

ICS 70.040
CCS G76

DB50

重 庆 市 地 方 标 准

DB 50/T 1136—2021

工业循环冷却水生物法处理技术指南

2021 - 11 - 01 发布

2022 - 02 - 01 实施

重庆市市场监督管理局 发布

目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 适用条件.....	3
4.1 循环冷却水工况.....	3
4.2 循环冷却水补充水.....	3
5 协同处理废水.....	4
6 生物填料与塔池.....	5
6.1 生物填料.....	5
6.2 塔池.....	5
7 微生物制剂.....	6
7.1 配制.....	6
7.2 贮存.....	6
7.3 投加.....	6
8 系统处理模式切换.....	7
9 系统运行管理.....	8
9.1 水质监测与控制.....	8
9.2 运行调节.....	8
附录 A（资料性） 生物填料布置.....	9
附录 B（资料性） 机械通风冷却塔池构造示意图.....	10
附录 C（规范性） 生物填料内细菌总数的测定 平皿计数法.....	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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由重庆市经济和信息化委员会提出并归口。

本文件起草单位：重庆融极环保工程有限公司、重庆大学、中国水利水电科学研究院、武汉大学、中国神华能源股份有限公司国华电力分公司。

本文件主要起草人：李大荣、叶姜瑜、刘来胜、叶春松、王勇、苏尧、杨平、于瑶、王艺超、余崇圣、王艳君。

引 言

工业循环冷却水处理的目标：在冷却器单元中保持高效热传递、尽量延长冷却水系统设备寿命。由于纯水蒸发、盐类和悬浮物累积，反复循环的冷却水极易结垢和对金属冷却器的腐蚀，不仅降低冷却器的换热效率、增加能耗，还会造成微生物诱导腐蚀及电化学腐蚀。现有的处理方法是加入化学缓蚀阻垢剂、杀生剂等多种化学药剂和增加补水。然而，除水资源限制外，重金属或磷酸盐阻垢剂、杀生剂等污染物对受纳水体造成污染。随着更严格排水限制的提出，人们应更加重视并创新循环冷却水处理方案。

生物法处理工业循环冷却水技术操作简便，在有效减少污染物外排量的同时，也可以大幅度减少补水量，为循环冷却水系统处理提供了一个全新技术路径。

工业循环冷却水生物法处理技术指南

1 范围

本文件规定了工业循环冷却水处理生物法的术语和定义、适用条件、协同处理废水、生物填料与塔池、微生物制剂、系统处理模式切换、系统运行管理。

本文件适用于工业循环冷却水生物法处理。

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使用与本文件；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 4789.2 食品安全国家标准 食品微生物学检验菌落总数测定

GB/T 50050-2017 工业循环冷却水处理设计规范

DL/T 957-2017 火力发电厂凝汽器化学清洗及成膜导则

3 术语和定义

GB/T 50050-2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

微生物制剂 microbial agent

将筛选、驯化得到的具有特定功能的微生物，经扩培加工制成的制剂。

3.2

生物填料 biocarrier

由耐腐蚀、抗氧化材料制成的供目标微生物附着生长的填充材料。

3.3

污泥阻挡带 sludge barrier

安装在循环水塔池出口前，阻挡塔池底泥进入循环水泵进水流道的建筑构件。

3.4

协同处理废水 Collaborative Sewage Treatment

废水经试验后按相应比例与循环水混合，一同并入塔池进行处理。

4 适用条件

4.1 循环冷却水工况

4.1.1 间冷开式循环冷却水系统应满足 GB/T 50050-2017 的要求，还应符合下列规定：

- 循环冷却水系统水容积不宜小于循环水水量的 1/3；
- 循环冷却水系统塔池水温宜为 12℃~45℃。极端条件下塔池水温低于 12℃或高于 45℃，持续的时间不应超过 10 d。

4.1.2 有生物毒性的物质不宜进入循环冷却水系统。

4.2 循环冷却水补充水

4.2.1 当补充水为地表水或地下水时，其水质应满足 GB/T 50050-2017 第 5 章中对补充水水质的要求。

4.2.2 当补充水为再生水时，其水质指标应满足表 1 的要求。

表 1 再生水用于循环冷却水系统补水的水质指标

序号	项目	单位	水质控制指标
1	pH值 (25℃)	—	6.0~9.0
2	悬浮物	mg/L	≤10.0
3	浊度	NTU	≤5.0
4	BOD ₅	mg/L	≤10.0
5	COD _{cr}	mg/L	≤60.0
6	铁	mg/L	≤0.5
7	锰	mg/L	≤0.2
8	Cl ⁻	mg/L	≤250
9	钙硬度 (以CaCO ₃ 计)	mg/L	≤250
10	总碱度 (以CaCO ₃ 计)	mg/L	≤200
11	NH ₃ -N ^a	mg/L	≤10.0
12	总磷 (以P计)	mg/L	≤1.0
13	溶解性总固体	mg/L	≤1000
14	补水管道末端游离氯 ^b	mg/L	≤0.1
15	石油类	mg/L	≤5.0
16	细菌总数	CFU/mL	<1000

^aNH₃-N要求相比于GB/T 50050-2017 放宽到≤10.0 mg/L。
^b游离氯要求相比于GB/T 50050-2017 放宽到≤0.1 mg/L。
^{*}其余指标要求和GB/T 50050-2017 中相同。

4.2.3 补水硬度、碱度超标时,宜采用石灰或树脂软化等方法预处理,预处理后的碳酸盐硬度(以 CaCO_3 计)宜小于 250 mg/L。

4.2.4 补水中细菌总数超标时,宜采用氧化性或非氧化性杀菌剂控制细菌含量,处理后细菌总数宜小于 10000 CFU/mL、余氯含量应小于 0.1 mg/L。

5 协同处理废水

5.1 补充至循环水系统协同处理的废水可生化性指标 $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{cr}}$ 的比值不宜小于 1/4。

5.2 使用生物法处理循环水,下列废水不应进入循环水系统:

- 含抗生素类的制药废水;
- 矿物油或动物油含量大于 20 mg/L 的油脂类废水;
- 含盐量大于 10 g/L 的废水;
- 总硬度大于 1000 mg/L 的废水。

5.3 对于其他成分复杂的废水,是否适合补入循环水系统,需要对微生物制剂的适用性进行验证。验证方法如下:

- 模拟现场运行工况,开展循环水动态模拟试验;
- 试验启动后加入微生物制剂,按照设计量补入待验证废水;开始小流量补入废水,对微生物进行驯化,待微生物适应后逐渐加大废水补入量;
- 分析试验过程中的水质数据,结合换热管结垢、腐蚀等情况,判断此种废水是否适合于补入循环水系统。

6 生物填料与塔池

6.1 生物填料

6.1.1 微生物在循环水中着床生长的载体是为软性或半软性的生物填料,宜采用挂膜架装置,其比表面积宜不小于 $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。

6.1.2 生物填料装填量可参考表 2。

表 2 生物填料填装比例

循环水保有水量 (m^3)	<1 000	1 000~9999	10 000~30 000	>30 000
生物填料体积占保有水量比例 (%)	1.0	0.8	0.6	0.4

6.1.3 当循环水工况满足以下条件时,宜适当调整生物填料填装比例:

- 旁滤量大于循环水水量的 2%,宜减少生物填料比例 10%~30%;
- 补水浊度高于 5 NTU 且旁滤量不足循环水水量的 1%,宜增加生物填料比例 20%~50%;
- 循环水系统水容积小于循环水水量的 1/3,宜增加生物填料比例 20%~50%;
- 补水为再生水且水中余氯含量大于 0.1 mg/L,宜增加生物填料比例 20%~50%。

6.1.4 生物填料宜采用挂膜架固定于循环水塔池内,布置方式参见附录 A。填料装填位置及固定方式宜符合下列规定:

- 为满足微生物着床要求,生物填料装填处水流速不宜大于 0.1 m/S;
- 生物填料应固定于循环水塔池池底或立柱间,循环水量达到最大设计值时不发生位移。

6.2 塔池

6.2.1 新建循环水系统宜在池底修建排污渠，并设置污泥沉积井，排污口宜为最低位。机械通风冷却塔池底坡度不宜低于 1% 的斜坡，机械通风冷却塔池构造示意图参见附录 B。

6.2.2 当循环冷却水系统中有下列情况之一时，应安装污泥阻挡带：

- 循环水塔池底部坡度小于 1% 或无排污渠，无法有效排出池底淤泥；
- 循环水塔池出水口与池底的距离小于 0.2 m；
- 循环水系统未配备旁流水处理设施；
- 循环水浊度大于 10 NTU；
- 检修周期大于 1 年。

6.2.3 污泥阻挡带可由金属板材或砖混材料构成，90° 垂直固定于循环水塔池底部。

7 微生物制剂

7.1 配制

7.1.1 微生物制剂配方宜经动态模拟试验和技术经济比较确定，或根据水质和工况条件类似的工厂运行经验确定。

7.1.2 微生物制剂应选择高效、无毒害的环境友好型微生物，不应包含致病菌。

7.1.3 微生物制剂配方中含有多种微生物时，宜配制成一种制剂，便于现场投加管理。

7.2 贮存

7.2.1 微生物制剂宜在贮存间避光贮存，环境温度不应低于 0℃、不宜高于 35℃，可按无毒无害制剂相关要求贮存；其它注意事项见产品说明书。

7.2.2 贮存量宜根据微生物制剂的消耗量、供应情况和运输条件等因素确定，宜为 2 次~3 次或 30 天的加药量。

7.3 投加

7.3.1 微生物制剂每月加药量按下式计算：

$$M=V \cdot g \cdot n/10^6$$

式中：

M ——系统运行每月加药量，CFU；

V ——循环水系统水容积， m^3 ；

g ——每立方循环水每月加药量， kg/m^3 。首次投加宜取 $0.5 kg/m^3$ ，正常投加宜取 $0.1 kg/m^3 \sim 0.2 kg/m^3$ ；

n ——有效活菌数，CFU/g。液体菌剂有效活菌数不宜小于 2×10^8 CFU/g。

7.3.2 微生物制剂投加前，宜通过排污将循环水正常浓缩倍数降低 0.5 左右。微生物制剂投加后 24 h 内，不应排污。

7.3.3 微生物制剂宜在远离循环水塔池出水口的低流速位置多点投加。

7.3.4 微生物制剂采用分次投加，投加量及投加频次宜参考表 3。投加比例和频次会有所调整，但首次加药量宜占首月加药量的 60% 以上，以保证启动良好。

表3 微生物制剂投加量及投加频次

阶段	投加频次		
	第一次	第二次	第三次
首月投加	投加量60%~70%	间隔5天~7天 投加量20%~30%	间隔5天~7天 投加量0%~20%
正常投加	投加量60%~70%	间隔10天~15天, 投加量30%~40%	—
注：以上为水剂的使用方式，粉剂的使用另行规定。			

8 系统处理模式切换

8.1 由工业循环水化学处理模式转换成生物处理模式，系统改造前应先进行黏泥剥离和杀菌灭藻处理，并符合下列规定：

- 氧化性杀菌剂宜采用次氯酸钠、优氯净、有机氯等，控制循环水中余氯 0.1 mg/L~0.3 mg/L，保持时间不应低于 4 h；
- 非氧化性杀菌剂宜选用性能高效、低毒、广谱的杀菌剂，按其使用要求投加，非氧化性杀菌剂具有剥离功能的，无需另行投加黏泥剥离剂；
- 黏泥剥离剂投加于循环水泵入口，浓度宜控制在 10 mg/L~50 mg/L 范围内，直至循环水浊度不再上升为止。若黏泥剥离过程中产生明显泡沫，宜配合消泡剂使用。

8.2 杀菌和黏泥剥离后，需及时排污置换，直至循环水浊度小于 10 NTU、余氯小于 0.1 mg/L 为止。新投运系统或停车改造系统开车前，宜参照 DL/T 957—2017 进行系统清洗和预膜。

9 系统运行管理

9.1 水质监测与控制

9.1.1 采用微生物制剂处理工业冷却循环水系统，水质指标应根据补水水质及换热设备的结构型式、材质、工况条件、污垢热阻值、腐蚀速率等因素综合确定，并宜符合表 4 的规定。

表4 循环冷却水水质指标

项目	单位	分析频次	要求或使用条件	许用值
浊度	NTU	1次/天	根据生产工艺要求确定	≤20.0
			换热设备为板式、翅片管式、螺旋板式	≤10.0
pH (25℃) ^a	—	3次/天	—	7.5~9.0
钙硬度+甲基橙碱度 (以CaCO ₃ 计)	mg/L	1次/天	——	≤1 100
			传热面水侧壁温大于70℃	钙硬度小于200
甲基橙碱度 (以CaCO ₃ 计) ^b	mg/L	—	—	≤400
总Fe ^c	mg/L	1次/天	—	≤1.0
Cu ²⁺	mg/L	1次/天	—	≤0.1

表4 循环冷却水水质指标（续）

Cl ⁻	mg/L	1次/天	碳钢、不锈钢换热设备，水走管程	≤1 000
			不锈钢换热设备，水走壳程传热面水侧壁温不大于70℃；冷却水出水温度小于45℃。	≤700
2SO ₄ ²⁻ +Cl ⁻	mg/L	1次/天	—	≤2 500
硅酸（以SiO ₂ 计）	mg/L	1次/天	—	≤175
Mg ²⁺ ×SiO ₂	mg/L	1次/天	pH≤8.5（25℃）	≤50 000
（Mg ²⁺ 以CaCO ₃ 计）				
NH ₃ -N ^d	mg/L	1次/天	—	≤100
			铜合金设备	≤5
石油类	mg/L	1次/天	非炼油企业	≤5.0
			炼油企业	≤10.0
COD _{cr}	mg/L	1次/天	—	≤150
<p>^a 微生物制剂中性偏酸，较化学药剂pH高，投加后循环水pH要求相比于GB/T 50050-2017 缩小到7.5-9.0。</p> <p>^b 微生物制剂产酸性能有限，投加后限制循环水碱度≤400 mg/L。</p> <p>^c 微生物制剂总Fe要求效果比于GB/T 50050-2017 缩小到≤1.0 mg/L。</p> <p>^d 微生物制剂具有降低循环水中氮的功能，NH₃-N要求相比于GB/T 50050-2017 放宽到≤100 mg/L和≤5 mg/L。</p> <p>*其余水质指标要求与GB/T 50050-2017 中相同。</p>				

9.1.2 当循环水的钙硬度与甲基橙碱度之和大于 1100 mg/L、稳定指数 RSI<3.3 时，宜进行软化处理。

9.1.3 在长江流域，生物法处理循环冷却水，宜控制循环水浓缩倍数在 4.0~6.0 之间。

9.1.4 投加微生物制剂 1 个月后，生物填料内细菌总数宜大于 1×10¹¹ CFU/m³，测定方法见 GB4789.2-2016。

9.2 运行调节

9.2.1 当循环水系统夏季蒸发量大时，宜连续排污控制循环水浓缩倍数；当循环水系统蒸发量小时，宜采间断排污控制循环水浓缩倍数。

9.2.2 当置换水量大于循环水系统水容积的 30%时，宜补加微生物制剂。

9.2.3 当循环水浊度超标时，宜对照表 5 查找原因，并进行处理。

表5 浊度超标主要原因分析及处理措施

序号	主要原因	处理措施
1	补水浊度超标	1) 加大排污处理量或加大旁流处理量； 2) 当补水浊度长期超标时，应对补水处理系统做适当提标改造。
2	微生物制剂量不足	补加微生物制剂。
3	首次使用初期，系统黏泥剥落	1) 加大排污、加大旁流处理量； 2) 宜补加微生物制剂。
4	沉积污泥过多	1) 底部排泥； 2) 在系统流速较缓处进行定点排污，可使用潜污泵抽取污泥。

9.2.4 当循环水系统介质侧发生泄漏时，应及时查找并消除漏点。当泄露轻微时，根据泄露物的种类，宜对照表6进行处理。当泄露严重时，应退出运行，停车检修。

表6 泄露物种类及处理（轻微泄露）

序号	泄露物种类	处理措施
1	氧化剂	1) 当循环水氧化剂含量折合余氯 >0.1 mg/L 且持续时间大于4 h，宜补加微生物制剂每月投加总量的30%~50%； 2) 当循环水氧化剂含量折合余氯 >0.2 mg/L 且持续时间大于4 h，宜补加微生物制剂每月投加总量的50%~100%。
2	无机酸、碱、盐	1) 当循环水pH ≤ 6 ，应加无磷无机碱性物调节至pH ≥ 7 ； 2) 当循环水pH ≥ 9.5 ，应加无磷无机酸性物调节至pH ≤ 8.5 。 3) 当循环水电导率 $\geq 5\ 000$ μ S/cm，应排污置换至电导率 $\leq 2\ 000$ μ S/cm，并补充微生物制剂。
3	有机物 (pH呈中性)	当循环水COD ≥ 150 mg/L，应排污置换至COD ≤ 100 mg/L，并补充微生物制剂。

9.2.5 应正常投运旁滤、胶球清洗等辅助设备以保护换热器。配备排污阀的换热设备，宜定期排污。

附录 A
(资料性)
生物填料布置

A.1 生物填料圆形布置见图A.1

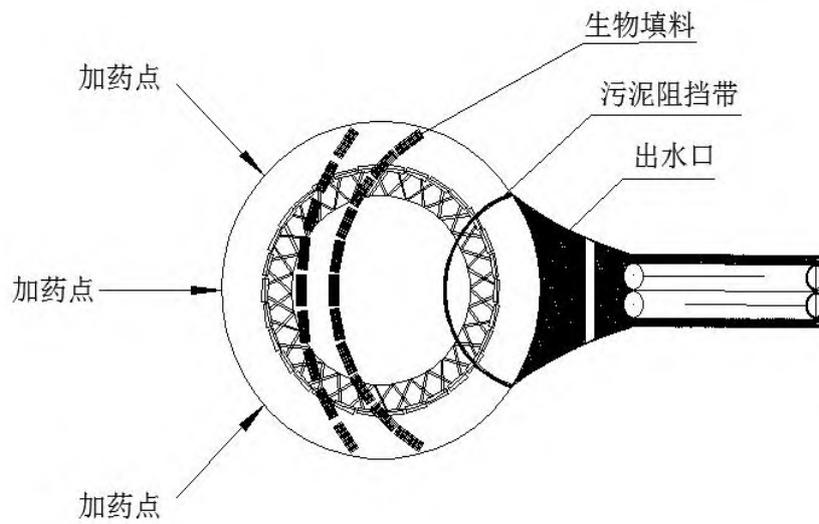


图 A.1 生物填料布置示意图（圆形）：适用于圆形集水池

A.2 生物填料方形布置见图A.2

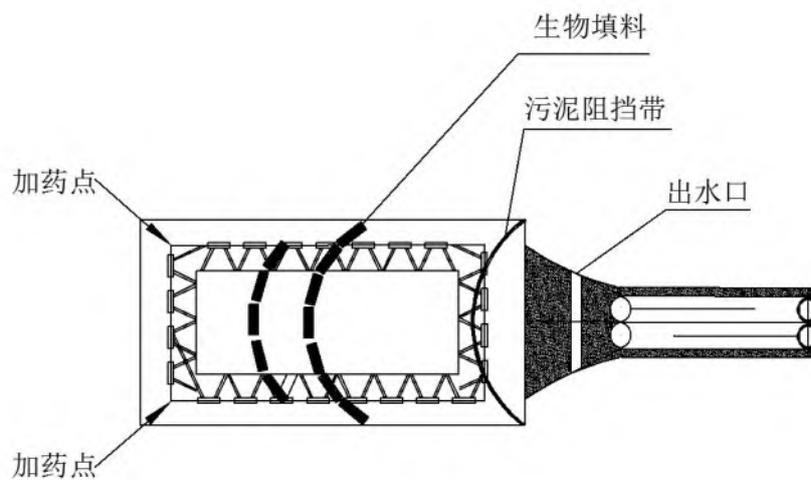


图 A.2 生物填料布置示意图（方形）：适用于方形集水池

附录 B
(资料性)
机械通风冷却塔池构造示意图

B.1 机械通风冷却塔池构造图见图B.1

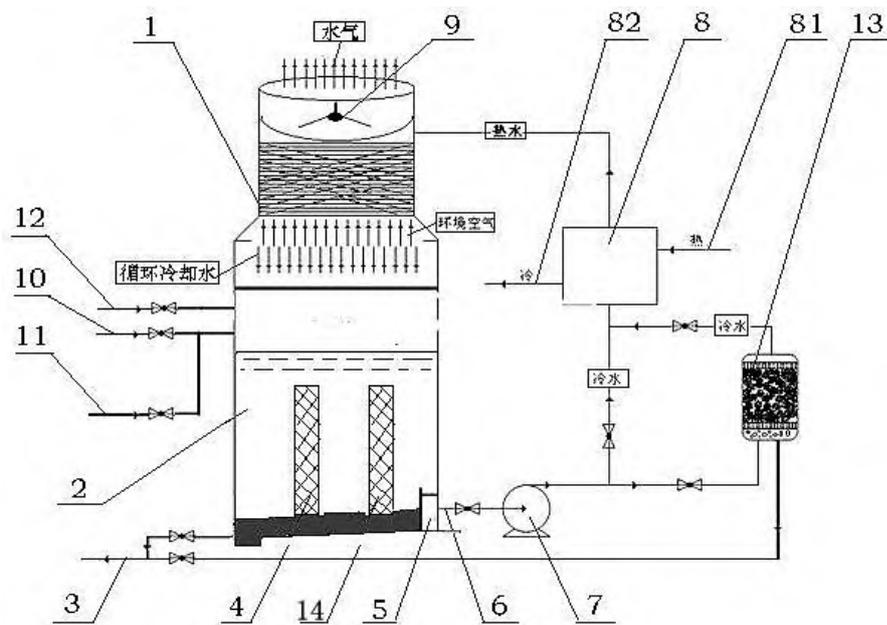


图 B.1 机械通风冷却塔池构造示意图

说明:

1—冷却塔；2—循环集水池；3—排污水管；4—纤维球框；5—污泥阻挡构件；6—出水管；7—循环水泵；
8—换热器；9—风机；10—补充水管；11—工业废水管；12—微生物制剂加入管；13—旁滤装置；14—生物框架；
81—被冷却介质进口；82—被冷却介质出口。

附 录 C
(规范性)
生物填料内细菌总数的测定 平皿计数法

C.1 方法概要

将生物填料从集水池取出，并将填料内的细菌全部洗脱下来，研磨均质、超声分散。测定细菌总数，计算单位体积生物填料内的细菌总数。

C.2 试剂和材料

- C.2.1 无菌稀释水：将生理盐水用蒸汽压力灭菌锅于 (121 ± 1) °C灭菌15 min~30 min。
- C.2.2 氢氧化钠溶液：40 g/L，分析纯。
- C.2.3 乙醇溶液：75%。
- C.2.4 培养基：LB培养基。
- C.2.5 玻璃培养皿或一次性灭菌塑料培养皿：直径90 mm。
- C.2.6 脱脂棉签：医用，无菌。

C.3 仪器

- C.3.1 无菌室或超净工作台
- C.3.2 蒸汽压力灭菌锅：有效容积50 L，50 °C~126 °C，控温精度1°C。
- C.3.3 电热干燥箱：60 °C~280 °C，控温精度2 °C。
- C.3.4 漩涡混匀器：0 rpm~3000 rpm，硅胶头。
- C.3.5 超声波清洗器：功率500 W，频率50 kHz。
- C.3.6 玻璃组织研磨器：有效容积20 mL。
- C.3.7 生化培养箱：0 °C~50 °C，控温精度1 °C。
- C.3.8 刻度吸管：1 mL。
- C.3.9 试管：直径20 mm，长度200 mm。
- C.3.10 采样瓶：500 mL，玻璃材质。
- C.3.11 锥形瓶：500 mL，玻璃材质。

C.4 测定步骤

C.4.1 无菌处理

- C.4.1.1 将采样瓶、玻璃培养皿、移液枪枪头、组织均质器等做湿法或干法灭菌。
- C.4.1.2 制备无菌的稀释水和培养基。

C.4.2 生物膜采样、洗脱、研磨、分散

- C.4.2.1 测量生物填料的体积，记为 $V_{B\sim c}$ (m³)。

- C. 4. 2. 2 用适量无菌水浸没生物填料，在漩涡混匀器中以3000 rpm震荡10 min。
- C. 4. 2. 3 反复挤压生物填料，用脱脂棉签反复擦拭未脱落的生物膜，并用无菌水将棉签冲刷干净。
- C. 4. 2. 4 收集所有的生物填料洗脱液。
- C. 4. 2. 5 用玻璃组织研磨器研磨洗脱液中大块的生物膜。当洗脱液体积大于200 mL，可先离心再研磨。
- C. 4. 2. 6 将研磨后的洗脱液用超声波清洗器以功率500 W、频率50 kHz超声震荡15 min。
- C. 4. 2. 7 量取洗脱液的体积，记为 V_e (mL)。

C. 4. 3 培养与计数

按 GB 4789.2 测定洗脱液中的细菌总数。

C. 5 结果表示

按下式计算单位体积生物填料中的细菌总数。

$$\rho_{B\sim c} = \rho_e \sum V_e / V_{B\sim c}$$

式中：

$\rho_{B\sim c}$ —单位体积生物填料的有效菌总数，CFU/m³；

ρ_e —单位体积洗脱液的有效菌总数，CFU/mL；

V_e —洗脱液的体积，mL；

$V_{B\sim c}$ —生物填料的体积，m³。