

# 海水淡化水经矿化调质后引入市政供水系统工程实例

陈景光<sup>1</sup>, 陆彬<sup>1</sup>, 卢彪<sup>1</sup>, 董玉帅<sup>2</sup>, 李世文<sup>2</sup>, 沙伟<sup>2</sup>, 周利<sup>3</sup>

(1. 上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092; 2. 青岛西海岸公用事业集团, 山东 青岛 266400; 3. 青岛理工大学环境与市政工程学院, 山东 青岛 266033)

**摘要:** 青岛市某海淡水调引工程设计规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。为保障输送管网及用户的水质安全,本工程将海水淡化水先进行矿化处理,再引入常规工艺水厂进行掺混后进入市政管网,出水水质优于生活饮用水水质标准。本工程在充分利用现状海水淡化水的水质条件和现有的工程设施条件的基础上,新建海水淡化水矿化站1座,矿化工艺采用“二氧化碳+矿化滤池”工艺,矿化滤池采用上向流池型。另外,本工程还对现状供水系统进行改造以引入海水淡化水,平衡了供水缺口,改善了供水品质,保障了供水安全。

**关键词:** 海水淡化水; 矿化调质; 矿化滤池; 掺混; 改善水质

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)06-0078-05

## A Project of Introducing Desalinated Water (after Mineralization) into Municipal Water Supply

CHEN Jing-guang<sup>1</sup>, LU Bin<sup>1</sup>, LU Biao<sup>1</sup>, DONG Yu-shuai<sup>2</sup>, LI Shi-wen<sup>2</sup>, SHA Wei<sup>2</sup>, ZHOU Li<sup>3</sup>

(1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China; 2. Qingdao West Coast Utility Group, Qingdao 266400, China; 3. School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, China)

**Abstract:** The design capacity of a desalinated water diversion project in Qingdao was  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . In order to ensure the safety of the network and the water quality, the desalinated water was firstly mineralized, then mixed with the conventional process water plant and entered the municipal network. The quality of effluent was better than the standard of drinking water quality. According to the current water quality conditions and existing engineering facilities of desalinated water, a new desalinated water mineralization station was built. The mineralization process adopted the process of “carbon dioxide + mineralized filter”, and the mineralized filter adopted upward flow type. In addition, the current water supply system was reformed to introduce seawater desalinated water, which balanced the water supply gap, improved the water supply quality, and ensured the security of water supply.

**Key words:** desalinated water; mineralization; mineralization filter; mixing; improving water quality

海水淡化即利用脱盐工艺生产淡化水,是实现水资源开源增量的技术,它可以增加淡水总量,且不受时空和气候的影响,目前海水淡化技术已逐渐成

为解决沿海城市水资源短缺问题的有效途径之一<sup>[1]</sup>。

青岛作为全国缺水城市之一,具有发展海水淡

化的地理优势,其海水淡化能力在国内一直处于领先水平<sup>[2]</sup>。青岛某区现有海水淡化水厂一座,制水规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,没有后矿化设施,没有输配水管道系统与市政公共供水系统连接。现有海水淡化水厂采用“超滤膜(UF) + 反渗透膜(RO)”双膜法工艺,其出水水质较高,基本不含矿物质。由于硬度、碱度低等特点,直接用于市政供水往往会造成配水管网中出现红水或者黄水现象<sup>[3-4]</sup>,并且长期饮用低碱度低硬度的淡化海水对人体健康存在一定风险<sup>[5]</sup>。

为保障用户的水质安全,本工程将海水淡化水先进行矿化处理,再引入常规工艺水厂掺混后进入市政管网。

表1 矿化调质进水(海水淡化水未矿化)水质检测结果

Tab.1 Test results of desalinated water (before mineralization) quality

项目	总碱度/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	甲基橙碱 度/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	碳酸盐碱度 (以 $1/2\text{CO}_3^{2-}$ 计)/( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	重碳酸盐 碱度(以 $\text{HCO}_3^{2-}$ 计)/ ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{SO}_4^{2-}/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{Cl}^-/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{F}^-/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{K}^+ /$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{Ca}^{2+} /$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{Na}^+ /$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{Mg}^{2+} /$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	总硬度/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	pH 值
数值	2.49	2.49	0	0.05	3.52	108	<0.02	8.68	0.46	55.4	0.96	10	6.91

## 2 矿化工艺选择

### ① 二氧化碳 + 矿化滤池工艺方案

海淡水中加注二氧化碳后再经过滤料滤池(滤料主要成分为碳酸钙),在滤池中二氧化碳与碳酸钙反应,从而增加海淡水中的碱度和硬度。优点:浊度容易控制,运行费用低;缺点:构筑物稍复杂,施工周期长,滤料的品质需控制。浙江省某海水淡化厂采用食品级的石灰石颗粒作为矿化滤池的滤料,在实际运行过程中发现,食品级的石灰石颗粒采购成本高昂,且实际运行过程中石灰石颗粒在二氧化碳的作用下发生溶解,运行一段时间后石灰石颗粒表面出现软化层并发生粘连,进而影响矿化滤池的滤速和出水水量。后来,该厂对矿化滤料进行了改进,采用了贝壳滤料,成本低廉,并且解决了石灰石粘连的问题,取得了良好的运行效果。

### ② 二氧化碳 + 氢氧化钙工艺方案

如果直接向海淡水中投加二氧化碳 + 氢氧化钙,会生成碳酸氢钙,进而提高海淡水的碱度和硬度。但氢氧化钙微溶于水,很难保证与二氧化碳完全反应,不能保证出水浊度达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。青岛某海水淡化厂采用了此方案的改进工艺,其原理是现场制备浊度达标的碳酸氢钙溶液,掺加到海淡水中。即首先制备氢

## 1 工程概况

本工程水源来自青岛某海水淡化厂,其现状供水能力为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,远期规划海水淡化水总供水能力为  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。海水淡化厂直接供给工业用户作高品质工业用水,不需要做矿化调质处理;但供给市政用户用水,则必须要经过矿化调质处理。

本工程充分利用现有的公共供水设施,将现有海水淡化厂  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  淡化水先进行矿化处理,然后引入各个地表净水厂与地表水掺混后,再供到市政给水管网,为当地经济社会发展提供有力的水源安全保障。

矿化站的来水是经过反渗透膜处理过的海水,其水质情况如表1所示。

氧化钙乳浊液,然后通入二氧化碳,生成碳酸氢钙溶液,再经过微滤膜过滤,制成浊度达标的碳酸氢钙溶液,投加到海淡水中,以提高海淡水的碱度和硬度。优点:投药可精确计量。缺点:出水浊度可能受氢氧化钙品质的影响,不易控制。青岛某海水淡化厂采用进口微滤膜过滤器设备控制出水浊度,存在投资大、设备购置周期长的问题。石灰乳制备系统容易堵塞,维护管理复杂。相对于“二氧化碳 + 矿化滤池”工艺,“二氧化碳 + 石灰”工艺投加二氧化碳及石灰的量较大,运行费用高。

本着管理运行方便、降低运行成本的原则,本工程设计采用二氧化碳 + 矿化滤池的矿化工艺方案。

本工程位于海滨,可获得非常丰富的贝壳资源作为溶解矿物质。据调查,本工程附近海域的主要软体动物包括:扇贝、牡蛎、蛤蜊及蛎子等。这些软体动物贝壳的主要成分为  $\text{CaCO}_3$ 、微量元素和少量壳质素。相对于石灰石,贝壳的  $\text{CaCO}_3$  虽略低,但镁含量较高,且贝壳的重金属含量低于石灰石,这对于矿化海淡水应用于饮用水更为安全、有效。因此,从成分上分析,贝壳比石灰石更具应用优势,出水水质更佳,且本工程具有近海的地理优势,贝壳滤料的经济性明显。因此,本工程的矿化滤池采用贝壳填料。

### 3 工艺流程

结合本工程的实际情况,确定了海水淡化后矿化处理的工艺流程,具体见图1。

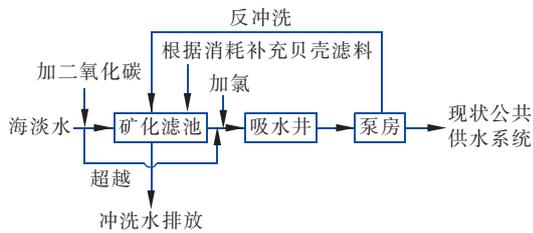


图1 海水淡化矿化工艺流程

Fig. 1 Flow chart of desalinated water mineralization

本工程实施完毕首次运行时,海水淡化水先超越矿化滤池,进入吸水井,泵房内的滤池反冲洗泵及风机启动,对贝壳滤料进行冲洗,冲洗至电导率及浊度都达到要求后,再启动正常处理流程。将海水淡化水与二氧化碳一起混合进入矿化滤池进水区域,达到了反应区(贝壳滤料区域),自下向上进水,保证了进水与贝壳进行充分接触,反应完全。矿化滤池中的主要化学反应为: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,可通过调节 $\text{CO}_2$ 的投加量进而控制 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的产生量,从而达到控制出水硬度的目的。当矿化滤池运行一段时间后,投加二氧化碳的海淡水不断侵蚀贝壳滤料,贝壳滤料会逐渐减少,因而需要补充新的贝壳滤料。

可通过监测进水量、投加二氧化碳量、出水硬度这三项指标的变化关系来判断何时需补充新的贝壳滤料。一般规律是在运行初期,矿化滤池出水的硬度与二氧化碳的投加量呈现线性关系,在进水量相对稳定时,二氧化碳投加量相对稳定,出水的硬度也相对稳定。如果监测到在进水量相对稳定时,二氧化碳投加量相对稳定,出水的硬度变化较大时,即可认为矿化滤料不足,需进行补充。一般在满负荷运行3~6个月后需补充贝壳滤料。

新添加的贝壳滤料由于前期处理不是很充分,会有一些杂质残留,需要进行冲洗。在进行冲洗时,先通入空气进行气冲,经过一段时间填料充分蓬松后,再进行气水联冲和水冲,洗去其中的杂质和污垢,待冲洗结束一段时间后进行排水,滤料自动形成天然级配,使用海淡水反复冲洗直至出水水质达到要求,判断水质达标的监测指标是电导率和浊度。

### 4 矿化站工艺设计

本工程矿化站用地呈长方形,长约120 m,宽约

50 m,共计5 940 m<sup>2</sup>。矿化站用地现状为虾塘,南边为DN1 200的海淡水供水主管线,北边为现状DN1 200清水管线。海淡水管线与清水管线距离约300 m,矿化站位于海淡水主管线及市政供水清水管线之间,充分节约了建设海淡水管线的工程费用。

#### 4.1 矿化滤池

在构造形式上,矿化滤池与水厂常规滤池类似,但在滤池流态及滤料厚度上,矿化滤池与水厂常规滤池有所不同。

由于矿化滤池的滤料参与化学反应,会逐渐溶解,增加水中的碱度和硬度,因此,本工程的矿化滤池采用上向流滤池,可以实现进水方向与贝壳布置方向构成逆向布置,在进水反应过程中滤料蓬松,保证了进水与滤料可以充分接触,反应完全。如果矿化滤池采用常规的下向流滤池,会影响处理水量及矿化效果,因此在矿化滤池设计中不建议采用下向流滤池型式。

矿化滤池的构造如图2所示。

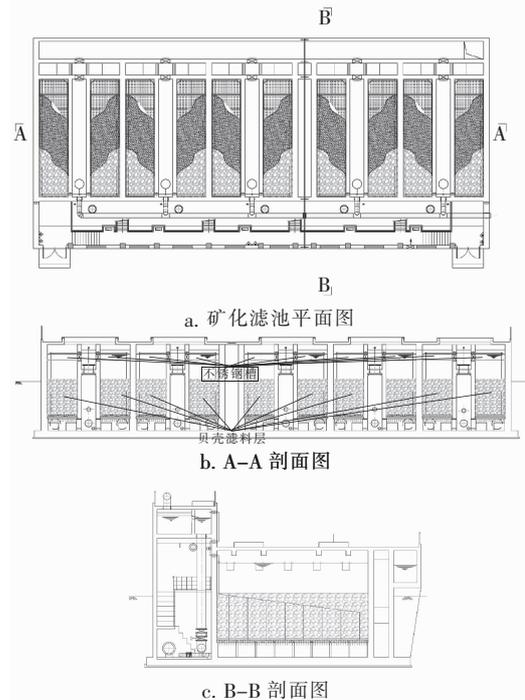


图2 矿化滤池构造

Fig. 2 Structure of mineralization filter

本工程矿化滤池设计规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,5格滤池,单排布置,单格滤池面积为41.18 m<sup>2</sup>,滤速为12.75 m/h,空床停留时间为12.7 min。矿化滤池为全封闭设计。在池顶设置观察透气窗。矿化滤料采用贝壳填料,厚度为2.7 m,有效粒径为4.00~6.00

mm,空隙率为0.50。承托层采用粗砂,厚度为0.15 m,有效粒径为2.00~4.00 mm,贝壳填料及粗砂填料均应有涉水产品许可证明。

采用长柄滤头方式配水,反冲洗方式:气水同冲,冲洗周期视滤料消耗、补充及纳污情况而定。冲洗过程如下:①气冲。气冲强度为 $60 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,两台鼓风机全开,气冲时间为2 min。②气水冲。气冲强度为 $60 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,开启2台鼓风机;水冲强度为 $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,开启1台反冲水泵,气水冲时间至出水水质达到生活饮用水卫生标准。③水冲。水冲强度为 $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,开启1台反冲水泵,水冲时间为6 min。

矿化滤池设置辅助车间,放置鼓风机、空压机、补氯间等配套设施。其中:鼓风机2台,流量为 $1250 \text{ m}^3/\text{h}$ ,压力为65 kPa,功率为37 kW。

#### 4.2 泵房

泵房共设7台卧式离心泵基础,安装7台卧式离心泵。其中5台为矿化站向市政供水系统的供水泵(4用1备):流量为 $660 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为290 kPa,功率为75 kW;2台为矿化滤池冲洗泵:流量为 $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为100 kPa,功率为55 kW。本工程设计5台矿化站供水泵的目的,主要是为了适应海淡水来水水量的变化幅度大以及后续公共供水系统用水量变化大的情况,便于调度并有利于节能。

所有水泵进出水管配套设置手动、电动阀门及止回阀。起重设施采用3T电动单梁悬挂起重机。安装变配电设备、自动化控制设备、水质在线实时检测设备。泵房内水泵采用双排布置,半地下式框架结构,泵房内采用机械通风,其中设备间设3台风机,高压配电间设1台风机,低压配电间设2台风机,保持良好的运行环境,泵房与高、低压配电间合建,并设值班室、控制室、生活间等附属用房,满足运行管理要求。

#### 4.3 变配电间

变配电间包括变压器室、高压配电间、低压配电间。

根据本工程的建设规模、供水范围和重要性,本工程泵房内的水泵、加药设备等主要的工艺生产设备、应急照明等为二级负荷,其他辅助设施等为三级负荷。矿化站补偿后总计算负荷约336.6 kVA,功率因数约为0.96。根据负荷计算结果,结合不同电压等级电源的供电距离、容量和当地电网的情况,本

工程采用10 kV电源供电。按照负荷性质的供电可靠性要求,本工程采用1路10 kV电源供电,并采用1路移动式柴油发电机作为备用电源,当10 kV电源故障时,移动式发电机投入运行,满足所有二级及以上负荷的供电。10 kV电源就近引自当地10 kV城市电网线路,电源进线入厂区后采用电缆引至配水厂的10 kV配变电所。设10 kV配变电所一座,为厂内的配电变压器供电。配电变压器选择500 kVA 1台,负荷率约67%,变比10/0.4 kV,为厂内所有的低压负荷配电。设置500 kVA移动式发电机一台,当10 kV电源或者配电变压器发生故障时,发电机投入运行,为本工程设备提供0.4 kV电源,配电变压器进线开关与发电机进线卡管设置机械与电气联锁,防止电源并列运行。

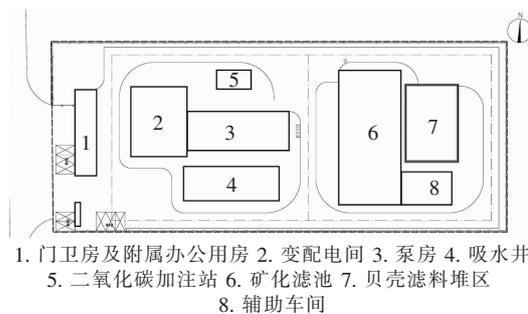
#### 4.4 二氧化碳加注站

二氧化碳加注站设置1座二氧化碳储罐,有效容积为 $30 \text{ m}^3$ ,设计压力为2.2 MPa,配气源切换系统、减压阀、二氧化碳管道系统; $200 \text{ m}^3/\text{h}$ 的气化器2套;槽车电源系统1套。

#### 4.5 站区总平面设计

按照工艺流程,构筑物自东向西布置。矿化站来水自东南流入DN1200海淡水主管道,矿化滤池及辅助车间布置于东侧,另外矿化站东侧还布置有贝壳滤料堆场及二氧化碳加注站,靠近矿化滤池,方便二氧化碳的加注及贝壳滤料的添加;矿化站中间布置吸水井及泵房;变配电间与泵房合建,位于泵房的西侧;最西侧为门卫房及营业厅,靠近矿化站大门,大门外为矿化站配套的规划道路,与主干道相连。

站区总平面布置如图3所示。



1. 门卫房及附属办公用房 2. 变配电间 3. 泵房 4. 吸水井  
5. 二氧化碳加注站 6. 矿化滤池 7. 贝壳滤料堆区  
8. 辅助车间

图3 厂区总平面布置

Fig. 3 General layout of the station

#### 5 药剂投加控制

本工程实施运行后,海淡水矿化及消毒药剂投

加量如表2所示。

表2 海淡水矿化及消毒药剂投加量

Tab.2 Dosage of desalinated water mineralization and disinfection

贝壳滤料消耗量/(g 贝壳滤料 · m <sup>-3</sup> 海淡水)	50
消毒剂(次氯酸钠)投加量/(mg · L <sup>-1</sup> )	0.3
二氧化碳投加量/(mg · L <sup>-1</sup> )	17

表3 矿化调质出水(海水淡化水矿化后)水质检测结果

Tab.3 Test results of desalinated water(after mineralization) quality

项目	总碱度/ (mg · L <sup>-1</sup> )	甲基橙碱 度/(mg · L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / (mg · L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> / (mg · L <sup>-1</sup> )	F <sup>-</sup> / (mg · L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> / (mg · L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> / (mg · L <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> / (mg · L <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> / (mg · L <sup>-1</sup> )	总硬度/ (mg · L <sup>-1</sup> )	pH 值	浊度/ NTU	色度/ 度	TDS/ (mg · L <sup>-1</sup> )
数值	60	60	3.50	108	<0.02	8.68	40	55.4	20	80	7.31	0.05	0	440
生活饮用水卫生标准	—	—	250	250	1.0	—	—	—	—	450	6.5~8.5	1	15	1 000

项目投产运行后一年内的生产运营成本中,药剂费约为 0.07 元/m<sup>3</sup>,工资及福利费约为 0.045 元/m<sup>3</sup>。

## 7 结语

本工程的成功实施和运行,为海水淡化水引入市政供水系统提供了合格的范例。将海水作为“第二水源”供到市政给水管网,提高了海水利用率,顺应了国家海水淡化产业发展的总体趋势。

## 参考文献:

- [1] 王琪,郑根江,谭永文. 我国海水淡化产业进展[J]. 水处理技术,2014,40(1):12-15.  
Wang Qi, Zheng Genjiang, Tan Yongwen. Progress of desalination industry in China[J]. Technology of Water Treatment,2014,40(1):12-15(in Chinese).
- [2] 王佳鑫,刘丰珩,张国辉. 青岛市海水淡化发展思路及建议[J]. 城镇供水,2018(1):19-22.  
Wang Jiaxin, Liu Fengheng, Zhang Guohui. Ideas and suggestions for the development of Qingdao seawater desalination[J]. City and Town Water Supply,2018(1):19-22(in Chinese).
- [3] 潘海祥. 海水淡化水厂供水的黄水现象及应用措施[J]. 中国给水排水,2008,24(12):90-92.  
Pan Haixiang. Yellow water phenomenon from seawater desalination plant and improvement measures[J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(12):90-92(in Chinese).

## 6 运行效果

本工程已稳定运行一年多,经贝壳滤料调质后出水水质满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)(见表3)。此外,本工程运行管理方便,自动化程度高,工作人员劳动强度低,通过调节二氧化碳的投加量,可实现方便快捷地调节出水的硬度、碱度指标。

- [4] 吴红伟,刘文君,贺北平,等. 配水管网中管垢的形成特点和防治措施[J]. 中国给水排水,1998,14(3):37-39.

Wu Hongwei, Liu Wenjun, He Beiping, et al. Formation characteristics and control measures of incrustation scale in water distribution network [J]. China Water & Wastewater, 1998, 14(3):37-39(in Chinese).

- [5] 何宏,席倩. 水的硬度与健康[J]. 饮料工业,1995,2(5):7-9.

He Hong, Xi Qian. The hardness of water and health [J]. Beverage Industry, 1995, 2(5):7-9(in Chinese).



作者简介:陈景光(1975—),男,山东青州人,工学硕士,高级工程师,主要从事城镇供水、排水工程、环境工程设计及技术管理工作。

E-mail:760814221@qq.com

收稿日期:2019-05-22