

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.05.024

明挖区间与零点互通立交改扩建工程 共建关键技术研究

吴涛, 万利, 胡瑶瑶, 李嘉璐

(山东省交通规划设计院集团有限公司, 山东 济南 250031)

摘要: G104 京岚线济南黄河公路大桥扩建工程与轨道交通 7 号线以公轨合建的方式跨越黄河。文中依托明挖区间与零点立交段高架桥合建工程, 分析合建的必要性及存在的工程难点和风险, 从结构选型、合理确定主体结构与高架桥桥墩的位置关系、深大长基坑围护、施工组织等方面提出应对措施, 经过比选确定安全、合理、经济的施工技术方案。

关键词: 桥梁; 轨道交通; 互通立交; 明挖区间; 公轨合建

中图分类号: U458.17

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)05-0094-05

济南黄河公路大桥建于 1982 年, 由于通车使用多年且超负荷运营, 桥梁出现不同程度病害, 需对其进行改扩建。济南轨道交通 7 号线一期工程为中心城区南北向跨黄河骨干线路, 跨黄河段与 G104 京岚线济南黄河公路大桥共路由(走向位置)。根据济南市“三桥一隧”的指导方针, 轨道交通 7 号线与济南黄河公路大桥扩建工程采用公轨合建的方式跨越黄河, 上面为公路交通, 下面为城市轨道交通。

1 工程概况

1.1 共建段

G104 京岚线济南黄河公路大桥改扩建工程起于已建成二环东高架桥, 通过改建零点立交上跨济

广(济南—广州)高速公路, 向北以高架桥形式延伸, 在既有济南黄河公路大桥下游 33.5 m 处新建一座黄河大桥跨越黄河, 出黄河北大堤后落地接 G104。改扩建工程主要包括零点立交段主线高架桥、华山北公轨合建高架桥段、公轨合建黄河大桥及北大堤外引桥。

轨道交通 7 号线按 A 型车 6 辆编组, 列车运行最高速度 100 km/h, 标准段最小线间距 5.2 m。共建段线路自二环北路站出站后向上延伸, 过济广高速公路零点立交后逐渐出露地面, 与黄河大桥同路由合建走行。线路在二环东路与太白大街交叉口设黄河南岸高架站, 出站后继续与黄河大桥合建走行, 至黄河以北逐渐分离, 全长约 4.9 km(见图 1)。

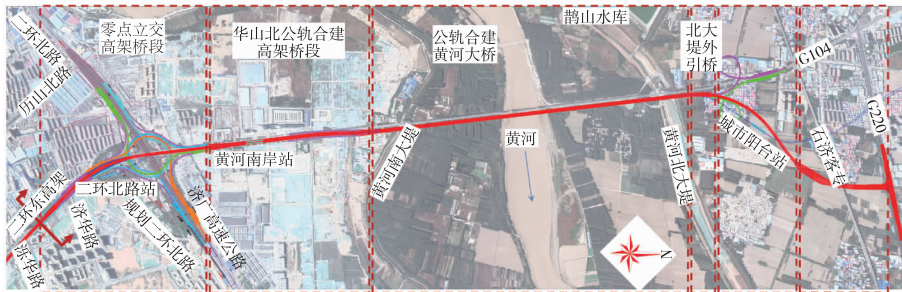


图 1 G104 京岚线济南黄河公路大桥扩建工程与轨道交通 7 号线共建段总体布置

1.2 区间隧道

区间隧道主要与零点立交高架桥段共建。现状零点立交为涡轮立交, 匝道、济广高速公路均采用桥梁方案上跨二环东路, 其中济广高速公路跨二环东

路段采用(67.5+64.5) m 独塔斜拉桥。

区间隧道自二环北路站向北穿越规划二环北路、零点立交, 在济广高速公路主线桥下与现状大桥路相交, 沿规划大桥路中央分隔带走行, 并逐渐由地

下转为地上。平面线间距为 5.2~15.9 m,最大纵坡为 28.7‰,全长约 564 m。结合零点立交拆除重建

方案,采用明挖顺作法施工,其中明挖暗埋段 394 m,明挖敞口段约 170 m(见图 2)。

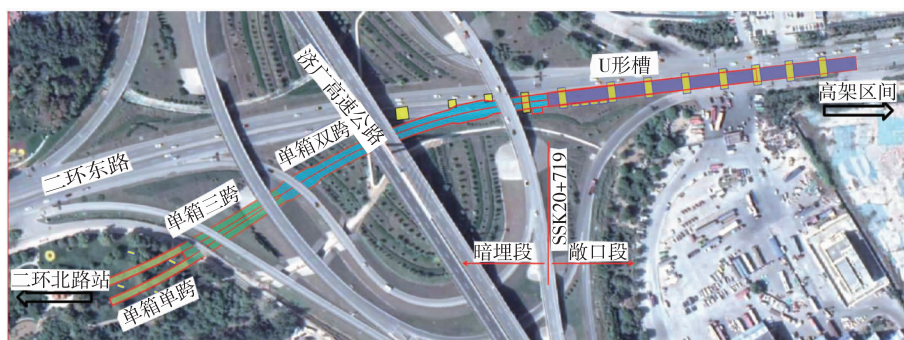


图2 区间隧道与现状零点立交的位置关系

1.3 工程地质与水文地质

(1) 工程地质。钻探深度范围内揭露第四系地层以填土、粉质黏土、粉土、钙质胶结层等为主,第四系覆盖层厚度一般大于 50 m,下伏地层为中生代燕山期侵入辉长岩。

(2) 水文地质。项目区地下水主要分布在第四系地层中,为第四纪松散层孔隙水,含水层主要为粉土和粉砂层。松散岩类孔隙水主要受大气降水补给,总体受季节性变化较明显,丰水期水位上升,枯水期水位下降,在汛期高水位时孔隙水季节性受径流补给。

2 合建的必要性及工程难点

2.1 合建的必要性

项目前期研究时,《山东省公路路政条例》尚未修订。该条例第十三条规定,除公路建设需要外,禁止其他设施穿(跨)越高速公路互通立交区。这是拆除重建零点互通立交,进行公轨合建的依据。

目前,济南市已建成跨黄河大桥 14 座,在建通道 4 条,筹备建设 6 条,远期规划 2 条,主城区跨黄河通道平均间距仅 3 km。在过黄河走廊资源有限的情况下,在黄河公路大桥下游并排修建公轨上下层合建的复线桥梁,实现双层交通,可实现资源共享。

2.2 工程难点与风险

区间隧道设计不仅要面对复杂的自然与施工条件,还要处理好与新建黄河公路大桥合建带来的技术问题。

(1) 拆除重建后的零点立交为多功能涡轮形枢纽立交,共新建 14 条匝道,匝道上跨东西向高速公

路,高速公路下穿南北向主线。区间隧道先后 6 次下穿零点立交匝道(A、D、C 匝道桥,G 匝道路基,A、B 匝道桥),1 次下穿济广高速公路主线桥(见图 3),难免在平面、立面上发生冲突,相互干扰,施工和运营难度增大。

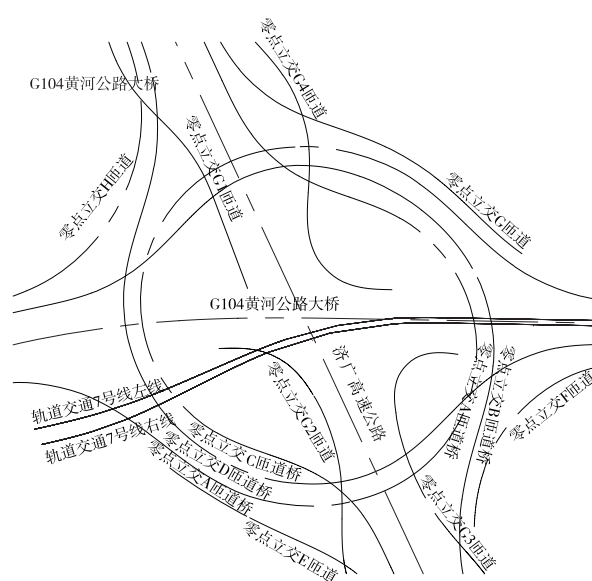


图3 区间隧道与重建零点立交的位置关系

(2) 区间隧道敞口段位于高架桥下,从桥墩中间穿过,将加大地面道路中央分隔带宽度,增加占地面积。

(3) 基坑面积特别大,且开挖深度不一,加上场地周边环境复杂,地下管线密布,工程难度大、风险高。

(4) 区间隧道在济广高速公路主线桥桥墩西侧穿过,基坑围护桩外缘与桥墩的最小水平距离仅 1.4 m,环境风险等级较高。

(5) 区间隧道基坑为深大长基坑,采用明挖顺

作法施工,对地面道路和高速公路互通立交匝道形成割裂,对其通行有一定影响。

3 应对措施

3.1 结构选型

3.1.1 起点暗埋段

暗埋段起点接二环北路地下站,平面线间距及埋深均较大,设计中对单跨单层矩形框架和两柱三跨双层框架两种结构形式(见图4)进行对比。

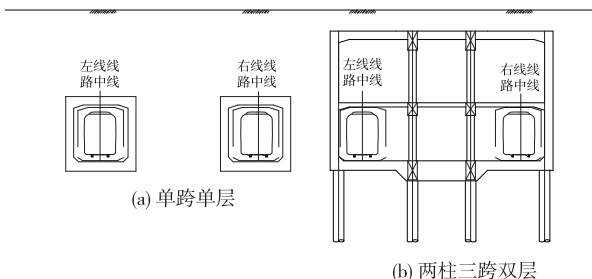


图4 起点暗埋段2种结构形式

(1) 单层单跨方案。优点:改建零点立交匝道桥桥墩可布置于区间隧道左右两洞之间,二者相互独立,互不干扰;覆土较深,对规划二环北路地下管线无影响。缺点:土石方回填量较大。

(2) 两柱三跨双层方案。优点:负一层地下结构可作为二环北路站补充,增加车站使用面积;土石方回填量小。缺点:无法避开新建零点立交A匝道桥桥墩,桥墩需落在区间隧道结构上顶板上;覆土较浅,需增加抗浮桩设计,且对规划二环北路地下管线有影响。

近年来,国内地铁车站与城市高架桥共建实例越来越多,大多采用结构合建的方式进行。与地铁车站相比,区间隧道断面较小,可左右分离,有条件避让桥梁桥墩。考虑结构功能、施工组织、造价及运营等因素,选用单跨单层矩形框架结构。

3.1.2 其他段落

区间隧道平面线间距由15.9 m逐渐过渡到5.2 m,设计高程由10.875 m抬升到26.040 m,对应结构形式存在多样性,结构横断面变化趋势为双箱单跨→单箱三跨→单箱双跨→U形槽(见图5)。

3.2 合理确定与高架桥桥墩的位置关系

对于区间隧道结构与零点立交高架位置基本重叠的区段,从两工程的不同使用功能要求、减少实施期间相互干扰、控制施工风险、经济合理等方面进行综合比选。

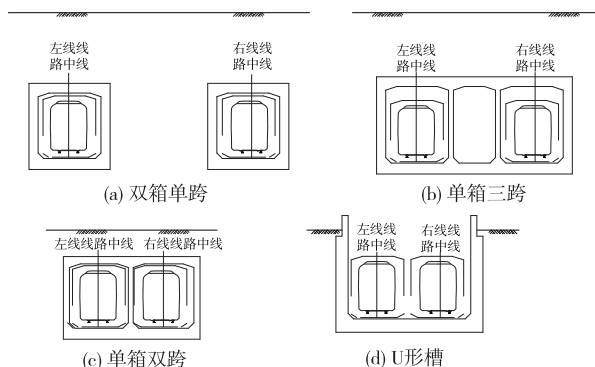


图5 结构横断面

3.2.1 敞口段

敞口段结构埋深较浅,基坑不深,考虑基桩、承台与区间结构同期施工。根据桥墩与明挖区间的关系,设计2种方案进行比选(见图6)。

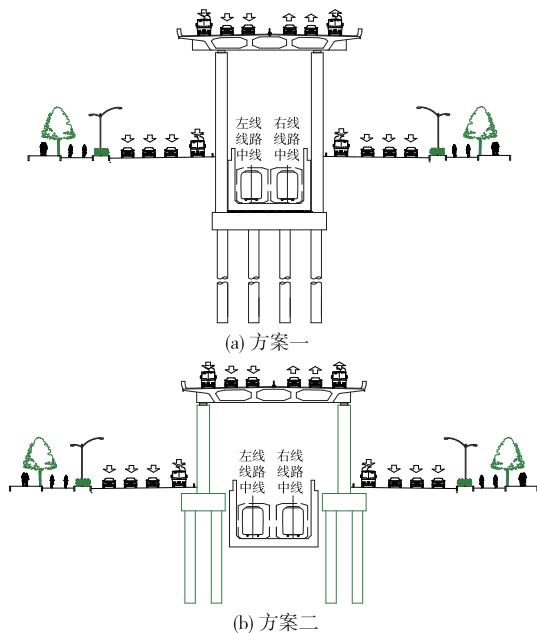


图6 敞口段2种横断面布置方案

方案一:高架桥采用整体式承台,U形槽从桥墩间穿过,以高架桥承台作为结构底板基础。方案二:高架桥桥墩及承台基础等与U形槽分离。与方案二相比,方案一能节省约38%的用地宽度,为更好地利用城市地面空间,减小占地,设计选用方案一。

3.2.2 暗埋段

(1) 零点立交匝道桥桥墩与区间结构。新建零点立交匝道除上跨济广高速公路处采用三孔联钢箱梁外,其余均选用混凝土箱梁,桥墩采用花瓶形墩,基础为承台+桩基。区间隧道下穿A匝

道桥第4联时,线路斜交角 49° ,为使其桥墩位于区间隧道左右洞之间,将该联桥梁跨径调整为 $(33.0+36.0+30.2)\text{ m}$,10[#]、11[#]桥墩横向间距分别调整为28.5 m、28 m(见图7)。其余5处下穿匝道桥段,线路基本垂直,均通过调整桥梁跨径上跨区间隧道。

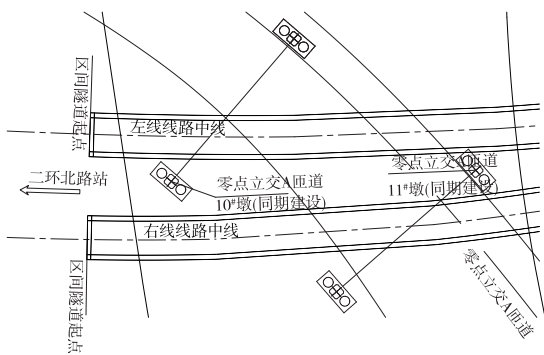


图 7 零点立交 A 匝道桥墩与区间结构的位置关系

(2) 主线桥桥墩与区间结构。区间隧道穿过济广高速公路后,进入二环东高架桥桥面下,沿规划大桥路中央分隔带走行,34#~42#桥墩承台与区间隧道结构平面上冲突。设计将高架桥承台置于区间结构底板以下,待桥梁承台浇筑完成后再实施区间结构(见图8)。

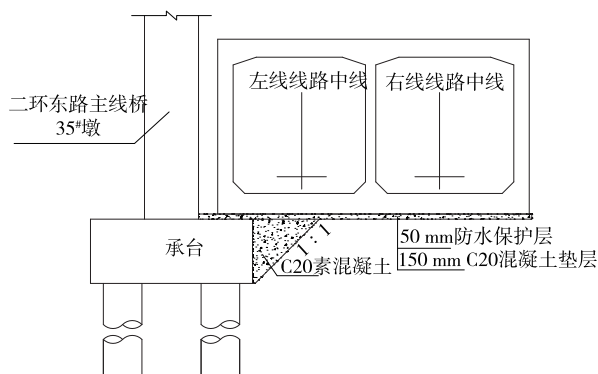


图 8 主线桥桥墩与区间结构的位置关系

3.3 基坑围护

区间隧道基坑工程中围护结构设计不仅关系到基坑的安全稳定,而且对工程总造价有较大影响。设计区间隧道基坑宽度为 11.6~22.5 m,深度为 1.1~16.8 m。

3.3.1 安全等级

项目基坑纵向较长且深浅不一,本着安全、经济、合理的原则,综合考虑基坑周边环境、地质条件的复杂程度等因素,对不同段落划分不同安全等级:基坑开挖深度大于 10 m 时,安全等级为一级;基坑

开挖深度小于 7 m 时,安全等级为三级;其余为二级。

3.3.2 围护形式

根据基坑深度不同,分别选用不同围护结构形式:基坑深度大于 7 m 时,采用 $\phi 1\ 000@1\ 400\text{ mm}$ 或 $\phi 800@1\ 200\text{ mm}$ 钻孔灌注桩+内支撑的支护结构形式;基坑深度小于 4 m 时,采用放坡开挖、坡面喷射混凝土的支护形式;其余段落采用 IV 型拉森钢板桩+内支撑的支护结构形式。

高架桥 34[#]~42[#]桥墩承台与区间隧道围护结构冲突,承台基坑需与区间隧道基坑同时开挖,导致基坑阴阳角较多且同一断面深度不一。考虑到阳角处内力较复杂,应力集中,容易出现問題,设计中在阳角的两个方向设置支撑点,控制该位置的变形(见图 9)。

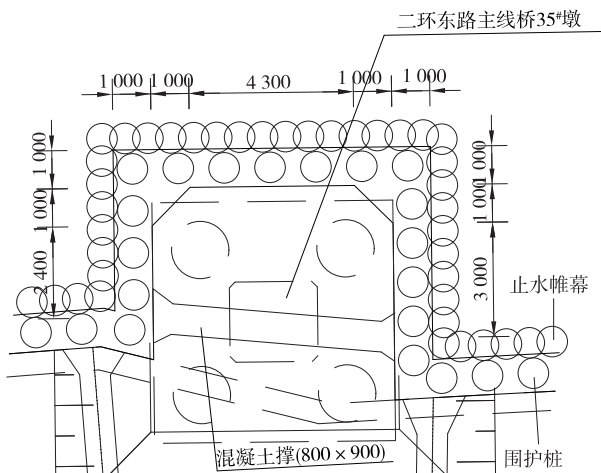


图 9 基坑阳角的处理(单位:mm)

3.3.3 环境风险

区间隧道在现状济广高速公路主线桥桥墩西侧穿过,基坑围护桩外缘与桥墩非常接近,最小水平距离仅 1.4 m,根据《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》,环境风险等级为一级。

将区间隧道基坑分为南、中、北 3 个基坑分区分期开挖。一期开挖基坑边缘距离济广高速公路桥墩 2 倍基坑开挖深度 H 以上(临近关系为不接近),待桥梁拆除后再开挖中间二期基坑(见图 10),环境风险等级降为四级。拆除后新建济广高速公路主线桥为混凝土连续梁,上部结构为单箱三室箱梁,桥墩采用柱式墩,基础为承台+桩基。第 5 联上跨区间隧道段采用 $(31+2\times 42+31)$ m 跨径,区间隧道从第 3 孔桥墩中间穿过,侧墙与两侧桥墩的距离分别为 14.3 m、15.6 m,运营期间二者互不影响。

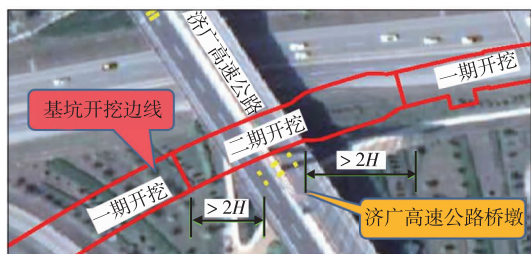


图 10 区间隧道与济广高速桥墩的位置关系

3.4 施工组织

结合零点立交实施方案(见图 11),区间隧道基坑设计为 3 个基坑,分两期开挖,总体施工分 4 个阶段。

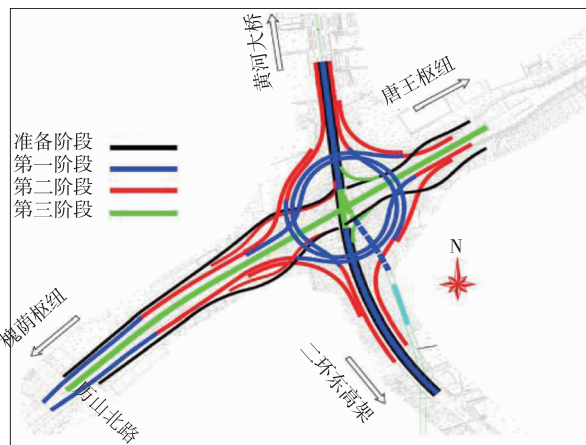


图 11 零点立交实施方案

准备阶段:完成二环东地面保通道路、二环北临时道路及互通区域内管线迁改和保护。

第一阶段:开挖济广高速公路南、北两侧基坑,同时施工互通区内不影响济广高速公路主线及收费站运营的桥梁。为降低基坑开挖对济广高速公路桥梁运营的影响,基坑边缘距离济广高速公路桥墩 $2H$ 以上。

第二阶段:施工互通区剩余匝道。

第三阶段:待济广高速公路主线桥梁拆除后,开挖中间二期基坑,然后施工二环东高架上跨济广高速公路部分,并重建济广高速公路拆除部分。

4 结论

(1) 地铁明挖区间与高架桥共建时,采取“功能合建、结构独立”的方式,采用左右分离的单跨单层结构优于两柱三跨双层框架结构,能让让桥墩或桩基,节约工程造价。

(2) 区间隧道左右线间距逐渐变化时,采取双箱单跨、单箱三跨、单箱双跨等不同结构断面形式可

节约工程造价。

(3) 对于深大长基坑,应根据工程地质、基坑深度、周边环境等因素分段确定基坑安全等级,并采取不同围护形式。

(4) 高架桥桩基承台与区间隧道基坑同步开挖,应合理安排施工顺序,并做好基坑阴阳角保护。

(5) 区间隧道多次下穿新建零点立交、济广高速公路主线桥、高架桥,需结合零点立交拆除重建方案,针对复杂的周边环境及工程难点与风险点采取分期分区施工方法,降低施工风险。

参考文献:

- [1] 余富先.明挖隧道深基坑施工对临近高速公路桥梁桩基的影响研究[J].路基工程,2021(2):181—186.
- [2] 崔佳杰.明挖隧道施工对临近桥梁桩基影响及工程应用[D].大连:大连理工大学,2020.
- [3] 冯国建.紧邻深大长基坑的地铁结构保护对策与实践[J].隧道建设(中英文),2018,38(1):103—109.
- [4] 汪乐,王涛,宋磊.地铁明挖车站—市政桥梁合建结构的关键技术研究[J].隧道建设(中英文),2018,38(12):2006—2012.
- [5] 郑知斌.太原市地铁车站附属工程围护结构选型研究[J].市政技术,2018,36(4):136—138+142.
- [6] 林蓼.标准明挖地铁车站结构内力及造价分析[J].铁道标准设计,2017,61(9):125—127+143.
- [7] 曹冲.西安地铁深基坑围护结构设计及监测技术研究[D].西安:西安科技大学,2018.
- [8] 康佩.明挖区间近距离侧穿高速公路与既有地铁路基段风险分析[J].铁道勘察,2018(2):65—68.
- [9] 方迎利.高架桥与地铁结构结合设计初探[J].中国建设信息,2011,11(6):49—51.
- [10] 杨耀.边坡开挖对下卧铁路隧道影响的数值分析[J].公路与汽运,2021(3):160—164.
- [11] 唐鹏.紧邻既有地铁高架桥梁深基坑施工开挖方案研究[J].公路与汽运,2020(2):136—140+166.
- [12] 杨家熙.地铁明挖车站与高架桥同期同位合建关键技术研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [13] 徐金华,刘静波.济南绕城高速公路零点互通立交(扩建)设计[J].山东交通科技,200(1):26—30.
- [14] 胡显鹏.地铁站与高架桥同期同位分离式合建方案设计研究[J].城市轨道交通研究,2018(12):92—96.
- [15] 宋虎,张道彬,喻青儒.明挖地铁车站下穿高架桥桩基托换施工关键技术[J].公路与汽运,2018(2):137—140.

(下转第 107 页)