

# 海水脱硫工程用海评价指标浅析\*

张召才, 吕经烈, 郭春刚, 关毅鹏, 陈颖

(国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所 天津 300192)

**摘 要:** 结合海水脱硫工艺特点及脱硫工程用海对近海海域生态环境的影响分析, 确定了海水脱硫工程用海的评价指标, 提出海水脱硫工程用海的评价指标体系; 采用相关的国家标准对环境质量要求作为各承载力评价指标的分级标准, 确定了海水脱硫工程用海海域的海水水质、表层沉积物、底栖生物污染物、海洋生物等质量指标的评价等级; 为定量分析海水脱硫工程用海状况奠定基础。

**关键词:** 海水脱硫; 评价; 指标体系; 海域生态环境

21世纪以来, 全球海洋环境, 特别是近海海域环境持续恶化, 渔业资源衰退, 赤潮灾害频发等诸多环境问题。如何有效地保护近海海域生态环境已成为当前世界各沿海国家共同面临的问题。海水脱硫技术作为一种减少大气污染物的方法, 是否会给海洋环境带来二次污染, 是目前许多专家学者所关心的问题之一。已有研究机构调查海水脱硫工程用海的海域环境资源质量状况, 分析脱硫工程排放污染物对海域生态环境的影响, 目前的研究结果表明<sup>[1-4]</sup>海水脱硫工程排水对海洋环境的短期影响不明显, 而长期累积效应还有待于进一步观察, 特别是海水的重金属污染, 其潜在的危害较大。主要是进入海洋的重金属经海洋生物富集作用, 通过食物链进入人体产生危害。过量的重金属往往会对生物造成严重的危害, 且随着食物链传递, 特别是有些金属通过生物作用使形态发生变化, 例如无机汞在微生物作用下转化为有机汞(甲基汞), 使金属毒性效应大大提高, 孕妇体内的甲基汞可侵入胎儿脑组织, 引起胎儿畸形, 人体食用了铅污染的水产品会出现神经系统及消化系统障碍, 镉污染的水产品可使人体骨骼中钙质被镉取代, 造成骨质疏松。铜和锌的污染海水, 可以使鱼类的鳃和体表面腐蚀, 出现呼吸障碍, 甚至死亡<sup>[5]</sup>。尽管重金属入海后会有存在形态的变化或因物理、化学和生物

作用而发生迁移和转化, 以至于改变污染物固有的化学性质和毒性。但现实环境中, 大多数污染物会在生物体内蓄积而长时间难以排除体外。因此开展海水脱硫工程用海对海域环境的影响与评价的研究意义重大。

本文针对海水脱硫技术带来的海洋环境问题, 结合我国沿海各电厂海水脱硫工程用海实际状况, 给出评价指标, 通过综合分析脱硫海水水质、烟气污染物含量、海底沉积物质量、海洋生物资源等方面的因素, 构建适合我国海水脱硫工程用海评价指标体系, 为定量分析沿海各电厂海水脱硫工程对海洋环境的影响奠定基础, 为海洋资源的可持续利用与管理提供技术支撑, 以实现海洋生态系统的良性循环, 促进沿海地区社会经济的可持续发展。

## 1 评价指标选取原则

基于海水脱硫工程用海评价的内涵, 借鉴国内外相关研究的最新理论与方法, 海水脱硫工程用海评价指标的选取应遵循以下原则。

(1) 全面且具有代表性。海水脱硫工程对海域环境影响复杂, 海水脱硫工程用海评价的因素很多, 且影响程度的差异性较大。通过多因素综合评定法, 既要将近海海域的海水质量、生态环境资源及电厂实际工况等因素进行全面、综合的分析; 同时还应突出重点, 避繁就简,

\* 基金项目: 2011年国家海洋局业务化项目资助。

着重分析影响较大, 并具典型代表性的主导因素。

(2) 科学、客观。选取的评价指标应能客观反映海水脱硫工程对海洋生态环境影响状况, 既要科学、规范, 内涵明确, 又要考虑在实际操作中数据的可获性和指标量化的难易程度, 应力求使所选因素数据来源准确且便于统计与测算。

(3) 常规、定量、易获取。所选指标应尽量是反映海水脱硫工程对海洋生态环境影响的定量性评价指标, 以减少主观任意性, 且应是最常用、同时也是易获取的、综合性强、信息量大的规范性评价指标。

此外各评价指标应相互独立, 尽量避免重复计算; 同时所选指标内容要简单明了, 容易理解, 并具有较强的可比性。

## 2 评价指标体系的构建

目前, 海水脱硫工程用海的评价指标体系尚未建立, 也无统一的评价标准可循。如何构建海水脱硫工程用海的评价指标体系, 笔者在此略作尝试。遵循上述原则, 结合我国各沿海电厂海水脱硫工程对海洋生态环境的影响分析<sup>[1-4,6-8]</sup>, 采用理论分析、经验选择和专家咨询相结合的方法, 着重考虑对海洋生态环境的污染和承载力有重大影响的指标, 经过筛选集聚构建一套相应的内容丰富、层次清晰、针对性强的评价指标体系(图1)。

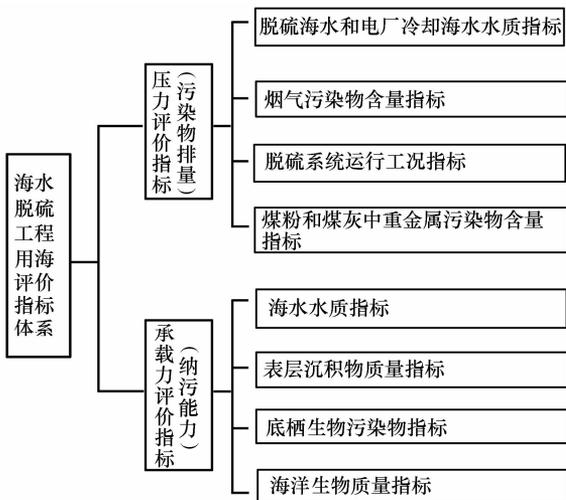


图1 海水脱硫工程用海评价指标体系

海水脱硫工程用海的评价指标是由海水脱硫工程的排污状况和海洋生态环境的承载力两方面因素决定的, 既受海域自然资源、环境因素的制约, 又受到海水脱硫系统运行工况、排水水质、烟气污染物含量等诸多因素的影响。其评价指标可分为两类: 一类是压力指标, 主要反映海水脱硫工程用海对附近海域生态环境的压力, 包括海水脱硫工程排放的海水水质、烟气、煤粉和煤灰中污染物含量等因素; 另一类是承载力指标, 主要反映海洋生态环境对海水脱硫工程运行中排放污染物的承载能力, 包括脱硫工程附近海域的海水水质、表层沉积物和底栖生物中污染物含量等海洋生态环境质量方面的指标。

## 3 承载力评价指标及其分级标准

为了分析海水脱硫工程对近海海域生态环境的影响程度, 建立既能反映海水脱硫工程用海实际情况, 又简便易行的评价方法。针对不同的承载力评价指标, 采用定量化计算并充分考虑相关的国家标准质量要求来确定各指标的评价等级, 各项评价指标的检测参照《海洋调查规范》《海洋监测规范》《海滨观测规范》等相关国家标准实施。

### 3.1 海水水质评价指标及分级标准

根据海水脱硫工艺排水特点, 基于保护海域生态环境的目标, 选择温升、pH、化学需氧量、悬浮固体物、溶解氧、无机氮、活性磷酸盐、汞、铜、铬、铅、锌、镉、砷等14项水质指标用于评价近海海域的水质环境状况。首先溶解氧是所有水生生物的基本需求, 但在海水脱硫中的亚硫酸根向硫酸根氧化过程中被消耗掉大部分, 低氧或缺氧状况下常会伴随着大量的生物降解, 有时会产生藻类残渣并释放腐臭气味; 其次伴随烟气中的飞灰进入海水的汞、铜、锌、镉、铬等重金属元素会在生物体内富集, 造成海洋生物的污染; 最后pH、水温等条件会严重危害养殖业类生物的繁殖与生长。

采用海水水质指标的目的是为了表征急剧恶化的水质状况。水质的恶化不包括在相应站位偶尔出现的缺氧、营养物质富集等情况。当水质指标等级被定为较差时, 表明在监测期间, 这一站

位的水质状况一直较差。如果此站位被定为良好或者一般, 则表明在采样期间, 这一站位不会出现较差的水质状况, 在其他时段有可能出现短暂的水质较差的状况。为了在具体站位评估这种不确定性, 应适当提高采样率。14 项水质指标的检测参照《海洋监测规范》(GB17378—2007) 和《海水水质标准》(GB3097—1997) 实施。

首先依据与本海域海洋功能区划水质标准要求符合程度, 对单个站位水体中的 pH、悬浮物、溶解氧, 以及汞、铜、锌、镉、铬等指标进行评价, 评价等级如表 1 所示。然后根据这 14 项指标确定单个站位的水质指标等级, 如表 2 分为良好、一般和较差 3 个等级。然后参考美国 2005 年《全国近岸状况报告 II》的判断标准计算各区域的水质指标等级 (表 3)。

表 1 各项水质指标分级标准

等级	标准
良好	完全符合本海域海洋功能区划水质标准
一般	不符合本海域海洋功能区划水质标准, 但符合低一类水质标准要求
较差	不符合本海域海洋功能区划水质标准, 也不符合低一类水质标准要求

表 2 单个站位的水质指标分级标准

等级	标准
良好	最多两项指标为一般, 没有 1 项指标为较差
一般	1 项指标为较差, 或两项或更多项指标为一般
较差	有两项或更多指标为较差
缺失	3 项指标缺失, 根据现有指标无法划分出一般或较差等级

表 3 区域水质指标分级标准<sup>[9]</sup>

等级	标准
良好	低于 10% 的海域水质状况较差, 或 50% 以上的海域水质状况良好
一般	10%~20% 的海域水质状况较差, 或 50% 以上的海域水质状况是一般和较差
较差	20% 以上海域水质状况较差

### 3.2 表层沉积物质量评价指标及分级标准

对于海水脱硫工艺排水的受纳海域水体来说, 另一个主要的环境问题就是沉积物中有毒

化学品等污染物的富集。来自燃煤烟气中的多种金属和有机物 (硫化物、芳烃、二恶英等) 被脱硫海水带入大海, 并最终在沉积物中被累积。这些污染物可以破坏无脊椎动物、贝类和甲壳类动物等底栖生物群落稳定性, 并且可在生物体内富集, 通过食物链进一步危害人类的健康。

结合海水脱硫工艺排水水质特征和我国沉积物质量标准 GB 18668—2002 共确定石油类、汞、铜、锌、镉、铅、砷、铬、总有机碳、硫化物等 10 项沉积物质量指标, 由于我国海洋功能区划中并未对海洋沉积物质量进行要求, 因此就依照沉积物质量标准中一、二、三类沉积物质量标准要求来评价 10 项沉积物质量指标的良好、一般、较差 (表 4)。

表 4 10 项沉积物质量指标分级标准

等级	标准
良好	符合第一类标准要求
一般	不符合第一类标准要求, 但符合第二类标准要求
较差	不符合第一类与第二类标准要求

完成单个站位沉积物中的总有机碳、硫化物、油类以及汞、铜、锌、镉、铬等指标的评价, 然后根据这 10 项指标确定单个站位的沉积物质量指标等级, 也分为良好、一般和较差 3 个等级 (表 5)。同理依据表 6 列出的标准判断各区域的沉积物质量指标等级。

表 5 单个站位的沉积物质量指标分级标准

等级	标准
良好	最多 1 项指标为一般, 没有 1 项指标为较差
一般	两项或更多项指标为一般, 或没有 1 项指标为较差
较差	有 1 项或更多指标为差
缺失	3 项指标缺失, 根据现有指标无法划分出一般或较差等级

表 6 区域沉积物质量指标分级标准<sup>[9]</sup>

等级	标准
良好	低于 5% 的海域沉积物质量状况较差, 或 50% 以上的海域沉积物质量状况良好
一般	5%~15% 的海域沉积物质量状况较差, 或 50% 以上海域沉积物质量状况一般和较差
较差	15% 以上海域沉积物质量状况较差

### 3.3 底栖生物污染物评价指标及分级标准

底栖生物在海水生态系统中具有重要的作用,但由于底栖生物的迁徙能力差,无法规避环境的污染问题,因此经常被作为环境受干扰程度的指示生物。底栖生物体(鱼类、贝类和软体类等)内污染物是反映污染物富集状况和环境受干扰程度的敏感指标,也是评价近海域环境质量的可靠指标。采集电厂附近海域捕捞或海水养殖的贝类的底栖生物进行重金属残毒量分析,对评价海域生态环境质量状况具有重要意义,因此选择6项重金属指标作为底栖生物污染物指标。

首先,依据我国海洋生物质量标准 GB 18421-2001 中一、二、三类底栖生物质量标准要求,评价汞、铜、铬、铅、锌、镉、砷等6项底栖生物污染物指标状况。

其次,根据这6项指标判断单个站位底栖生物污染物指标等级。

最后,计算该区域底栖生物污染物指标的评价等级,其分级标准见表7。

表7 底栖生物污染物指标分级标准

等级	底栖生物污染物指标分级	单站状况分级	区域状况分级 <sup>[9]</sup>
良好	符合第一类标准要求	最多1项指标为一般,没有1项指标为较差	小于10%的底栖生物质量状况较差,50%以上的底栖生物质量状况良好
一般	不符合第一类标准要求,但符合第二类标准要求	两项或更多项指标为一般,或没有一项指标为较差	10%~20%底栖生物质量状况较差,或50%以上的底栖生物质量状况是一般和较差
较差	不符合第一类与第二类标准要求	有1项或更多项指标为较差	大于20%底栖生物质量状况较差

### 3.4 海洋生物质量评价指标与分级标准

浮游生物的物种组成、优势种群及群落结构特征指数(如多样性指数、均匀度指数、优势度)可在一定程度上反映出环境的变化,其中多样性指数在国内外普遍被用来描述生物群落

的生态学特征,也常用来监测海水底栖生物群落结构的变化,被认为是一个较好的评价污染程度的工具。均匀度是衡量种群中各种类的数量分布是否均衡的指标,其最大值为1,最小值为0。一般来说,在水质状况较好的海域,浮游植物的种类数较多且种间比例较均匀,因而多样性指数较大、均匀度指数较高。反之,在重污染的海域,种类数少且种间比例不均匀,多样性指数小、均匀度指数低。因此选定浮游植物种类多样性指数和均匀度指数两项指标作为评价海洋生物质量的指标。同理依据表8和表9列出的标准判断评价指标等级。

表8 浮游生物种类多样性指数、均匀度指数与污染程度的关系<sup>[10-11]</sup>

污染程度	多样性指数	均匀度指数
重污染	≤1	≤0.3
中度污染	1~3	0.3~0.5
轻污染或无污染	≥3	≥0.5

表9 海洋生物质量指标分级标准

等级	生物质量指标分级	单站状况分级	区域状况分级
良好	轻污染或无污染	没有1项指标为一般或较差	小于10%的生物质量状况较差,或50%以上的生物质量状况良好
一般	中度污染	1项或更多项指标为一般,或没有1项指标为较差	10%~20%的生物质量状况较差,或50%以上的生物质量状况是一般和较差
较差	重污染	有1项或更多项指标为较差	20%以上生物质量状况较差

### 3.5 承载力评价指标综合分析

海水脱硫工程用海对近海域生态环境承载力的评价选择海水水质、表层沉积物、底栖生物污染物与海洋生物质量等四类指标,尽管这些指标不能反映海水脱硫工程用海附近海域的所有特征,但却能够提供有关附近海域的生态环境质量状况及其是否可以满足海洋生物和海域正常使用功能

方面的信息。例如在某一站位,如果四类指标中任何一项的等级被定为较差,那么这个站位被确定为海域正常使用功能受到损害;如果四类指标中两项或多项的等级被定为一般,并且没有1项被评为较差,那么这个站位被列为海域正常使用功能受到威胁;如果四类指标全部被评为良好,或者只有1项指标被评为一般,没有指标被评为较差,那么这个站位被确定为海域正常使用功能未受到损害。因此,海水脱硫工程用海评价结果可用于评估近海域生态环境质量是否能满足海域正常使用功能的要求。

## 4 结 论

目前,关于海水脱硫对海域生态环境影响的研究较多,而海水脱硫工程用海的评价指标体系方面研究很少,本文就这方面进行了初步探讨,由于不同海域的扩散交换条件差别较大,应根据各沿海当地海洋生态环境的实际状况,对评价指标体系及其分级标准进行适当调整,或选择试点海域,建立一个更合理、科学、完善的评价指标体系,为海洋资源的可持续利用与管理提供技术支持。

## 参考文献

[1] 宋晓东. 浅谈烟气海水脱硫工艺排水对海洋环境

的影响[J]. 山东电力高等专科学校校报, 2000, 3(3): 44-48.

[2] 吴来贵. 深圳西部电厂4号机组海水脱硫系统监测分析[J]. 热能动力工程, 2003, 18(2): 200-202.

[3] 白凤春, 孙志宽. 渤海湾燃煤电厂脱硫工艺选择[J]. 电力环境保护, 2007, 23(5): 24-26.

[4] 郭娟, 袁东星, 陈进生, 等. 燃煤电厂海水脱硫工艺的排水对海域环境的影响[J]. 环境工程学报, 2008, 2(5): 707-711.

[5] 丁德文, 石洪华, 张学雷. 近岸海域水质变化机理及生态环境效应研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 98-115.

[6] 司靖宇, 杨华. 烟气海水脱硫温排水对海域环境的影响[J]. 内蒙古石油化工, 2007(2): 12-14.

[7] 陈进生. 烟气海水脱硫工艺排水对海域水质的影响预测[J]. 海洋技术, 2006, 25(2): 112-116.

[8] 耿晓波. 华能大连电厂海水脱硫系统优化运行研究[J]. 东北电力技术, 2011(1): 28-33.

[9] EPA. National coastal condition report II(2005) [EB/OL]. (2004-11)[2012-03-01]. [http://water.epa.gov/type/oc/b/2005\\_downloads.cfm](http://water.epa.gov/type/oc/b/2005_downloads.cfm).

[10] 蔡立哲, 马丽, 高阳, 等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2002, 41(5): 641-646.

[11] 蔡清海, 杜琦, 钱小明, 等. 福建省三沙湾海洋生态环境质量综合评价[J]. 海洋学报, 2007, 29(2): 156-160.