

DB4403

深圳市地方标准

DB4403/T XXX—XXXX

生态环境损害鉴定评估技术指南 典型行业工业废水治理成本核算

Technical guidelines for identification and assessment of environment
damage—Cost accounting of industrial wastewater treatment in typical
industries

(送审稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

深圳市市场监督管理局 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 工作程序	1
5 数据调研	2
6 核算方法	3
7 计算单位治理成本	4
附录 A（资料性） 数据资料说明	5
附录 B（资料性） 工业废水单位治理成本调研数据统计表	7
附录 C（资料性） 模型检验方法及判定标准	8
附录 D（资料性） 深圳市典型行业工业废水单位治理费用模型参数参考值	10
参考文献	11

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。

本文件由深圳市生态环境局提出并归口。

本文件起草单位：深圳市环境科学研究院。

本文件主要起草人：高俊丽、李军红、王越、袁博、张晓琴、张彬声、周怡彤、林赐铭、王乃豪、宁冲、郑浩鑫、向凤密、林崇业、陈美瑞、吴文菁、张超凡、曾恒、高禹婷。

生态环境损害鉴定评估技术指南 典型行业工业废水治理成本核算

1 范围

本文件规定了深圳市典型行业工业废水单位治理成本核算的适用范围、工作程序、数据调研、核算方法、成本计算等内容。

本文件适用于深圳市辖区范围内（含深汕特别合作区）使用地表水污染虚拟治理成本法的生态环境损害鉴定评估中工业废水单位治理成本核算工作。

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/T 39793.2 生态环境损害鉴定评估技术指南 基础方法 第2部分：水污染虚拟治理成本法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

虚拟治理成本 virtual disposal cost

按照现行的治理技术和水平治理排放到环境中的污染物所需要支出的费用总和。

3.2

单位治理成本 unit abatement cost

工业生产企业或专业污染治理企业治理单位质量的废水所产生的费用。

[来源：GB/T 39793.2—2020, 3.1, 有修改]

注：一般包括固定资产折旧费用等治理投资费用，药剂费、人工费、电费、维修保养费等治理运行费用。

3.3

地表水污染虚拟治理成本法 imputed abatement cost for surface water pollution

以现行技术方法能够将废水治理达到相关标准所需的成本为基础，同时考虑废水中物质或污染物的危害性、浓度以及地表水环境功能等因素进行损害数额计算的一种环境价值评估方法。

注：适用于非法排放或倾倒废水等排放行为事实明确，但损害事实不明确或无法以合理的成本确定地表水生态环境损害范围、程度和损害数额的情形。

[来源：GB/T 39793.2—2020, 5.1, 有修改]

3.4

哑变量 dummy variables

又称虚设变量或名义变量，属于定性解释变量。

注：通常取值为0或1。引入哑变量的目的是将不能定量处理的变量量化，在线性回归分析中引入哑变量可以考察定性因素对因变量的影响。

4 工作程序

4.1 开展数据调研

通过收集资料、实地调研等方式获取工业废水治理成本核算相关数据。工业废水单位治理成本分为工业废水单位治理投资费用及单位治理运行费用，其中，工业废水单位治理投资费用包含房屋建筑工程、

工业废水治理设备及与工业废水治理有关的其他设备等固定资产折旧费用；工业废水单位治理运行费用包含药剂费、人工费、电费、维修保养费等。

4.2 确定核算方法

确定工业废水单位治理投资费用模型及单位治理运行费用模型，并确定模型检验方法。

4.3 计算单位治理成本

依据已有数据，计算得出费用模型中相关参数取值，确定费用核算模型。对费用核算模型进行检验，检验结果及其对应处理方法为：

- a) 若未通过检验，则需再次开展数据调研，利用获取到的更多核算数据，重新运行核算模型；
- b) 若通过检验，则利用通过验证的费用核算模型，进一步确定单位治理成本。

具体工作程序参照GB/T 39793.2—2020中“4 工作程序”进行确定，详见图1。

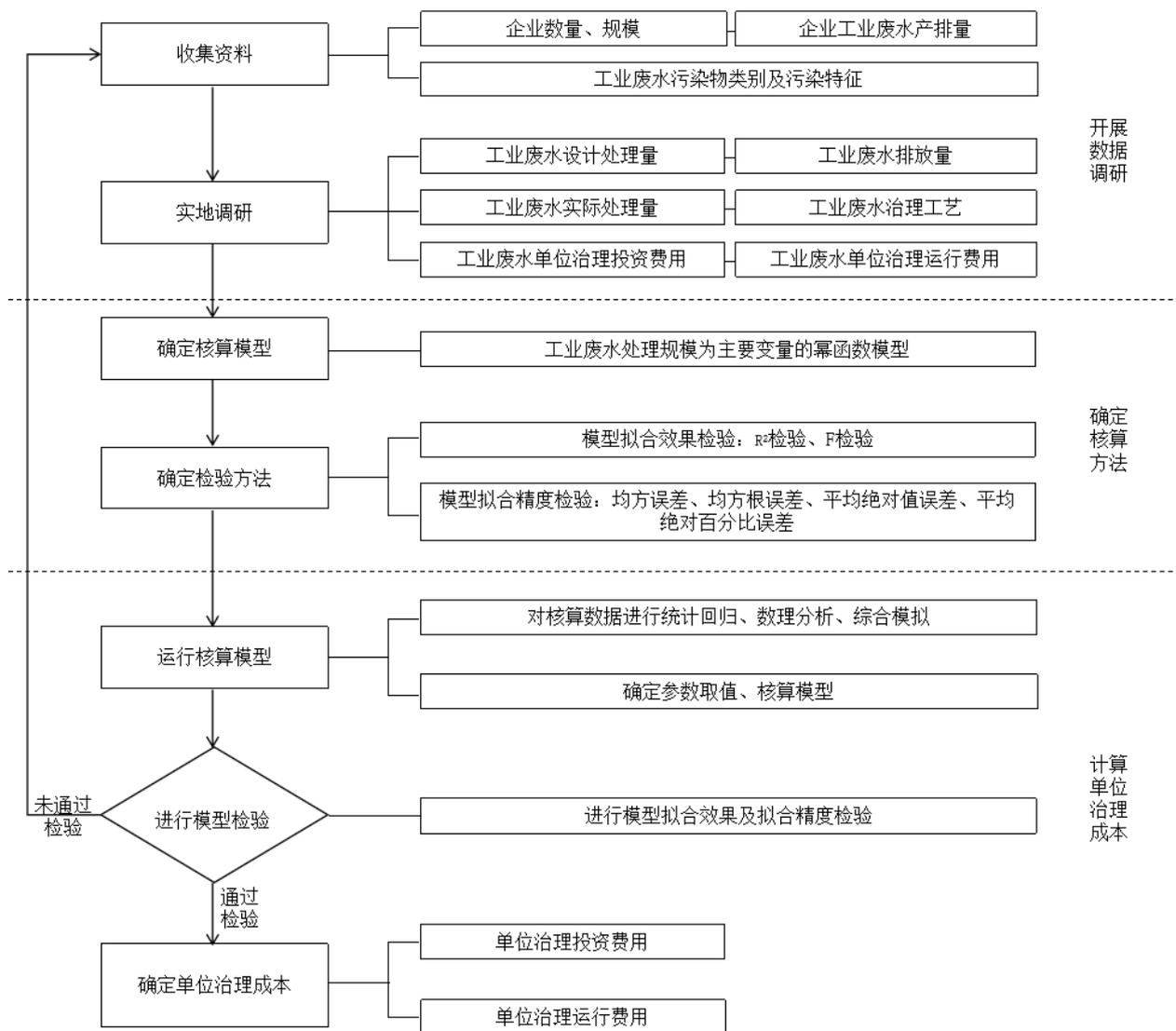


图1 工作程序

5 数据调研

5.1 收集资料

收集开展工业废水单位治理成本核算所需要的相关文献资料、监测、统计、清查等数据，包括但不限于各行业企业数量及规模、工业废水处理及排放量、废水污染物类别及污染特征等资料。收集资料需获取的相关数据参照GB/T 39793.2—2020中“3.1 单位治理成本”及“4 工作程序”进行确定。

5.2 实地调研

实地调研分为调研方案制定、调研对象选择、调研人员培训、调研任务实施及调研数据质控等，相关数据资料说明见附录A，调研数据统计表格式见附录B。实地调研需获取的相关数据参照GB/T 39793.2—2020中“3.1 单位治理成本”及“4 工作程序”进行确定。

5.2.1 调研方案制定

成立调研组，调研组应结合已收集资料，结合组内充分研讨，编制工业废水单位治理成本核算调研方案，明确工作目标、技术路线、调研对象、主要任务、质量管理、主要成果和进度安排等。

5.2.2 调研对象选择

选择企业开展实地调研。选择的调研企业应满足以下基本条件：

- a) 近三年内有正常运行记录，废水可以达标排放；
- b) 近三年来未因工业废水污染问题受过行政处罚。

5.2.3 调研人员培训

在开展调研前对参加调研的人员进行培训，明确调研任务与调研内容，确定调研原则和工作记录形式及内容，规范调研程序和调研方法，统一调研成果要求，保证调研工作进度与成果质量。

5.2.4 调研任务实施

收集并汇总工业废水单位治理成本核算所需的数据资料，为工业废水单位治理成本核算模型构建提供基础数据。

5.2.5 调研数据质控

按照标准规范、实事求是及科学合理的原则，对调研数据进行规范性、完整性及合理性审核，审核要点主要包括：

- a) 规范性审核主要检查调研企业名称、填表人及填表时间、数据单位等是否规范填写；
- b) 完整性审核主要检查调研数据中的缺失值，若调研数据中任一项存在数据缺失则认为调研数据不完整；
- c) 合理性审核主要检查调研数据中的异常值，通过对调研企业数值型指标进行排序，从数量级差异、与实际偏差等角度进行判定。

6 核算方法

6.1 核算模型

6.1.1 单位治理投资费用模型

以工业废水设计处理量为主要变量的幂函数模型为基础，综合考虑工业废水处理工艺等与工业废水单位治理投资费用有关的影响因素，构建工业废水单位治理投资费用模型，具体模型如下：

$$C_i = \lambda e^{\alpha} W_i^{\beta-1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

C_i ——工业废水单位治理投资费用，单位为元/吨；

W_i ——工业废水设计处理能力，单位为吨/天或吨/年；

λ ——价格指数，取工业生产者购进价格总指数，参考中国统计年鉴或深圳统计年鉴获得；当核算年份数值未公布时，取已有统计年鉴中最新年份数值；

e ——自然对数，其近似值为2.71828；

α 、 β ——模型系数，其中 α 是与废水治理工艺有关的系数； β 是模型直接输出的系数。

对于废水治理工艺，主要可分为物理工艺（ph）、生物工艺（bio）、化学工艺（ch）、物理化学工艺（pc）、生物化学工艺（bc）。为避免多重共线性，将物理、生物、化学、物理化学及生物化学工艺的哑变量代入模型进行拟合。因此， α 的表达式为：

$$\alpha = \text{Cons} + \alpha_{ph}\omega_{ph} + \alpha_{bio}\omega_{bio} + \alpha_{ch}\omega_{ch} + \alpha_{pc}\omega_{pc} + \alpha_{bc}\omega_{bc} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Cons——常数项，由回归分析估计得到，无实际意义；

α_{ph} ——物理工艺的系数；

α_{bio} ——生物工艺的系数；

α_{ch} ——化学工艺的系数；

α_{pc} ——物理化学工艺的系数；

α_{bc} ——生物化学工艺的系数；

ω_{ph} ——物理工艺的哑变量，采用物理工艺时取1，否则取0；

ω_{bio} ——生物工艺的哑变量，采用生物工艺时取1，否则取0；

ω_{ch} ——化学处理工艺的哑变量，采用化学工艺时取1，否则取0；

ω_{pc} ——物理化学工艺的哑变量，采用物理化学工艺时取1，否则取0；

ω_{bc} ——生物化学工艺的哑变量，采用生物化学工艺时取1，否则取0。

6.1.2 单位治理运行费用模型

以工业废水实际处理量为主要变量的幂函数模型为基础，综合考虑工业废水处理工艺等与工业废水单位治理运行费用有关的影响因素，构建工业废水单位治理运行费用模型，具体模型如下：

$$C_o = \lambda e^{\alpha} W_o^{\beta-1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

C_o ——工业废水单位治理运行费用，元/t；

W_o ——工业废水实际处理量，t/d或t/a。其余变量及参数代表含义与前文一致。

核算模型的构建符合GB/T 39793.2—2020中“5.3.2 成本函数法”的相关要求。

6.2 模型检验

6.2.1 模型拟合效果检验

为保证单位治理投资费用模型和单位治理运行费用模型的准确性，需使用以下两种方法进行模型拟合效果检验：一是评价模型对样本数据的代表程度，常用的方法为计算相关系数 R^2 ；二是对模型代表性的检验，即回归方程的建设检验，常用的方法为F检验。模型拟合效果检验的检验方法及判定标准见附录C。

6.2.2 模型拟合精度检验

为保证单位治理投资费用模型和单位治理运行费用模型的拟合精度，需要对模型预测数据与调研真实数据间的差距进行评价。评价模型拟合精度的指标主要有均方误差（MSE）、均方根误差（RMSE）、平均绝对值误差（MAE）及平均绝对百分比误差（MAPE）四个，可选其一对模型进行拟合精度检验。模型拟合精度检验的检验方法及判定标准见附录C。

7 计算单位治理成本

运用通过检验的费用核算模型得出工业废水单位治理投资费用及单位治理运行费用，工业废水单位治理成本为二者之和，计算公式如下：

$$C = C_i + C_o \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

C ——工业废水单位治理成本，元/t。其余变量代表含义与前文一致。

单位治理成本的计算符合GB/T 39793.2—2020中“3.1 单位治理成本”的相关要求。

附录 A (规范性) 数据资料说明

A.1 设计处理量

指按照单位产品或加工单位数量原料所排出的平均废水量或按照生产设备数量和每一生产设备的废水量进行计算得到的工业企业废水设计流量，单位为吨/天或吨/年。

A.2 实际处理量

指企业各种水治理设施实际处理的工业废水量，包括处理后外排和处理后回用的工业废水量和虽经处理但未达到国家或地方排放标准的废水量，单位为吨/天或吨/年。

A.3 工业废水处理工艺

通过企业自述或提供的工业废水处理工艺流程图确定工业废水处理工艺。工业废水处理工艺主要包括：

- a) 物理工艺：利用物理作用分离污水中的非溶解性物质，在处理过程中不改变化学性质。常用的有重力分离、离心分离、反渗透、气浮等。物理工艺处理构筑物较简单、经济，适用于水体容量大、自净能力强、污水处理程度要求不高的情况。
- b) 化学工艺：利用化学反应作用来处理或回收污水的溶解物质或胶体物质。常用的有混凝法、中和法、氧化还原法、离子交换法等。化学工艺处理效果好、费用高，多用作对生化处理后的出水做进一步的处理，以提高出水水质。
- c) 生物工艺：利用微生物的代谢作用，将废水中呈溶解或胶体状态的有机物分解氧化为稳定的无机物质，使废水得到净化。常用的有活性污泥法和生物膜法。生物工艺处理程度比物理工艺要高。
- d) 物理化学工艺：利用物理和化学的综合作用使废水得到净化。它是由物理方法和化学方法组成的废水处理系统，或是包括物理过程和化学过程的单项处理方法，如浮选、吹脱、结晶、吸附、萃取、电解、电渗析、反渗透等。
- e) 生物化学工艺：利用微生物的生物化学作用，将废水中呈溶解和胶体状态的有机污染物转化为无害物质，使废水得到净化。

A.4 单位治理投资费用

工业废水单位治理投资费用为固定资产折旧费用。固定资产指工业废水治理相关的处理池等房屋建筑工程及机器、配管、管线综合等工业废水治理设备及转轮、电气及自控仪表等与工业废水治理有关的其他设备。折旧费用的计算方法主要有直线法、余额递减法、年限总和法、年金法和偿债基金法等。

《给水排水设计手册 第十册：经济技术（第三版）》中指出厂站项目综合折旧年限可为20-22年，其他项目综合折旧年限可适当延长，固定资产净残值可为3%-5%，具体项目折旧年限为：机械设备折旧年限为10-14年；动力设备折旧年限为11-18年；自动化、半自动化控制设备折旧年限为8-12年；通用测试仪器设备折旧年限为7-12年；工具及其他生产用具折旧年限为9-14年；其他非生产用设备及器具折旧年限为18-22年；生产用房折旧年限为30-40年；非生产用房折旧年限为35-45年。

《政府会计准则第3号——固定资产》应用指南中指出污染防治设备折旧年限一般为10-20年。

A.5 单位治理运行费用

工业废水单位治理运行费用主要包括：

- a) 药剂费：指为了使废水处理后达标排放或进行回用，在处理过程使用的各种化学药剂费用。根据用途的不同，可以将药剂分成以下几类：絮凝剂、助凝剂、调理剂、破乳剂、消泡剂及pH调整剂、氧化还原剂、消毒剂等。
- b) 人工费：指工业废水处理站的工作人员工资及福利等费用，一般可用工作人员人数与工作月份数、每月工资及福利的乘积表示。
- c) 电费：指工业废水处理过程中各种工业废水治理设备及与工业废水治理有关的其他设备运行产

生的用电费用。

- d) 维护保养费：指用于固定资产的备品备件、低值易耗和固定资产的维护修理费用，包括自控系统的维护、计量仪器强检、电器设备预防性试验及日常维修所用的材料费用等。

A.6 价格指数

可选取工业生产者购进价格总指数，工业生产者购进价格总指数反映工业企业作为中间投入产品的购进价格的总体变化趋势和变动幅度，参考深圳市统计年鉴获得。

附 录 B
(规范性)

工业废水单位治理成本调研数据统计表

工业废水单位治理成本调研数据统计表见表 B.1。

表 B.1 工业废水单位治理成本调研数据统计表

调研数据		X 公司	Y 公司	...公司
行业				
工业废水设计处理量				
工业废水实际处理量				
工业废水治理投资费用	房屋建筑等土建费用			
	处理设备等设备购置费用			
	折旧情况			
工业废水治理运行费用	药剂费			
	人工费			
	电费			
	维护保养费			
工业废水处理工艺				
填表人及时间		审核人及时间		

附录 C
(规范性)
模型检验方法及判定标准

C.1 模型拟合效果检验方法及判定标准

C.1.1 R² 检验及判定标准

根据R²的取值，来判断模型的好坏，其取值范围为[0, 1]，R²越大，表示模型拟合效果越好，一般认为R²大于0.4即可认为模型拟合效果较好。

R²计算公式如下：

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

Y_i ——第*i*家调研企业的工业废水单位治理成本，为成本真实值，元/t；

\bar{Y} ——*n*家调研企业工业废水单位治理成本平均值，元/t；

\hat{Y}_i ——模型计算的第*i*家调研企业工业废水单位治理成本，为模型拟合值，元/t。

C.1.2 F 检验及判定标准

F检验主要是检验自变量与因变量之间的关系能否用线性模型表示。

F值计算公式如下：

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1} \dots\dots\dots (C.2)$$

$$S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{n - 1} \dots\dots\dots (C.3)$$

$$F = \frac{\max(S_1^2, S_2^2)}{\min(S_1^2, S_2^2)} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

S_1^2 ——调研企业成本真实值数据方差，无量纲；

S_2^2 ——调研企业成本模型拟合值，无量纲。其余变量代表含义与前文一致。

将计算的F值与F_表值（见表C.1）进行比较，如果F < F_表，则表明成本真实值与模型拟合值没有显著差异，回归方程通过显著性检验，表示模型具有显著代表性；如果F > F_表，则表明成本真实值与模型拟合值存在显著差异，回归方程不显著。

表 C.1 置信度 95%时的 F_表 值（单边）

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∞
2	19	19.16	19.25	19.3	19.33	19.36	19.37	19.38	19.39	19.5
3	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.88	8.84	8.81	8.78	8.53
4	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6	5.96	5.63
5	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.78	4.74	4.36
6	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.1	4.06	3.67
7	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.63	3.23
8	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39	3.34	2.93
9	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.13	2.71
10	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.97	2.54
∞	3	3.6	2.37	3.21	2.1	2.01	1.94	1.88	1.83	1

注：首行为大方差数据的自由度，首列为小方差数据的自由度，自由度为n-1。

C.2 模型拟合精度检验方法及判定标准

C.2.1 均方误差模型

均方误差（MSE）是指参数估计值与参数真值之差平方的期望值。
具体计算公式如下：

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2 \quad \dots\dots\dots (\text{C.5})$$

式中变量代表含义与前文一致。

C.2.2 均方根误差模型

均方根误差（RMSE）是MSE的算术平方根，表示参数估计值和参数真实值之间差异（残差）的样本标准差。

具体计算公式如下：

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2} \quad \dots\dots\dots (\text{C.6})$$

式中变量代表含义与前文一致。

C.2.3 平均绝对值误差模型

平均绝对值误差（MAE）是指参数估计值和参数真实值之间绝对误差的平均值。
具体计算公式如下：

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i| \quad \dots\dots\dots (\text{C.7})$$

式中变量代表含义与前文一致。

C.2.4 平均绝对百分比误差模型

平均绝对百分比误差（MAPE）是相对误差度量值，是一种相对度量。
具体计算公式如下：

$$\text{MAPE} = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \right| \quad \dots\dots\dots (\text{C.8})$$

式中变量代表含义与前文一致。

MSE、RMSE、MAE、MAPE的范围都是 $[0, +\infty)$ ，数值越小说明预测模型越精确，当数值为0时代表预测值与真实值完全吻合，即模型为完美模型。

附 录 D
(规范性)

深圳市典型行业工业废水单位治理费用模型参数参考值

依据本文件的工作程序，2022年实地调研多家典型行业企业，得出深圳市各典型行业工业废水单位治理费用模型参数参考值，见表D.1及表D.2。

表 D.1 单位治理投资费用模型参数参考值

参数	Cons	a_{ph}	a_{bio}	a_{ch}	a_{pc}	a_{bc}	β
金属表面处理及热处理加工	-1.873	-0.214	-0.147	1.338	0.311	1.449	0.399
电子元件及电子专用材料制造	-5.350	0	0	0.327	-0.06	-0.094	0.803
电子器件制造	-6.743	0	-0.520	0	0.293	-0.236	0.967
印刷	2.281	-0.093	0	0	-0.605	-0.018	0.101

表 D.2 单位治理运行费用模型参数参考值

参数	Cons	a_{ph}	a_{bio}	a_{ch}	a_{pc}	a_{bc}	β
金属表面处理及热处理加工	-1.298	-0.547	0.082	0.380	0.236	-0.04	0.593
电子元件及电子专用材料制造	-3.645	0	0	0.337	-0.285	-0.056	0.778
电子器件制造	-4.344	0	-0.096	0	0.529	-0.179	0.789
印刷	-2.392	0.057	0	0	0.063	0.024	0.680

参 考 文 献

- [1] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第1部分 总纲: GB/T 39791.1[S/OL]. 北京: 中国标准出版社, (2020-12-19) [2023-09-07].
- [2] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司. 给水排水设计手册 第十册: 经济技术(第三版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012:350.
- [3] 财政部. 政府会计准则第3号 固定资产应用指南: 财会〔2017〕4号[A/OL]. (2017-02-21) [2023-09-07].
-