

团体标准

T/CUWA XXX-20XX

城镇污水处理厂碳源投加技术规程

Technical specifications for carbon source dosing in urban sewage treatment plants

(征求意见稿)

202×-××-×× 发布

202×-××-×× 实施

中国城镇供水排水协会发布

前 言

根据中国城镇供水排水协会《关于印发〈2023年中国城镇供水排水协会团体标准制订计划〉的通知》（中水协[2023]5号）的要求，规程编制组经过深入调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程做的主要技术内容是：总则、术语、总体方案、设计、监测与控制、施工、调试与验收、运行与维护。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任，对所涉专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

本规程可能涉及必不可少的专利，编制单位承诺已确保专利权人或者专利申请人同意在公平、合理、无歧视基础上，免费许可任何组织或者个人在实施该标准时实施其专利。

本标准由中国城镇供水排水协会标准化工作委员会归口管理，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。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国市政工程中南设计研究总院有限公司（地址：湖北省武汉市解放公园路8号，邮编430010）。

本规程主编单位：中国市政工程中南设计研究总院有限公司。

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 总体方案	5
3.1 一般规定	5
3.2 脱氮工艺与碳源投加	5
3.3 碳源选择	14
4 设计	18
4.1 一般规定	18
4.2 储存与溶解（稀释）	19
4.3 投加与计量	20
4.4 加药间	21
5 监测与控制	22
5.1 监测	22
5.2 控制	22
6 施工、调试与验收	24
6.1 施工与安装	24
6.2 调试	24
6.3 验收	25
7 运行与维护	26
本规程用词说明	28
引用标准名录	29

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	General scheme	5
	3.1 General requirements	5
	3.2 Nitrogen removal process and dosing of carbon source	5
	3.3 Choice of carbon source	14
4	Design	18
	4.1 General requirements	18
	4.2 Store and dissolve (dilute)	19
	4.3 Dosing and measure	20
	4.4 Chemical dosing workshop	21
5	Detection and control	22
	5.1 Detection	22
	5.2 Control	22
6	Construction, debugging and acceptance	24
	6.1 Construction and installation	24
	6.2 Debugging	24
	6.3 Acceptance	25
7	Operation and maintenance	26
	Explanation of wording in this standard	28
	List of quoted standards	29

1 总则

1.0.1 为规范城镇污水处理厂碳源投加的总体方案、设计、监测与控制、施工、调试与验收、运行与维护，促进污水处理行业节能减碳，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于城镇污水处理（包括再生水厂）中脱氮系统的碳源投加工程设计、建设和运行。

1.0.3 城镇污水处理厂（包括再生水厂）碳源投加系统的设计、监测与控制、施工与验收、运行与维护除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 碳源

可为废（污）水生化处理系统的微生物生长代谢提供营养物的含碳化合物。

[来源：HG/T 5960-2021，3.1]

【条文说明】

碳源定义较为广泛，但是很多能够为微生物提供营养物的碳源，却不能在污水处理厂使用，只有一些小分子醇、糖、有机酸类物质才可以使用。城镇污水处理厂投加的碳源应该是可被有效利用或污水处理工艺过程降解的有机物，不能被有效利用或降解的碳源会残余COD，例如大分子有机化合物用量较大时、或B/C比较低的化合物作为碳源，常出现不易被降解的COD击穿造成出水COD超标，因此不可作为污水厂碳源。

2.0.2 单一碳源

只含有一种碳源成分、有国家或行业标准的化工产品，如甲醇、乙醇、乙酸、乙酸钠、葡萄糖等。

【条文说明】

可用作污水处理碳源的化工产品，如甲醇、乙醇、乙酸、乙酸钠、葡萄糖等，国家有相关标准如下，GB 338-2011《工业用甲醇》、GB/T 6820-2016《工业用乙醇》、GB/T 1628-2008《工业用冰乙酸》、GB/T 20880-2018《食品葡萄糖》、HG/T 5959-2021《生化法处理废（污）水用碳源乙酸钠》。

2.0.3 复合碳源

由甲醇、乙醇、丁醇、乙二醇、丙二醇、正丙醇、丙三醇、乙酸、乙酸钠、柠檬酸、柠檬酸钠、葡萄糖、蔗糖及淀粉中两种或两种以上可兼容（无化学反应）的单一碳源复配组成的不存在安全风险的碳源。

[来源：HG/T 5960-2021，3.2]

2.0.4 废物源碳源

来源于废水、固体废物等的碳源，如污泥水解液、高浓度有机工业废水、垃圾渗滤液、餐饮废弃物水解产物等。

2.0.5 危险品碳源

GB 12268危险货物品名表中的具有危险性的碳源物质，如甲醇、乙酸。

2.0.6 碳源利用率

碳源用于反硝化脱氮、脱氧、合成生物体等途径所利用的量占总碳源投加量的比例。

碳源利用率=外加碳源折算COD量*外加碳源后反应池出水COD增加量/外加碳源折算COD量。

【条文说明】

在实际工程中，反硝化反应池中有机物不可能全部用于脱氮。有机物除了被反硝化菌用于反硝化脱氮外，还会被好氧菌脱除溶解氧消耗、被聚磷菌厌氧释磷消耗、合成生物体消耗以及残余未反应的有机物量。

本规程提出碳源利用率的概念，表示碳源在反硝化池的消耗程度，一般小分子COD利用速率快，可在缺氧区全部消耗，碳源利用率可达100%，慢速降解COD的利用率与反硝化池停留时间有关。不同停留时间反硝化池及投加不同种类碳源的碳源利用率不同，碳源利用率低时会残留未降解COD，导致碳源有效利用率同时降低，同时还会导致出水COD浓度增加。

2.0.7 碳源有效利用率

碳源用于脱氮所消耗的量占总碳源投加量的比例，表征外加碳源用于脱氮的比例。

碳源有效利用率=2.86*总氮去除量/外加碳源COD量

【条文说明】

理论上，根据氧化还原反应原理，1kg硝酸盐氮等效于2.86kg的氧当量（即2.86kg的COD），但在实际工程中，有机物只有部分用于脱氮。

本规程提出碳源有效利用率的概念，用于评估不同脱氮工艺和不同碳源投加点是否有效利用碳源，以便从降低碳源投加量的角度选择适宜碳源投加点。(2.86/碳源有效利用率)即为去除单位质量氮所需投加的COD质量。

对同种碳源，一般DO越低、停留时间越长，碳源有效利用率越高；对不同碳源，生物体产率系数越低，碳源有效利用率越高。

2.0.8 前置反硝化

反硝化池设置在硝化池前、通过内回流将进水和富含硝态氮混合液在反硝化池中混合，主要利用原污水碳源进行反硝化脱氮及原污水碳源不足时外加碳源强化脱氮的工艺形式。

【条文说明】

前置反硝化工艺主要包括A²O工艺和五段Bardenpho工艺的前缺氧池、“前置反硝化滤池-硝化滤池”和“前置反硝化滤池-硝化滤池-后置反硝化滤池”工艺的前置反硝化滤池等。

2.0.9 后置反硝化

反硝化池设置在硝化池后、不需设置混合液回流，不分配进水、硝化池出水直接进入反硝化池利用外加碳源进行反硝化脱氮的工艺形式。

【条文说明】

后置反硝化工艺主要包括五段Bardenpho工艺的后置缺氧池、“前置反硝化滤池-硝化滤池-后置反硝化滤池”工艺的后置反硝化滤池、活性污泥与反硝化滤池联用工艺的反硝化滤池等，后置反硝化工艺一般停留时间较短。多级AO的第2~n级缺氧池虽然也在硝化池后，但是分配了一定比例的进水，且停留时间较长，不属于本文件所定义的后置反硝化工艺。

硝化后进行反硝化脱氮，几乎没有可降解有机物残留，通常需要外加碳源。后置反硝化工艺投加碳源，微生物营养充足，一般污泥内源衰减量少。

2.0.10 脱氮速率

单位质量MLVSS在单位时间内去除的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 质量， $\text{kgNO}_3\text{-N}/(\text{kgMLVSS}\cdot\text{d})$ 。

【条文说明】

脱氮速率受很多因素影响，包括有机物浓度、硝脱氮浓度、DO浓度、反硝化微生物量、温度等。

2.0.11 生物体产率系数

污水生物处理过程中，有机物用于合成生物体的产率系数，消耗单位质量COD合成的生物体COD量，用 $\text{g生物体COD}/\text{g消耗COD}$ 表示。

【条文说明】

生物体产率系数有两种表述方式，一是生物体合成产率系数、二是扣掉生物体内源衰减量后的表现产率系数（净产率），本文件采用生物体合成产率系数。产率系数常用 gVSS/gCOD 表示，也可用 gCOD/gCOD 表示，根据生物体典型化学式 $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ ，以 gCOD/gCOD 表示的产率系数为以 gVSS/gCOD 表示的产率系数的1.4倍。

3 总体方案

3.1 一般规定

3.1.1 有脱氮要求的污水处理系统，宜根据进水水质、脱氮目标、用地条件等选择脱氮工艺；经计算判断需外加碳源的污水处理系统，应从设计和运行等环节提高碳源有效利用率，实现节能降耗：

- 1 通过采用前置反硝化、分段进水、同步硝化反硝化等充分利用原污水中内碳源；
- 2 通过碳源种类与碳源投加点优化提高外加碳源有效利用率；
- 3 通过好氧池末端溶解氧控制提高碳源有效利用率。

3.1.2 碳源投加系统的规模确定应充分考虑水质、水量、水温等因素，确保稳定实现脱氮目标。

3.1.3 碳源投加工程应坚持资源节约、循环利用、节能减排等原则，有条件时宜采用废物源碳源，实现以废治废。

3.1.4 危险品碳源选用应进行安全评价，并应综合考虑用地条件、建设投资与运行成本。

【条文说明】

甲醇易燃且易挥发，其蒸气与空气可形成爆炸性混合物，遇明火、高热可引起燃烧爆炸，甲醇运输、储存、投加都有特殊要求。

由于甲醇存在泄漏导致爆炸的风险，当污水厂在人口较密集的城区时，在运输过程中或者污水厂内一旦发生爆炸事故，后果不堪设想，因此，使用甲醇需进行安全评估。

甲醇储存和投加系统需要的空间及安全防护距离较高，而非危险性碳源的加药间可与药库和其他污水厂药剂药剂加药间合建，采用甲醇的碳源系统用地需求远高于非危险碳源。

3.2 脱氮工艺与碳源投加

3.2.1 常用脱氮工艺根据反硝化池数量可分为一级反硝化、二级反硝化、三级反硝化，根据反硝化池位置可分为前置反硝化工艺和后置反硝化工艺，根据微生物生长形式可分为活性污泥工艺和生物滤池工艺，典型工艺流程如下图所示。

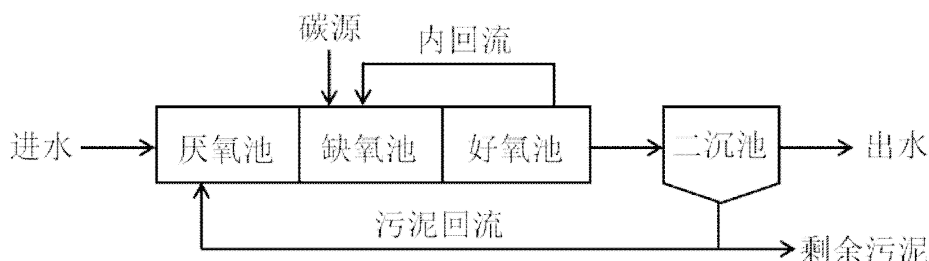


图1 A²O工艺

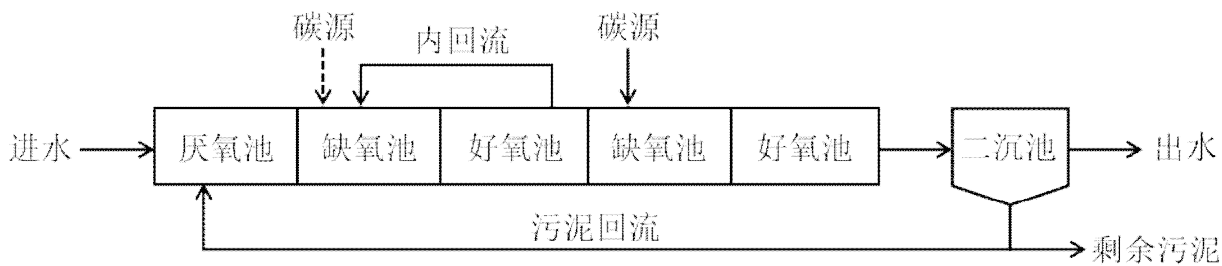


图2 五段 Bardenpho 工艺

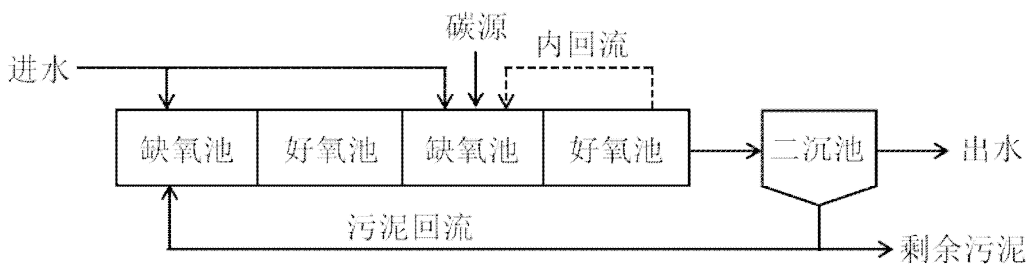


图3 二级 AO 工艺

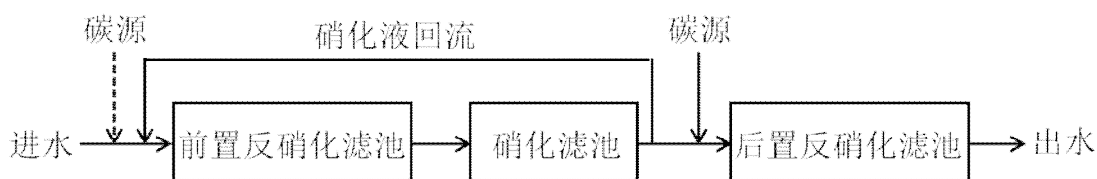


图4 二级反硝化滤池工艺

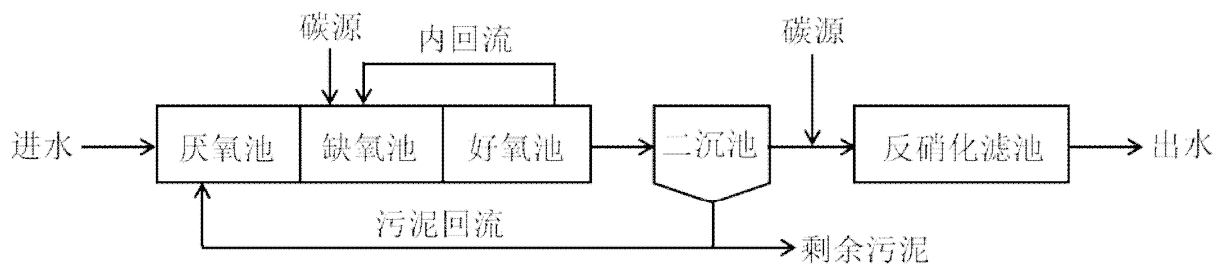


图5 A²O+反硝化滤池工艺

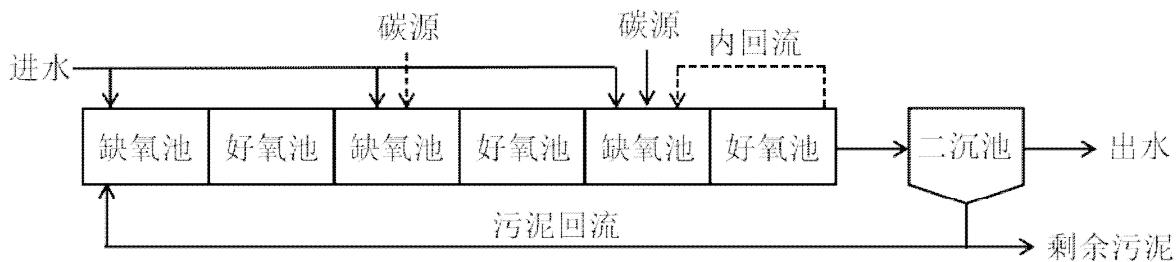


图6 三级 AO 工艺

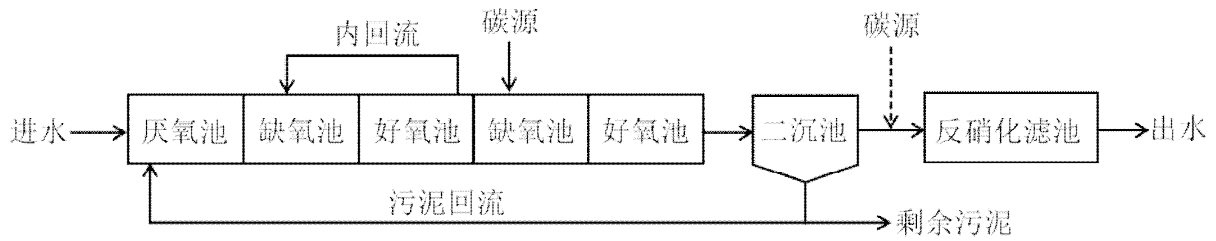


图7 五段 Bardenpho+反硝化滤池工艺

【条文说明】

为充分利用进水COD，一级反硝化常采用前置反硝化形式，即缺氧池在好氧池前，需混合液回流进行脱氮，理论上回流比越高总氮去除率能达到的水平越高，但是回流比过高也会带来能耗过高、回流带来的DO过高不利于缺氧环境等问题，一级前置反硝化工艺总氮去除率极限一般不超过70%，常见工艺形式为氧化沟、AO、A²O等生物脱氮工艺。一级后置反硝化工艺指缺氧池在好氧池后，无需混合液回流，该工艺无法利用原污水中内碳源进行脱氮，在工程上不实用。

常用的二级反硝化工艺包括五段Bardenpho工艺、二级AO工艺、A²O+反硝化滤池工艺、“前置反硝化滤池+硝化滤池+后置反硝化滤池”的二级反硝化滤池工艺。常用的三级反硝化工艺包括三级AO工艺、五段Bardenpho+反硝化滤池工艺。硝化后几乎没有可降解有机物残留，第二级和第三级后置反硝化池通常需要外加碳源。

五段Bardenpho工艺和多级AO工艺都是为突破A²O工艺对总氮去除率瓶颈。五段Bardenpho工艺是在A²O工艺后增设缺氧池，并投加碳源提高总氮去除率。多级AO工艺是通过进水多点分配于各个缺氧池，无需混合液回流或少量回流，在进水碳源充足时可突破A²O工艺的总氮去除率瓶颈，通过优化进水分配TN去除率可达90%。反硝化滤池工艺具有占地少的优势，常用于用地紧张的污水厂，以及二级处理后的深度处理。

3.2.2 前置反硝化活性污泥工艺（如 A²O 工艺）应根据总氮去除量、进水有机物含量、缺氧池容占比等，计算前缺氧池反硝化过程的有机物降解耗氧量与硝酸盐供氧量比值，判断是否需要外加碳源。

1 耗氧量与供氧量比值 X 的简易计算如下：

$$X = \frac{K_{de, BOD} \cdot C_{BOD, i}}{C_{N, i} - C_{N, e} - 0.05(C_{BOD, i} - C_{BOD, e})} \quad (1)$$

式中：

X — 缺氧区有机物降解的耗氧量与硝酸盐的供氧量比值，无量纲；

$K_{de, BOD}$ — 反硝化设计参数，单位为 $\text{kgNO}_3\text{-N/kgBOD}_5$ ，其值可按表 1 选取；

$C_{BOD, i}$ — 生物池进水 BOD_5 浓度，单位为 mg/L ；

$C_{BOD, e}$ — 生物池出水 BOD_5 浓度，单位为 mg/L ；

$C_{N, i}$ — 生物池进水总氮浓度，单位为 mg/L ；

$C_{N, e}$ — 生物池设计出水总氮浓度， mg/L ；

2 耗氧量与供氧量比值 X 的精确计算如下：

$$X = \frac{OV_{COD,D}}{2.86 \cdot S_{NO_3,D}} \quad (2)$$

$$OV_{COD,D} = \eta_1 \cdot [OU_{COD,a} + (OU_{COD} - OU_{COD,a}) \cdot (V_D/V_{AT})^{0.68}] \quad (3)$$

$$OU_{COD,a} = (1 - Y) \cdot C_{COD,a,i} \quad (4)$$

$$OU_{COD} = (1 - Y) \cdot C_{COD,d,i} + \frac{0.8 \cdot b \cdot t_{ss} \cdot F_T}{1 + b \cdot t_{ss} \cdot F_T} \cdot Y \cdot C_{COD,d,i} \quad (5)$$

$$F_T = 1.072^{(T-15)} \quad (6)$$

$$S_{NO_3,D} = C_{N,i} - C_{N,e} - 0.05 \cdot Y \cdot C_{COD,d,i} \quad (7)$$

式中：

$OV_{COD,D}$ — 有机物折算用于反硝化的耗氧量，单位为 mg/L；

$S_{NO_3,D}$ — 用于反硝化的硝酸盐量，单位为 mg/L；

2.86 — 硝酸盐的供氧量，单位为 gO/gNO₃-N；

η_1 — 反硝化效率因子，建议取 0.70~0.80（德国规程取 0.75），当温度较高、内回流液溶解氧较低时，可取高值，当温度较低、内回流溶解氧较高时，可取低值。

$OU_{COD,a}$ — 易降解 COD 的“耗氧量”（氧指硝酸盐、氧等电子受体），为易降解 COD 扣掉生物体合成量（同化作用将 COD 合成生物体不需“耗氧”），单位为 mg/L；

OU_{COD} — COD 降解的总“耗氧量”，为可降解 COD 扣掉生物体合成量再加上内源衰减释放的可降解 COD（按衰减生物量的 80% 计算），单位为 mg/L；

Y — 进水 COD 合成生物体的产率系数，宜根据试验确定，无试验资料时可取 0.67，单位为 gCOD_M/gCOD_d；

$C_{COD,a,i}$ — 生物池进水中易降解 COD 浓度，可通过呼吸法测定，无实测值时建议取 $0.2C_{COD,d,i}$ ，单位为 mg/L；

$C_{COD,d,i}$ — 生物池进水中可降解 COD 浓度，可通过呼吸法测定，无实测值时建议取生物池进水中总 COD 浓度的 0.65（有初沉池）或 0.7（无初沉池），单位为 mg/L；

b — 内源衰减系数，15℃时为 0.17，单位为 d⁻¹；

t_{ss} — 与 V_{AT} 有关的污泥龄（好氧池和缺氧池总污泥龄），单位为 d；

F_T — 内源呼吸的温度系数，无量纲；

V_D — 缺氧池的容积，单位为 m³；

V_{AT} — 缺氧池与好氧池容积之和，单位为 m³；

T — 生物池内水温，单位为℃；

3 当 $X > 1$ 时，无需外加碳源。

4 当 $X < 1$ 时，应加大缺氧池容积或外加碳源，缺氧区容积占比不宜大于 0.6。

表 1 反硝化设计参数经验值（水温为 10~12℃）

V_D/V_{AT}	$K_{de,BOD}$ (kgNO ₃ -N/kgBOD ₅)
--------------	---

0.2	0.11
0.3	0.13
0.4	0.14
0.5	0.15

【条文说明】

(1) 在脱氮工艺中，首先要保证硝化反应的进行，由适宜的好氧池容保证。其后，根据反硝化脱氮需求确定缺氧池容，缺氧池容增大，反硝化菌也会随之增多，反硝化效率随之提高。缺氧池容占比 V_D/V_{AT} 指缺氧池容积占缺氧池与好氧池容积之和的比例，一般取0.2~0.6，若 $V_D/V_{AT} < 0.2$ ，缺氧池容太小，反硝化效率低；若 $V_D/V_{AT} > 0.6$ ，则缺氧池容过大，活性污泥的沉降性能会恶化。若污水中碳源较富余、脱氮要求低， V_D/V_{AT} 可小于0.2。

德国标准《一段活性污泥法设计计算规程》（ATV-DVWK-A131）2000年版中以BOD₅负荷为设计基础，通过总结实际工程的数据，提供了可供工程实际应用的反硝化设计参数经验值，本标准参照该标准2000年版提供的设计参数提出以BOD₅为计算基础的经验值简易计算方法。

(2) 同时本标准还参照德国标准《一段活性污泥法设计计算规程》（ATV-DVWK-A131）2016年版的反硝化设计计算提出了以COD为计算基础的精确计算方法，由于我国污水厂一般不会分析COD的组分，本标准相比德国标准对有机物分类及计算进行了适当简化。

德国标准2016年版中以COD负荷为设计基础，同时增加和丰富了COD组分分析、数学模型、构筑物细化设计计算的内容。2016年版不再采用BOD₅负荷，该版本解释称“基于BOD₅不能完全实现污泥量和需氧量的平衡计算，而且其在实践中也不再被作为全面覆盖的检测参数，故决定今后仅以COD为参数进行设计”。

2016版将进水中COD分为溶解性可降解COD、溶解性惰性COD、颗粒性可降解COD、颗粒性惰性COD四类。可用于生物反应的是可降解COD，可降解COD又可分为易降解COD（利用速率快）、慢速降解COD（利用速率较慢）。另外系统内还有污泥内源呼吸衰减产生的可降解COD，一般泥龄大于3d生物体会衰减分解。

可降解COD中，降解速率快的易降解COD可在缺氧区全部利用，进水中的慢速降解COD和内源衰减释放的可降解COD在缺氧区不能全部利用，利用率与缺氧区容积有关，故乘以与缺氧区容积占比相关的系数。

可降解COD用于反硝化去除的硝酸盐，包括不合成生物质部分的COD直接还原去除硝酸盐，还包括缺氧区部分生物体发生内源衰减产生的可降解COD还原去除硝酸盐。

关于进水COD合成生物体的产率系数Y，德国标准推荐为0.67 gCOD_M/gCOD_d，美国设计手册推荐为0.47 gVSS/g去除COD，对于假定以C₅H₇N₂O为代表的生物体，VSS与COD转换系数为1.42 gCOD/gVSS，即美国设计手册的换算为0.67 gCOD_M/gBOD。

从理论上讲，反硝化1kg硝酸盐氮需要消耗2.86kg的有机物，但在实际工程中，缺氧池中微生物种群复杂，有反硝化菌、好氧菌、聚磷菌等，进入缺氧池的有机物不可能全部被反硝化菌利用。缺氧池进

水有机物用于反硝化的量需乘以效率因子，德国标准2016年版中取0.75，并结合反硝化投加碳源的工程调研和相关研究资料，本标准取0.70~0.80。水温越高，有机物降解速率越快，则同样反应时间内有机物利用率和有效利用率越高。溶解氧会优先消耗有机物，且溶解氧存在会降低生物池内反硝化菌数量和活性，因此，溶解氧高时，有机物用于反硝化的比例会降低。

(3) 对于硝化/反硝化工艺的设计计算，首先根据设计水温、设计水质、设计出水氨氮浓度及水质和水温波动情况等确定好氧池污泥泥龄，并据此确定好氧池容积；然后根据总氮去除量和脱氮速率确定缺氧池容积。缺氧池容积也可通过迭代计算确定，首先预设 V_D/V_{AT} 值（一般取0.2~0.5），然后计算好氧池和缺氧池总污泥龄 t_{ss} ，再计算缺氧区反硝化过程的有机物降解耗氧量与氮平衡中反硝化的硝酸盐量，最后计算“氧消耗”与“氧供给”的比值 X 。当计算得到 $X=1$ 时，进水碳源刚好满足反硝化脱氮要求。

缺氧池容积越大，缺氧池水力停留时间越长，反硝化菌数量与活性会增加，进水有机物被反硝化菌利用的比例会越大，进水COD中慢速降解COD的利用率和利用效率也越高，因此进水COD不足时，增加缺氧池容积可增加进水内碳源的有效利用率，从而减少外加碳源量。当 $X>1$ 时，说明进水碳源充足，可降低缺氧池容积；当 $X<1$ 时，说明进水碳源不足，可加大缺氧池容积提高进水内碳源的有效利用率。

3.2.3 前置反硝化生物滤池工艺应根据总氮去除量、进水有机物含量、滤池空床停留时间等，计算反硝化滤池的有机物降解耗氧量与硝酸盐和溶解氧供氧量比值，判断是否需要外加碳源。

$$X = \frac{\eta_2 \cdot (1-Y) \cdot C_{BOD,fi}}{2.86 \cdot S_{NO_3,D} + r \cdot C_{DO,r}} \quad (8)$$

$$S_{NO_3,D} = C_{N,fi} - C_{N,fe} - 0.05 \cdot (C_{BOD,fi} - C_{BOD,fe}) \quad (9)$$

式中：

η_2 — 反硝化效率因子，建议取 0.80~0.90；当滤池空床停留时间较长、温度较高、溶解氧较低时，可取高值，当滤池空床停留时间较短、温度较低、溶解氧较高时，可取低值。

$C_{N,fi}$ — 反硝化滤池进水总氮浓度，单位为 mg/L；

$C_{N,fe}$ — 反硝化滤池设计出水总氮浓度，单位为 mg/L；

$C_{BOD,fi}$ — 反硝化滤池进水 BOD₅ 浓度，单位为 mg/L；

$C_{BOD,fe}$ — 反硝化滤池出水 BOD₅ 浓度，单位为 mg/L；

r — 硝化液回流比，无量纲；

$C_{DO,r}$ — 回流硝化液进入反硝化滤池时的溶解氧值，单位为 mg/L；

【条文说明】

对于生物滤池工艺，硝化、反硝化分别在反硝化滤池和硝化滤池单独进行，反硝化滤池功能菌较单一。进入反硝化滤池的有机物，一部分通过同化作用合成生物体（该部分不“耗氧”），另一部分与电子受体进行氧化还原反应（“耗氧”）。硝酸盐、亚硝酸盐和氧气均可以作为电子受体与有机物进行氧化还原反应，反应系统中亚硝酸盐积累一般很少可忽略不计，根据氧化还原反应理论计算，1kg硝态氮会消耗2.86kg的COD、1kg溶解氧会消耗1kg的COD，且当系统中同时存在溶解氧和硝酸盐时，微生物将优先选择溶解氧作为电子受体。

反硝化滤池工艺与活性污泥工艺相比，滤池一般每天会进行反冲洗，将老化的污泥排出系统，因此反硝化滤池工艺一般不存在生物体内源衰减提供可降解COD。

前置反硝化滤池进水经过预处理后，颗粒态有机物和部分大分子有机物被去除，剩下的有机物以易降解的小分子有机物为主。水温越高，有机物降解速率越高，有机物利用率越高；停留时间越长，有机物利用率也越高。溶解氧除消耗有机物外，还会挤占部分池容用于溶解氧的消耗，也会降低反硝化滤池中反硝化菌的数量与活性，溶解氧的存在对反硝化脱氮的实际影响高于理论计算量，溶解氧较高时效率因子取值适当降低。

根据投加碳源的工程调研和相关研究资料，前置反硝化滤池的脱氮效率因子取0.80~0.90，具体工程中结合滤池停留时间和温度进行取值。

3.2.4 经判断进水碳源不足时，应在反硝化池（活性污泥法的缺氧池、反硝化滤池）外加碳源实现脱氮目标，应符合下列规定：

- 1 在前置反硝化池外加碳源的，反硝化池总氮去除率目标不宜超过 70%，碳源投加量应与总氮去除量相匹配；
- 2 后置反硝化池总氮去除率目标应根据外加碳源的脱氮速率与该级反硝化池水力停留时间确定；
- 3 多级反硝化工艺，宜在每级反硝化池设置碳源投加点；

【条文说明】

(1) 前置反硝化池需混合液回流进行脱氮，理论上回流比越高能达到的总氮去除率越高，但是回流比过高也会带来能耗过高、回流带来的DO过高不利于缺氧环境等问题，前置反硝化池总氮去除率极限一般不超过70%。

(2) 第二级和第三级后置反硝化池的总氮去除量取决于水力停留时间、碳源投加量和碳源的脱氮速率，碳源投加量也应与总氮去除量相匹配，避免碳源浪费。

3.2.5 常用工艺的碳源投加点应符合下列规定：

- 1 碳源投加点应能满足外加碳源快速混合的需要；
- 2 碳源投加点可设在反硝化池或反硝化池进水管（渠）；
- 3 五段Bardenpho、二级AO、A²O-反硝化滤池、前置反硝化滤池-硝化滤池-后置反硝化滤池等二级反硝化工艺，碳源宜单点投加于第二级反硝化池，第二级反硝化池总氮去除率不能满足出水要求时，应在第一级反硝化池同时投加碳源；
- 4 三级AO工艺，碳源宜单点投加于第三级反硝化池；第三级反硝化池总氮去除率不能满足出水要求时，应在第二级反硝化池同时投加碳源；
- 5 五段Bardenpho+反硝化滤池工艺，应根据总氮去除目标、温度、各反硝化池停留时间确定碳源投加点，可在五段Bardenpho第二级缺氧池、反硝化滤池单点投加碳源或两点同时投加碳源。

【条文说明】

(1) 根据调研，五段Bardenpho工艺碳源投加在后缺氧区的利用效率高于前缺氧区，多级AO工艺碳源投加在最后一级缺氧区利用效率最高。对于二级反硝化工艺，第二级反硝化池的硝酸盐氮浓度更高、脱氮速率更高，因此碳源有效利用率更高。

(2) 低温下脱氮速率较低，对于二级反硝化工艺，单级反硝化池停留时间有限、能实现的总氮去除量有限，低温下可能无法实现出水总氮达标，此时应在两级反硝化池同时投加碳源提高总氮去除率。

(3) 多级AO工艺，第一级缺氧区的硝态氮均来自污泥回流，第二级缺氧区的硝态氮来自第一段进水凯氏氮转化及第一级缺氧区未完全去除的硝态氮，一般最后一级缺氧区的硝酸盐氮浓度最高，碳源在最后一级缺氧区投加，前几级缺氧区充分利用进水中碳源，以减少碳源投加量。

(4) 五段Bardenpho和反硝化滤池联用的工艺，一般总氮出水标准较高，温度较高时，脱氮速率较快，一般仅在五段Bardenpho工艺的第二级缺氧池或反硝化滤池投加碳源即可实现脱氮目标；温度较低时，脱氮速率较慢，在两池同时投加碳源。

(5) 三级反硝化工艺，当外加碳源在第二级和第三级反硝化池分别投加时，每级反硝化池外加碳源投加量低、脱氮负荷低，反硝化微生物活性较差，外加碳源有效利用率较低；每级后置反硝化池还可能会有硝化池水带来的溶解氧，也会消耗碳源、降低碳源有效利用率。单级反硝化池脱氮能力满足脱氮目标时，碳源单点投加在一级反硝化池，有助于提高该级反硝化池反硝化菌数量与活性，提高碳源有效利用率。

3.2.6 外加碳源量计算应符合下列规定：

1 宜先实测获得不外加碳源时的出水总氮浓度，无实测值时，可按下列式计算：

$$C_{N,a} = C_{N,i} - 0.05 \cdot (C_{BOD,i} - C_{BOD,e}) - K_{de,BOD} \cdot C_{BOD,i} \quad (10)$$

式中：

$C_{N,a}$ — 不外加碳源时的出水总氮浓度，mg/L；

2 外加碳源量的简易计算如下：

$$C_C = \frac{2.86 \cdot (C_{N,a} - C_{N,e})}{1 - Y_C} \quad (11)$$

式中：

C_C — 外加碳源量（以 COD 计），mg/L；

$C_{N,e}$ — 反硝化池设计出水总氮浓度，mg/L；

Y_C — 外加碳源合成生物体的产率系数，单位为 gCOD_M/gCOD_C，可按表 2 选取；

表 2 外加碳源的生物体合成产率系数

参数	甲醇	乙醇	乙酸/乙酸钠	葡萄糖
Y_C (gCOD _M /gCOD _C)	0.43	0.46	0.46	0.60

3 外加碳源量的精确计算如下：

$$\text{对于前置反硝化活性污泥池, } C_C = \frac{2.86 \cdot (C_{N,a} - C_{N,e})}{\eta_1 \cdot (1 - Y_C + F_Y \cdot Y_C) + 2.86 \cdot 0.07 \cdot (1 - F_Y) \cdot Y_C} \quad (12)$$

$$F_Y = \frac{0.14 \cdot t_{ss} \cdot 1.072^{(T-15)}}{1 + 0.17 \cdot t_{ss} \cdot 1.072^{(T-15)}} \cdot (V_D/V_{AT})^{0.68} \quad (13)$$

$$\text{对于前置反硝化生物滤池, } C_C = \frac{2.86 \cdot (C_{N,a} - C_{N,e}) + r_1 \cdot C_{DO,r}}{\eta_2 \cdot (1 - Y_C) + 2.86 \cdot 0.07 \cdot Y_C} \quad (14)$$

$$\text{对于后置反硝化池, } C_C = \frac{2.86 \cdot (C_{N,a} - C_{N,e}) + C_{DO,i}}{\eta_3 \cdot (1 - Y_C) + 2.86 \cdot 0.07 \cdot Y_C} \quad (15)$$

式中:

η_1, η_2, η_3 — 反硝化效率因子, 其值可按表 3 选取。

F_Y — 污泥通过内源衰减提供内碳源系数, 活性污泥工艺可按表 4 选取, 生物滤池工艺;

r_1 — 外加碳源提高脱氮量需增加的硝化液回流比, 无量纲;

$C_{DO,i}$ — 后置反硝化池进水溶解氧浓度, 单位为 mg/L。

4 外加碳源量较高、温度较高、停留时间较长、溶解氧较低时, 效率因子宜取高值, 反之宜取低值;

表 3 不同工艺不同碳源的反硝化效率因子建议值

效率因子	工艺类型及碳源种类			
	活性污泥工艺		生物滤池工艺	
	甲醇、乙酸盐	葡萄糖	甲醇、乙酸盐	葡萄糖
前置反硝化	0.70~0.80	0.63~0.72	0.80~0.90	—
后置反硝化	0.90~1.0	0.77~0.85	0.90~1.0	—

注: 生物滤池工艺外加碳源不建议采用葡萄糖, 因此未给出建议值。

表 4 活性污泥工艺污泥通过内源衰减提供内碳源系数 F_Y

温度 (°C)	泥龄 (d)								
	$V_D/V_{AT} = 0.3$ 时			$V_D/V_{AT} = 0.4$ 时			$V_D/V_{AT} = 0.5$ 时		
	10	15	20	10	15	20	10	15	20
12	0.21	0.24	0.27	0.26	0.30	0.32	0.30	0.35	0.38
15	0.23	0.26	0.28	0.28	0.32	0.34	0.32	0.37	0.40
20	0.24	0.27	0.29	0.29	0.33	0.35	0.34	0.38	0.41
25	0.28	0.30	0.32	0.34	0.37	0.38	0.40	0.43	0.45

【条文说明】

对于前置反硝化活性污泥工艺, 参考德国标准《一段活性污泥法脱氮设计计算规程》确定外加碳源投加量计算方法, 回流硝化液溶解氧损耗的碳源体现在效率因子中。对于前置反硝化滤池、后置反硝化池, 碳源投加量计算按碳源利用途径确定, 包括与硝酸盐反应、与溶解氧反应、合成生物体。

反硝化池需要外加碳源去除的总氮量越高、所需外加碳源量也越高，则脱氮速率越大，反硝化池内反硝化菌的数量更高、活性更强，碳源用于反硝化的比例更高。

本文件提出的反硝化效率因子，对于前置反硝化活性污泥池，是扣除了合成生物体消耗量后的效率因子；对于其他反硝化池，是扣除了DO消耗和合成生物体消耗量后的效率因子。

关于不同反硝化工艺的碳源反硝化效率因子，对于前置反硝化活性污泥池，采用甲醇/乙酸盐的效率因子取0.7~0.8，已在3.2.2中说明；对于后置反硝化活性污泥池，根据编制组Bardenpho工艺投加碳源的研究结果、文献调研和工程调研，采用甲醇/乙酸盐的效率因子取0.9~1.0；对于第二级/第三级反硝化生物滤池工艺，根据编制组在武汉、珠海等地的反硝化滤池投加碳源的研究结果和相关工程调研，采用甲醇/乙酸盐的效率因子取0.9~1.0；对于前置反硝化生物滤池，相较于后置反硝化生物滤池，其需要实现的出水硝酸盐浓度更低、脱氮速率更慢，碳源的效率因子也更低，同时结合某采用“反硝化滤池+硝化滤池”工艺的污水厂投加碳源数据，一级前置反硝化生物滤池工艺采用甲醇/乙酸盐的效率因子取0.80~0.90。

关于不同碳源，甲醇/乙酸/乙酸钠碳源中COD全部为易降解COD，葡萄糖碳源中有部分慢速降解COD，因此一般甲醇/乙酸/乙酸钠的碳源效率因子大于葡萄糖的，根据相关研究推导，停留时间较长的前置缺氧池葡萄糖的效率因子一般为乙酸钠的90%，停留时间较短的后置缺氧池，葡萄糖的效率因子一般为乙酸钠的85%。

关于碳源的生物体产率系数，在不同工程及不同工艺中获得的数据有所不同。产率系数有两种表述方式，一是生物体合成产率系数、二是扣掉生物体内源衰减量后的表观产率系数，本标准采用生物体合成产率系数。甲醇的产率系数，我国《给水排水设计手册》上为0.38（表观产率系数），德国标准中为0.45（合成产率系数），美国文献中为0.41~0.43（合成产率系数），本标准取平均值0.43（合成产率系数）；乙醇的污泥产率系数，德国标准中为0.42（合成产率系数），美国文献中为0.51，美国设计手册中为0.55，本标准取平均值0.46；乙酸的污泥产率系数，德国标准中为0.42（合成产率系数），美国文献中为0.50（合成产率系数），美国文件中为0.53（合成产率系数），本标准取平均值0.46；葡萄糖的污泥产率系数，美国文献中为0.60，本标准取平均值0.60。

3.3 碳源选择

3.3.1 外加碳源可采用甲醇、乙醇、乙酸钠、乙酸、葡萄糖等单一碳源、复合碳源以及废物源碳源，碳源选择应进行技术性、安全性、经济性比选。

【条文说明】

污水处理的反硝化反应中，反硝化菌利用有机碳源，将污水中的硝态氮还原为氮气，达到污水脱氮的目的。外加碳源的技术性指标主要包括脱氮速率、碳源有效利用率、碳源利用率、生物体产率系数等，安全性指标包括运行水质的稳定性、现场人员操作运行安全性等，经济性指标指单位水量单位脱氮量的碳源成本，与碳源价格、碳源COD当量、碳源有效利用率有关。

3.3.2 外加碳源的脱氮速率等性质应与脱氮工艺相匹配，应符合下列规定：

1 应根据脱氮工艺停留时间与进出水硝酸盐氮计算所需的脱氮速率，选择脱氮速率满足要求的碳源；宜通过试验确定外加碳源的脱氮速率；

2 停留时间较低、脱氮量较高的后缺氧池，宜采用乙酸钠或小分子醇等脱氮速率较快的碳源，采用葡萄糖等脱氮速率较慢的碳源时，碳源投加量应适当增加；

3 停留时间较高的前缺氧池，外加碳源可采用葡萄糖等脱氮速率较慢的碳源；

4 反硝化滤池应采用乙酸钠或小分子醇等脱氮速率较快的碳源，不宜采用葡萄糖等脱氮速率较慢、污泥产率大的碳源。

【条文说明】

(1) 脱氮速率主要与温度、反硝化细菌数量、底物（可降解有机物和硝态氮）浓度、碳源类别等因素有关。《室外排水设计标准》GB 50014中规定20℃的脱氮速率可采用 $(0.03\sim 0.06)\text{g NO}_3\text{-N}/(\text{g MLSS}\cdot\text{d})$ ，速率单位采用的混合液MLSS浓度，不同温度下乘以温度系数 $1.08^{(T-20)}$ 进行修正。美国《脱氮除磷设计手册》上总结了20℃下脱氮速率典型值，前缺氧区利用污水中有机物的为 $0.05\sim 0.15\text{g NO}_3\text{-N}/(\text{g MLVSS}\cdot\text{d})$ ，投加甲醇的为 $(0.10\sim 0.25)\text{g NO}_3\text{-N}/(\text{g MLVSS}\cdot\text{d})$ ，采用原污水脱氮的温度修正系数为 $(1.03\sim 1.08)^{(T-20)}$ ，采用甲醇的温度修正系数为 $1.11^{(T-20)}$ ，投加乙酸/乙酸钠的脱氮速率高于甲醇。根据文献调研，投加葡萄糖的脱氮速率可取 $(0.03\sim 0.09)\text{g NO}_3\text{-N}/(\text{g MLVSS}\cdot\text{d})$ 。

(2) 不同碳源的脱氮速率不同，即完成同样脱氮量需要的时间不同，碳源投加在前缺氧池时停留时间长，外加碳源能充分反应；对于停留时间较短的后缺氧池，若采用脱氮速率慢的碳源，需要更高的碳源投加量才能以更快的速度实现脱氮目标，会增加随反应出水的碳源损失，使碳源投加量高于预测值。投加葡萄糖时，按脱氮速率 $0.03\text{g NO}_3\text{-N}/(\text{g MLVSS}\cdot\text{d})$ 、MLVSS 1500 mg/L、停留时间3h计算，可实现脱氮量5mg/L。

(3) 反硝化滤池停留时间较短，乙酸钠、甲醇、乙酸利用速率较快，碳源利用率和有效利用率高；而以葡萄糖为碳源时，利用速率较慢，所需的碳源投加量大且碳源利用率低，会存在出水COD超标风险，且葡萄糖的污泥产量大，导致滤池反冲洗周期短。

3.3.3 外加碳源的性质应与出水水质相匹配，COD和TN出水标准较高的污水处理厂，外加碳源应脱氮速率快且碳源利用率高，不宜采用碳5以上的醇类、长链脂肪酸、淀粉多糖等大分子有机物碳源组分。

【条文说明】

根据各地发布的地方标准，最严的排放标准为 $\text{TN}\leq 5\text{mg/L}$ 、 $\text{COD}\leq 20\text{mg/L}$ ，外加碳源脱氮可能存在COD穿透风险，这种情况下应保证外加碳源中COD非常容易被利用，减少反应池出水残余COD量。

碳5以上的醇类、饱和脂肪酸、糖蜜等类大分子，无论在实际应用中还是试验验证残余COD情况，均会出现在一定的好氧曝气情况下COD降解不彻底的情况，残余COD会导致出水COD指标升高至超标。实际案例中，以市场上含有5%饱和脂肪酸的丙三醇甘油类碳源为例，投加浓度超过300mg/L，即会出现残余COD击穿好氧工艺段的情况，残余COD比例大于10%。

3.3.4 外加碳源的特殊应用场景应符合下列规定：

1 污水处理厂应急或临时投加碳源，外加碳源应采用适应时间短的碳源，可采用乙酸钠、乙醇；

2 污水处理厂更换碳源，应考虑不同碳源为底物生长的微生物的代谢相似性。

【条文说明】

(1) 对某些污水厂脱氮系统需季节性投加碳源以提高低温下的反硝化率，或者雨季等进水水质变化需外加碳源的场景，在这种情况下，外加碳源能迅速参与反硝化反应是关键。研究表明，不外加碳源的活性污泥系统投加外源碳源，对于甲醇，需要相当长的适应时间以充分利用实现反硝化脱氮，而对于乙酸盐和乙醇，会立即反应。乙酸钠、乙醇是响应时间非常短的碳源，针对应急临时投加适用性最好。

(2) 研究表明，使用甲醇生长的活性污泥系统，无需经历驯化期即可利用乙酸盐、乙醇、Micro-C复合碳源（包含农产品和5%甲醇）实现反硝化脱氮，对于葡萄糖则需要一段适应期；使用Micro-C生长的活性污泥系统，也无需经历驯化期即可利用甲醇、乙酸盐、乙醇、葡萄糖实现反硝化脱氮；使用乙酸盐生长的活性污泥系统，不经历驯化期不能利用其他醇类、糖类等其他碳源。

3.3.5 危险品碳源选用应符合以下规定：

- 1 地下式、半地下式污水处理厂不应采用危险品碳源；
- 2 冬季温度较高的南方地区，可根据水厂条件采用乙酸作为外加碳源；
- 3 具备甲醇使用资质、运输存储条件、安全及防火满足相关标准且管理水平高的厂，可采用甲醇作为外加碳源。

【条文说明】

(1) 乙酸碳源的脱氮速率、适应性等性质皆与乙酸钠相似，价格较优，但是乙酸具有腐蚀性、冬季低温会凝固，南方地区冬季温度仍较高，需考虑乙酸的适用条件如温度、pH、用量，根据污水处理厂实际运行情况选用乙酸作为碳源。

(2) 使用甲醇具有运行费用低、污泥产量小、脱氮速率快等优点，但甲醇是危险品，在安全性方面有很高要求，能达到甲醇的使用和管理水平时可考虑采用。

3.3.6 采用复合碳源时应考虑碳源来源、碳源组分、碳源脱氮速率、碳源利用率等因素，并宜在使用前进行现场试验，应符合以下规定：

- 1 复合碳源应经第三方认证确认产品成分，宜符合 HG/T 5960 的规定，并提供无毒无害检测报告；
- 2 复合碳源的 BOD₅/COD 应能满足出水 COD 达标；
- 3 碳源的投加应不带入氮、磷、重金属等新的污染物，且对出水排放指标无影响。

【条文说明】

(1) 碳源的浓度和运输储存成本有关，且不能影响污水处理厂的处理负荷。复合碳源COD一般为20或者25万mg/L，在有效运输半径内柠檬酸废水浓度可为1-2万mg/L。碳源BOD₅/COD若太低，碳源中的部分COD不能消耗去除，可能导致出水COD超标。

(2) 一些高浓度有机废水同时含有较高浓度的氮磷，作为碳源使用补充COD的同时，带入了氮和磷等新污染物，增加水处理负担、降低效率。氮磷含量较高的废水不宜直接作为碳源投加，可先经预处理去除氮磷后使用。

3.3.7 废物源碳源选用应符合以下规定：

1 采用酒业废水、食品加工废水、蜜糖废水等当地高浓度易生物降解有机废水，应确认废水中所有成分，废水中不应含有影响处理后水质的有害成分，并应经住建部和环保部审批；

2 进水可生物降解的非溶解性 COD 较高、采用初沉池的污水处理厂，可设立初沉污泥水解池产生水解液，污泥水解液宜经过氮磷回收预处理后作为碳源使用。

【条文说明】

初沉污泥同时含有氮磷，水解发酵过程中也会使污泥中氮磷进入上清液，需要进行预处理后使用。

4 设计

4.1 一般规定

4.1.1 碳源投配系统应符合下列规定：

1 碳源的投加系统通常包括卸药或开包系统、药剂储存（采用成品液态药剂时）、药剂溶解（采用固态药剂时）、药剂稀释（选配）、药剂计量和投加、控制系统等；

2 碳源的投配方法宜采用液体投加方式；

3 投加系统的投加泵组与工艺系统的加药点应一一对应，不宜共用。

【条文说明】

投加系统的投加泵组与加药点一对一配制有利于精确稳定控制投加量。

4.1.2 系统规模按下式确定：

1 碳源用量计算如下：

$$M_C = \frac{C_C \cdot COD_C \cdot Q}{\alpha \cdot 1000} \quad (16)$$

式中：

M_C — 碳源用量，以碳源质量表示，kg/d；

C_C — 外加碳源量（以 COD 计），mg/L，按 3.2.6 的方法计算；

COD_C — 采用碳源的 COD 当量，kgCOD/kg，按表 5 选取；

Q — 需外加碳源脱氮的水量，m³/d；

α — 碳源纯度，%。

2 加药泵流量计算如下：

$$\text{采用液体碳源的：} Q_C = \frac{n \cdot M_C}{\rho \cdot 24} \quad (17)$$

$$\text{采用固体碳源的：} Q_C = \frac{M_C}{b \cdot 24} \quad (18)$$

式中：

Q_C — 加药泵流量，L/h；

ρ — 液体碳源密度，kg/L，按表 5 选取；

n — 液体碳源稀释比例，无量纲；

b — 固体碳源溶解配制的溶液浓度，kg/L。

表 5 外加碳源的特性

碳源	甲醇	乙醇	乙酸	乙酸钠	葡萄糖
化学式	CH ₃ OH	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ COOH	CH ₃ COONa	C ₆ H ₁₂ O ₆
密度 (kg/L)	0.79	0.79	1.05		
COD_C (kgCOD/kg)	1.5	2.09	1.07	0.68	0.9

COD_c (kgCOD/L)	1.19	1.63	1.12		
-------------------	------	------	------	--	--

4.1.3 投加碳源的混合方式可采用水力混合、机械混合，应符合以下规定：

- 1 活性污泥工艺在缺氧区投加碳源的，可依靠缺氧区搅拌器进行机械混合；
- 2 反硝化滤池采用提升泵进水时，投加碳源可采用在提升泵进口投加、水力混合，也可在滤池总进水管上设置管式混合器混合或在配水总渠内水跃混合；
- 3 反硝化滤池采用重力自流进水时，投加碳源宜在滤池总进水管前设置碳源混合池进行机械搅拌混合；
- 4 采用机械混合的，搅拌机的功率与转速应满足投加碳源快速混合要求，宜安装调速装置。

4.2 储存与溶解（稀释）

4.2.1 碳源储存应符合下列规定：

- 1 不同类型碳源储存罐材质和结构要满足强度、防腐防渗及耐用等要求；
- 2 碳源药剂储量应根据碳源用量和当地药剂供应条件等因素确定；
- 3 液体型储罐应设置防泄漏围堰；
- 4 储存甲醇碳源的储罐应符合 GB50160 的规定，宜选用钢制卧式储罐；
- 5 采用乙酸碳源时，不应与氧化剂（如次氯酸钠等）同存；宜稀释至 60% 后储存；直接储存冰乙酸时应采取储存罐保温措施防止结晶；
- 6 采用高 SS 含量的废物源碳源时，应采取储存罐混合、灭菌、清洗、放空等措施；
- 7 储存区应保持良好的通风。

【条文说明】

(1) 危险化学品的储存，多采用储罐的形式，通常有立式、球形、卧式等形式，前两者适合于储量为大中型的项目，后者一般适合于储量较小的项目。在污水处理厂中，按照理论加药量3d~10d用量确定储量，选用储罐的容积一般不太大，卧式储罐一般容积较小，易于在工厂内加工完成，无需现场制作安装，能保证质量，也易于运输，较为适用于污水处理厂。

防火标准有《建筑设计防火规范》GB50016和《石油化工企业设计防火标准》GB50160，储存甲醇等危险碳源的储罐属在工厂生产的工艺装置，故选用《石油化工企业设计防火标准》GB50160作为危险品碳源储罐设计依据；《建筑设计防火规范》GB50016主要是聚焦建筑物的防火，采用危险品碳源的厂区布置需遵守该规范。《石油化工企业设计防火规范》GB 50160第6.2.1条规定“可燃液体的地上储罐应采用钢罐”。储罐是涉及危险品碳源的主要设备，本文件规定选用“钢制卧式储罐”，使建设单位、设计单位、安装单位等各参与方统一意见，从而聚焦罐体的安全性。

(2) 乙酸溶液超过25%就具有腐蚀性，浓度越高腐蚀性越强，大于90%腐蚀性极强，危害极大。冰乙酸的凝固点为16.6℃，随着乙酸溶液浓度降低，乙酸溶液的凝固点先降低再升高，乙酸溶液浓度为60%时凝固点最低-24℃，90%乙酸溶液凝固点为4℃。污水厂直接使用冰乙酸的很少，一般稀释到一定浓度后使用。

4.2.2 采用固体碳源时应设置碳源溶解装置，应符合下列规定：

- 1 碳源溶解装置宜包括碳源溶解池及碳源储存池，为简化土建施工，可采用储罐形式；
- 2 采用钢筋混凝土池体的，内壁应涂覆防腐及防渗涂层；采用 PE 等非钢筋混凝土结构材质储罐的，应设置腰箍加固及储罐固定；
- 3 碳源溶液的制备调制方式应按溶解池的几何尺寸、碳源性质确定，宜采用机械搅拌方式；宜根据池型进行机械搅拌机选型设计，宜采用高效轴流节能型桨叶形式；
- 4 溶解搅拌时，桨叶直径应不小于溶解池等效直径的 0.33~0.4 倍，搅拌桨叶距池底的高度宜为 0.5 倍桨叶直径至 1/2 最高液位之间；
- 5 搅拌桨桨叶及桨杆应整体包裹防腐涂层或整体采用防腐材质。

【条文说明】

药剂溶解池采用储罐时，可采用 PE、玻璃钢等防腐材质的储罐。根据采用碳源的化学腐蚀强度不同，碳源溶解池和溶液池搅拌桨的桨叶及桨杆材质一般选用 SS304，SS316 或碳钢包胶。

4.2.3 采用液体碳源的稀释应符合下列规定：

- 1 甲醇宜经在线稀释装置稀释后投加；
- 2 冰乙酸宜采用溶液池稀释后投加；
- 3 直接采购较低浓度的液体碳源（如 25% 液体乙酸钠、COD 当量较低的复合碳源等），可不经稀释直接投加。

【条文说明】

高浓度液体碳源稀释至更低浓度后投加，更有利于碳源与污水的混合接触，增强加药效果。

另外，甲醇在进入投加点之前，通过对纯甲醇的在线稀释，降低纯度、减少挥发，降低危险性。

冰乙酸经稀释后腐蚀性降低、凝固点降低，对投加管路的防腐蚀要求和保温要求降低。

4.3 投加与计量

4.3.1 药剂投加计量宜采用加药计量泵，并应符合下列要求：

- 1 加药计量泵及泵系统附件宜在线备用（不宜少于 2 套）；
- 2 宜采用隔膜泵（无泄漏型容积泵）；
- 3 应安装在固定泵架或基座上，泵架或基座应固定于地面；采用撬装集成式的，撬装泵座高度不宜高于 0.6m；
- 4 泵安装进液口高度应低于储池或储罐储存液位，不宜采用吸液式安装。

4.3.2 加药管路应符合下列要求：

- 1 甲醇管道宜采用 SS316 不锈钢无缝管，应有导除静电的接地装置；
- 2 乙酸管道应采取 SS316、铝合金、PVDF 或衬 PTFE 管等耐腐蚀材料；
- 3 其他非危险性碳源输送管材可采用 PVC、PP、PE 等材质的塑料管；

- 4 加药泵应配备截止阀、止回阀、背压阀及泄压阀/泄压单向阀等安全回路；
- 5 加药泵进液管路上应设置过滤器去除药液中杂质。

4.4 加药间

4.4.1 加药间宜符合下列规定：

- 1 采用非危险性碳源时，加药间宜与药库合并布置，并宜与其他非危险性药剂加药间合建；
- 2 加药间位置应尽量靠近投药点，应保持良好的通风；
- 3 加药间地坪应有排水沟；
- 4 加药间室内应设有冲洗设施和保障工作人员卫生安全的劳动保护措施。

4.4.2 采用甲醇时，应符合下列规定：

- 1 甲醇储存、储罐（区）和厂房布置应符合 GB 15603 和 GB 50016 的规定；
- 2 甲醇储罐与加药间电器设备应符合 GB 50058 的规定；
- 3 甲醇储罐罐顶及加药间应装有消防喷淋系统，且应符合 GB 50151 的规定。

4.4.3 加药间地面、池体、围堰内壁等应根据储存药剂的种类、酸碱、腐蚀等性质进行防腐处理。

5 监测与控制

5.1 监测

5.1.1 投加碳源工艺单元的检测项目和频率应根据碳源加药规模、工艺控制要求和生产管理目标等选择，应符合下列规定：

1 污水处理厂水量水质监测应符合 HJ 978 的规定，应监测进水总管和总排放口的流量、COD、TN、氨氮等指标；

2 每处碳源加药点的加药管路上宜设置流量计；

3 反硝化滤池工艺，每个（格）滤池进水管（渠）应设置流量计，某一个（格）滤池进水管（渠）宜每日检测硝酸盐氮、DO，每个（格）滤池出水管（渠）可每日检测硝酸盐氮和 COD；

4 活性污泥工艺，每个（格）生化池进水管应设置流量计，投加碳源的每个（格）缺氧池末端、好氧池末端宜每日检测硝酸盐氮，某一个（格）生化池进水管宜每月检测 TN 和 COD；应分段监测生化池各单元的污泥浓度、pH 值、ORP、DO 等运行状态指标；

5 反硝化滤池工艺宜采用在线监测。

【条文说明】

《排污许可证申请与核发技术规范 水处理（试行）》HJ 978-2018规定，污水处理厂应在进水总管对流量、COD和氨氮进行自动监测，对总氮进行每日监测，在总排放口对流量、COD、TN、氨氮进行自动监测。

总氮包括氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、有机氮，生活污水经生化处理后有机氮含量较稳定且较低，亚硝酸盐氮含量很低一般可忽略不计，经曝气池后氨氮含量一般也会低于2mg/L，总氮主要是硝酸盐氮贡献。

对于反硝化滤池，监测滤池进水硝酸盐氮浓度和DO，可为确定碳源投加量提供依据，监测滤池出水硝酸盐氮和COD可判断碳源投加是否过量或不足，为精细化调控碳源投加量提供依据。

对于活性污泥工艺，污水厂总进水经过预处理后进入生化池，生化池进水COD和TN相对于总进水有一定程度的降低，每月检测生化池进水TN和COD，掌握与总进水水质的关系，进水水量水质较稳定时，根据进水总管COD、TN即可大致判断生化池进水COD和TN，为确定碳源投加量提供依据，并结合缺氧池末端和好氧池末端硝酸盐氮调整碳源投加量。

活性污泥工艺水力停留时间较长，出水水质较稳定。生物滤池工艺停留时间短，出水水质波动大，宜采用在线监测，监测结果更好的为碳源投加量调整提供依据。

5.1.2 采用碳源精准投加自动控制系统的应根据控制系统需要设置在线监测仪表。

5.1.3 水质监测数据、加药计量泵运行频率、加药流量、进水流量等数据宜集中至控制中心。

5.2 控制

5.2.1 控制系统的设置应符合下列规定：

- 1 碳源投配系统的运行参数和设备运行状态的监测数据宜集中至处理厂（站）的控制中心；
- 2 采用成套设备时，成套设备自身的控制宜与处理厂（站）的控制系统兼容并结合。
- 3 碳源投加量调整应根据水质水量波动、碳源用量等因素，合理选择人工手动控制或自动控制：
 - a) 规模较大、碳源用量较高的污水处理厂，及进水水量和浓度、系统运行等波动较大且较频繁无规律的污水处理厂，宜采用精确加药自动控制系统；
 - b) 碳源用量较小、水量水质相对稳定、运行人员技术水平较高的污水处理厂，可采用人工手动控制。

【条文说明】

投加碳源的污水处理厂如何根据水质水量变化和出水水质目标，确定最优碳源投加量，是生产管理中的重要内容。药剂投加量控制可分为传统控制、自动控制、智能控制3个发展阶段。

传统控制方法主要是通过人工经验手动调控，存在加药过量以及调控频繁等问题，过量投加碳源除导致药剂浪费外，还可能导致出水COD超标。人工调控更能适应各种工况，但受到个人技术能力和精力限制。

基于传统控制方法的不足，自动控制技术得到重视，基于数学模型的自动控制技术在国内的研究和应用逐渐成熟，应用于除磷药剂、消毒剂、碳源等药剂的投加。加药自动控制系统可根据水量、水质变化自动调整加药量，有效保证水质达标并减少药量浪费。但是市场上成套的精准加药系统的价格高达几十万甚至上百万，且需要配套多种在线监测仪表，在线监测仪表还需维护得当以保障监测数据的准确性，从而保证精准加药系统的有效运行。

随着数据监测采集技术的发展，加药智能控制技术进入研究和试验阶段，模拟生物神经的神经网络控制、以模拟为基础进行模糊推理的模糊控制系统研究较为普遍，仍还有待进一步研究和应用。

5.2.2 采用碳源投加自动控制系统的，应符合下列规定：

- 1 宜根据管理水平和经济性选择控制策略，大型污水厂宜采用“前馈+反馈”的数学模型控制，应采用实际运行数据校准模型参数；
- 2 自动控制系统宜能识别仪表反馈数据的异常；
- 3 自动控制系统应设置自控和手控两种模式；
- 4 反硝化滤池宜采用滤池进水流量、进水硝酸盐氮、滤池出水硝酸盐氮或出水总氮、滤池出水 COD 在线监测数据作为控制参数；
- 5 活性污泥工艺宜采用总进水 COD 和 TN、生化池进水水量、缺氧池和好氧池末端硝酸盐氮在线监测数据作为控制参数。

【条文说明】

精确加药系统采用数学模型自动控制的策略包括前馈控制、反馈控制、前馈-反馈复合控制。早期利用进水参数前馈控制应用较多，目前一般采用“前馈+反馈”复合控制，一般将进水流量和水质等影响脱氮效果的主要参数作为前馈值，以脱氮工艺出水的总氮或硝酸盐氮作为反馈值，建立数学模型来自

动调节碳源投加量，利用前馈控制进水水质水量变化的影响，再根据出水水质情况运用反馈控制进行调整。

模型预测法与其他控制算法相比具有更好的鲁棒性和稳定性，准确度取决于采用的数学模型与实际工况的匹配度，因此采用模型预测法的关键是必须有大量可靠的生产数据，才能建立符合实际生产的数学模型，该方法采用前馈-反馈控制进行双向计算矫正，可减少对仪表反馈数据的依赖。该方法需要配制的仪表数量较多，涉及的参数也较多，当实际工况发生较大变化时，也需要人工调整部分参数才能获得更理想的控制效果。

5.2.3 采用人工手动控制时，宜基于历史运行数据分析、根据污水处理厂出水总氮监测数据变化趋势、进水总氮及 COD 监测数据变化、系统运行状态（包含水温、污泥浓度、DO 等），每一检测周期调整或确认一次碳源加药量。

6 施工、调试与验收

6.1 施工与安装

6.1.1 非危险碳源投加系统的施工和安装应符合 GB50334 的相关规定。

6.1.2 危险品碳源投加系统施工和安装应符合下列规定：

1 储罐安装前，应复核储罐的基础、防火堤等符合 GB 50160 的规定，应查验储罐及其附件的合格证，并应对储罐进行外观检验；

2 储罐、管道布置、电气装置、消防系统等应符合 GB 50160 和 GB 50257 的规定；

3 管道施工应符合 GB 50517 的规定。

【条文说明】

储罐应为在储罐生产厂完成加工制作的工艺装置，并经检验合格后方能出厂，不应在现场制作，以确保储罐制作能满足安全规范的要求。查验外观的目的，主要是检查是否存在运输过程中，储罐受损。卧式储罐按《压力容器-制造、检验和验收》GB150.4的相关要求进行验收。应检查的附件主要包括：呼吸阀、阻火器、安全阀等。

《石油化工金属管道工程施工质量验收规范》GB50517规定了施工单位、人员资质要求、管道的防腐、管道隔热、材料验收、管道安装制作、实验、交付等各个相关环节的具体要求。

6.1.3 加药泵安装应符合以下规定：

1 碳源投加系统供货商应提供所有单体设备的合格证明；

2 设备安装应符合设备安装说明书的要求。

6.2 调试

6.2.1 调试应编制调试方案，宜包括调试前准备、调试流程、调试要求等。

6.2.2 调试前应检查并确认各种设备、连接管道和阀门的安装符合设计文件的规定。

6.2.3 调试内容应包括下列项目：

- 1 药剂储池（罐）、药剂溶解池的满水试验；
- 2 碳源输送管道的水压试验；
- 3 阀门空载和满水开关试验；
- 4 搅拌机、加药泵等转动机械的空载和满水转动试验；
- 5 加药泵的压力和计量试验；
- 6 控制系统电气连通与联动试验。

6.3 验收

6.3.1 碳源系统验收应按 GB50334 执行，验收时应具备设计图、竣工图、设计变更文件、技术交底记录、施工组织设计、产品质量保证书和检验报告、施工过程质量检验记录、调试记录以及验收记录等资料。

6.3.2 碳源投加系统中所涉及的设备、管材及仪表装置应有产品检验合格证书等相关质量证明材料。

6.3.3 碳源系统性能验收宜检测下列项目：

- 1 加药泵投加能力；
- 2 碳源投加系统计量的准确度。

6.3.4 甲醇、乙醇等危险化学品碳源系统，还应通过属地相关行政管理部门的安全、消防等监督管理验收后，方能投入使用。

【条文说明】

涉及的行政管理部门包含应急管理部门、消防部门等，《危险化学品建设项目安全监督管理办法》是国家安全监管总局颁布的上位法，各地应按属地相关的“危险化学品建设项目安全监督管理实施细则”等规定执行。

7 运行与维护

7.1 碳源投加设施的运行与维护应符合 CJJ 60 的规定。

7.2 运行管理单位应定期对所使用碳源的脱氮效率及单位成本进行分析：

1 应制作投加碳源脱氮的工艺水量、水质、碳源药剂消耗量统计报表，分析碳源有效利用率，并定期评价碳源的投加方式、投加点位及投加量是否符合预期；

2 通过水质、水量、工艺设计及运行情况判断碳源种类是否合适，并结合成本分析判断碳源种类的选择是否最优；

3 更换碳源种类或生产厂家前，应先通过实验确定拟选碳源的技术性、安全性和经济性，并通过中试试验进一步校核更换可行性。

7.3 运行单位应定期检测碳源产品的质量参数：

1 每批次碳源应检测 COD 和 BOD₅ 等参数；

2 采用废物源碳源的，还应定期检测碳源总氮、总磷、氨氮含量；

3 采用复合碳源的，还应检查每批次产品合格证明文件。

7.4 运行单位在运行过程中应关注下列事项：

1 采用分段或多点进水工艺时，应根据实际水质水量调整进水分配，以最大化利用原水碳源；

2 经核实好氧池容积充足时，宜控制好氧池末端曝气量或在好氧池末端设置消氧区，以减少内回流混合液溶解氧；

3 应根据水质、水量、工艺设计及运行情况，选择合适的碳源投加点，可采用一点或多点投加；

4 应根据水质、水量及工艺运行情况确定碳源投加量，并根据投加碳源的反硝化池出水硝态氮浓度及出水总氮情况，及时调整投加量；

5 采用碳源投加自动控制系统的，应定期对控制系统的设备、仪表、自控系统等进行维护保养和性能评估，应定期采用运行数据对模型参数校准，对模型采用的反馈数据识别是否正常；

6 应定期测试加药计量泵的读数与投加量的标准曲线，必要时做机械调整。

7.5 运行维护人员应定期对现场设施设备进行巡检及记录：

1 运行人员应严格执行设备操作规程，定时巡视搅拌器、推进器等设备运转是否正常，包括温升、响声、振动、电压、电流等，保证碳源与反应液充分混合，并做好设备维修保养记录；

2 采用变频泵自动投加碳源时，应定时巡视投加系统的投加泵、管道、过滤器、阀门、计量与控制仪表等；

3 应注意观测计量泵运转是否正常，计量仪表显示是否正确；

4 应检查碳源投加点碳源投加及混合是否正常，观察反应区运行状态是否正常；

5 应注意检查监测和控制设备是否运行正常，如 ORP/DO 监测仪、硝酸盐在线监测仪等；

6 应定期清理碳源储存池/罐和管道过滤器等，避免堵塞、结晶；

7 巡检频率不宜低于 2 小时/次。

7.6 不同类型碳源的运行管理应符合下列规定：

- 1 采用甲醇时，应满足危化品管理的相关规定，操作人员应定期检查灭火系统等是否正常；
- 2 采用乙酸时，低温时操作人员应注意是否存在结晶导致泵和管路堵塞；
- 3 采用固体碳源时，应定期清理和维护碳源溶解池；
- 4 采用高 SS 含量的废物源碳源时，应定期对储存池/罐进行放空、清洗、灭菌。

7.7 污水处理厂需应急或临时投加碳源的，应合理判断碳源投加时间及投加量：

- 1 出水 TN 升高时（达到内控标准时），应排查是否存在碳源不足；
- 2 若存在碳源不足，应启动碳源投加，初始投加量按 3.2.6 确定，并根据投加碳源后出水 TN 变化及时调整碳源投加量。

本规程用词说明

1 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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合·····的规定”或“应按·····执行”。

引用标准名录

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

- GB 12268 危险货物物品名表
- GB 15603 常用化学危险品贮存通则
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50058 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范
- GB 50151 泡沫灭火系统设计规范
- GB 50160 石油化工企业设计防火规范
- GB 50257 电气装置安装工程 爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范
- GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
- GB 50334 城镇污水处理厂工程质量验收规范
- GB 50517 石化金属管道工程施工质量验收规范
- CJJ 60 城市污水处理厂运行、维护及安全技术规程
- HG/T 5960 废（污）水处理用复合碳源