

中华人民共和国城镇建设行业标准

CJ/T 322—2010

代替CJ/T 3028.1-1994, CJ/T 3028.2-1994

水处理用臭氧发生器

Ozone generator for water and waste water treatment

2010-1-14 发布

2010-6-1 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

目 次

前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义、符号、缩略语.....	1
4 分类和规格.....	2
5 结构和材料.....	3
6 要求.....	3
7 试验方法.....	4
8 检验规则.....	6
9 标志、包装、运输和贮存.....	6
附 录 A（规范性附录） 臭氧浓度测定.....	8
附 录 B（资料性附录） 气体体积流量值修正计算.....	16
附 录 C（资料性附录） 臭氧发生器性能参数检测报告表.....	19
参 考 文 献.....	21

前 言

本标准是对CJ/T 3028.1-1994《臭氧发生器》和CJ/T 3028.2-1994《臭氧发生器臭氧浓度、产量、电耗的测量》的修订，与CJ/T 3028.1-1994和CJ/T 3028.2-1994相比主要变化如下：

- 将CJ/T 3028.1-1994和CJ/T 3028.2-1994两部分内容合并；
- 更改并增加了术语和定义部分内容，更改了气体标准状态的条件；
- 补充了产品分类和规格；
- 将原“技术要求和试验方法”分列为要求、试验方法、检验规则；
- 删除了原生产环节零部件加工要求，细化了产品整体要求；
- 删除了产品等级划分内容；
- 增加了安全类要求条款；
- 更改了臭氧浓度、产量、电耗的测量和计算方法的内容；臭氧浓度测定增加了紫外吸收法；
- 更改了附录A、B，增加了附录C。

本标准的附录A为规范性附录，附录B、附录C为资料性附录。

本标准由住房和城乡建设部标准定额研究所提出。

本标准由住房和城乡建设部给水排水产品标准化技术委员会归口。

本标准负责起草单位：青岛国林实业有限责任公司。

本标准参加起草单位：清华大学环境科学与工程系、中国工业经济联合会臭氧专业委员会、青岛市臭氧应用工程技术研究中心、同方股份有限公司水务工程公司、江苏康尔臭氧有限公司、福建新大陆环保科技有限公司、济南三康环保科技有限公司。

本标准主要起草人：丁香鹏、李汉忠、王承宝、刘力群、张磊、黄元生、杜志鹏、薛飞、韩闯毅、王东升、刘志光、杨绍艳。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- CJ/T 3028.1-1994《臭氧发生器》；
- CJ/T 3028.2-1994《臭氧发生器臭氧浓度、产量、电耗的测量》。

水处理用臭氧发生器

1 范围

本标准规定了水处理用臭氧发生器的分类和规格、结构和材料、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于生活饮用水、再生水、污水处理用的臭氧发生器。化工氧化、造纸漂白及食品工业消毒杀菌等应用的臭氧发生器可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 150 钢制压力容器

GB/T 191 包装储运图示标志

GB 3095-1996 环境空气质量标准

GB 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 6682-2008 分析实验室用水规格和试验方法

GB 7521.1-2005 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：型式试验和部分型式试验成套设备

GB/T 13306 标牌

GB 13384 机电产品包装通用技术条件

GB 14050 系统接地的型式及安全技术要求

GB/T 15438 环境空气 臭氧的测定 紫外光度法

GB 19517 国家电气设备安全技术规范

3 术语和定义、符号、缩略语

下列术语和定义、符号、缩略语适用于本标准。

3.1 术语和定义

3.1.1

介质阻挡放电 **dielectric barrier discharge**

在被介电体阻隔的电极和放电空间，施加并升高交流电压产生的气体放电现象。

3.1.2

臭氧发生单元 **ozone generation unit**

产生臭氧的基本部件，由介电体与被其分隔的电极和放电空间组成。

3.1.3

臭氧发生室 **ozone generation chamber**

由单组或多组臭氧发生单元组成的装置。

3.1.4

臭氧发生器 **ozone generator**

氧气或空气通过介质阻挡放电方式产生臭氧所必需的装置。

3.1.5

臭氧系统 ozone system

臭氧发生器、气源装置、接触反应装置、尾气处理装置、监测控制仪表等设备组合的部分或全部。

3.1.6

标准状态 normal temperature and pressure

在温度 $T=273.15\text{K}$ (0°C)，压力 $P=101.325\text{ kPa}$ (标准大气压)时的气体状态。

注：除非特别指明，本标准中提到的气体体积、气体流量以及臭氧浓度均为标准状态下的值。

3.1.7

臭氧浓度 ozone concentration

臭氧发生器出气中的臭氧含量。

3.1.8

臭氧化气 ozone-containing gas

臭氧发生器产生的含臭氧的气体。

3.1.9

臭氧产量 ozone production rate

臭氧发生器每小时产生的臭氧量。

3.1.10

臭氧电耗 specific power consumption of ozone

产生1kg臭氧消耗的电能。

3.2 符号

C——臭氧浓度。

D——臭氧产量。

P——臭氧电耗。

3.3 缩略语

DBD——dielectric barrier discharge。

NTP——normal temperature and pressure。

4 分类和规格

4.1 分类

4.1.1 按臭氧发生单元的结构形式，分为管式和板式。

4.1.2 按介质阻挡放电的频率，分为工频(50Hz, 60 Hz)、中频(100 Hz~1000 Hz)和高频(>1000 Hz)。

4.1.3 按供气气源，分为空气型和氧气型。

4.1.4 按冷却方式，分为水冷却和空气冷却。

4.1.5 按臭氧产量，分为小型(5g/h~100g/h)、中型(>100g/h~1000g/h)和大型(>1kg/h)。

4.2 规格

4.2.1 臭氧发生器额定臭氧产量应符合表1的规定。

表1 臭氧发生器额定臭氧产量规格

臭氧发生器 类型	单位	规格											
		5	10	15	20	25	30	40	50	70	85	100	
小型	g/h	5	10	15	20	25	30	40	50	70	85	100	
中型	g/h	200	300	400	500	700	800	1000					
大型	kg/h	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10	12	
		15	20	25	30	40	50	60	70	80	100		

4.2.2 生产、订购应优先选用规格系列产品，特殊情况宜按相邻规格中间值选定。

5 结构和材料

5.1 结构

5.1.1 臭氧发生器由臭氧发生室、臭氧电源、冷却装置、控制装置与仪表等组成。

5.1.2 臭氧发生器结构应满足不同应用条件的外接臭氧系统设备连接要求。

5.1.3 属于压力容器的臭氧发生室应按压力容器要求进行设计、加工、检验，并提供压力容器检测认证的原始文件。

5.1.4 臭氧发生室的外观不应有机械损伤，对于尖锐伤痕及表面腐蚀等缺陷均应修复，修复深度不应大于板厚的5%，修复斜度不小于1/3，否则应补焊，焊缝应光滑平整。

5.1.5 臭氧发生器应在合理位置设置流量、压力、温度等检测仪表，检测臭氧化气流量。应根据仪表系数与被测气体密度的关系，确定流量仪表的设置位置（在臭氧发生室进气端或出气端）。

5.1.6 臭氧发生器应在合理位置设置有关的阀门、仪表等，实现臭氧化气流量的调节。

5.1.7 臭氧发生器所用电气设备的设计应符合 GB 19517 的规定。

5.1.8 大、中型臭氧发生器电源柜防护等级应符合 GB 4208 的规定，不应低于 IP44。

5.1.9 大、中型臭氧发生器电气设备的功率应根据需要进行调节。

5.2 材料

5.2.1 臭氧发生单元介电体应采用绝缘强度高、耐臭氧氧化的玻璃、搪瓷、陶瓷等材料，或其它已经证明同样适用的材料。

5.2.2 裸露于放电环境中的臭氧发生单元金属电极应采用 022Cr17Ni12Mo2 (S31603) 等耐晶间腐蚀的奥氏体不锈钢、钛等耐臭氧氧化材料，或其它已经证明同样适用的材料。

5.2.3 臭氧发生室、管道、控制阀门、测量仪表等接触臭氧的零部件应采用耐臭氧氧化的材料。

5.2.4 臭氧发生器连接用的密封圈、垫片等接触臭氧部件应使用聚四氟乙烯 (PTFE)、聚偏二氟乙烯 (PVDF)、全氟橡胶等耐臭氧氧化材料，或者其它已经证明同样适用的材料。

6 要求

6.1 环境条件

6.1.1 臭氧发生器额定技术指标检测的环境条件要求：

- a) 环境温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不高于60%；
- b) 冷却水进水温度 $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.2 臭氧发生器正常工作条件要求：

- a) 环境温度不高于 45°C ，相对湿度不高于 85%；
- b) 冷却水进水温度不大于 35°C 。

6.2 供气气源

6.2.1 臭氧发生器对各类气源要求参见表 2。

表 2 供气气源指标

气源种类		供气压力 MPa	常压露点 $^{\circ}\text{C}$	氧气浓度体积分数
空气		≥ 0.2	≤ -55	21%
空气PSA/VPSA制氧	$< 1\text{m}^3/\text{h}$	≥ 0.1	≤ -50	$\geq 90\%$
	$\geq 1\text{m}^3/\text{h}$	≥ 0.2	≤ -60	$\geq 90\%$
液氧		≥ 0.25	≤ -70	$\geq 99.6\%$

6.2.2 应在臭氧发生器进气端配置精度不低于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的过滤装置。

6.3 冷却水

6.3.1 直接冷却臭氧发生器的冷却水应满足以下条件：pH 值不小于 6.5 且不大于 8.5，氯化物含量不高于 250mg/L ，总硬度（以 CaCO_3 计）不高于 450mg/L ，浑浊度（散射浑浊度单位）不高于 1NTU。

6.3.2 大型臭氧发生器宜采用闭式循环冷却系统。

6.4 额定技术指标

臭氧发生器的额定技术指标按标准状态（NTP）计算，应符合表3的规定。

表3 额定技术指标

	臭氧产量	臭氧浓度 g/m ³	臭氧电耗 kW·h/kg
空气源	(按4.2选定)	25	≤18
氧气源	(按4.2选定)	100	≤9
	(按4.2选定)	150	≤11

注1: 大型臭氧发生器的额定功率因数 (cos φ) 不应小于0.92。
注2: 小型臭氧发生器产品额定技术指标可适当降低。

6.5 压力部件

臭氧发生室的安全阀、控制器件在臭氧发生器工作压力超过最高允许工作压力时,应及时可靠动作,保证安全,与压力有关的仪器、部件应提供合格证书。

6.6 气密性

臭氧发生室应满足强度、刚度要求并保证气密性要求,应符合GB 150的规定。

6.7 稳定性

臭氧发生器运行4h后,在设计的额定功率及进气流量的工况下,2h内臭氧浓度与臭氧电耗的变动值不应超过5%。

6.8 臭氧泄漏

臭氧发生器在最高允许工作压力与额定功率时的臭氧泄漏量应符合GB 3095-1996的规定,1h平均臭氧浓度值不超过0.20mg/m³。

6.9 调节性能

对于大、中型臭氧发生器,臭氧产量的调节和控制范围应为10%~100%。

6.10 电气

臭氧发生器应采用适当的绝缘保护和直接、间接接触保护措施防止电击危险,应注重防止高压电击危险。

6.10.1 臭氧发生器壳体、电源柜、防护网均应可靠接地,接地应符合GB 14050的规定。

6.10.2 电路应通过介电强度试验和绝缘电阻验证确认其绝缘保护可靠有效。

6.10.3 电源柜内任何带电部件只有在下列情况下才能被触及:

- 借助于钥匙或工具;
- 通过联锁开关断开电源后。该开关在打开保护罩后即起作用。

6.10.4 大、中型臭氧发生器的电源柜应设置紧急断电开关。

6.10.5 电源柜至臭氧发生室的高压电缆应具备相应等级的绝缘,并宜采用可靠的屏蔽措施;高压接头应设置可靠的防护罩。

7 试验方法

7.1 臭氧浓度测定

应采用碘量法(化学法)或紫外吸收法(仪器法)测定臭氧浓度,碘量法(化学法)作为仲裁方法。臭氧浓度测定方法应按附录A的规定进行。

7.2 臭氧产量测定

7.2.1 方法

同时测定臭氧发生器的臭氧浓度及臭氧化气流量,计算臭氧浓度数值与臭氧化气流量(标准状态)数值的乘积,即为臭氧产量数值。

7.2.2 计算式

臭氧产量按式(1)计算。

$$D = C \cdot Q \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

D —— 臭氧产量, g/h, 大型臭氧发生器的臭氧产量通常换算成kg/h表示;

C —— 臭氧浓度, g/m³或mg/L, 本标准采用标准状态下的质量体积浓度;

Q —— 臭氧化气流量, m³/h。

7.2.3 臭氧化气流量测定

大、中型臭氧发生器使用的气体流量计、压力表的准确度不应劣于1.5级, 温度计的准确度应在±0.2℃以内。测得的气体流量值应按流量计的种类进行温度压力修正计算, 得到标准状态的流量值。

流量计安装在臭氧发生室进气端的, 应将气体流量值换算为出气端臭氧化气流量。具体修正公式及参数参见附录B。

7.3 臭氧电耗测定

通常臭氧电耗仅涉及臭氧发生器自身从供电电网获取的电能, 不包括气源制备和其他间接用电量。

7.3.1 方法

同时测定臭氧发生器的臭氧产量及其取自供电电网的有功功率, 计算此电功率与臭氧产量的比值即为臭氧电耗。

7.3.2 计算式

臭氧电耗按式(2)计算。

$$P = \frac{W}{D} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

P —— 臭氧电耗, kW·h/kg;

W —— 有功功率, kW;

D —— 臭氧产量, kg/h。

7.3.3 测定要求

7.3.3.1 臭氧产量按7.2的规定测定。

7.3.3.2 有功功率可用模拟式(指针)功率表或数字式功率表, 也可采用多功能电量表的有功功率档测得, 其准确度不应劣于0.5级。

7.3.3.3 当臭氧发生器的臭氧产量稳定时, 可用电能表(电度表)测臭氧发生器在一段时间内消耗的有功电能量, 此电能量与所用时间的比值为有功功率值。

7.3.3.4 大、中型臭氧发生器应同时测量功率因数。

7.4 额定技术指标和性能参数

臭氧发生器的额定技术指标检测应符合6.1.1要求。臭氧发生器应在设计的额定功率及进气流量的工况下运行。

臭氧浓度按7.1检测, 臭氧产量按7.2检测, 臭氧电耗按7.3检测。

检测报告格式参见附录C。

7.5 压力检测

臭氧发生室压力检测应符合GB 150的规定。

7.6 气密性

臭氧发生室气密性应符合GB 150的规定。

7.7 稳定性

臭氧发生器运行4h后, 在设计的额定功率及进气流量的工况下, 2h内至少测定5次(时间平均分布)臭氧浓度和电耗, 测定值中最大值与最小值的差除以平均值, 所得结果即为变动值。

7.8 臭氧泄漏

按GB/T 15438测定。在放电室出口端1.0m范围、1.0m高度检测臭氧泄漏量。

7.9 调节性能

改变臭氧发生器进气流量和功率，按照7.2的方法测定臭氧产量，测试臭氧产量的调节范围。

7.10 电气

按GB 7521.1-2005中8.2.2条进行低压电路的介电强度试验，并按8.3.4条进行绝缘电阻验证。

8 检验规则

臭氧发生器的检验分为出厂检验和型式试验两类。

8.1 出厂检验

8.1.1 臭氧发生器出厂前应逐台进行检验，检验合格并签发产品合格证后方可出厂。

8.1.2 检验项目

- a) 外观。
- b) 管道、仪表与控制器件装配质量。
- c) 属于压力容器的部件应提供质量证明文件。
- d) 气体管路安装的仪表，调节、控制器件应附带资质合格证书。
- e) 密封性能。
- f) 电气安全性能。
- g) 技术性能（包括臭氧浓度、产量、电耗等）。

8.2 型式试验

8.2.1 当有下列情况之一时进行型式试验：

- a) 新产品及新规格产品定型或老产品转厂生产。
- b) 产品的结构、工艺及主要材料有较大改变，可能影响产品性能。
- c) 连续停产一年以上恢复生产。
- d) 产品正常生产，每三年进行一次型式试验。
- e) 国家质量监督机构提出型式试验要求。

8.2.2 检验项目：本标准第6章规定的项目。

8.2.3 抽样方法：小型臭氧发生器随机抽检2台~3台，大、中型臭氧发生器随机抽检1台。

8.2.4 判定规则

8.2.4.1 对检验项目全部合格的，判定为合格产品。

8.2.4.2 对检验项目中任一项经检验不合格，则需加倍抽检，仍有不合格者判定为不合格产品。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

9.1.1 臭氧发生器应在醒目位置安装标牌，标牌应符合GB/T 13306的规定。

9.1.2 标牌内容应包括：

- a) 生产企业；
- b) 产品名称、型号、编号；
- c) 生产日期；
- d) 气源种类与露点温度要求；
- e) 允许最高工作压力和最低工作压力（表压）：MPa；
- f) 额定指标：臭氧产量：g/h（kg/h）
臭氧浓度：g/m³或mg/L
臭氧电耗：kW·h/kg；
- g) 供电要求：相数

频率: Hz

电压: V

电流: A;

h) 工作质量: kg。

9.2 包装

9.2.1 包装的技术要求应符合 GB/T 13384 的规定。

9.2.2 包装箱外的标志应符合 GB/T 191 的规定。

9.2.3 大型臭氧发生器的附件、备件宜另行包装。

9.2.4 随机文件应包括:

- a) 装箱单;
- b) 使用说明书;
- c) 特殊要求(如压力)检测文件;
- d) 出厂检测报告;
- e) 备件、附件清单。

9.3 运输

臭氧发生器在装运过程中不应翻滚、碰撞。

9.4 贮存

臭氧发生器应贮存在清洁干燥的仓库内。

附 录 A
(规范性附录)
臭氧浓度测定

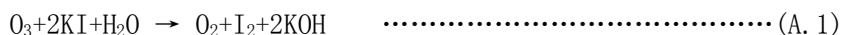
A.1 导言

本附录规定了臭氧发生器产生的臭氧化气的臭氧浓度检测的两种方法：碘量法（化学法）和紫外吸收法（仪器法），规定了碘量法校准紫外吸收式臭氧检测仪，并提供了臭氧浓度单位换算的方法。

A.2 碘量法

A.2.1 原理

臭氧（O₃）是一种强氧化剂，与碘化钾（KI）水溶液反应产生游离碘（I₂）。在取样结束并对溶液酸化后，用已知浓度的硫代硫酸钠（Na₂S₂O₃）滴定液对游离碘进行滴定（以淀粉溶液为指示剂）。根据硫代硫酸钠滴定液浓度和消耗量计算出臭氧量。其反应式见式（A.1）和式（A.2）：



A.2.2 试剂

除非另有规定，仅使用分析纯试剂。

A.2.2.1 碘化钾（KI）溶液

碘化钾储存试剂（20%）：称取200g KI，溶于新煮沸放冷的纯水中，并稀释至1L。保存在棕色瓶中，冷藏。

A.2.2.2 硫酸（H₂SO₄）溶液（1+5）

量取1体积的浓硫酸溶于5倍体积的纯水中。

A.2.2.3 硫代硫酸钠（Na₂S₂O₃·5H₂O）存储溶液（约1mol/L）

称取250g硫代硫酸钠颗粒（Na₂S₂O₃·5H₂O），溶于新煮沸冷却的纯水中，并稀释至1L。存储于棕色瓶，冷藏。

A.2.2.4 按照以下两种方法之一制备淀粉指示剂

a) 氯化锌淀粉指示剂

向4g可溶淀粉中加入少许纯水，并搅拌至糊状。将该糊状物添加到含20g氯化锌（ZnCl₂）的100mL纯水中。将所得溶液煮沸，直至体积减少至100mL。最后，将溶液稀释至1L，并加入2g氯化锌（ZnCl₂）。本指示剂在避光处室温可稳定保存一个月。

b) 淀粉指示剂

向5g可溶淀粉中加入少许纯水，并搅拌至糊状。将糊状物倒入1L煮沸纯水中，搅拌，并隔夜沉淀。取用上清液，冷藏。

A.2.2.5 硫代硫酸钠（Na₂S₂O₃·5H₂O）滴定液

测定空气源臭氧浓度时，推荐硫代硫酸钠（Na₂S₂O₃）滴定液浓度为0.1mol/L；测定氧气源臭氧浓度时，推荐硫代硫酸钠（Na₂S₂O₃）滴定液浓度为0.3mol/L。

a) 配制0.1mol/L硫代硫酸钠（Na₂S₂O₃）滴定液：量取100ml浓度为1mol/L的Na₂S₂O₃存储液于900mL新煮沸冷却的纯水中；

b) 配制0.3mol/L硫代硫酸钠（Na₂S₂O₃）滴定液：量取300ml浓度为1mol/L的Na₂S₂O₃存储液于700mL新煮沸冷却的纯水中。

A.2.2.6 重铬酸钾（K₂Cr₂O₇）溶液（0.01667mol/L）

使用分析天平准确称取经105~110℃烘干2h,并在硅胶干燥器中冷却30min以上的重铬酸钾(优级纯)4.904g,定溶于1000mL容量瓶中摇匀。用试剂瓶保存。

A.2.2.7 碘酸钾(KIO₃)固体

A.2.2.8 乙酸(CH₃COOH)

A.2.2.9 纯水

纯水应符合GB/T 6682-2008三级水的规定,电导率不高于0.50mS/m。

A.2.3 试验仪器、设备及要求

A.2.3.1 分析天平,精度为0.1mg。

A.2.3.2 四个标准洗气瓶,容积500mL,不应采用烧结的布气器。

A.2.3.3 滴定管50mL,宜用精密滴定管。

A.2.3.4 防腐蚀型湿式气体流量计,容量5L,体积精度应该在±1%以内,并配备压力表和测量水温误差在±0.2℃内的温度计。

A.2.3.5 量筒 20mL、500mL 各一只。

A.2.3.6 刻度吸管(吸量管)10mL。

A.2.3.7 容量瓶 1000mL。

A.2.3.8 锥形瓶250mL、2L各一只。

A.2.3.9 硅橡胶或聚氯乙烯软管,用于输送含臭氧的气体。

A.2.4 硫代硫酸钠滴定液标定

使用以下两种方法之一标定A.2.2.5中的硫代硫酸钠滴定液。标定可以在臭氧浓度测试前完成,且测试期间每天都必须标定。两组平行样品的标定结果相差不超过2%,取平均值。

a) 在250mL的锥形瓶中加入150mL纯水,5mL硫酸溶液(1+5),20.00mL浓度为0.01667mol/L的重铬酸钾溶液和2.0gKI。密封,并使混合物在黑暗中稳定6min。添加1.0mL淀粉指示剂溶液,然后开始小心滴定,直至蓝色刚好消失,并持续30s不变回蓝色。

硫代硫酸钠滴定液的浓度按式(A.3)计算。

$$B = \frac{6NV_2}{V_1} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

B —— 硫代硫酸钠滴定液浓度, mol/L;

N —— 重铬酸钾标准溶液浓度, 0.01667 mol/L;

*V*₁ —— 硫代硫酸钠滴定液消耗量, mL;

*V*₂ —— 取用重铬酸钾标准溶液的体积, mL。

b) 在250mL锥形瓶中加入50mL纯水,持续搅拌,加入0.071g碘酸钾(KIO₃)和1.5g碘化钾(KI),然后补充50mL纯水。混合后,加入10mL乙酸。对于生成的碘,使用配制浓度的硫代硫酸钠滴定液滴定至黄色几乎消失。加入1.0mL淀粉指示剂,继续小心滴定至蓝色刚好消失,并持续30s不变回蓝色。

硫代硫酸钠滴定液的浓度按式(A.4)计算。

$$B = \frac{W}{V \times 214.00 / 6000} = \frac{W}{V \times 0.03567} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

B —— 硫代硫酸钠滴定液浓度, mol/L;

W —— 碘酸钾的重量, g;

V —— 硫代硫酸钠滴定液的消耗量, mL。

注：以上标定过程中的试剂用量（包括重铬酸钾溶液、碘酸钾固体和碘化钾固体）是基于硫代硫酸钠滴定液浓度约为0.1mol/L时推荐的用量，实际的试剂用量可根据配制的硫代硫酸钠滴定液的浓度进行调整（如硫代硫酸钠浓度约为0.3mol/L时，试剂用量可增加至3倍左右）。

A. 2. 5 试验程序及方法

A. 2. 5. 1 准备

- a) 调整湿式流量计水平。
- b) 参见图A. 1连接臭氧气体测试试验设备。

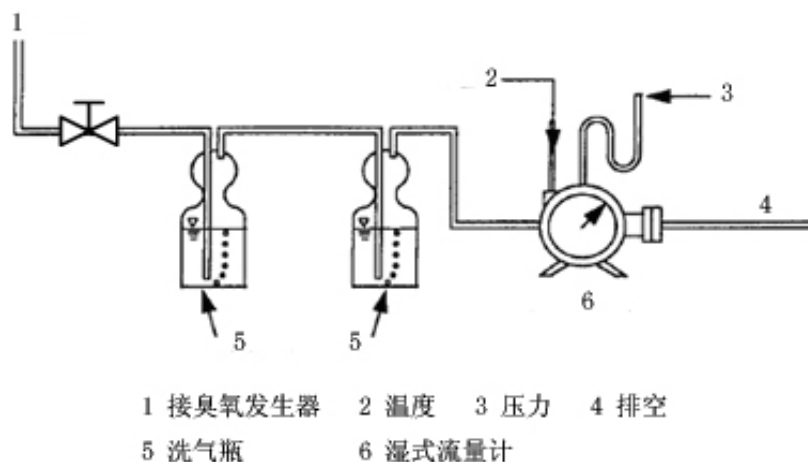


图 A. 1 臭氧发生器出气臭氧浓度测试装置

- c) 使用两个洗气瓶，在每个洗气瓶中加入 40mL 20%的 KI 溶液和 360mL 纯水。

d) 在50mL玻璃滴定管中注入经标定的硫代硫酸钠滴定液。此步骤应在臭氧通入洗气瓶前进行，滴定管内剩余的滴定液不应隔天使用。

A. 2. 5. 2 采样

A. 2. 5. 2. 1 将臭氧化气的管道插入到空白洗气瓶中，使用新鲜的臭氧冲洗管道。然后，将臭氧清洗后的管道与测定洗气瓶连接，并立即使用湿式流量计开始记录体积。

A. 2. 5. 2. 2 以1L/min的速度向洗气瓶中鼓入1L~3L臭氧气体，并在数据表上记录湿式流量计的读数差值作为未校正的气体体积。推荐的气体体积取决于臭氧浓度、滴定液体积和硫代硫酸钠浓度。当进气流量较大及滴定液体积较多时，测试的精度较高。

A. 2. 5. 2. 3 鼓气结束后，快速向每个洗气瓶中添加约5mL硫酸溶液（1+5），以使溶液的pH值降低至2以下，摇匀，静置5min。

A. 2. 5. 3 滴定

A. 2. 5. 3. 1 将每个洗气瓶中的溶液转移至一个2L的锥形瓶。用纯水充分冲洗洗气瓶3次，将冲洗后的纯水回收至锥形瓶中。在转移溶液的过程中，应尽可能减少液体溅出及掺入气体。

A. 2. 5. 3. 2 记录滴定管内硫代硫酸钠滴定液的初始体积，使用硫代硫酸钠滴定至溶液变为浅黄色。向锥形瓶中加入约5mL淀粉试剂，溶液将会出现浅蓝色。小心滴定，一滴一滴地进行，直至蓝色刚刚消失，且溶液清澈，并持续30s不变回蓝色。

A. 2. 5. 3. 3 记录滴定管的最终读数，并计算得到使用的滴定液体积。记录使用的滴定液体积和滴定液的实际浓度。

A. 2. 6 臭氧浓度计算

A. 2. 6. 1 温度压力修正后的气体体积按式（A. 5）计算。

$$V_{NTP} = V_a \times \frac{(P_a - P_v + P_m)}{P_{NTP}} \times \frac{T_{NTP}}{T_a} \dots\dots\dots (A. 5)$$

式中:

V_{NTP} —— 标准温度压力条件下的气体体积, L;

V_a —— 未校正的气体体积, 由湿式流量计测得, L;

P_{NTP} —— 标准气压 (101.325kPa);

T_{NTP} —— 标准温度 (273.15K=0℃);

P_a —— 大气压力, kPa;

P_v —— 饱和水蒸汽压, kPa, 跟湿式流量计的温度有关, 参见表 A. 1;

P_m —— 湿式流量计压力表读数, kPa;

T_a —— 湿式流量计的温度, K, 等于273.15K加上湿式流量计的温度计以℃为单位的温度值。

A. 2. 6. 2 被KI吸收的臭氧质量按式(A. 6)计算。

$$M = 24 \times V_t \times B \quad \dots\dots\dots (A. 6)$$

式中:

M —— 被 KI 吸收的臭氧质量, 单位 mg;

V_t —— 消耗的硫代硫酸钠体积, mL;

B —— 硫代硫酸钠滴定液的浓度, mol/L。

A. 2. 6. 3 臭氧浓度按式(A. 7)计算。

$$C = \frac{M}{V_{NTP}} \quad \dots\dots\dots (A. 7)$$

式中:

C —— 臭氧浓度, g/m³(mg/L);

M —— 被 KI 吸收的臭氧质量, mg, 由式(A. 6)计算得到;

V_{NTP} —— 标准状态时的气体体积, L, 由式(A. 5)计算得到。

A. 2. 6. 4 碘量法测定程序结束。此测试结果的精度在±2%以内。

表 A. 1 不同温度下水的饱和蒸汽压

温度 ℃	蒸汽压 kPa	温度 ℃	蒸汽压 kPa	温度 ℃	蒸汽压 kPa	温度 ℃	蒸汽压 kPa	温度 ℃	蒸汽压 kPa
10.0	1.23	15.0	1.70	20.2	2.37	25.4	3.24	30.6	4.39
10.2	1.24	15.2	1.73	20.4	2.40	25.6	3.28	30.8	4.44
10.4	1.26	15.4	1.75	20.6	2.43	25.8	3.32	31.0	4.49
10.6	1.28	15.6	1.77	20.8	2.46	26.0	3.36	31.2	4.54
10.8	1.30	15.8	1.79	21.0	2.49	26.2	3.40	31.4	4.59
11.0	1.31	16.0	1.82	21.2	2.52	26.4	3.44	31.6	4.65
11.2	1.33	16.2	1.84	21.4	2.55	26.6	3.48	31.8	4.70
11.4	1.35	16.4	1.86	21.6	2.58	26.8	3.52	32.0	4.75
11.6	1.36	16.6	1.89	21.8	2.61	27.0	3.56	32.2	4.81
11.8	1.38	16.8	1.91	22.0	2.64	27.2	3.61	32.4	4.86
12.0	1.40	17.0	1.94	22.2	2.67	27.4	3.65	32.6	4.92
12.2	1.42	17.2	1.96	22.4	2.71	27.6	3.69	32.8	4.97
12.4	1.44	17.4	1.99	22.6	2.74	27.8	3.73	33.0	5.03
12.6	1.46	17.6	2.01	22.8	2.77	28.0	3.78	33.2	5.08
12.8	1.48	17.8	2.04	23.0	2.81	28.2	3.82	33.4	5.14
13.0	1.50	18.0	2.06	23.2	2.84	28.4	3.87	33.6	5.20

13.2	1.52	18.2	2.09	23.4	2.88	28.6	3.91	33.8	5.26
13.4	1.54	18.4	2.12	23.6	2.91	28.8	3.96	34.0	5.32
13.6	1.56	18.6	2.14	23.8	2.95	29.0	4.00	34.2	5.38
13.8	1.58	18.8	2.17	24.0	2.98	29.2	4.05	34.4	5.44
14.0	1.60	19.0	2.20	24.2	3.02	29.4	4.10	34.6	5.50
14.2	1.62	19.2	2.22	24.4	3.05	29.6	4.15	34.8	5.56
14.4	1.64	19.4	2.25	24.6	3.09	29.8	4.19		
14.6	1.66	19.6	2.28	24.8	3.13	30.0	4.24		
14.8	1.68	19.8	2.31	25.0	3.17	30.2	4.29		
15.0	1.70	20.0	2.34	25.2	3.20	30.4	4.34		

A.3 紫外吸收法

A.3.1 原理

臭氧对254nm波长的紫外光有特征吸收。臭氧气样品和参比气体（不含臭氧的空气或氧气）分别以恒定的流速进入仪器的吸收池，参比气通过吸收池时，被光检测器检测的光强为 I_0 ，样品气通过吸收池时被检测器检测的光强为 I ， I/I_0 为透光率。仪器的微处理系统根据朗伯—比尔定律计算出臭氧浓度，这些量之间的关系由式(A.8)或式(A.9)表示：

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha c L} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

$$C = \frac{-1}{\alpha} \cdot \frac{1}{L} \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

式中：

C —— 臭氧浓度，体积分数；

α —— 臭氧在标准状态下对254nm波长紫外光的吸收系数， $\alpha=308$ ；

L —— 吸收池光路长度，cm；

e —— 自然对数的底，取 $e=2.718$ 。

所测得的以体积分数表示的臭氧浓度值应能自动换算为体积质量浓度值 g/m^3 (mg/L)显示。

A.3.2 检测设备

A.3.2.1 紫外吸收臭氧检测仪应具有合适的量程，并有温度和压力校正功能。应定期（最长一年）使用以下两种方法之一校准。

a) 用准确度高于被校准仪器的紫外吸收臭氧检测仪校准；

b) 按A.4的规定用碘量法校准，校准结果偏差应在 $\pm 2\%$ 以内。

A.3.2.2 所有采样管线应采用聚四氟乙烯（PTFE）或聚偏二氟乙烯（PVDF）等对臭氧呈惰性材料，为连接方便，允许采用较短的聚氯乙烯软管和不锈钢接头。

A.3.2.3 带调节阀的流量计，流量范围：0.2 L/min~2L/min，调节阀和流量计都应耐臭氧腐蚀。

A.3.2.4 检测仪排气口宜安装臭氧分解器。

A.3.3 臭氧浓度检测

A.3.3.1 气路连接

气路连接参见图A.2。

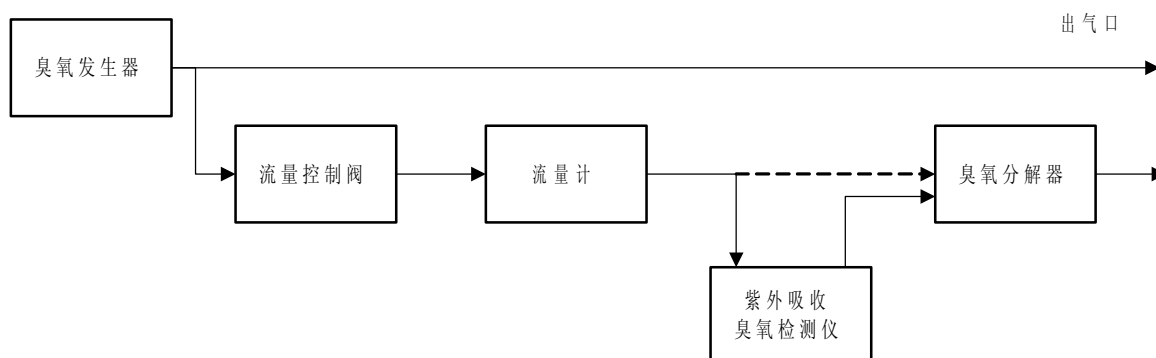


图 A.2 臭氧浓度检测系统示意图

A.3.3.2 检测操作

检测应在臭氧发生器和臭氧检测仪工作稳定后开始。

- a) 调节流量控制阀，使流量计指示大于臭氧检测仪所需流量，防止环境空气倒流；
- b) 当臭氧检测仪读数稳定后，记录下臭氧检测仪示值 C (g/m^3)。

A.4 碘量法校准紫外吸收式臭氧检测仪

A.4.1 方法

用紫外吸收式臭氧检测仪（以下简称臭氧检测仪）和碘量法同时测定臭氧发生器输出臭氧化气的臭氧浓度，比较测定结果以校准臭氧检测仪。改变臭氧发生器的臭氧浓度进行比对测量，以覆盖臭氧检测仪的全量程。

校准试验应由专业人员进行。

A.4.2 器材

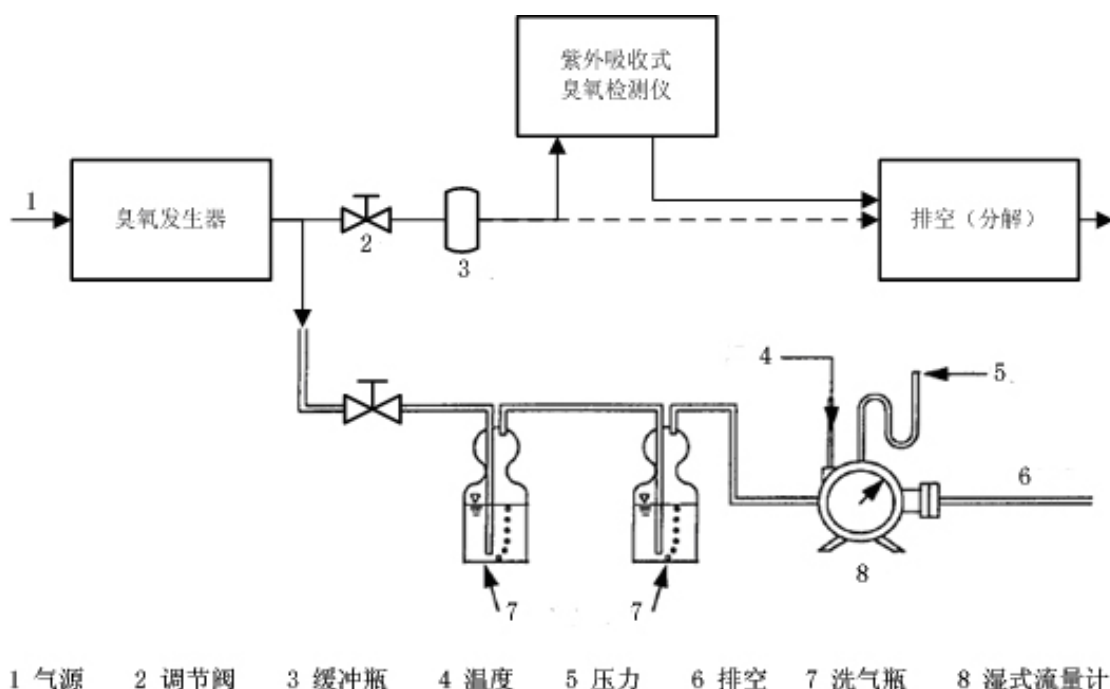
A.4.2.1 可调节臭氧浓度的臭氧发生器及气源，其最高臭氧浓度和气体流量应能满足被校准仪器的要求。

A.4.2.2 碘量法所需的试剂及仪器、设备参照本附录A.2.2和A.2.3；硫代硫酸钠滴定液应事先按本附录A.2.4标定。

A.4.2.3 其他器材见本附录A.3.2。臭氧检测仪样品气入口前宜设置缓冲瓶。

A.4.3 校准系统

校准系统连接见图A.3。



图A.3 校准系统简图

A.4.4 校准程序

在臭氧检测仪全量程内预先选取9个基本均匀分布的浓度值进行校准试验。

A.4.4.1 臭氧发生器工作前，将洗气瓶内置纯水，将臭氧发生器气源打开鼓气，调节图A.3中下方调节阀，使湿式流量计在1min~2min内记录气体的体积在1~3L，并使通过上方调节阀的气体流量不小于臭氧检测仪要求的流量。

A.4.4.2 启动臭氧发生器，调节其输出臭氧浓度在某一预选的浓度值附近，按本附录A.2.5.2、A.2.5.3进行采样和滴定，在采样的同时记录下臭氧检测仪示值的平均值 C_i (g/m³)。

A.4.4.3 按A.2.6进行臭氧浓度计算，得到碘量法测定的臭氧浓度值 C (g/m³)。

A.4.4.4 紫外吸收法与碘量法的百分偏差按式(A.10)计算。

$$\text{百分偏差} = \left(\frac{C_i}{C} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

A.4.4.5 改变臭氧发生器工作状态调节其输出臭氧浓度于另一浓度值附近，重复A.4.4.1~A.4.4.4条8次。

A.4.4.6 计算出的9次偏差算术平均值应在±2%以内，单个数值最大偏差不得超过检测仪的准确度。

A.5 臭氧浓度单位换算

A.5.1 概述

臭氧浓度除本标准规定的体积质量浓度g/m³ (mg/L)外，国外常用的质量分数浓度（重量百分比浓度）%wt，体积分数浓度%vol，质量百万分比浓度ppm (wt)，体积百万分比浓度ppm (vol)等，以下给出单位换算公式和表格。换算公式和表格数据是在标准状态（T=273.15K，P=101.325kPa，NTP）下建立的。

A.5.2 臭氧浓度换算公式

体积质量浓度换算成质量分数浓度按式(A.11)计算。

$$C' = \frac{C}{\rho_{\text{气}}(1000 + 0.5CV_m/48)} \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

质量分数浓度换算成体积质量浓度按式(A.12)计算。

$$C = \frac{1000\rho_{fg}C'}{1-0.5\rho_{fg}C'V_m/48} \dots\dots\dots (A.12)$$

式中：

C' —— 臭氧浓度，重量百分比；

C —— 臭氧浓度，mg/L；

V_m —— 摩尔体积（22.4L/mol）；

ρ_{fg} —— 气源密度，g/L。

注：纯氧气源 $\rho_{fg}=1.429\text{g/L}$ ，空气源 $\rho_{fg}=1.293\text{g/L}$ 。

A.5.3 干燥空气源臭氧浓度换算

干燥空气源臭氧浓度换算参见表A.2。

表 A.2 干燥空气源臭氧浓度换算

体积质量浓度 g/m ³	质量分数 %wt	体积分 %vol	质量百万分比 ppm(wt)	体积百万分比 ppm(vol)
1.000	0.07734	0.04667	772.4	466.7
12.93	1.000	0.6034	10000	6034
21.43	1.657	1.000	16573	10000
0.001293	0.0001000	0.00006034	1.000	0.6034
0.002143	0.0001657	0.0001000	1.6573	1.000

A.5.4 纯氧气源臭氧浓度换算

A.5.4.1 纯氧气源臭氧浓度换算参见表A.3。

表A.2换算在低浓度时适用，如质量分数浓度超过5%，造成体积质量浓度的误差在2%以上，高浓度时应依据计算公式进行换算。

表 A.3 纯氧气源臭氧浓度换算

体积质量浓度 g/m ³	质量分数 %wt	体积分 %vol	质量百万分比 ppm(wt)	体积百万分比 ppm(vol)
1.000	0.07000	0.04667	700.0	466.7
14.29	1.000	0.6667	10000	6667
21.43	1.500	1.000	15000	10000
0.001429	0.0001000	0.00006667	1.000	0.6667
0.002143	0.0001500	0.0001000	1.500	1.000

A.5.4.2 纯氧气源质量分数浓度与体积质量浓度换算参见表A.4。

表 A.4 纯氧气源质量分数浓度与体积质量浓度换算简表

质量分数浓度 %wt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
体积质量浓度 g/m ³	14.3	28.8	43.3	57.9	72.7	87.5	102.4	117.5	130.6	147.8
质量分数浓度 %wt	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
体积质量浓度 g/m ³	163.2	178.6	194.2	209.9	225.6	241.5	257.5	273.6	289.9	306.2

附录 B
(资料性附录)
气体体积流量值修正计算

B.1 温度压力修正计算**B.1.1 必要性**

气体标准状态为温度 $T=273.15\text{K}$ (0°C)、压力 $P=101.325\text{kPa}$ ，实际温度、压力与标准状态不同时，气体的体积流量值随之变化。

B.1.1.1 温度影响

设定气体压力为标准气压不变，温度升高将使一定质量的气体体积比标准状态大，其变化量如表 B.1 所示。

表 B.1 气体体积与温度的关系

温度 $^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40
体积变化	0	+3.66%	+7.32%	+10.98%	+14.64%

B.1.1.2 压力影响

测量气体压力通常以“表压”表示，其绝对静压为当地大气压与表压之和。设定温度为 0°C 不变，当地大气压为标准气压，一定质量的气体体积随表压增大而减小，其变化量如表 B.2 所示。

表 B.2 气体体积与表压的关系

表压 kPa	0	20	40	60	80	100
体积变化	0	-16.48%	-28.30%	-37.19%	-44.12%	-49.67%

B.1.1.3 大气压影响

设定温度为 0°C ，且忽略纬度的影响，一定质量的气体体积随海拔高程、当地大气压的变化量如表 B.3 所示。

表 B.3 气体体积与海拔的关系

海拔高程 m	-150	0	200	500	1000	2000	3000
当地大气压 kPa	103.143	101.325	98.901	95.265	89.205	77.085	64.964
体积变化	-1.76%	0	+2.455%	+6.36%	+13.59%	+31.45%	+55.97%

实际测量气体体积流量时，将同时受到温度、表压和当地大气压的影响，为便于比较必须进行修正计算。

B.1.2 常用流量计的温度压力修正计算

应按照本标准规定的标准状态进行温度压力修正。

臭氧发生器实际工作的温度、压力变化范围相对较小，气源氧气或空气的分子量不大，进行温度压力修正计算时可忽略气体粘度系数、压缩系数、仪表膨胀系数等变化的影响。

B.1.2.1 玻璃转子流量计与金属浮子流量计**B.1.2.1.1 计算式**

玻璃转子流量计与金属浮子流量计气体体积流量修正见式 (B.1)。

$$Q_1 = Q_0 \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}} \sqrt{\frac{P_1}{P_0}} \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} = K_p K_r K_T Q_0 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$$K_{\rho} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}}; K_P = \sqrt{\frac{P_1}{P_0}}; K_T = \sqrt{\frac{T_0}{T_1}};$$

- Q_I —— 工作状态下的气体流量换算到标准状态下的流量;
- Q_0 —— 流量计的示值读数;
- ρ_I —— 标准状态下被测气体的密度, kg/m³;
- ρ_0 —— 标准状态下空气的密度, $\rho_0=1.205\text{kg/m}^3$;
- P_I —— 工作状态下被测气体的压力(表压与大气压之和), kPa;
- P_0 —— 标准状态时的压力, $P_0=101.325\text{kPa}$;
- T_I —— 工作状态下被测气体的温度, K;
- T_0 —— 标准状态温度, $T_0=293.15\text{K}$ (20℃);
- K_{ρ} —— 气体密度换算系数;
- K_P —— 气体压力换算系数;
- K_T —— 气体温度换算系数。

B. 1. 2. 1. 2 气体密度换算系数

气体密度换算系数见表 B. 4。

表 B. 4 气体密度换算系数

	密度 kg/m ³ (20℃, 101.325kPa)	K_{ρ}
空气	1.205	1.000
氧气	1.331	0.951

B. 1. 2. 1. 3 常用气体压力换算系数

常用气体压力换算系数见表 B. 5。

表 B. 5 常用气体压力换算

表压 (MPa)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.15
K_P	1.094	1.181	1.262	1.338	1.410	1.575

注: 大气压为标准气压

B. 1. 2. 1. 4 常用气体温度换算系数

常用气体温度系数换算见表 B. 6。

表 B. 6 常用气体温度换算

工作温度 (℃)	0	10	20	30	40
K_T	1.0360	1.0175	1.0000	0.9834	0.9675

B. 1. 2. 2 涡街流量计

涡街流量计的体积流量修正计算见式(B. 2)。

$$Q_N = f \times \frac{3600}{K} \times \frac{P}{P_N} \times \frac{T_N}{T} \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中:

- Q_N —— 气体标准状态体积流量, m³/h;
- P —— 气体工作状态压力(绝压), MPa;
- P_N —— 标准状态压力, MPa;
- T —— 气体工作状态温度, K;
- T_N —— 标准状态温度, K;
- f —— 旋涡分离的频率, 1/s;
- K —— 仪表的流量系数, 1/m³。

B.2 臭氧发生室进气-出气流量值换算

B.2.1 适合装置在臭氧发生室出气端的气体流量计

一些种类的气体流量计其仪表系数与被测气体的密度无关,以一种气体标定后可测量不同密度气体的体积流量。有此特性的气体流量计适合装置在臭氧发生室的出气端,直接测量出不同臭氧浓度时臭氧化气的体积流量,经温度压力修正为标准状态的流量值,用以计算臭氧产量。容积式流量计、涡街流量计、超声流量计等有此特性。

B.2.2 适合装置在臭氧发生室进气端的气体流量计

另一些常用流量计如玻璃转子流量计、金属浮子流量计、孔板流量计、质量流量计等,其体流量的仪表系数与气体密度直接相关,以一种气体标定的这类流量计难于准确测量不同密度或密度变化的气体体积流量。但这类流量计可装置于臭氧发生室的进气端,以原料气(空气或氧气)标定,可准确测量进入臭氧发生室的原料气的体积流量,经温度压力修正后的流量值可按测得的出气端臭氧浓度换算为臭氧化气的体积流量,用于臭氧产量计算。

B.2.3 进气-出气体积流量值换算

B.2.3.1 原理

臭氧生成反应简式为 $3O_2 \rightarrow 2O_3$,表明生成 1mol 臭氧须消耗 3/2mol 氧气。由臭氧分子量=48 及理想气体体积= $22.4 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{mol}$,若已知臭氧浓度 C_{O_3} ,单位是 g/m^3 ,其摩尔浓度为 $(C_{O_3}/48) \text{mol}/\text{m}^3$,则每生成 1m^3 臭氧化气相应的输入气量为 $1+1/2 \times C_{O_3}/48 \times 22.4 \times 10^{-3} \text{m}^3$,据此可将臭氧发生室进气端测得的原料气体积流量换算为出气端臭氧化气的体积流量。

B.2.3.2 计算式

臭氧发生器进气-出气体积流量换算见式(B.3)。

$$Q_{out} = Q_{in} \times \left(\frac{48 \times 2}{48 \times 2 + C_{O_3} \times 0.0224} \right) \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

Q_{out} —— 臭氧化气体积流量, m^3/h ;

Q_{in} —— 原料气体积流量, m^3/h ;

C_{O_3} —— 臭氧浓度, g/m^3 。

B.2.3.3 不同臭氧浓度时出气/进气体积流量比值

不同臭氧浓度时出气/进气体积流量比值见表 B.7。

表 B.7 不同臭氧浓度时出气/进气体积流量比值

臭氧浓度 g/m^3	10	20	50	80	100	120	150	200
出气/进气流量比值	0.998	0.995	0.989	0.982	0.977	0.973	0.966	0.955

附 录 C

(资料性附录)

臭氧发生器性能参数检测报告表

C.1 臭氧发生器性能参数检测报告表参见表C.1。

(表格见下页)

表 C.1 臭氧发生器性能参数检测报告

日期: 环境温度: °C 臭氧浓度测定方法: 仪器:
 地点: 相对湿度: % 电量测定仪器:
 臭氧发生器编号: 大气压力: kPa 气源: 氧含量: % 常压露点: °C

时间	气体温度		冷却水 流量 m ³ /h	冷却水温度		发生室 气压 MPa	气体流量 计读数 m ³ /h	臭氧浓度 g/m ³	输入平 均电压 V	输入平 均电流 A	功率 因数 cos φ	输入 功率 kW	标准气量 m ³ /h	臭氧产量 kg/h (g/h)	臭氧电耗 kW · h/kg
	进气 °C	出气 °C		进水 °C	出水 °C										
结论															
检测人员:															

参 考 文 献

- [1] DIN19627-1993 Ozonerzeugungsanlagen zur Wasseraufbereitung.
 - [2] NSF/ANSI 222-2006e Ozone generator.
 - [3] オゾンハンドブック。日本オゾン協会，2004。
 - [4] International Ozone Association. Guideline for Measurement of Ozone Concentration in the Process Gas From an Ozone Generator. Ozone Science & Engineering. 1996, 18: 209-229.
 - [5] International Ozone Association. Lexicon of Terms.
 - [6] GB/T 20001.4-2001 标准编写规则 第4部分：化学分析方法
 - [7] JB/T 6427-2001 变压吸附制氧、制氮设备
 - [8] JB/T 6844-93 金属浮子流量计
 - [9] JB/T 9255-1999 玻璃转子流量计
 - [10] JB/T 10564-2006 流量测量仪表基本参数
 - [11] 《气体流量计》，杨有涛等主编，中国计量出版社，2007.8
-