

工程实例

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 08. 014

# 对澳供水工程大口径平行顶管与附属工程设计

杨国洪

(珠海市规划设计研究院, 广东 珠海 519000)

**摘 要:** 因前山水道出海口船闸建设需要,拟对现有2条对澳供水管进行迁改。其中,经过前山水道顶管段约650 m为工程关键线路,采用2根DN1 800钢管,埋深约15.30 m。针对常规大口径单管顶管占地大、工期长、并网时水质冲击大等技术难点,一方面采用双管并行交错同步顶管施工工艺,顶管机头前后错开约30 m交替顶进,同步推进速度达20 m/d,节省约1个月工期。同步平行顶管的管间距需根据机头扰动宽度及触变泥浆有效渗透半径,加上管道破坏时压力水释放的影响进行综合考虑,设计管间净距为3 m,工作井内径取15 m,接收井内径为10 m。另一方面,通过大口径附属阀门井的优化设计,辅以压入式沉井法施工顶管井,实现了井体快速稳健下沉,并在减少用地的同时有效控制地面沉降。最后,经过有组织的冲洗碰口,减少了管道并网时对现状系统的影响。该工程目前已稳定运行2年多,相关设计经验可供类似工程参考。

**关键词:** 平行顶管; 压入式沉井法; 管道冲洗

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)08-0083-08

## Large Diameter Parallel Pipe Jacking and Auxiliary Engineering Design of Macao Water Supply Project

YANG Guo-hong

(Zhuhai Institute of Urban Planning & Design, Zhuhai 519000, China)

**Abstract:** Due to the construction of the ship lock at the outlet of the Qianshan Watercourse, it is planned to relocate and renovate the two existing water supply pipes to Macao. Among them, the pipe jacking section of the Qianshan Watercourse approximate 650 m long is the key route of the project, and uses two DN1 800 steel pipes buried at a depth of 15.30 m approximately. In response to the technical difficulties of conventional large diameter single pipe jacking, such as large footprint, long construction period, and significant water quality impact during grid connection, the project creatively adopted the double pipe parallel staggered synchronous jacking construction process. The jacking machine head has been staggered by 30 m alternatively, and the synchronous pushing speed of the double pipes can reach 20 m/d, saving about a month of construction period. The spacing of synchronous parallel pipe jacking has been comprehensively considered based on the disturbance width of the machine head and the effective penetration radius of the thixotropic mud, as well as the impact of pressure water release during pipeline failure. The design net distance between the pipes is 3 m, the inner diameter of working well is 15 m, and the inner diameter of receiving well is 10 m. On the other hand, by optimizing the design of large diameter auxiliary valve wells and using the press-in caisson method to construct the pipe jacking well, it can realize rapid and steady sinking of the well body, effectively control ground settlement and reduce the

impact on existing buildings while reducing land use. Finally, organized flushing was carried out to reduce the impact of pipeline grid connection on the current water supply system. The project has been running steadily for over 2 years, and the relevant design experience can be used as reference for similar projects.

**Key words:** parallel pipe jacking; press-in caisson method; pipeline flushing

在建成区敷设市政管道因受地物、交通环境等因素影响,通常采用非开挖顶管方式施工。近年来随着市政基础设施大规模改造,地下管线逐步向更深层的地下空间发展。针对大口径单管顶管占地大、工期长、并网时水质冲击大等技术难点,以某对澳供水管迁改专项工程为例,分析了有限空间下大口径平行顶管的设计要点,通过大口径附属阀门井的优化设计,辅以压入式沉井法施工顶管井,在减少用地的同时可有效控制地面沉降,减轻对既有建(构)筑物的影响。最后,经过有组织的冲洗碰口,可减少管道并网时水质波动对现状系统运行的影响。

## 1 工程概况

工程区域位置见图1。

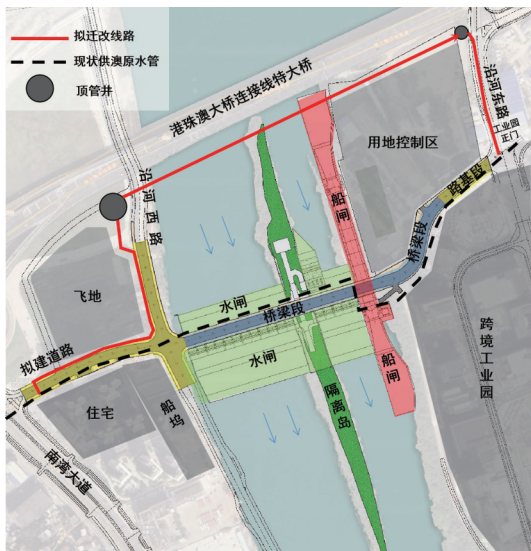


图1 工程区域位置

**Fig.1 Location of the project area**

该对澳供水工程位于珠海市前山水道的出海口石角咀地区,为澳门青洲水厂的主要供水通道,因珠澳交界处的石角咀水闸存在安全隐患拟拆除重建,故需提前对随旧闸敷设的2条对澳供水管进行迁改。前山水道担负着防洪、排涝及航运交通等任务,宽约300 m,由中央隔离岛分为左岸通航槽道

和右岸泄洪通道,河床底标高为 $-4.50 \sim -3.00$  m,河岸标高为 $3.00 \sim 3.80$  m。石角咀水闸重建后,可保持围内各特征水位不变且不受外海影响,内河正常蓄水位 $0.60$  m,死水位 $0.00$  m,最高洪水位 $2.00$  m,航槽水深 $6.50$  m。

综合考虑工期、运维、地质、用地及环境条件等各种因素,沿港珠澳大桥连接线特大桥下游侧顶管过河,前山水道两侧随沿河东路及沿河西路敷设接驳现状管。其中,经过前山水道顶管段约 650 m 为工程关键线路,设计采用 2 根 DN1 800 钢管平行顶管工艺,单根长度约 650 m。

## 2 平行顶管设计

## 2.1 施工条件及工艺选择

### 2.1.1 场址环境约束条件

该项目场址周边有跨境工业区进出通道,涉及港珠澳大桥连接线工程(前山河特大桥)、一级河道堤防、船闸及其他大型地下管线等敏感区域。特大桥保护范围为滴水线往外 100 m,而滴水线以外 30 m 范围内为施工严控区,需采用非挤土桩施工,对基坑变形控制严格;河道堤防及船闸挡墙下为素混凝土桩和板桩基础,顶管需从桩底穿越;市政道路下存在大口径雨水箱涵、220 kV 对澳输电等线缆,需考虑避让。

该工程周边情况复杂,环境保护要求高,地表沉降、深层位移控制严格,设计需要考虑安全有效的施工措施对既有建(构)筑物进行保护。即,确保坑外周边环境安全的要求往往已超过坑内施工安全的需要,基坑变形控制严于强度控制的要求<sup>[1]</sup>。

### 2.1.2 地质情况

根据钻探结果可知,地下水埋深浅,场地勘探深度内揭露地层主要有人工填土层( $Q^{ml}$ )、第四系海陆交互相沉积( $Q^{mc}$ )层、残积( $Q^{el}$ )层,下伏基岩为燕山期花岗岩( $\gamma_1$ )。揭露地层存在厚度不均的透水砂层(粉砂、中砂、粗砂、砾砂),埋深较大。工程顶管穿越土层主要为中砂和砂质黏土层,顶管过程中有

透水和管涌风险。

### 2.1.3 顶管工艺

常用顶管机械包括泥水平衡、土压平衡及气压平衡顶管机,其中泥水平衡顶管机适用范围最广,通过注入水泥浆或泥浆以保持机头前端的土层稳定,对地质条件要求较低,施工速度快、成本低,适用于泥土、淤泥、砂土等较湿软的地层;土压平衡顶管机适用于较硬的地层,如黏土、砂岩等,对地质条件和设备要求较高,施工速度较慢,施工成本较高;而气压平衡顶管机适用于软土、砂土、淤泥等较松软的地层,通过控制机头内外气压差维持土层稳定,尤其适用于穿越障碍或有障碍物的复杂土层。

该工程穿越土体大部分为中砂层,如采用土压平衡顶管机则需要加泥辅助以改变土体塑性,存在管涌风险;而采用气压平衡,则需消耗大量的空气,出泥效率低,工期长,施工成本高。因此,综合考虑地质、成本、工期、施工安全等因素,确定采用泥水平衡顶管施工工艺。

## 2.2 平行顶管设计方案

### 2.2.1 平面及竖向设计

受用地条件制约,顶管过河段与港珠澳大桥连接桥梁垂直投影(滴水线)净距15 m(见图2),管道与桥墩净距19 m,顶管井外壁桩与桥墩净距12 m,处于特大桥桥梁保护范围内。考虑到航道底标高约-4.50 m,沿河西路下素混凝土桩复合地基桩底标高为-7.00 m,为满足通航及抗浮要求,同时避让沿河西路桩基础,设计穿越素混凝土桩安全净距取3.00 m,则顶管管底标高定为-11.80 m。两岸场地标高约3.50 m,则管道最大埋深约15.30 m,顶管井深达16.00 m。

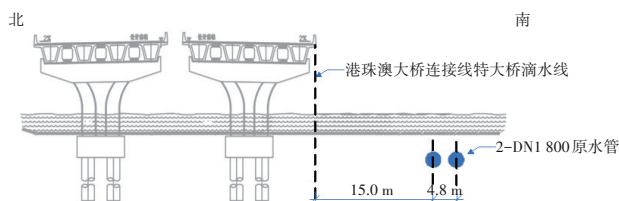


图2 过河顶管段标准横断面

Fig.2 Standard cross-section of top pipe crossing river channel

### 2.2.2 平行顶管间距

受工期及用地条件制约,设计考虑采用前后交错、平行同步顶管工艺,除了对平行顶管间距有要求外,还需要对前后顶进错开距离进行约束。管道

间距与顶管深度、土层特性、管道材料、接头构造和基础形式等有关,规范要求相互平行的钢管顶管间距不小于1.0 m且不小于1D,这是基于既有管道建成后已形成新的受力作用体系而规定的最小间距要求。对于前后错开、平行同步顶进的管道,受触变泥浆套的影响,在首根管道持续顶进过程中尚未完成泥浆置换和土体固化的情况下,需要考虑邻近管道顶管土体切削压力和泥浆渗透的影响。李进<sup>[2]</sup>研究了双排顶管穿越京杭运河的设计要点,认为顶管间距需结合顶管机头扰动宽度和触变泥浆渗透范围的影响,在考虑适当安全余度的情况下取大值,而对于该工程重要的输水干道之间的安全运行距离,还应考虑后期水管破坏时压力水释放的影响。顶管触变泥浆的作用除了减阻之外,最重要的一点就是填补管道与土体之间的间隙,在注浆压力下,可减少土体变形,使管周土体稳定。初始注入时,浆液会填充土体与岩石的裂隙,排挤出孔隙中的自由水和空气,而基本上不改变原状土的结构和体积,随着相对致密稳定的泥浆套的形成,可阻止浆液继续外渗。

#### ① 顶管机头扰动宽度

顶管正面对土体的施力状况通常以 $(45^\circ + \varphi/2)$ 向前方呈360°扩散,机头扰动宽度与土壤的内摩擦角相关(土压平衡式可忽略),可按式计算:

$$d_1 = [D + (0.02 \sim 0.06)] \times \sin(45^\circ - \varphi/2) / \cos(45^\circ - \varphi/2) \quad (1)$$

根据地勘报告, $\varphi$ 取21.5°,则 $d_1 = 1.29$  m。

#### ② 触变泥浆扩散半径

浆液在砂性土中扩散影响半径最大,顶管注浆可参考花管式分段注浆柱面扩散理论进行简化计算,注浆以压力控制为主、注浆量控制为辅。理论注浆量为超挖量的1.5倍,实际注浆量一般可达到理论值的6~10倍。设计每米顶管的理论注浆量为0.217 m³;因穿越土层为中砂层,为了保证注浆效果,注浆量取理论值的10倍,则每米顶管最大注浆量为2.17 m³。浆液扩散半径计算见下式:

$$r_1 = \sqrt{\frac{2Kh_1t}{n\beta \ln(r_1/r_0)}} \quad (2)$$

式中: $r_1$ 为浆液的扩散半径,cm; $r_0$ 为管道外轮廓半径,cm,该工程取92 cm; $\beta$ 为浆液黏度与水的马氏黏度比, $\beta = \mu_g / \mu_w$ , $\mu_g$ 为浆液的黏度(30~50 s),该工程取40 s, $\mu_w$ 为纯水的黏度,取26 s,则 $\beta = 1.54$ ;  $h_1$ 为



注浆压力,根据管顶覆盖土层的厚度计算或试验确定,宜为0.1~0.3 MPa,砂卵石层宜控制在0.1~0.2 MPa,计算理论注浆压力宜比地下水压力高0.02 MPa,地下水压力 $H$ 为0.14 MPa,则理论注浆压力 $h_1$ 取0.16 MPa; $t$ 为注浆时间,常规柱塞泵理论注浆量为60 L/min,本工程取50 L/min,则 $t=2\ 604$  s; $n$ 为孔隙率,查勘察报告取0.35; $K$ 为渗透系数,根据勘察报告,取 $1.05\times 10^{-3}$  cm/s。

将各参数代入,得到 $r_1=166$  cm,则有效渗透距离为74 cm,并行顶管净距 $d_1$ 应在1.48 m以上。

### ③ 并行顶管间距确认

根据式(1)、(2)可计算出机头扰动宽度及触变泥浆有效渗透半径,但是注浆量和扩散半径实际很难估算准确,设计阶段综合考虑水管破坏时压力水释放的影响,设置1~2 m的安全距离。该工程并行顶管净距 $d_1$ 取3.00 m。

### 2.2.3 并行顶管机头前后纵距

由于止水帘板与顶管机或管道之间会存在一些渗漏,所以触变泥浆可在顶进30~50 m后压注。为确保第二条管道顶进时不会形成泥浆渗透通道造成漏浆,前后顶管机头错位纵距按30~50 m设置。

### 2.2.4 触变泥浆补浆与置换

长距离顶管施工工期长,泥浆失水后会影响到触变泥浆性能,导致顶力增大,因此相隔2~5管节应设置补浆孔,根据顶进情况及时补浆。此外,完成顶管后,应及时进行泥浆置换,采用水泥浆对管道周围因超挖出现的空隙进行注浆加固,防止地面和管道出现沉降。注浆管一般采用带内丝的DG25镀锌钢管,注浆结束后用给水DG25闷头将其封堵。

## 2.3 实际顶进效果

施工按设计采用工作井内两根DN1 800钢管同时顶进的施工工艺,单根顶管长650 m,井深16 m,两根管中心相距4.8 m(净距3 m),沿顶进中心线方向对称分布,顶管机头前后错开30 m交替顶进。该工程利用其中一根钢管焊接加长的间隙顶进另一根钢管,双管同步推进速度可达20 m/d。

## 3 管道附属工艺设计

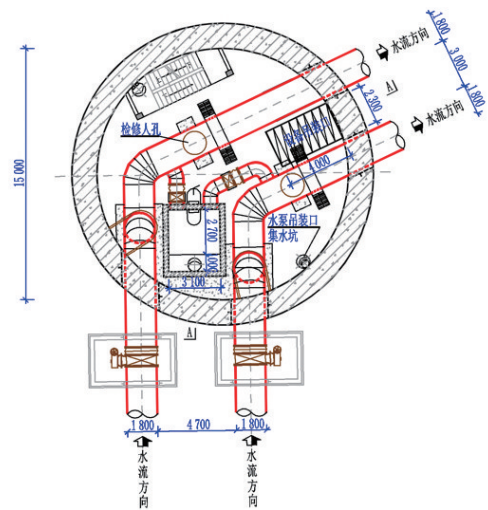
### 3.1 附属工程设计

#### 3.1.1 顶管井兼功能井设计

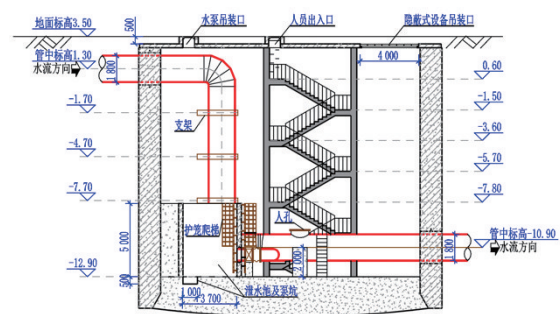
根据系统布局,工作井顶管作业完成后运营期井内拟设置泄水检修设施,因此顶管工作井尺寸需要根据施工期顶管机械布置和运营期设备安装要

求取大值,井径按15 m考虑。顶管作业完成后井体顶部需拆除1.5~2 m,加盖板后进行绿化。顶板采用现浇固定板与预制活动盖板相结合的方式,顶部设置吊装口、井筒、井盖。

运营期顶管井内主要设置排泥阀、检查口、集水(泄水)井,双管共用泄水池(见图3)。管道泄水检修时需同时关闭两岸4#、5#或8#、9#阀门,再打开泄水阀进行排水。因涉及深井排水,综合管道泄水时间和便携式移动泵的尺寸规格,采用DN200泄水阀。初始泄水阀采用小开度进行泄压,当竖管水位降至集水池顶部以下1 m后泄水阀全开。因管道泄水检修次数少,拟采用移动泵临时抽排至前山河。



a. 平面布置



b. A-A剖面

图3 顶管工作井兼排泥井设计大样图

Fig.3 Detail drawing of pipe jacking working well and mud discharging well

当DN200泄水阀全开时,可用管嘴出流公式 $Q_0=\mu A\sqrt{2gh}$ 估算泄流瞬时流量,其中 $Q_0$ 为初始流量, $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $\mu$ 为流量系数; $g$ 为重力加速度, $9.81\text{ m/s}^2$ ;  $h$ 为竖管初始水深, $\text{m}$ ;  $A$ 为泄水管面积, $\text{m}^2$ 。

初始泄压时,两侧竖管水位较高,作用水头12.30 m,此时瞬时流量可达 $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ;当水位放至水平半管时,作用水头为0.80 m,泄水流量减少至 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,流量变化范围为 $0.1 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。将排水流量控制在 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,对于移动泵来说比较容易操作,拟设2台移动泵,单泵流量 $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ ,扬程200 kPa,功率为18.5 kW,质量380 kg。泄水控制分两阶段进行:①变水头恒定流出水阶段,2台泵全开,泄水时间为两侧竖管水量加水平半管水量之和除以恒定泄水流量 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,泄水时间为 $T=V/Q_0=2.6 \text{ h}$ ;②变水头非恒定流出水阶段,仅开其中一台水泵,泄水时间可按 $T=2V/Q_0$ 来估算,约为4.6 h,其中, $V$ 为管道内剩余半管水的体积, $\text{m}^3$ 。总泄水时间合计约7.2 h,在合理可控范围内。

因初始泄压流量较大,操作不易控制,集水池总容积按最大流量( $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ )时2 min充满水池考虑,平面尺寸为 $3.1 \text{ m} \times 3.7 \text{ m}$ ,则水深为4.2 m,考虑80 cm超高,集水池深度取5 m;管中以下水位需考虑小流量( $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ )4 min抽干来确定集水池底部深度,泄口水口以下取1.1 m。

顶管接收井兼阀门井设计大样见图4。

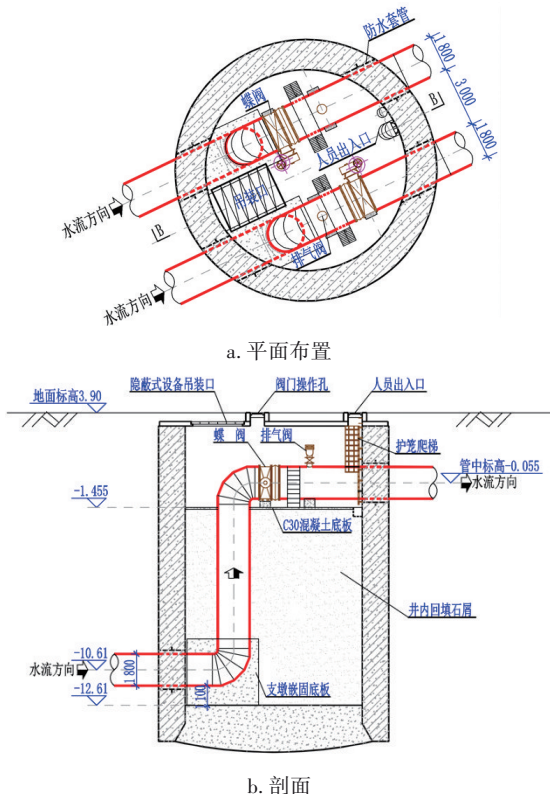


图4 顶管接收井兼阀门井设计大样图

Fig.4 Detail of pipe jacking receiver and valve well

接收井尺寸相对较小,井径大小主要满足顶管施工需要即可,内径按10 m取值。

为充分利用现有结构,井内考虑设置蝶阀、排气阀等设施,顶管井底部回填石屑压实后施作C30钢筋混凝土底板。

### 3.1.2 大口径管道排气阀井优化设计

大口径给水管覆土厚度需综合考虑多种因素确定,包括管道类型、直径、土壤条件以及埋设位置等。一般来说,为确保给水管道的正常使用寿命,并充分利用土体摩擦及应力分散体系,大口径球墨铸铁管地表覆土深度一般在1.5 m以上,也便于后期其他交叉管道穿越浅层地表空间,这就导致相关的阀井埋深大,且不利于检修维护。而对于大口径管道的排气阀井,不需将管道本体包络进去,工程考虑设置伸顶式排气阀井(见图5),若覆土深度不足则考虑设置排气联络管,将排气阀引设到绿化带内(见图6)。

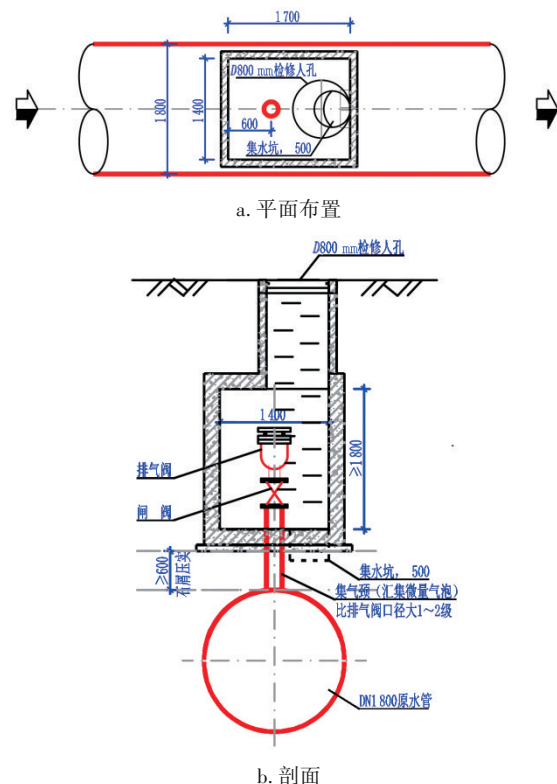


图5 浅埋型排气阀大样图

Fig.5 Detail drawing of shallow buried exhaust valve

大口径管道排气阀建议增设集气颈,可以聚集微量且没有及时排尽的气体,以避免占据管道空间,也可在一定程度上抑制段塞流。

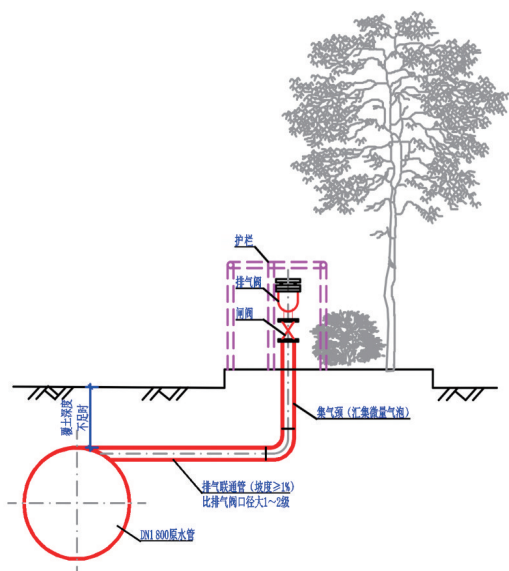


图6 排气阀大样图

Fig.6 Detail drawing of exhaust valve

### 3.2 顶管井压沉法设计

#### ① 顶管井施工工艺选择

顶管井常用施工工艺包括钢板桩、逆作井或SMW工法桩支护、沉井或地连墙、钻孔桩,对于埋设深度大、地下水位高、场地狭小且有重要建(构)筑物需要保护的情况,常采用沉井或地连墙、钻孔桩施工。因顶管工作井紧邻港珠澳大桥连接线特大桥的桥墩(离桥面投影最小净距仅8.50 m),环境保护要求极高,需考虑采用稳妥可靠的施工工艺,而钻孔桩和地连墙建设费用较高,经综合考虑采用不排水沉井法施工。为实现快速稳健下沉、克服不排水下沉造成的下沉系数不足,并避免因下沉困难导致的井体倾斜与突沉等问题,设计确定采用压入式沉井法。

#### ② 压入式沉井工艺设计

设计工作井直径为15.00 m,壁厚1.30 m,总深度20.10 m;沉井外围采用咬合的双排水泥土搅拌桩D800@600作为止水帷幕,水泥土搅拌桩长为24.00 m。接收井直径为10.00 m,壁厚1.00 m,总深度19.81 m;沉井外围采用咬合的双排水泥土搅拌桩D800@600作为止水帷幕,水泥土搅拌桩长为28.00 m。规范要求桥梁保护范围内施工应采用非挤土桩,同时避免桥梁侧土体滑移,设计考虑局部设置D800 mm钻孔灌注桩对桥墩进行隔离保护,钻孔灌注桩长24.00 m,桩间距0.80 m。

压入式沉井法考虑在顶管井井体周围打入4根

反力抗拔桩(D1.2 m 钻孔桩),同时在沉井顶部对称布置2根钢梁,利用穿心千斤顶和钢绞线给井体施加外力助沉,见图7。施工时先加压,再取土,通过提前预加的外力实现井体下沉姿态的调整。下沉速度先快后慢,下沉速度可达3 m/d,当达到指定深度后进行水下混凝土封底。此种方法既利用了沉井的优点,又克服了常规沉井的缺点,适用范围更为广泛。

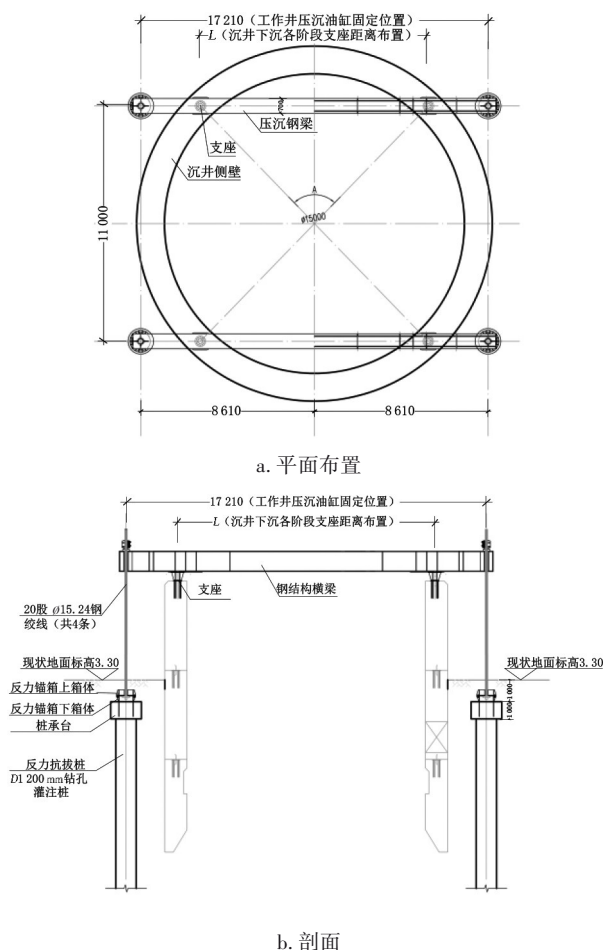


图7 顶管工作井压沉法示意

Fig.7 Diagram of pipe jacking work well sinking method

### 3.3 大口径管道冲洗设计

#### 3.3.1 施工期原水系统调度

从竹仙洞水库供往澳门青洲水厂共3条原水管,包括沿石角咀水闸敷设的对澳第一、第二条DN1000原水管,以及沿昌盛桥敷设的对澳第三条DN1600原水管。3条原水管进澳门前在跨境工业区界合并为2根管,一根为DN1400,另一根为DN1600。因此,外围有条件进行逐根短时停水碰口。碰口时为满足管道过流能力,消减因局部断管造成的阻力



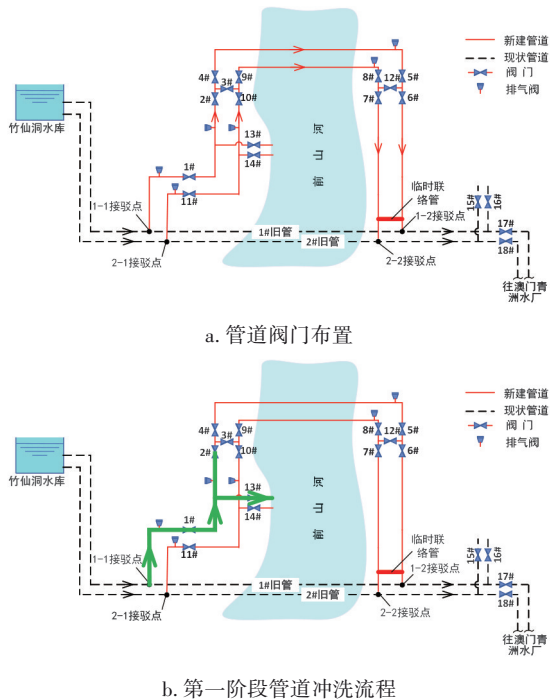
增加,需将竹仙洞水库水位保持在汛限水位 20.50 m 左右运行;同时,将邻近南屏水库水位调至 30.00 m,以便随时从南屏水库往竹仙洞水库调水补水。在正式断水接驳前,现场拟临时关闭其中一根管道,以测试供澳水量波动变化。

### 3.3.2 管道冲洗方案

管道碰口除了常规断接安装管道之外,还应开展相关喷砂除锈及防腐、冲洗消毒、管道试压等工作。冲洗消毒部分涉及管段的水量损耗,具体包含接驳时排空管内存的损失水量;接驳完成后,冲洗停水范围内管道的耗水量;预冲洗新装管道的耗水量;消毒浸泡新装管道的耗水量;正式冲洗新装管道的耗水量。对于大口径供水管道清洗,除常规的消毒浸泡之外,常用的冲洗方式包括高压水冲洗法和机械冲洗法。前者需要大量水源对管道进行反复冲洗,可以高效清除大部分污垢,不需要人员进入管道,安全性高;后者则需要人员进入管道采用高压水枪直接冲洗管壁,耗时耗力,且冲洗管道不宜太长。

水源调度冲洗方案示意图 8。

该迁改段共设置 2 处地表冲洗阀及 1 处过河段泄空阀[见图 8(a)],冲洗水可排入前山河。因管道口径及埋深均较大、距离长,人员进入管道若采用机械冲洗法冲洗,需要配套通风及高压水输送管,实施难度大、周期长,故拟采用高压水冲洗法。



c. 第二阶段管道冲洗流程

d. 第三阶段管道冲洗流程

图 8 水源调度冲洗方案示意

Fig.8 Schematic diagram of water resource dispatching and flushing scheme

根据《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008),高压水冲洗法第一次冲洗应用清洁水冲洗至出水口水样浊度 $<3$  NTU 为止,冲洗流速应大于  $1.0$  m/s。鉴于周边无合适的市政水源冲洗,拟充分利用竹仙洞水库与迁改场址地势差,用水库水进行管道冲洗。拟建管道为原水管,因此取水口水样浊度以不高于水库正常运行的平均浊度 20 NTU 为宜。

根据工程布局,将第一、二原水管分 3 阶段对新建管段进行冲洗:

① 第一阶段管道冲洗流程[见图 8(b),绿色加粗管段]:1-1 接驳点完成接驳→关闭 2#阀、开启上游 1#旧管阀门注水排气→注满水后开启 13#排泥阀进行冲洗。

② 第二阶段管道冲洗流程[见图 8(c),红色加粗管段]:用短管临时连通下游侧两根新管形成回路→关闭 3#、11#、12#及 13#阀,开启 2#阀注水排气,注满水后开启 14#排泥阀进行冲洗,冲洗完成后拆除短管。

③ 第三阶段管道冲洗流程[见图 8(d),蓝色加粗管段]:完成 2-1 接驳点接驳后,关闭 10#阀,开启上游 2#旧管阀门注水排气,最后开启 14#排泥阀

进行冲洗。

### 3.3.3 管道碰口程序

管道冲洗合格并网的依据是出水采样点的原水浊度不高于水库水平均浊度。为避免并网时水质波动对下游水厂处理环节造成影响,首先将1#旧管停水,完成1-1接驳点接驳;其次进行第一、二阶段冲洗;接着完成1-2接驳点接驳,最后1#新管与旧管连通,利用下游16#泄水阀进行冲洗泄水,取样合格后关闭16#泄水阀并网进行试运行。

1#新管正常运行3 d后,2#旧管停水。首先完成2-1、2-2接驳点接驳,进行第三阶段冲洗;然后将2#新管与旧管连通,利用下游15#泄水阀进行冲洗泄水,取样合格后关闭15#泄水阀并网运行。

2021年10月28日,新旧供水管连接成功后,珠海澳两地水司立即按设计程序对管道进行消毒冲洗,并对水质进行检测,实际浊度变化范围为10.6~85.8 NTU,当浊度低于20 NTU时进行了并网运行,保障了供澳原水安全。

## 4 结语

以某对澳供水管迁改专项工程为例,分析了有限空间下大口径平行顶管与附属工程设计要点,并在实践中得到了检验。该工程目前已稳定运行2年多,相关设计经验可供类似工程参考:

① 采用双管并行交错同步顶管施工工艺,顶管机头前后错开30 m交替顶进,同步推进速度可达20 m/d,节省约1个月工期。平行顶管管间距的确定需根据机头扰动宽度及触变泥浆有效渗透半径,加上管道破坏时压力水释放的影响进行综合考虑,DN1 800钢管平行顶管净距按3 m,经理论和实践检验合理可行。

② 在附属构筑物优化设计方面,DN1 800钢管并行顶管井尺寸根据施工期顶管机械布置和运营期设备安装要求取大值,工作井内径取15 m,接收井内径取10 m。顶管作业完成后,通过合理布局可充分利用既有构筑物空间实现用地集约化,其中深井排水的泄水管和集水池的设置不同于常规排泥管有兼顾管道冲洗的要求,此处仅考虑管道排空

需求即可,且需先泄压后排空;泄水管和集水池的规格,综合考虑管道泄水时间和便携式移动泵的尺寸规格,需采用小口径的DN200排泥阀。此外,伸顶式排气阀的优化设置更有利于检修维护,设置的集气颈部对弥合水锤的发生具有缓冲作用,单座井体土建费用可节省投资约35%。

③ 在施工工法方面,采用压入式沉井法施工,在井体四周设置反力抗拔桩,通过提前预加的外力可以实现井体快速下沉及姿态的调整,在减少用地的同时有效控制了地面沉降。下沉速度先快后慢,可达3 m/d。

④ 通过泄水阀的合理布局,最后经过有组织的冲洗碰口,可最大程度地减少大口径管道并网时对现状系统的影响。

## 参考文献:

- [1] 蒋曙杰. 逆作法施工在城市地下空间开发中的应用及发展前景述评[J]. 建筑施工, 2004, 26(4): 280-283.  
JIANG Shujie. Application and prospective review on reserved construction method for urban underground space development [J]. Building Construction, 2004, 26(4): 280-283(in Chinese).
- [2] 李进. 双排顶管工程穿越京杭运河应考虑的因素[J]. 中国给水排水, 2011, 27(14): 105-108.  
LI Jin. Factors needing consideration for Beijing-Hangzhou Grand Canal crossing project with double row pipe jacking [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(14): 105-108(in Chinese).

**作者简介:**杨国洪(1988—),男,四川成都人,硕士,高级工程师、注册咨询工程师(投资)、注册公用设备工程师(给排水)、注册环保工程师,主要从事市政给排水、厂站、防洪、河道治理、海绵城市、电力隧道、地下综合管廊等规划咨询设计工作。

**E-mail:**245593075@qq.com

**收稿日期:**2024-04-22

**修回日期:**2024-06-29

(编辑:衣春敏)