

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.20.014

# 砂砾质海岸带小管径重力流取水工程设计

胡纯国<sup>1</sup>, 王可为<sup>2</sup>

(1. 大连港口设计研究院有限公司, 辽宁 大连 116006; 2. 大连市建筑设计研究院有限公司, 辽宁 大连 116021)

**摘要:** 某滨海旅游度假区海洋馆海水取水工程,设计取水量400 m<sup>3</sup>/h,位于砂砾质海岸带,极易受泥沙淤积及污损生物生长等不利环境影响。针对防海水冲击、防泥沙淤积及防污损生物等目标,对取水口、重力自流管及陆域泵房进行设计分析。取水口采用大直径钢管桩结构以降低海水冲击影响,并辅以羊角状管道入口及牺牲阳极防腐措施;重力自流管选用聚乙烯材质及合适的管径以减少污损生物影响,并采用多种敷设方式缓解泥沙淤积及空气影响;陆域泵房设置反冲洗功能,并与杀生措施配合使用,以防止管道堵塞。最终形成适应砂砾质海岸带的取水工程设计方案。

**关键词:** 海水取水工程; 砂砾质海岸带; 污损生物

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)20-0080-05

## Design of Small Diameter Gravity Flow Water Intake Project in Sandy and Gravel Coastal Zone

HU Chun-guo<sup>1</sup>, WANG Ke-wei<sup>2</sup>

(1. Dalian Port Design & Research Institute Co. Ltd., Dalian 116006, China; 2. Dalian Institute of Architectural Design & Research Co. Ltd., Dalian 116021, China)

**Abstract:** The design flow of an oceanarium seawater intake project in a coastal tourism resort is 400 m<sup>3</sup>/h. However, the project is located in a sandy and gravel coastal zone, which is easily affected by adverse environmental impacts such as silt deposition and fouling organism growth. To prevent seawater impact, silt deposition and fouling organism growth, the design of water intake, gravity self-flowing pipe and land pumping station was analyzed. The water intake adopted a large diameter steel pipe pile structure accompanied by measures such as horn-shaped pipe inlet and sacrificial anode anti-corrosion to reduce seawater impact. The gravity self-flowing pipe was made of polyethylene with a suitable pipe diameter to reduce the impact of fouling organisms, and multiple laying methods were adopted to alleviate the impacts of silt deposition and gas gathering. The land pumping station was equipped with backwash function which was operated in conjunction with sterilization measures to prevent pipeline blockage. Finally, the paper put forward an overall design scheme of water intake project adapted to the sandy and gravel coastal zone.

**Key words:** seawater intake project; sandy and gravel coastal zone; fouling organisms

海洋馆海水取水工程,因其取水量小、取水管径小、易堵塞,故多采用取水管较短的岸边式取水、

通信作者: 胡纯国 E-mail: huchunguo05@126.com

水泵吸水管直接取水或虹吸管取水等取水方式。有人<sup>[1]</sup>提出,对于取水流量在 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ 以下的独立海水淡化工程,宜采用取水能力较小但建设成本较低的沙滩井、大口井或潜水泵直接取水。需根据海岸带特征对取水构筑物型式进行合理选择。海岸类型与取水构筑物型式,存在一定的优化对应关系<sup>[2]</sup>,其中,砂砾质海岸适宜采用海底自流管渠取水构筑物或海滩井取水构筑物<sup>[2]</sup>。

某海洋馆海水取水工程地处旅游度假区,依据城市规划,禁止在海岸线附近建设构筑物,故本工程采用海底自流管渠取水构筑物。该工程位于砂砾质海岸带,取水流量约 $0.1\text{ m}^3/\text{s}$ 。受海洋环境及城市规划限制,采取小管径长距离重力自流管取水方式,取水口深入海域达 $1.7\text{ km}$ ,设计中面临海水冲击、泥沙淤积及污损生物生长等一系列问题。

## 1 项目背景

该海洋馆海水取水工程日取水量 $2\,000\text{ m}^3$ ,设计最大取水量 $400\text{ m}^3/\text{h}$ 。项目地处渤海湾辽东半岛某滨海旅游度假区,所在海域为不规则半日潮;沿海为砂砾质海岸带,近岸海床沉积物主要为细沙,离岸 $800\text{ m}$ 以外主要为粉质黏土;沉积物易进入重力自流管堵塞管道;冬季常年有海冰,厚度 $50\sim 80\text{ cm}$ 。

受城市规划限制,海岸边禁止建设取水构筑物,海域禁止构筑物露出海面。

## 2 取水工程设计

### 2.1 取水构筑物整体布置

取水构筑物整体布置见图1。

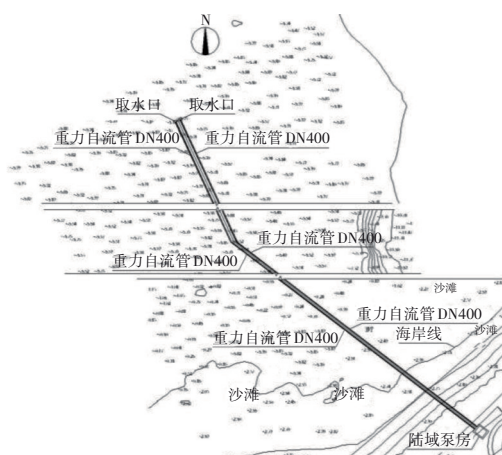


图1 取水构筑物整体布置

Fig.1 Overall layout of the water intake structure

依据海洋馆海水用水要求,该取水工程需保证全年可靠取水。该海域海水较浅,且海床平缓,为

获得足够的取水深度,重力自流管需深入海域 $1.7\text{ km}$ 。同时,为满足规划要求,陆域泵房建在距离海岸线约 $100\text{ m}$ 位置。

### 2.2 取水口设计

#### 2.2.1 外形设计

为适应主流多变的海洋环境,取水口采用外形为圆形的大直径钢管桩结构,直径 $2.5\text{ m}$ ,壁厚 $25\text{ mm}$ ;钢管桩贯入海床约 $6.5\text{ m}$ ,露出海床的部分作为取水口。

取水构筑物采用金属材质时,应采用有效防腐措施,并优先采用电化学防腐和涂层防腐配合使用<sup>[3]</sup>。大直径钢管桩需由打桩设备贯入海床,高频振动及海底泥沙摩擦不可避免地会破坏钢管桩表面防腐涂层。尽管 $25\text{ mm}$ 壁厚已充分考虑钢材海水腐蚀余量,但是为避免大直径钢管桩因局部腐蚀而影响结构稳定,本工程采用牺牲阳极防腐措施,并以锌合金阳极作为牺牲阳极材料。

圆形结构可承受各个方向的海水冲击。通过上述多种措施,确保大直径钢管桩结构取水口在设计年限内结构稳固且耐海水冲击。取水构筑物的取水头部宜分设两个或分成两格<sup>[4]</sup>;本工程设计两个独立的取水口。取水口设计见图2。

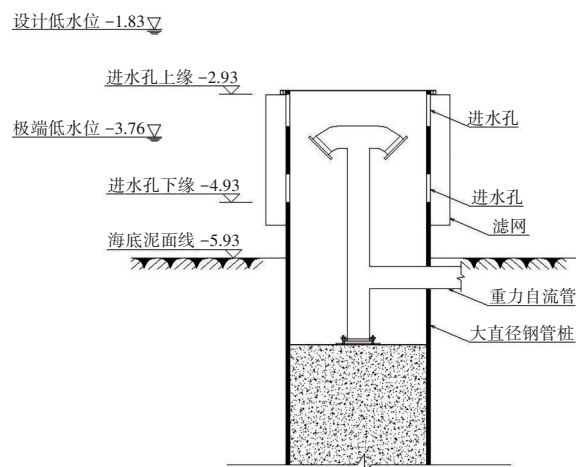


图2 取水口设计

Fig.2 Design of water intake

#### 2.2.2 进水孔设计

过栅流速 $\leq 0.15\text{ m/s}$ 且格栅空隙为 $0.5\sim 10\text{ mm}$ 时,生物撞击现象基本消除,可有效阻拦体型较小海洋生物进入取水头部<sup>[5]</sup>。考虑到运行期间污损生物附着影响,本取水口过栅流速取 $0.1\text{ m/s}$ ,格栅空隙取 $10\text{ mm}$ 。为确保上述过栅流速,同时不影响大

直径钢管桩结构强度,在大直径钢管桩顶部2 m范围内,均匀布置进水孔,且在进水孔外设置10 mm过滤网。进水孔及滤网布置见图2。

### 2.2.3 防泥沙设计

进水孔下缘距离底部高度,应按泥沙淤积和变迁情况确定,一般不宜小于1 m<sup>[4]</sup>,本工程取水口进水孔下缘与海床距离取1 m。依据85国家高程,该海域设计低水位高程为-1.83 m。为保证取水可靠性,并避免海冰影响,钢管桩顶部高程取-2.92 m,则进水孔上缘高程为-2.93 m,进水孔下缘高程为-4.93 m,海床高程为-5.93 m。取水口需布置在海床高程为-5.93 m左右的海域附近。该海域海床平缓,满足该海床深度的海域距离岸边约1.7 km。取水口高程见图2。

海水中的泥沙主要有三种运动状态,分别是推移质运动、悬移质运动和跃移质运动。为减少随海水进行悬移质或跃移质运动的泥沙在重力作用下进入重力自流管,重力自流管管口设计为羊角状,管口朝向海床。重力自流管入口比大直径钢管桩取水口进水孔下缘高出约1 m,比海床高出约2 m,可进一步减少推移质运动泥沙进入重力自流管。该海域极端低水位为-3.76 m,羊角状管口上缘高程定为-3.76 m,可充分保证该取水口的进水可靠性。重力自流管入口细节见图2。

## 2.3 重力自流管设计

### 2.3.1 管材选择

可供本工程选择的管材主要有钢管、钢筋混凝土管、钢丝网骨架管和聚乙烯塑料管。在海洋环境中,钢管最易受海水腐蚀,虽然有阴极保护等多种防腐办法,但施工难度较大且维护困难。上述四种管材中,钢管和钢筋混凝土管最易生长海洋污损生物;在重力自流管管径较小时,海洋污损生物的生长对管道取水能力影响较大,且难以清除。和钢管、钢筋混凝土管相比,钢丝网骨架管和聚乙烯塑料管均具有管道内壁光滑、不易生长污损生物的特点,但钢丝网骨架管由聚乙烯包裹钢丝网骨架而成,虽然强度较高,但施工中如有表面磨损或划痕,会导致金属骨架外露,则在海水腐蚀作用下,钢丝网骨架强度会迅速降低,甚至影响管道的取水功能。聚乙烯塑料管耐海水腐蚀,不需额外考虑防腐措施,且和钢管、钢筋混凝土管相比更不易生长海洋污损生物。故本工程重力自流管管材选择聚乙

烯塑料管(PE100)。

### 2.3.2 管径设计

本工程取水口所在海域海床为粉质黏土,部分泥沙不可避免地会随海水进入重力自流管,易在管道内淤积板结。管内不产生淤积的流速,一般不宜小于0.6 m/s<sup>[4]</sup>。长时间运行后,管道会生长海洋污损生物,管道的有效管径变小,粗糙系数变大。为降低海洋污损生物的影响,在满足管道设计流速不低于管道不淤流速的情况下,应选择较大的管道管径。

为避免管道堵塞后海洋馆无海水可用,本工程设计两根相同管径重力自流管,且每根管道均有独立的取水口;一根管道因事故停用后,另一根管道至少能满足70%最大设计取水量。

本工程设计流量400 m<sup>3</sup>/h,重力自流管管径定为DN400,正常运行时管道流速约0.6 m/s,事故状态下管道流速约0.8 m/s。

### 2.3.3 水力计算

重力自流管出口水位参数直接决定本取水工程的取水效果。鉴于海洋环境远比河流及湖泊环境复杂,本工程采用海澄-威廉公式进行水力计算。

工程设计流量400 m<sup>3</sup>/h,正常运行时,每根管道流量200 m<sup>3</sup>/h,流速约0.6 m/s,沿程及局部水头损失为1.53 m;事故状态时,剩余一根管道事故流量为360 m<sup>3</sup>/h,流速约0.8 m/s,沿程及局部水头损失为2.85 m;海水高程为设计低水位-1.83 m时,泵房内正常运行水位高程为-3.36 m,泵房内事故状态水位高程为-4.68 m。安全水头取0.5 m,本工程泵房内设计最低水位高程 $H=(-1.83)-2.85-0.5=-5.18$  m;泵房内设计最低水位高程取-5.20 m,泵房内重力自流管出口管中心高程取-5.20 m。

本工程对聚乙烯塑料管海洋污损生物生长情况做过调查。1 m同材质同管径聚乙烯塑料管,放在拟建工程海域120 d后,海洋单胞藻类可覆盖管道内外表面,使管道有效管径减少约2 cm,局部有效管径减少可达4 cm。

鉴于污损生物调查期间并无贝类出现,管道粗糙系数按0.015考虑。根据海洋污损生物生长使管道有效管径减少的情况,按照有效管径整体减少2 cm进行核算,每根管道设计流量为200 m<sup>3</sup>/h,沿程及局部水头损失为3.35 m。当海水高程为设计低水位-1.83 m时,泵房内海水高程为-5.18 m,重力自流



管能满足本工程设计流量要求;当有效管径整体减少4 cm时,重力自流管将不能满足设计流量要求。

#### 2.3.4 杀生处理

为确保本工程长期稳定运行,需进行污损生物防治。工程上推荐以化学法作为污损生物防治方法<sup>[6]</sup>。化学防污法依据药剂种类可分为氧化型杀生剂法和非氧化型杀生剂法。为达到杀生效果,氧化型杀生剂需连续、长时间投加,且易产生耐药性;非氧化型杀生剂,投加间隔长,可采用临时投加措施,不需设置固定加药设施<sup>[6]</sup>。当采用杀生剂进行污损生物防除时,宜采用环境友好型的非氧化型杀生剂<sup>[3]</sup>,故本工程采用非氧化型杀生剂,并根据本取水工程及海洋馆运行情况调整加药周期;非氧化型杀生剂通过临时加药设施由取水口加入,含杀生剂海水弃用,每次杀生完成后及时进行反冲洗,海水水质经检测合格后方能供海洋馆使用。

#### 2.3.5 管道敷设

从海域取水口到陆域泵房,管线全长1.7 km,海床整体平缓,但局部有洼地和高地。直接将管道敷设在海床表面,管道高程高低起伏;低处会淤积泥沙,高处会聚集空气,严重影响管道取水功能。受海域限制,管道沿线难以设置排气和排泥装置。

为避免上述问题的出现,本工程根据不同海况,对管道采取了不同的固定措施,确保管线从取水口到泵房呈上升趋势,以杜绝管线内集气的情况发生。管道最低点在取水口位置,即使有泥沙淤积,也比最低点在管线其他位置更容易通过反向冲洗疏通。

在1.7 km范围内,管道有三种敷设方式:低洼海域,在管道沿线设置钢管桩,间距6 m,将管道固定在钢管桩上(见图3);平缓海域,管道直接敷设在海床上,并用 $\pi$ 型压块固定(见图4);海域高地,需开挖基槽,管道通过定位配重块准确安装后,回填原开挖料(见图5)。

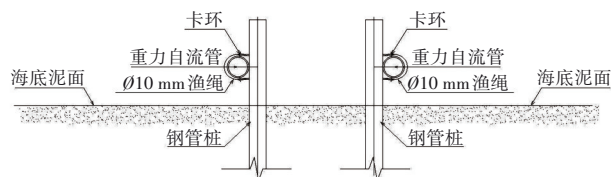


图3 低洼海域管道敷设示意

Fig.3 Schematic diagram of pipeline laying in low-lying sea area

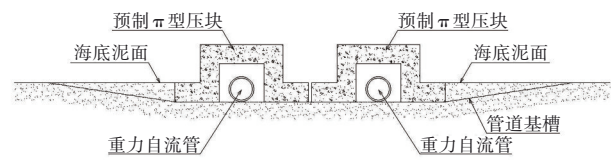


图4 平缓海域管道敷设示意

Fig.4 Schematic diagram of pipeline laying in gentle sea area

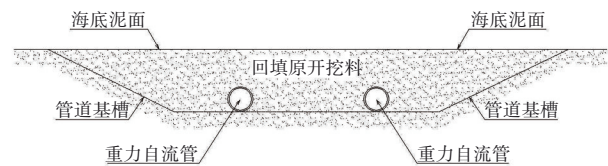


图5 海域高地管道敷设示意

Fig.5 Schematic diagram of pipeline laying in higher sea area

#### 2.4 陆域泵房设计

陆域泵房采用双相不锈钢水泵(2用1备),单台流量200 m<sup>3</sup>/h、扬程500 kPa、功率37 kW。泵房内海水经水泵提升输送至海洋馆。

泵房内工艺布置见图6。

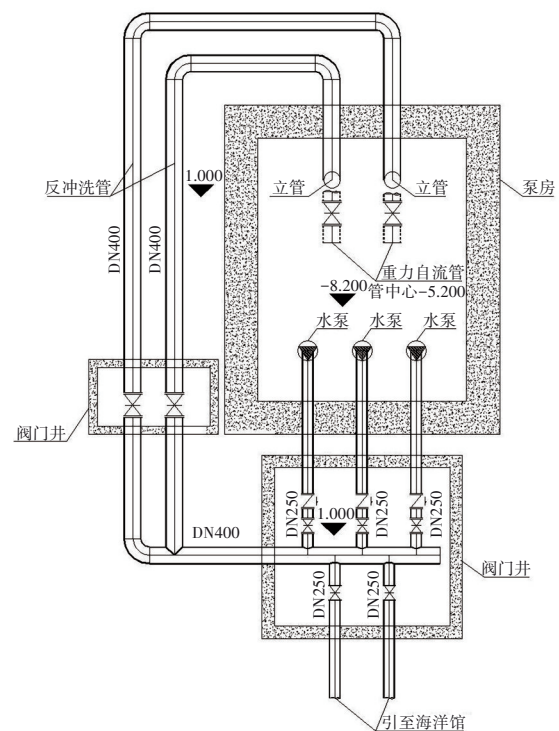


图6 泵房工艺布置

Fig.6 Layout of pumping station

为防止泥沙淤积及污损生物堵塞管道,泵房设置反冲洗功能。一根重力自流管长1.7 km,可容纳约200 m<sup>3</sup>海水。反冲洗时,同时开启3台水泵,向一

根重力自流管输水,另一根重力自流管可持续向泵房内进水,反冲洗流速2.3 m/s,一次冲洗时间约20 min,一次冲洗能将一根重力自流管内海水完全置换。为保证反冲洗用水量,陆域泵房海水有效容积为200 m<sup>3</sup>。正常运行时,海面水位和泵房水位高程差约1.53 m,当高程差扩大至2.85 m前,应进行反冲洗;当高程差扩大至3.35 m前,应进行杀生处理。反冲洗及杀生处理周期还应根据取水工程及海洋馆运维情况调整。

### 3 运行效果

目前本工程已完成施工,系统状态良好。通过上述多种设计措施,确保了小管径长距离重力自流管海水取水工程的持续、稳定、可靠运行。

### 4 结论

海水取水工程易受海水冲击、泥沙淤积及海洋污损生物生长影响,小管径长距离重力自流管海水取水工程尤其如此。本工程设计经验如下:

① 取水口采用大直径钢管桩结构,耐海水冲击;过栅流速取0.1 m/s,格栅空隙取10 mm,可有效减少大型海洋污损生物撞击及进入取水口概率;重力自流管入口设计成羊角状,可进一步减少泥沙进入;采用牺牲阳极防腐措施,可避免大直径钢管桩局部过快腐蚀。

② 重力自流管管材选用聚乙烯塑料管,可有效减少污损生物生长;在满足不淤流速要求前提下,选择较大管径DN400,以降低污损生物生长带来的有效管径变小的影响;在满足水力计算前提下,额外考虑0.5 m安全水头,抵消污损生物生长带来的部分水头损失;采用多种途径进行海域管道固定,避免管道聚集空气,并减小泥沙淤积影响。

③ 陆域泵房内,设置水泵反冲洗工艺,并考虑充足的反冲洗时间及必要的冲洗流速。

④ 采用非氧化型杀生剂进行杀生处理,与反冲洗相结合,解决污损生物堵塞管道问题。

### 参考文献:

- [1] 王印忠,李治洁,李雪,等.我国海水利用工程取水构筑物型式研究[J].工业用水与废水,2021,52(1):1-6.  
WANG Yinzhong, LI Zhijie, LI Xue, et al. Study on

types of intake structures of seawater utilization projects in China[J]. Industrial Water & Wastewater, 2021, 52(1):1-6(in Chinese).

- [2] 王印忠,丁建波,李雪,等.不同海岸类型中海水取水构筑物适用型式探讨[J].中国给水排水,2015,31(20):30-34.

WANG Yinzhong, DING Jianbo, LI Xue, et al. Discussion on applicability of seawater intake structures in different coastal zones [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(20): 30-34(in Chinese).

- [3] 全国海洋标准化技术委员会.海水循环冷却系统设计规范 第1部分:取水技术要求:HY/T 187.1—2015 [S].北京:中国标准出版社,2015.

National Technical Committee 283 on Ocean of Standardization Administration of China. Code for Design of Recirculating Cooling Seawater System—Part 1: Requirement of Intake Technology: HY/T 187.1-2015 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015 (in Chinese).

- [4] 住房和城乡建设部.室外给水设计标准:GB 50013—2018[S].北京:中国计划出版社,2019.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Design of Outdoor Water Supply Engineering: GB 50013-2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2019(in Chinese).

- [5] 王印忠,李雪,李明,等.海水取水头部设计要点[J].中国给水排水,2015,31(4):34-36.

WANG Yinzhong, LI Xue, LI Ming, et al. Design essentials of seawater intake head [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(4): 34-36(in Chinese).

- [6] 徐淑皎.海水取水系统海洋生物污损处理方案选择[J].净水技术,2016,35(4):121-125.

XU Shujiao. Selection of treatment processes for marine biofouling in sea water intake system [J]. Water Purification Technology, 2016, 35(4): 121-125 (in Chinese).

作者简介:胡纯国(1982—),男,湖北洪湖人,硕士,高级工程师,主要从事水运行业给排水工程设计工作。

E-mail:huchunguo05@126.com

收稿日期:2021-09-07

修回日期:2021-09-25

(编辑:孔红春)