

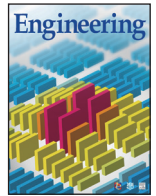


ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



News & Highlights

青岛地铁 8 号线海底隧道

贺维国, 刘鹏

China Railway Liuyuan Group Co., Ltd., Tianjin 300133, China

1. 工程概况

青岛地铁8号线线路全长60.7 km, 起点为胶州市胶州北站, 终点为市南区五四广场, 共设站15座, 采用B型车6辆编组, 最高行车速度为 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。它连接新建的济青高铁青岛站、青连铁路青岛站, 一路串起胶州北站、胶东国际机场、青岛火车北站、五四广场等大型客流集散点, 沿途经过胶州市、红岛经济区、李沧区、市北区、市南区等5个行政区或功能区, 是连接青岛东岸中心城区、北岸城区, 并辐射外围组团的轨道交通快线。

青岛地铁8号线海底隧道起自青岛市红岛高新区大洋站, 下穿胶州湾后接入青岛市李沧区青岛北站, 线路全长约8.1 km, 其中下穿海域段长约5.5 km, 为国内最长的地铁海底隧道。根据区间运营需要, 共设3座地下风机房变电所、泵站。本工程于2016年10月开工建设, 计划土建施工工期43个月, 土建总投资24.4亿元人民币。

2. 工程设计重难点

工程设计中的难点主要有: ①特长海底区间隧道防灾救援难度大, 海域范围内无法设置通风排烟竖井, 需综合行车、信号、通风、土建施工等多方面技术, 确定通风排烟方案、隧道断面形式及施工方案; ②海域地质

条件复杂, 隧道线路纵断面设计需结合工法研究, 尽量降低工程风险; ③复合地层、断裂带等不良地质条件下隧道合理工法研究。

3. 施工工法选择

隧址区揭露10条断层破碎带, 其中, 陆域6条、海域4条(F3、F4、F5和F6)。区域断裂构造主要为压扭性断裂。F4断层破碎带位于海域段中部, 断裂宽度约440 m, 为隧址区揭露最大断层破碎带, 破碎带内岩性破碎, 呈软硬不均状, 受构造影响较强烈。勘察过程中发生突涌水现象, 突涌水具有高承压水头、瞬时突发性特征。海底隧道采用矿山法+盾构法组合工法施工, 矿山法隧道与盾构法隧道在海底进行工法对接, 其中, 海底矿山法施工隧道段长度为2532 m, 采用复合式衬砌; 海底盾构施工段长度为2965 m, 采用两台直径为7.1 m的泥水平衡复合式盾构施工(图1)。

矿山法+盾构组合施工需对线路纵断面进行合理设计, 盾构施工段若埋深过大则会较多地穿越硬岩地层, 增加施工难度、降低施工效率, 同时会带来管片结构荷载增加、结构防水难度增大等一系列的问题; 矿山法施工段埋深过浅会增大隧道开挖施工坍塌和突涌水风险。通过综合分析隧道地质条件, 采用工程类比和理论分析方法最终确定: 盾构施工段隧道埋深按不小于 $1D$ (D 为开挖跨度)控制, 矿山法施工段按不小于25 m控制。

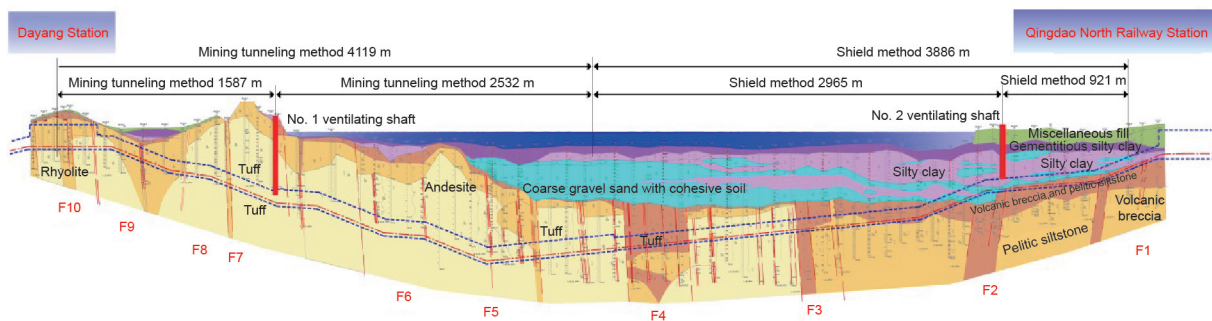


图1. 地铁8号线海底隧道地质纵断面。

4. 通风、排烟

矿山法施工段为分离双洞结构、马蹄形断面，盾构施工段采用外径6.7 m管片衬砌，管片厚度为350 mm，幅宽1.5 m。利用矿山法施工断面设置灵活的特点，在区间隧道拱部设置 9.5 m^2 排烟风道，风道从1号通风井向海底延伸，隧道中部设置排烟口，实现隧道分段纵向通风排烟。为满足隧道防灾疏散要求，左右线隧道间每隔300~600 m设置一处联络通道，沿隧道纵向通常设置疏散平台，疏散平台宽度：矿山法施工段2 m、盾构施工段1 m（图2）。

5. 防排水设计

海底隧道采用V形纵坡，施工和运营期需采用机械排水，因此需要加强隧道的防排水系统设计，确定限排的标准，减少隧道的排水量；同时要保证隧道排水系统畅通、可以维护，降低施工排水和运营排水费用。

隧道施工中，隧道拱部设计3处超前探水孔，对掌

子面前方出水量、出水压力进行超前探测，根据探孔出水量、出水压力，定量判断、选择超前预注浆方案及超前预注浆设计参数，对前方围岩进行预注浆加固堵水，可有效降低隧道穿越不良地质地段突涌水风险。采用超前预注浆和径向补充注浆方式，降低围岩渗透性，达到限量排放的目的，使隧道矿山法段单隧道渗水量控制在不大于 $0.2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。隧道采用可维护式防排水系统，同时沿隧道纵向间隔80 m设置排水盲管检查井，为运营期间纵向排水管进行定期检修、维护提供条件。

6. 海底复杂地层盾构长距离掘进施工关键技术风险控制

结合海域地质勘察资料对盾构机刀盘刀具配置进行合理设计，满足掘进需要；刀具磨损更换不可避免，由于隧道处于海底，水压大，换刀困难，因此刀具更换遵照“合理、快速、批量、计划性换刀”的原则。为保障开仓换刀作业施工安全，提高换刀工作效率，节省工期及工程投资，本项目根据不同地层条件、作业特点采取

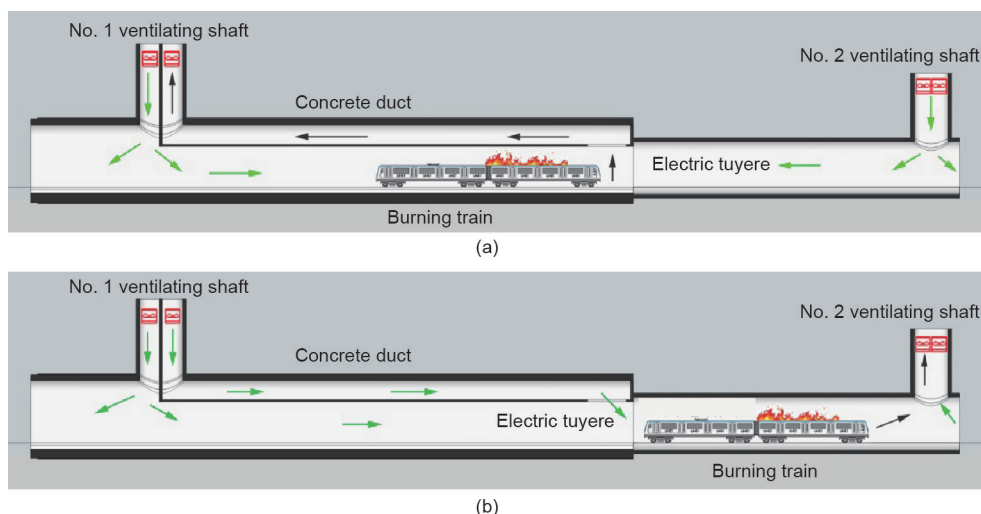


图2. 区间隧道排烟气流组织示意图。(a) 1号通风井；(b) 2号通风井。

不同的换刀方案。全断面软弱地层、上软下硬富水地层、岩石破碎带（断裂带、裂隙发育、渗透性强）等不良地层采用带压进仓换刀；掌子面能够自稳的原状地层或加固体，地层整体性较好，裂隙水不太发育的情况下，通过在隧道内对盾构机后部或盾壳外部地层进行止水处理后就能满足常压进仓；对于软弱富水地层，需要大量仓内作业或割焊等操作，提前将穿越地层进行加固止水处理，待加固体有一定强度后，将盾构机推进至预先加固

位置后，再敞开式进仓作业。减压限排进仓技术是建立在带压进仓和掌子面地层有一定自稳性基础上的，通过周边止水仍不能达到常压开仓（仓内水位可控或掌子面能够完全自稳）的目标，通过加低压阻止地下水和稳定地层的方法来进仓作业，提高带压进仓的工作效率。

到目前为止，采用隧道掘进法建造的支护长398 m；盾构始发井正在建设中；预计两个泥浆平衡盾构将于2018年7月1日开始掘进。