水下吸泥后进行]基坑封底混凝土施工（封底混凝土厚度为 3m，采用封底平台浇筑水下混凝土）→[若降水井顺利降低围堰内水位，则采用]不封底垫层施工→围檩及内支撑施工（围檩下牛腿安装，围檩安装，内撑安装）→预加轴力施工→防渗堵漏施工（锁扣处防渗堵漏，围堰内外堵漏）→上下爬梯布置。

6) 承台施工方案

桩基施工完成后浇筑封底混凝土，然后抽出围堰内存水，进行承台施工。

承台施工顺序：土方开挖→桩头凿除、桩基检测→承台钢筋绑扎→模板支立→混凝土浇筑→模板拆除、洒水养护。

7) 墩柱施工方案

墩柱施工顺序：桩头凿除→桩基检测→钢筋工程→模板工程→混凝土工程。

8) 引桥盖梁施工方案

引桥盖梁施工顺序：支架搭设→骨架加工→盖梁钢筋绑扎→防震挡块钢筋绑扎→

垫石钢筋绑扎→模板工程→混凝土工程→洒水养护。

9) 水中临时墩施工方案

水中临时墩施工顺序：水中钢管桩打设→顶部型钢平台施工→节段吊装就位→临时墩调节（[在安装结束后]钢梁整体卸载）→水中临时支墩拆除。

10) 钢箱梁安装施工方案

钢箱梁安装施工顺序：钢箱梁节段进场→水中临时墩施工→节段吊装→钢箱梁绑扎、起吊就位、校正和临时加固。

11) 围堰及钢便桥拆除施工方案

为减少临时支撑对河道行洪的影响，在6月1日前完成河中全部下部结构施工，并拆除围堰及桥墩 P09 至 P12 范围内钢便桥，在汛期过后重新架设河道内被拆除的钢便桥，以便后续施工。

围堰及钢便桥拆除施工顺序：围堰拆除（吊车固定钢支撑，把千斤顶放到原支撑点，用千斤顶支顶钢支撑，千斤顶逐步回油卸力，移走千斤顶，钢支撑和活动端连接牢固，钢支撑平移，汽车吊卷筒制动、起吊钢支撑，人工调整钢支撑方向，避让上部支撑，吊至地面）→钢管桩拔除→钢便桥拆除（桥面结构拆除，贝雷梁拆除，横梁、纵梁拆除，钢管桩拔除）。

12) 预制箱梁施工方案

预制箱梁施工顺序：钢筋工程→模板工程→混凝土工程→预制箱梁存放→预应力施工（钢绞线进场，锚具、夹具、连接器进场，波纹管安装前准备，波纹管安装，钢绞线、锚垫板安装，钢绞线穿束，张拉施工，真空压浆施工）。

13) 预制箱梁架设方案

全桥预制箱梁共 98 片，北塘侧 30m 预制小箱梁 49 片，生态城侧 30m 预制小箱梁 42 片，35m 预制小箱梁 7 片。预制箱梁架设拟采用两台吊机抬吊进行架设。

预制箱梁架设施工顺序：场地平整→场地基础处理→吊机就位→吊机检查及试运行→架梁施工准备→起吊架设。

桥梁主桥工程施工流程包括：场地平整（硬化）→临时便道（钢栈桥和平台搭设）→桩基施工→围堰（基坑支护）施工→承台施工→墩柱施工→围堰（桥墩施工平台）

拆除→临时支架及吊装平台搭设→钢箱梁分段安装→钢箱梁接口焊接→钢箱梁接口补漆→临时支架及吊装平台拆除→临时便道（栈桥）拆除→桥面附属结构施工→验收竣工通车。

各施工方案流程参见前文。主桥工程的桥墩为 P08~P13。

主桥工程共有 4 个钢围堰（P09~P12），位于河道断面中部区域，每个钢围堰平面外形尺度为 27.25m×19.75m，其顶标高为+5.42m，钢管桩底标高为-26.58m。在非汛期桥梁施工期，一条宽度为 9m、下部为钢管桩结构的施工栈桥布置于主桥轴线下游约 21m 处，对应河道内三个主桥孔范围内顺流方向施工栈桥下共有 52 排、每排 3 根 $\Phi 630 \times 12\text{mm}$ 型号钢管桩。

(3) 桥墩承台基坑设计与施工方案

针对“P07 桥墩承台基坑位于堤顶路西侧、承台边缘距堤顶路外坡脚最近处相距 1.16m”，为进一步消减对右堤的可能不利影响，细化 P07 桥墩承台基坑设计方案和施工方案如下：

基坑内净尺寸为 17.7m×10.2m，基坑深度为 3.5m，采用 U 型钢板桩（PU400×170×15.5）的支护结构形式，桩长 12m、桩厚约 0.5m，施工完成后，U 型钢板桩支护桩不予拔除，永久留在基坑内。

竖向设置一道钢围檩及钢支撑，钢围檩采用双拼 40b 工字钢，钢支撑采用 $\Phi 406$ （ $t=16$ ）钢管撑。坑底以下 3m 注浆封底。注浆采用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥，水泥掺量不低于 7%，水灰比为 1.0，浆液注入率为 20%，注浆压力 0.2~0.3MPa。加固体 28 天静力触探比贯入阻力 $P_s > 1.4\text{MPa}$ 。

(4) 桥面排水设计方案

为了保护桥位河道堤防，并线桥主桥采用集中排水，主桥范围不设置落水管。通过在桥面低侧顺桥向设置矩形线性排水沟，将桥面的雨水分别引至 P07、P15 桥墩，沿桥墩向下引至市政管网，雨水排放不冲刷堤身。

(5) 关于汛期施工安排的说明

桥梁施工期间需要在河道中搭设钢便桥、围堰、临时支撑、吊装平台等临时措施，会减少河道行洪断面而可能对河道行洪不利。为保证施工期间的行洪安全，每年汛期

期间（6月1日~9月30日）安排完全不影响河道行洪的施工作业，并尽量减少河道中的临时结构，桥梁施工主要施工作业安排在非汛期。预计安排如下：

① 在2024年12月-2025年2月28日进行拆绿改管线、场地平整及临建施工。

② 在2025年汛期结束后，2026年汛期前2024年9月16日~2025年10月30日进行钢栈桥施工、2025年10月31日~2026年5月11日进行围堰、下部结构以及引桥下部结构施工，确保在汛期来临前完成所有下部结构施工，在2026年5月12日~2026年5月31日拆除围堰及桥墩P09~P12范围内的钢栈桥，减少阻水。

③ 在2026年汛期结束后，2026年10月1日~2026年10月30日重新插打桥墩P09~P12范围内钢栈桥，搭建施工临时支撑及吊装平台，在2027年汛期前2026年11月1日~2027年6月1日完成主桥钢主梁安装。

④ 2027年汛期开始前10-15天内，拆除水中除主体结构外的所有临时构件。

⑤ 2027年汛期开始前，水中除主体结构外，不保留任何临时设施。

⑥ 2027年汛期结束后进行桥面附属设施及引桥施工。预计在2027年9月竣工验收。

(6) 施工期（非汛期）上游来水围堰的预案

河道内围堰顶高程为3.751m，比河道设计最高洪水位2.751m高1m，围堰经过计算，各个工况下均满足相关规范要求，能够抵挡非汛期上游来水冲击。

2.2 河道基本情况

2.2.1 流域概况

(1) 自然地理

永定新河位于天津北部，西起天津市北辰区屈家店，东至滨天津海新区北塘镇入渤海湾，全长66km，控制流域面积8.3万km²。2011年5月，入海口永定新河防潮闸（63+041）建成投入运行。永定新河右堤是天津城市防洪圈的北部防线（防洪标准200年一遇），河道行洪能力直接关系到天津、北京和河北地区的防洪安全，永定新河在海河流域的防洪治理中占有极其重要的地位。

(2) 河流水系

永定新河地处永定河下游，是海河流域北系四河（永定河、北运河、潮白新河、

蓟运河)洪水的入海通道。

永定河,古称治水、灤水、桑干河、卢沟、浑河、无定河。是海河流域七大水系之一。流经内蒙古、山西、河北三省区、北京、天津两个直辖市共 43 个县市,于屈家店与北运河汇合,部分洪水由北运河入海河,大部分洪水经永定新河于天津市滨海新区北塘入渤海。河流全长 747km,河道平均比降 2.85‰。全流域面积 4.7 万 km²。

永定河上游流经黄土高原,因含沙量大而历史有“小黄河”“浑河”之称。下游河道因泥沙淤积形成地上河,而且迁徙不定,故旧称“无定河”。1950~1960 年代,先后在上游修建了册田、友谊、官厅三座大型水库(总库容 29.66 亿 m³),控制流域面积 43402km²,下游设置了永定河泛区、三角淀用以蓄洪滞洪,1971 年开挖建成永定新河入海河道,基本解决了洪涝问题。

(3) 水文气象

① 气候

永定新河地处半湿润大陆性季风型气候区,主要特点是四季分明,春季干旱多风,夏季炎热多雨,秋季晴朗气爽,冬季寒冷干燥。塘沽气象站 1971~2000 年 30 年多年平均雨量 566.1mm,每年汛期(6 月~9 月)雨量约占全年 80%。最大年雨量 941.5mm(1977 年),最小年雨量 196.6mm(1989 年),最大日雨量 191.5mm(1975 年 7 月 30 日)。最大冻土深度 59cm,最大积雪 26cm。

塘沽地区近期 20 年(1997~2016 年)多年平均气温 13.5℃,最高气温 40.9℃,最低气温-18.4℃(2010 年 1 月 6 日,破 1953 年 1 月 17 日最低气温-18.3℃)。多年平均降雨量 539.7mm,略有减少;最大日降雨量 160.4mm(2010 年 8 月 21 日)。最大风速 23.0m/s(2012 年 6 月 9 日),略小于历史最大风速 27m/s。4 月份平均风速 3.8m/s 年内最大,5 月份平均风速 3.6m/s 次之。8 月和 9 月份平均风速 2.5m/s,年内最小。

② 水文泥沙

受宏观气候变化和人类活动影响及各汇入河道上游拦蓄,永定新河自投入运行以来径流逐年减少,枯水年份几乎无径流下泄。据永定新河 1972 年 7 月~2005 年 6 月 34 年资料统计,多年平均径流量:13.875 亿 m³(不包括机场排污河 20m³/s),最大年径流量为 55.86 亿 m³(1978 年 7 月~1979 年 6 月),最小年径流量为 0.06 亿 m³(1983

年 7 月~1984 年 6 月)。1972~1998 年汛期年均入海泥沙 12.16 万 t, 1972~1987 年年均入海泥沙 26.12 万 t, 每年汛期泥沙入海量所占份额较大。

入海径流主要来自尾部汇入的潮白新河和蓟运河, 年际丰枯悬殊、年内汛期集中。潮白新河和蓟运河多年平均径流量分别为 6.76 亿 m³ 和 6.04 亿 m³, 两汇入河多年平均径流量合计约占河口入海径流总量的 80%。

③ 永定新河口海洋水文

根据历史实测资料分析, 塘沽地区潮汐属不规则半日潮, 昼夜两涨两落, 滞后约 45 分钟, 日潮不等现象明显, 涨潮历时约 5.5 小时, 落潮历时约 7 小时。多年平均潮差 2.43m, 最大潮差 4.37m, 多年平均海平面为-0.108m (理论基面 2.56m、大沽基面 1.56m), 汛期多年最高高潮位平均为 2.341m (56 黄海基面 2.37m、大沽基面 4.009m)。

海洋部门、海运或涉海工程一般关注理论基面相关的潮位特征值, 而潮位特征值也是河流防洪规划与管理的重要参数之一, 例如, 在永定新河防洪规划设计中, 采用汛期多年最高高潮位平均 2.341m 作为河口的外海水位边界条件。

(4) 社会经济

永定新河位于天津市区的北部, 主要经过北辰区、东丽区、滨海新区, 区域内人口密集, 经济发达。

北辰区位于中心城区北部, 辖区总面积 478.48km²。截至 2020 年, 北辰区常住人口约 91 万人。2020 年, 北辰区地区生产总值 624.1 亿元, 按可比价格计算, 比上年增长 4.9%。其中, 第一产业增加值 6.7 亿元, 下降 7.9%; 第二产业增加值 279.0 亿元, 增长 5.6%; 第三产业增加值 338.5 亿元, 增长 4.5%。

东丽区位于天津市中部偏东, 辖区总面积 477.34km²。截至 2020 年, 东丽区下辖 11 个街道, 常住人口 85.7 万人。京山铁路、北环铁路、津塘公路、京津塘高速公路、津滨高速、津北公路与外环线、杨北公路横穿全境天津滨海国际机场坐落在区内紧靠天津港海河、金钟河在南北两端流过。东丽区是全国科技进步先进区、国家新型城镇化综合试点区、全国双拥模范城。2020 年, 东丽区地区生产总值增长 5%。一般公共预算收入 51.3 亿元; 固定资产投资增长 3%; 居民人均可支配收入增长 3.4%。

滨海新区位于天津东部沿海地区, 环渤海经济圈的中心地带, 总面积 2270km²。滨

海新区是国家级新区和国家综合配套改革试验区，国务院批准的第一个国家综合改革创新区。截至 2020 年，滨海新区常住人口 206.7 万人。2020 年，滨海新区全区生产总值比上年增长 2.3%。其中，第一产业增长 1.6%，第二产业增长 2.6%，第三产业增长 2.0%，三次产业结构为 0.3:45.4:54.3。

2.2.2 河道基本情况

(1) 流域面积

永定新河防潮闸控制海河流域水系北四河流域面积约 8.3 万 km²。

(2) 河道长度

永定新河人工开挖河道西起天津市北辰区屈家店，东至滨天津海新区北塘镇入渤海湾，全长 66km。早期入海口（66+000）处于较典型淤泥质海岸，呈喇叭形。2010 年 5 月，永定新河防潮闸建成投运，随着河口两岸滩涂造陆实施，逐渐形成长约 9.6km 闸下通道，闸下约 3km 处宽度 1150m，闸下约 7km 处 1750m，外海段通道宽度在 1750m 以上。若以永定新河防潮闸为河道下界，则现在永定新河河道长约 63km。闸下引河长度约 9.6km。

(3) 主要支流

永定新河是海河流域北系四河（永定河、潮白河、北运河、蓟运河）的共同入海通道，自上而下，左岸依次有机场排水河、北京排污河、潮白新河、蓟运河等河道汇入，右岸依次有金钟河、北塘排污河、黑猪河等排沥河道汇入。

(4) 水利工程布局

永定新河自上而下主要水利工程的布局：上游进口曲家店水利枢纽（0+000，设计流量 1020+380=1400m³/s）、机场排污河（19+470、左岸，芦新河泵站，设计流量 30m³/s）、深槽橡胶坝（26+000）、北京排污河（26+100、左岸，设计流量 325m³/s）、潮白新河口宁车沽闸（54+500、左岸，设计流量 2100m³/s、校核流量 3060m³/s），蓟运河闸（62+100、左岸，设计流量 1300m³/s）和永定新河防潮闸（63+041，设计流量 4640m³/s、校核流量 4820m³/s）。

屈家店水利枢纽 位于天津市北辰区屈家店村东北、永定河尾闾与北运河交汇处，是控制泄入海河流量、确保天津防洪安全的国家一级工程，对护卫天津城和京山铁路

至关重要，引滦工程建成后该枢纽同时承担水资源调度功能。最初由北运河船闸（现已废）、北运河节制闸、新引河进洪闸和永定新河进洪闸组成，始建于上世纪 30 年代。设计赋予其主要功用是防汛，兼具调蓄水、节制、灌溉供水等项功能。汛期泄洪排涝，泄北运河、永定河洪水经永定新河入海，同时也缓解其上游（北京市、河北省域内）河流的防涝泄洪压力。2010 年 5 月以后由建成启用的永定新河防潮闸承担。

河道清淤工程 永定新河治理一期工程（2007-2011 年）扩挖清淤 13 公里河道。挡潮埝（53+000）～潮白新河河口（54+500）段按过流能力 $900\text{m}^3/\text{s}$ 、潮白新河河口以下河道即 54+500～66+000 按 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 标准进行清淤，以满足永定新河上游下泄 $900\text{m}^3/\text{s}$ 和潮白新河下泄原设计流量 $2100\text{m}^3/\text{s}$ 的要求。

永定新河治理二期工程（2013-2015 年）全河段河道清淤总量为 2095.54万 m^3 （包括潮白新河宁车沽闸下清淤），其中河口防潮闸闸上清淤 1696.80万 m^3 ，闸下清淤 398.74万 m^3 。河道扩挖及挡潮埝拆除工程量 730.43万 m^3 ，河道扩挖位于 44+000～59+090 河段。滩地隔埝平整 52.86万 m^3 。

永定新河防潮闸 位于天津市滨海新区塘沽北塘镇，2010 年 5 月底建成投入运行，主要建筑物为 2 级水工建筑物，具有双向挡水功能，正常蓄水位 0.971m ，设计挡潮潮水位 4.871m ，闸顶高程 7.281m 。该闸为采用深浅孔相结合的闸型，深孔底板高程 -6.029m ，浅孔底板高程 -1.029m 。防潮闸共 20 个闸孔，单孔净宽 15m ，中间深孔 8 孔，两侧浅孔各 6 孔。闸室结构为筏式整体结构平板，底板厚 2.0m ，两孔一联，中墩厚 20m ，缝墩厚 1.5m 。闸室总宽约 350m ，其中深孔闸室宽 140m ，两侧浅孔闸室均为 105m 。

防潮闸 50 年一遇设计流量 $4640\text{m}^3/\text{s}$ ，当外海水位为汛期高高潮位平均值 2.341m 时，防潮闸闸上、闸下设计水位分别为 2.641m 和 2.491m 。校核流量 $4820\text{m}^3/\text{s}$ ，闸上、闸下设计水位分别为 2.691m 和 2.511m 。

（5）河道现状与规划治理标准

永定新河是以深槽行洪为主的复式河道，大张庄以上 14.5km 为三堤两河，北河为永定新河，宽 300m 、设计深槽底宽 130m 、设计过水能力 $1020\text{m}^3/\text{s}$ ，南河为新引河，宽 200m 、设计深槽底宽 30m 、设计过水能力 $380\text{m}^3/\text{s}$ ；大张庄以下合并为一河，河宽

500~600m，设计深槽底宽 180~200m。大张庄闸至宁车沽闸河宽 500m，宁车沽闸以下河宽 500-750m。河底比降：河道上游段 26km 河底纵坡为 1/13000，中下段 37km 河底纵坡为 1/9000。永定新河左堤为 2 级堤防，堤顶高程为 100 年一遇洪水位加超高 2.0m；右堤为 1 级堤防，防洪标准 200 年一遇，堤顶高程高于左堤 1.0m。

经过一期治理工程（2012 年 8 月竣工验收）和二期治理工程（2015 年完成），永定新河泄流能力达到了防洪设计标准，即为国务院批复《海河流域防洪规划》确定的 100 年一遇洪水设计标准。

（6）河口治理

水利部 2009 年 9 月以水规计[2009]456 号批复了永定新河口治导线调整方案。随着河口两岸天津生态城临海新城和天津港东疆保税港区等相继建成，永定新河口附近海域岸线基本呈人工岸线形态。防潮闸位于 63+041，河口综合整治规划治导线外海端点 77+320，闸下通道 70+600 以下宽度为 1750m。闸下通道规划长约 14.32km。因河口左侧外段有近 5km 治导线固化导堤尚未实施，目前闸下河道长约 9.6km。

永定新河防潮闸 2010 年 5 月建成投运，闸上河道从此不再受渤海湾潮汐和海相泥沙的影响，保障和维护了河道的设计泄洪能力。为了确保防潮闸及闸下引河的设计泄流能力，闸下规划设计清淤槽按参考文献^[3]中要求实施，即闸下里程 63+192~66+000 清淤底高程-6.029m~-4.029m、底宽 172~240m，清淤槽边坡 1:6，里程 66+000~67+000 之间以 1:10 倒坡与自然地形衔接。

（7）历史洪（潮）水

根据 1972~2001 年 30 年资料记载，潮白新河发生大于 1500m³/s 的洪峰流量共 8 次，蓟运河发生大于 1300m³/s 的洪峰流量共 5 次（见表 2.6）。永定新河入海最大洪峰流量为 3280m³/s（1979 年 8 月）。2023 年 8 月入海最大洪峰流量为 2930m³/s，潮白新河洪峰流量 1500m³/s。2021 年、2022 年和 2023 年（截止到 8 月 20 日）永定新河口入海水量分别为 56 亿 m³、30 亿 m³ 和 20 亿 m³。

表 2.6 1972~2001 年潮白新河、蓟运河洪峰流量统计表

序号	潮白新河		蓟运河	
	发生年份	洪峰流量[m ³ /s]	发生年份	洪峰流量[m ³ /s]
1	1974 年	1590	1977 年	1590

2	1976 年	1570		1979 年	1460
3	1977 年	1830		1985 年	1430
4	1978 年	1770		1988 年	1390
5	1979 年	1970		1990 年	1640
6	1987 年	1540			
7	1988 年	1800			
8	1994 年	1580			

注：洪峰流量统计口径：潮白新河大于 1500m³/s、蓟运河大于 1300m³/s

受上游闸门启闭及潮白新河、蓟运河洪水不同步纳入影响，洪水过程呈多峰状，历时一般为 10 天左右，有的年份时间较长一些。

受台风“杜苏芮”减弱低压环流和冷空气共同影响，2023 年 7 月 28 日 8:00 至 8 月 2 日 8:00，海河流域普降大到暴雨，局地特大暴雨。在连续降雨影响下，此前子牙河、永定河、大清河相继发生编号洪水，流域 16 条河流发生超警以上洪水，4 条河流发生超保证洪水。大陆泽、宁晋泊、小清河分洪区、兰沟洼、东淀、献县泛区等蓄滞洪区相继启用。此次洪水称为海河“23.7”流域性特大洪水。

永定新河口洪水主要过程为 7 月 28 日 8:00~8 月 17 日 8:00，其中 7 月 31 日 8:00~8 月 4 日 10:26 期间（4.10 天，泄洪有间断；8 月 2 日 8:12 最大洪峰流量 2930m³/s）流量较大，平均流量 1922m³/s；而 8 月 1 日 15:43~8 月 3 日 10:22 期间（1.78 天）连续泄洪，平均流量 2103m³/s。

2.2.3 工程河段基本情况

（1）河道断面形态

并线桥轴线在南侧约 35m 平行于彩虹桥主桥轴线，位于永定新河河道与蓟运河闸下引河交汇处下游和三河岛下游，在永定新河防潮闸上游约 540m。工程河段因三河岛和蓟运河汇入而分汊，河势大体上如 Y 字形。

并线桥轴线河道现状地形（2022 年 9 月测图）呈现为单深槽断面形态，堤间距约为 750m，河道中间深槽底宽约 220m、平均底高程约 -6.03m，左侧滩地宽约 125m、高程为 +0.65~-0.50m，右侧滩地宽约 130m、高程为 +2.0~-0.5m。在设计水位时，并线桥轴线断面河道水面宽度比彩虹桥轴线断面水面宽约 90m。

并线桥项目工程位置以上流域面积与河口防潮闸处基本一致，即为约 8.3 万 km²。

(2) 河道地质

1) 永定新河地质概况

永定新河地处华北沉降带的东北部，即黄骅拗陷与沧县隆起过渡地带的北端，具有基岩埋藏深，第四系松散堆积物厚度大，地震活动性强的特点。勘探 20.0m 深度内，均为第四系全新统的松软堆积物。

在彩虹桥上游河段（河道桩号 41+500~60+200），河道地质主要为第四系全新统新近冲积层（ Q_4^3Nal ），自上而下由新近冲积层（ Q_4^3al ）、第 I 海相层（ Q_4^2m ）、粉质粘土和粉土四个亚层组成。

依据 1:400 万《中国地震动参数区划图》GB18306-2001，地震动峰值加速度，桩号 0+000~24+000 段堤防为 0.15g，相当于地震基本烈度 VII 度；桩号 24+000 以下堤防为 0.20g，相当于地震基本烈度 VIII 度。

2) 工程河段地质地貌

根据天津市勘察设计院集团有限公司《中新生态城彩虹桥并线工程勘察初步成果》，并线桥桥位轴线附近地质钻孔 Q11~Q14、Q15~Q18、Q19~Q22 和 Q23~Q26 分别位于拟建彩虹桥并线桥 P09、P10、P11 和 P12 桥墩处。

根据 Q16、Q17、Q19、Q21、Q22、Q25 和 Q26 孔位的地质土样土工试验成果数据，25m 以浅地质组成物中值粒径（ d_{50} ）主要为 0.040mm~0.063mm，属黏土或粉质黏土；而 25~40m 深度地质组成物中值粒径为 0.080mm~0.150mm 之间，属于细粉砂或粉砂粒径范畴。可见拟建并线桥主桥墩 32m 以浅地质剖面基本均匀，自上而下地层组成为淤泥（⑥₂）、粉质黏土（⑥₄、⑦、⑧₁）、黏土（⑨₁）和粉砂（⑨₂、⑩₂）。

从 1-1 地质剖面可见，并线桥主桥墩一线河床在 30m 深度以上组成底层的物质主要是淤泥质粉土、粉土和粉质黏土，其中上部淤泥质粉土的厚度较小，为 6.1~7.5m，其层底 85 高程为 -11.438~-13.038m（相应的 72 大沽基面-2015 高程为 -9.77~-11.37m）。按照《土的工程分类标准》（GB/T50145-2007），粉粒的粒径为 $0.005\text{mm} \leq d \leq 0.075\text{mm}$ ，黏粒粒径为 $d \leq 0.005\text{mm}$ 。

此外，根据地勘报告^[10]，并线桥桥位河段河床底层物质概况描述为细沙，其中值粒径为 0.064~0.383mm，平均中值粒径 0.123mm，取样深度 40m 以浅地层物质平均

中值粒径为 0.075~0.150mm。

工程区河段主要地貌单元，堤防外侧系海积冲积平原，地势低平，略向东南倾斜，坡降平缓，地面高程大致为 3.0~2.0m，低洼地处仅 0.30m 左右。堤内河床呈浅“U”字型，漫滩分布，堤外广布村庄、农田、鱼池、洼淀，两侧堤坡亦可见多处冲沟。

在本次防洪影响评价范围内，有一处史迹地貌，即三河岛，又称炮台岛。三河岛形成于明嘉靖年间，经填垫高地修筑了一座北营炮台，与右岸的南营炮台共同组成了北塘要塞。清朝时要塞先后三次大规模修缮加固，形成半岛形状。在清末八国联军进犯时炮台遭摧毁，但地基完好。

为保证天津汛期泄洪，1950 年人工开挖了潮白新河，1970 年到 1971 年开挖永定新河，炮台岛基址本与陆地相连，1973 年蓟运河拓宽时才被切断，因施工困难炮台遗址得以保留下来，形成岛屿现状。三河岛位于潮白河、永定新河、蓟运河三河汇流入海处，是天津海域唯一列入中国海岛志的岛屿，天津市地名委员会于 1983 年 12 月正式将其命名为“三河岛”。岛上右营炮台遗址 2013 年经天津市人民政府公布为天津市文物保护单位。

三河岛东临渤海，现有面积 1.59 公顷，岸线 562.5 米，最高高程 4.12 米。经 2010-2012 年建设修缮，现有主要设施为：一座主跨 180m 的三跨悬索木质步行桥将岛与永定新河右岸相连，步行桥两端两个 12 米高的桥墩建设成青色的石砖要塞炮楼，以及岛南端一座长约 30m 渔人码头。三河岛岛体中心（河道桩号 62+000）、岛体最南端渔人码头分别位于彩虹桥上游约 275m 和 122m。

（3）桥位河段堤防

根据永定新河治理工程一期项目设计，右堤 59+600~62+177 段为一级堤防，设计堤顶高程为 5.831~6.071m，为均质土堤型式。堤顶宽 8.0m，内外边坡均为 1:3。迎水侧在高程 3.871m 处设 1m 宽马道平台，背水侧在 3.471m 处设 2m 宽马道平台。平台以下采用干砌石防护或浆砌石护坡，基础为宽 0.5m、深 0.6m 的浆砌石墙；平台以上采用干砌预制砼框格护砌，内填碎石。堤顶铺设 5m 宽碎石路面。桥位河段左堤为二级堤防，其堤顶高程为 4.831~5.071m，比右堤堤顶低 1m，右堤堤身型式结构与右堤相似。经过一期治理工程（2012 年 8 月竣工验收）和二期治理工程（2015 年完成），

桥位河段堤防已经达到设计标准。

(4) 设计流量与设计水位

永定新河防洪采用《海河流域防洪规划》(2008年国务院批复)确定的100年一遇洪水设计标准。相应的河道设计流量洪水调度为:屈家店(0+000)~机场排水河(19+470)1400m³/s,机场排水河~北京排污河口(26+000)1420m³/s,北京排污河口~潮白新河口(54+500)1640m³/s,潮白新河口以下为4640m³/s,如表2.8所列。

表 2.8 永定新河防洪设计主要参数指标 (85 高程)

地名	河道桩号 [km]	堤顶高程[m]		设计水位 [m]	设计流量 [m ³ /s]	深槽底高程 [m]
		左堤	右堤			
曲家店闸上	0+000	7.721	8.721	5.721	1400	-0.029
曲家店闸下	0+000	7.521	8.521	5.521		-0.229
大张庄闸	14+504	6.781	7.781	4.781		-1.339
机场排水河	19+470	6.671	7.671	4.671		-1.809
北京排污河	26+100	6.391	7.391	4.391	1640	-2.239
金钟河	44+000	5.791	6.791	3.791		-4.229
潮白新河	54+500	5.551	6.551	3.551		-5.389
旧蓟运河	59+400	5.141	6.141	3.141	4640	-5.939
旧炮台	61+900	4.801	5.801	2.801		-6.029
蓟运河口	62+100	4.721	5.721	2.721		-6.029
防潮闸闸上	62+991	4.641	5.641	2.641		-6.029
防潮闸闸下	63+091	4.491	5.491	2.491		-6.029

注:蓟运河口相应水位、堤防高程等为线性插值所得。

根据防洪设计标准,永定新河右堤为1级堤防,200年一遇防洪标准;左堤为2级堤防,100年一遇防洪标准,右堤比左堤高1m。

如前文所述,在水文分析时,彩虹大桥与并线桥桥轴线断面设计水位均采用2.751m。设计流量4640m³/s条件下,永定新河防潮闸闸上、闸下设计水位分别为2.641m和2.491m。

(5) 非汛期设计洪水

非汛期(10月至次年5月)设计洪水采用中水北方勘测设计研究有限责任公司成果,见表2.9。并线桥轴线断面处非汛期设计洪水采用10%频率设计洪水成果永定新河口处的相应值,即10年一遇非汛期洪水设计流量为1450m³/s,此时永定新河口处

水位为 2.651m。

表 2.9 永定新河各支流汇入口处非汛期（10 月~次年 5 月）设计洪水成果表

位 置	项 目	不同频率设计值		
		10%	20%	33.33%
屈家店闸下	流量[m ³ /s]	179	117	69.3
北京排污河汇入口处		342	278	223
潮白新河入汇入口处		1220	914	664
永定新河河口处		1450	1100	824
永定新河河口处	水位[m, 85 高程]	2.651	2.471	2.321

2.3 影响分析范围内水利工程及其他设施

2.3.1 水利工程

本并线桥项目影响分析范围内（河道桩号 58+500~65+000）永定新河河段主要水利工程有永定新河河道、左右两岸堤防、蓟运河闸和永定新河防潮闸。

（1）河道与堤防

经过一期治理工程（2012 年 8 月竣工验收）和二期治理工程（2015 年完成），永定新河达到了 100 年一遇设计标准。项目工程区永定新河道河道宽度约为 700~750m，基本沿河道中心线布置的清淤槽底高程为-6.029m、底宽 275m，边坡 1:4。

永定新河右堤为 1 级堤防（200 年一遇防洪标准），左堤为 2 级堤防（100 年一遇防洪标准），堤顶道路宽为 8m，右堤沿程堤顶高程为 8.721~5.491m，右堤堤顶高程高于左堤 1.0m。工程河段河道桩号与堤防桩号对应表见表 2.10。通过线性内插值得到，并线桥桥轴线与堤防中心线交点的左堤桩号为 64+510，右堤桩号为 62+765。

表 2.10 工程河段河道桩号与堤防桩号对应表

地点	对应河道桩号	左堤桩号	右堤桩号
公路桥	59+090	Z60+450	Y59+730
	59+500	Z60+900	Y60+165
	60+000	Z61+500	Y60+670
	60+500	Z62+000	Y61+200
	61+000	Z62+433	Y61+720
	61+500	Z62+481	Y62+185
蓟运河口	62+000	Z63+210	Y62+690

	62+500	Z64+885	Y62+850
防潮闸	63+041	Z65+300	Y63+160
注：摘自中水北方勘测设计研究院有限责任公司“永定新河治理工程一期设计报告”			

(2) 护坡护岸工程

评价范围内永定新河右堤 58+500~62+177 段设计堤顶高程为 5.512~6.072m，为均质土堤型式，堤顶宽 8.0m，内外边坡均为 1:3。迎水侧在高程 3.871m 处设 1m 宽马道平台，背水侧在 3.471m 处设 2m 宽马道平台。平台以下采用干砌石防护或浆砌石护坡，基础为宽 0.5m、深 0.6m 的浆砌石墙；平台以上采用干砌预制砼框格护砌，内填碎石。堤顶铺设 5m 宽碎石路面。永定新河左堤为 2 级堤防，设计堤顶高程为 4.831~5.071m，土堤型式、堤顶碎石路面与右堤基本相同。

根据参考文献[3]，对左堤彩虹桥以下至防潮闸（63+041）长 650m、右堤 62+177 至防潮闸（63+041）长 480m 闸上引堤按设计标准进行加高加固。防潮闸上右岸引堤工程，堤顶高程 5.771m，高于设计水位 3.0m；左岸引堤工程，堤顶高程 5.771~4.771m，高于设计水位 2.0~3.0m。左右岸引堤设计堤顶宽均为 8m，迎水坡一级边坡 1: 3，二级边坡 1: 4。2.771m 高程设一级压坡平台，宽 16.0m。背水坡边坡 1: 3。堤顶设三级防汛公路，沥青混凝土路面宽 6.0m。迎水坡一级边坡为预制混凝土框格植草护坡，背水堤坡及 2.771m 高程压坡平台均为草皮护坡。迎水坡二级边坡采用 40cm 厚浆砌石护坡。工程河段右堤迎水坡一级压坡平台和一级边坡预制混凝土框格植草护坡。

根据《天津市河道管理条例》、《海河流域重要河道岸线保护和利用规划》和《天津市河湖岸线保护和利用规划》，永定新河河道管理范围的护堤地为河堤外坡脚以外各三十米。

(3) 水闸

蓟运河闸，位于蓟运河与永定新河交汇处（永定新河左堤河道桩号 62+100）、并线桥项目正北上游约 800m。设计防洪标准 50 年一遇，设计流量 1300m³/s。共设闸孔 14 孔，其中 12 孔过流，每孔净宽 8.0m，闸室总宽 128m，深孔底板高程-6.029m，闸门顶高程 3.171m，交通桥桥面高程 4.871m。中孔和内边孔采用双扉门，边孔采用平板钢闸门，固定卷扬式机启闭。该闸始建于 1974 年，2009 年实施了除险加固，主要

功能是泄洪、排涝、蓄水，控制流域面积 1 万 km²。蓟运河闸 50 年一遇设计流量为 1300m³/s，闸上、闸下设计水位分别为 2.361m 和 2.201m。蓟运河闸闸下引河长约 400m、宽约 290m。永定新河下泄设计洪水 4640m³/s 时，因受下游水位顶托，蓟运河闸不泄水。

永定新河防潮闸，位于永定新河桩号 63+041，位于并线桥 P08 桥墩下游约 354m、P13 桥墩下游约 735m。防潮闸水工建筑物结构和设计流量等参数详情见前文，此处不赘述。

永定新河防潮闸的附属设施闸上水文（位）站（列于水利部公布的国家基本水文站目录站名为“新防潮闸”，天津市管辖），设立于闸上北侧约 106m、永定新河右堤东侧约 40m 处的近岸河道内，与北侧桥墩 P08 相距约 240m；闸下水位站在防潮闸右岸一侧下约 170m。根据《水文监测环境和设施保护办法》（2011 年 4 月施行，水利部第 43 号令）第四条之“（一）水文监测河段周围环境保护范围：沿河纵向以水文基本监测断面上下游各一定距离为边界，不小于 500 米，不大于 1000 米；…”，因此，项目位于水文监测环境保护范围内。

根据《海河独流减河永定新河河口管理办法》和《水闸工程管理条例》，永定新河防潮闸管理范围为右岸岸边工程外缘线和河道左堤外坡脚线以外各 50m，闸上防护前沿向上游、闸下防冲槽末端向下游各 300m。

2.3.2 其他设施

(1) 京山铁路桥

京山铁路汉沽铁路大桥位于天津市滨海新区汉沽城区北部，桥轴线河道桩号 58+700。1981 年 8 月开工，1983 年 8 月竣工。全桥由三跨各长 80m 的双线连续钢桁架梁和一跨长 32m 的双线半窑式钢桁架梁组成，主桁高 11m，主桥宽 9.8m。

(2) 塘汉快速路永定新河特大桥

塘汉快速路永定新河特大桥（58+800）。2008 年 12 月开工，2010 年 8 月建成。其主桥桥型为三跨连续四索面矮塔斜拉桥，跨径布置为 85m+145m+85m，主桥全长为 315m，主桥全宽为 43m。

(3) 公路桥

公路桥为北塘大桥，原为京山线永定新河大桥，位于天津开发区潮白新河入永定新河及永定新河入蓟运河河口之间，北至兴宁路、南至塘汉快速路。分东（河道桩号 59+100）、西（河道桩号 58+700）两幅桥，桥长均为 502.1m，每幅桥宽 5.37m，上部结构为预应力混凝土简支 T 梁，跨径布置均为 20×24m。

(4) 永定新河防潮闸管理所

隶属于天津市永定河管理处的永定新河防潮闸管理所，是负责防潮闸运行和维护的行政管理单位，位于永定新河防潮闸北侧、右岸岸线保护区西侧，在永定新河右堤坡脚线外西侧约 96m，占地面积约 0.626 万 m²。

(5) 燃气管线

中石油华润燃气管线在彩虹桥上游以拉管方式从河床底下穿越过河，该高压燃气管线管径为 DN600 钢管（外径 630mm），压力 2.5Mpa。该管线为东部地区供气的主干管线，关系到开发区、生态城、汉沽、宁河、唐山等地的燃气供应。并线桥引桥桥墩 P00 与该燃气管线最近、相距约 21.4m，桥墩 P01~P07 与左侧管线之间的距离依次为 24.0m、24.9m、24.8m、24.2m、24.6m、27.0m 和 30.0m，桥墩 P08~P13 与管线之间的距离依次约为 50m、77m、126m、176m、224m 和 247m。

根据滨海中油生态城段地理信息测绘图，以并线桥桥墩 P00~P21 为前进方向并以各自桥墩承台轮廓与管线外壁之间最近距离为参考，并线桥左侧至少 21m（P00 处最近）、右侧至少 337m（P21 处最近）范围内没有顺河堤管线。

(6) Z4 线跨永定新河桥

在建中的 Z4 线跨永定新河桥（64+100）桥梁全长 968m，桥孔布置：46+(131+160+111)+7×50+3×40+50（m）。跨永定新河主槽桥梁采用 131+160+111 连续梁布置，3 孔主桥总长 402m，其中 2 组桥墩位于河道主槽内；跨永定新河左侧滩地引桥采用 7×50+3×40+50 连续梁，10 孔，跨度为 50m、40m，总长 520m；采用立交方式跨越永定新河左、右堤，跨径分别为 50m、46m。

(7) 中央大道永定新河特大桥

中央大道永定新河特大桥（64+500）位于彩虹大桥下游约 2.1 公里处，全长 1100 米。桥线与永定新河河道基本垂交。道路等级为城市快速路，根据相交道路、航道的

净空要求设计，桥梁梁底高净空为 5m（四级航道通航标准）；为变截面预应力混凝土连续梁桥，主桥孔布置 100+160+100（m），其余为等截面预应力混凝土连续梁桥，桥孔跨度为 30~50m。

2.4 水利规划及实施安排

2.4.1 有关流域综合规划、防洪规划

（1）防洪规划

按照《海河流域防洪规划报告》（国函[2008]11 号批复），永定新河防洪设计标准是河道防洪标准为 100 年一遇，设计行洪能力为 1400~4640m³/s。永定新河左堤为 2 级堤防，堤顶高程为 100 年一遇洪水水位加超高 2.0m；右堤为 1 级堤防，堤顶高程高于左堤 1.0m，防洪标准 200 年一遇。

通过永定新河治理工程实施，永定新河已达到 100 年一遇防洪标准。发生 200 年一遇洪水，永定新河屈家店下泄 1800m³/s，沿途杨村机场排水河汇入 20m³/s，潮白新河汇入 3000m³/s，河口处组合流量为 4820m³/s。

（2）河口综合整治规划总体布局

目前，按照永定新河口治导线调整批复文件要求，河口建成了防潮闸，完成了闸下河道清淤和右治导线导堤固化工程，右治导线导堤外海端堤头在河道桩号 77+300 附近，河口闸下通道左治导线约 5km 固化导堤堤头位于 72+600 附近，尚未按照永定新河口治导线调整批复文件的要求实施到位。

2.4.2 岸线保护与利用规划

2021 年 11 月，水利部海河水利委员会组织编制的《海河流域重要河道岸线保护与利用规划》获水利部（水利部水河湖[2021]340 号）批复并印发实施，为加强海河流域重要河道岸线保护与利用管理、严格水生态空间管控提供了重要依据和支撑。规划中对永定新河充分考虑防洪、河势、供水、生态等保护要求与区域发展规划的衔接统筹协调经济社会发展和相关行业部门对岸线利用的需求，科学划定了岸线保护区、保留区和控制利用区。2022 年 5 月，水利部印发《水利部关于加强河湖水域岸线空间管控的指导意见》。2022 年 7 月，天津市水务局印发实施《天津市河湖岸线保护和利用规划》（与《海河流域重要河道岸线保护和利用规划》一致，是天津市范围的规划细化）。

根据《海河流域重要河道岸线保护与利用规划》和《天津市河湖岸线保护和利用规划》，本建设项目涉及永定新河右岸岸线保护区和左岸控制利用区。

(1) 右岸岸线保护区

永定新河右岸岸线保护区，是为保障防洪安全、河势稳定而划分的岸线保护区，涉及重要堤防（永定新河右堤）、重要水利工程（拦河闸，即永定新河防潮闸，建筑物上下游各 500m 范围内划分为保护区）和河流汇流口：包括河道沿线较大河流的汇入口、或汇流口上下游各 1 公里范围内划分为保护区。

为保障防洪安全而划分的岸线保护区管控要求：“根据《中华人民共和国防洪法》，河道、湖泊管理范围内的土地和岸线的利用，应当符合行洪、输水的要求。禁止在河道、湖泊管理范围内建设妨碍行洪的建筑物、构筑物，倾倒垃圾、渣土，从事影响河势稳定、危害河岸堤防安全和其他妨碍河道行洪的活动。禁止在行洪河道内种植阻碍行洪的林木和高秆作物。建设跨河、穿河、穿堤、临河的桥梁、码头、道路、渡口、管道、缆线、取水、排水等工程设施，应当符合防洪标准、岸线规划、航运要求和其他技术要求，不得危害堤防安全、影响河势稳定、妨碍行洪畅通；其工程建设方案未经有关水行政主管部门根据前述防洪要求审查同意的，建设单位不得开工建设。整治航道，应当符合江河、湖泊防洪安全要求，并事先征求水行政主管部门的意见。”

(2) 左岸岸线控制利用区

永定新河左岸控制利用区，位于海河、独流减河、永定新河河口整治与开发工程建设的外缘控制线范围的岸段，划分为岸线控制利用区。属于“位于河口治导线范围而划分的岸线控制利用区”。

岸线控制利用区管控要求：“对现状开发利用程度相对较高的岸段，应按照国土、城市、水利、交通等相关规划，合理控制整体开发规模和强度，新建和改扩建项目必须严格论证，不得加大对防洪安全、河势稳定、供水安全的不利影响，严格控制新增开发利用项目的数量和类型。涉及蓟运河穿新集镇、宁河城区、汉沽城区段；北运河筐儿港枢纽～老米店分洪闸、屈家店枢纽～子北汇流口段；北京排污河里老闸～大南官闸、大南官闸～筐儿港枢纽段；海河天津市双城中间绿色生态屏障区域；子牙河西河闸～子北汇流口河段；永定新河左岸、新开-金钟河等。”

“此类岸线容许建设跨河桥梁等交通设施、取排水工程设施、跨河管线（油气、通信等）、滨水景观、生态保护等项目。根据《河道管理范围内建设项目管理的有关规定》（水政〔1992〕7号），河道管理范围内建设项目必须符合国家规定的防洪标准和其它技术要求，维护堤防安全、保持河势稳定和行洪、航运通畅。必须按照河道管理权限，经河道主管机关审查同意后，方可开工建设。”

“涉及河口管理范围而划分的岸线控制利用区应遵循《海河独流减河永定新河河口管理办法》进行管控。根据《海河独流减河永定新河河口管理办法》第十四条，在三河口管理范围内禁止下列活动：修建围堤、阻水渠道、阻水道路；种植阻碍行洪的林木和高秆作物；弃置矿渣、石渣、煤灰、泥土、垃圾等；在堤防和护堤地上建房、开渠、打井、挖窖、葬坟、存放物料、开采地下资源、进行考古发掘以及开展集市贸易等活动；损坏闸坝和堤防上的设施、标志桩、水文和测量标志、通信设施等。”

2.4.3 永定新河口管理范围与要求

根据《海河独流减河永定新河河口管理办法》（2009年水利部令第37号），永定新河口管理范围：

(1) 纵向为永定新河防潮闸闸上500米至闸下19000米，横向闸上以河道两岸堤防外坡脚线以外30米为界，闸下左侧13000米以上以规划治导线为界，13000米以下至19000米以规划治导线以外1150米为界，闸下右侧9000米以上以规划治导线为界，9000米以下至19000米以规划治导线以外1150米为界；

(2) 河口防洪清淤排泥场以围堤外坡脚线以外30米为界；

(3) 闸下水下抛泥区；

(4) 河口疏浚工作场地。

永定新河的河口管理范围由天津市人民政府水行政主管部门会同有关县级以上地方人民政府具体界定，并报海河水利委员会备案。

在永定新河的河口管理范围内，新建、扩建、改建前款所列大中型工程设施的，经天津市人民政府水行政主管部门提出意见后，由海河水利委员会按照河道管理范围内建设项目管理等有关规定审查同意并实施监督管理；前款所列的其他工程设施，由天津市人民政府水行政主管部门按照河道管理范围内建设项目管理等有关规定审查

同意并实施监督管理，并报海河水利委员会备案。

2.4.4 永定新河河道管理范围

根据《天津市河道管理条例》（2018年修订），永定新河管理范围界定主要依据为：

“第十三条 河道管理应当设定管理范围，并根据堤防的重要程度、堤基地质条件等实际情况设定保护范围。河道管理范围为岸线之间的水域、沙洲、滩地（包括可耕地）、行洪区，堤防护岸、护堤地及河道入海口。河道保护范围是与河道管理范围相连的堤防安全保护区。”

“第十五条 水库以外其他河道管理范围的护堤地，按照下列规定划定：海河、永定新河、独流减河、子牙新河、潮白新河为河堤外坡脚以外各三十米；…”

2.4.5 水闸管理范围和要求

(1) 范围划定

根据《水闸设计规范》，永定新河防潮闸的管理范围是：工程各组成部分的覆盖范围、管理和运行设施占地及护闸地。根据《永定新河治理一期工程初步设计报告》，永定新河防潮闸的管理范围为闸上防护前沿向上 300m 和闸下防冲槽末端向下 300m、河道左岸堤防外坡脚线向外 50m、右岸闸上岸边工程外缘线向外 50m 及闸下海挡工程外缘线向外 30m。永定新河防潮闸的管理范围目前已征用，已有土地证。永定新河防潮闸保护范围为管理范围以外 50m 的区域。保护范围内的土地不征用。

(2) 有关要求

根据《水闸工程管理设计规范》，水闸工程的管理范围是管理单位直接管理和使用的范围。水闸工程的保护范围是为保护工程安全，在工程管理范围以外划定一定的宽度，在此范围内禁止挖洞、建窑、打井、爆破等危害工程安全的活动。

(3) 《水文监测环境和设施保护办法》的有关规定

《水文监测环境和设施保护办法》（2015年修订）的有关规定：

第四条 水文监测环境保护范围应当因地制宜，符合有关技术标准，一般按照以下标准划定：

（一）水文监测河段周围环境保护范围：沿河纵向以水文基本监测断面上下游各

一定距离为边界，不小于 500 米，不大于 1000 米；沿河横向以水文监测过河索道两岸固定建筑物外 20 米为边界，或者根据河道管理范围确定。

（二）水文监测设施周围环境保护范围：以监测场地周围 30 米、其他监测设施周围 20 米为边界。

第九条 在水文测站上下游各 20 公里（平原河网区上下游各 10 公里）河道管理范围内，新建、改建、扩建下列工程影响水文监测的，建设单位应当采取相应措施，在征得对该水文测站有管理权限的流域管理机构或者水行政主管部门同意后方可建设：

（一）水工程；

（二）桥梁、码头和其他拦河、跨河、临河建筑物、构筑物，或者铺设跨河管道、电缆；

（三）取水、排污等其他可能影响水文监测的工程。因工程建设致使水文测站改建的，所需费用由建设单位承担，水文测站改建后应不低于原标准。

第十条 建设本办法第九条规定的工程，建设单位应当向有关流域管理机构或者水行政主管部门提出申请，并提交下列材料：

（一）在水文测站上下游建设影响水文监测工程申请书；

（二）具有相应等级水文水资源调查评价资质的单位编制的建设工程对水文监测影响程度的分析评价报告；

（三）补救措施和费用估算；

（四）工程施工计划；

（五）审批机关要求的其他材料。

此外，根据《水文监测环境和设施保护办法》的有关规定，上述河道内的桥墩均涉及防潮闸上游水文站水文监测环境保护范围。

2.4.6 建设项目所在河段规划内容与实施安排

通过永定新河治理工程实施，建设项目所在河段的规划内容于 2015 年已经全面完成，即项目所在河段中间深槽按设计清淤，河段堤防右堤和左堤分别达到 1 级堤防、2 级堤防标准，河道全面恢复至设计行洪能力 4640m³/s，提升河道防洪标准到 100 年

一遇；蓟运河闸下引河按 3000m³/s 规模清淤，河口防潮闸建成投运，发挥了御潮蓄淡挡海相泥沙的功能。

根据《海河流域重要河道岸线保护和利用规划》、《天津市河湖岸线保护和利用规划》和《海河独流减河永定新河河口管理办法》，工程河段左岸划定了岸线控制利用区，右岸划定了岸线保护区和防潮闸管理与保护区，还涉及永定新河口管理范围和水文监测环境保护范围。

永定新河已按照相关规划完成达标治理，项目所在河段暂无新的规划安排。

2023 年 4 月，水利部印发了《堤防运行管理办法》和《水闸运行管理办法》，指导和监督堤防和水闸水行政主管部门（部门）与管理单位，规范开展检查监测、维修保养、防汛管理、安全运行等，为建立健全相应的堤防和水闸运行管理制度、落实管理保障措施提供了依据。

2.4.7 建设项目实施及运行可能产生的影响

本彩虹桥并线桥建设项目涉及永定新河岸线规划管理、河口管理与河道防洪、防潮闸及其附属设施管护等范围，需要评价建设项目的实施及运行可能产生的影响。

3 河道演变

3.1 河道历史演变概况

3.1.1 河道

永定新河 1971 年人工开挖建成投入运行，受宏观气候变化和人类活动影响及各汇入河道上游拦蓄等影响，径流逐年减少，枯水年份几乎无径流下泄。河道长期受潮汐水流控制，海相泥沙淤积严重。特别是曾发生过一次风暴潮过程河道泥沙骤淤量超 500 万 m^3 。加之地面沉降影响，随着时间推移，河道行洪能力不断下降，防洪标准甚至不足 20 年一遇，严重威胁天津市防洪安全。

为保持河道防洪标准，天津市对永定新河分阶段多次清淤和设置挡潮埝。1989 年至 1992 年汛前，完成屈家店下游 28km 段河道清淤，并在 28+192 建设挡潮埝。挡潮埝恢复了埝上河道设计行洪能力，但埝下河道泥沙淤积依然存在，泄洪能力大幅度下降。据 1994 年 9 月实测资料分析，29+000 断面实际行洪能力仅为设计过流能力的 17%。1999 年为应急渡汛对 28+192 以下河道进行了局部清淤，并在 43+500 处修筑第二道挡潮埝。汛后河道断面测量表明埝下河道仍普遍发生淤积，原河口冲淤段不复存在，淤积末端下移到 63+000 断面。2000 年 5 月在 50+100 修筑了第三道挡潮埝，2001 年在 53+000 处建挡潮埝。

实测资料分析表明，历次建埝或埝下移后，埝下河道淤积速率加快并出现累积性淤积，河床往往淤积露滩。为应急渡汛，每年汛前均需要进行埝下河道清淤工程。

3.1.2 河口

永定新河口位于渤海湾西北湾顶附近塘沽北塘镇，河口处于较典型淤泥质海岸。

2004 年以前永定新河口附近基本为自然岸线，河口呈喇叭形。河口区海域海床坡度平缓，潮间浅滩宽阔，平常风浪条件下水体含沙量较大。由于涨潮历时较落潮短约 1.5 小时，海相泥沙经河口向河道上游方向输移，引起永定新河河槽累积性泥沙淤积。

3.2 河道近期演变分析

在河口防潮闸建设（2007 年 11 月）前，河道挡潮埝位于 53+000，径流和潮流是挡潮埝下游河道及河口冲淤变化的主要动力条件。河口区水体含沙量较大，海相泥沙

沿河道向上游输移，引起埝下纳潮河段河槽淤积。

为了兴利除害、根本改变河道防洪被动局面，论证确定了永定新河治理工程方案。2007年11月至2011年5月实施了永定新河治理一期工程。2012年天津市结合北辰郊野公园项目，对14+250以上段河道进行了治理。《永定新河治理工程二期可研报告》中安排的14+250以上段河道24座穿堤建筑物处理、北麻疙瘩和大杨庄两座生产桥复建工程、左堤12km的堤顶路面工程已一并实施，于2012年汛前完工。

2013年12月至2015年3月完成永定新河治理二期工程，主要建设内容包括河道清淤及扩挖36km，恢复并加高堤防55km，处理穿堤建筑物62座，修缮河道堤顶防汛路72.8km等。河道清淤工程，防潮闸以上河道深槽清淤中心线基本沿河道中心线布置，设计河底高程维持原设计值，边坡1:4。设计清淤底宽26+000以上河道维持现状，26+000~44+000段清淤底宽为190m，44+000~59+090段清淤底宽为275m。潮白新河闸下河道长度285m，宁车沽闸设计底板高程为-5.529m，永定新河54+500断面设计河底高程为-5.389m；清淤底宽为160m，边坡1:4，清淤工程量为13.06万m³。

通过永定新河治理工程实施，永定新河全面恢复至设计行洪能力1400~4640m³/s，提升河道防洪标准到100年一遇。

海河“23.7”流域性特大洪水，永定新河口洪水主要过程自7月28日8:00至8月17日8:00，其中7月31日8:00~8月4日10:26（4.10天，泄洪有间断，8月2日8:12最大洪峰流量2930m³/s）流量较大，平均流量1922m³/s；而8月1日15:43~8月3日10:22期间（1.78天）连续泄洪，平均流量2103m³/s，即使是阶段性连续泄洪过程，其流量和潮位均呈现为以不等的周期起伏变化。

经分析，上述两次测图地形变化幅度为-4.34m~+2.54m，最大冲刷幅度位置（高程约-7.33m）位于三河岛下游、彩虹桥13号与12号主墩之间深槽中间偏右侧处。彩虹桥13号主墩上游端附近出现局部冲刷区形态，但尚不够典型。主要原因是水位流量起伏、三河岛具有分流导流和掩护作用，较大程度减弱了河道深槽中13号和14号两个主桥墩前部的水流流速，而12主墩位于右侧滩地浅水弱流区，主流实际在13号与12号主墩之间桥孔范围内。最大冲刷幅度由泄洪主流冲刷右侧淤长的边滩所致。

已知2013年12月至2015年3月完成了永定新河治理二期工程，彩虹桥并线桥

河段清淤槽底高程为-6.03m。还可以发现，彩虹桥 13 号主桥墩两侧桥孔内地形较低、-7.03m 线基本贯通，该主桥墩上游附近局部最低处为-7.43m，而 13 号主桥墩下游约 160m 处河道深槽内局部最低处为-9.33m（此处河床地形局部低洼，低于-8.03m 的面积约 4600m²，成因尚难分析；需要更精细测图资料佐证）。相比于清淤底高程，判断发生的冲刷幅度大致为 1.4~3.3m。因此，13 号与 12 号主墩之间桥孔区域出现 4.3m 最大冲幅点与水动力分布相符。而海河“23.7”流域性特大洪水过程在彩虹桥引起的桥墩局部冲刷出现在 13 号主桥墩上游附近，最大冲深为 1.40m。三河岛右侧主槽内最低处高程为约-7.68m，最大冲深为 1.65m。

2011 年 5 月河口防潮闸正式启用后，永定新河闸上河道的演变与河口潮汐、风浪和海相泥沙基本不再相关。故本报告略去河口近期演变分析。

3.3 河道演变趋势分析

3.3.1 河道

永定新河防潮闸于 2011 年 5 月投入运行，其重要功能之一就是切断了引起河道累积性淤积的海相泥沙来源。鉴于最近一二十年来上游常年来水不大和来沙更少，预计永定新河沿程河道在较长时间内维持为防洪标准设计断面形态基本不变。

鉴于并线桥项目的阻水比相对较小和彩虹桥桥下两岸已经防护硬化形成河段河势的控制节点，工程河段河势稳定。预测建设项目实施后对所在河段河道的演变趋势影响甚微。

3.3.2 河口

永定新河防潮闸投入运行以来时间较短，防潮闸闸下通道河段冲淤实测资料有限。防潮闸运行前后的 2010-2015 年河口附近海域涉海工程较多、人类活动频繁，不可避免地会对闸下通道水域泥沙冲淤产生直接或间接影响，而且其影响比较复杂。综合分析^{[4][5]}认为，在常年波浪潮流动力条件下，现状河口（外海段左治导线固化导堤尚未实施）闸下通道内年回淤量为 600 万 m³左右。从河口附近海域的波浪、潮流水动力条件和泥沙运动特性分析，在今后外海段左治导线固化导堤实施后，初步判断，自 2015 年起算 10 年内闸下通道内此前形成的取泥坑被完全淤平的可能性不大。

4 防洪评价分析与计算

4.1 水文分析计算

4.1.1 依据资料

(1) 设计水位

依据永定新河设计流量 $4640\text{m}^3/\text{s}$ （防洪标准为 100 年一遇）沿程设计水位，获得彩虹桥（62+200）和拟建并线桥桥轴线（62+235）断面设计水位，两座桥计算时均采用水位 2.751m。校核流量 $4820\text{m}^3/\text{s}$ 为 200 年一遇洪水在河口处的合计流量，无沿程水位。

(2) 桥位断面地形和主桥墩承台面标高

根据设计单位彩虹桥并线桥调整后平面布置方案、桥梁立面构造设计图及文字说明文件，参照永定新河治理工程河道深槽清淤与堤防复堤设计要求。桥位轴线河道现状地形取自桥位处 2022 年 9-10 月测图“水底高”等数据资料；河道内桥墩 P08~P13 承台面高程分别为 0.232m、-5.868m、-10.168m、-10.168m、-1.068m 和 3.132m，承台在最大冲刷线以下的埋深依次为 0.82m、0.74m、0.61m、0.61m、0.85m 和 0.55m，河道内桥墩承台面均在最大冲刷线 0.5m 以下。彩虹桥桥位下游约 62+500 处深槽设计底高程 -6.029m、底宽 275m、边坡 1:4。

(3) 河床地质粒径

根据河道地质情况^[3]，河床浅表层按淤泥、淤泥粉砂或粉质粘土考虑。泥沙中值粒径 d_{50} 按淤泥（0.004~0.063mm）和粉沙（0.064~0.100mm）的平均取值，即 $d_{50}=0.052\text{mm}$ 。含水率取 $M_R=(34.1\%+43.4\%)/2=38.75\%$ ，通过泥沙基本特性^{[6][7]}，计算得到其干密度 $C_M=\frac{\rho_s}{M_R \times \frac{\rho_s}{\rho} + 1} = \frac{2650}{0.3875 \times \frac{2650}{1000} + 1} = 1307.4 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ ，其体积密度（或称为松密度）为 $\rho_B = \rho + C_M \times (1 - \frac{\rho}{\rho_s}) = 1000 + 1307.4 \times (1 - 1000/2650) = 1814.1 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ 。用于河道冲刷深度计算分析评估。

4.1.2 阻水比

彩虹桥轴线断面、并线桥轴线断面平面位置。可见河道清淤深槽中心线与主桥孔

中线大致重合，并线桥轴线断面和其下游（62+500）附近清淤槽底宽分别为 327m、275m。

根据数模计算设计流量泄洪流态，并线桥主桥墩 P08~P10 和 P12 的迎流角约为 6°，P11 处迎流角约为 30°。现状地形按规划清淤、设计水位 2.751m 条件下，彩虹桥、并线桥与彩虹桥和单独并线桥桥墩阻水参数表 4.1，彩虹桥、并线桥及两桥组合桥轴线断面行洪面积统计见表 4.2，表中计算了彩虹桥、并线桥建设后和两桥合并的阻水比。

表 4.1 现状地形按规划清淤、设计水位 2.751m 条件下桥墩阻水宽度、面积统计

桥墩编号	阻水宽度[m]			桥墩阻水面积[m ²]					
	彩虹桥	并线桥	彩虹桥+并线桥	彩虹桥		并线桥		彩虹桥+并线桥	
P13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17号	1.2	-	-	0.10	0.10	-	-	-	-
16号	1.2	-	2	0.19	0.19	-	-	4.71	4.74
15号(P12)	8	6	8	0.95	0.96	13.29	13.36	17.70	17.80
14号(P11)	12.6	6	12.6	116.04	133.99	52.68	60.83	116.04	133.99
13号(P10)	12.6	6	12.6	116.04	116.68	52.68	52.97	111.94	112.56
12号(P09)	9	6	9	20.96	21.08	22.05	22.17	32.58	32.76
11号	2	-	2	1.25	1.26	-	-	2.48	2.49
P08	-	4	4	-	-	4.04	4.06	4.04	4.06
10号	1.2	-	1.2	0.68	0.68	-	-	1.30	1.31
9号	-	-	1.2	-	-	-	-	0.49	0.49

注：现状地形为桥位处 2022 年 9-10 月实测地形，设计清淤在现状地形上按挖设计清淤槽，底高程-6.00m、边坡 1:4；墩阻水面积*计算时，14 号与 P11 顺接组桥墩迎流角为 30°，其余为 6°

计算结果表明，设计水位、现状地形规划清淤条件下，考虑桥墩各自迎流角影响，彩虹桥的阻水比为 7.92%，并线桥建设后两座桥的阻水比为 7.95%，两者阻水比均大于 5%，主要原因是彩虹桥主桥墩承台宽 15m，13 号、14 号桥墩宽达 12.6m、而 12 号、15 号桥墩宽分别为 9m 和 8m；若不计彩虹桥阻流影响，则并线桥建设项目阻水比为 3.93%，阻水比在 5%以内。并线桥主桥墩建成、拆除并线桥桥墩 P09~P12 范围内栈桥工况，阻水比为 4.56%。拆除并线桥桥墩 P09~P12 范围内栈桥工况，若在栈桥轴线断面单独计算，阻水比为 1.24%。

表 4.2 现状地形按规划清淤、水位 2.751m 条件下轴线断面行洪面积[m²]统计

工况	左岸坡与滩地	深槽	右岸坡与滩地	全断面	阻水比%	备注
彩虹桥轴线断面工程前	8.49	3420.86	41.87	3471.22		彩虹桥轴线
彩虹桥建设后	8.20	3166.86	39.94	3215.00	7.38%	
	8.20	3148.15	39.93	3196.28	7.92%	考虑迎流角
并线桥轴线断面工程前	312.71	3580.08	11.30	3904.09		并线桥轴线
彩虹桥+并线桥建设后	308.00	3301.81	2.99	3612.80	7.46%	
	307.97	3282.97	2.94	3593.89	7.95%	考虑迎流角
并线桥建设后	312.71	3439.38	7.26	3759.35	3.71%	
	312.71	3430.74	7.24	3750.69	3.93%	考虑迎流角

注：阻水比=(1-工程后行洪面积/工程前行洪面积)×100%

4.1.3 拟建桥轴线与主流之间夹角

从表 4.1 可见，主桥墩 P13 与 P12 和 P08 别位于河道左、右岸滩上，P11、P10 和 P09 位于河道主槽内。拟建彩虹桥并线桥位于三河岛汇流点下游，设计流量 4640m³/s 条件下 P09~P10 主桥孔、P10~P11 主桥孔和 P11~P12 主桥孔内桥轴法线与中高水流之间夹角分别为 0°~10°、9°~50° 和 3°~39°，桥孔内加权平均的夹角分别约为 5°、32° 和 21°，桥轴法线与主流之间夹角以宽度加权计算为 $(5^{\circ} \times 165 + 32^{\circ} \times 168 + 21^{\circ} \times 165) / (165 + 168 + 165) \approx 19.4^{\circ}$ 。桥位距三河岛下游汇流点较近、左汊清淤槽走向与桥轴线交角较大是造成桥轴法线与主流夹角偏大的两个主要因素。

线位、跨河方式、跨径等因素多方案比选论证表明，拟建并线桥建设项目总体布局与彩虹桥平行为最优选择，在此条件下河道右侧主槽内桥轴与主流夹角在 85°~90° 之间，与“桥轴法线与通航主流的夹角不宜大于 5°”非常接近。并线桥建设项目阻水比为 3.93%，与彩虹桥联合阻水比为 7.95%，主要缘于彩虹桥的阻水比 7.92% 偏大，这是一个现实存在，而并线桥建设项目对此影响甚微。彩虹桥建成于 1998 年 10 月，当达到使用年限后，只要将来改建时主桥墩采用合适的墩宽和承台埋深，就可以大幅减小河道内彩虹桥的阻水面积，从而可以使改建后彩虹桥与并线桥的联合阻水比满足 5% 以内的要求。本跨河建设项目最大壅水高度为 0.020m（见后文），符合“跨越 1、2 级堤防的，最大壅水高度控制在 5 厘米以内”的控制参数要求。从促进区域

经济社会发展角度考虑，依然推荐将此拟建彩虹桥并线桥线位方案报请水行政主管部门（部门）审批。

4.2 壅水与行洪能力分析计算

4.2.1 防洪设计流量壅水分析

采用《铁路工程水文勘测设计规范》（TB 10017-2021）（以下简称“勘测设计规范”）相关公式水文分析一维恒定非均匀流壅水分析计算。公式如下：

桥前最大壅水高度计算公式：

$$\Delta Z_M = \eta(\bar{v}_M^2 - \bar{v}^2) \quad (4-1)$$

式中 ΔZ_M ——桥前最大壅水高度（m）； η ——计算系数，根据河段特征、河滩路堤阻挡流量与设计流量比值不同取 0.05~0.15； \bar{v} ——断面平均流速（m/s），为设计流量被全河断面（包括边滩和河滩）除得之商； \bar{v}_M ——桥下平均流速（m/s），应按该规范表 6.4.14-2 规定计算求得。

冲刷系数可按下列公式求算：

$$P = \frac{\omega_x}{\omega_g} \quad (4-2)$$

式中 P——冲刷系数； ω_g ——桥下供给过水断面面积（m²），当桥址上、下游有阻水山包或其他挡水建筑物时，桥下供给过水断面面积应扣除其影响部分； ω_x ——桥下需要过水断面面积（m²）， $\omega_x = \frac{Q_p}{v_p \cos \alpha}$ ； v_p ——设计流速(m/s)，对河滩较小、压缩不多的河段，可采用通过设计流量时河槽（包括边滩）的天然平均流速；当河滩很大时，可按经验确定；渠道或运河上的桥，可采用设计渠道或运河时的设计流速； α ——水流流向与桥轴线之法线间的夹角（°）。

壅水曲线全长可按下列近似公式估算：

$$L_y = \frac{2\Delta Z_M}{I_0} \quad (4-3)$$

式中 L_y ——壅水曲线全长(m)； I_0 ——桥址河段天然水面坡度。

“勘测设计规范”规定，增建第二线上的桥梁与既有线桥平行，桥墩、台、孔跨相对应，且线间距很小，上下游桥台间又筑有河堤连接时，则上游桥之壅水值与单线桥同。其余情况当壅水起控制作用时，其壅水高可通过水工模型试验确定。

(2) 计算结果

无论并线桥实施前后，彩虹桥轴线断面设计深槽以外即滩地和岸滩行洪面积在全断面中的占比均为 10%以下（1.50%~8.63%之间）。河滩路堤所阻挡流量在设计流量中的占比均小于 10%（实施前 5.7%、实施后 5.6%），因此取 $\eta=0.05$ 。 $\alpha=6^\circ$ （取 $1\sim 10^\circ$ 的平均值）。考虑工程河段呈微淤积趋势，采用密实土公式 $\bar{v}_M = P \times v_p$ 进行计算。由于并线桥轴线平面布置形式非常类似于“勘测设计规范”规定的“增建第二线上的桥梁与既有线桥平行，桥墩、台、孔跨相对应，且线间距很小”情形，故其壅水影响以并线桥与彩虹桥合并考虑，计算结果见表 4.3。

表 4.3 彩虹桥+并线桥建设后彩虹桥前最大壅水高度 ΔZ_M 和壅水曲线全长 L_y 计算

参数	Q_p (m ³ /s)	
	设计流量 4640	校核流量 4820
η	0.05	0.05
建桥前全断面行洪面积 S_p (m ²)	3471.2	3471.2
桥下需要过水断面面积 Ω_x (m ²)	3175.2	3175.2
桥下需要过水断面面积 Ω_g (m ²)	3203.2	3203.2
\bar{v} (m/s)	1.337	1.389
冲刷系数 P	0.991	0.991
$\bar{v}_M = P \times v_p$ (m/s)	1.478	1.535
ΔZ_M (m)	0.020	0.021
I(‰)	0.1376	0.1376
L_y (m)	288.6	311.5

注：桥下深槽两桥阻水面积为表 4.1 中 12~14 号三组主桥墩组在彩虹桥轴断面上阻水面积 279.31m²；水面比降按桥轴线至上游旧蓟运河口河段设计水面线计算， $I_0=0.1376\text{‰}$

计算结果表明，100 年一遇设计流量 4640m³/s 和 200 年一遇校核流量 4820m³/s 时，彩虹桥前最大壅水高度依次为 0.020m、0.021m，壅水曲线全长依次约 289m 和 312m。

后文平面二维恒定流泄流数模设计流量 4640m³/s 条件下最大壅水高度为 0.016m，与上述规范公式推算结果较为一致，数模计算所得壅水曲线全长约为 700m，与规范

公式计算结果有些差异。并线桥建设项目壅水长度以规范公式推算结果为准。

4.2.2 平面二维恒定流泄流数学模型计算

(1) 模型概况

模型范围 包括桩号 0+000（屈家店闸）至桩号 63+041 的上游河道、永定新河口挡潮闸、闸下清淤槽和行洪通道，外海开边界距治导线 5km 固化堤海侧端部约 20km，闸下通道两岸岸线边界为该河口的治导线。

采用三角形非结构网格剖分技术构建模型网格。网格节点为 362396 个，网格数为 710379 个，最小、最大网格尺度分别为 1.2m 和 500m，河道内网格 10m。彩虹桥主桥墩处网格 4.3m，边滩上桥墩处网格 1.2m，永定新河口挡潮闸处网格为 3m。

模型地形：① 0+000 至 14+200，河槽内为规划地形，两侧边滩依据 2012 年 3 月 14+250 断面边滩高程测量资料、按 1:13000 向上游推算至 0+000。② 14+250 至 59+000，河槽内为规划地形，边滩为 2012 年 3 月实测地形。③ 59+000 至三河岛，河槽内为规划地形，边滩为 2006 年 3 年实测地形。④ 三河岛至挡潮闸（63+041），河槽内为规划地形，边滩为 2005 年 10 年实测地形。⑤ 挡潮闸闸下清淤槽为规划设计地形。⑥ 河口闸下通道内为 2005 年 5 月实测地形，与河口防洪规划地形一致，外海采用海图地形。

根据参考文献^[3]，本恒定流泄流模型在屈家店闸、机场排水河河口、北京排污河河口、潮白新河河口设置流量汇入边界，流量分别为 1400m³/s、20m³/s、220m³/s、3000m³/s，河口处（63+041）组合流量为 4640m³/s。受永定新河洪水位顶托，蓟运河洪水不汇入。外海水位开边界为汛期平均高潮位 2.37m。经对所建恒定流泄流数学模型糙率参数进行多次试算率定，当 0+000~60+000 河段综合糙率为 0.02~0.03、60+000 至外海综合糙率为 0.019 时，设计流量 4640m³/s 沿程水位^[3]取得较好率定结果。

恒定流泄流数模率定结果（表 4.4），大部分沿程水位与设计水位一致，小部分断面有偏差（±0.05m 以内，符合数模模拟计算规范要求）。模型总体能够反映设计行洪条件河道内水动力特征，可用于本并线桥项目工程实施对河道水动力影响的模拟分析。

(2) 计算工况

1) 工程前

依据设计资料，其中⑫、⑬和⑭为彩虹桥三个主桥墩。河道地形与模型率定计算时相同，计算流量为设计流量 $4640\text{m}^3/\text{s}$ 、一般流量 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 和桥墩施工期（10 年一遇）流量 $1450\text{m}^3/\text{s}$ 。一般流量条件下按其在设计流量中的各自占比，屈家店闸、机场排水河、北京排污河、潮白新河的下泄流量分别为 $603.45\text{m}^3/\text{s}$ 、 $8.62\text{m}^3/\text{s}$ 、 $94.93\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1293.10\text{m}^3/\text{s}$ ；外海水位为多年平均海平面 -0.109m 。

2) 建设项目工程后和施工期

依据设计方案，地形和流量与工程前相同。桥墩施工期（非汛期）假定流量 $1450\text{m}^3/\text{s}$ 全部来自屈家店闸，并线桥桥墩设置为有围堰和工作栈桥状态两个工况。

施工期为非汛期（9 月 21 日至次年 5 月 31 日），4 个主桥墩各自有 $35.75\text{m} \times 36.00\text{m}$ 钢管桩围堰，且主桥墩轴线下游 19.25m 处有一条由钢管桩群支撑宽度为 9m 的施工栈桥。施工期流量为 10 年一遇 $1450\text{m}^3/\text{s}$ 。非施工期（汛期到来之前）4 个主桥墩围堰全部拆除，保留施工栈桥。

数模计算分析工程河段为并线桥轴线（ $62+235$ ）上游约 1km （ $61+250$ 附近）至永定新河防潮闸闸下约 80m （ $63+120$ 附近），河段长度约 1.9km 。

(3) 主要结论

1) 设计流量 $4640\text{m}^3/\text{s}$ 条件下

① 并线桥工程实施对大范围河道水流流态基本没有影响，流场流态仅在桥墩附近局部小范围发生调整。施工栈桥（保留）引起蓟运河口流速减小 $0.02\text{m}/\text{s}$ ，桥位处流速增大 $0.10\text{m}/\text{s}$ ，防潮闸前流速增大 $0.01\text{m}/\text{s}$ 。

工程前，彩虹桥⑬桥墩左、右侧最大流速分别为 $1.50\text{m}/\text{s}$ 、 $2.00\text{m}/\text{s}$ 。三河岛上游及其两侧河槽内流速在 $1.50\text{m}/\text{s}$ 左右，防潮闸闸上近闸河槽内流速 $2.00\sim 2.50\text{m}/\text{s}$ 。

工程后，增速 $0.10\text{m}/\text{s}$ 范围上到桥轴线上游约 200m 、接近三河岛南端，流速减小 $0.10\text{m}/\text{s}$ 范围下至桥轴线下游约 400m 。三主桥孔水域流速增大 $0.10\sim 0.15\text{m}/\text{s}$ ，河道左侧两桥墩间流速减小 $0.05\sim 0.10\text{m}/\text{s}$ 。P10 左、右侧最大流速分别为 $1.50\text{m}/\text{s}$ 、 $2.00\text{m}/\text{s}$ ，与彩虹桥桥墩之间水域增速约 $0.70\text{m}/\text{s}$ ，桥墩下游侧流速减小约 $1.10\text{m}/\text{s}$ 。P11 桥墩两

侧最大流速均为 1.50m/s，与彩虹桥墩之间水域增速约 1.00m/s，桥墩下游侧流速减小约 1.50m/s。

② 工程后将引起桥位上游壅水小于 0.020m，壅水长度约 700m。

河道主槽内主桥墩之间及下游桥轴线 100m 以内范围水位较工程前降低 0.010~0.030m，降幅大于 0.040m 位于桥墩附近；河道左侧两桥墩之间水位抬高 0.010~0.030m，雍高 0.050m 限于桥墩附近（沿桥轴线 29m×垂直桥轴线 33m）局部小范围内；施工栈桥（保留部分）引起蓟运河口雍高 0.03m，对防潮闸前水位基本无影响。

数模沿程水位计算率定计算结果见表 4.4，工程前后桥位河段局部水位变化表 4.5，施工栈桥对工程河段设计流量 4640m³/s 行洪影响的计算结果见表 4.6。

表 4.4 平面二维恒定流泄流数学模型沿程水位率定计算结果

桩号/名称		模型水位[m]率定		
		设计水位	率定计算值	误差
		(1)	(2)	(2)-(1)
0+000	屈家店闸下	5.521	5.551	0.03
1+820	京津公路桥	5.421	5.461	0.04
4+160	京山铁路桥	5.321	5.321	0.00
13+000	津围公路桥	4.861	4.851	-0.01
14+504	大张庄闸	4.781	4.821	0.04
19+470	机场排水河	4.671	4.621	-0.05
21+000	扬北公路	4.561	4.601	0.04
26+100	北京排污河口	4.391	4.391	0.00
26+500	津榆公路桥	4.381	4.371	-0.01
28+200	临时分洪口门	4.301	4.311	0.01
32+200	津唐运河	4.151	4.151	0.00
44+000	金钟河	3.791	3.751	-0.04
53+000	挡潮埝	3.681	3.641	-0.04
54+500	潮白新河	3.551	3.541	-0.01
56+000	无名	3.401	3.381	-0.02
58+700	京山铁路桥	3.151	3.191	0.04
59+100	公路桥	3.141	3.131	-0.01
62+100	蓟运河口	2.861	2.911	0.05
62+200	彩虹桥	2.751	2.761	0.01
62+991	挡潮闸闸上	2.641	2.641	0.00
63+091	挡潮闸闸下	2.491	2.491	0.00

表 4.5 设计流量 4640m³/s 条件下并线桥工程实施前后河道内沿程水位变化

桩号/名称		工程前 m	工程后 m	变化 m
		(1)	(2)	(2)-(1)
59+100	公路桥	3.136	3.136	0.000
61+400		2.996	2.996	0.000
61+500		3.003	3.003	0.000
61+600		2.999	3.000	0.001
61+700		2.988	2.990	0.002
61+800		2.977	2.982	0.005
61+900		2.958	2.967	0.009
62+000		2.932	2.944	0.012
62+100	蓟运河口	2.911	2.926	0.015
62+200		2.947	2.963	0.016
62+300		2.848	2.795	-0.053*
62+400		2.750	2.746	-0.004
62+500		2.693	2.690	-0.003
62+600		2.666	2.663	-0.003
62+700		2.643	2.641	-0.002
62+800		2.623	2.622	-0.001
62+900		2.621	2.620	-0.001
62+991	挡潮闸闸上	2.639	2.638	-0.001
63+091	挡潮闸闸下	2.487	2.486	-0.001

沿程水位采样点位于河槽深泓线；*采样点位于 P10 桥墩下游背水面

表 4.6 施工栈桥（保留）对工程河段设计流量 4640m³/s 行洪水位与流速影响计算结果

工况		水位[m]			流速[m/s]		
		蓟运河口	桥位处	防潮闸前	蓟运河口	桥位处	防潮闸前
现状彩虹桥	①	3.02	2.78	2.60	0.77	1.31	1.80
施工栈桥[保留]	②	3.05	2.83	2.60	0.75	1.41	1.81
差值	②-①	+0.03	+0.05	0.00	-0.02	+0.10	+0.01

注：施工栈桥[保留]指拆除河道主槽内的部分栈桥、围堰及全部临时支架

2) 一般行洪流量 2000m³/s 条件

本流量工况计算结果，主要为桥墩局部冲刷深度估算提供水动力参数，与行洪能力影响分析无直接关系，因此，在此仅列出并线桥项目工程前流速计算结果。

并线桥项目工程前，三河岛上游及其两侧河槽内流速为 1.00m/s 左右，彩虹桥⑬桥墩、⑭桥墩左右侧最大流速分别为 1.00m/s、1.50m/s 和 1.00m/s、0.50m/s。

3) 施工期影响

① 10 年一遇流量 1450m³/s 条件下，因主桥墩围堰和施工栈桥等阻流，并线桥轴

线附近局部小范围流速变化在-0.1~0.12m/s 之间，流速增大区主要位于 P10-⑬与 P11-⑭之间桥孔附近以及并线桥下游河道中心，流速减小区则主要位于 P11-⑭左侧主桥孔、并线桥轴线下游右侧水域。蓟运河口流速增加 0.01m/s，防潮闸处流速减小 0.13~0.15m/s。

② 10 年一遇流量 1450m³/s、非汛期施工期最不利工况，桥位处壅水高度在 0.03~0.05m 之间，对秋汛泄水影响甚微。蓟运河口水位增高在 0.02m 以内。

经与天津市水文中心沟通，桥位处近 5 年“秋汛”来流均小于非汛期设计洪水 1450m³/s，因此，即使非汛期遭遇秋汛等突发来流情况也可保证工程的安全。

表 4.7 为非汛期施工并线桥工程河段附近水位与流速计算值对比。

表 4.7 非汛期施工流量 1450m³/s 并线桥工程河段附近水位与流速计算值对比

工况		水位[m]			流速[m/s]		
		蓟运河口	桥位处	防潮闸前	蓟运河口	桥位处	防潮闸前
现状彩虹桥	①	1.12	1.07	1.03	0.18	0.64	0.97
施工期栈桥+围堰	②	1.14	1.11	1.04	0.19	0.68	0.84
施工期栈桥+临时支架	③	1.14	1.12	1.05	0.19	0.76	0.82
差值	②-①	+0.02	+0.04	+0.01	+0.01	+0.04	-0.13
	③-①	+0.02	0.05	+0.02	+0.01	+0.12	-0.15

4.2.3 非恒定流数模计算成果

(1) 模型概况

一维恒定非均匀流模型，计算范围：河道桩号 0+000~66+000。河道横断面资料：在 2008 年 11 月实测成果的基础上，采用永定新河治理二期工程深槽清淤后的设计断面。河道糙率：主槽为 0.0225，滩地：58+700 以上为 0.05，58+700~63+041 为 0.033，63+041 以下为 0.0225。设计流量及起始水位：根据《海河流域防洪规划》（2008 年），永定新河治理按 100 年一遇洪水设计，屈家店来水 1400m³/s，沿河汇入各支流来水后，河口处设计流量为 4640m³/s。根据《永定新河治理二期工程可研报告》，一维模型下边界河口处水位取 2.341m，防潮闸上取水位 2.641m。

二维河道洪水演进模型以一维计算结果为基础，模拟范围为：彩虹桥上游 1km（河道桩号 61+250）至防潮闸（63+041）闸下 1.2km（河道桩号 64+250），模拟河道长

3km。根据《永定新河治理二期工程初步设计报告》，二维模型采用永定新河治理一期工程和二期工程可研阶段采用的河道糙率：京山铁路桥（58+700）以上段主槽为0.0225，滩地为0.05；京山铁路桥（58+700）至防潮闸（63+041）段主槽为0.0225，滩地为0.033；防潮闸（63+041）以下段主槽和滩地均为0.0225。

设计流量及边界水位：与一维恒定非均匀流模型相同，即永定新河治理按100年一遇设计洪水，河口处设计流量为4640m³/s。防潮闸上水位取2.641m，模拟河道设计流量取4640m³/s，下边界取所在断面的设计水位2.391m。

(2) 主要计算成果

并线桥工程前后永定新河沿程水位一维恒定非均匀流模型计算结果见表4.8。

表4.8 永定新河清淤条件下并线桥工程前后沿程水位一维恒定非均匀流模型计算结果

桩号	位置	设计流量 (m ³ /s)	水位 (m)	
			工程前	工程后
0+000	屈家店	1400	5.521	5.521
1+820	京津公路桥	1400	5.421	5.421
4+160	京山铁路桥	1400	5.321	5.321
13+000	津围公路桥	1400	4.861	4.861
14+500	大张庄枢纽	1400	4.781	4.781
19+470	杨村机排河	1420	4.671	4.671
21+000	扬北公路	1420	4.561	4.561
26+100	北京排污河	1640	4.391	4.391
26+500	津榆公路桥	1640	4.381	4.381
32+200	津唐运河	1640	4.151	4.151
44+000	金钟河	1640	3.791	3.791
54+500	潮白新河	4640	3.551	3.551
58+700	京山铁路桥	4640	3.151	3.151
62+100	蓟运河口	4640	2.841	2.841
62+200	彩虹并线桥上	4640	2.751	2.761
62+240	彩虹并线桥下	4640	2.751	2.751
63+041	防潮闸上	4640	2.641	2.641
	防潮闸下	4640	2.491	2.491
65+000		4640	2.461	2.461
66+000	河口	4640	2.341	2.341

项目建设前后防潮闸上防护前沿、左右堤内堤脚附近各点位流速对比列于表 4.9。

表 4.9 项目建设前后防潮闸上防护前沿、左右堤内堤脚附近各点位流速对比

点位	坐标（国家2000）		流速（m/s）			
	X	Y	工程前	工程后	流速差值	流速差值%
闸0	562463.9659	4330447.2281	0.16	0.17	0.01	6.3
闸1	562505.2280	4330447.2281	0.76	0.75	-0.01	-1.3
闸2	562546.4902	4330447.2281	1.31	1.31	0.00	0.0
闸3	562587.7523	4330447.2281	2.46	2.47	0.01	0.4
闸4	562629.0145	4330447.2281	2.77	2.77	-0.01	-0.4
闸5	562670.2766	4330447.2281	2.74	2.76	0.01	0.4
闸6	562711.5388	4330447.2281	2.63	2.58	-0.05	-1.9
闸7	562752.8009	4330447.2281	2.65	2.67	0.02	0.8
闸8	562794.0631	4330447.2281	2.32	2.34	0.02	0.9
闸9	562835.3252	4330447.2281	0.18	0.19	0.01	5.6
	平均流速		1.80	1.80		
右堤0	562422.6266	4330674.3107	0.20	0.16	-0.04	-20.0
右堤1	562426.8388	4330651.5422	0.30	0.27	-0.03	-10.0
右堤2	562431.0510	4330628.7737	0.36	0.33	-0.03	-8.3
右堤3	562435.2632	4330606.0053	0.40	0.38	-0.02	-5.0
右堤4	562439.4754	4330583.2368	0.46	0.45	-0.01	-2.2
右堤5	562443.6876	4330560.4683	0.51	0.51	0.00	0.0
右堤6	562447.8998	4330537.6999	0.53	0.53	0.00	0.0
右堤7	562452.1120	4330514.9314	0.47	0.48	0.01	2.1
右堤8	562456.3242	4330492.1629	0.40	0.42	0.02	5.0
右堤9	562460.5364	4330469.3945	0.27	0.29	0.02	7.4
	平均流速		0.39	0.38		
左堤0	562961.6112	4331045.5358	0.68	0.50	-0.17	-25.0
左堤1	562947.1890	4330980.0700	0.68	0.74	0.07	10.3
左堤2	562932.7668	4330914.6041	0.56	0.61	0.05	8.9
左堤3	562918.3446	4330849.1382	0.62	0.65	0.03	4.8
左堤4	562903.9224	4330783.6724	0.84	0.84	0.00	0.0
左堤5	562889.5002	4330718.2065	0.83	0.84	0.01	1.2
左堤6	562875.0780	4330652.7407	1.27	1.29	0.03	2.4
左堤7	562860.6558	4330587.2748	1.50	1.52	0.02	1.3
左堤8	562846.2336	4330521.8089	1.63	1.64	0.01	0.6

左堤9	562831.8115	4330456.3431	1.21	1.22	0.01	0.8
	平均流速		0.98	0.99		

二维数值模拟计算结果表明，项目建设前后防潮闸上防护前沿处水位并未发生变化，流速差在-0.05~0.02m/s之间，防潮闸上防护前沿处平均流速均为1.80m/s，防潮闸附近流态并未发生明显变化，因此，项目建设对防潮闸基本没有影响。

P05~P08桥墩位于防潮闸管理范围内，但桥梁及桥墩布设对防潮闸基本没有影响。P03~P09桥墩位于防潮闸保护范围内，桥梁为水闸保护范围内的准入项目，桥梁及桥墩布设并未违反《水闸工程管理设计规范》的有关规定。

项目建设前、建设后岸线保护区右堤内堤脚附近水位并未发生明显变化，平均流速分别为0.39m/s和0.38m/s，流速略有减小，流态亦未发生明显变化；流速差在-0.04~0.02m/s之间，除右堤9个别点位，增速均在5%以内。表明布设桥墩对堤防处有一定掩护作用。此右岸岸线保护区为保护防洪安全类岸线保护区，项目建设内堤脚附近平均流速略有减小，对右侧堤防影响较小，因此对该岸线保护区影响较小。

P00~P07位于岸线保护区内，但均位于右堤外坡脚以外，不影响河道行洪，也不会危及堤防安全和河势稳定，对岸线保护区无明显不利影响。根据《海河流域重要河道岸线保护与利用规划》（2021年11月）和《天津市河湖岸线保护和利用规划》（2022年3月），对于保障防洪安全类岸线保护区，确需开发利用的水利、交通等国家重要基础设施类项目，应当符合防洪标准、岸线规划、航运要求和其他技术要求，需经过充分论证并严格按照法律法规要求履行相关许可程序，报请有关水行政主管部门审查同意。彩虹桥并线桥已列入2024年市级重点建设项目中的重大基础设施，属于天津市交通类重要基础设施项目，且论证表明，项目建设对河道防洪、堤防安全及河势稳定基本无影响，因此认为其桥墩布置基本满足岸线保护区的管理要求。因其中P06有约一半和P07在永定新河口管理范围内，工程方案同时须经海委审批同意。

项目建设前、建设后岸线控制利用区左堤内堤脚附近水位变化为0~0.02m；平均流速分别为0.98m/s和0.99m/s，工程后桥墩附近堤防处（左堤2、左堤3）流速有所增加，此影响随着与桥墩距离增加而减小。流速差在-0.17~0.07m/s之间，除左堤2、左堤3两处，增速均在5%以内。左堤附近流态未发生明显变化，流速方向均与堤防平顺，水流未对堤防形成顶冲作用。因此项目建设对左堤安全、对岸线控制利用区的

影响均较小。

P12、P13 和 P14 桥墩涉及左岸岸线控制利用区，但 P12、P13 均位于左堤内堤脚以里，未占压堤身。计算结果表明，河道内布置的桥墩对左堤安全影响较小。

在蓊运河口附近选取 10 个点位（河口 0~河口 9），项目建设前后各点位流速见表 4.10。

计算结果表明，工程前后蓊运河口附近水位变化范围为 0~0.01m，蓊运河口处的流速变化在-0.03~0m/s 之间，变化小于±5%。项目建设前、后蓊运河口处平均流速分别为 0.77m/s、0.76m/s，表明桥墩布置后蓊运河口处流速略有减小，但蓊运河口附近流态未发生明显变化，水流也未对河口处堤防形成顶冲作用，流速方向均与顺堤防走向顺应。

表 4.10 项目建设前后蓊运河口附近项目建设前后各点位流速对比

点位	坐标（国家 2000）		流速（m/s）			
	X	Y	工程前	工程后	流速差值	流速差值%
河口 0	562599.4854	4331464.9530	0.52	0.52	0.00	0.0
河口 1	562630.6492	4331439.9718	0.33	0.33	0.01	3.0
河口 2	562661.8131	4331414.9906	0.56	0.53	-0.03	-5.4
河口 3	562692.9769	4331390.0094	0.79	0.77	-0.02	-2.5
河口 4	562724.1408	4331365.0283	1.14	1.12	-0.02	-1.8
河口 5	562755.3046	4331340.0471	0.94	0.93	-0.01	-1.1
河口 6	562786.4685	4331315.0659	1.09	1.08	-0.01	-0.9
河口 7	562817.6323	4331290.0847	1.00	0.99	-0.01	-1.0
河口 8	562848.7962	4331265.1035	0.74	0.72	-0.02	-2.7
河口 9	562879.9600	4331240.1224	0.61	0.59	-0.02	-3.3
	平均流速		0.77	0.76		

(3) 主要结论

根据一维数值模拟计算、二维河道洪水演进模型计算结果，得出：

① 项目建设前后防潮闸上防护前沿处水位及流速均未发生明显变化，因此项目建设对防潮闸基本没有影响。

② 桥墩 P00~P07 所处右岸岸线保护区为保护防洪安全类岸线保护区，因其不妨碍行洪，也不影响河势稳定和危害堤防安全，不直接涉及防洪影响评价，但工程方案

须经天津市水务局行政许可；因其中 **P06 和 P07 涉及永定新河口管理范围**，工程方案同时须经海委根据有关规定审查同意并实施监督管理；天津市水务局审批权限范围内桥墩 P10~P14，桥墩⑬与 P10 和桥墩⑭与 P11 附近流速流场变化较小，P12~P14 涉及左岸岸线控制利用区，岸线控制利用区内左堤内堤脚附近工程前后水位、流速未发生明显变化，因此，项目建设对天津市水务局审批权限范围内的桥墩⑬与 P10 和桥墩⑭与 P11 河道深槽区和左堤安全和岸线控制利用区影响均较小。

③ **水利部海委审批权限范围内**桥墩 P06~P10，项目建设前后岸线保护区右堤内堤脚附近水位及流速未发生明显变化，桥墩⑬与 P10 附近流速流场变化较小。因此，项目建设对右侧堤防安全影响较小，对右岸岸线保护区临水侧和河道深槽区桥墩⑬与 P10 附近影响也较小。

④ 根据规范公式计算结果，项目建成后，桥位处设计流量条件下最大壅水高度为彩虹桥桥前 0.020m，最大壅水长度约为 290m，蓟运河口位于彩虹桥⑭号桥墩上游约 350m，项目建设后产生的壅水对蓟运河口影响甚微。项目建设前后蓟运河口流速未发生明显变化，因此项目建设对蓟运河口影响较小。

⑤ 通过上述分析，认为并线桥工程建设方案总体布局基本合理。

4.3 冲刷淤积计算与河势影响分析

4.3.1 河床冲刷深度分析计算方法

根据工程河道地质情况，本次计算采用《公路工程水文勘测设计规范》（JTG C30-2015）粘性土冲刷公式，进行河槽与河滩一般冲刷的计算。计算公式如下：

（1）河槽部分：

$$h_p = \left[\frac{A_d \frac{Q_2}{\mu B_{cj}} \left(\frac{h_{cm}}{h_{cq}} \right)^{\frac{5}{3}}}{0.33 \left(\frac{1}{L} \right)} \right]^{\frac{5}{8}} \quad (4-4)$$

式中： h_p 为桥下一般冲刷后的最大水深（m）； h_{cm} 为桥下河槽部分最大水深（m）； h_{cq} 为桥下河槽部分平均水深（m）； A_d 为单宽流量集中系数， $A_d=1.0\sim 1.2$ ，也可以 $A_d = \left(\frac{\sqrt{B_z}}{H_z} \right)^{0.15}$ ， B_z 为造床流量下的河槽宽度（m），对复式河床可取平滩水位时河槽宽度， H_z

造床流量下的河槽平均水深 (m)，对复式河床可取平滩水位时河槽平均水深； I_L 为冲刷范围内粘性土的液性指数， $I_L=0.16\sim 1.19$ ； B_{cj} 为河槽部分桥孔过水净宽 (m)，当桥下河槽能扩宽至全桥时，即为全桥桥孔过水净宽； Q_2 为桥下河槽部分通过的设计流量 (m³/s)，当河槽能扩宽至全桥时， $Q_2=Q_P$ (河道设计流量)，当桥下河槽不能扩宽至全桥时， $Q_2 = \frac{Q_c}{Q_c+Q_{tl}}Q_P$ ，其中 Q_c 、 Q_{tl} 分别为天然状态下河槽部分设计流量和桥下河滩部分设计流量 (m³/s)，本次计算 I_L 取值为 0.67。

(2) 河滩部分：

$$h_p = \left[\frac{A_d \frac{Q_1}{\mu B_{tj}} \left(\frac{h_{tm}}{h_{tq}} \right)^{\frac{5}{3}}}{0.33 \left(\frac{1}{I_L} \right)} \right]^{\frac{6}{7}} \quad (4-5)$$

式中： Q_1 为河滩部分通过的设计流量 (m³/s)，计算式为： $Q_1 = \frac{Q_{tl}}{Q_c+Q_{tl}}Q_P$ ， h_{tm} 为桥下河滩最大水深 (m)； h_{tq} 为桥下河滩部分平均水深 (m)； B_{tj} 为桥下河滩部分桥孔过水净宽 (m)；其余符号意义同前。

4.3.2 滩槽冲刷深度计算

与壅水分析时保持一致，过流断面计算中扣除了上游彩虹桥在深槽部分主桥墩的阻水面积。表 4.11、表 4.12 分别为河槽及滩地冲刷深一般冲刷度计算结果。计算结果表明，100 年一遇设计流量 4640m³/s 和 200 年一遇校核流量 4820m³/s 条件下，彩虹桥轴线断面、并线桥轴线断面深槽一般冲刷深度分别为 0.70m、0.51m 和 0.95m、0.76m。

并线桥项目工程后，计算得出滩地一般冲深为负值，表明工程河段滩地不会出现明显的冲刷。鉴于永定新河入海口处由防潮闸控制，河道仅在汛期有一定水量下泄且流量显著小于设计流量。因此，工程河段河势将长期维持稳定状态。

表 4.11 并线项目桥位轴线河道一般冲刷计算结果表 (河槽、粘性土公式)

计算项目	4640m ³ /s		4820m ³ /s	
	彩虹桥轴线	并线桥轴线	彩虹桥轴线	并线桥轴线
河段河槽最大水深 h_{cm} (m)	9.59	9.88	9.59	9.88
河段河槽平均水深 h_{cq} (m)	6.789	6.460	6.789	6.460
河槽部分设计流量 Q_2 (m ³ /s)	4637.4	4539.7	4817.3	4715.8
河槽部分过水净宽 B_{cj} (m)	463.8	510.9	463.8	510.9

单宽流量集中系数 A_d	1.15	1.15	1.15	1.15
粘性土样液性指数 I_L	0.67	0.67	0.67	0.67
河段深槽一般冲刷最大水深 h_p (m)	10.29	10.39	10.54	10.64
河段最低处冲刷最大深度 Δh (m)	10.29-9.59= 0.70	10.39-9.88 =0.51	10.54-9.59 =0.95	10.64-9.88 =0.76
河段河槽最大水深处降低值(m)	0.70		0.95	

表 4.12 并线项目桥位轴线河道一般冲刷计算结果表（滩地、粘性土公式）

计算项目	4640m ³ /s		4820m ³ /s	
	彩虹桥轴线	并线桥轴线	彩虹桥轴线	并线桥轴线
河段滩地最大水深 h_{tm} (m)	0.78	2.81	0.78	2.81
河段滩地平均水深 h_{tq} (m)	0.307	1.965	0.307	1.965
滩地部分设计流量： Q_1 (m ³ /s)	2.57	100.27	2.67	104.16
滩地部分过水净宽 B_{tj} (m)	153.6	149.2	153.6	149.2
粘性土样液性指数 I_L	0.67	0.67	0.67	0.67
河段滩地一般冲刷最大水深 h_p (m)	0.24	2.56	0.25	2.65
滩地最低处冲刷最大深度 Δh (m)	0.24-0.78= -0.54	2.56-2.81= -0.25	0.25-0.78= -0.53	2.65-2.81= -0.17
河段滩地最大水深处降低值(m)	出现淤积	出现淤积	出现淤积	出现淤积

4.3.3 桥墩局部冲刷深度计算与分析

根据 2022 年 9 月《中新生态城彩虹桥并线工程勘察初步成果》，并线桥主桥墩 P10-P11 附近 1-1'地质剖面资料和 Q16、Q17、Q19、Q21、Q22、Q25 和 Q26 孔位的地质土样土工试验成果数据，25m 以浅地质组成物中值粒径（ d_{50} ）主要为 0.040mm~0.063mm，属黏土或粉质黏土，即并线桥桥位工程河段河床 25m 深度以浅为偏于黏性泥沙特征，中粘粒至粉粒的粒径在 0.001mm~0.0075mm 之间，取其平均中值粒径 0.004mm（按照《土的工程分类标准》（GB/T 50145-2007），粉粒的粒径为 0.005mm $\leq d \leq$ 0.075mm，黏粒粒径为 $d \leq$ 0.005mm），则预估的冲刷坑内 8~22m 水深泥沙起流速为 0.75~1.14m/s，相同水深条件下平均中值粒径 0.123mm 细沙的起流速为 0.51~0.72m/s。表明粉质黏土或淤泥质粉土黏性泥沙抗冲性明显强于细沙。

采用《公路工程水文勘测设计规范》（JTG C30-2015）（以下简称《规范》）推荐的粘性河床桥墩局部冲刷计算公式：

$$\text{当 } \frac{h_p}{B_1} \leq 2.5 \text{ 时, } h_b = 0.83K_\xi B_1^{0.6} I_L^{1.25} v \quad (8.4.2-1)$$

式中： I_L ——冲刷坑范围内粘性土液性指数，适用范围为 0.16~1.48。

采用公式(8.4.2-1)计算，由于《规范》中没有两座近接桥墩和彩虹桥主桥墩承台之上为两个桥墩情形的局部冲刷深度计算工况，仅能对彩虹桥现状工况进行估算，并且还需要对彩虹桥承台上两个桥柱结构形式的桥墩计算宽度和墩长做近似处理，以便求出墩形系数 K_ξ 。 I_L 取并线桥主桥墩附近 1-1'地质剖面地层编号⑥a、⑥b、⑥c 和⑦取样物质实测液性指数的平均值 0.813（见表 4.13），得到设计流量 4640m³/s、黏性地层条件下彩虹桥主桥墩局部冲刷深度为 5.24~5.71m，见表 4.14。

表 4.13 并线桥主桥墩 1-1'地质剖面地层物质取样实测液性指数

地层编号		⑥a	⑥b	⑥c	⑦	平均值
I_L	最大值	1.24	1.09	0.94	0.82	
	最小值	0.76	0.43	0.61	0.47	
	平均值	1.04	0.78	0.77	0.66	0.813

表 4.14 设计流量 4640m³/s 彩虹桥主桥墩局部冲刷幅度计算（ I_L 反映粘性泥沙特性）

B_1' [m]	B_2' [m]	B_1 [m]	Δz [m]	hp	v [m/s]	I_L	K_ξ	h_b [m]
13.05	17.41	13.24	0.70	9.12	1.85	0.813	0.941	5.24
15.10	19.46	15.29	0.70	9.12	1.85	0.813	0.941	5.71

注：计算条件为设计流量 4640m³/s、设计水位 2.751m，行进垂线平均流速 2.00m/s，迎流角 10°

由于对桥墩计算宽度等简化和近似处理，估算所得局部冲刷深度会随桥墩计算宽度 B_1 偏大而增大。因此，并线桥工程前即现状彩虹桥局部冲刷深度合理值应介于 5.24~5.71m 之间。

为水闸运行安全，必须适时对河口防潮闸泄洪闸上水位进行控制。在海河“23.7”流域性特大洪水期间，永定新河口洪水主要过程即使是连续泄洪阶段性，防潮闸闸上水位和过闸流量均呈现明显非恒定特性：水位在 0.2m~2.35m 之间升降，洪水流量在 500m³/s~2930m³/s 之间起伏。鉴于并线桥工程河段洪水受闸控而呈现的明显非恒定特性和工程河段的几何特殊性，需要依据现场实测地形冲刷分析成果，对上述采用《规范》推荐计算公式所估算的现状彩虹桥局部冲刷深度进行分析校正。

校正依据，现场（海河“23.7”流域性特大洪水）日均流量 2103m³/s、持续时间 1.78 天条件下，彩虹桥 13 号主墩上游端附近出现局部冲刷形态，根据 2023 年 9 月实

测地形形态与清淤底高程对比，分析得出彩虹桥 13 号主墩上游局部冲刷最大深度为 1.4m，三河岛右侧主槽内最大冲深为 1.65m。分析认为，该次日均流量 2103m³/s、持续时间 1.78 天洪水过程引起的现场冲刷与恒定流 2000m³/s 洪水的作用相当。因此，采用《规范》推公式(8.4.2-1)，在流量 2000m³/s、水位 0.741m、行进流速 1.42m/s 条件下，经计算，深槽内一般冲刷深度 Δz 为 0.46m；计算的桥墩局部冲刷深度为 3.77~4.11m 之间（见表 4.15）。从而，得到校正系数=现场最大冲深值/公式估算大值 =1.65/4.11=0.401。

表 4.15 流量 2000m³/s 彩虹桥主桥墩局部冲刷幅度计算

B ₁ '[m]	B ₂ '[m]	B ₁ [m]	Δz [m]	hp	v[m/s]	I _L	K _{ξ}	h _b [m]
13.05	17.41	13.30	0.46	6.87	1.32	0.813	0.941	3.77
15.10	19.46	15.35	0.46	6.87	1.32	0.813	0.941	4.11

注：计算条件依据数模计算成果：流量 2000m³/s、水位 0.741m，行进垂线平均流速 1.42m/s，迎流角 10°

同样采用《规范》推荐公式(8.4.2-1)，计算并线桥工程后设计流量条件下彩虹桥主桥墩局部冲刷深度，结果见表 4.16，计算时将并线桥的承台、桥墩柱与彩虹桥的合并，并将两座桥主桥墩之间空隙也视同承台或桥墩柱，同时深槽内前述彩虹桥轴线断面一般冲刷深度（ Δz ）0.70m。依据得到的校正系数 0.401，并线桥工程后设计流量 4640m³/s 条件下彩虹桥局部冲刷校正为 0.401 ×（6.83m、7.06m）=2.74~2.83(m)。由于难于套用公式单独进行并线桥桥墩局部冲刷深度的计算，为安全计，并线桥的局部冲刷深度也取为 2.83m。

表 4.16 设计流量 4640m³/s、并线桥工程后彩虹桥主桥墩局部冲刷幅度计算

B ₁ '[m]	B ₂ '[m]	B ₁ [m]	Δz [m]	hp	v[m/s]	I _L	K _{ξ}	h _b [m]
20.41	24.77	20.59	0.70	9.12	1.85	0.813	0.941	6.83
21.57	25.93	21.76	0.70	9.12	1.85	0.813	0.941	7.06

注：计算条件为设计流量 4640m³/s、设计水位 2.751m，行进垂线平均流速 2.00m/s，迎流角 10°

4.3.4 最大冲刷深度取值

并线桥工程后，设计流量 4640m³/s、黏性泥沙地层条件下，规划清淤槽内并线桥与彩虹桥的主桥墩局部冲刷深度均取为 2.83m，见表 4.17。

表 4.17 设计流量 4640m³/s 条件下规划清淤槽内主桥墩局部最大冲刷深度[m]取值

黏性泥沙地层《规范》公式计算值	经实测分析资料校正工程后桥墩局部最大冲深取值	
并线桥工程后彩虹桥	彩虹桥	并线桥

6.83~7.06	2.74~2.83	2.83
-----------	-----------	------

按照《公路工程水文勘测设计规范》（JTG C30-2015），深槽内并线桥主桥墩处总冲刷深度为自然冲刷、一般冲刷和局部冲刷深度之和，工程河段自然冲刷为零。考虑工程区河段行洪受闸控、三河岛掩护等实际情况，并线桥工程河段深槽内总冲刷深度为 $2.83+0.70=3.53(\text{m})$ ，即深槽内最大冲刷线高程为 -9.559m ，滩地上最大冲刷深度为 0.60m 。结合桥位河段 2023 年 9 月实测地形并考虑河道按规划设计清淤，P08~P13 桥墩处最大冲刷线高程列于表 2.4，其中 P13 桥墩位于河道治理工程形成的迎水坡二级边坡上，该处滩面已经高于设计水位，因此，该桥墩处冲刷深度为零。

水利部海委审批权限范围：P08~P10 桥墩处（承台范围内）最大冲刷线高程依次为 1.051m 、 -5.129m 和 -9.559m 。

天津市水务局审批权限范围：P10~P13 桥墩处（承台范围内）最大冲刷线高程依次为 -9.559m 、 -9.559m 、 -0.219m 和 3.681m 。

4.3.5 局部冲刷防护

按照公式计算和分析，并线桥实施后，在设计流量 $4640\text{m}^3/\text{s}$ 条件下，并线桥局部冲刷最大部位在河道清淤槽内主桥墩上游桩基左侧附近，最大冲刷线约在 -9.559m 一线。理论分析和试验研究^[8]均表明，虽然彩虹桥最大局部冲深与并线桥取值相同，但在两座桥近接的情况下，在清淤槽内彩虹桥主桥墩承台左侧上游附近的局部冲深会更大些。因此，需要关注彩虹桥主桥墩的局部冲刷防护问题。

高正荣等^[8]收集了国内外桥梁破坏原因分析调查资料，并研究总结了桥墩冲刷的防护措施，提出冲刷防护措施主要为消能减冲和护底抗冲，其中以护底抗冲措施更为常用。

护底抗冲措施是利用抛石、沙枕、沙袋、软体排等结构对桥墩基础及周围进行防护，以有效抵抗桥墩前冲击水流产生的底部向下漩辊，将墩侧绕流最大流速区调整到防护区外围，从而达到明显地折减最大冲深的效果。鉴于并线桥河段河床底质相对易冲、连续泄洪时间较短的实际情况，采用护底抗冲措施进行局部冲刷防护。在防护结构选择上，既要适应易冲底床和群桩基础的特点，也要防护方案相对简单、易于就地取材，且能够分成小块进行施工。抛填充沙袋防护措施 2004 年在长江下游苏通

大桥主桥墩应用并取得良好冲刷防护效果。主桥墩施工期（2004年8月11日至2004年12月17日）基本结束时监测结果，北主墩（初级防护）周边最大局部冲深约为8m，南主墩（按设计防护）周边最大局部冲深仅约1~2m。

综上因素，鉴于桥位河段较特殊的水动力环境，并参考桥墩冲刷分析研究成果^[8]，采用土工布充填沙袋作为彩虹桥和并线桥一体化主桥墩局部冲刷防护措施。具体为：非汛期在彩虹桥13号与并线桥P10组合主桥墩周边进行土工布充沙袋抛填防护，范围：顺河方向80m×跨河方向45m×厚度0.6m，抛填后充沙袋层顶面不高于清淤槽底高程-6.00m（大沽基面-4.36m）。装沙袋尺寸采用1.3m×1.3m×0.6m，充填沙粒径大于0.075mm的沙颗粒含量80%以上、黏粒含量（0.005mm）10%以下。

4.4 梁底高程分析

4.4.1 主桥孔梁底高程分析

永定新河治理工程一期，修建了永定新河防潮闸，并在闸下右岸新建一座650米长渔船码头。永定新河防潮闸并没有配置通航建筑物，而河道进口处屈家店枢纽早先的北运河船闸已废。经与天津市港务局港监处、航监处沟通，并线桥工程河段不涉及航道和通航要求。

。并线桥主桥孔梁底高程为3.512m（P12与P11之间桥孔）、4.007m（P11与P10之间桥孔）和3.512m（P10与P09之间桥孔）（引自表2.2），可见，100年一遇设计流量水面线2.751m之上主桥孔梁底净空分别为0.76m、1.25m和0.76m。并线桥桥梁在河道内最小净空为最低梁底高程3.512m-2.751m=0.761m，河道内梁底最低高程河道内梁底高程满足《城市桥梁设计规范》CJJ 11-2011（2019版）非通航河流无大漂流物设计规范要求。

4.4.2 跨越河堤梁底高程分析

天津水务局审批权限范围：

并线桥跨左堤处净空高度=梁底高程9.622高于左堤规划堤顶高程4.751m（规划设计堤顶高程为100年一遇洪水位加超高2.0m，满足净空高度4.5m以上规定。

水利部海河水利委员会审批权限范围：

根据实测资料，彩虹桥跨右堤堤顶路两处分别为净空高度1=梁底高9.512m-路面

高 $5.372\text{m}=4.14\text{m}$ （若以此处规划设计堤顶高程 5.751m 计，净空约为 3.76m ），净空高度 $2=\text{梁底高 } 10.042\text{m}-\text{路面高 } 5.082\text{m}=4.96\text{m}$ 。因此，彩虹桥跨右堤堤顶路现状净空高度为 4.14m 左右，实际不能满足防洪抢险关于堤防净空高度应 $\geq 4.5\text{m}$ 规定。

跨右堤处净空高度 = 梁底高程 8.482m 高于右堤规划堤顶高程 $5.751\text{m}=2.731\text{m}$ ，不满足净空高度 4.5m 以上规定。因此采取右堤绕行方案，右堤绕行处最小净空高度 = 梁底高程 $8.752\text{m}-\text{桥下最高处路面高程 } 3.952\text{m}=4.80\text{m}$ ，满足净空高度 4.5m 以上规定。

因此，结合右堤绕行方案，并线桥能够保证《堤防工程设计规范》（GB50286-2013）关于交通、防汛抢险、管理维修等方面道路畅通。

为了满足水利部海河水利委员会“技术审查规定”之“梁底高程”要求，确保并线桥河段堤防稳定和防洪安全，需要对彩虹桥与并线桥的桥梁投影区右堤堤身和迎水坡进行防护加固，见第 6 章 6.1.2 节。

4.5 堤防及岸坡稳定分析计算

4.5.1 堤身安全分析

(1) 跨堤建筑物布置

从并线桥跨越永定新河堤防立面结构和平面设计图可知，**天津市水务局审批权限范围**：并线桥桥墩 P13 至少在左堤内坡脚线以外 2.82m 、P14 在左堤外坡脚线以外；在并线桥桥墩 P13~P14 跨左堤处堤顶路与市政道路相连，并没有实际的左堤外坡脚，桥墩 P14 至少在设计左堤外坡脚线以外 1.49m ；**水利部海委审批权限范围**：P07 在右堤外坡脚线以外不小于 1.16m 、P08 在右堤内坡脚线以里 21.3m 。因此，并线桥项目跨堤建筑物均未压占两岸堤防堤身设计断面，符合《堤防工程设计规范》（GB50286-2013）“为了堤防的稳定和防洪安全运用，并且不影响堤防的加固和扩建，跨堤建筑物、构筑物的支墩应布置在堤身设计断面之外”的规定。

(2) 右堤绕行路布置

为了满足净空高度 4.5m 以上规定，满足《堤防工程设计规范》（GB50286-2013）关于交通、防汛抢险、管理维修等方面的要求，设计布置了右堤绕行路。由于该绕行路是为保证右堤防汛抢险道路通畅而设置，且其平面上较多地位于永定新河口管理区（闸上河段）内，因此，将右堤绕行路归属**水利部海委审批权限范围**。

绕行路布置在现状彩虹桥和并线桥投影下的桩号范围内，即 DDK0+160-DDK0+230 路段，距离永定新河右堤背水坡脚水平距离大于 10m，高于现状地面 1m。起终点接顺现状堤位置，绕行路净宽 6m、长度约 280m，上、下堤坡段纵坡不大于 4%。绕行路为在现状地面上新建填筑路基路面结构，即在现状堤身进行加铺道路结构；此外，绕行路布置考虑了尽可能缩短绕行路的长度。因此，对现状堤身稳定与安全影响较小。

4.5.2 堤防冲刷计算

本桥址河段近岸水流基本平行于岸坡，采用《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)附录 D 公式 D.2.2-1 和公式 D.2.2-2 进行堤防冲刷计算，公式如下：

$$h_s = H_0 \left[\left(\frac{U_{cp}}{U_c} \right)^n - 1 \right]$$

D.2.2-1

$$U_{cp} = U \frac{2\eta}{1+\eta}$$

D.2.2-2

式中： h_s 为局部冲刷深度（m），从水面起算； H_0 为冲刷处的水深（m），以近似设计水位最大深度代替； U_{cp} 为近岸垂线平均流速（m/s）； U_c 为泥沙起动流速（m/s），对于黏性和砂质河床可采用张瑞瑾公式（D.2.1-5）计算； U 为行近流速（m/s）； n 与防护岸坡在平面上的形状有关，一般取 $n=1/4\sim 1/6$ ； η 为水流流速不均匀系数。

$$U_c = \left(\frac{H_0}{d_{50}} \right)^{0.14} \sqrt{17.6 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} + 6.50 \times 10^{-7} \frac{10 + H_0}{d_{50}^{0.72}}}$$

D.2.1-5

式中： d_{50} 为床沙的中值粒径（m），考虑岸坡物质为黏土或粉质黏土， $d_{50}=0.004\text{mm}=4 \times 10^{-6}\text{m}$ ， $d_{50}=0.022\text{mm}=2.2 \times 10^{-5}\text{m}$ ； γ_s 、 γ 分别为泥沙和水的重率（ kg/m^3 ），分别为 2650kg/m^3 、 1000kg/m^3 。

并线桥工程河段堤防冲刷的计算，以设计流量和校核流量条件下并线桥轴线断面和彩虹桥轴线断面两岸岸坡处最大水深处为例，结合并线桥工程后二维数模计算垂线平均流速场结果，分别取行近流速为 1.20m/s 和 1.257m/s， $\eta=1.125$ 即考虑水流流向与堤防岸坡之间的夹角为 $15^\circ \sim 20^\circ$ 之间，河道堤防局部冲刷计算结果见表 4.18。

表 4.18 并线桥项目桥位轴线河道堤防局部冲刷计算表

计算项目	$d_{50}=0.004\text{mm}$ 黏土				$d_{50}=0.022\text{mm}$ 粉质黏土			
	4640m ³ /s		4820m ³ /s		4640m ³ /s		4820m ³ /s	
	并线桥	彩虹桥	并线桥	彩虹桥	并线桥	彩虹桥	并线桥	彩虹桥
岸坡冲刷处水深 H_0 (m)	2.815	0.778	2.815	0.778	2.815	0.778	2.815	0.778
行近流速 U (m/s)	1.200	1.200	1.257	1.257	1.200	1.200	1.257	1.257
近岸垂线平均流速 U_{cp} (m/s)	1.271	1.271	1.331	1.331	1.271	1.271	1.331	1.331
泥沙起动流速 U_c (m/s)	1.611	1.234	1.611	1.234	0.699	0.537	0.699	0.537
岸坡局部冲刷深度 h_s (m)	-0.162	0.006	-0.131	0.015	0.454	0.187	0.492	0.198

计算表明，在设计流量和 200 年一遇校核流量、设计水位条件下，并线桥实施前后工程河段黏土堤防岸坡局部冲刷深度很小或不发生冲刷（冲深为负值），即表示河道滩地发生的一般冲刷不会影响岸坡；而对于粉质黏土堤防岸坡，则可能出现 0.20~0.49m 的局部冲刷，需要一定的防护措施，而桥位河段堤防迎水面设有 12cm 厚植被混凝土块护砌和 0.5m×0.5m 浆砌石齿墙坡脚。彩虹桥与并线桥的桥梁投影区右堤堤身和迎水坡将实施加固，因此，并线桥建设项目实施后水流不会对工程河段两岸堤防造成不利影响。

4.5.3 堤防渗流及抗滑稳定复核计算

(1) 工程地质

与并线桥最接近的堤防段左堤段（53+700~59+090）右堤段（42+300~46+300）堤基土体地质参数见勘察报告。

(2) 堤防渗流计算分析

1) 计算程序和方法

计算程序采用河海大学工程力学系（工程力学研究所）研制的 AutoBank 软件，该软件内部采用有限元技术，可对土坝、堤防、涵洞、水闸等水工建筑物进行详细的分析计算。

饱和-非饱和土壤水的流动规律可以统一用 Darcy 定律表示：

$$q = -k_w \nabla h_w$$

(4-6)

式中： q ——单位时间内通过单位面积土壤的水量； k_w ——渗透系数，通常表达为体积含水率 θ_w 的函数 $k_w(\theta_w)$ ，当土体饱和时， k_w 可认为是常数； h_w ——水势， $h_w = z + u_w/\gamma_w$ 。在饱和区， u_w/γ_w 表示压力水头，为正值；在非饱和区， u_w/γ_w 表示基质势水头，为负值；在二者交界面上， u_w/γ_w 为零。

$$\nabla h_w \text{——水力梯度矢量， } \nabla h_w = \frac{\partial h_w}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial h_w}{\partial y} \mathbf{j}。$$

取一土体单元，假设土壤骨架不变形，土壤水为不可压缩的流体。在 dt 时间内，流入和流出单元体的体积差总计为：

$$-\left(\frac{\partial v_{wx}}{\partial x} + \frac{\partial v_{wy}}{\partial y}\right) dx dy dt$$

(4-7)

在单元体内，土壤含水量为 $\theta_w dx dy$ ， θ_w 为体积含水率。由于固相土骨架不变形，即 dx 、 dy 不随时间改变，因此， dt 时间内单元体内含水量的变化率为： $\frac{\partial \theta_w}{\partial t} dx dy dt$ 。

单元体内土壤含水量的变化，是由流入单元体和流出单元体的体积之差造成的。根据质量守恒原理，非饱和土非稳态渗流情况下，流入与流出单元的水量变化率等于该单元内水量随时间的变化率，由此可得出土壤水运动的连续方程：

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial t} = -\left(\frac{\partial v_{wx}}{\partial x} + \frac{\partial v_{wy}}{\partial y}\right)$$

(4-8)

将 (4-29) 代入上式，即可得出非饱和土壤水流动的基本微分方程：

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} [k_{wx}(\theta_w) \frac{\partial h_w}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_{wy}(\theta_w) \frac{\partial h_w}{\partial y}]$$

(4-9)

当土壤饱和时，土壤孔隙为水充满，其含水率 θ_w 变为饱和含水率 θ_s ，渗透吸水 k_w 变为饱和渗透系数 k_s 。且当不考虑水的压缩性时， $\frac{\partial \theta_w}{\partial t} = 0$ ，方程（4-31）变为：

$$\frac{\partial}{\partial x} [k_{wx}(\theta_w) \frac{\partial h_w}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_{wy}(\theta_w) \frac{\partial h_w}{\partial y}] = 0 \quad (4-10)$$

此即为不考虑压缩的饱和土的渗流基本方程。因此，饱和流动可看成是非饱和流动的特例。体积含水率 θ_w 的变化由法向应力 $(\sigma - u_a)$ 和基质吸力 $(u_a - u_w)$ 共同影响，可以用如下关系式表达：

$$d\theta_w = -m_1^w d(\sigma - u_a) - m_2^w d(u_a - u_w) \quad (4-11)$$

式中： σ ——总应力； u_a, u_w ——孔隙气压，负孔隙水压； m_1^w ——与法向应力 $(\sigma - u_a)$ 变化有关的水的体积变化系数； m_2^w ——与基质吸力 $(u_a - u_w)$ 变化有关的水的体积变化系数。

在某一特定的很短的时间步长内，可假设系数 m_1^w 和 m_2^w 为常数，则有：

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial t} = -m_1^w \frac{\partial (\sigma - u_a)}{\partial t} - m_2^w \frac{\partial (u_a - u_w)}{\partial t} \quad (4-12)$$

联立式（2-6）和（2-7）可以得到非饱和土渗流控制方程的另一种表达形式：

$$\frac{\partial}{\partial x} [k_{wx}(\theta_w) \frac{\partial h_w}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_{wy}(\theta_w) \frac{\partial h_w}{\partial y}] = -m_1^w \frac{\partial (\sigma - u_a)}{\partial t} - m_2^w \frac{\partial (u_a - u_w)}{\partial t} \quad (4-13)$$

假设上式中描述的瞬态渗流过程中，没有外荷载施加在土体单元上，并且在非饱和区和气相连续不变，则有：

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = 0, \frac{\partial u_a}{\partial t} = 0$$

$$(4-14)$$

这样式 (1-8) 可简化为:

$$\frac{\partial}{\partial x}[k_{wx}(\theta_w)\frac{\partial h_w}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[k_{wy}(\theta_w)\frac{\partial h_w}{\partial y}] = -m_2^w \frac{\partial(u_a - u_w)}{\partial t}$$

$$(4-15)$$

此时, $m_2^w = -\frac{\partial\theta_w}{\partial(u_a - u_w)}$, 即土-水特征曲线斜率的绝对值。

由于 $h_w = z + u_w/\gamma_w$, 且 $\frac{\partial z}{\partial t} = 0$, $\frac{\partial u_a}{\partial t} = 0$ 。用总水头 h_w 代表上式中的 u_w , 有:

$$\frac{\partial}{\partial x}[k_{wx}(\theta_w)\frac{\partial h_w}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[k_{wy}(\theta_w)\frac{\partial h_w}{\partial y}] = \rho_w g m_2^w \frac{\partial h_w}{\partial t}$$

$$(4-16)$$

当土壤饱和时, 一般土-水特征曲线变化很平缓, m_2^w 近似为零。通过用式 (4-38) 来描述饱和-非饱和土壤中水流的连续流动。

$$\text{第一类边界条件: } h|_{\Gamma_1} = H(x, y, t) \quad (4-17)$$

$$\text{第二类边界条件: } k \frac{\partial h}{\partial n}|_{\Gamma_2} = q(x, y, t) \quad (4-18)$$

$$\text{第三类边界条件: } \frac{\partial h}{\partial n} + \alpha h = \beta \quad (4-19)$$

$$\text{渗流初始条件为 } h(x, y, t)|_{t=0} = H_0(x, y, t) \quad (4-20)$$

2) 并线桥计算结果

① 计算断面及计算工况

左岸堤防堤顶路已与地面基本水平连接, 实际不存在左堤背水侧, 因此, 重点考虑右岸堤防渗流计算。根据《堤防工程设计规范》(GB50286-2013), 计算设计洪水水位、水位降落情况下, 背水坡溢出点位置及溢出比降。选取引桥处断面为典型断面, 背水侧地面高程为 2.751m, 临水侧地面高程为 2.352m, 高于桥梁设计常水位 1.052m, 考虑以下两种计算工况:

工况一：稳定渗流期，临水侧 100 年一遇设计洪水位▽2.751m，背水侧为无水情况；工况二：水位降落期，临水侧水位由设计洪水位降落至常水位。

② 土体参数指标

典型断面处地勘情况参考《永定新河治理二期工程初步设计报告》中成果和并线桥轴线断面实测地形，土体物理力学指标依据该地勘报告以及经验确定，详见表 4.20。

表 4.20 渗流稳定分析选用物理力学指标表

土层编号	土层名称	渗透系数	
		垂直 $K_v(\text{cm/s})$	水平 $K_h(\text{cm/s})$
①	粉质粘土	3.4×10^{-6}	3.4×10^{-6}
②	粘土	1×10^{-6}	1×10^{-6}
③	粉质粘土	6.6×10^{-6}	6.6×10^{-6}
④	粉土	3.1×10^{-4}	3.1×10^{-4}

③ 计算结果分析

计算结果显示，渗流场分布符合一般规律，浸润线从背水侧地面附近出逸。背水坡坡面水平段最大溢出比降为 0.07，小于允许比降，渗透稳定满足要求。

3) 彩虹桥计算结果

① 计算断面及计算工况

根据《堤防工程设计规范》（GB50286-2013），计算设计洪水位，背水坡溢出点位置及溢出比降。选取彩虹桥处堤防断面为典型断面，背水侧地面高程为 2.252m（3.92m），临水侧地面高程为 2.132m（3.80m），高于桥梁设计常水位 1.052m（2.72m），考虑以下两种计算工况：

工况一：稳定渗流期，临水侧 100 年一遇设计洪水位▽2.751m，背水侧为无水情况；

工况二：水位降落期，临水侧水位由设计水位降落至常水位。

②土体参数指标

典型断面处地勘情况参考《永定新河治理二期工程初步设计报告》（水北方勘测设计研究有限责任公司，2013 年 10 月）中成果和并线桥轴线断面实测地形，土体物理力学指标依据该地勘报告以及经验确定，详见表 4.21。

表 4.21 渗流稳定分析选用物理力学指标表

土层编号	土层名称	渗透系数	
		垂直 $K_v(\text{cm/s})$	水平 $K_h(\text{cm/s})$
①	粉质粘土	3.4×10^{-6}	3.4×10^{-6}
②	粘土	1×10^{-6}	1×10^{-6}
③	粉质粘土	6.6×10^{-6}	6.6×10^{-6}
④	粉土	3.1×10^{-4}	3.1×10^{-4}

③计算结果分析

计算结果显示，渗流场分布符合一般规律，浸润线从背水侧地面附近出逸。现状堤背水坡坡面水平段最大溢出比降为 0.060，小于允许比降，渗透稳定满足要求。

(3) 抗滑稳定安全复核计算

1) 计算理论

根据《堤防工程设计规范》，抗滑稳定计算采用瑞典圆弧法，因对土体抗剪强度计算方法的不同，分为总应力法和有效应力法。

①总应力法：

施工期抗滑稳定安全系数可按下式计算：

$$K = \frac{\sum (C_u b \sec \beta + W \cos \beta \tan \varphi_u)}{\sum W \sin \beta}$$

(4-21)

水位降落期抗滑稳定安全系数可按下式计算：

$$K = \frac{\sum [C_{cu} b \sec \beta + (S \cos \beta - u_i b \sec \beta) \tan \varphi_{cu}]}{\sum W \sin \beta}$$

(4-22)

$$W = W_1 + W_2 + \gamma_w Zt$$

(4-23)

②有效应力法：

稳定渗流期抗滑稳定安全系数可按下式计算：

$$K = \frac{\sum \{C' b \sec \beta + [(W_1 + W_2) \cos \beta - (u - Z \gamma_w) b \sec \beta] \tan \varphi'\}}{\sum (W_1 + W_2) \sin \beta}$$

(4-24)

式中： l —条块宽度（ m ）； W —条块重量 $W=W_1+W_2+\rho_w Zl$ ； W_1 —在堤外坡水位以上的条块重力（ kN ）； W_2 —在堤外坡水位以下的条块重力（ kN ）； Z —堤外坡水位高出条块底面中点的距离（ m ）； u —稳定渗流期堤身或堤基中的孔隙压力（ kPa ）； u_i —稳定渗流期堤身或堤基中的孔隙压力（ kPa ）； β —条块重力线与通过此条块底面中点的半径之间的夹角（ $^\circ$ ）； γ_w —水的重度（ kN/m^3 ）； $C_u, \varphi_u, C_{cu}, c', \varphi'$ —土的抗剪强度指标。

2) 并线桥计算结果

① 计算参数的选取

工程区土体物理力学参数根据《永定新河治理二期工程初步设计报告》（水北方勘测设计研究有限责任公司 2013 年 10 月）以及经验确定，取值见表 4.22 所示。

表 4.22 岸坡土体物理力学特征值参数取值

土层编号	土层名称	容重 $\gamma(kN/m^3)$		直剪（快剪）		直剪（固快）	
		湿容重	干容重	粘聚力 $c(kPa)$	内摩擦角 $\varphi(^\circ)$	粘聚力 $c(kPa)$	内摩擦角 $\varphi(^\circ)$
①	粉质粘土	18.9	14.6	20	10	20	14
②	粘土	18.3	13.5	24	4	26	13
③	粉质粘土	18.6	14.1	18	5	20	17
④	粉土	19.3	15.2	12	15	15	20

② 计算工况

为保证各种水位条件、各种运行荷载组合下工程区堤坡的稳定，本次抗滑稳定性验算从各种水位积荷载组合下选择四种最不利组合：

工况一：稳定渗流期，临水侧持续 100 年一遇设计洪水位 $\nabla 2.751m$ ，背水侧为无水情况；工况二：稳定渗流期，临水侧常水位 $\nabla 1.052m$ （ $2.72m$ ），背水侧为无水情

况；工况三：水位降落期，临水侧水位由设计洪水位降落至常水位；工况四：地震工况，临水侧常水位▽1.052m（2.72m），背水侧为无水情况。

4) 左岸堤防计算结果

按照简化毕肖普法分别采用设计水位、常水位、水位骤降和地震四种工况对左岸典型断面进行边坡稳定分析计算，现状堤防抗滑稳定安全系数均能满足规范要求，安全系数见表 4.23。

表 4.23 左岸岸坡稳定计算成果表

计算状况	控制水位	抗滑稳定系数	允许系数	结果判定
使用期	设计水位（2.751m）	2.98	1.35	稳定
使用期	桥梁设计常水位（1.052m）	2.45	1.35	稳定
水位骤降	设计水位（2.751m）且水位骤降	2.21	1.35	稳定
地震工况	桥梁设计常水位（1.052m）遇地震	1.66	1.15	稳定

5) 右岸堤防计算结果

按照简化毕肖普法分别采用设计水位、常水位、水位骤降和地震四种工况对右岸典型断面进行边坡稳定分析计算，现状堤防抗滑稳定安全系数均能满足规范要求，安全系数见表 4.24。

表 4.24 右岸岸坡稳定计算成果表

计算状况	控制水位	背水侧抗滑稳定系数	临水侧抗滑稳定系数	允许系数	结果判定
使用期	设计水位（2.751m）	2.74	/	1.50	稳定
使用期	常水位（1.052m）	3.43	2.23	1.50	稳定
水位骤降	设计水位且水位骤降	2.74	1.93	1.50	稳定
地震工况	桥梁设计常水位（1.052m）遇地震	2.19	1.80	1.20	稳定

2) 彩虹桥计算结果

①计算参数的选取

工程区土体物理力学参数根据《永定新河治理二期工程初步设计报告》（水北方勘测设计研究有限责任公司 2013 年 10 月）以及经验确定，取值见表 4.22。

②计算工况

为保证各种水位条件、各种运行荷载组合下工程区堤坡的稳定，本次抗滑稳定性

验算从各种水位及荷载组合下选择四种最不利组合：

工况一：稳定渗流期，临水侧持续 100 年一遇设计洪水位▽2.751m，背水侧无水；

工况二：稳定渗流期，临水侧常水位▽1.052m，背水侧为无水情况；

工况三：水位降落期，临水侧水位由设计洪水位降落至常水位；

工况四：地震工况，临水侧常水位▽1.052m，背水侧为无水情况。

③左岸堤防计算结果

按照简化毕肖普法分别采用设计高水位、常水位、水位骤降和地震四种工况对彩虹桥堤防典型断面进行边坡稳定分析计算，现状堤防抗滑稳定安全系数均能满足规范要求，安全系数见表 4.25。

表 4.25 彩虹桥现状堤稳定计算成果表

计算状况		控制水位	抗滑稳定系数		允许系数	结果判定
			临水侧	背水侧		
现状堤	使用期	设计水位（2.751m）	2.810	2.565	1.50	稳定
	使用期	常水位（1.052m）	3.167	3.101	1.50	稳定
	水位骤降	设计水位（2.751m）骤降至常水位（1.052m）	2.808	/	1.50	稳定
	地震工况	常水位（1.052m）遇地震	2.099	2.129	1.20	稳定

足要求，临水侧和背水侧抗滑稳定也均满足要求；并线桥处堤防渗流及抗滑稳定均满足要求。因此，并线桥建设项目对工程河段堤防渗流及抗滑稳定不会产生不利影响。

4.6 第三人合法水事权益的影响分析

(1) 华润燃气管线影响分析

《燃气工程项目规范》（GB55009-2021）中关于“管道和调压设施”之规定主要如下：“5.1.6 输配管道及附属设施的**保护范围**应根据输配系统的压力分级和周边环境条件确定。最小范围应符合下列规定：1 低压和中压输配管道及附属设施，应为外缘周边 0.5m 范围内的区域；2 次高压输配管道及附属设施，应为外缘周边 1.5m 范围内的区域；3 高压及高压以上输配管道及附属设施，应为外缘周边 5.0m 范围内的区域。”

中石油华润燃气管线管径为 DN600 钢管（外径 630mm），压力 2.5Mpa，在彩虹

桥上游以拉管方式从河床底下穿越过河。根据《燃气工程项目规范》(GB55009-2021), 压力 2.5Mpa 为高压输配管线。因此, 华润燃气管线及其附属设施的保护范围应为外缘周边 5.0m 范围内的区域。

在右岸陆地区域并以并线桥桥墩编号增大的方向看, 华润燃气管线在并线桥左侧, 河道内桥墩 P08~P13 之间距离依次约为 50m、77m、126m、176m、224m 和 247m。此外, 并线桥右侧至少 337m (P21 处最近) 范围内没有顺河堤管线。

此外, 根据并线桥建设后桥墩局部冲刷范围最上游仅至彩虹桥主桥墩承台前部约 15m 的动床物理试验结果测量, 河道深槽中彩虹桥 13 号主桥墩与并线桥主桥墩 P10 和彩虹桥 14 号主桥墩与并线桥主桥墩 P11 的局部冲刷范围与燃气管线外缘线最近距离分别约为 67m、117m, 可见桥墩局部冲刷区远在华润燃气管线及其附属设施的保护范围之外, 不会对华润燃气管线产生不利影响。

由上可见, 并线桥河道内桥墩与华润燃气管线之间的最近距离为 50m, 表明并线桥建设项目的建(构)筑物均远在华润燃气管线及其附属设施的保护范围(外缘周边 5.0m 范围内的区域)之外。因此, 并线桥建设项目对华润燃气管线没有不利影响。

(2) 永定河管理处影响分析

P03~P09 桥墩位于防潮闸保护范围内, P05~P08 桥墩位于防潮闸管理范围内, 桥梁为水闸保护范围内的准入项目, 桥梁及桥墩布设并未违反《水闸工程管理设计规范》的有关规定。二维数值模拟计算结果表明, 并线桥项目建设对防潮闸附近的水位和流速流体影响很小, 桥梁及桥墩布设对防潮闸的运行和维护的管理影响较小。

天津市永定河管理处下辖的永定新河防潮闸管理所, 负责防潮闸的运维管理。该工程部分区域涉及占压岸线保护区、岸线控制利用区, 部分范围位于永定新河防潮闸管理和保护范围, 在防潮闸保护和管理范围内的工程布置方案, 需取得防潮闸管理所隶属的天津市永定河管理处第三方权益人的同意, 可保障该第三人合法水事权益。

5 防洪综合评价

5.1 建设项目与有关规划符合性评价

5.1.1 与区域发展规划的符合性

并线桥线位方案，是在当前交通路网格局条件下更好地均衡永定新河两岸跨河交通基础设施布局的综合最优和最可行选择。防洪影响综合分析结果表明，并线桥工程建设方案总体布局基本合理。

本项目已列入 2024 年市级重点建设项目中的重大基础设施和《天津市城市道路桥梁专项规划（2021-2035 年）》，属于天津市交通类重要基础设施项目。本建设项目符合滨海新区城市总体规划，是永定新河两岸路网一体化的重要组成，对于区域内交通及与外界沟通起到重要作用，也是连接生态城区域与北塘区域、开发区方向的重要路网干道，能够直接有效提升生态城对外交通能力，有利于均衡永定新河两岸跨河设施布局，有利于促进中新天津生态城乃至滨海新区的城市发展。

本建设项目建设符合区域发展规划。

5.1.2 与岸线规划的符合性

并线桥项目位于彩虹桥南侧，与现有彩虹桥平行，两桥主桥轴线相距 35.3m，与彩虹桥主桥孔对孔、主桥墩顺流对齐布置，上部结构相距 10.3m，主桥墩承台相距 6.2m，功能上实现与现状彩虹桥上下通行，河槽中主桥墩从水工建筑物角度可视为一体。桥梁投影区占用左岸岸线控制利用区岸线长 33.53m，占用右岸岸线保护区岸线长 24.59m。建设项目实施，不改变现状岸线的状态。

天津水务局审批权限范围内并线桥建设项目 P12、P13 和 P14 桥墩涉及左岸岸线控制利用区，但 P12、P13 均位于左堤内堤坡脚以里，P14 桥墩位于左堤外坡脚以外，均未占压堤身。水文分析计算结果表明，河道内布设的桥墩对永定新河左堤安全影响较小，岸线控制利用区左堤内堤脚附近水位、流速也不发生明显变化，因此项目建设对左堤稳定与安全影响较小。并线桥采用桥梁方式跨越左岸岸线控制利用区，项目建成后实际占用岸线控制利用区地面约 593m²（两个半桥墩承台），为桥面投影面积 3621.2m² 的约 1/6。因此，建设项目对岸线控制利用区已建生态谷公园和岸线控制利

用区影响较小。

P00~P07 桥墩均在永定新河右堤外坡脚线之外，但涉及右岸岸线保护区，该岸线保护区属于保障防洪安全类岸线保护区。根据《海河流域重要河道岸线保护与利用规划报告》，“因保障防洪安全而划分的岸线保护区，确需开发利用的水利、交通等国家重要基础设施类项目，应符合河道防洪以及河势稳定要求，需经过充分论证并严格按照法律法规要求履行相关许可程序，报水行政主管部门审批。”彩虹桥并线桥建设项目已列入 2024 年市级重点建设项目中的重大基础设施，属于交通类重要基础设施项目。因 P00~P07 不妨碍行洪，也不影响河势稳定和危害堤防安全。因此认为 P00~P07 桥墩布置基本满足岸线保护区的管理要求。桥墩 P00~P05 不直接涉及防洪影响评价，因此，工程方案须经天津水务局根据行政许可要求审查同意。**桥墩 P10~P14，由天津市人民政府水行政主管部门按照河道管理范围内建设项目管理等相关规定审查同意并实施监督管理，并报海河水利委员会备案。**P06 有约一半和 P07 在永定新河口管理范围内，工程方案须经海委按照河道管理范围内建设项目管理等相关规定审查同意。

根据《天津市河湖岸线保护和利用规划》，岸线边界线：指沿河流走向或湖泊沿岸周边划定的用于界定各类岸线功能区垂向带区范围的边界线，分为临水边界线和外缘边界线。临水边界线：根据稳定河势、保障河道行洪安全和维护河流湖泊生态等基本要求，在河流沿岸临水一侧顺水流方向或湖泊（水库）沿岸周边临水一侧划定的岸线带区内边界线。外缘边界线：根据河流湖泊岸线管理保护、维护河流功能等管控要求，在河流沿岸陆域一侧或湖泊（水库）沿岸周边陆域一侧划定的岸线带区外边界线。永定新河临水边界线按滩槽分界线划定，外缘边界线按堤防背水侧堤脚线以外各 30 米划定。临水边界线是为保障河流畅通、行洪安全、稳定河势和维护河流健康生命的基本要求，对进入河道范围的岸线利用项目加以限定的控制线。除防洪及河势控制工程，任何阻水的实体建筑物原则上不允许逾越临水边界线。确需越过临水边界线穿越河道的岸线利用项目，必须充分论证项目的影响，提出穿越方案，并经有审批权限的行政主管部门或流域管理机构审查同意后方可实施。修建桥梁、码头和其他设施，必须按照国家规定的防洪标准所确定的河宽进行，不得缩窄行洪通道。桥梁、管线、取水、排水等基础设施需超越临水边界线的项目，超越临水边界线的部分应尽量采取架

空、贴地或下沉等方式，尽量减小占用河道过流断面。彩虹桥并线桥采用架空方式跨越永定新河，桥墩布设尽量减小了占用河道过流断面，项目建设对水位、流场、流态等影响均较小，可认为桥墩布置满足岸临水边界线的管理要求。

岸线外缘边界线是岸线资源保护和管理的边界线。进入外缘边界线的建设项目必须服从《中华人民共和国水法》《中华人民共和国防洪法》《中华人民共和国河道管理条例》《天津市河道管理条例》等国家、地方法律、法规要求，符合岸线利用管理规划的要求。根据《天津市河道管理条例》，河道管理范围内新建、改建、扩建建设项目，建设单位应当按照河道管理权限，将工程建设方案报天津市水务局审查同意后，按照规定程序履行其他审批手续。并线桥的建设服从上述法律法规的规定，且经过水文分析综合论证，满足岸线保护区和控制利用区的管控要求。

P06~P10 涉及永定新河口管理范围，归属海委审批权限范围。本项目建设不涉及《海河独流减河永定新河河口管理办法》第十四条所列的禁止活动，且水文分析综合分析表明，项目建设对永定新河河道防洪及河势稳定影响较小，可认为桥墩布置符合《永定新河口综合整治规划》的管理要求。在永定新河的河口管理范围内，新建、扩建、改建前款所列大中型工程设施的，经天津市人民政府水行政主管部门提出意见后，由海河水利委员会按照河道管理范围内建设项目管理等有关规定审查同意并实施监督管理。

此外，并线桥项目工程不涉及水源地，运行期不产生影响生态环境的物质；施工期对施工人员、施工机械相关可能产生的垃圾和污染物将实行严格管控、及时清除。

综合上述，本项目建设与《海河流域重要河道岸线保护与利用规划》、《天津市河湖岸线保护和利用规划》和《永定新河口综合整治规划》相符合。

5.1.3 与通航规划的符合性

永定新河防潮闸没有配置通航建筑物，河道进口处屈家店枢纽早先的北运河船闸现已废。经与天津市港航局港监处、航监处进行沟通，并线桥工程河段不涉及航道和通航要求。

5.2 建设项目与防洪标准和有关技术要求符合性评价

5.2.1 与防洪标准的符合性

根据《海河流域防洪规划报告》、《永定新河治理二期工程初步设计报告》，永定新河为 100 年一遇洪水设计标准。永定新河右堤为 1 级堤、防洪标准为 200 年一遇，左堤为 2 级堤防、防洪标准为 100 年一遇。

并线桥建设项目采用桥梁方式跨越永定新河，河道内桥墩 P08~P10（**海委审批权限范围**）和 P10~P13（**天津市水务局审批权限范围**）的承台顶高程均位于最大冲刷线 0.5m 以下，洪水冲刷对桥梁基础基本没有影响。建设项目对工程河段行洪能力影响较小，对两岸堤防稳定安全影响较小。

并线桥建设项目工程防洪设计标准为 100 年一遇，与永定新河防洪设计标准一致，符合《防洪标准》及相关行业规范要求。因此，工程穿越永定新河设防标准与措施适当。

5.2.2 与有关技术要求的符合性

根据“中新天津生态城彩虹桥并线桥梁工程工程可行性研究报告”，本并线桥建设项目包括 6 个主要分项工程：桥梁工程、道路工程、排水工程、交通工程、照明工程和绿化工程，其桥梁工程符合《城市桥梁设计规范》(CJJ11-2011)、《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166-2011)和《城市桥梁桥面防水工程技术规程》(CJJ 139-2010)等的要求，其道路工程符合《城市道路工程设计规范》(CJJ37-2012, 2016 年版)、《城镇道路路面设计规范》(CJJ 169-2012)等的要求，其排水工程符合《城镇给水排水技术规范》(GB 50788-2012)、《天津市雨水径流量计算标准》(DB/T29-236-2016)等的要求，其交通工程符合《城市道路交通标志和标线设置规范》(GB51038-2015)、《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2006)等的要求，其照明工程符合《电力工程电缆设计标准》GB50217-2018、《城市道路照明设计标准》CJJ45-2015 等的要求，其绿化工程符合《天津市道路绿化建设标准》DB/T29-80-2010、《天津市盐碱地园林树木栽植技术规程》DB/T29-2010 等的要求。

5.3 建设项目对河道行洪的影响评价

并线桥建设项目采用架桥方式跨越永定新河，6 个桥墩（P08~P13）布置于河道内，主桥墩与现状彩虹桥桥墩对孔一致并保持顺应河道水流方向，两桥主桥轴线平行，

并线桥建设项目阻水比为 3.93%，阻水比小于 5%；与彩虹桥合并后两座桥阻水比为 7.95%，源于现状彩虹桥阻水比偏大，并线桥建设项目对工程河段现状阻水比（7.92%）的影响基本可以忽略。当彩虹桥（建成于 1998 年 10 月）达到使用年限后，只要将来改建时主桥墩采用合适的墩宽和承台埋深，就可使改建后彩虹桥与并线桥的联合阻水比满足 5%以内的要求。并线桥主桥墩建成、拆除并线桥桥墩 P09~P12 范围内栈桥工况，阻水比为 4.56%，单独计算栈桥轴线断面阻水比为 1.24%。并线桥工程后设计流量彩虹桥前最大壅水高度为 0.020m，壅水曲线全长约 290m。满足“跨越 1、2 级堤防的，最大壅水高度控制在 5 厘米以内”的要求。蓟运河闸在彩虹桥北侧（上游）约 665m，在壅水范围以外；而永定新河防潮闸在非壅水区的并线桥下游 350m。本建设项目施工期为非汛期（9 月 21 日至次年 5 月 31 日），施工栈桥等设施不存在“满堂脚手架”的情况，对河道泄流影响较小；在（非施工期）汛期来临前，清理河道内施工区，拆除施工围堰当临时建筑物，清运弃土、弃渣和垃圾至河道管理范围以外，以保证汛期行洪安全。

防洪评价水文分析和数学模型模拟结果表明，设计流量条件下并线桥壅水长度对建设项目附近水利工程的功能基本无影响。并线桥建设后，洪水下泄时不会顶两岸冲堤防，堤脚前沿流速增速基本小于 5%。对工程河段行洪能力和两岸堤防稳定安全的影响均较小，也不会影响河势稳定；通过设计布置右堤绕行路，能够满足右堤防汛抢险道路通畅和左堤防汛抢险要求。此外，对并线桥和彩虹桥桥梁投影区右堤堤身实施灌浆加固措施、对桥梁投影区及上下游各 50m 右堤堤防实施迎水坡浆砌石护坡防护，以确保该段右堤堤防稳定安全。

水文计算分析结果表明，项目建设对防潮闸基本没有影响，对右岸岸线保护区、左岸岸线控制利用区、蓟运河口、永定新河河道行洪和河势稳定的影响均较小。

因此，建设项目对永定新河河道行洪的影响较小。

5.4 建设项目对河势稳定影响评价

根据设计方案，并线桥桥墩布置在堤身设计断面以外，与彩虹桥主桥孔对孔、主桥墩顺流对齐布置，河槽中主桥墩从水工建筑物角度可视为一体，尽量减小了阻水影响。分析和复核计算表明，桥位河段满足堤身抗滑和渗流稳定的要求。

河道内海委审批权限范围桥墩 P08~P10 承台面高程分别为 0.232m、-5.868m 和 -10.168m；天津市水务局审批权限范围桥墩 P10~P13 承台面高程分别为-10.168m、-10.168m、-1.068m 和 3.132m；上述各承台在最大冲刷线以下埋深依次为 0.82m、0.74m、0.61m、0.61m、0.85m 和 0.55m，因此，河道内桥墩承台面均在最大冲刷线 0.5m 以下。

冲刷淤积计算与河势影响分析表明，项目建设前后桥位工程河段滩地稳定，并线桥主桥墩局部冲刷局限于河道清淤深槽内的有限范围，不改变工程河段滩槽的基本形态和泄洪总体流速流态。

综上，项目建设对河道河势稳定的影响较小。

5.5 建设项目对堤防安全及岸坡稳定和其他水利工程影响评价

在本次评价范围内，水利工程及设施为河道堤防、护岸、河道清淤深槽、蓟运河闸和永定新河防潮闸及其闸上水文监测站、闸下水位站。

一维数值模拟计算和二维河道洪水演进模型计算结果表明，项目建设前后防潮闸上防护前沿处、岸线保护区右堤内堤脚附近和岸线控制利用区左堤内堤脚附近的水位及流速均基本不发生变化。布置在防潮闸管理范围内的桥梁及桥墩对防潮闸的影响较小，对河段堤防、河道清淤深槽及其他水利工程的影响也均较小。

堤防及岸坡稳定分析（复核）计算结果表明，在右堤现状堤防彩虹桥处渗流稳定均满足要求，临水侧和背水侧的堤防抗滑稳定也均满足要求；并线桥处堤防渗流及抗滑稳定均满足要求。并线桥建设项目对工程河段堤防渗流及抗滑稳定不会产生不利影响。

因此，本并线桥项目对相关的永定新河堤防安全、岸坡稳定和其他水利工程及设施影响较小。

5.6 建设项目对水利工程运行管理和防汛抢险的影响评价

按照《海河流域防洪规划报告》和《永定新河治理二期工程初步设计报告》，永定新河右岸堤防为 1 级、左岸堤防为 2 级，左、右岸堤顶设置了 6m 宽防汛公路。

左堤满足 4.5m 净空要求，右岸现状彩虹桥下净空约为 4.14m（若以规划设计堤顶高程 5.75m 计，则净空为 3.76m），不满足 4.5m 净空要求。为了最大限度满足承台距离堤身要求并适应右堤规划堤顶高程，设计方案并线桥采取桥梁立交方式跨越现状右

堤，跨越堤防处采用 73m 大跨径桥梁，跨越右堤处梁底净空满足 2.5m 小型车辆通行。

为了保证右堤堤顶路车辆通行，在临孔处设置堤顶路绕行方案，起终点接顺现状堤位置，上、下堤坡段纵坡不大于 4%，宽度 6m。绕行路为在现状地面上新建填筑路基路面结构，即在现状堤身进行加铺道路结构，不会削弱堤身设计断面。绕行路布置考虑了尽可能缩短绕行路的长度。右堤绕行处最小净空高度=梁底高程 8.752m-路面高程 3.952m=4.80m，满足净空高度 4.5m 以上规定。此外，绕行路旁市政道路东海路设计标高 2.03m，设置有雨水收水井。绕行路雨水散排至东海路雨水管网，因此，绕行路不会积水，可以保证防汛抢险正常通行。

水文分析和平面二维数学模型数值模拟综合结果表明，设计流量条件下并线桥建设项目工程河段壅水曲线全长约 290m、彩虹桥前最大壅水高度为 0.020m，对于蓟运河闸（彩虹桥 15 号桥墩承台东北角上游约 665m）和并线桥 P08 桥墩承台西南角下游约 354m 永定新河防潮闸的运行管理不会产生不利影响。

综上所述，并线桥建设项目梁底净空高度能够满足《堤防工程设计规范》（GB50286-2013）关于交通、防汛抢险、管理维修等方面道路通畅的要求，结合桥梁投影区右堤灌浆加固和迎水坡护面防护措施，建设项目不会对工程河段的水利工程运行管理和防汛抢险产生不利影响。

5.7 建设项目施工期影响评价

本并线桥建设项目的防洪影响是在永定新河 100 年一遇设计洪水流量条件下得出的，建设项目施工期可能遭遇的 10 年一遇洪水流量 $1450\text{m}^3/\text{s}$ 显著小于设计洪水流量 $4640\text{m}^3/\text{s}$ 。此外，按照总体布局方案和施工方案，桥墩布置更好地顺应中高水流和堤防走向，且施工期为非汛期（9 月 21 日至次年 5 月 31 日），避开了汛期；在非汛期施工期壅水高度在 0.03m 以内，对河道泄水影响较小。桥梁立交跨越左右堤防，施工工艺及方法对堤防和岸坡稳定及建筑物安全不构成影响。

本工程施工过程中在河道管理范围内无堆料场，建设项目在非汛期施工时，严格按照桥梁施工设计方案开展施工围堰施工便道、施工材料及设备储存场地等临时工程建设，减少对河道生态破坏。如遇桥梁断面河道水位增长至超过桥梁施工设计方案允许值时，应及时组织人员、施工机械紧急撤离。

建设项目跨汛期（非河道管理范围内）施工时，建设单位应结合桥梁施工设计方案制定相应防御洪水预案，服从地方河道管理部门防汛统一安排，在汛期来临前清理河道内施工区，拆除临时建筑物，清运弃土、弃渣和垃圾至河道管理范围以外，以保证汛期河道行洪安全。

经与天津市水文中心沟通，桥位处近 5 年“秋汛”来流均小于非汛期设计洪水 $1450\text{m}^3/\text{s}$ ，即使非汛期遭遇秋汛等突发来流情况也可保证工程的安全。

本建设项目施工期对永定新河河道的泄洪影响很小。

5.8 建设项目对第三人合法水事权益的影响评价

在本次评价范围内，涉及的第三人合法水事权益方为华润 2.5Mpa 高压燃气管线，在河道范围内桥墩 P08~P13，并线桥桥墩与华润燃气管线外缘线最近相距 50m。根据《燃气工程项目规范》（GB55009-2021），并线桥建设项目的建（构）筑物均在华润燃气管线及其附属设施的保护范围（外缘周边 5.0m 范围内的区域）之外；河道深槽中彩虹桥 13 号主桥墩与并线桥主桥墩 P10 和彩虹桥 14 号主桥墩与并线桥主桥墩 P11 的局部冲刷范围与燃气管线外缘线最近距离分别约为 67m、117m，可见桥墩局部冲刷区也远在华润燃气管线及其附属设施的保护范围之外。

天津市永定河管理处是建设项目另一第三人合法水事权益方，下辖的永定新河防潮闸管理所负责防潮闸的运维管理。水文计算分析结果表明，项目建设对防潮闸基本没有影响。该工程部分区域涉及占压岸线保护区、岸线控制利用区，部分范围位于永定新河防潮闸管理和保护范围，需征得第三人合法水事权益天津市永定河管理中心同意，可保障该第三人合法水事权益。

因此，本建设项目对第三人合法水事权益基本没有不利影响。

6 消除和减轻影响措施

6.1.1 主桥墩局部冲刷防护措施

根据桥墩局部冲刷深度计算分析成果，并综合考虑建设项目工程河段河势、河床地质和实际洪水动力特点等因素，采取局部冲刷防护：

采用抛填土工布织物充填沙袋作为彩虹桥与并线桥主桥墩一体化局部冲刷防护措施：对海委与天津市水务局审批权限范围交界处的彩虹桥 13 号与并线桥 P10 顺接组主桥墩周边抛填土工布充沙袋形成冲刷防护区，范围为顺河方向 80m（彩虹桥 13 号桥墩承台上游端外 12m 至并线桥 P10 桥墩承台下游端外约 4m）×跨河方向 45m（桥墩轴线左右两侧各 22.5m）×厚度 0.6m，抛填后充沙袋层（区）顶面不高于清淤槽底高程-6.03m。防护区面积 3600m²，充填沙袋体积 2160m³。按 2023 年 9 月实测地形挖至-6.73m 计算，抛填前挖方量约为 1640m³。装沙袋尺寸采用 1.3m×1.3m×0.6m，充填沙粒径大于 0.075mm 的沙颗粒含量 80%以上、黏粒含量（0.005mm）10%以下。（抛填充沙袋局部冲刷防护措施 2004 年在长江下游苏通大桥主桥墩有成功应用）。

综上，根据今年海河“23.7”流域性特大洪水过水量，并结合最新河底实测资料进行冲淤形态推测，采用抛填土工布织物充填沙袋作为局部冲刷防护措施，预期能够取得良好冲刷防护效果。

6.1.2 河岸加固防护措施

由于现状彩虹桥和拟建并线桥方案跨越右堤处净空小于 4.5m，为加强该处堤防的安全稳定性，本工程拟对河岸采取加固措施，以避免该段堤防出现渗漏险情，措施具体为：一是右堤堤身灌浆加固，二是桥梁投影区域处河道迎水坡浆砌石护坡。

(1) 堤身灌浆加固

加固范围：并线桥和彩虹桥桥梁投影区上下游各延伸 5m，共长约 78m。

灌浆方案：采用锥探灌浆对堤身进行加固。沿堤轴线方向孔距 2.0m，排距 1.0m，在堤顶共布置 7 排，梅花形布置，首排距离迎水侧堤顶线 1.0m，共布置灌浆孔 280 个，灌浆深度 10m，灌浆长度 2800m，进入堤基粉质粘土层。并线桥桥墩施工完成，钢箱梁架设前进行锥探灌浆施工。

锥探孔孔径 28~32mm，孔底注浆，全孔灌注。灌浆压力 0.08~0.1MPa。

土料质量要求： $I_p=10\sim 25$ ，粘粒含量 20~45%，粉粒含量 30~50%，砂粒含量 0~30%，有机质含量 $\leq 2\%$ ，水溶盐含量 $\leq 3\%$ 。

浆液容重控制范围 $1.4\sim 1.6\text{g/cm}^3$ 、水土比 1:0.8~1:1.6；浆液黏度控制在 $21\sim 100\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

按照分段分序灌浆的原则，先灌一序孔，再灌二序孔，先灌临近迎水侧，再灌临近背水侧，最后灌中间排孔。按照从稀到稠的顺序逐步灌浆，做到“当天造孔，当天灌浆”。

初灌后，间隔 2~3d 再进行复灌，连续复灌至不再进浆后拌制浓泥浆人工进行封孔。

封孔采用容重大于 1.5g/cm^3 的稠浆，且保证浆面升至堤顶不再下降为止，最后填土夯实封孔。施工完成后需按堤防设计标准及时恢复堤顶路面。

(2) 桥梁投影区域处河道迎水坡浆砌护坡

护砌范围：并线桥和彩虹桥桥梁右堤投影区下及上下游各延伸 50m，共长约 168m。

护砌方案：按河道治理工程堤防设计，对河道右堤二级迎水坡进行防护，护坡为厚 40cm 浆砌石，下设 10cm 厚的砂砾垫层；迎水坡一级边坡和一级压坡平台为预制混凝土框格（菱形混凝土框格 $65\text{cm}\times 65\text{cm}\times 15\text{cm}$ 厚）植草护坡，为减少挖填方量，一级压坡平台顶面高程结合现状实际确定。

综上，按照河道治理工程堤防设计，本工程对海委审批权限范围内的右堤堤身长 78m 实施灌浆加固，对并线桥和彩虹桥桥梁投影区域右堤迎水坡长 168m 实施浆砌石护坡、对一级边坡和一级压坡平台采用预制混凝土框格植草护坡，可以保证右堤稳定和防洪安全。

6.1.3 右堤绕行方案措施

为了满足净空高度 4.5m 以上规定，满足《堤防工程设计规范》（GB50286-2013）关于交通、防汛抢险、管理维修等方面的要求，在海委审批权限范围内设计布置了右堤绕行路。绕行路起点位置处右堤桩号 62+688，终点位置处右堤桩号 62+914，总长 280m，净宽 6m（路基宽 7.5m），并线桥下最小净空为 4.80m。

绕行路方案：起终点衔接现状堤顶路，绕行路下穿并线桥 P06-P07 桥跨空间，距离永定新河右堤背水坡脚水平距离约 10.5m，高于现状地面 1m，右堤绕行路采用单向坡，坡向西侧，雨水接入市政管网。绕行路上、下堤坡段纵坡不大于 4%。绕行路与堤身衔接处不开挖现状堤身，在非堤身区域新建路面结构。此外，绕行路布置考虑了尽可能缩短绕行路的长度。

综上，绕行路工程不开挖现状堤身，对现状堤身稳定与安全影响较小，通过衔接堤顶路，能够满足交通、防汛抢险、管理维修等方面的要求。

6.1.4 建设期工程措施

为了保证工程涉及河道汛期泄洪安全，设计上已将项目涉河涉水施工安排在枯水期进行。鉴于天津地区气候特点，本项目工程建设总工期为 27 个月，桥墩混凝土承台及其下部灌注桩桩基和桥柱施工是本项目工程工期控制性工序，计划工期 180 天，安排在非汛期施工。以下几个事项施工期应引起特别注意：

(10). 选择富有经验和资质合格的施工单位。充分了解施工现场，精心编制施工组织设计，科学合理制定主桥墩施工工期、施工进度和工序衔接，制定职责清晰的管理体系制度，以保证主桥墩施工按期完成。

(11). 施工前与河道主管部门主动对接、充分沟通，熟悉相关管理要求与流程，主动办理事先报批（备）手续，服从相关水利行政主管部门的监督与管理。施工期和非施工期的平面布置和交通组织均不能对防汛抢险造成影响。

(12). 施工过程中生产和生活区应布置在不影响河道行洪和防洪通道的区域，不能影响防汛抢险通道，及时清理施工遗留废弃渣料和生活垃圾，注意保护施工区域内现有防洪水利等设施。

(13). 施工期内第 1 个汛期到来之前，必须适当提前完成拆除河道内主桥墩 P09~P12 范围内的围堰、钢栈桥、陆地吊装平台等阻水结构；此后施工期内的汛期到来之前，必须提前完成拆除河道内全部阻水临时设施，并保证工程河段汛期防洪抢险通道畅通安全。

(14). 如果非河道内施工跨越汛期，必须做好度汛预案，预备必要防汛物资，保证工程河段行洪通道内没有缘于本工程施工引起阻碍行洪的水下阻水物和施工设备。

本并线桥项目工程竣工时，应尽快恢复所涉及堤防和河段原貌。竣工验收应邀请河道主管机关参加，工程验收情况须报相关流域管理机构备案。

6.1.5 运行期措施

本项目运行期应确保所涉及永定新河并线桥项目河段两岸防汛道路畅通，运行管理上定期维护桥梁及相关设施，保证交口附近设置安全警示和限行等标志的完整性，注意交通流量控制，防止超负荷运行，减轻和消除桥梁本身和河道堤防安全运行的不利影响因素。

7 结论与建议

7.1 防洪综合评价主要结论

本报告在收集资料和熟悉设计方案的基础上，采用规范公式水文计算评估、平面二维数学模型数值模拟等技术手段，对彩虹桥并线桥项目进行了防洪评价。主要结论与建议如下：

(1). 本建设项目为中新天津生态城永定新河彩虹桥并线桥工程，工程设计防洪标准为100年一遇。项目位于永定新河口闸上游河段，中心主桥孔在永定新河防潮闸上游约550米处。彩虹桥并线桥与现状彩虹桥主桥轴线平行，自南至北桥跨布置为（4×30）米+（3×30）米+（70+86+165+168+165+86+73）+（35+2×30）米+（4×30）米，全长1238米，桥宽为21米。桥梁起点P00桥台中心坐标（X=4330489.7596, Y=562234.0488, 2000国家大地坐标系，下同），终点P21桥台（X=4331307.8535, Y=563140.6293）。采用立交方式跨越永定新河左右堤，对应左堤桩号为64+510，桥墩中心线与左堤中心线交点处坐标为（X=4331112.1796, Y=562995.4113），右堤桩号为62+765，与右堤中心线交点处坐标为（X=4330681.0226, Y=562382.0036）；河道管理范围内自南至北跨河桥梁P06~P14桥墩采用73+86+165+168+165+86+70（米）七跨连续梁结构布置，区段总长为848米，主桥断面对应河道桩号为63+235，桥梁轴线与河道中高水流方向夹角为85度。其中：**海委审批权限范围**：涉及桥墩为P06至P10，P06桥墩中心坐标为（X=4330636.1131, Y=562338.2285），P10处坐标为（X=4330851.0369, Y=562623.6410）。工程跨右堤处最低梁底高程为8.48米（1985国家高程基准，下同），河道内设计最低梁底高程为3.51米。主槽右边坡处P09、主槽内P10桥墩承台顶高程为负5.868米至负10.168米，滩地桥墩P08承台顶高程为0.232米。其中，**天津市水务局审批权限范围**：涉及桥墩为P10至P14，P10（X=4330851.0369, Y=562623.6410），P14（X=4331135.9576, Y=563021.0747）。工程跨左堤处最低梁底高程为9.62米，河道内设计最低梁底高程为3.51米。主槽桥墩承台顶高程均为负10.168米，滩地桥墩承台顶高程为负1.068米至3.132米。

(2). 并线桥项目线位方案，是在当前交通路网格局条件下更好地均衡永定新河两

岸跨河交通基础设施布局的综合最优和最可行选择。防洪影响综合分析结果表明，并线桥工程建设方案总体布局基本合理。彩虹桥并线桥工程符合滨海新区城市总体规划，本项目已列入 2024 年市级重点建设项目中的重大基础设施，属于交通类重要基础设施项目，彩虹桥并线桥工程建设是必要的。

(3). 本并线桥项目设计防洪标准为 100 年一遇，其设防标准符合《海河流域防洪规划》、《永定新河治理二期工程初步设计报告》和《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）等相关规定或要求，与所涉及的永定新河防洪标准相一致。本并线桥项目符合《防洪标准》及相关行业规范要求。

(4). 彩虹桥并线桥的建设服从相关法律法规的规定，水文分析综合论证表明，对防潮闸运行和岸线保护区及岸线控制利用区功能的影响较小，建设项目基本符合《海河流域重要河道岸线保护与利用规划》和《天津市河湖岸线保护和利用规划》提出的相应管控要求。

(5). 防洪影响综合分析表明，**水利部海委审批权限范围 P08~P10 桥墩和天津市水务局审批权限范围 P10~P13 桥墩**的承台面均在最大冲刷线 0.5m 以下，并线桥建设项目对河道泄洪影响较小，也不会影响第三人合法水事权益。

(6). 河床冲刷和堤防稳定计算分析结果表明，本并线桥建设项目对相关的永定新河堤防安全、岸坡稳定影响较小，基本不影响其它水利工程及设施的运行管理，对所涉及河段的河势稳定的影响较小。

(7). 梁底高程分析表明，并线桥建设项目**天津市水务局审批权限范围**的左堤梁底净空高度满足相关规范要求，**海委审批权限范围**的右堤能够保证交通、防汛抢险、管理维修等方面道路畅通，在对**海委审批权限范围**的桥梁投影区长约 78m 右堤堤身实施预先灌浆加固和确保桥梁投影区右岸迎水坡、上下游各 50m 实施的厚 40cm 浆砌石防护及迎水坡一级边坡预制混凝土框格植草护坡完好的前提下，本项目工程建成后对永定新河防汛抢险不会产生不利影响。

(8). 本建设项目工程涉及永定新河防洪规划、水利工程及河口管理、河湖岸线保护和利用规划等法规、规程的管护范围，在永定新河口管理范围内的本项目工程设施，需经天津市人民政府水行政主管部门提出意见后，由海河水利委员会按照河道管理范

围内建设项目管理等有关规定审查同意并实施监督管理；在永定新河河道范围内的本项目工程设施，由天津市人民政府水行政主管部门按照河道管理范围内建设项目管理等有关规定审查同意并实施监督管理，并报海河水利委员会备案。

7.2 消除和减轻影响措施的结论

(1). 在非汛期施工期最不利工况对河道泄水影响甚微。而桥位处近 5 年“秋汛”来流均小于非汛期设计洪水 $1450\text{m}^3/\text{s}$ ，即使非汛期遭遇秋汛等突发来流情况也可保证工程的安全。

(2). 根据 2023 年海河“23.7”流域性特大洪水在工程河段形成“局部冲刷深度”约 1.4m 和冲淤形态的实测情况推测，针对桥墩组（彩虹桥 13 号与并线桥 P10），采用土工布织物充填沙袋抛填防护（顺河方向 80m×跨河方向 45m×厚度 0.6m），预期能够取得良好的桥墩局部冲刷防护效果。

(3). 在海委审批权限范围内的右堤外设置的绕行防汛抢险通道满足净空高度 4.5m 以上规定，上、下堤坡段纵坡不大于 4%，路面净宽 6m，总长约 280m。

(4). 对彩虹桥和并线桥投影范围上下游各 5 米范围内右堤堤身及堤基采用灌浆方式进行加固处理。对桥梁投影及上、下游各 50 米范围内右堤堤防迎水坡按照河道治理工程设计断面进行二级迎水坡浆砌石护坡，护砌基础埋深为河道设计标准冲刷线以下 0.5 米，护砌型式护坡为浆砌石，并对迎水坡一级边坡和一级压坡平台采用预制混凝土框格植草护坡，可以保证右堤稳定和防洪安全。

(5). 并线桥建设项目建设方案总体布局合理，基本符合水行政部门关于涉河建设项目技术审查规定的相关要求。

7.3 建议

(6). 开工前充分了解水利防洪管理要求，对工地现场可能影响汛期防洪的设施如河道内的施工栈桥等加强巡视、有效维护，并服从水利主管部门的指导和管理。如果非河道内施工跨越汛期，必须做好度汛防护预案，必须保证工程河段行洪通道内没有缘于本工程施工引起的阻碍行洪的水下阻水物和施工设备。

(7). 在项目运行期定期维护桥梁及相关设施，注意控制交通流量，防止超负荷运行，保障本并线桥项目工程和河道堤防长期运行安全。