河北省近岸海域海水淡化取水水质适宜性分析

朱琴[1],左丽明[1],彭锦添[2],单科[3]

(1. 河北省地矿局水文工程地质勘查院 石家庄 050021;2. 河北工业大学 天津 300000;
3. 天津海水淡化与综合利用研究所 天津 300192)

摘要:为了在河北省近岸海域给海水淡化项目选出水质优质的水源地,笔者于2016年8月对河北省近岸海域进行取水测试。一共布置了50站位,采集了50件水样,样品测试内容有:pH值、浊度、污染指数SDI、溶解氧、余氯、锰、铁、悬浮物含量、油类、悬浮物颗粒平均粒径。评价结果显示:河北省沿海监测站位除了悬浮物指标其他指标均满足低温多效蒸馏法海水淡化系统进水要求外,悬浮物在曹妃甸以西海域和沧州黄骅港以东海域超标,进行淡化预处理可采用威立雅公司提供的一体化高效混凝沉淀设备进行预处理,大清河以东海域可以采用一般的澄清过滤工艺进行预处理;各站位均不满足反渗透法淡化系统直接进水要求;部分站位满足反渗透法超滤预处理装置进水要求,影响进水要求的指标为浊度,在沧州港池北侧及曹妃甸港以西、大清河口和滦河口岸边不满足进水要求,其他站位均满足进水要求。沧州海域和曹妃甸以西海域不适合采用反渗透法进行淡化。曹妃甸以东至大清河之间可采取一般的混凝、澄清、过滤进行处理工艺。大清河以东海域可以采用超滤进行预处理。

关键词:海水淡化;取水水质;预处理;河北省近岸海域

中图分类号:P74 **文献标志码**:A **文章编号**:1005-9857(2017)07-0060-07

Analysis on Optimal Water Quality Sources for Seawater Desalination in Hebei Coastal Waters

ZHU Qin[1], ZUO Liming[1], PENG Jintian[2], SHAN Ke[3]

(1. Hebei Province Hydrogeology Survey Institute, Shijiazhuang 050021, China; 2. Hebei University of Technology, Tianjin 300000, China; 3. The Institute of Seawater Desalination and Multipurpose Utilization, Tianjin 300192, China)

Abstract: In order to select the optimal water source for seawater desalination project in Hebei Province, water intake tests were carried out in the coastal waters of Hebei Province in August 2016. 50 stations were set up and 50 water samples were collected. The sample tests included: pH value, turbidity, pollution index SDI, dissolved oxygen, free chlorine, manganese, iron, suspended solids, oil, and particle size of suspended solids. The evaluation results showed that the indicators except for suspended matter of coastal monitoring stations in Hebei Province can meet the LT-MED system of water requirement. The suspended solids exceed the standard in the west of Ca-

收稿日期:2016-12-26;**修订日期**:2017-06-01

基金项目:河北省科技计划项目"河北省沿海海水淡化水源地选划关键技术研究"(16273102D).

作者简介:朱琴,工程师,硕士,研究方向为海洋地质

ofeidian waters and east of Cangzhou waters, which can be pretreated by integrated efficient coagulation sedimentation equipment of Veolia. The east of the Daqinghe River waters can be pretreated by general clarification filtration process. The results also showed that all stations could not satisfy the direct water requirements of RO system, but some stations could meet UF of RO pretreatment device inlet requirements, whose most influencing index is turbidity. On the north side of Huanghua port, west of Caofeidian port, the Daqinghe River estuary and the Luanhe River estuary, the stations do not meet the requirements of the water inlet, while the other stations meet. The reverse osmosis is not suitable for the Cangzhou waters and the west of Caofeidian waters. The sea area from the east of Caofeidian to the Daqinghe River can take general coagulation, clarification, filtration treatment process. The east of the Daqinghe River can be pretreated by UF.

Key words: Seawater desalination, The quality of water intake, Pretreatment, The coastal waters of Hebei Province

河北沿海地区区位优势独特、资源禀赋优良、工业基础雄厚、交通体系发达、文化底蕴深厚，随着“京津冀一体化”和“一带一路”的提出，河北沿海地区成为国家发展的中心，在促进京津冀协调发展中具有重要战略地位。水资源是制约河北省沿海地区经济社会发展的重要因素，北方沿海地区（天津、河北、辽宁和山东）人均综合用水量约 269 m^3，属资源性缺水[1]。开发海水淡化项目是解决沿海地区缺水问题的有效途径[2]。海水淡化工程开发潜力巨大[3]。在海水淡化技术应用方面已有相关研究，如舟山地区就海水淡化的取水选址、取水方式和预处理工艺进行了研究[4]。天津开展小型的淡化示范工程针对如何处理较差水质进行了综合研究[5]。华能威海电厂就海水淡化系统的预处理工艺和路程进行了分析[6]。有专门针对海水淡化预处理技术的研究[7]。但是针对河北省近岸海域海水淡化水质适宜性研究较少，本次研究针对海水淡化取水水质适宜性问题进行野外调查和样品采集测试分析，评价河北省海域海水淡化水质的适宜性及适宜的预处理方式，为河北省海水淡化项目的开发利用提供参考。

1　海水淡化水质要求

1.1　低温多效蒸馏法海水淡化

根据相关规范[8]，低温多效蒸馏法海水淡化系统进水要求见表 1。从表 1 可以看出除了悬浮物指标其他指标限值较高，总体来说该淡化工艺对进水要求较低。其他相关成果均表明海水淡化的多种工艺中低温多效蒸馏法海水淡化是对水质要求相对较低的。

表 1　低温多效蒸馏海水淡化进水要求

项目	水质要求
油类/(mg·L^{-1})	<1
游离氯(Cl_2)/(mg·L^{-1})	<1
悬浮颗粒直径/μm	<100
盐度/(mg·L^{-1})	<10
悬浮物/(mg·L^{-1})	<50

1.2　反渗透法海水淡化

根据相关规范[8]，反渗透海水淡化系统进水要求见表 2。从表 2 中可以看出，反渗透法海水淡化对浊度和污染指数均有较高要求。与低温多效蒸馏法相比反渗透法海水淡化对进水要求较高。

表 2　反渗透法海水淡化进水要求

水质项目	水质要求
pH 值	4～11(运行) 2－11(清洗)
浊度/NTU	<1.0
污染指数 SDI(15 min)	<5
游离氯(Cl_2)/(mg·L^{-1})	<0.1[2]，控制为 0.0
锰/(mg·L^{-1})	<0.5
铁(Fe)/(mg·L^{-1})	<0.05(给水溶氧>5 mg/L)[3]

2 河北省近岸海域水质特征

2.1 取样位置

2016 年 8 月对河北省近岸海域的水质进行了取样分析，除港池外其他近岸海域监测站位布置在 2 m 等深线附近。秦皇岛海域布置了几条垂直于海岸线方向的断面，进行不同离岸距离的水质分析。除了秦皇岛港池（禁止入内）对河北省沿海几个港池进行了取水分析。沿河北省近岸海域，由西向东共布设 50 个站位。为了使取水水质反映实际情况，进行野外调查时首先调查水深，确定该深度条件下的适宜取水深度。目前河北省海水淡化取水深度均在深水区。本次取样深度：港区水深较深，取水深度在 6～9 m；其他地区在水深大于 1 m 区采集距离水底 1 m 处海水，小于1 m 取 0.5 m 水深。

2.2 测试水质

2016 年 8 月对整个河北省近岸海域进行了取样分析，海水样品测试结果如下。

2.2.1 pH 值指标分析

河北省近岸海域 pH 值变化特征不明显，pH 值的范围在 7.0～8（图 1），在曹妃甸以东至滦河口附近整体偏高，北戴河以北整体偏低，以南较高。

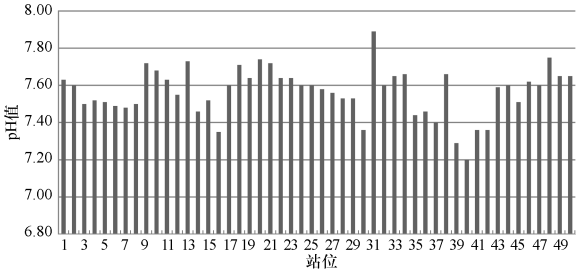


图 1 pH 值特征

2.2.2 海水浊度指标分析

浊度变化特征非常明显（图 2），浊度一般在 0～20，在曹妃甸以西海域浊度非常高，特别是12 号站位浊度高达 337。浊度在滦河口以北则较低。

2.2.3 悬浮物指标分析

悬浮物含量特征见图 3，悬浮物含量集中在 10 mg/L以下，部分站位非常高。在曹妃甸港以西（站位 9 至站位 13）及沧州港池外侧（站位 1、站位 3、站位 7、站位 8）偏高，其余地方较低。大清河码头附近站位 29 悬浮物含量偏高。

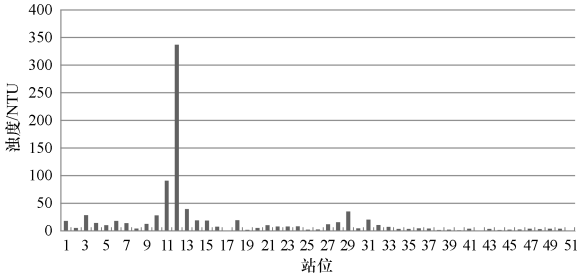


图 2 浊度含量特征

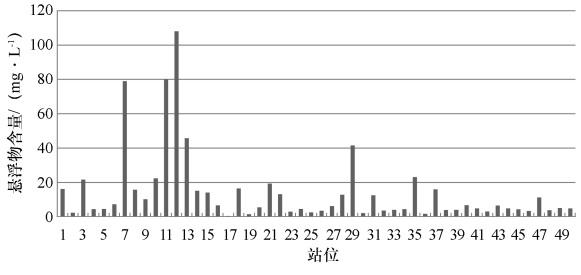


图 3 悬浮物含量特征

2.2.4 余氯指标分析

余氯含量特征见图 4，余氯含量集中在 0.1 mg/L 以下，其中沧州和唐山余氯含量集中在 0.05 mg/L 以下，秦皇岛集中在 0.05～0.10 mg/L，部分站位含量异常高，余氯含量最高的位于国华电厂排水口附近和秦皇岛金屋浴场近岸海域。秦皇岛岸滩主要开发利用方式为浴场，因此余氯含量较高。

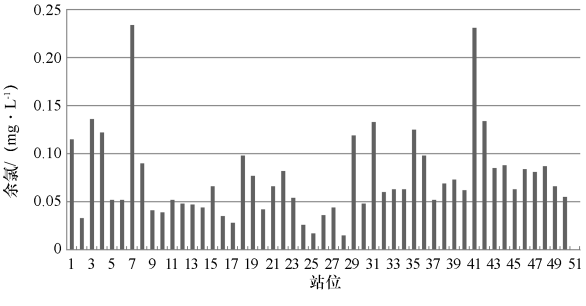


图 4 余氯含量特征

2.2.5 污染指数分析

污染指数是选择性进行了取样测试，污染指数范围在 14.0～18.0 之间（图 5），其中沧州 4 号站位在黄骅港 1 号港池内，3 号站位和 8 号站位位于港池东西两侧的海域内，对比分析发现，港池内水质

优于港池以外的水质；其他站位在曹妃甸港区内污染指数最小，其他站位均较高。

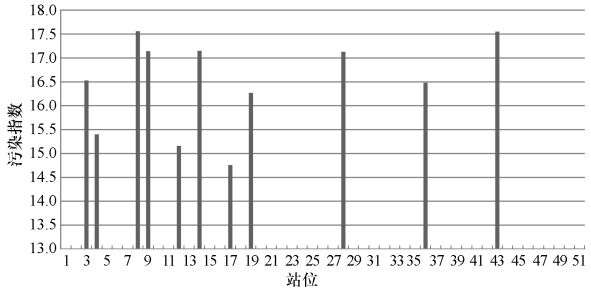


图 5　污染指数

2.2.6　油类含量分析

油类含量特征见图 6，油类含量集中在 0.02 mg/L 以下，部分站位油类含量较高。油类含量较高的站位为黄骅港 1 号港池和昌黎近岸海域。

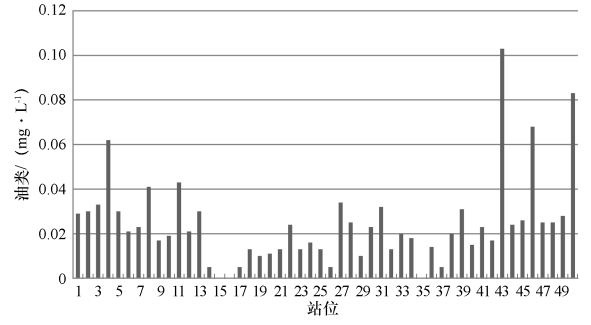


图 6　油类含量特征

2.2.7　溶解氧含量分析

溶解氧含量特征见图 7，溶解氧含量集中在 60%～80%，其中黄骅港 1 号港池、北戴河以北浴场溶解氧较低。

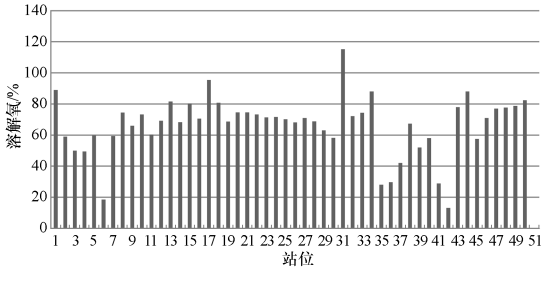


图 7　溶解氧含量特征

2.2.8　铁含量指标分析

铁含量特征见图 8，铁含量集中在 0.5 mg/L 以下，在唐山曹妃甸以西海域铁含量偏高。其他站位含量偏低。

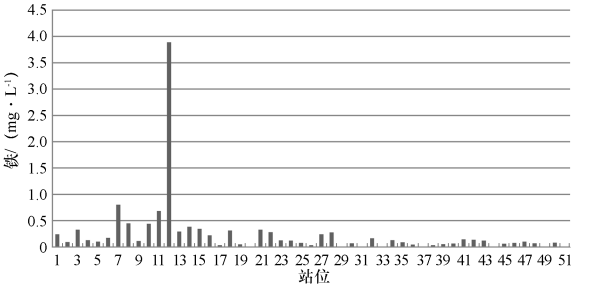


图 8　铁含量特征

2.2.9　锰含量分析

锰含量特征见图 9，锰含量集中在 100 mg/L 以下，在部分站位含量大于 300 mg/L，曹妃甸以西 12 号站位、北戴河以北进屋浴场（站位 35、站位 36、站位 41、站位 42）锰含量偏高。

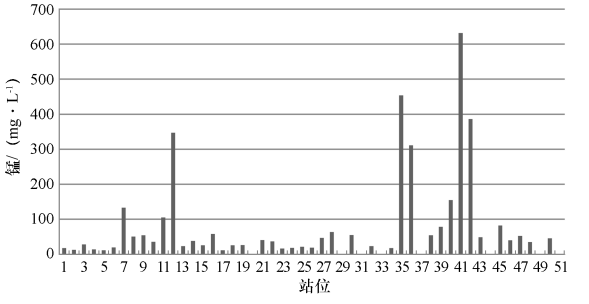


图 9　锰含量特征

2.2.10　悬浮物粒径分析

悬浮物粒径特征见图 10，悬浮物平均粒径在 3.0～4.5 μm，其中沧州粒径较小，其他站位较高。总体来说相差较小。

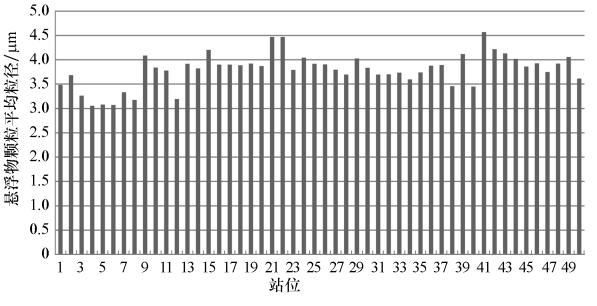


图 10　悬浮物平均粒径特征

2.3　结果分析

46 站位、47 站位、48 站位位于南戴河与滦河口

之间，距离较近，连线垂直于海岸线，46 站位离岸近，48 离岸最远，47 站位在中间位置。47 站位除溶解氧、余氯、油类指标，其余指标均为 3 个站位中最差，47 站位锰、铁、悬浮物含量比另外两个站位高很多，其余较为接近。48 站位与 46 号站位除了油类以外其他指标含量较为接近，近岸 46 号站位油类较高。

49 站位和 50 站位位于南戴河沙雕海岸乐园附近，连线同样垂直于海岸线，49 站位靠近岸边，这两个站位锰、铁、油类指标差距较大，其余指标几乎一致，近岸的 49 站位好于远岸的 50 站位情况。

35 站位和 36 站位连线垂直于海岸线，位于金屋浴场附近，35 站位靠近岸边，两者 pH 值与溶解氧指标差异小，其余相差较大，余氯、锰、铁和悬浮物含量指标 35 站位较 36 号站位高，而浊度、油类指标远岸 36 站偏高。

41 站位和 42 站位位于北戴河与秦皇岛市区之间山东堡立交桥附近，连线垂直于海岸线，41 站位靠近岸边，两者 pH 值、铁和油类指标相近，42 站位余氯、悬浮物含量、锰、浊度指标较 41 站位含量低，溶解氧 42 站位较 41 号站位偏高。

3 海水淡化取水水质分析

3.1 低温多效蒸馏法海水淡化取水水质评价

根据各站位的测试结果可以看出：油类、游离氯、悬浮颗粒直径、盐度均满足低温多效蒸馏法海水淡化进水要求，部分站位的悬浮物含量不满足进水要求。悬浮物限制为 50 mg/L，悬浮物在曹妃甸以西海域和沧州黄骅港以东海域超标。悬浮物是影响淡化进水的主要指标，同时也是受风浪影响最大的指标。特别在淤泥质海滩地区风浪作用下泥沙很容易被带起，造成水体中泥沙含量显著升高。

根据“908”专项对河北省海域泥沙监测结果[9]，沿河北省近岸海域，由东向西共布设 16 个监测站位，监测数据见表 3 和表 4，从表 5 中可以看出，在潮流作用下曹妃甸以西海域和沧州海域（站位 11 至站位 16）的悬沙含量最大值大于 50 mg/L，由此说明，风浪作用下泥沙含量更高，因此曹妃甸以西和沧州海域泥沙含量偏高，水质评价结果为中等。秦皇岛和曹妃甸以东海域悬沙含量较低。

河北省海域 2004 年夏季观测的含沙量见表 4。从表 5 中可知：唐山大清河以西海域和沧州海域悬沙量的高值均大于 50 mg/L。其他岸段悬沙含量较低，悬沙含量变化较小。由此说明砂质岸滩潮流作用下悬沙含量变化小，且含量低。2004 年的监测结果未能反映港池内特征，本地调查结果显示，沧州港池和曹妃甸港池内的悬浮含量明显低于港池外海域，其中曹妃甸港池内（站位 14 至站位 23）悬浮物含量低于 20 mg/L，而西侧港池外高于 40 mg/L。沧州港池内（站位 2、站位 4 和站位 5）悬浮含量小于 5 mg/L，明显低于港池外侧，调查国华电厂港池内取水情况，风浪作用下悬砂含量非常高，有较大风浪时，海水的含沙量和悬浮物较高，历史上附近海域含沙量曾经达到 2～4 kg/m^3，平日为 0.2～0.4 kg/m^3。

表 3 河北省海域各测站垂线大潮期平均含沙量特征值 mg/L

站号	涨潮		落潮	
	平均值	最大值	平均值	最大值
1	6.2	8.3	5.7	10.2
2	7.2	17.6	8.6	17.4
3	9.3	18.2	7.7	12.6
4	8.3	23.4	9.1	22.9
5	10.8	20.7	13.4	16.7
6	13.4	22.8	12.5	17.7
7	17.6	26.2	17.6	21.7
8	12.2	21.3	12.4	24.4
9	29.6	49.3	30.8	52.5
10	18.7	34.2	19.0	28.1
11	79.2	140.0	96.3	151.8
12	62.4	113.9	52.3	75.5
13	30.9	49.4	30.8	58.1
14	41.4	67.8	41.2	67.9
15	32.2	92.3	34.4	55.0
16	25.2	50.9	24.8	75.8

表 4　河北省海域各测站垂线小潮期平均含沙量特征值　　mg/L

站号	涨潮		落潮	
	平均值	最大值	平均值	最大值
1	9.4	16.5	8.3	12.8
2	7.8	14.4	7.8	14.1
3	6.8	10.0	7.6	10.5
4	5.9	14.1	3.6	6.7
5	17.0	35.1	16.7	28.2
6	10.3	18.4	11.5	18.3
7	29.3	48.5	20.9	32.7
8	11.2	19.8	11.1	19.5
9	29.5	43.3	26.4	37.1
10	14.9	23.5	14.0	18.5
11	103.2	143.5	104.0	147.8
12	68.3	101.3	49.5	65.9
13	35.3	59.1	33.9	63.4
14	36.6	55.3	28.9	37.2
15	66.7	106.1	56.8	143.3
16	22.4	29.3	23.0	31.3

表 5　河北省海域含沙量变化　　mg/L

站位号	大潮期			小潮期		
	最大	最小	差值	最大	最小	差值
1	15.1	0.6	14.5	25.2	4.1	21.1
2	29.7	1.7	28	35.5	2.9	32.6
3	31.5	0.9	30.6	17.7	2.3	15.4
4	26	1.5	24.5	19.4	0.9	18.5
5	57.7	2.9	54.8	41.6	6.7	34.9
6	32.1	3.9	28.2	47.8	4.7	43.1
7	35.3	11.3	24	51.3	3.4	47.9
8	34	2.5	31.5	30.2	2.1	28.1
9	73.2	4.7	68.5	67.5	7	60.5
10	51.1	4.3	46.8	54.7	6.2	48.5
11	163.9	20.8	143.1	169.2	29.4	139.8
12	156.1	26.6	129.5	126.2	5.5	120.7
13	69.8	10	59.8	74.5	8.2	66.3
14	80.2	15.5	64.7	58.5	16.4	42.1
15	106.2	15.8	90.4	155.2	16.6	138.6
16	139.1	8.3	130.8	69.1	12.8	56.3

通过以上综合分析可知，淤泥质潮滩区的沧州海域和曹妃甸以西唐山海域和曹妃甸至大清河之间的海域，水体中泥沙在风浪下含量显著升高，不适合直接用水，需要进行适当的预处理才可以进入海水淡化系统。根据沧州国华电厂的应用案例可采用稍复杂的工艺如威立雅公司提供的一体化高效混凝沉淀设备进行淡化。其他海域可以采用一般的澄清过滤工艺进行预处理。

3.2　反渗透法取水水质评价结果

3.2.1　直接进水

根据各站位的测试结果可以看出，各站位均不满足反渗透法海水淡化直接进水要求，主要影响指标为余氯、浊度、污染指数、锰。

反渗透法淡化系统进水要求污染指数小于 5，测试结果显示各站位污染指数均大于 14，在 14～18 之间；进水要求浊度小于 1.0 NTU，测试结果显示各站位浊度绝大部分大于 1.0 NTU，在 0.6～337 NTU 之间；进水要求余氯小于 0.01，测试结果显示各站位余氯均大于 0.01，在 0.01～0.24 之间；进水要求锰小于 0.5 mg/L，测试结果显示各站位锰基本大于 0.5 mg/L，在 0.08～454 mg/L 之间。进水要求铁小于 0.05 mg/L，测试结果显示各站位铁基本大于 0.05 mg/L，在 0.02～3.89 mg/L 之间。

3.2.2　超滤预处理系统进水

超滤预处理系统是进行海水淡化取水预处理过程采用的预处理方式，该系统经济适用，处理效果好、在取水水质相对较好的海域得到广泛应用。反渗透法预处理超滤装置进水评价指标有：水温、pH 值、浊度。部分站位满足超滤进水要求，影响进水要求的指标为浊度。在沧州港池北侧及曹妃甸港以西、大清河口岸边、滦河口附近不满足的超滤进水要求，其他站位均满足进水要求。浊度的影响因素主要为泥沙含量、有机物和浮游生物，调查显示京唐港浊度满足超滤进水要求。

本次调查结果显示京唐港以东海域除了滦河河口海域和二滦河河口岸边浊度含量相对较高外，其他调查站位浊度偏低，均低于 10 NTU。

沧州国华电厂取水港池浊度均值为 12.2 NTU，在风浪作用下浊度显著升高，港池两侧和曹妃甸以

下海域较国华电厂取水港池更加严重。调查发现，国华电厂在建厂指出考虑到取水水质，发现沧州港池水质不适合采用反渗透法海水淡化。根据本次调查结果，大唐国际电厂采用反渗透法海水淡化，取水地点位于京唐港港池内，对取水采取的预处理方式为超滤，多年运行结果显示运行良好，预处理效果良好。大部分时间段内该区的浊度集中在 0～20 NTU[10]，低于 50 NTU，少数情况下悬沙含量达到 90 NTU。由此可知该区的悬沙只需要进行简单的预处理就可以满足淡化进水要求。

通过以上综合分析，沧州海域和曹妃甸以西唐山海域在风浪作用下泥沙含量太高不适合超滤系统进水。曹妃甸以东至大清河之间泥沙含量相对较低，虽然不能满足超滤进水要求但是采取一般的混凝、澄清、过滤处理工艺也能满足进水要求；大清河以东海域可以满足超滤进水要求。

4 结论

通过以上综合分析可知，低温多效蒸馏法海水淡化系统进水要求较低，除了悬浮物指标其他指标限值较高。河北省近岸海域油类、游离氯、悬浮颗粒直径、盐度均满足进水要求，部分站位的悬浮物含量不满足进水要求。淤泥质潮滩区的沧州海域和曹妃甸以西唐山海域和曹妃甸至大清河之间的海域，水体中泥沙在风浪下含量显著升高，不适合直接用水，需要进行适当的预处理才可以进入海水淡化系统。根据沧州国华电厂的应用案例可采用威立雅公司提供的一体化高效混凝沉淀设备进行预处理。大清河以东海域可以采用一般的澄清过滤工艺就可以进行预处理。

河北省近岸海域各站位均不满足反渗透法海水淡化直接进水要求，主要影响指标为余氯、浊度、污染指数、锰。反渗透法预处理超滤装置进水评价指标有：水温、pH 值、浊度。部分站位满足超滤进水要求，影响进水要求的指标为浊度，在沧州港池北侧及曹妃甸港以西、大清河口岸边、滦河口近岸不满足的进水要求的，其他站位均满足进水要求，浊度的影响因素主要为泥沙含量、有机物和浮游生物，调查显示京唐港海水浊度满足超滤进水要求。沧州海域和曹妃甸以西唐山海域在风浪作用下泥沙含量太高不适合超滤系统进水。曹妃甸以东至大清河之间泥沙含量相对较低，虽然不能满足超滤进水要求但是采取一般的混凝、澄清、过滤处理工艺也能满足进水要求；大清河以东海域可以满足超滤进水要求。

参考文献

[1] 国家海洋局.海水利用专项规划[Z].2005.

[2] 张铭，刘伟，陈芃，等.美国海水淡化环境管理政策初探[J].生态经济，2014，30(8)：181－184.

[3] 黄鹏飞，杨志宏，王锐浩，等.海水淡化工程用海适宜性评价指标体系与模型构建研究[J].环境科学与管理，2015，40(1)：180－183.

[4] 汤云峰，邓建袁.舟山大中型海岛海水淡化技术研究[J].水利科技与经济，2007，13(11)：829－831.

[5] 潘献辉，阮国岭，赵河立，等.天津反渗透海水淡化示范工程[J].中国给水排水，2009，25(2)：73－77.

[6] 邵正波.华能威海电厂海水淡化工程的应用情况[J].山东电力技术，2002(5)：64－66.

[7] 钟素红，衣守志，李超.海水淡化预处理技术的现状及发展[J].海湖盐与化工，2006，35(1)：27－30.

[8] 中华人民共和国国家发展与改革委员会.火力发电厂水工设计规范：DL/T5339—2006[S].2006.

[9] 宋素青，王卫，高伟明.河北省海洋资源调查与评价报告[M].北京：海洋出版社，2007.

[10] 初庆伟，李思吉，陶祯燕，等.大唐王滩电厂海水淡化系统两年运行经验[J].中国建设信息(水工业市场)：2008(6)：20－23.