

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/TJSES

天津市环境科学学会团体标准

T/TJSES XXXX—2023

干散货码头扬尘污染防治技术绩效评估指标体系

Performance Evaluation Index System of Dust Pollution Prevention and control
technology in dry bulk terminals

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

天津市环境科学学会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本原则 1

5 评估指标体系 2

6 评估方法 5

7 评估结果表达 8

8 企业应用 8

前 言

本文件按照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》的规定起草。

本文件由天津环科瞻云科技发展有限公司提出。

本文件由天津市环境科学学会归口。

本文件起草单位：天津港股份有限公司、天津环科瞻云科技发展有限公司、天津港第四港埠有限公司、天津港汇盛码头有限公司、天津港焦炭码头有限公司、天津港远航矿石国际码头有限公司、天津港中煤华能煤码头有限公司、天津市环科环境科技有限公司。

本文件主要起草人：黄文栋、安国利、宋天威、杜浚铭、王建、杨忠、杨成良、刘峰、吴菲、姜涛、梁岑、杨立斌、张宁、王星霖、郭立、杨捷、桑换新、张洪铭、张旭平、董昊鑫、尚建程、刘义、王文秀。

本标准为首次发布。

干散货码头扬尘污染防治技术绩效评估指标体系

1 范围

本文件确立了干散货码头作业环节扬尘污染防治技术的评价指标和评估方法。

本文件适用于港口干散货码头装船作业、卸船作业、堆存作业、堆取作业、卸车作业、装车作业、转运作业等产生扬尘污染的作业环节所采用的湿式除尘/抑尘、干式除尘、封闭措施、防风抑尘、覆盖措施等污染防治技术的绩效评估。

本文件适用于同一作业环节采用的两种及以上扬尘污染防治技术的绩效评估。

干散货码头扬尘污染防治创新技术绩效评估可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 16297 《大气污染物综合排放标准》
- HJ 1107 《排污许可证申请与核发技术规范 码头》
- JTS 156 《煤炭矿石码头粉尘控制设计规范》
- JTS 149 《水运工程环境保护设计规范》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

干散货码头 Dry bulk terminal

指供装载各种初级产品、原材料等散货船舶停靠、装卸作业的码头。

3.2

码头扬尘 Pier dust

指码头各工业料堆（如煤堆、沙石堆以及矿石堆等）由于堆积、装卸、传送等操作以及风蚀作用等造成的扬尘。

3.3

层次分析法 Analytic Hierarchy Process

是指将与评估有关的元素分解成目标、准则、方案等层次，在此基础之上进行定性和定量分析的评估方法。

4 基本原则

4.1 指标体系构建原则

4.1.1 科学性原则

指标建立应具有充分的科学依据，以量化的形式恰当反映评估对象不同评价指标的特性，以便于对扬尘污染治理技术做出客观的评估，避免人为或主观的影响。每个指标、每级指标的命名、表示、设置也要有科学依据，指标的解释要有理有据，严格遵守学术规范。

4.1.2 适用性原则

充分考虑不同生产作业环节所涉及的扬尘污染治理技术种类，并在构建指标体系过程确保评价指标适用于不同治理技术，同时使指标体系对每一个评估对象都是公平可比的，从而达到一套指标体系可以应用于港口干散货码头各个不同生产作业环节的目的。

4.1.3 可量化原则

为了评估结果的准确和客观，减少主观判断造成的误差，在确定指标体系评价指标时，应尽量减少定性指标的使用，增加定量指标的配置，同时指标应符合客观实际，数据来源要选择易于获取、统计流程规范、统计口径，以便于后期整理计算。全面考虑扬尘污染治理技术在使用过程中的各种影响因素，在环境、经济、技术方面量化评价指标。

4.1.4 独立性原则

在指标的选用过程中，需要尽可能地选用独立性较强的指标，指标间保证信息独立、不重叠，从而增加评估的准确性和科学性。选择有代表性的综合指标和主要指标，辅之以一些辅助指标，各个相对独立的评估指标构建成一个比较完备的、能够客观评估不同扬尘治理技术的指标体系，从而更加客观地反映评估技术对象的实际情况和特征。

4.1.5 确定性原则

评估指标应是确定性的，舍弃不确定性的指标，避免选择不能直接衡量扬尘污染治理技术优劣性的指标。同时指标体系内容不宜变动过多、过频，应保持其相对稳定性。同时应充分考虑当前技术发展水平，确保选择出来的指标能够作为一段时期内关键技术筛选的评估指标，能够使最终的评估结果具有较长的时效性、先进性和可操作性。

4.2 权重确定原则

权重是以某种数量形式对比、权衡评价事物总体中诸因素相对重要程度的量值。技术评估体系各指标权重合理与否，直接关系到评估结果的客观性、公正性、合理性。权重确定遵循以下原则：

4.2.1 客观性

权重应该客观反映各指标对综合指标值的贡献，在进行权重计算过程中时，应考虑不同指标对扬尘污染治理的客观影响，尽量减少主观因素影响，权重计算结果应符合当前发展实际，对于权重值差距较大的指标，通过文献调研或专家咨询的方式进行验证、分析、调整，保证最终权重计算结果的客观性和公正性。

4.2.2 相关性

在确定权重时，要以整体相关性和最优化作为最终目标，对评估指标体系中各项指标进行分析比对，权衡他们各自对整体的作用和影响，然后对重要性作出判断，在确定权重过程中，既不能平均分配，又不能片面强调某个指标、单个指标最优化，而忽略其他方面的发展，充分考虑扬尘污染治理技术各个评价因素对整体的影响，确保同一层级或不同层级权重值的计算结果符合逻辑判断和相关性原则。

4.2.3 层次性

通过对评估指标体系指标权重结果由高到低、由宏观到微观进行综合排序，使各层级指标权重表达结果具有一定的层次性，层次单排序与层次综合排序结果应与实际情况相符合，并且能够直观反映各评价指标在整体评估指标体系中的影响程度，同时可以验证不同指标权重计算结果在各层次中的合理性。

5 评估指标体系

5.1 指标选取说明

基于评估指标体系构建基本原则，采用层次分析法将扬尘污染防治技术绩效评估指标体系按照“目标层-准则层-要素层-指标层”四层级构建。

5.1.1 目标层

第一层为目标层，即扬尘污染防治技术绩效评估。

5.1.2 准则层

第二层为准则层，对于企业扬尘污染防治技术水平的综合评估，需要以环境水平作为第一要素，结合企业成本投入，将污染防治效果与企业经济发展相适应，同时还应考虑到污染防治技术在企业实际应用过程中的技术可行性，按照指标体系适用范围，拟设置环境指标、经济指标、技术指标三个不同方面进行评价，通过评估结果来判断扬尘污染防治技术的应用效果和优化提升方向，使企业在提高污染防治水平的同时，对经济、技术水平进行综合评估。

5.1.3 要素层

第三层为要素层，要素层通过将准则层进一步细化，更多角度、全方位的对污染防治技术水平深入评估。环境指标方面，通过对评价范围内治理技术进行充分调研，确定将抑尘效果作为最直接和最主要的评价指标，同时将污染防治技术可能带来的二次污染纳入评价体系，结合当前国家“碳达峰、碳中和”工作要求，最终确定抑尘效果、二次污染、碳排放影响三个方面作为要素层指标；经济指标方面，企业环境水平提升改造势必会造成环境投资的增加，同时也会为企业带来间接的环境收益，所以通过技术成本、技术收益两个方面作为要素层评价指标；技术指标方面，通过调研结果显示，不同扬尘治理技术在实际运行过程中，安全性、治理稳定性、可操作性存在较大差异，并且可直接影响到企业的扬尘污染防治技术水平，综合考虑最终确定技术可靠性、技术实操性体现技术指标两个方面作为要素层指标。

5.1.4 指标层

第四层为指标层，是用来评估扬尘污染治理技术综合水平的具体表现，结合当前扬尘治理技术发展情况，对各要素层指标进一步细化为多维度具体评价指标。

5.2 指标体系框架

扬尘污染技术绩效评估指标体系由3个准则层指标、7个要素层指标和16个指标层指标组成，扬尘污染防治技术绩效评估指标体系框架见表1。

表1 扬尘污染防治技术绩效评估指标体系框架

目标层	准则层	要素层	指标层
扬尘污染防治技术绩效评估	环境指标	抑尘效果	总悬浮颗粒物去除率
		二次污染	大气污染影响
			废水污染影响
			固废污染影响
		碳排放影响	电能消耗
			化石能源消耗
	经济指标	技术成本	工程建设投资
			直接运行成本
		技术收益	技术应用生产收益
			货物节约效益

表1 扬尘污染防治技术绩效评估指标体系框架（续）

目标层	准则层	要素层	指标层
扬尘污染防治技术绩效评估	技术指标	技术可靠性	运行安全性
			治理稳定性
			设施耐久性
		技术实操性	操作难易度
			使用灵活度
			技术适用性

5.3 各级指标权重值

采用标度法确定目标层下各层级指标权重，并通过一致性检验权重合理性，确定扬尘污染防治技术绩效评估指标体系各层级权重值见表2。

表2 扬尘污染防治技术绩效评估指标权重

准则层	准则层指标权重	要素层	要素层指标权重	要素层指标总权重	指标层	指标层指标权重	指标层指标总权重
环境指标	0.493	抑尘效果	0.594	0.293	总悬浮颗粒物去除率	1	0.293
		二次污染	0.157	0.077	大气污染影响	0.163	0.013
					废水污染影响	0.297	0.023
					固废污染影响	0.54	0.042
		碳排放影响	0.249	0.123	电能消耗	0.667	0.082
					化石能源消耗	0.333	0.041
经济指标	0.196	技术成本	0.8	0.157	工程建设投资	0.25	0.039
					直接运行成本	0.75	0.118
		技术收益	0.2	0.039	技术应用生产收益	0.8	0.031
					货物节约效益	0.2	0.008
技术指标	0.311	技术可靠性	0.833	0.259	运行安全性	0.674	0.157
					治理稳定性	0.226	0.053
					设施耐久性	0.1	0.023
		技术实操性	0.167	0.052	操作难易度	0.493	0.026

表2 扬尘污染防治技术绩效评估指标权重（续）

准则层	准则层指标权重	要素层	要素层指标权重	要素层指标总权重	指标层	指标层指标权重	指标层指标总权重
技术指标	0.311	技术实操性	0.167	0.052	使用灵活度	0.196	0.01
					技术适用性	0.311	0.016

6 评估方法

6.1 评估对象

针对干散货码头在某一作业环节不同扬尘污染防治技术的综合评估，一般评估对象为两种及以上扬尘污染防治技术，通过各项指标应用效果定性或定量分析，评估不同扬尘污染防治技术对某一作业环节应用防尘抑尘效果情况，指导企业选择最优污染防治技术。

6.2 指标说明及计算方法

评价指标计算方法应结合企业实际情况，在保证比较因素相同的条件下确定，本标准中给出的计算方法适用于常规干散货码头污染防治技术各项评价指标的计算，企业可在实际应用过程中进行合理调整。

6.2.1 环境指标

6.2.1.1 抑尘效果

- 1) 总悬浮颗粒物去除率：定量指标，通过除尘前后总悬浮颗粒物排放浓度，确定去除效率，计算方法见公式（1）。

$$S_{TSP} = \frac{C_{TSP前} - C_{TSP后}}{C_{TSP前}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：
S_{TSP}——为总悬浮颗粒物去除效率，%；
C_{TSP前}——为采取治理措施前的总悬浮颗粒物浓度，mg/L；
C_{TSP后}——为采取治理措施后的总悬浮颗粒物浓度，mg/L。

6.2.1.2 二次污染

- 1) 大气污染影响：定量指标，通过实地检测或以往数据得到污染物排放总量，计算方法见公式（2）。

$$S_{FQ} = V_{FQ} \times T \dots\dots\dots (2)$$

式中：
S_{FQ}——为废气排放量，t/a；
V_{FQ}——为各废气污染物排放速率，kg/h；
T——为工作时间，h/d。

- 2) 废水污染影响：定量指标，通过废水排放统计量或根据用水量折算，计算方法见公式（3）。

$$S_{FS} = S_{YS} \times K \dots\dots\dots (3)$$

式中：
S_{FS}——为废水排放量，t/a；
S_{YS}——为污染治理设施用水量，t/a。
K——为不同状态下用水量折算系数，取值一般为0.4-0.8。

- 3) 固废污染影响：定量指标，通过企业固废记录台账获取。

6.2.1.3 碳排放影响

- 1) 电能消耗：定量数据，通过污染治理设施所用电器功率和工作时间计算，计算方法见公式（4）。

$$E=P \times T \cdots \cdots (4)$$

式中：

E——为电能消耗量，kW·h/a；

P——为除尘电器功率，kW；

T——为工作时间，h/d。

- 2) 化石能源消耗：定量数据，通过污染治理设施化石能源实际使用量获取。

6.2.2 经济指标

6.2.2.1 技术成本

- 1) 工程建设投资：定量指标，通过一次性建设投资费用与日处理颗粒物量之比按电耗折算，计算方法见公式（5）。

$$F_{TZ} = \frac{F_T + F_S + F_A}{Q_{D-TSP} \times F_D} \cdots \cdots (5)$$

式中：

F_{TZ} ——为单位建设投资折算数，万kW·h/t；

F_T ——为土建费用，万元；

F_S ——为设备购置费用，万元；

F_A ——为安装及其他费用，万元；

Q_{D-TSP} ——为日处理总悬浮颗粒物的量，t/d；

F_D ——为平均电价，元/kW·h。

- 2) 直接运行成本：定量指标，通过评估技术处理 1 吨颗粒物所需的直接成本折算为耗电量，计算方法见公式（6）。

$$F_{YX} = \frac{F_{ZJ}}{Q_{A-TSP} \times F_D} \cdots \cdots (6)$$

式中：

F_{YX} ——为直接运行成本单位折算数，kW·h/t；

F_{ZJ} ——为直接运行费用（包括水费、电费、耗材费、人工费及其他费用，元/a；

Q_{A-TSP} ——为年处理总悬浮颗粒物的量，t/a；

F_D ——为平均电价，元/kW·h。

6.2.2.2 技术收益

- 1) 技术应用生产收益：定量指标，通过采用污染治理技术后货物吞吐量直接反映。
- 2) 货物节约效益：定量指标，通过全年干散货储运量，按照《排污申报登记使用手册》“煤炭堆存、装卸系数”折算，计算方法见公式（7）。

$$J_{HW} = X \times Y_{HW} \cdots \cdots (7)$$

式中：

J_{HW} ——为货物节约量，t/a；

X——为不同治理技术产排污系数；

Y_{HW} ——为年货物储运量，t/a。

6.2.2.3 技术可靠性

- 1) 运行安全性：定性指标，通过治理设施近年来发生事故数量，结合文献查阅或专家咨询赋值。
- 2) 治理稳定性：定量指标，通过污染物去除率变异系数均值表示，计算方法见公式（8）。

$$W = 1 - S \div \text{Mean} \cdots \cdots (8)$$

式中：

W——为运行稳定性，无量纲；
S——为颗粒物去除率的标准差，%；
Mean——为颗粒物去除率的均值。

3) 设施耐久性：定性指标，通过治理设施近年来故障数量、更换频次，结合文献查阅或专家咨询赋值。

6.2.2.4 技术实操性

- 1) 操作难易性：定性指标，确定扬尘污染防治设施实际操作难易程度，通过文献查阅或专家咨询赋值。
- 2) 使用灵活度：定性指标，一般指污染防治技术在实际应用过程中在同一作业环节不同作业点位间的操作灵活度。
- 3) 技术适用性：定性指标，主要指技术在不同使用场景的实际应用性，例如季节影响、气候影响或货物种类影响等。

6.3 指标无量纲化

应用无量纲化方法中的最大值法分别对正向影响指标（总悬浮颗粒物、技术应用生产收益、货物节约效益、治理稳定性、操作难易度、使用灵活度、技术适用性）、负向影响指标（大气污染影响、废水污染影响、固废污染影响、电能消耗、化石能源消耗、工程建设投资、直接运行成本、运行安全性、设施耐久性）进行计算，将评估选取的多个污染防治技术中指标最优数值假定为该评价指标标杆值，以消除主观判断影响，客观的对不同污染防治技术进行有效对比。

正向影响指标计算公式为：

$$y_i = \frac{x_i}{M_{xi}} \dots\dots\dots (9)$$

负向影响指标计算公式为：

$$y_i = \frac{M_{xi}}{x_i} \dots\dots\dots (10)$$

式中：
y_i——为归一化后指标i距离标杆值的距离；
x_i——为评价指标i的实际数据；
M_{xi}——为评价指标i的标杆值。

6.4 评估得分计算

根据指标层数据计算及归一化结果，分别对要素层、准则层和综合评估得分计算，计算公式如下。

6.4.1 要素层得分

要素层主要包括抑尘效果、二次污染、碳排放影响、技术成本、技术收益、技术可靠性、技术实操性，各指标得分计算方法见公式（11）。

$$G_Y = \sum_{i=1}^n I_N \times W_i \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中：
n——为指标层指标数；
G_Y——为要素层得分；
I_N——为指标层归一化数值；
W_i——为指标层权重。

6.4.2 准则层得分

准则层主要包括环境指标、经济指标、技术指标，各指标得分计算方法见公式（12）。

$$G_Z = \sum_{i=1}^n G_Y \times W_Y \dots\dots\dots (12)$$

式中：
n——为要素层指标数；
G_Z——为准则层得分；

G_Y ——为要素层得分；
 W_Y ——为要素层权重。

6.4.3 综合得分

扬尘污染防治技术绩效评估综合得分计算方法见公式（13）。

$$G_S = \sum_{i=1}^n G_Z \times W_Z \dots\dots\dots (13)$$

式中：
 n ——为准则层指标数；
 G_S ——为综合得分；
 G_Z ——为准则层得分；
 W_Z ——为准则层权重。

7 评估结果表达

综合评估结果分为三种表达形式：

- 1) 准则层指标采用三维坐标系表达，将环境指标、经济指标、技术指标三个维度的数值以（ x, y, z ）坐标表示，通过三维空间将评估结果可视化，得到各准则层指标绩效评估结果；
- 2) 要素层指标采用雷达图表达，将抑尘效果、二次污染、碳排放影响、技术成本、技术收益、技术可靠性、技术实操性七个评价指标通过雷达图表示，得到各要素层指标绩效评估结果情况；
- 3) 扬尘污染防治技术综合水平绩效评估结果以综合得分形式表达。

8 企业应用

根据干散货码头扬尘污染防治技术绩效评估结果表达，企业在技术实际选取过程中，如需选择综合水平较高的污染防治技术，则优先选取综合得分较高者；如需选择环境、经济、技术层面某项指标水平较高者，则根据三维空间表达图选取侧重指标技术；如需选择抑尘效果、二次污染、碳排放影响、技术成本、技术收益、技术可靠性、技术实操性层面某项指标水平较高者，则根据雷达表达图选取侧重指标技术。