



T/CECS ××× – 2024

中国工程建设标准化协会标准

城镇给水二氧化碳投加技术规程

Technical specifications for carbon dioxide addition to urban
water supply

(征求意见稿)

××××××××出版社

2024 北京

中国工程建设标准化协会标准

城镇给水二氧化碳投加技术规程

Technical specifications for carbon dioxide addition to urban

water supply

T/CECS ×××-2024

主编单位：中国市政工程中南设计研究总院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202×年×月×日

××××××××出版社

2024 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第一批协会标准制订计划>的通知》（建标协字〔2022〕13 号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考了相关技术资料，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 6 章，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、工艺设计、安装、调试与验收、运行与维护。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会城市给水排水专业委员会归口管理，由中国市政工程中南设计研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。实施过程中如有意见或建议，请反馈至中国市政工程中南设计研究总院有限公司（地址：武汉市江岸区解放公园路 8 号，邮政编码：430010）。

主编单位：中国市政工程中南设计研究总院有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总 则	1
2 术语	2
3 基本规定	3
4 设计	6
4.1 一般规定	6
4.2 储存系统	14
4.3 投加装置	17
4.4 监测与控制	19
5 安装、调试与验收	22
5.1 安 装	22
5.2 调 试	23
5.3 验 收	23
6 运行与维护	26
6.1 运 行	26
6.2 维 护	27
6.2 维 护	27
用词说明	29
引用标准名录	30

Conents

<u>1 General Provisions</u>	1
<u>2 Terms</u>	2
<u>3 Basic requirements</u>	3
4 Technological design	6
4.1 General Provisions.....	6
4.2 Storage System.....	14
4.3 Adding device.....	17
4.4 Monitoring and Control.....	19
5 Installation, Commissioning, and acceptance	22
5.1 Installation.....	22
5.2 Commissioning.....	22
5.3 Acceptance.....	23
6 Operation and Maintenance	26
6.1 Operation.....	26
6.2 Maintenance.....	27

1 总 则

1.0.1 为规范城镇给水二氧化碳系统应用的设计、建造和运行管理，制定本规程。

【条文说明】关于本规程的编制目的。

1.0.2 本规程适用于新建、扩建和改建城镇给水处理工程中应用二氧化碳调节 pH 值、碱度、控制余铝、再矿化、提升水质化学稳定性时的工艺设计、安装、调试和验收、运行和维护。

【条文说明】关于本规程适用范围的规定。

1.0.3 城镇给水二氧化碳应用系统的建设和运行维护除应符合本规程外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

【条文说明】明确了城镇自来水厂应用二氧化碳时需同时执行国家颁布的现行有关标准、规范的规定。

2 术语

2.0.1 “气-液”投加方式 "Gas-liquid" Dosing Mode

将二氧化碳以气体形式直接投加至待处理水中。

2.0.2 “液-液”投加方式 "Liquid-liquid" Dosing Mode

将二氧化碳气体与自用水进行混合形成碳酸溶液,再将碳酸溶液投加至待处理水中。

2.0.3 余铝 Residual Aluminum

铝系混凝剂在混凝-沉淀-过滤后因反应不完全或水解产生的进入出水中残余的各种形态铝的总和。

2.0.4 设计投加量 Design Dosage

在设计进出水 pH 值或碱度条件下,每升水中需要投加的二氧化碳质量(mg),以 mg/L 计。

2.0.5 再矿化 Remineralization

采用二氧化碳与石灰或石灰石联合投加以提高水体碱度、硬度和 pH 值,提升水质化学稳定性的过程。

2.0.6 利用率 Utilization Rate

二氧化碳有效利用量 (mg) 与实际投加量 (mg) 比值的百分数。

3 基本规定

3.0.1 当水厂有强化混凝、控制余铝、调节 pH 值或碱度、再矿化、改善次氯酸钠消毒效果、提升水质化学稳定性等需求时，可投加二氧化碳。

【条文说明】国内不少水厂水源水在夏季因为藻类的繁殖出现季节性 pH 值上升现象，部分时段 pH 值甚至大于 9。水厂原水 pH 值升高易导致水厂混凝效果及消毒效果下降，从而引起水厂出水铝含量或细菌总数有超标风险甚至不能稳定达标。根据实地调研，上海某水厂在夏季进厂水 pH 值达到 8.5~9.0，通过投加二氧化碳将混凝前原水 pH 值控制在 7.6，出水余铝稳定低于企业内控标准 0.15mg/L。桂林某水厂原水 pH 值在 8.0 以上，出水余铝难以稳定在 0.15mg/L 以下，通过投加二氧化碳将 pH 值控制在 7.2~7.4，出水余铝稳定控制在 0.1mg/L 以下。深圳某水厂原水水质总碱度 $<18.5\text{mg/L}$ （以 CaCO_3 计），CCPP（碳酸钙沉淀势）约为 -28.29，化学稳定性较差，通过在混凝池前的原水管道上联合投加二氧化碳和石灰后，出厂水 pH 值由原来的 7.14 提高至 7.68，碱度由 15mg/L 提高至 75mg/L，钙离子由 31mg/L 提高至 87mg/L，管网水的化学稳定性显著改善。

3.0.2 投加系统供气量及供气压力应满足水厂 pH 值调节及投加点需求。二氧化碳设计投加量应能满足水厂设计规模、设计 pH 值或碱度调节的需要。

【条文说明】当采用“气-液”投加方式时，投加系统（包括储存系统和投加装置）的供气量和供气压力应满足投加点处 pH 值调节的需要。供气压力应高于投加点处的水压，避免水压高于气压倒流进入二氧化碳投加装置。当采用“液-液”投加方式时，储存系统的供气量、供气压力应满足投加装置的用气需求。

为了保证二氧化碳投加系统在最大生产规模和最不利水质条件下正常工作，二氧化碳投加系统的投加量应满足调节需要。

3.0.3 二氧化碳投加系统安全性应符合以下规定：

- 1 储存系统安装位置及对周边环境的影响须符合当地法规。
- 2 二氧化碳室内储存和投加设备放置点应设有高位新鲜空气进口和低位室内空气排出口通风设施。
- 3 二氧化碳储存应设有防止泄漏的措施。
- 4 各管件阀门及其他附件应耐压防腐，优先选用不锈钢材质。
- 5 二氧化碳系统应设有过压保护的设施。

【条文说明】二氧化碳储存系统为中压低温系统，一旦发生泄漏将会对周边环境产生影响，为保证水厂的安全稳定运行，储存系统安装位置的选取及对周边环境影响需须符合当地法规要求。

当空气中二氧化碳的体积分数为 1%时,会让人感到气闷,头昏,心悸;4%-5%时感到眩晕; 6%以上时使人神志不清、呼吸逐渐停止以致死亡。因此，二氧化碳储存点及室内投加装置处应有保持通风的设施，一旦发生二氧化碳气体泄漏，可以通过通风设施降低场所空气中二氧化碳体积分数，保证工作场所人员的安全。一般通过在二氧化碳室内储存和投加设备放置点设置高位新鲜空气进口和低位室内空气排出口来达到通风的目的。此外，可在室内安装二氧化碳泄露检测仪，当空气中二氧化碳浓度高于限定值时发出警报，一般日平均报警值为 0.1%，瞬时报警值为 0.5%。

二氧化碳遇水会生成弱酸碳酸，所以与二氧化碳气体或者碳酸溶液接触的管件、阀门等应耐压防腐，优先选用不锈钢材质。

二氧化碳储存系统为中压低温系统，一旦调压阀组出现系统故障或误操作，会导致整套系统超出安全运行范围，造成设备损坏或发生安全事故。因此，为保证二氧化碳投加系统的安全性还需设置二氧化碳系统过压保护措施。

3.0.4 二氧化碳质量应符合现行国家标准《食品安全国家标准 食品添加剂 二氧化碳》GB 1886.228 有关规定。

【条文说明】投加到水中的二氧化碳应安全无毒，其产品质量应符合现行国家标准《食品安全国家标准 食品添加剂 二氧化碳》GB 1886.228 的规定。

3.0.5 二氧化碳利用率应不低于 90%。

【条文说明】本条文编写主要参考了国外案例，并考虑的运行成本和对后续工艺的影响。防止沉淀池气浮现象发生，避免大量二氧化碳溢失对后续处理工艺造成影响。首先，如图 2，根据韩国某水厂的二氧化碳投加案例和 GASLAB 的产品介绍中均提到，在使用二氧化碳投加工艺后二氧化碳利用率基本在 95%以上，最大可达到 99%。

表 4 韩国某水厂案例

样品号	时间	原水 pH 值	出水 pH 值	总碱度 mg/L	CO ₂ 流量 kg/h	CO ₂ 投加量 mg/L	水流量 m ³ /h	温度 °C	TDS mg/L	利用率
-----	----	---------	---------	----------	-------------------------	--------------------------	-----------------------	-------	----------	-----

1#	10:20	7.91	7.49	47.0	10.547	1.89	5526	23.00	130	99%
2#	10:35	7.91	7.49	46.0	10.598	1.85	5560	23.10	130	97%
3#	10:50	7.86	7.46	46.0	10.594	1.85	5550	22.80	130	97%
4#	11:17	7.91	7.48	45.5	10.669	1.90	5550	22.70	130	99%
5#	11:30	7.88	7.48	45.0	10.580	1.87	5570	22.90	130	98%
6#	2:30	7.81	7.47	47.90	10.35	1.82	5540	23.00	130	98%
7#	3:10	7.93	7.50	46.30	10.31	1.82	5560	23.20	130	96%
8#	3:40	7.96	7.54	49.40	10.41	1.80	5555	23.50	130	96%
9#	4:00	7.93	7.50	47.00	10.38	1.81	5555	23.30	130	97%
10#	4:25	7.91	7.53	49.20	10.32	1.70	5940	23.70	130	98%

此外，当二氧化碳利用效率较低时会造成运行成本增加，同时大量二氧化碳溢出，溢失的二氧化碳气体会对沉淀池的凝聚絮体进行搅动，造成出水浊度增加。故综合考虑，建议二氧化碳利用率应不低于 90%。

4 设计

4.1 一般规定

4.1.1 二氧化碳投加系统由储存系统、投加装置、监测与控制系统三部分组成。

【条文说明】城镇给水二氧化碳投加系统的组成包含二氧化碳的储存、二氧化碳的投加以及相关的检测与控制系统。二氧化碳储存系统主要是提供压力稳定的二氧化碳气体，投加装置主要将储存站供气投加至待处理水中，监测与控制系统主要是监测二氧化碳投加点前后的 pH 值、浊度、铝等水质控制指标以及二氧化碳投加系统压力、流量、储存系统压力、液位等参数，并将相关信息反馈至信息平台。

4.1.2 二氧化碳投加形式可选择“气-液”投加方式或“液-液”投加方式。二氧化碳投加形式的选择应根据场地条件、投加量、气体利用率、投加成本等经技术经济比较确定。

【条文说明】二氧化碳一般以液态形式储存，根据目前应用工程案例，液态的二氧化碳一般先气化成气态二氧化碳，气态的二氧化碳可直接投加至水厂净水工艺主流程水中，这种投加方式称之为“气-液”投加方式，示意图见图 1；气态二氧化碳先与水进行混合形成碳酸溶液再投加至水厂净水工艺主流程水中，这种投加方式称之为“液-液”投加方式。经调研，“液-液”投加方式中形成碳酸溶液有 2 类方式，一类以水射器为核心，实现二氧化碳与水的混合，见示意图 2；一类以碳酸制备组件为核心实现高效碳酸溶液，示意图见图 3。目前这 3 种投加形式均有不少工程案例，占地主要是储存系统及投加装置，电耗主要来自于增压泵，经调研，几种投加方式占地在 5~100.2m²，电耗在 0.0033kW.h/m³ 以下。

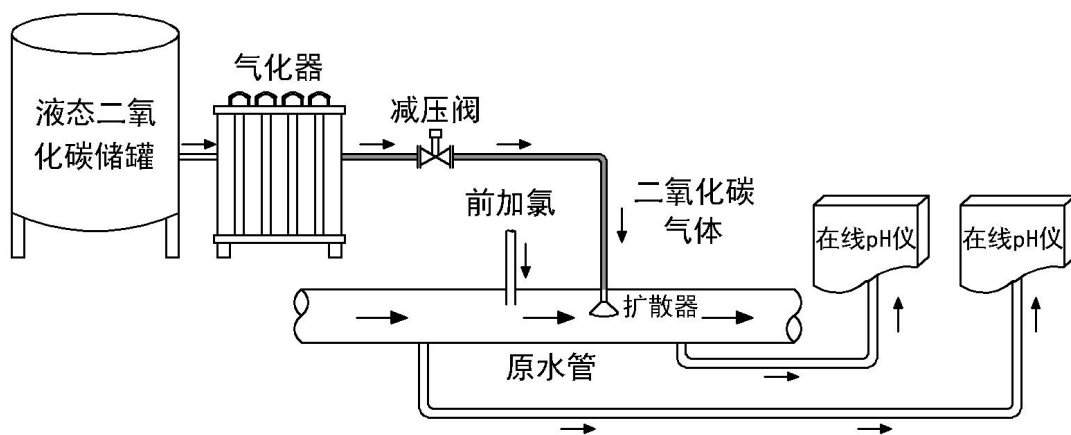


图1 “气-液”投加方式示意图

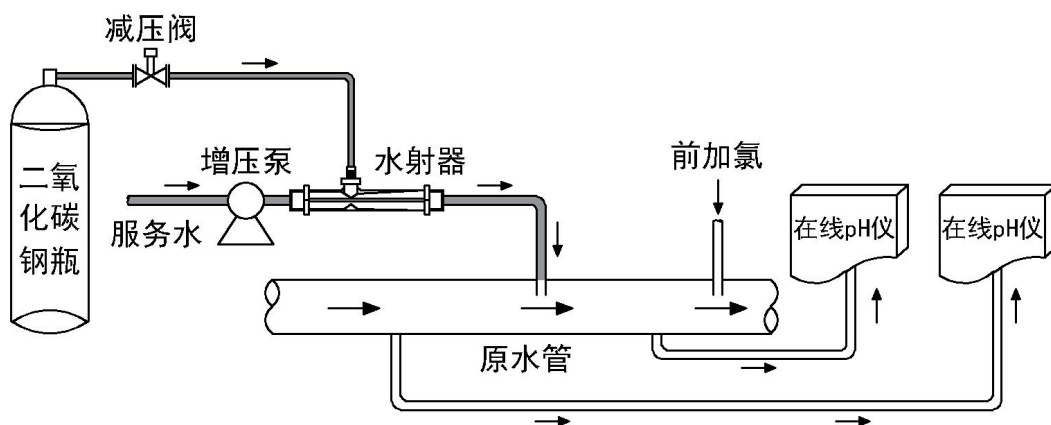


图2 以水射器为核心的“液-液”投加方式示意图

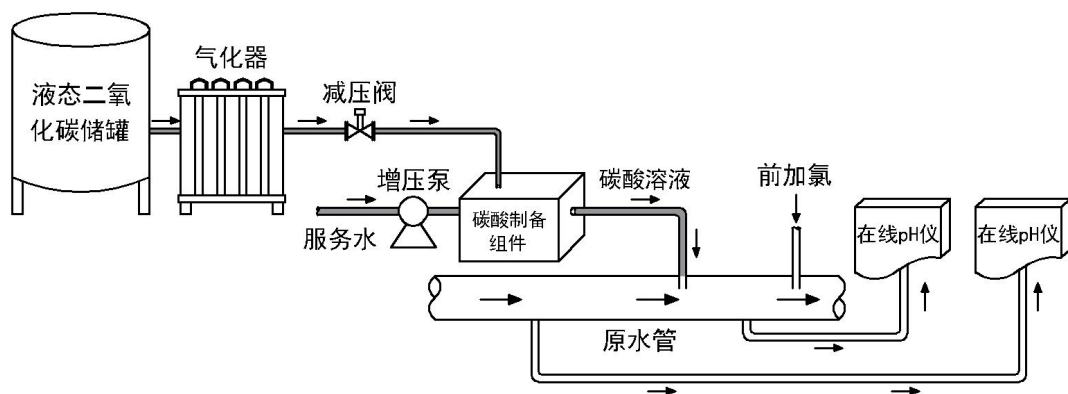


图3 以碳酸制备组件为核心的“液-液”投加方式示意图

4.1.3 二氧化碳投加位置应根据水质控制需求并结合水厂工艺流程和其他加药点位置进行设计。

1 用于控制原水 pH 值、强化混凝效果或控制出厂水铝指标时应设在混凝剂、预氯化或预臭氧投加点之前 20m 以上的位置处。

2 用于改善次氯酸钠消毒效果、改善出厂水 pH 值、碱度，稳定管网水质时投加点可根据工艺布置特点进行设置。

3 用于提高低硬度、低碱度原水的化学稳定性，宜设置在混凝前。

【条文说明】对于铝系混凝剂，如聚合氯化铝（PAC），其最佳混凝 pH 值范围通常在 6.5 至 7.5 之间，混凝剂可以形成稳定的氢氧化铝胶状物，实现良好的混凝效果，pH 值较高时，混凝剂水解易生成偏铝酸盐，混凝效果下降，还会导致出厂水余铝偏高或超标，因此对于控制余铝的二氧化碳投加点应置于混凝剂投加点之前的原水管道上。有的水厂在混凝前还有预氧化药剂（次氯酸钠、二氧化氯、高锰酸钾或者臭氧等氧化剂）的投加情况，在此情况下，应先调整 pH 值，再进行预氧化药剂的投加，再投加混凝剂。为了保证预氧化剂与混凝剂的处理效果，二氧化碳投加点与其他药剂的投加点位置间隔宜在 20m 以上。

不少研究表明 pH 值高于 8.5 时，会降低次氯酸钠消毒效果。当投加二氧化碳用于改善次氯酸钠消毒效果时，投加点宜设置在消毒接触池之前。

当原水有低碱度低硬度水质特征需要进行再矿化处理时，一般采用二氧化碳与石灰联用，投加在混凝池前。

4.1.4 在二氧化碳投加点前后处应设 pH 在线监测仪表。

1 “气/液”投加系统原水 pH 仪表的安装点与 CO₂ 系统的投加点应相距 30m 以上。

2 “液/液”投加系统原水 pH 仪表的安装点与 CO₂ 系统的投加点应相距 20m 以上。

【条文说明】为指导二氧化碳的投加量，应根据原水 pH 值和目标调控 pH 值进行确定，因此应在二氧化碳投加前后安装 pH 在线监测仪表进行 pH 的监测。由于二氧化碳或碳酸溶液投加至原水后一方面和原水进行混合，一方面会发生碳酸系列的平衡反应，产生的氢离子、碳酸氢根、碳酸根和氢氧根等离子发生反应并达到平衡，在这一系列反应过程中需要预留充足的反应时间，以保证二氧化碳气体或溶液与原水充分混合、反应及 pH 值的稳定，避免影响后续处理工艺。“气/液”投加系统 pH 值稳定时间相对更长，pH 仪表安装间距宜比“液/液”投加系统的

长。

4.1.5 根据投加点不同,控制投加二氧化碳后 pH 值,原水管投加宜控制为 7.0~8.0,在滤后投加宜控制在 7.0-8.5 之间, pH 值调节误差宜控制在 ± 0.1 以内。

【条文说明】根据二氧化碳投加应用场景,对于控铝、及稳定出厂水水质及稳定管网水质的目的 pH 值宜控制为 7.0~8.0,具体数值可通过试验确定,国内相关案例情况见表 1。在设置控制目标 pH 值后, pH 值调节误差宜控制在 ± 0.1 以内。

表 1 水厂二氧化碳投加案例情况列表

序号	水厂名称	水厂规模 万 m ³ /d	二氧化碳 投加系统 规模 kg/h	投加点	投加方式	投加设备	投加点释 放装置	投加量 mg/L	原水 pH 值/碱度 (以 CaCO ₃ 计, mg/L)	投加后控 制目标 pH 值	投加目的
1	南山水厂	20	10	配水井	液/液	水射器	穿孔管	0.5-1.2	7.5-9.0	7.8-8.0	降低原水 pH 值, 减 少混凝剂 投加量, 控制残余 铝, 减少 污泥排放 量
2	东江水厂	10	25-32	原水管道	液/液	水射器	直管	7.4-9.5	8.0 以上	7.2	
3	上海徐泾 水厂	20	145	原水管道	液/液	气液混合 设备	扩散器	0-15	7.5-9.0/80-100	7.2	
4	上海泰和 水厂	100	525	原水管道	液/液	气液混合 设备	扩散器	0-12	7.7-8.7/80-100	7.2	
5	上海长桥 水厂	140	800	原水管道	液/液	气液混合 设备	扩散器	0-13	7.5-9.0/80-100	7.2	
6	台州东部 水厂	20	30	原水管道	液/液	气液混合 设备	扩散器	0-3.5	6.5-7.6/10-25	7.2	
7	上海航头 水厂	24	40-180	单独混合 器及混合 管道	液/液	气液混合 设备	扩散器	4-18	7.5-9	7.5	
8	东湖水厂	60	125	原水管	液/液	气液混合 设备	扩散器	5	7-9.2	7.2-7.5	
9	甲子塘水	20	65	原水管	液/液	气液混合	扩散器	7	7-8.6	7.2-7.5	

	厂					设备					
10	朱坳水厂	50	208	原水管	液/液	气液混合设备	扩散器	10	7-9	7.2-7.5	
11	光明水厂	35	100	原水管	液/液	气液混合设备	扩散器	5	7-9	7.2-7.5	
12	荷坳水厂	4	70	原水管	液/液	气液混合设备	扩散器	40	7-9	7.2-7.5	调节 pH 值、再矿化
13	上海惠南水厂	44	70-330	原水管道	气/液	气体调压系统	扩散器	4-18	7.5-9	季节性调节 pH 值 7.5	降低原水 pH，减少混凝剂投加量，控制残余
14	上海北水厂	20	30--150	原水管道	气/液	气体调压系统	扩散器	4-18	7.5-9	季节性调节 pH 值 7.5	铝，减少污泥排放量

4.1.6 二氧化碳投加量应根据待处理水 pH 值、碱度和调节目标 pH 值等参数确定。

二氧化碳投加量可依据以下公式进行理论计算：

$$\sum CO_2 = \alpha \cdot A_T \quad (1)$$

式中：

$\sum CO_2$ — 碳酸盐体系中碳酸、碳酸氢根、碳酸根之和的总量，单位为 mmol/L；

α — pH 值相对应的碳酸盐平衡系数，无量纲；

A_T — 待处理水碱度，单位为 mmol/L。

【条文说明】天然水体中 pH 值不同时，碳酸盐平衡体系中各组份（水合二氧化碳、碳酸氢根、碳酸根、氢氧根）之间的相对比例不同，pH 值相对应的碳酸盐平衡系数也不同，不同 pH 值条件下的平衡系数见表 2。对于天然水体，尽管不同 pH 值条件下碳酸盐平衡体系中各组份比例不同，但 $\sum CO_2$ 不变，即水中碳酸、碳酸氢根、碳酸根的总和不变。当投加二氧化碳调整 pH 值时，已知原水碱度，可通过公式计算可以得出水中 $\sum CO_2$ 总量，从而计算出二氧化碳的投加量。通过以下案例进一步说明：

例如：某水厂原水 pH 值为 8.5，总碱度 A_T 为 1.4mmol/L，把 pH 值降到 7.5 所需要投加二氧化碳的量理论计算如下：

根据表 2，pH 值为 8.5 时，平衡常数 α 为 0.9925，则 $\sum CO_2$ 为：

$$\sum CO_2 = 0.9925 \times 1.4 = 1.3895 \text{ (mmol/L)}$$

投加二氧化碳后，pH 值降低至 7.5 时，平衡常数 α 为 1.069，但 $\sum CO_2$ 不变，则 pH 值为 7.5 时对应的碱度为：

$$A_T = 1.3895 / 1.069 = 1.2998 \text{ (mmol/L)}$$

所加二氧化碳的物质的量 ΔA 为：

$$\Delta A = 1.3895 - 1.2998 = 0.0897 \text{ (mmol/L)}$$

所投加二氧化碳质量浓度 C 为：

$$C = 0.0897 \times 44 = 3.95 \text{ (mg/L)}$$

表 2 不同 pH 值水质条件下对应的碳酸盐平衡体系平衡常数

pH 值	对应碳酸盐平衡常数	pH 值	对应碳酸盐平衡常数
7.0	1.224	8.6	0.9874
7.1	1.178	8.7	0.9818
7.2	1.141	8.8	0.9754
7.3	1.111	8.9	0.9680
7.4	1.088	9.0	0.9592
7.5	1.069	9.1	0.9488
7.6	1.054	9.2	0.9365
7.7	1.042	9.3	0.9221
7.8	1.032	9.4	0.9054
7.9	1.024	9.5	0.8862
8.0	1.018	9.6	0.8645
8.1	1.012	9.7	0.8404
8.2	1.007	9.8	0.8143
8.3	1.002	9.9	0.7867
8.4	0.9972	10.0	0.7581
8.5	0.9925	10.1	0.7293

4.2 储存系统

4.2.1 液体二氧化碳储存系统一般采用低温液体储罐储存或钢瓶储存。

【条文说明】二氧化碳在常温常压下，呈气态；低温高压下呈液态、固态（干冰）。低温液态储存的二氧化碳属于危化品，应满足危化品相关管理规定。液态二氧化碳储罐的选型与其液化方式紧密相关。目前，二氧化碳常用的液化方式有两种：一是低温中压液化；二是常温中压液化。低温高压液化方法应用较为广泛，液化所需的压力环境较容易实现，对设备的耐压要求较低，能一定程度上缩减成本。经调研，给水厂一般采用低温液化储罐。规模较小水厂，二氧化碳用量不大的水厂也有采用钢瓶储存形式。

4.2.2 二氧化碳低温液体储罐储存系统应由低温液体储罐、气化器、调压器组、过滤器组、液位监控系统、电源箱等组成。

【条文说明】二氧化碳低温液体储罐是二氧化碳储存的主要设备，结构由内外两层容器组成，为真空粉末绝热型式，储罐中二氧化碳以-23℃至-30℃液态存在，储罐下部设置专用真空检测、真空规管及真空阀可定期或随时进行夹层真空度检测，确保储罐安全运行；调压器组确保储罐内压力不低于 1.0MPa；监控系统可随时检测储罐内储存液位及压力的变化，便于充装及排液操作；通过远程液位监控系统实时监测储罐液位，液位应低于安全储量，宜配置气动阀门根据安全设置要求实现自动排气。

4.2.3 二氧化碳钢瓶储存系统应由钢瓶、减压阀、流量计等组成。

【条文说明】钢瓶储存系统一般采用加热式减压阀进行气化供气。

4.2.4 二氧化碳低温液体储罐应符合下列规定：

- 1 储罐为双层容器结构，分为立式和卧式两种形式。液体储存罐应配备压力表、安全阀、减压阀、液位计等。
- 2 储罐压力宜控制在 1.4MPa~1.9MPa，压力不得低于 1.0MPa。
- 3 储罐小容积宜为 1m³~5m³，储罐大容积宜为 10m³~50m³。
- 4 满罐充装率不应大于 95%。
- 5 低温储罐的真空度不应大于 10Pa。

【条文说明】二氧化碳储存在内筒，内筒外筒之间的夹层采用高真空珠光砂填充或多层包扎保温。储罐应配备安全附件及仪表，安全附件包括安全阀、爆破片装

置、安全连锁装置等，仪表包括压力表、液位仪、测温仪表等。规定压力不得低于 1.0MPa，是为了避免内筒二氧化碳呈固态（干冰）。

4.2.5 储存系统气化器工作压力宜为 2.2MPa~2.4MPa，且宜设备用。

【条文说明】气化器可将液态二氧化碳转化为气态，并通过高速气液混合喷嘴投加至原水管道中；气化器组需排放转化后的液态二氧化碳水分。

4.2.6 二氧化碳气体过滤器组的过滤精度宜为 0.425mm。

【条文说明】过滤器组用于净化二氧化碳气体中的杂质及水分，推荐 40 目即 0.425mm。

4.2.7 二氧化碳采用钢瓶贮存时，钢瓶的配置应符合下列规定：

- 1 应配备耐压压力表、减压阀等。
- 2 容积一般为 40L 或 50L。
- 3 储存压力宜为 5MPa~8MPa。

【条文说明】钢瓶包括盛装压缩气体钢瓶、高压低压液化气体钢瓶、低温绝热钢瓶等，本条文钢瓶指压缩气体钢瓶和低温绝热钢瓶。

4.2.8 大中型水厂二氧化碳储存量不宜低于 7 天使用量，中小型水厂二氧化碳储存量不宜低于 5 天使用量。

【条文说明】二氧化碳液体储罐和钢瓶均属于危化品，二氧化碳储存周期除考虑生产需求、运输距离等因素外，还应考虑危化品储运报批所需要的时间。

4.2.9 储存质量和储存体积应根据水厂设计供水规模、二氧化碳设计投加量、储存周期和二氧化碳密度等参数进行计算。计算公式如下：

$$G = \frac{CQT}{1000} \quad (2)$$

$$V = \frac{CQT}{1000\rho} \quad (3)$$

式中：

G —储存质量，单位为 kg；

C —投加量，单位为 mg/L；

Q —供水规模，单位为 m³/d；

T —储存周期，单位为 d；

1000 —换算系数，无量纲；

V —储存体积，单位为 m³；

ρ —二氧化碳密度，单位为 kg/m^3 。

【条文说明】液态二氧化碳密度为 1014.2kg/m^3 ，二氧化碳采用气瓶储存是，二氧化碳气瓶的充装标准是 0.6kg/L （5bar），体积为 40L 的气瓶储存量为 24kg/瓶 。二氧化碳采用液体中压储罐（ -37°C ， 2.2MPa ）储存时，液体二氧化碳密度为 1101kg/m^3 。

4.2.10 储存系统的布置应符合下列规定：

1 固定式储罐应布置于室外，并在四周设防护栏杆，栏杆距离储存系统净距不少于 0.5m ；

2 钢瓶应布置于室内，避免暴晒和加热环境，室内应设空调或通风系统。

【条文说明】固定式储罐应布置在室外，四周设防护栏杆，并满足检修所需空间；栏杆外侧应保证槽车通行、停靠、充装所需空间。钢瓶保持阴凉干燥，远离热源。室内应设空调及通风系统。

4.2.11 采用液体二氧化碳储罐储存时，厂区应有满足运输液体二氧化碳槽车通行、转弯和回车要求的道路和场地。

【条文说明】当槽车开至接卸站后，分别接通储罐与槽车的气相及液相管，利用槽车的接卸液泵，将液体二氧化碳卸到储罐内。在二氧化碳槽车向储罐充装过程中，通过金属软管连接好输液管和平衡管，同时启动循环泵以保证必要的输送高度。

4.3 投加装置

4.3.1 二氧化碳投加装置组成应符合下列规定：

1 “气-液”投加装置包括气体投加控制系统、加注系统、反馈控制系统及在线监测系统。

2 “液-液”投加装置包括气体投加控制系统、气水混合系统、加注系统、反馈控制系统及在线监测系统。气水混合系统有两种形式，一种形式为采用水射器进行混合；另一种为碳酸制备组件进行混合。

【条文说明】二氧化碳投加装置根据投加形式的不同有所区别，“气-液”投加装置的原理是将二氧化碳以气体形式投加至水厂净水工艺主流程水中，液-液投加装置的原理是将二氧化碳与自用水进行混合形成碳酸溶液，再将碳酸溶液投加至主流程水中。因此，相较于气-液投加装置，液-液投加装置会增设气水混合系统。气水混合系统目前主要有两种形式，一种是采用水射器将水氧化碳气体与服务水（自用水）进行混合形成碳酸溶液，另一种是利用增压泵抽取服务水（自用水）与二氧化碳气体在碳酸制备组件进行混合形成碳酸溶液，混合后形成的碳酸溶液再经加注系统投加至原水中。碳酸制备组件常用的有微孔曝气，射流，膜分离混合，压力式气液混合等方式。

4.3.2 “气-液”投加设备工艺参数应符合下列规定：

1 “气-液”投加设备宜根据设备特性自行选择进气压力。

2 二氧化碳投加流量应能及时、迅速的进行控制，反应时间为 1s~4s。

3 pH 值调节精准度控制在 ± 0.1 以内。

4 调节 pH 值稳定时间宜小于 30min。

【条文说明】二氧化碳气体通过扩散器投加至水厂净水工艺主流程水中，为保证气体能快速与原水混合，进气压力应原水管道压力，具体压力范围可根据不同类型气-液投加设备的各自特性进行自行选择。二氧化碳投加设备调控分为投加量调控和 pH 调控。投加量调控是指水厂可根据自身需求设定二氧化碳投加量定量投加。pH 调控是指水厂设置目标 pH 值，设备通过自动调节投加量达到设定 pH 值。投加量调控操作需确保二氧化碳流量调节阀门灵敏，快速到达设定投加量。故建议二氧化碳投加流量反应时间为 1~4s，pH 调节精准度控制在 ± 0.1 以内。pH 调控是基于目标 pH 值开展的，故涉及到在线 pH 计，响应时间较长，故 pH 调

节响应时间宜小于 30min。

4.3.3 “液-液”投加装置工艺参数应符合下列规定：

- 1 “液-液”投加设备宜根据设备特性自行选择进气、进水压力。
- 2 二氧化碳投加流量应能及时、迅速的进行控制，反应时间为 1s~4s。
- 3 pH 值调节精准度控制在 ± 0.1 以内。
- 4 调节 pH 值稳定时间宜小于 30min。

【条文说明】液-液投加的原理是将二氧化碳与自用水进行混合形成碳酸溶液，再将碳酸溶液投加至主流程水中。气水混合时需保证气压高于水压，同时水压决定了二氧化碳气体的溶解度。如表 1 所示，当水压越高时二氧化碳溶解度越高。

表 3 不同水温、压力下二氧化碳气体溶解度

每体积水可溶解的二氧化碳气体体积 ($\text{m}^3/\text{m}^3\text{H}_2\text{O}$)						
温度 \ 压力	0kpa	138kpa	276kpa	414kpa	621kpa	689kpa
0°C	1.71	4.0	6.3	8.6	10.9	13.4
4.4°C	1.45	3.4	5.3	7.3	9.2	11.3
15.6°C	1.00	2.3	3.7	5.0	6.3	7.8
26.7°C	0.73	1.7	2.7	3.6	4.6	5.7
37.8°C	0.56	1.3	2.0	2.8	3.5	4.3

具体压力范围可根据不同类型液-液投加设备的各自特性进行自行选择，确保气水混合反应顺畅。

二氧化碳投加流量的响应时间取决于控制二氧化碳流量的调节阀或控制器，该仪器需确保 1~4s 的反应时间，以便于灵敏精准的控制二氧化碳投加量，从而快速调节原水 pH 值。

为保障水厂后续工艺稳定，建议 pH 调节精准度控制在 ± 0.1 以内，调节 pH 值稳定时间宜小于 30min。

4.3.4 二氧化碳投加装置宜设备用。

【条文说明】便于水厂检修二氧化碳投加装置和保持水厂出水水质稳定，建议二氧化碳投加装置设置备用。

4.3.5 二氧化碳气体或碳酸溶液宜采用扩散器进行投加。

【条文说明】为确保二氧化碳气体或者碳酸溶液与原水充分混合，推荐采用扩散

器投加至原水管或者反应池中。

4.3.7 输送二氧化碳气体的管道直径应满足最大输气量的要求，管材应采用 304 不锈钢。

【条文说明】在对二氧化碳气体进行管道输送设计中，管道直径大小应满足最大输气量的要求，管道设计流速不宜大于 15m/s，管道材质应采用耐压耐腐蚀的 304 不锈钢。

4.3.8 投加装置宜设置在室内，室内空间应满足设备安装维护的要求，环境温度在-10℃至 55℃之间，室内保持良好通风。

【条文说明】从便于水厂管理的角度，建议投加装置置于室内。但水厂也可根据自身安装条件选择合适的安装环境。

4.4 监测与控制

4.4.1 二氧化碳调 pH 系统控制模式主要为就地控制和远程控制：

1 就地控制分为自动控制与手动控制。自动控制通过设定目标 pH 值，设备可根据 pH 监测值自动调整二氧化碳气体投加量，实现自动调控、数据记录等功能；当自动控制系统发生故障时，应切换至手动控制模式，通过手动调节进气阀门，观察气体流量计示数和调整后的 pH 值，对设备的 pH 调控。

2 远程控制时，通过在中控室设置关键参数或发出控制指令，系统应远程联动。

【条文说明】就地控制时可手动和自动模式切换，应有相应的操作流程和记录方可操作。采用就地和远程控制相结合的方式，可根据原水水质及水量变化实时数据采集及工艺控制，实现精准加药。操作人员可远程观察设备运行状态以及有无报警显示等。

4.4.2 原水、二氧化碳投加后沉淀池进水处、出厂水处应根据 pH 值调节需要设置在线 pH 监测点及人工取样点。

【条文说明】在线监测点设置：在二氧化碳与原水混合后设置 pH 在线监测点。人工采样点设置：水厂出水设置人工采样点，定期检测出水 pH 值及出水铝浓度。CO₂ 投加控制系统需根据原水流量、原水 pH 值、调酸后 pH 值控制 CO₂ 投加量。通过砂滤池出水 Al 值对 CO₂ 投加浓度进行修正，优化控制出厂水 Al。

4.4.3 在线 pH 计宜设备用，并定期校准。

【条文说明】在线 pH 计是系统控制重要参数，pH 计误差对 CO₂ 投加量影响较大。

4.4.4 在线 pH 计安装应配置平衡箱，严禁安装在管路中。平衡箱应设置排放阀，并定期排空。

【条文说明】管道流速及气泡将影响在线 pH 计检测，建议安装在平衡箱中控制流速，同时平衡箱中应及时排清平衡箱沉淀物。

4.4.6 前序工艺投加二氧化碳时，砂滤池出水应安装在线铝离子检测仪，检出限不低于 0.015mg/L。

【条文说明】对在线铝离子检测仪邻苯二酚紫分光光度法检出限 0.003mg/L、单次测样时长 580S，铬天青 S 分光光度法检出限 0.015mg/L、单次测样时长 1500S。

4.4.7 二氧化碳投加点前后应安装压力表。

【条文说明】原水在线监测 pH 计安装位置需远离 CO₂ 投加点，防止干扰在线 pH 监测数据。

4.4.8 应设置气体质量流量计，在线实时监测二氧化碳实际投加量。

【条文说明】气体质量流量计能精确计量气体投加量，提高系统控制精度。

4.4.9 每周应人工检测原水和各工艺段出水的水温、浊度、pH、总铝指标。

【条文说明】通过将人工监测数据和在线监测数据进行比对，校准仪表，调整各项工艺参数。

4.4.10 数据管理与预报警机制设计应符合下列规定：

- 1 对监测数据采用数据库技术进行有效管理，存储收集在线水质监测数据，方便查询、导出、统计等操作。

- 2 存储的数据包含监测点编号、参数及相应的时间点等信息。

- 3 为保证数据安全，系统应具备数据备份功能，历史数据应定期备份并存档，对数据异常及故障进行显示和报警。

【条文说明】通过将在线监测数据进行存储、管理及分析，进一步通过模型优化加药控制。

4.4.11 监测设备性能要求应符合下列规定：

- 1 监测设备应具有全自动运行功能，若遇停电，可实现复电后自动启动，并可自动记录上传运行过程及相关参数。

2 监测设备应具有故障报警及自动保护的功能，对可恢复的故障应能自动、手动或远程控制消除，恢复正常运行。

3 当监测到异常时，相应设备应能自动停止运行并发出警报，消除异常后，设备能自动恢复运行。

4 监测设备应具有较强的抗干扰能力，在一定负荷的用电设备干扰下应能稳定正常工作，不应出现压力振荡、仪表干扰或停机保护等现象。

【条文说明】当二氧化碳气体不足或发生泄漏时，设备应能在 20s 内自动停止运行并发出警报提示，当设备恢复进药且压力达到限定压力值时，设备应能自动恢复运行。当压力变送器检测到增压系统压力过低时，系统应能发出警报提示并自动关闭压力水系统，并通过 PLC 系统进行实时压力调节，使水压达到系统使用要求后系统自动恢复。当系统检测到气源压力高于设定值时，系统应能发出报警提示，并自动关闭气源，安全保护装置自动打开实现安全排放。

5 安装、调试与验收

5.1 安 装

5.1.1 焊接要求应符合《压力容器焊接规程》NB/T47015 的有关规定。焊接材料应符合《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T47018 的有关规定。

【条文说明】焊条应按批进行含水量或熔敷金属扩散氢含量的复验，检验方法按相应焊条标准。焊接压力管道的焊工，应按《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》进行考试，取得焊工合格证。无损检测人员应按《锅炉压力容器无损检测人员资格考核规则》进行考核，取得相应的资格。

5.1.2 二氧化碳投加设备宜在厂内制造，再运输至现场安装。安装前，应对设备基础位置和几何尺寸进行复检。

【条文说明】二氧化碳系统工程相关设备包括二氧化碳储罐、二氧化碳溶解装置等。

5.1.3 二氧化碳储罐宜安装在室外，应设有导除静电的接地装置及防雷击装置。土建基础应能承受相应的压力，且四周应有良好的排液地沟。

【条文说明】防止静电的接地电阻不应大于 10Ω ；防止雷击装置的最大冲击电阻为 30Ω 。

5.1.4 低温二氧化碳储罐在安装时要注意安全，安装过程中严禁碰撞敲打。储罐宜采用吊机安装，安装完成后，将低温二氧化碳储罐内筒系统用氮气至工作压力作气密性试验，检查阀门、管道、法兰等均无泄漏后，完成安装。不应触碰外筒防爆装置和真空阀。

5.1.5 二氧化碳储罐安装完成后应经技术监督部门检验合格，并取得安全使用合格证后方可投入使用。

5.1.6 无损检测人员应按《锅炉压力容器无损检测人员资格考核规则》进行考核，取得相应的资格。

5.1.7 二氧化碳储存钢瓶不应卧放。

【条文说明】如果钢瓶卧放，打开减压阀时，冲出的二氧化碳液体迅速气化，容易发生导气管爆裂及大量二氧化碳泄漏的事故。

5.1.8 使用前，应检查气瓶减压阀、接头、及转子流量计，确保正确连接且无泄

漏、没有损坏、状况良好。

5.2 调 试

5.2.1 管道系统安装完成后，应进行压力试验。

【条文说明】管道系统采用宜采用氮气（二氧化碳）做气压试验，应有经施工单位技术总负责人批准的安全措施，试验压力为设计压力的 1.15 倍。压力试验的环境温度不得低于 5℃。压力试验过程中若有泄漏，不得带压处理。缺陷消除后应重新试压。

5.2.2 经检测设备、仪表等的的数据收集和传输性能以及各种设备运行工况调试，待水质检测合格后，开展整体工艺全流程联动调试。

【条文说明】整体调试应制定系统运行程序、水质检测方案，做好应急处置方案。

5.3 验 收

5.3.1 联合调试完成后，投加系统 24h 连续稳定运行 7d 后，方可进行验收。

5.3.2 二氧化碳储罐设施具备当地市场监督管理局签发的特种设备使用登记证，二氧化碳储罐压力表、安全阀等附属配件应具备检定证书。

5.3.3 二氧化碳投加系统各仪器仪表满足技术要求，方可验收。

5.3.4 水质在线监测系统的验收应符合《城镇供水水质在线监测技术标准》CJJ/T 271 的规定。

6 运行与维护

6.1 运行

6.1.1 二氧化碳投加控制系统需根据原水流量、原水 pH 值、调酸后 pH 值优化控制投加量。

【条文说明】通过砂滤池出水铝含量对 CO₂ 投加浓度进行调节，优化控制出厂水余铝。

6.1.2 投加系统应符合下列规定：

1 出厂前，应进行出厂测试，系统气密性应满足要求，所有部件应运行正常。设备运行前应开展危险与可操作性分析，识别潜在危险因素并提出防护措施。

2 运输时，应注意设备保护。

3 设备安装时，应穿戴合适的防护措施。当设备安装在室内且设备调试期间尚未安装 CO₂ 警报器，调试人员应随身携带 CO₂ 便携式警报器。

3 安装后，应重新检查系统气密性。

4 应定期清洁设备，以防止二氧化碳结晶或其他杂物堵塞设备。

【条文说明】设备在安装时应按照设计图纸和设备制造商的说明，正确连接各部分，注意阀门和控制器的方向；安装完成后要进行详细的检查，确认所有连接均已牢固，阀门和控制器均能正常工作，没有泄漏的情况；在投加系统投运前，应先进行试运行，调整投加量；投加系统的运行应定期检查，监测投加量是否稳定，以便及时调整；二氧化碳投加系统的操作和维护应由接受过专业培训的人员来完成。

6.1.4 采用钢瓶储存系统进行投加时，宜按以下步骤操作：

1 打开管路上的供气阀门后，将减压阀加热器通电，预热大约 2 分钟后缓慢微开气瓶上的总阀门，直至供气压力稳定后再将转子流量计调至需要的投加量。

2 减压阀在投加过程中不应有霜，如出现结霜，先检查加热器是否正常工作，若加热器正常工作，则适当降低单瓶投加量。

3 每隔 1 小时作一次巡视检查，手动检测反应池进口 pH 值是否在控制范围内，观察气瓶的压力，减压阀、水射器等工作是否正常，阀门、管路是否有泄漏。并实时观察在线 pH 仪数值，防止二氧化碳（CO₂）投加过量或不足。如发现不

正常现象，应及时处理。

4 停止投加时先关闭气源上的总阀门，待转子流量计自然跌落后再缓慢关闭减压阀，并依次关闭管路上的阀门及水射器压力水开关。

【条文说明】钢瓶应经安全监察机构批准，产品安全性能检验应合格；应检查钢瓶是否在规定的检验期内；检查钢瓶安全附件是否齐全和符合要求。

6.1.5 压力容器、管路外观情况、各种阀门与仪表的运行状况应每日检查，并记录压力容器的工作压力、液位高度及各阀门状态。

【条文说明】钢瓶外表面应无裂纹、腐蚀、明显变形及其它外部损伤缺陷；阀门启闭应缓慢操作，观察并记录工作压力、液位高度等情况，注意监听钢瓶内有无异常音响；定期检查钢瓶各处的密封情况（如采用肥皂水）及瓶体温度是否正常，发现异常时应及时妥善处理。

6.1.6 原水 pH 值、投加量、出水 pH 值及余铝等指标应每日记录。

【条文说明】应记录并整理运行报告、检测数据、质量检验及验收文件等，统一归档保存。

6.1.7 储罐或钢瓶中二氧化碳液位或气压不足时，应及时进行补充。

【条文说明】当温度高于储罐或钢瓶最高使用温度 5℃ 时，容器内宜不满液。

6.2 维 护

6.2 维 护

6.2.1 操作人员应每日观察储存系统的供气压力，定期更换过滤组器过滤材料。

【条文说明】供气压力可通过现场仪表及在线远传仪表观察

6.2.2 “气-液”投加系统的维护应符合以下规定：

- 1 检查储罐或钢瓶压力是否正常。
- 2 检查储罐或钢瓶及管路上各阀门、水射器等是否处于正常工作状态。
- 3 检查压力表的压力指示是否正确，开关时反应是否灵敏。
- 4 检查储罐或钢瓶、管道、阀门及各联接部分是否有气体泄漏。
- 5 定期送检储罐或钢瓶、压力表、安全阀等特种设备。

6.2.3 “液-液”投加系统的维护应符合下列规定：

- 1 检查储罐压力是否正常。

2 检查气水混合系统管路上各阀门、组件等是否处于正常工作状态。

3 应定期校验压力容器、压力表、流量计、安全阀等。

【条文说明】储罐压力一般为 1.4~2.2Mpa。

6.2.4 pH 计的维护应符合下列规定：

1 仪表工作环境温度应为 5℃~40℃。

2 仪表各调节按键应能正常调节，传感器阴线连接应可靠，各紧固件应无松动。

3 传感器电极及盐桥周围应保持干净且工作正常，采用 0.01mol/L 的盐酸洗液清洗传感器的每月不应小于 2 次，清洗后应校准 pH 计探头。

4 按 pH 计耗材的消耗情况，定期进行补充。

6.2.5 pH 监测点每周巡检不少于一次，观察监测点水量及水流是否通畅，防止由于监测点取样管堵塞造成的监测误差。

6.2.6 在线铝离子仪的维护应符合下列规定：

1 仪表工作环境温度应为 5℃~40℃。

2 检查仪表各调节按键应能正常调节，传感器阴线连接可靠，各紧固件应无松动。

3 仪表的水样管路和试剂管路连接可靠且液体流动正常，检测器工作正常。

4 检查在线铝离子分析仪耗材的消耗情况，定期进行补充。

5 每周校准在线铝离子仪。

6.2.7 液体二氧化碳的储存属于带压储存，储存期间除压力表、安全阀等应投入使用外，其它阀门一般处于关闭状态。

6.2. 钢瓶的进出库管理应符合下列规定

1 二氧化碳钢瓶入库需清点数量、核实气体是否为二氧化碳，检查瓶身是否完好，阀门是否有泄漏，附件是否齐全，是否有合格证等，并做好入库登记。

2 二氧化碳钢瓶出库需清点数量，附件齐全，瓶身完好，并做好出库登记。

3 满瓶与空瓶应分开存放。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”;

- 2 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”;

- 3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”;

- 4 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

引用标准名录

《室外给水设计标准》 GB 50013

《食品安全国家标准 食品添加剂 二氧化碳》 GB 1886.228

《压力容器焊接规程》 NB/T47015-2011

《承压设备用焊接材料订货技术条件》 NB/T47018-2011

《城镇供水水质在线监测技术标准》 CJJ/T 271

《锅炉压力容器无损检测人员资格考核规则》