

济南市黄岗路穿黄隧道总体设计与关键技术

秦方方

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 济南市黄岗路隧道是目前内地在建直径最大的盾构隧道, 穿越地上悬河黄河。结合悬河保护要求高、盾构掘进距离长、承受水压大、开挖断面大、工作井深度深、建构筑物及环境保护要求高等特点, 从隧道功能定位、城市客运专用隧道技术标准选取、隧道平纵断面设计、横断面布置及两岸接线考虑等方面, 对隧道总体设计方案进行综合分析, 介绍关键技术问题设计方案的解决方案, 对提高我国城市客运专用隧道、大型水下盾构隧道及穿越黄河隧道建设水平具有重要参考意义。

关键词: 城市客运专用隧道; 黄河隧道; 大直径盾构隧道; 单洞双层隧道; 总体设计

中图分类号: U452.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)06-0138-07

0 引言

伴随着汽车工业的出现、发展以及城市化进程的推进, 自英国伦敦修建世界第一座城市道路隧道——泰晤士河隧道以来, 城市隧道成为改善城市交通, 打破江河、湖泊、山岭等自然及人工阻隔的重要手段^[1]。盾构法隧道作为隧道工程技术的首选引领着隧道工程向大埋深、大断面、长距离的方向发展^[2]。美国西雅图 SR99 隧道(盾构直径 17.45 m)、香港屯门隧道(盾构直径 17.63 m)、北京东六环改造工程(盾构直径 16.07 m)为已建大直径盾构隧道的典型代表, 技术水平先进。

黄河为地上悬河, 其防洪安全至关重要。济南市济泺路穿黄隧道的建设, 为采用大直径交通盾构隧道穿越黄河、缝合黄河天堑提供了一定的技术实践和积累^[3-5]。

为满足交通功能需求、集约化空间资源利用、节省投资、减小黄河大堤影响等, 济南市黄岗路穿黄隧道为单洞双层城市交通隧道, 隧道外径达 16.8 m, 盾构直径达 17.4 m, 2022 年 7 月 5 日开工, 建成后将超越北京东六环改造工程, 成为内地直径最大的盾构隧道, 也是世界上穿越地上悬河最大直径的盾构隧道。

本文以黄岗路穿黄隧道为依托, 针对黄河复杂敏感环境下特大直径盾构隧道论证过程、总体设

计、城市客运专用隧道技术标志选取及其关键问题解决措施进行系统阐述, 为类似项目提供重要借鉴意义。

1 工程概况及特点

1.1 项目概况

该项目位于济南市主城区和新旧动能转换先行区辖区内, 距离上游南起蓝翔中路黄岗路交叉口以南约 150 m, 向北依次下穿二环北路、绕城高速、黄河南岸大堤、黄河河道、黄河北岸大堤、鹊山水库沉沙池、龙湖湿地后向北爬出地面, 设置龙湖立交与 G309 衔接, 隧道总体布置如图 1 所示。

工程全长约 5.8 km, 采用双向 6 车道城市主干路标准, 设计速度 60 km/h。其中隧道段长约 4.8 km(盾构段长约 3.3 km), 设置互通立交、收费广场和管理中心各 1 座。盾构隧道采用单洞双层布置, 隧道外径 16.8 m, 上层为南向北交通, 下层为北向南交通。该通道串联济南主城区与新旧动能转换起步区, 是济南贯彻“黄河流域生态保护和高质量发展”、“新旧动能转换”国家战略、加速起步区建设、实现“大明湖时代”迈向“黄河时代”的标杆性工程。

1.2 项目特点及技术难点

本项目为穿越核心区和地上悬河的水下隧道, 周围环境敏感, 建设难度大, 风险高。主要工程特点及技术难点如下。

(1) 建设条件复杂、环境保护要求高

项目隧址位于黄河济南城区段, 南岸接老城天桥区, 建筑林立, 北接新旧动能转换起步区, 沿线不仅下

收稿日期: 2023-05-21

作者简介: 秦方方(1986—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 从事道路交通设计工作。

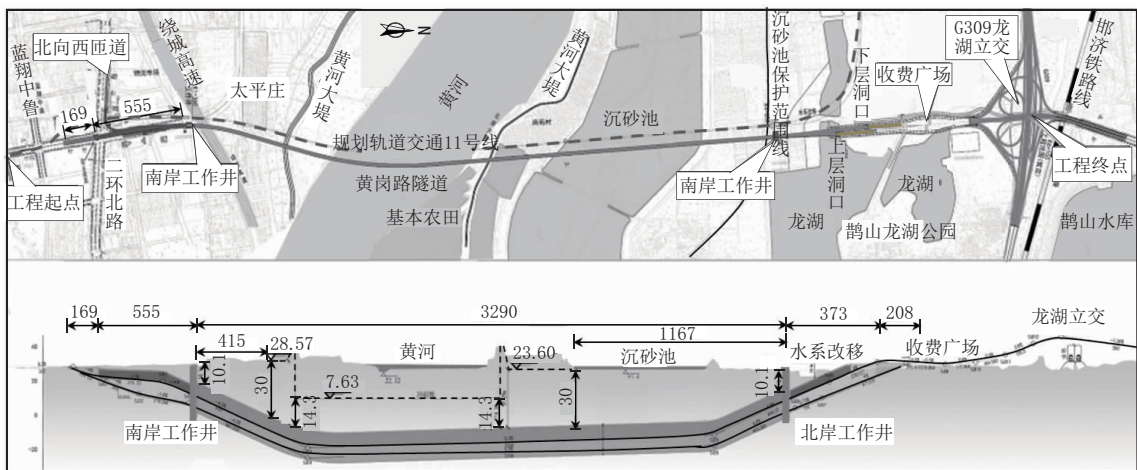


图 1 隧道总体布置图(单位:m)

穿既有居民建筑、高速公路、市政管廊等构筑物,同时还下穿一级水源保护区鹊山水库的沉沙池、城市湿地公园,环境复杂,对沉降和生态保护要求高。此外,隧道两岸衔接城市路网为交通干道,对隧道接线方案要求高。

(2)河床地形条件复杂、大堤保护要求高

隧址位于黄河弯曲多险段,呈“S”形,为黄河下游重点防洪确保河段,经多年淤积早已形成地上悬河。受小浪底水库运营影响,隧址处凌汛得到一定缓解,但河床淤积冲刷大且不均匀,河道主流线摆幅大,达 100 m。为确保黄河防洪安全,黄河两岸险工、大堤等防汛工程对沉降、渗透稳定性、岸坡冲刷影响等要求高。

(3)隧址区地质条件复杂

隧道位于济南市北部冲积平原^[6],穿越地层主要为第四系上更新统可塑—硬塑状黏土和粉质黏土层,夹杂粉砂细颗粒含量高。部分段落有基岩凸起,距离隧道底部仅约 1.3 m,穿越地层夹杂大块钙质结核,粒径大、分布范围广、强度达 30 MPa。黏土层宜结泥饼,钙质结合宜造成堵塞吸口,造成压力波动、堵泵等问题。

(4)超大隧道直径,承受水压大

为减小盾构穿越对黄河大堤影响、节省投资,隧道断面推荐采用单洞双层布置。盾构管片外径达 16.8 m,内径 15.4 m,采用泥水平衡盾构机,盾构机直径为 17.4 m。根据本工程勘察及防洪评估报告,黄河河床最大冲刷线标高 7.47 m,规划设防水位标高 38.2 m,观测时水位 27.95 m,水位变化大。隧道最低点位于河道内,隧道开挖底标高 -29.257 m,最大水压高达 0.65 MPa,且砂土底层渗透系数大。

(5)超深基坑、临近悬河和湿地,施工难度和风

险大。

本项目位于一级黄河阶地,南岸工作井距离高速公路(路基)约 30.9 m,距离高层住宅 45.4 m,北侧工作井紧邻龙湖湿地。在场区地形水丰富,地下水位高,地下水与黄河水存在水力联系,地下水水头高,补给速度快。基坑开挖深度高达 33 m、宽度约为 28 m。

2 总体设计

2.1 总体设计原则

通道设计秉承“人—交通—环境—和谐”的设计思想,总体设计原则如下。

(1)以济南城市总体规划、“携河”发展规划为基础,立足于网络,功能优先。以适度超前的原则合理、系统的确定项目功能定位、总体技术标准、两岸接线方案,最大化发挥通道功能。结合建设条件、环境要求等进行多方案比选,提出切实可行、最优的建设方案。

(2)尊重自然,坚持工程与环境和谐,坚持可持续发展战略。因项目区位敏感,应处理好工程与黄河两岸自然环境、水源地和龙湖湿地旅游资源等控制因素的关系,集约化利用穿黄河通道的宝贵资源,优先保护生态。

(3)坚持全生命周期隧道理念。从隧道设计、建设、运维全过程出发,合理运用“四新”技术,打造全生命周期的绿色、低碳、智慧隧道,综合提高项目经济性。

2.2 隧道功能定位及主要技术标准

2.2.1 交通需求及功能定位

根据隧道交通需求分析专题报告^[9],隧道两端衔接城市核心区域,为城市客运加密通道,主要服务近河交通。服务的车型中,中小客车占比约 94.9%,大

型客车(以公交为主)占比约1%,货运车辆仅占比约4.1%。隧道相邻通道货运车辆通行条件较好,可通行货车。隧道定位为城市客运专用隧道,以中小型客车为主,兼顾公交车辆通行,禁止大型货运车辆通行。

2.2.2 主要技术标准

根据交通流量预测结论及建设规模适应性分析,隧道需采用 60 km/h 双向 6 车道主干路可满足远期交通需求。

对于隧道设计,横断面尺寸上微小的增加都会引起巨额的工程造价^[8],为提供工程经济性、减小横断面尺寸,减小工程规模、工程造价及实施难度,对主要技术标准进行了详细研究。

(1)结合车道宽度相关调研和研究^[8],推荐对车辆进行分车道管理,设置2条小客车专用车道和1条混行车道,小客车专用车道宽度取3.25 m、混行车道宽度取3.5 m。

(2)隧道最小净高直接影响盾构隧道尺寸。隧道设计最小净高为设计车辆限高与车辆竖向安全移动量之和。

a. 设计车辆限高取值

设计车辆限高由隧道所需通行车辆决定。从规范规定方面分析如下。

《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)(2016版)规定,城市道路运行车辆小客车高 $\leq 2.0\text{ m}$,大型车高 $\leq 4.0\text{ m}$ 。

《道路车辆外轮廓尺寸、轴荷及质量限值》(GB 1589—2004)规定,乘用车及客车车辆总高 ≤ 4.0 m。

《道路交通安全法实施条例》(2017年)中规定,载物高度从地面起 $\leq 4.0\text{ m}$ 。双层巴士、特殊铰接车辆总高 $\leq 4.2\text{ m}$ 。

从服务对象角度分析:根据对国内主要公交车辆厂商调研,常规公交车辆高度 90%以上小于 3.5 m,长途大巴、旅游巴士、长途卧铺等车辆高度为 3.44~3.86 m。济南现状公交车辆高度为 3.48 m。经与济南公交公司对接,本线路无双层巴士开设计划;但考虑新能源公交充电设施、空调设备开启等需要,建议隧道限高不小于 4.0 m。

从管理和救援角度分析:经对国内常用的 29 种消防救援车辆调研,80%以上常用消防救援车辆高度在 3.0 m 以下,80%重型消防救援车辆高度在 3.8 m 以下。《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)规定消防车道的净空高度不应小于 4.0 m。

从驾驶者视觉感受, 当隧道实际净高 ≥ 3.5 m

时,不会对驾驶者造成压抑感^[10]。

从对车辆限高的适应性角度:根据现场踏勘,济南市共设置车辆限高 19 处,限高高度 2.9~4.0 m。结合济南市目前对通道管理运营措施,通道限高不会引起使用者的不适应。

综合上述分析,设计车辆限高取值 4.0 m。

b. 车辆竖向移动量取值

车辆竖向移动安全余量规划中未有明确规定。但规范条文解释和相关研究^[8,10],与城市地面道路不同,考虑隧道内周围环境可控、结构内部空间相对固定、受雨雪等外部气候条件影响小,车辆竖向移动量取值为0.2 m。

故从上述分析,城市客运专用隧道设计最小净高可取 4.2 m, 限高 4.0 m。

2.3 隧道平面设计

路线方案设计不仅关系技术可行性、经济指标合理性及社会效益长期性,还关系着工程的安全性、适用性和可靠性。路线平面在满足规划和技术标准的基础上,应尽可能采取较高的指标,力求线形均衡平顺。隧道平面设计主要控制因素为规划衔接道路、两岸居民区、高层建筑、黄河大堤及河道、高速公路、一级水源生态保护地沉沙池的关系等。

通过对通道与水源保护地的关系进行分析,本工程不可避免地需要穿越水源保护地,具有唯一性,如图 2 所示。根据与两岸居民区、黄河斜交角度、与规划的关系等,重点对通道采用西、中、东三个线位进行综合比选,如图 3 所示。



图 2 隧道与水源保护地的关系

东线方案自太平社区、夏天金融高层住宅之间穿越,具有与黄河大堤夹角大、曲线半径大、建筑物拆迁少、对两岸规划地块影响小、行车舒适度高等优点,为推荐方案。最小平曲线半径采用 600 m,水域盾构段最小平曲线半径 1 200 m。

根据规划, 规划轨道交通 11 号线与隧道共通

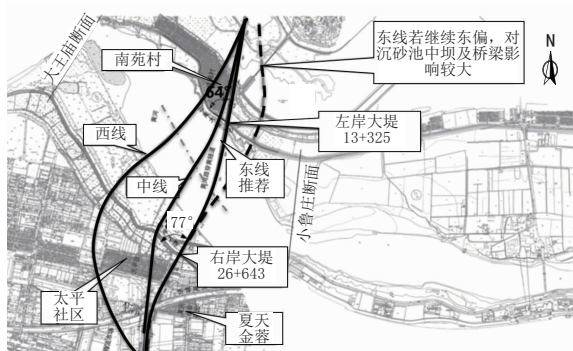


图3 隧道平面比选线位示意图

道。项目研究时对隧道与轨道交通共洞合建方案和分洞分建方案进行了详细分析,考虑轨道交通尚未有明确建设计划、减小对黄河大堤的影响、减小建设规模及工程投资等因素,推荐分洞分建方案。综合考虑远期轨道交通建设对大堤及本隧道的影响以及两岸接线对规划地块的影响等因素,规划轨道交通推荐位于隧道的西侧约50 m处,详如图1所示。

2.4 隧道纵断面设计

结合工程建设条件以及盾构工法的特点,隧道纵断面设计主要控制因素及设计标高情况如下。

(1)水下盾构段设计高程应同时满足运营阶段和施工阶段的要求。经防洪专项分析,通道处黄河河床南北摆动宽度为1 145 m,河床设计年限内极限冲刷线绝对标高为7.47 m。最不利情况下,水下隧道顶距冲刷线最小距离 $\geq 0.85D$ 控制。盾构隧道埋深最小断面位于工作井处,施工期间最小覆土厚度按 $0.6D$ 控制。

(2)根据地质分布情况,隧道穿越地层主要为粉质粘土层,局部夹钙质结核层,下卧岩层。为减小盾构掘进难度和软硬地层盾构施工风险,在满足盾构施工、运营安全覆土的条件下,应尽可能使隧道位于单一地层中。

(3)黄河为地上悬河,防洪要求高。为确保南、北防洪大堤的安全,隧道穿越大堤时隧道覆土深度应满足防洪评价报告的要求。

(4)隧道两岸接线标高。根据区域条件,隧道北岸接线位于城市级湿地公园内,南岸接线位于城市易涝区。为增加隧道水灾安全,隧道两岸接线标高满足百年一遇洪水位要求。

(5)鹊山水库沉沙池无害化穿越要求。隧道穿越黄河河道后,向北需继续穿越一级水源保护地沉沙池。为确保沉沙池安全,减小对城市水源可能的影响,隧道穿越时隧道顶部覆土 $\geq 1D$ 进行控制。

根据以上控制因素分布情况和控制要求,隧道

采用“V”形坡;隧道敞开段最大纵坡4.0%,最小纵坡0.3%;盾构段最大纵坡4.6%,最小纵坡0.4%。盾构段结构距离设计年限内冲刷线距离最小值为14.3 m,盾构最小覆土处位于南岸工作井处,覆土深度约9.8 m,盾构最大覆土约51.98 m。盾构结构下穿黄河大堤预测淤背区最小覆土约30 m,穿越沉沙池时结构最小覆土深度约20 m。盾构结构底距离基岩最小距离约1.3 m。

隧道在两端接地点附近设置“驼峰”,标高在百年一遇内涝水位0.5 m以上,以防运营期间外部雨水倒灌。

2.5 隧道横断面设计

隧道横断面关系交通功能、隧道安全以及工程经济性。本工程隧道横断面综合比选了16.8 m单洞双层双向交通和14.5 m双洞双向单层断面2种方案,从隧道平纵线形、黄河大堤影响、两岸交通衔接、施工风险、防灾救援难度、拆迁费用、工程造价等角度综合分析,推荐采用单洞双层的布置^[7]。

综合道路建筑限界、设备空间、安全疏散空间、通风等空间需求,建筑限界为 $0.5\text{ m}+3.25\times 2\text{ m}$ (小客车专用)+ 3.5 m (混行车道)+ 0.5 m ,最小净高4.2 m。盾构内径15.4 m、外径尺寸为16.8 m,隧道断面布置如图4所示。

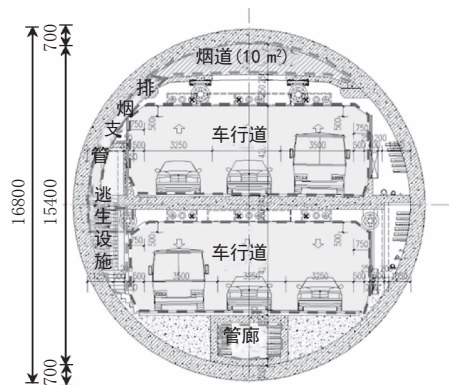


图4 隧道盾构段横断面(单位:mm)

断面分为两层,上下均为车道层。隧道上部空间设置重点排烟风道,下层车道下方设置管廊舱,侧边空间设置楼梯间、区间变电所、排烟支管。

2.6 隧道两岸接线设计

隧道与两岸路网的有效衔接是隧道交通功能充分发挥的关键因素之一。

(1)南岸接线设计

隧道南岸衔接济南市老城区,路网已形成。根据路网条件、交通量预测结论和特性,为避免隧道大流量交通对区域路网的冲击,经多方案综合比选,隧道

南岸接线推荐采用“一进两出”的“两级疏解”的方案,即:对区域路网冲击较大的北向南交通下穿黄河河道后连续下穿绕城高速、二环北路后接地,重点服务中远距离交通;同时设置二环北路定向匝道与二环北路进行联系,服务近河区域的转向交通。对区域路网冲击相对小的由南向北进入隧道交通,入口集中设置在二环北路以北。推荐方案可满足交通需求,同时降低工程造价和实施难度、更好预留与远期规划快速北环线的衔接条件,详如图 5 所示。



图 5 北岸接线示意图

(2)北岸接线设计

隧道北岸衔接济南新旧动能转换起步区示范区,接线位于已建的龙湖湿地范围,规划路网已基本形成。受北岸沉砂池保护线、收费广场的限制,隧道以盾构的形式下穿沉砂池后设置盾构始发井,继续向北隧道上、下层分离后分别接地接入地面收费广场,并与已建的 G309 形成互通立交,进行交通疏解。北岸接线接线详如图 6 所示。

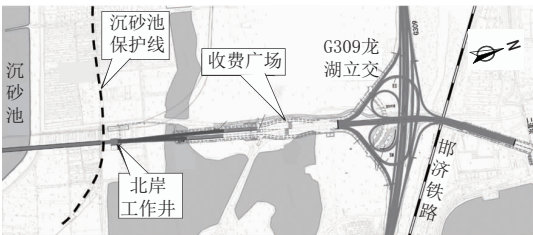


图 6 北岸接线示意图

3 关键技术和设计要点

3.1 盾构工作井结构设计

北岸盾构工作井(包括后续始发段)为盾构始发井,兼做隧道集中设备用房,具有隧道排风、补风、重点排烟、救援逃生、消防给水、雨污水收集等功能,选址位于沉砂池保护线外侧。北岸工作井基坑平面尺寸为 28.5 m × 28.5 m,基坑深约 33.0 m,为五层框架矩形结构。为适应盾构机后期配套台车工作,在工作井北端设置 130 m 长基坑作为盾构机整体始发段,宽约 22.8 m,基坑深度约 23.9~29.7 m,为三层框架结构,具体如图 7 和图 8 所示。

南岸盾构工作井为盾构接收井,兼做隧道设备用房,具有隧道排风、补风、重点排烟、救援逃生、供配

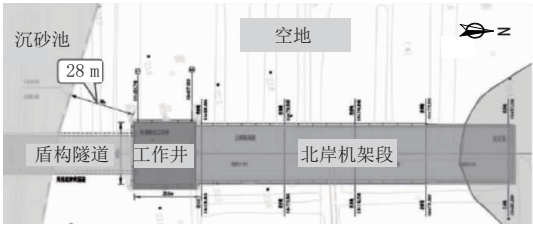


图 7 北工作井及机架段

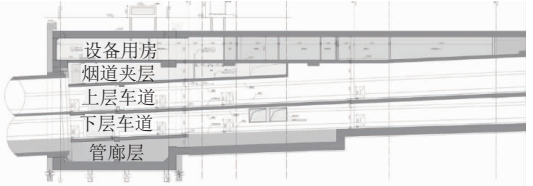


图 8 北工作井纵剖面

电机房等功能。南岸工作井基坑平面尺寸为 28.3 m × 28.3 m,基坑埋深约 30.9 m,为地下五层框架矩形结构。受地形地貌限制,南岸工作井设置于绕城高速以南约 30.9 m,距离高层住宅建筑物约 45.5 m,如图 9 所示。

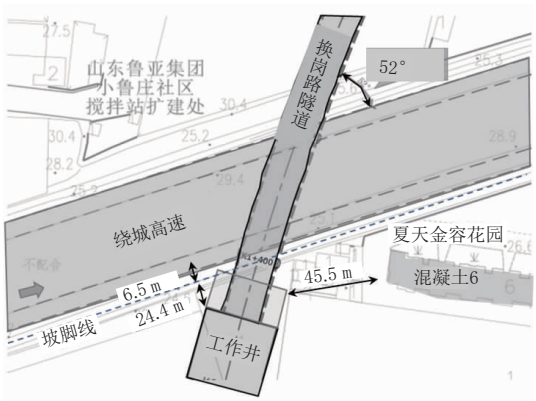


图 9 南岸工作井

南北岸工作井基坑均采用厚 1.2 m 型钢接头式地下连续墙 + 内支撑混凝土支撑体系,沿竖向各设置 5 道支撑。为控制基坑变形,北井高低坑处采用高压旋喷桩进行地基加固。北岸工作井基坑坑底位于砂土层中,基坑内采用疏干降承压水。为确保隧道防洪安全,在车道孔、人行逃生孔等与外部联通部位设置防淹门,施工阶段在盾构始发井内设置平开立转式防淹门,覆盖全盾构全断面,使用阶段在南北工作井均设置平开立转式防淹门。南、北岸工作井结构外表面均设置柔性防水卷材全包防水。

南岸工作井临近绕城高速仅约 30.9 m,根据案例调研及变形计算,为减小基坑开挖过程中,控制地层变形,确保高速公路的正常使用和安全,采用临近高速公路侧设置:横向止水帷幕、设置隔离桩、适度提高地墙刚度和配筋、进行地基加固增强土体刚度和强度、多井浅降、坑外回灌以及实施监控、动态控

制等措施。

盾构进出洞加固采用“冻结法+旋喷桩+U形地墙外包止水”加固方式,进洞加固深度33 m,厚度20 m;出洞加固深度33.5 m,厚度20 m。

3.2 盾构管片结构设计

从管片材料、厚度、环宽、构造、衬砌环类型等方面,对隧道管片结构等进行设计。采用单层装配式钢筋混凝土衬砌,综合考虑施工误差、轴线拟合误差和结构不均匀沉降等因素,圆形隧道内径为15.4 m。结合盾构机来源及配备设备、工期、投资、各阶段荷载验算等因素,管片环宽采用2.0 m,管片厚度选用700 mm。根据国内外大直径越江隧道设计资料对比分析,推荐采用小封顶块和错缝拼装的管片结构形式,即1小封顶块+2邻接块+9标准块,标准块管片外弧长约4 657 mm,最大分块重约15.62 t。

为改善纵缝面受力性能和满足管片拼装定位要求,纵缝采用平缝构造,加设导杆。管片环缝采用设置剪力销的平缝构造。管片块与块之间采用3根T39环向斜螺栓进行连接,环与环之间采用68根T39纵向斜螺栓进行连接。

3.3 盾构接缝防水设计

盾构隧道防水设计以“混凝土结构自防水为根本,接缝防水为重点,多道设防,加强隧道与工作井接头等特殊部位防水”为原则。接缝防水为包括弹性密封垫、遇水膨胀橡胶防水条、最外侧的海绵橡胶条以及内侧嵌缝四个方面。弹性密封垫选用三元乙丙橡胶,选用聚醚型聚氨酯弹性体作为遇水膨胀橡胶防水条,海绵橡胶为氯丁海绵橡胶。螺孔、注浆孔、变形缝、嵌缝、手孔等采用橡胶密封圈、专用密封垫、嵌缝泡沫橡胶棒即聚合物水泥防水砂浆等进行封堵。

盾构出洞时,圆隧道与工作井接头防水采用双道铰链型密封压件,配合帘布橡胶圈,进洞时采用气囊装置,达到临时止水效果。

工作井与圆隧道接头钢筋混凝土保护圈中掺加合成纤维,减少与避免裂缝。井圈与井壁内衬钢板、管片混凝土面之间均设有遇水膨胀止水条。井圈内侧施工缝用高模量聚氨酯或聚硫密封胶嵌填,加强防水。

3.4 盾构下穿黄河大堤设计

盾构下穿地上悬河(黄河)南岸大堤处,覆土约44.4 m,隧道纵坡度为0.4%~4.6%,隧道拱顶距临河侧堤角38.16 m,距背区坡脚线31.24 m,黄河大堤是在原民埝基础上经历数次加培抬高及灌浆加固而

成。采用有限元方法建立计算模型分析隧道开挖引起大堤沉降变形,变形计算结果如图10、图11所示。

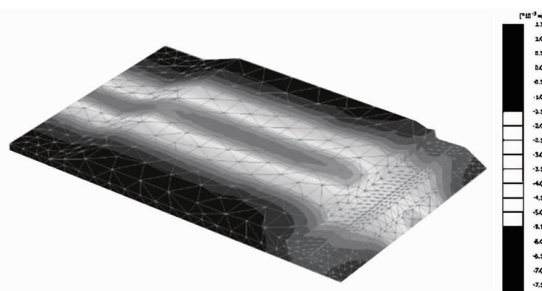


图10 盾构穿越大堤变形计算结果

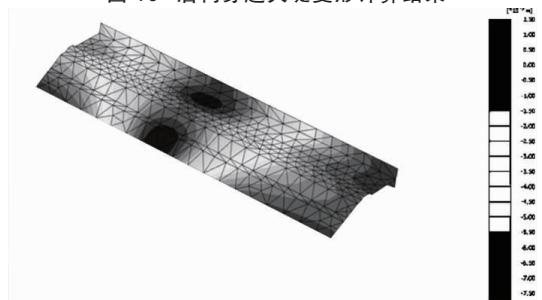


图11 盾构施工后险工工程变形计算结果

根据计算结果,隧道穿越大堤时险工最大沉降为23 mm,大堤最大沉降为27 mm。而依据《济南市黄岗路隧道工程防洪评价报告》,结合国内外调研及济泺路实际沉降情况,地层损失率按济泺路隧道最不利状况6.25‰取用,经PECK公式计算,隧道穿越施工后,大堤产生的最大沉降为28.4 mm、险工产生的最大沉降为25.9 mm。为确保盾构穿越大堤及险工时堤防安全,采取对应技术措施:(1)保证穿越段设计路线顺直,设计线路与大堤和险工较大交角,避免盾构穿越时姿态调整产生过大超挖和扰动;(2)在隧道穿越大堤和险工段,管片间设置剪力销,提高隧道纵向整体刚度;(3)在隧道穿越大堤和险工段,管片增设注浆孔进行同步注浆;同时设置监测、报警系统,视情况进行二次注浆;(4)严格施工控制,如设置试验段、严控盾构方向、降低推进速度、加强施工监测、控制地层损失率等。

3.5 盾构无害化穿越沉沙池设计

盾构段下穿沉沙池处,下穿范围盾构拱顶距离沉沙池池底 ≥ 20 m,隧道纵坡为1.6%,沉沙池为天然开挖形成,池底物桩基等障碍物。采用有限元方法,建立计算模型分析隧道开挖引起的沉沙池沉降变形。根据地质报告,沉沙池范围内主要地层从上至下依次为杂填土、黏质粉土、粉土、粉质黏土、粉细砂、黏土、粉质黏土、全风化辉长岩;控制地层损失率为3‰,模型边界条件为地表自由、四边法向约束、底部法向约束,计算结果如图12所示。图中总位移 u_z :

最大值 1.241×10^{-3} m (单元 4180 在节点 2006); 最小值 -0.039 21 m (单元 4180 在节点 2006)。

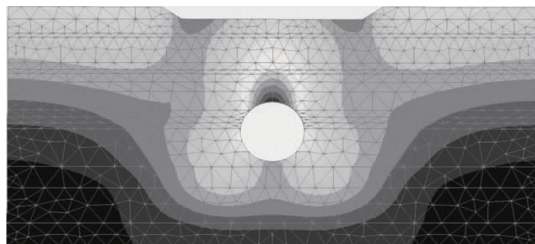


图 12 沉砂池模型计算结果

根据计算,隧道穿越时,沉砂池基础会产生沉降变形,但影响较小。为满足环保部门要求的采用无害化穿越要求,具体为:(1)隧道穿越沉砂池区段,管片间设置剪力销、增设注浆孔,提高隧道的纵向整体刚度,根据监测结果及时进行二次注浆,减少盾构穿越对沉砂池的影响;(2)施工过程中控制注浆压力、切口压力、推进速度等施工参数,减小土体扰动,不串浆;(3)在确保盾构安全施工的情况下,尽可能减少外加剂的用量,或采用相对环保材料替代。

3.6 隧道防灾设计

该隧道为单管双层水下盾构隧道,断面利用率高。防灾系统遵从“以防为主、消防结合、构建防灾、减灾、救灾的安全链”理念。结合单管双层横断面布置特点,对防灾进行了重点设计。

(1)根据前述服务车辆类型,隧道禁止通过大型货车及易燃易爆危险品车辆,隧道内火灾规模按 20 MW 设计。隧道采用射流风机诱导型的纵向通风方式。北岸隧道废气采用洞口直排的方式,南岸结合工作井设置 1 座高峰塔。结合本工程隧道结构和交通特点,设计采用纵向排烟和重点排烟相结合的排烟系统,纵向排烟应用于正常行驶工况下火灾,重点排烟方式应用于隧道内车辆阻滞工况下火灾。重点排烟道设置在上层隧道的顶部空间。上层隧道采用顶部开设排烟口的上排烟方式,下层采用侧壁开设排烟口 + 排烟支管的侧向排烟方式,具体如图 13 所示。

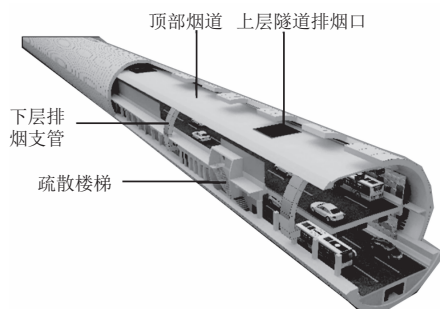


图 13 隧道剖切示意图

(2)隧道消防设施采用消火栓、泡沫-水喷雾联用灭火系统、灭火器、火灾自动报警系统。

(3)隧道侧边间隔 80~120 m 设置上下层疏散楼梯,楼梯宽度不小于 80 cm,楼梯坡度不大于 60°。双层隧道疏散模式为横向疏散模式的特殊应用,当火灾发生时,逃生人员由一层车道孔疏散至另一孔车道孔,事故车道孔进行交通控制,反向救援。考虑黄河为悬河,地质条件不稳定、施工风险大、且存在其他补救措施等因素,隧道不设上下层车行联通道。

(4)防水灾设计:洞口附近设置雨水泵房,泵房流量按照 50 a 一遇设计,100 a 一遇设防;隧道接地点处设置驼峰;隧道每个出入口附近设置挡水板;相关附属设施设置不小于 45 cm 的防淹高度。南北工作井车道层、电缆层、烟道层设置防淹门。

4 结 语

黄岗路穿黄隧道是国内下穿黄河最大直径盾构水底隧道。该工程从总体方案、主要技术标准到关键节点、工程方案设计的过程中始终贯穿适度超前、绿色低碳、全寿命周期、可持续发展的设计理念,力争将其设计为技术先进、经济合理的精品工程。该工程的建设是以新旧动能转换为主线、以先行区建设为引领,是促使济南从“大明湖时代”昂首迈向“黄河时代”、高质量发展的民生工程。同时该工程在设计思路、建设经验、创新理念等方面,可为日后穿黄通道、大直径盾构研究提供参考案例。

参考文献:

- [1] 许富强,杜志刚,陈灿.中国城市道路隧道分布及发展特征[J].现代隧道技术,2022,59(6):35-41,69.
- [2] 钱七虎,陈健.大直径盾构掘进风险分析及对特大直径盾构挑战的思考[J].隧道建设(中英文),2021,41(2):157-164.
- [3] 张亮亮,赵世超,孙文昊,等.济南市济泺路穿黄隧道总体设计[J].隧道与地下工程灾害防治,2020,2(2):14-20.
- [4] 杜昌言.穿越黄河的超大直径盾构隧道:济南市济泺路穿黄隧道[J].隧道建设(中英文),2021,41(7):1244-1251.
- [5] 朱牧原,魏力峰,方勇,等.超大直径盾构隧道下穿黄河大堤沉降分析与控制研究[J].现代隧道技术,2022,59(3):211-219.
- [6] 黄河勘测规划设计研究院有限公司.黄岗路穿黄隧道工程(水域段)岩土工程勘察报告(详细勘察)[R].郑州:黄河勘测规划设计研究院有限公司,2020.
- [7] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.济南市黄岗路穿黄隧道工程初步设计设计文件[R].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2021.
- [8] CJJ 221—2015,城市地下道路工程设计规范[S].
- [9] 济南市规划设计研究院.济南市黄岗路穿黄隧道工程交通需求预测专题研究报告[R].济南:济南市规划设计研究院,2020.
- [10] 张毅.小客车专用城市地下道路的设计净高研究[J].城市道桥与防洪,2014,2(2):123-126.