

海洋行业标准

海水淡化水足迹评价规范
第 1 部分 淡化系统水足迹核算要求
(征求意见稿)

编制说明

自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所

2020 年 9 月

一、制定标准的背景、目的及意义

水资源危机是当前人类面临的最严峻的资源危机，其可持续利用和管理受到了全世界的广泛关注。水资源管理从 19 世纪末只统计水量发展到现在基于可持续理念的综合评价，其内涵和评价内容已经比较丰富，涉及水资源数量、质量、承载和开发能力等多个方面，其主要评价方法先后出现了虚拟水和水足迹理论。1993 年，英国学者 Allan 提出了虚拟水概念，它是指生产产品和服务所需要的水资源数量，即凝结在产品和服务中的虚拟水量，揭示了消费和水资源使用背后的联系。2002 年，荷兰学者 Hoekstra 基于生命周期原理，进一步将虚拟水和生态足迹理论结合提出水足迹的概念，它是一个体现消耗水量、水源类型及污染量和污染类型的多层指标。水足迹继承发扬了虚拟水理论，核算边界从产品的生产阶段扩展到了整个生命周期阶段，核算内容同时兼顾了生产过程的直接水消耗与消费产品和服务产生的间接水消耗，核算方法由单纯核算水量发展到了兼顾水质与水量的综合量化。

目前，水足迹理论越来越多地被国内外各领域应用到水资源管理工作之中，在节水方面起到了积极正面的作用。但水足迹只是水消耗和水污染的体积衡量指标，而不是对当地资源和环境影响程度的衡量指标，水足迹面向应用的量化、评价和认证以及数据库的研究均存在不足。水足迹量化存在边界和方法不统一等问题，主要是由于水的消耗和污染量以及其时空分布会受到生产和供应链的组织方式和特征的深刻影响，如何解析和准确地量化这种影响，开发能够涵盖水量、水质、水环境及水资源时空特性的综合水足迹量化模型是目前急需攻克的难题。

目前海水淡化工程主要关注其生产成本、产水水质等方面，水足迹的量化和评价方法的研究还处于起步阶段。针对我国海水淡化水足迹量化、评价手段缺失等问题，本项目旨在开展涵盖海水取水、预处理、脱盐、淡化后处理、浓盐水排放全过程的海水淡化系统水足迹量化、评价方法研究。基于海水淡化完整工艺过程，确定海水淡化系统水足迹核算边界，将能源消耗、物料投入、浓盐水排放产生的间接水消耗纳入系统水足迹量化范畴，进行典型海水淡化系统水足迹量化方法研究，建立基于全国海水利用基础数据的海水淡化系统水足迹量化模型，为海水淡化发展提供技术支撑。

二、工作简况

1、任务来源

本项目是根据《自然资源部办公厅关于印发 2019 年度自然资源标准制修订工作计划的通知》、《全国海洋标准化技术委员会关于开展 2019 年自然资源（海洋领域）标准制修订工作的通知》（海标委函[2019]94 号）进行编制，计划项目编号：201924003，计划要求完成时间为 2020 年 12 月。本项目由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC 283）归口管理。

2、项目承担单位简况

项目主要起草单位：自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所、哈尔滨工业大学（深圳）、中国标准化研究院、轻工业环境保护研究所。自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所（以下简称海水淡化研究所），是我国唯一专门从事海水利用公益技术、共性技术、产业化关键技术和发展战略研究的国家级科研机构。承担了 60 多项国家科技攻关项目和 100 多项省部级科研项目，取得包括国家科技进步二等奖在内的国家及省部级科技奖励 31 项。主持编制每年的《海水利用年报》。作为技术支撑编制完成了国家《海水利用专项规划》、《海水利用标准发展计划》等多项国家规划，获得专利 166 项，已发布国家及行业标准 22 项，在编国家及行业标准 44 项。海洋标准化技术委员会海水淡化分技术委员会及国家海水及苦咸水利用产品质量监督检验中心依托研究所成立。

3、工作过程

水足迹的概念近几年才逐渐进入海水淡化领域，在“十三五”国家重点研发计划课题“海水淡化水足迹评价方法研究”（2018YFF0215705）中，海水淡化研究所深入开展了对水足迹概念、生命周期评价方法、海水淡化系统水足迹量化方法、评价技术、低水足迹认证规则等方面的研究，结合课题研究及所取得的进展，我所已经具备了编制该标准的理论基础和技术储备。

接到标准编制任务后，海水淡化研究所成立了标准编制工作项目组，并根据任务要求，制订了工作计划。项目组查阅相关文献、标准和设计规范，设计调查问卷开展数据调查获得第一手的数据，进行了实地走访交流，咨询相关专家，项目组研讨等形成标准初稿，对海水淡化系统水足迹核算的术语和定义、核算原

则、核算范围、水足迹清单分析、核算方法、报告等方面进行了具体规定。标准初稿经过数次讨论修改，形成标准征求意见稿。

4、标准主要起草人及其所做的主要工作

本标准主要起草人 6 名，分别是尤菁、潘献辉、李宗雨、董泽亮、杨波、吴建梅，其中教授级高工 1 名，高工 1 名，工程师 3 名，助理工程师 1 名，所在单位均为海水淡化研究所。尤菁负责标准起草的全面工作；潘献辉负责指导标准文本的制定修改；李宗雨负责水足迹核算示例的编制和修改；董泽亮负责标准术语和定义的编制和修改；杨波负责清单分析、核算方法的编制和修改；吴建梅负责标准编制说明的编写和修改。

三、标准编制原则和确定主要内容的论据

1、编制原则

本标准编制以符合国家法律、行政法规，与相关标准协调配套、推动海水淡化系统科学节水发展为原则，并遵循 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求和规定。

2、标准的主要内容及确定依据

本标准的主要内容包括：海水淡化系统水足迹核算的术语和定义、核算原则、核算范围、水足迹清单分析、核算方法、报告和核算示例。

(1) 术语和定义、核算原则

本标准沿用 GB/T 33859-2017、GB/T 37756-2019 中水足迹的定义，沿用生命周期理论，对海水淡化系统水足迹进行定义、核算。

(2) 核算范围

根据 GB/T 37756-2019 的相关规定，水足迹评价可以根据评价目的、生命周期某阶段代表数据的获取情况，以及生命周期某阶段对水足迹评价结果的影响程度，选择一个或几个生命周期结算进行评价。结合海水淡化系统的特点，淡化设备生产和安装、报废等阶段的数据难以获取，且延续年限很长，具有很大的不确定性，因此，本标准只局限于对海水淡化系统生产阶段（“大门到大门”）的水足迹进行量化核算。

(3) 水足迹清单分析

在系统边界范围内，按照输入、输出系统进行与水相关的项目的清单分析。从输入系统的原料、能源、物料，到膜产品更换，分别针对每种投入进行相关数据调研采集。虽然海水不计入水足迹量化，但是海水的取水量跟预处理药剂的投入量相关。数据调研时还需要尽量得到准确数据、原始数据。实际调研中发现，我们只能得到各种物料、能源消耗的一段时间的平均值，具体选用月平均、季平均或年平均数据，则需要根据水足迹量化的目的来进行自主选择。另外，对调研得到的数据需要进行准确性甄别，例如，海水取水量应约等于产品水与浓盐水的总和，反渗透海水淡化系统的回收率约在 45%左右，不能过高或过低。输出部分则只涉及产品水和浓盐水，产品水主要关注其产量，浓盐水则跟排放方式有关，其水质参数按照标准 HY/T 289-2020 的浓盐水排放的相关参数进行调研，低于该标准规定限值则可直接排放，不产生水劣化足迹，若高于该规定限值，则需要按照临界稀释法或当量系数法进行水劣化足迹的核算。

(4) 核算方法

本标准的核算方法沿用 GB/T 33859-2017 的生命周期理论，分别进行水稀缺足迹和水劣化足迹的核算。水稀缺足迹采用链式求合法，将各输入清单的直接、间接水消耗一并计入；水劣化足迹可根据水足迹量化的实际需要选择临界稀释法或当量系数法。本标准直接引用 GB/T 37756-2019 中的水劣化足迹计算公式，未详细列出，主要原因是，根据起草组跟踪调研的某海水淡化厂全年的浓盐水水质监测数据（如表 1 所示），浓盐水水质远低于 HY/T 289-2020 规定的排放限值，水劣化足迹通常为 0，水劣化足迹公式通常不会用到，所以没有列出，以免累赘。

表 1 浓盐水排放标准限值及某海水淡化厂浓盐水水质

指标	单位	限值	浓盐水水质		
			夏季	春秋季	冬季
pH	—	6.5~8.5	7.68	7.78	7.85
铁	mg/L	≤0.3	<0.010	<0.010	<0.010
铝	mg/L	≤0.05	<0.04	<0.04	<0.04
总磷	mg/L	≤0.5	0.04123	0.02676	0.02976
铜	mg/L	≤0.2	0.00406	0.00328	0.00236
铬	mg/L	≤0.05	0.00314	0.00144	0.00135
镍	mg/L	≤0.02	0.00270	0.00248	0.00176

(5) 报告

报告部分则需要对水足迹量化整个过程进行完整的记录，并对数据来源、筛选、使用等方面进行说明和备注，尽可能做到可以对每个数据进行追溯，并使整个核算过程简洁明了，并对不使用、忽略的数据进行说明和解释。

(6) 核算示例

本标准所用示例为日产万吨级以上的某大型反渗透海水淡化系统，主要满足所在工业区内的工业项目用水问题，缓解区域用水紧张状况。

基于海水淡化系统的工艺流程，核算系统水足迹的系统边界应包括海水淡化系统的海水取水、预处理、脱盐、淡化后处理、浓盐水排放等工艺过程，以及围绕这些活动的其他相关活动（如膜产品的清洗、更换等），但不包括场地基础设施、设备、人员、产品水输出使用等活动。

本示例中海水淡化系统系统边界见图 1，具体数据见表 2。

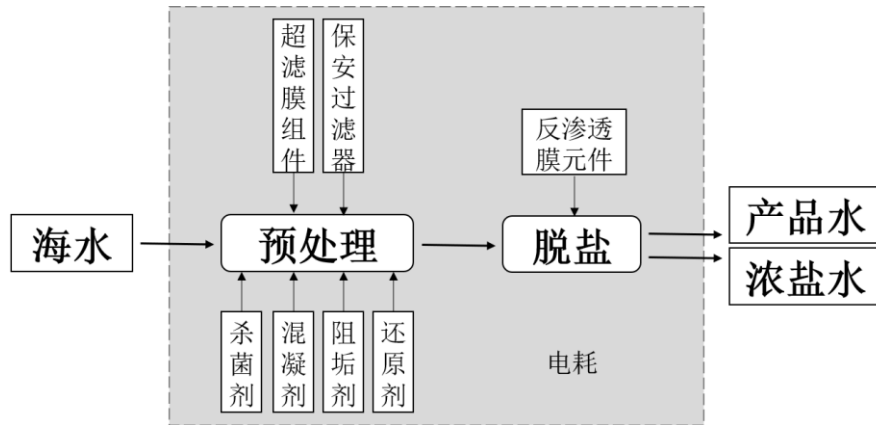


图 1 海水淡化系统水足迹核算的系统边界

表 2 某海水淡化系统日常运行数据

变量		夏季数值	春秋季数值	冬季数值	
输入	外购电力/ (kW h/天)	245453	245242	254851	
	外购药剂 / (kg/天)	次氯酸钠	5307	5195	5530
		亚硫酸氢钠	271	265	283
		三聚磷酸钠	1.25	1.25	1.25
		EDTA 四钠	0.25	0.25	0.25
		三氯化铁	1808	1770	1884
		阻垢剂	181	177	176
	膜产品 / (支)	超滤膜组件	6318	6318	6318
		反渗透膜元件	9408	9408	9408
保安过滤器滤芯		60	60	60	
输出	浓盐水/ (m ³ /天)	108575	106598	120009	
	产品/ (m ³ /天)	产品水	63589	61930	59406

注：该淡化系统所用超滤膜组件膜面积为 50 m²，更换周期 60 个月，反渗透膜元件膜面积为 37 m²，更换周期 48 个月；保安过滤器更换周期 3 个月。

水足迹核算方法沿用 GB/T 33859-2017 的生命周期理论，分别进行水稀缺足迹和水劣化足迹的核算。水稀缺足迹采用链式求合法，将各输入清单的直接、间接水消耗一并计入。所涉及物料的水足迹系数主要来自于 Ecoinvent 数据库、CLCD-China-ECER 数据库和 ELCD 数据库，具体数据见表 3。其中 EDTA 四钠的水足迹在数据库中没有查询到，故而采用相近的 EDTA 乙二胺的水足迹数据替代。最终的水足迹清单见表 4。

表 3 主要物料水足迹系数及数据库来源

类别	物质	物质单位	WU(kg)	数据库
电力	火电-华北电网	kW·h	3.65E+00	CLCD-China-ECER 0.8.1
	火电-全国平均	kW·h	3.62E+00	CLCD-China-ECER 0.8.1
药剂类	次氯酸钠	G	4.33E-03	CLCD-China-ECER 0.8.1
	EDTA 乙二胺	G	3.81E-05	Ecoinvent 3.1.0
	亚硫酸氢钠	G	8.21E-06	Ecoinvent 3.1.0
	三氯化铁	G	4.22E-06	Ecoinvent 3.1.0
	氢氧化钠	Kg	9.59E-03	Ecoinvent 3.1.0
	三聚磷酸钠	Kg	3.24E-02	Ecoinvent 3.1.0
	阻垢剂（焦磷酸钠）	Kg	2.63E-02	Ecoinvent 3.1.0
膜产品 耗材类	正己烷	Kg	2.01E-03	Ecoinvent 3.1.0
	PVDF	Kg	4.66E-02	Ecoinvent 3.1.0
	间苯二胺	Kg	1.29E-01	Ecoinvent 3.1.0
	尼龙	Kg	1.39E-02	Ecoinvent 3.1.0
	均苯三甲酰氯	Kg	2.47E-02	Ecoinvent 3.1.0
	PVC	Kg	5.72E+01	ELCD 3.0.0
	环氧树脂	Kg	1.94E-02	Ecoinvent 3.1.0
	玻璃钢	Kg	4.28E-02	Ecoinvent 3.1.0
	无纺布（PP）	Kg	3.44E+01	ELCD 3.0.0
	二甲基乙酰胺	Kg	1.13E-02	Ecoinvent 3.1.0
	聚矾	Kg	7.29E-02	Ecoinvent 3.1.0
	二甲基甲酰胺	Kg	1.00E-02	Ecoinvent 3.1.1

注：因超滤膜组件、反渗透膜元件及保安过滤器滤芯缺少相关研究，无法获得直接可用的水足迹系数，本示例中通过调研膜生产厂家，获得膜生产相关数据，最终计算得到相关膜产品水足迹系数，具体为超滤膜组件 175.5 kg H₂O/m²，反渗透膜元件 241.7 kg H₂O/m²，保安过滤器滤芯 0.67 kg H₂O/支。

表 4 淡化系统水足迹清单分析结果

变量		夏季	春秋季	冬季	
输入	海水/ (m ³ /天)	172164	168528	179415	
	外购电力/ (m ³ /m ³ 产品水)	1.41×10 ⁻²	1.45×10 ⁻²	1.57×10 ⁻²	
	外购药剂 / (m ³ /m ³ 产品水)	次氯酸钠	3.61×10 ⁻⁴	3.63×10 ⁻⁴	3.77×10 ⁻⁴
		亚硫酸氢钠	3.50×10 ⁻⁸	3.52×10 ⁻⁸	3.91×10 ⁻⁸
		三聚磷酸钠	6.36×10 ⁻¹⁰	6.53×10 ⁻¹⁰	6.81×10 ⁻¹⁰
		EDTA 四钠	1.50×10 ⁻¹⁰	1.54×10 ⁻¹⁰	1.60×10 ⁻¹⁰
		三氯化铁	1.20×10 ⁻⁷	1.21×10 ⁻⁷	1.34×10 ⁻⁷
		阻垢剂	7.48×10 ⁻⁸	7.51×10 ⁻⁸	6.67×10 ⁻⁸
	外购耗材 / (m ³ /m ³ 产品水)	超滤膜组件	4.25×10 ⁻⁵	4.36×10 ⁻⁵	4.55×10 ⁻⁵
		反渗透膜元件	8.12×10 ⁻⁵	8.34×10 ⁻⁵	8.70×10 ⁻⁵
保安过滤器滤芯		6.83×10 ⁻⁶	7.02×10 ⁻⁶	7.31×10 ⁻⁶	
输出	浓盐水/ (m ³ /天)	108575	106598	120009	
	产品水/ (m ³ /天)	63589	61930	59406	

水稀缺足迹采用全年平均值，通过式 (1) 得到的计算结果为 1.52×10⁻² m³/m³ 产品水。

$$WF_{sc} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (1)$$

起草组跟踪调研该海水淡化系统全年的浓盐水水质监测数据，浓盐水水质远低于排放限值，均符合 HY/T 289-2020 所要求的浓盐水排放要求，水劣化足迹为 0。淡化系统最终的水足迹量化结果如表 5 所示。

表 5 海水淡化系统水足迹量化结果

水足迹量化指标	单位	数值
水稀缺足迹	m ³ /m ³ 产品水	1.52×10 ⁻²
水劣化足迹	m ³ H ₂ O eq/m ³ 产品水	0

四、预期经济效果

本标准根据我国水足迹量化评价标准、海水淡化工艺流程及国家相关规定和标准要求制定的，针对我国海水淡化水足迹量化方法、评价手段缺失等问题，基于海水淡化完整工艺流程，确定水足迹核算边界，开展涵盖海水预处理、脱盐、淡化后处理全过程的、基于全国海水利用基础数据的海水淡化系统水足迹核算方法。实施后，可以推动海水淡化向科学节水的方向发展，为完善海水淡化评价指

标体系，引领技术发展提供技术支撑。这既符合国家节能减排政策，又能促使海水淡化技术净产水量增加，进一步缓解海岛、沿海缺水地区的水资源压力。

五、标准水平分析

海水淡化系统水足迹量化的研究目前还是空白，本标准基于 ISO 水足迹评价体系中产品水足迹核算的框架模型，建立海水淡化系统水足迹的量化方法，填补海水淡化领域水足迹研究的缺失，为完善海水淡化评价指标体系，推动节能环保型海水淡化技术发展提供技术支撑。综上所述，本标准方法达到国际先进水平，同时所规定的标准完全满足国际法规的要求，既有先进性、又有可行性。

六、与我国有关的现行法律、法规和相关强制性标准的关系

本标准与国家现行法律、法规和相关强制性标准不存在相违背和抵触的地方。

七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准作为推荐性行业标准发布实施。

八、贯彻标准的要求和措施建议

标准的发布部门应在相关的管理、使用单位及大专院校中提供本标准的宣传资料，举办标准培训班，让实施标准的人员理解和掌握标准的内容和要求，并说明标准的实施范围、起始日期，为标准的顺利实施奠定基础。各企、事业单位应根据本单位使用的需要，在标准发布后及时组织人员培训，按照本标准提出的贯彻实施要求落实措施，严格认真贯彻实施标准。

实施标准的单位在标准实施一定阶段后应进行总结，对标准的水平和实施标准的效果进行评价；实施中遇到问题，应及时与标准批准发布部门或标准起草单位沟通。标准批准发布部门或标准起草单位应随时了解标准实施中出现的问题，必要时提出纠正措施，列入计划，修订原标准。

九、其它需要说明的事项

无。