



内河港口取水泵房工艺设计

刘荣花, 耿 卓

(山东省交通规划设计院集团有限公司, 山东 济南 250101)

摘要:结合某内河港口工程,对取水泵房工艺设计中的若干难点进行研究。为减少进水管泥沙淤积,在进水管流速取值问题上引入了泥沙不淤流速计算公式;针对现行的《室外给水设计标准》对位于码头前沿取水泵房设计高程规定不明确的问题,通过对比分析相关规范,给出确定原则。结果表明,在进水管较短、水利损失较小的前提下可参照泥沙不淤流速计算公式适当提高进水管流速;入口地坪处设计高水位可在不低于港口防洪水位的基础上,结合泵站分级综合确定;浪高可参照基本不越浪的直立堤堤顶高程确定。

关键词:内河港口;取水构筑物;设计高程;设计流速

中图分类号: U 653. 99

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)08-0064-05

Technological design of water intake pump house at inland river port

LIU Rong-hua, GENG Zhuo

(Shandong Provincial Communications Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: By investigating a certain inland river port project, this paper studies several difficulties in the technological design of water intake pump houses. To reduce the sediment deposition in the inlet pipe, this paper adopts the calculation formula for the non-deposition flow velocity of sediment to determine the flow velocity in the inlet pipe. Considering that the current *Standard for Design of Outdoor Water Supply Engineering* fails to specify the design elevation of a water intake pump house located at the front of a wharf, this study carries out a comparative analysis of the relevant codes and presents a determination principle. The results show that when the inlet pipe is short and the hydraulic loss is small, the personnel concerned can increase the flow velocity in the inlet pipe to a proper extent according to the calculation formula for the non-deposition flow velocity of sediment. They can determine the design high water level at the entrance floor comprehensively in accordance with the classification of the pumping station on the premise that it is not lower than the flood control level of the port. They can also obtain wave height by referring to the top elevation of vertical breakwaters rarely subject to overtopping.

Keywords: inland river port; water intake structure; design elevation; design flow velocity

内河港口的建设位置大多远离城镇,港口用水接市政管网比较困难;同时大型内河港口的生产用水量也比较大,若全部使用市政水,成本较高。内河港口的天然水源丰富,港口生产用水困难的问题可通过取河(湖)水解决。目

前关于港口取水的研究多为取水口和码头一体化布置所产生的问题研究,如徐甜等^[1]提出一种适用于高桩码头的取水口与码头一体化布置的方案;孟祥玮等^[2]通过设计制作物理模型,认为设计船型在码头前沿停靠时对电厂取水口

的影响不大, 而电厂取水对船舶靠离泊的影响随着水位加剧。上述研究的取水口一般为电厂冷却水泵房的取水口, 取水量较大, 进水管涵较长, 泵房主体多建于码头后方区域, 远离码头前沿。而对于位于码头前沿附近, 为港口生产用水服务的取水泵房的工艺研究较少, 同时现行《室外给水设计标准》^[3]对此类型泵房设计中相关参数的取值规定也不明确。本文结合某内河港口, 详细介绍内河港口取水泵房的工艺设计, 并对其布置形式、水泵选型、进水管流速和设计高程等若干问题进行研究, 给出相应的解决方案。

1 工程概况

某内河码头新建 8 个 1 000 吨级泊位及相应配套设施, 码头岸线总长度为 634 m。为满足生产用

水和消防用水的需要, 本工程需要新建 1 座取水构筑物, 最大取水量为 480 m³/h。

2 取水构筑物和水泵的选型

固定式取水构筑物一般主要分为岸边式和河床式。本工程若采用岸边式取水构筑物, 则需要建设在码头前沿, 会占用一部分岸线, 造成岸线资源的浪费, 因此本工程采用河床式取水构筑物。取水构筑物应在不影响港区作业的前提下, 尽量靠近主流以保证取水的安全可靠, 本工程河床式取水泵房设置在距离码头前沿线约 30 m 处。

根据工程特点, 确定 2 种水泵选型方案进行比较。方案 1 的生产用水泵采用潜水深井泵, 消防水泵采用轴流深井泵; 方案 2 的生产用水泵和消防水泵均选用离心泵。

表 1 水泵选型方案对比

方案	工艺特点	占地面积	施工难度	检修维护	经济比较
1	生产用水泵采用潜水深井泵, 工作在水体中, 对电机性能要求较高, 造价较轴流深井泵低; 消防水泵采用轴流深井泵, 电机干式安装, 满足消防要求, 造价较离心水泵高	泵房内水泵可直接从集水间吸水, 集水间和泵房可以合建, 占地面积小	泵房采用沉井施工; 水泵直接从集水间吸水, 可满足规范对于消防水泵吸水的要求, 泵房室内设计高程低, 泵房开挖深度小; 同时因为泵房占地面积小, 因此施工难度小	生产用水泵主体安装在水中, 检修维护比较困难。生产用水泵房可作为集水间和进水间清淤排空泵	总体造价较低
2	泵房间均为干式泵房, 泵组均采用离心泵组, 工艺成熟可靠	为满足泵房内离心水泵的吸水要求, 需要分别建设集水间和泵房, 占地面积大	泵房采用沉井施工; 为满足消防水泵自灌式吸水要求, 泵房室内底层设计高程需要在设计低水位以下, 开挖深度大; 同时因为泵房占地面积大, 因此施工难度大	水泵干式安装, 检修维护比较容易。集水间和进水间清淤排空需要配备移动泵	总体造价较高

通过 2 个方案的比较, 方案 1 的取水泵房占地面积小、施工难度低、总体造价低, 但是生产用水泵检修比较困难。考虑到港口特点, 在尽量减少用地和节省造价的前提下满足港口用水要求, 推荐方案 1 为水泵选型的设计方案。

3 取水构筑物工艺设计

3.1 取水构筑物布置形式

河床式取水构筑物由取水头部、进水管、进水间、集水间和泵房组成。由于取水构筑物中水泵选型采用方案 1, 即集水间与泵房合建。

本工程水泵为轴流深井泵和潜水深井泵, 水泵叶轮直接位于集水间内, 进水间和集水间进水通道的作用相当于离心泵的吸水管, 因此为保持进水通道良好的流态, 在本工程中进水间和集水间均采用正向进水, 进水间和集水间相邻平行布置, 单格进水间和进水管在同一条中心线上。运行情况表明进水间和集水间水流流畅、流速均匀, 即使在最低运行水位时(此时轴流深井泵第一个叶轮淹没深度仅 1 m), 水流也比较平稳, 无回流和漩涡现象。取水构筑物布置形式见图 1。

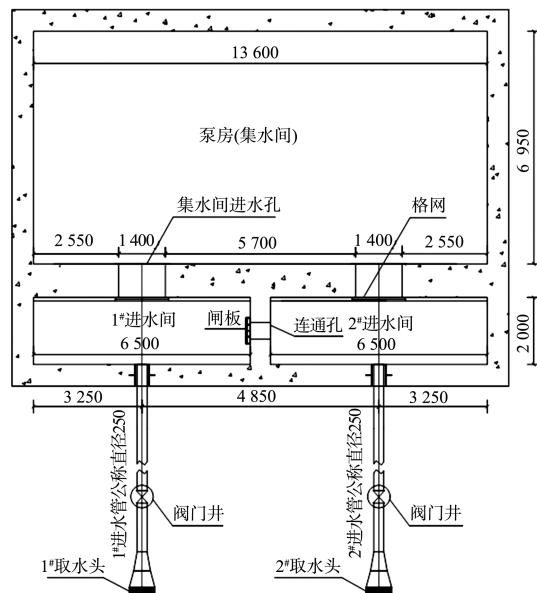


图 1 取水构筑物底层平面布置 (单位: mm)

3.2 进水管设计

根据工程特点,取水泵房进水管选用自流管,水平敷设。根据《室外给水设计标准》,进水自流管的设计流速不宜小于 0.6 m/s。但《室外给水设计标准》规定的设计流速的取值范围较大,设计人员在执行时有较大的主观性,对于不同工况下的取值也没有针对性。本工程进水管内的水为原水,若流速和管径设计不当,很容易造成进水管泥沙淤积和堵塞,因此本文引入进水管设计流速应不低于泥沙不淤流速的理念。

泥沙颗粒的启动不淤流速可参照其止动流速,公式为:

$$v_h = 0.71 \left(\frac{h}{d} \right)^{0.14} \left(29d + 6.05 \times 10^{-7} \frac{10+h}{d^{0.72}} \right)^{0.5} \quad (1)$$

式中: v_h 为泥沙颗粒的止动流速 (m/s); h 为水深 (m); d 为泥沙粒径 (m)。

水体含沙量随水深基本呈指数关系变化,悬移质中粗粒泥沙含沙量和粒径近水底较大,自水底向上急剧减小,较小的颗粒如粉砂和黏土,含量沿水深的分布较均匀^[4]。因此根据式(1)可知,在满足淹没深度和码头船舶靠泊作业要求的前提下,为避免进水管流速过大,取水口尽量靠近水

面。根据《室外给水设计标准》,取水口应在水体底部以上 1.0 m 和最低设计水位以下 1.0 m。本工程取水口位于工作船泊位处,还应考虑工作船吃水的影响,因此取水头部进水孔上缘设计高程为 37.3 m,距离设计最低水位(39.3 m,累积频率 98%)下深度为 2 m。

根据距离最近的水文站监测资料显示,本工程湖区泥沙来源主要为黄河滞洪时所带的泥沙和上游河道下泻的河沙。黄河滞洪时所带的泥沙多为悬移质,推移质很少,中值粒径 0.025 mm 左右,总体粒径较小,且沿水深分布较均匀。上游河道下泻的河沙多为沙粒、砾石和少量的小卵石,粒径在 0.1~50 mm,且粒径随水深变化幅度大。因此本文主要考虑上游河道下泻的河沙对进水管不淤流速的影响。

取水头部格栅的栅条净距为 30 mm,仅考虑粒径在 0.1~30 mm 的泥沙。当 $d = 0.1$ mm 时, $v_h \geq 0.40$ m/s; 当 $d = 30$ mm 时, $v_h \geq 1.30$ m/s。进水管较短(30 m)、流速为 1.3 m/s 时,水力损失仅为 0.25 m,对于集水间和泵房的深度影响很小,符合经济流速的要求。取水泵房选取 2 根公称直径 250 mm 进水自流管,每根进水管流速为 1.34 m/s;当其中一条管道停止工作时,另一条管道能够通过所需取水量,流速为 2.68 m/s。

3.3 取水泵房高程及运行水位设计

3.3.1 泵房进口地坪的设计高程

《室外给水设计标准》对河床式取水泵房进口地坪的设计高程没有规定。但是由于本工程取水泵房前墙距离码头前沿最近处只有 30 m,容易受到洪水和波浪的影响。取水泵房兼顾消防供水和生产供水双重任务,属于港区重要建筑物,其 0.00 m 层应该满足不被洪水和波浪淹没的要求。当取水泵房距离码头前沿线较近时,其进口地坪设计高程可参照《室外给水设计标准》对岸边式取水泵房的规定设计,即“泵房在湖泊、水库或海边时,应为设计最高水位加

浪高再加 0.5 m”。

本工程最高设计水位的取值按照《室外给水设计标准》相关要求“江河、湖泊取水构筑物的防洪标准不应低于城市防洪标准”，取所在湖区最高防洪蓄水位，即工程所在城市的防洪水位，为 44.8 m。若照此计算，泵房入口地坪的设计高程为 46.72 m，比周边陆域高程高 1.72 m，会造成泵房造价较高，且与周边环境不协调。通过仔細分析，《室外给水设计标准》提出的防洪标准旨在强调取水构筑物确保城市安全供水的重要性，适用于城市取水的大型泵站。而本工程泵房为工业泵房，为港区生产、消防用水服务，并不涉及所在城市供水，因此这一规定对于内河码头取水构筑物适应性较差。取水泵房的供水对象为内河港区，港区码头的防洪标准为 20 a，根据对《室外给水设计标准》的理解，取水泵房防洪标准应不低于其供水对象的防洪标准。《泵站设计规范》^[5]中根据泵站和泵站建筑物的不同等级，规定了不同的防洪标准，充分考虑了取水泵房规模和其供水对象重要程度的差异性。因此在防洪标准设计中，应首先满足取水泵房防洪标准不低于其所在港区的防洪标准，再根据《泵站设计规范》相关规定综合确定。根据《泵站设计规范》的规定，本工程取水泵房级别为 4 级，防洪标准设计重现期为 20 a，校核为 50 a，符合对《室外给水设计标准》规定防洪标准的理解。因此设计高水位为 20 a 重现期水位，校核水位为 50 a 重现期水位。

关于浪高的取值，《室外给水设计标准》并没有明确的规定。工程所在湖区水域开阔、风浪较大，波浪对工程的影响较大，浪高的取值是否合理关系到泵房是否安全以及工程量的大小。通过研究相关规范发现，取水泵房和直立式防波堤均

属于直墙式建筑物，均有不越浪的需求，在高程设计上有一定的相似性。本工程浪高的取值参考《防波堤与护岸设计规范》^[6]中关于对基本不越浪的直立堤堤顶高程的规定，即“对基本不越浪的直立堤，宜定在设计高水位以上不小于 1.0 倍设计波高值处”“直立防波堤的设计波浪重现期应采用 50 a”，确定其断面主尺度的设计波高累积频率应为 1%。根据多年风速资料，按《港口与航道水文规范》^[7]推算出工程所在湖面波浪重现期为 50 a，波高累积频率应为 1% 的值为 1.42 m。因此本工程浪高取 1.42 m。

综上，经计算本工程泵房入口地坪的设计高程应不小于 44.72 m。考虑到泵房周边陆域高程，本工程泵房 0.00 m 层入口地面的设计高程取 45.00 m。

3.3.2 泵房 0.00 m 层地面的设计高程

现行《室外给水设计标准》对于取水泵房 0.00 m 层地面的设计高程没有具体规定。参考《河港总体设计规范》^[8]对变电所的规定，即“设在防汛堤临水侧的变电所，其室内地坪高程应高于重现期 50 a 高水位 0.5 m”。本工程取水泵房的水泵均为电泵，用电来自变电所，若变电所遭受水淹，会影响到泵房的运行，且泵房前方无防汛堤保护，因此其室内 0.00 m 层地面的设计高程可参考这一规定。工程所在水域 50 a 一遇洪水位为 43.30 m，经计算，泵房内 0.00 m 层地面的设计高程应不小于 43.80 m。考虑到室内外高差，泵房内 0.00 m 层地面的设计高程取 45.30 m。

3.3.3 泵房设计运行水位

泵房设计运行水位也就是集水间的设计运行水位，需要考虑从取水头至集水间的水头损失。经计算，泵房设计运行低水位为 38.70 m；泵房设计运行高水位为 42.70 m，见图 2。

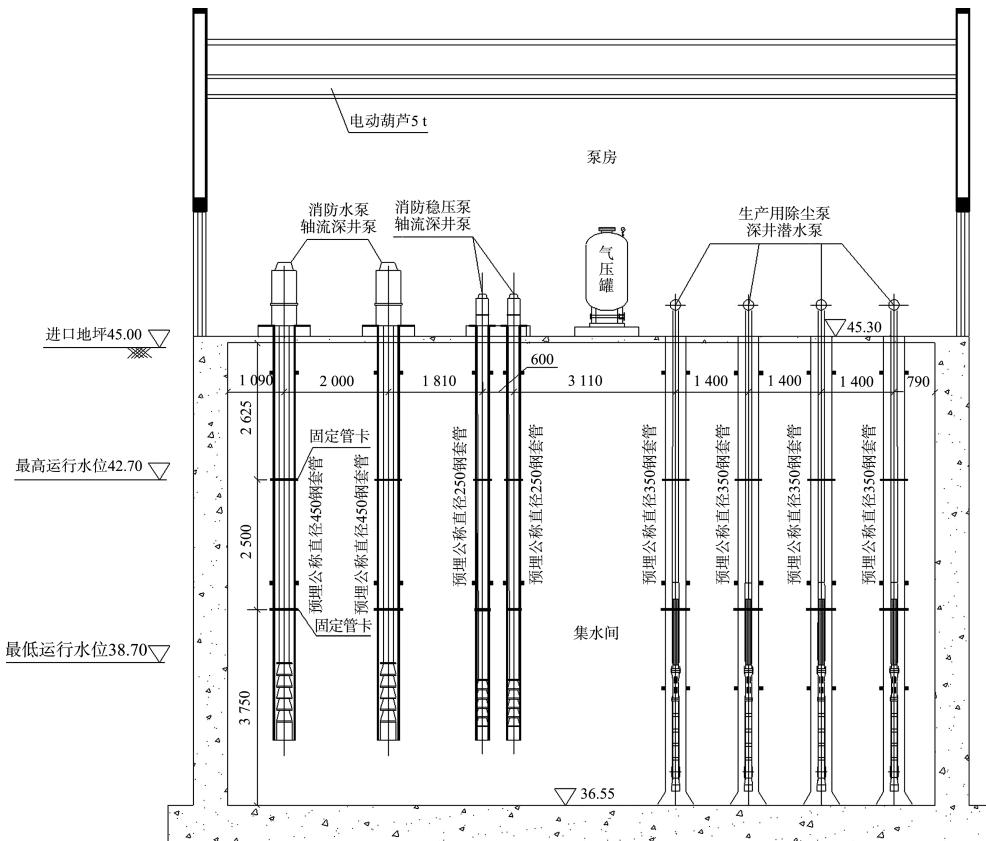


图 2 取水泵房工艺断面 (尺寸: mm; 高程: m)

3.4 冲洗和清淤

泵房运行的间歇性特点会导致在集水间和进水间底部形成泥沙淤积, 因此本工程设计了一套自动清淤系统。自生产水泵出水管处接 1 根公称直径 100 mm 的清淤管, 按回字形敷设在集水间和进水间底部, 沿管长度方向开设多个直径 20 mm 的小孔。在泵房底部设有 1 套水池泥沙淤泥厚度测量装置, 当泥沙淤积厚度大于清淤厚度时, 联锁开启生产用水泵排空进水间存水, 然后自动开启清淤管阀门, 对集水间和进水间底部泥沙进行清淤。

为避免进水管的泥沙淤积和堵塞, 本工程设置了进水管的冲洗系统。自生产水泵出水管处接 1 根公称直径 100 mm 的冲洗管至进水管处, 进水管需要单根清洗, 清洗时关闭进水管上的阀门, 开启 1 台生产用水泵和冲洗管阀门对进水管冲洗。

4 结语

1) 根据内河港口用水特点, 通过对比分析取

水构筑物和水泵选型方案, 认为河床式取水构筑物适用于港口取水; 潜水深井泵适用于泵房内生产用水泵、轴流深井泵适用于消防用水泵。

2) 为减少进水管泥沙淤积, 在进水管流速取值问题上引入泥沙不淤流速计算公式, 认为在进水管较短、水力损失较小的前提下可适当提高进水管流速。

3) 针对现行的《室外给水设计标准》对泵房设计高程规定不明确的问题, 通过研究对比相关规范, 认为内河港口取水泵房入口地坪处设计高程可在不低于港口防洪水位的基础上, 结合泵站分级综合确定; 浪高可参照基本不越浪的直立堤堤顶高程确定; 泵房 0.00 m 层设计高程可参照内河港口变电所室内高程设计要求确定。

参考文献:

- [1] 徐甜, 卢伟, 周侃. 国内某电厂配套码头工程设计[J]. 水运工程, 2018(3): 93-98. (下转第 171 页)