

附件3

水解酸化反应器污水处理工程技术规范 (征求意见稿) 编制说明

项目名称：水解酸化反应器污水处理工程技术规范

项目统一编号：247-1392

项目承担单位：中国环境保护产业协会

编制组主要成员：王凯军，燕中凯，王焕升，尚光旭，刘 媛，
薛念涛，高志永，朱 民，刘晓剑

标准所技术管理负责人：姚芝茂

技术处项目管理人：姜宏

目 次

1 任务来源	1
2 标准制定必要性	1
3 主要工作过程	1
4 国内相关标准研究	2
5 同类工程现状调研	4
5.1 水解酸化法的反应器类型	4
5.2 水解酸化法应用现状	6
5.3 水解酸化法存在的问题	8
5.4 水解酸化法的发展趋势	9
6 主要技术内容及说明	9
6.1 水解酸化法的机理	9
6.2 水解酸化法的适用性	10
6.3 水量和水质	11
6.4 污染物去除率	11
6.5 水解酸化法污水处理工艺流程	12
6.6 预处理	12
6.7 升流式水解反应器	13
6.8 复合式水解反应器	16
6.9 完全混合式水解反应器	16
6.10 后续处理	17
6.11 剩余污泥及处理	17
6.12 检测与控制	17
6.13 运行与维护	18
7 标准实施的环境效益与经济技术分析	19
8 标准实施建议	19

《水解酸化反应器污水处理工程技术规范》编制说明

1 任务来源

2009 年，环境保护部下达了“关于开展 2009 年度国家环境保护标准制修订项目工作的通知”（环办函【2009】221 号），其中提出了制定《污水厌氧生物处理工程技术规范 水解酸化法》（项目编号 247-1392 号）行业标准的任务。

本标准主要起草单位：中国环境保护产业协会、清华大学、北京市环境保护科学研究院。

2 标准制定必要性

环境保护标准化是我国环境保护的一项重要的发展战略，建立与国际接轨的环境工程服务技术标准体系和环境技术评估体系，是当前加快环境保护标准化步伐的一项重要任务。它对于提升我国环境工程服务业的国际竞争能力，规范环境工程服务业市场，保证环境工程建设和运行管理质量，为环境管理提供技术支撑和保障具有重要意义。

环境工程服务技术标准包括工程类技术标准和产品类技术标准两大类，是环境工程立项、科研、招投标、设计、建设施工、验收、运行全过程服务的技术依据。

水解酸化法作为有效改善水质可生化性的工艺在我国污水处理工程实践中已得到广泛应用。很多管理部门、设计部门和技术研究单位，在从事水解酸化法污水处理工程的设计及运行管理工作中已经积累了一些实践经验，但是国内尚缺乏可操作的技术规范指导水解酸化法污水处理设施的建设与运行。为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》、和国家其他有关污水处理领域的法规，规范水解酸化反应器污水处理工程的规划、设计、施工、验收和运行管理，需要制定《污水厌氧生物处理工程技术规范 水解酸化法》作为污水水解酸化法污水处理技术工程设计工作的指导性文件，为水解酸化法设备的施工、验收和运行管理提出相关要求。使水解酸化法污水处理设施从建设到运行全过程能有一个技术规范进行指导，对于保证水解酸化法污水处理工程的建设质量和稳定运行，以及保证环境保护主管部门的有序监管都具有重要意义。

因此，《污水厌氧生物处理工程技术规范 水解酸化法》的编制是十分必要和及时的。

3 主要工作过程

2009 年 3 月，环境保护部下达《污水厌氧生物处理工程技术规范 水解酸化法》编制任务后，中国环境保护产业协会组织成立了标准编制组，编制组由中国环境保护产业协会、清华大学、北京市环境保护科学研究院等相关单位的人员组成。

2009年3月~2009年12月,编制组对国内外相关标准、文献等技术资料和工程实例进行了广泛的调研,编制了开题报告和编制大纲。

2010年1月6日,由科技标准司在环境保护部主持召开了《污水厌氧生物处理工程技术规范 水解酸化法》的开题讨论会。中科院生态环境研究中心、中国环境保护科学研究院、天津市环境保护科学研究院、中兵北方环境科技发展有限责任公司、中石化北京化工研究院、环境保护部环境标准研究所等单位的专家参加了会议。会上,标准主编单位对标准适用范围、技术路线等内容进行了汇报,专家委员会经质询、讨论,认为标准编制组提出的编制原则、技术路线、实施方案合理可行,开题资料齐全,内容全面,符合编制工作要求。并建议:1、为了与已颁布的厌氧系列工程技术规范保持一致,规范更名为《水解酸化法污水处理工程技术规范》;2、针对不同水质,进一步明确本标准的适用范围;3、进一步明确水解酸化法的主要特征;4、标准中应加强水解酸化法的控制措施,防止甲烷产生所引起的安全问题。

2010年2月~2012年12月,编制组依据开题会上专家提出的建议,多次完善标准,形成标准征求意见稿及其编制说明。

2013年1月至今,标准征求意见稿完成后,编制组组织召开了征求意见稿专家预审会,会上专家组提出了进一步完善征求意见稿的建议,并建议将规范名称由“水解酸化法污水处理工程技术规范”更改为“水解酸化反应器污水处理工程技术规范”,编制组进一步完善了征求意见稿及其编制说明。

4 国内相关标准研究

2000年9月25日中华人民共和国国务院令第293号颁发的《建设工程勘察设计管理条例》规定,设计工作的基本任务是根据建设工程的要求,对建设工程所需的技术、经济、资源、环境等条件进行综合分析、论证,充分体现节地、节水、节能和节材的原则,编制与社会、经济发展水平相适应,经济效益、社会效益和环境效益相统一的设计文件。

目前《室外排水设计规范》(GB50014-2006)并无水解酸化法设计规范,国内尚缺乏可操作的技术规范指导水解酸化法污水处理设施的建设与运行。

在国家现行建设项目环境保护条例和相关环境监督管理法律法规中,对环境保护设施的建设与正确使用均提出了要求。本标准属于环境污染治理工艺方法规范,是国家环境标准体系之环境工程技术规范的一个组成部分,与环境污染治理工程技术规范并用,将为环境保护设施的建设、运行以及环境监督管理的标准化提供技术支撑。

本规范的编制以国家环境保护现有法律、法规、标准为主要依据,同时参考水处理行业相关的技术规范和设计手册,结合国内外有关水解酸化法处理工艺运行的文献以及调研取得的国内水解酸化法污水处理工艺运行情况数据资料,总结编制了本规范。编制中参考的标准

和文件主要有：

GB 3836	爆炸性气体环境用电气设备
GB 12348	工业企业厂界噪声标准
GB 12801	生产过程安全卫生要求总则
GB 18597	危险废物贮存污染控制标准
GB 18599	一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
GB 18918	城市污水处理厂污染物排放标准
GB 50011	建筑抗震设计规范
GB 50014	室外排水设计规范
GB 50015	建筑给水排水设计规范
GB 50016	建筑设计防火规范
GB 50037	建筑地面设计规范
GB 50046	工业建筑防腐蚀设计规范
GB 50052	供配电系统设计规范
GB 50053	10kV 及以下变电所设计规范
GB 50054	低压配电设计规范
GB 50057	建筑物防雷设计规范
GB 50069	给水排水工程构筑物结构设计规范
GB 50108	地下工程防水技术规范
GB 50141	给水排水构筑物施工及验收规范
GB 50187	工业企业总平面设计规范
GB 50204	混凝土结构工程施工及验收规范
GB 50205	钢结构工程施工质量验收规范
GB 50222	建筑内部装修设计防火规范
GB 50231	机械设备安装工程施工及验收通用规范
GB 50268	给水排水管道工程施工及验收规范
GB 50275	压缩机、风机、泵安装工程施工及验收规范
GBZ 1	工业企业设计卫生标准
GBZ 2	工作场所有害因素职业接触限值
GBJ 19	采暖通风与空气调节设计规范
GBJ 22	厂矿道路设计规范
GBJ 87	工业企业噪声控制设计规范
GBJ 141	给水排水构筑物施工及验收规范
CJJ 60	城市污水处理厂运行、维护及其安全技术规程
CJ/T 51	城市污水水质检验方法标准

HJ/T 91	地表水和污水监测技术规范
HJ/T 245	环境保护产品技术要求 悬挂式填料
HJ/T 246	环境保护产品技术要求 悬浮填料
《建设项目（工程）竣工验收办法》（计建设[1990]1215 号）	
《建设项目竣工环境保护验收管理办法》（国家环境保护总局令 第 13 号）	

5 同类工程现状调研

5.1 水解酸化法的反应器类型

水解酸化反应器主要包括升流式水解反应器、复合式水解反应器及完全混合式水解反应器。此外，水解反应器还可以包括采用其他厌氧反应器型式实现水解酸化的反应器，如厌氧折流板反应器、厌氧接触反应器等。

（1）升流式水解反应器

升流式水解反应器的示意图见图 1，水解酸化微生物与悬浮物形成污泥层，污水通过布水装置自反应器底部均匀上升至顶部出水堰排出过程中，污泥层可截留污水中悬浮物，并在水解酸化菌作用下降解有机物、提高污水可生化性等。

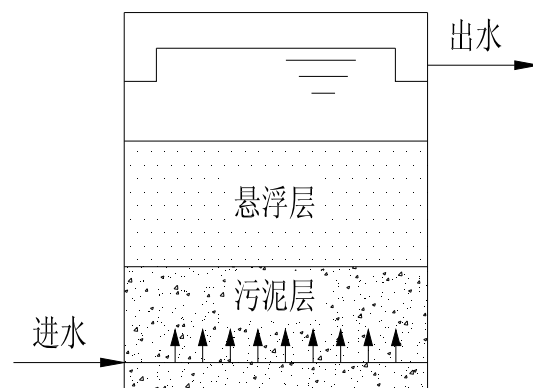


图 1 升流式水解反应器示意图

（2）复合式水解反应器

复合式水解反应器（示意图见图 2）内既存在水解酸化污泥，又存在水解酸化生物膜，形成水解酸化污泥和生物膜的复合体。反应器上部为填料层，下部为污泥床，中间留出一定的空间以便悬浮状态的絮状污泥和颗粒污泥停留，增加了反应器的生物量，延长了微生物与废水的接触时间。

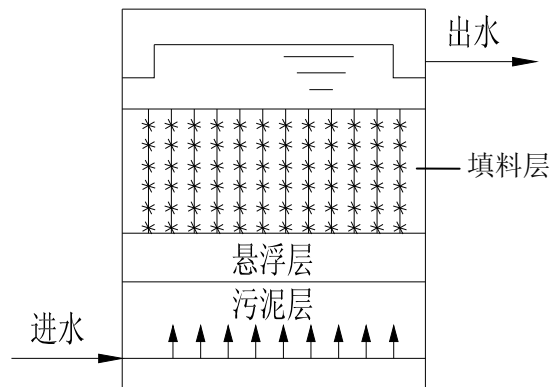


图 2 复合式水解反应器示意图

(3) 完全混合式水解反应器

完全混合式水解反应器（示意图见图 3）内设置搅拌装置实现污水和污泥的完全混合，其后设置沉淀池并回流污泥以保证反应器内有较高的污泥浓度。

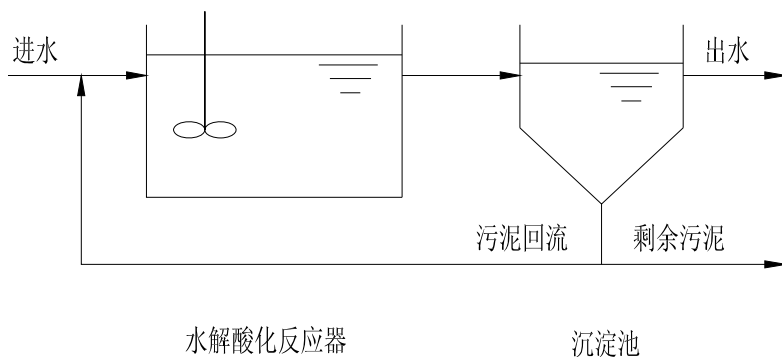


图 3 完全混合式水解反应器示意图

(4) 其他厌氧反应器

此类反应器主要利用已有厌氧反应器型式实现水解酸化，如厌氧折流板反应器、厌氧接触反应器等。此类反应器设计可参考相应的厌氧反应器设计规范，本规范中不再重复规定。

厌氧折流板反应器（ABR）（见图 4）的结构特点是反应器中设置折板形成数个升流式水解反应器，废水在反应器内沿折流板流动，提高了微生物与废水的混合接触作用。

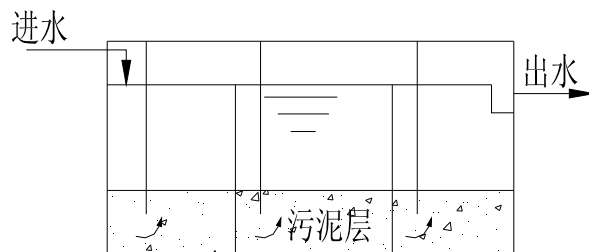


图 4 厌氧折流板反应器

厌氧接触反应器的特点是水解酸化微生物固定在反应器内特设的载体上形成生物膜，微生物的世代期较长，耐冲击负荷能力较强，此类反应器的典型代表为厌氧滤池。

5.2 水解酸化法应用现状

水解反应器可以替代初沉池，提高污水可生化性，同时也可以在一定程度上降低 COD 总量、将污水中不易生物降解的大分子有机物降解为易于生物降解的小分子有机物，这对于难降解有机废水的治理十分重要。目前已知水解酸化法对城市污水、印染废水、制药废水、造纸废水、啤酒废水、化工废水和合成洗涤剂废水等多类废水很有效，而且悬浮物去除率高，去除的悬浮物可以在水解反应器中部分消化。水解酸化法去除悬浮物的特点，在工艺开发初期主要应用于污水、污泥处理方面；近年来，又用于去除高悬浮物和脂类物质，如酒糟废液、活性污泥、乳制品废水和畜禽粪便废水等。水解反应器设计停留时间调查统计表见表 1。

表 1 水解反应器设计停留时间统计表

序号	废水类型	设计停留时间 (h)			
		最低	最高	平均值	统计厂家数
1	城市污水	3	6.5	4	9
2	制药废水	5.5	25	14.9	21
3	印染废水	6.5	10	8.8	13
4	焦化废水	10	16	13	7
5	造纸废水	4.5	9	7.5	6
6	橡胶废水	8	12.9	11.6	5
7	化工废水	8	14.5	11.05	10
8	食品加工废水	8	16	12.38	17
9	啤酒废水	4	7.8	6.5	8
10	屠宰废水	7.5	12	10.35	5
11	含硫废水	6	12	9.25	5
12	医院废水	1.5	3	2.25	2
	合计				108

(1) 城市污水处理

迄今为止，水解-好氧生物处理工艺已应用于几十座城市污水处理厂，累计投资几十亿元，形成了上百万吨/天的处理能力。十多年来的工程实践表明，水解-好氧生物处理工艺是我国独立开发的具有投资省、运行费用低和处理能耗低等特点的城市污水处理工艺，为当前城市污水处理厂的建设提供了一条新的、切实可行的技术途径。该技术成果也受到了国内外学者、专家、设计单位及应用单位的高度重视和评价。

江苏某城市污水处理厂，日进水 10 万吨/天，由于进水中含有大量工业废水，污水 COD 高于正常城市污水，可生化性低于 0.4。该厂采用水解-好氧生物处理工艺，水解反应器水力停留时间为 2.5~3h，常温下运行，基本不产生沼气，流程简单，造价低，管理方便。因水

解酸化法集生物降解、物理沉降和吸附为一体，污水中的颗粒和胶体污染物被截留和吸附，并生物降解。水解反应器 BOD_5 去除率为 20~35%， COD_{Cr} 去除率为 30~45%，SS 的去除率为 70~85%，同时水解反应器改善了污水的可生化性，有利于后续的好氧处理。

（2）印染废水处理

目前已知水解酸化法对印染废水、啤酒废水、制药废水、造纸废水、化工废水和合成洗涤剂废水等各种工艺废水很有效。

印染废水具有有机物含量高、成分复杂、色度深、pH 值高、水质变化大等特点，是国内外公认的难处理工业废水之一。近年来，由于新型纺织纤维的开发，聚乙烯醇（PVA）浆料、人造丝碱物、新型助剂等难降解有机物大量进入印染废水，使废水的可生化性变差，传统的生物处理工艺受到严重的挑战。某印染废水的 BOD_5/COD 为 0.15~0.3，可生化性一般，并且水中的有机物对微生物有一定的抑制作用。采用水解酸化-好氧的处理工艺，水解反应器采用厌氧折流板反应器，水力停留时间为 8~10h，使污水 BOD/COD 升至 0.3~0.45，为后续好氧生化处理创造了条件，并去除了大部分的色度。印染废水经该工艺处理后，其 COD 、 BOD_5 、色度、SS 的去除率分别达到 93%、94.6%、97%和 89.2%，所有指标均达到国家排放标准。

（3）造纸废水处理

造纸制浆废水排放量大，成分复杂，污染严重， BOD_5/COD 比值小，属于难生物降解废水。某造纸废水进水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS 浓度分别为 4120mg/L、1630mg/L、2080mg/L，采用水解-好氧工艺处理，水解反应器水力停留时间为 5.8h，采用升流式水解反应器的型式，水解反应器中挂有弹性填料，处理后出水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS 浓度分别达到 354mg/L、92.5mg/L、95.6mg/L，去除效率分别达到 91.4%、94.3%、95.4%，优于《造纸工业水污染物排放标准》（GB 4355-2001）。

（4）制药废水处理

某制药生产废水主要为妥布霉素、洛伐他丁、盐霉素钠盐生产过程中排放的生产废水，该废水污染物浓度高、成分复杂、色度高、毒性大，含有表面活性剂、残余抗生素、硫酸根、溶媒等多种抑制物质，水质水量波动大，属于有一定处理难度的抗生素废水。进水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS 浓度分别为 4000~11000mg/L、1300~6500mg/L、100~500mg/L。水解反应器对 COD 的去除率为 18%~25%，经过水解酸化后 BOD_5/COD 由原来的 0.152~0.218 提高至 0.436~0.496，该废水的可生化性大大提高，为后续好氧工艺稳定运行创造了条件。

（5）啤酒废水处理

某啤酒厂废水处理工程中采用了水解-生物接触氧化工艺，进水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS 浓度分别为 1090~4410mg/L、734~1810mg/L、400~796mg/L，经过半年多的运行，处理效果稳定。水解反应器采用升流式水解反应器，水力停留时间为 6h，而传统生物氧化法处理啤酒废水 HRT 一般大于 10h，有的甚至大于 17h，本工艺有明显的节能效果；其次，啤酒废

水经水解酸化处理后, BOD_5/COD_{Cr} 值从原来的 0.51 提高到 0.72, COD_{Cr} 和 BOD_5 的去除率分别为 39.2%和 14.2%。水解酸化达到较好预处理效果, 废水的可生化性增加, 这样可充分发挥后续好氧生物处理的作用, 缩短整个工艺的水力停留时间, 提高生物处理效率。

(6) 焦化废水处理

焦化废水中含有大量难生物降解的萘、吡啶、喹啉、吲哚、联苯等杂环及多环芳烃类有机物, 是一种可生化性差的废水。某焦化废水 COD 为 1327mg/L, BOD_5/COD_{Cr} 为 0.2, 水解反应器停留时间为 4h, 处理后 BOD_5/COD_{Cr} 升至 0.32。经水解酸化反应后废水中难降解有机污染物转化为易生物降解物质, 其生物氧化率由原来的 31.2%提高至 51.2%。而对联苯和吡啶而言, 不仅可生化性得到改善, 而且其对生物的抑制作用也基本消除。

(7) 纺织废水处理

在涤纶纤维生产过程中, 为了改善纤维性质, 提高纤维可织性, 需要使用纺丝油剂处理纤维。纺丝油剂主要由一些抗静电剂、柔软剂、渗透剂、润滑剂及一些乳化剂等高分子化合物组成, 而乳化剂又含有一些阴离子表面活性剂或非离子表面活性剂, 如烷基磷酸酯钾盐、脂肪酸聚乙二醇脂、烷基醚硫酸钠等等。这些油剂废水 COD 在 2000mg/L 左右, 而 BOD_5 为 350mg/L, BOD_5/COD 为 0.18。采用各种物化处理费用高, 生化好氧处理有大量泡沫产生。选用水解-好氧工艺, 其中水解反应器停留时间为 10h, 投加软性纤维填料, 好氧处理单元采用接触氧化法, 停留时间为 7~8h。经过水解酸化反应后废水 BOD_5/COD 从 0.18 上升至 0.20, 并且 COD 、 BOD 值都有所增加, 这说明一些难降解的物质经水解酸化反应后变成易于生物降解的物质。经过水解酸化, 好氧处理后 BOD_5 去除率可达到 89%, COD 去除率可达到 89%, 这使得一般油剂浓度超过 1000mg/L 就不能生化处理的废水, 在浓度高达 2000mg/L 时也可以进行稳定的生化处理。

5.3 水解酸化法存在的问题

(1) 水解酸化法开发应用时间较短, 由于水解酸化法设计参考资料较少, 造成工程设计中出现失误较多, 难以发挥水解酸化法工艺效果, 影响工艺推广。

(2) 水解酸化法有别于传统厌氧工艺, 需考虑其特有的布水、排泥等问题, 不能简单套用, 在建设中需要根据工艺要求合理建设。

(3) 水解酸化法是厌氧降解的前两个阶段, 需要合理设计和运行调试, 否则容易进入产甲烷阶段, 难以实现水解酸化功能。

(4) 水解酸化法已用于多种行业废水处理, 在各种工程应用中都存在其特定的工艺设计参数, 目前缺乏统一合理的设计标准。

5.4 水解酸化法的发展趋势

5.4.1 与其它工艺结合

水解酸化法只是对有机物进行了初级分解，对 COD 的去除率不高，后续必须通过厌氧消化或者好氧处理才能使有机物彻底分解、矿化稳定，在工程应用中一般只作为有机废水的预处理工艺应用。

水解酸化法一般与好氧处理相结合，也可与厌氧处理、物化处理相结合，对整个工艺系统进行优化，进一步提高处理效果是发展趋势之一。

5.4.2 水解酸化法的功能扩展

首先，水解酸化是厌氧消化过程的第一、二两个阶段，水解反应器内主要为兼性菌，可利用兼性菌的多样性，通过后续好氧工艺混合液或出水回流实现水解反应器的反硝化目的，增加硝态氮的去除率。

其次，利用兼性菌对非溶解性有机物的水解作用，可进一步降低污泥剩余量。但是污泥减量造成的惰性物质积累和水解酸化微生物活性降低会影响系统对污水的处理效果，应该适时采取排泥等措施，确保污水处理达标。此外，利用水解酸化和后续好氧段形成的厌氧好氧交替的过程也可实现污泥的减量化。

第三，水解酸化是两相厌氧消化的前段，由于两相厌氧有利于提高容积负荷率、增加运行稳定性，已备受关注。

6 主要技术内容及说明

6.1 水解酸化法的机理

厌氧生物反应包括水解、酸化和甲烷化三个大的阶段，将反应控制在水解和酸化两个阶段的反应过程，可以将悬浮性有机物和大分子物质（碳水化合物、脂肪和脂类等）通过微生物胞外酶水解成小分子，小分子有机物在酸化菌作用下转化成挥发性脂肪酸的过程。在这一过程中同时可以将悬浮性固体水解为溶解性有机物、将难生物降解的大分子物质转化为易生物降解的小分子物质。

污水中的污染物按分散体系划分为颗粒性、超胶体、胶体和溶解性四种不同形态。下图给出了水解酸化法对颗粒状、超胶体、胶体性和溶解性等不同物理状态的有机污染物（以 COD 为例）迁移转化途径的图示。

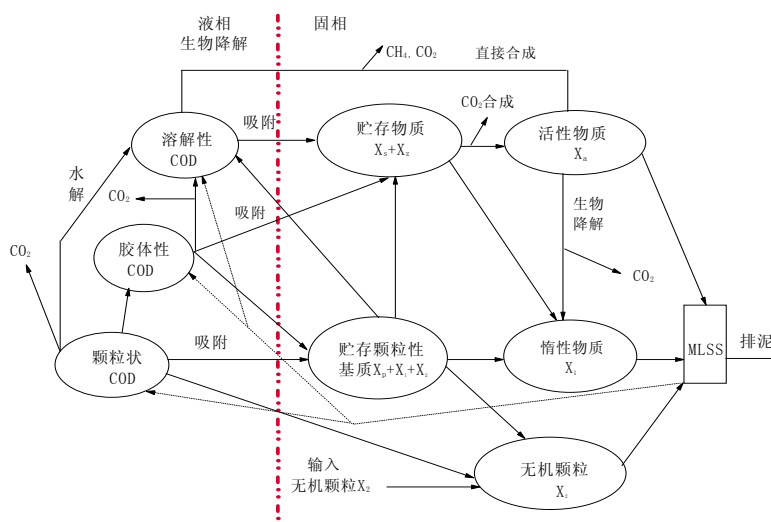


图 5 有机污染物在厌氧反应器中的降解图径

首先，水解反应器中大量微生物将进水中颗粒状颗粒物质和胶体物质迅速截留和吸附，这是一个物理过程的快速反应。一般只要几秒钟到几十秒即可完成。因此，反应是迅速的。截留下来的物质吸附在水解酸化污泥的表面，慢慢地被分解代谢，其在系统内的污泥停留时间要大于水力停留时间。在大量水解酸化细菌的作用下，大分子、难于生物降解物质转化为易于生物降解的小分子物质后，重新释放到液体中。在较高的水力负荷下随水流出系统。由于水解和产酸菌世代期较短，往往以分钟和小时计，因此，这一降解过程也是迅速的。在这一过程中溶解性 BOD、COD 的去除率虽然从表面上讲只有 10%左右，但是由于颗粒状有机物发生水解增加了系统中溶解性有机物的浓度，因此，溶解性 BOD、COD 去除率远大于 10%。但是由于酸化过程的控制不能严格划分，在污泥中可能仍有少量甲烷菌的存在，可能产生少量的甲烷，但甲烷在水中的溶解度也相当可观，故以气体形成释放的甲烷量很少。可以看出，水解反应器集沉淀、吸附、网捕和生物絮凝等物理化学过程，与水解、酸化和甲烷化过程等生物降解功能于一体。

6.2 水解酸化法的适用性

水解酸化法用于污水处理预处理，起到拦截悬浮物、降解有机物、提高污水可生化性等作用。原水中悬浮物浓度较高或可生化性差时，可将其作为预处理方式，以降低后续处理的负荷和难度，一般情况下需连接后续处理系统。

水解酸化法广泛适用于多种污水处理，包括城市污水，制药废水，造纸制浆废水，针织、涤纶、亚麻等印染废水，酒精、饮料、乳制品、制糖、啤酒、淀粉加工、蔬菜加工、肉类加工、豆制品等食品废水，聚醚类、聚苯烯类、醇类、炼油等化工废水以及屠宰、医院、脱硫

等其他废水。

6.3 水量和水质

对于工业废水处理，大多数企业都是根据市场的需求决定生产量，废水波动性较大，因此应根据实际调查和测定的排放量水质进行设计。

现有企业的新建和改扩建废水处理工程，要根据实际生产中水质水量的排放规律来确定工程设计水量、水质和变化系数；新建企业的废水处理工程，应根据企业的生产工艺、产品产量及环保部门出示的环境影响评价报告书，并应对同行业进行市场调研分析等予以确定，或参考同类产品生产企业废水处理的相关数据确定。由于企业所处地域、水资源条件等外界因素不同，废水水量会有较大变化，水解酸化法应按最高日平均时污水量设计，水解反应器前、后的水泵、管道等输水设施应按最高日最高时污水量设计。设计出水应根据出水排放地点的不同，满足相应的排放标准。

工业园区合建的处理设施的设计水质水量，要考虑所需处理的企业废水的排放规律以及整体规划与中近期规划等因素，确定分期工程的设计水量、水质。

根据各类型废水处理工程经验水解反应器对 pH 变化的适应性较强废水的 pH 在 4~9 之间，水解反应器均能正常运行。但当 pH 小于 4 或大于 9 时，水解反应器的出水效果变差，且影响到后续工序的处理，导致系统出水往往不能稳定达标。

水解酸化法一般用于原水中悬浮物浓度较高或可生化性差时，将其作为预处理工艺降低后续处理的负荷和难度。若进水可生化性较好，且 COD 浓度大于 1500mg/L，水解酸化法反应器内易进入厌氧产甲烷阶段，影响工艺运行，应选择其他厌氧反应器，据此规定水解反应器进水 COD 浓度宜小于 1500mg/L。对可生化性较差的污水，COD 浓度对水解反应器影响不大，利用水解反应器可提高污水可生化性。

6.4 污染物去除率

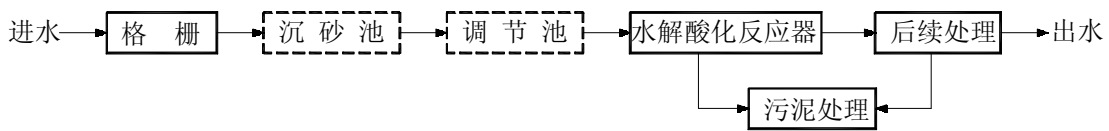
根据水解反应器在不同行业污水处理中的实际应用效果，从污水中悬浮性有机物（COD）比例和污水的可生化性出发，对水解酸化法污染物去除效率进行了归纳总结。

首先，水解酸化法的主要作用就是截留悬浮性有机物，并将其水解为溶解性有机物。因此，悬浮性有机物浓度越高，水解酸化法去除率越高。其次，水解酸化法同其他厌氧好氧工艺一样，污水可生化性越好，有机物去除率越高，可生化性越差，有机物去除率越底。此外，水解酸化过程可将难生物降解的大分子物质转化为易生物降解的小分子物质，因此，在生化性一般或较差时，COD、BOD 去除率较低。

6.5 水解酸化法污水处理工艺流程

水解酸化法污水处理工艺流程见图 6，水解酸化法污水处理工程主要由预处理、水解反应器、后续处理、污泥储存及处理组成。后续处理一般指好氧处理，此部分不作为本规范的主要内容。

污水经提升通过预处理系统，一般包括粗、细格栅、沉砂池等，主要去除大颗粒悬浮物、砂砾等，预处理出水进入水解反应器，去除悬浮物、提高污水可生化性，经水解反应器处理后的出水进入后续处理构筑物。后继处理可以采用多种形式的处理方式，如传统活性污泥工艺，氧化沟和 SBR 等方式。经曝气池处理后的水进入二沉池，二沉池的出水即可排放。



图例： 推荐工艺单元 可选工艺单元

图 6 水解反应器污水处理工艺流程

6.6 预处理

6.6.1 格栅

废水中可能含有纤维、纸张、塑料制品等大小不一的固体杂物，为防止水泵、处理构筑物的机械设备以及管道被磨损或堵塞，保证后续处理构筑物和设备的正常运行，应设置格栅进行预处理。由于工业废水中往往包含有细小固体杂质，如碎布、果壳、禽羽等等，一般格栅不能截除，如不去除会给后续处理构筑物和设备带来影响。因此，往往采用细格筛作补充处理。

6.6.2 沉砂池

某些工业废水，如以薯干为原料的酿酒废水和禽类加工废水、畜禽粪便废水等，常含有砂砾等无机颗粒，为有效防止无机固体在反应器内积累，应设置沉砂池进行预处理。考虑到水中溶解氧的存在对水解酸化菌有毒害作用，一般不宜采用曝气沉砂池作为水解酸化预处理装置。

6.6.3 调节池

工业废水一般均间歇排放，水质水量波动较大，而厌氧反应对水质、水量较大的冲击负荷比较敏感，所以应设置调节池以稳定水质水量，保证系统的处理负荷在平稳的范围内波动。调节容量应根据废水流量变化曲线确定；没有流量变化曲线时，调节池的容量应满足生产排水周期中水质水量均化的要求，停留时间宜为 6h~12h；如为间歇运行，调节池容量宜按一至两个周期设置。

调节池除均质和均量的作用外，一般还可考虑兼有混合、加药和中和等功能。考虑到废水可能会发生沉淀现象，也为了更好的混合水质，要求调节池设置搅拌设施；根据颗粒化和 pH 调节的要求，当废水碱度和营养盐（N、P）等不够需要补充时，可采用计量泵自动投加酸、碱和营养盐药剂，通过调节池或机械搅拌中和。

6.6.4 pH 值调节

pH 值是废水生物处理最重要的影响因素之一。通常水解酸化菌适宜的生长 pH 范围为 4.0~9.0，这一范围是指反应器内反应区的 pH 值。为了保持水解反应器中 pH 值稳定在适宜的范围内，在实际运行中，主要是通过向进水中加入碱性或酸性物质。经常投加的碱性物质主要有 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NaOH 等，酸性物质主要有盐酸等。石灰是一种成本较低的碱性物质，但因为难以去除沉淀的碳酸钙，使得碳酸钙逐渐占据反应器的有效体积，对反应器运行有潜在危害，因此石灰是一种容易产生问题的碱度来源，应该核实利弊后再行采用。

中和药剂要有一定量储存和相应的的储存设备，在投加现场要设药剂溶解，调配、定量投加设备，视 pH 值调节情况，必要时设二次调节。

6.7 升流式水解反应器

6.7.1 反应器容积

（1）水力负荷/水力停留时间法

水解反应器容积一般采用水力负荷或水力停留时间法，按公式（1）计算：

$$V = Q \times HRT \quad (1)$$

式中：

V ——水解反应器有效容积， m^3 ；

Q ——设计流量， m^3/d ；

HRT ——水力停留时间，h。

水解酸化法的停留时间应通过试验或参照类似工程确定,在缺少相关资料无法计算时可参考规范正文中表 2。

(2) 动力学法

水解是水解酸化过程的限制性阶段,颗粒性有机物的水解反应是颗粒性有机物浓度的一级反应,对于连续式无污泥回流的完全混合系统,所需的反应器容积 V 为:

$$V = Q (S_{p0} - S_p) / (K_h S_p) \quad (2)$$

式中:

Q ——进水流量, m^3/h ;

S_{p0} ——进水颗粒性有机物浓度, mg/L ;

S_p ——出水颗粒性有机物浓度, mg/L ;

K_h ——水解速率常数,通过试验确定,对生活污水一般为 $0.1 \sim 0.2 h^{-1}$ 。

(3) 有机负荷法

反应器的有效容积可根据处理污水的水量、浓度及容积负荷确定。

$$V = QS / q_v \quad V = QS / q \quad (3)$$

式中:

V ——有效容积, m^3 ;

Q ——进水流量, m^3/d ;

S ——进水 COD 浓度, kg/m^3 ;

q_v ——容积负荷,要试验确定,或参照同类污水经验值,一般可采用 $1 \sim 3 kg/(m^3 \cdot d)$ 。

考虑到目前水解酸化法应用污水的类型较多,水质特征相差大,动力学法中的动力学常数 K_h 以及有机负荷法中的容积负荷 q_v 等研究和工程参考较少,各行业动力学参数变化大,因此在规范中设计推荐较广泛的水力负荷/水力停留时间法。

6.7.2 布水装置

布水装置的合理设计对水解反应器的良好运转是至关重要的,进水装置兼有配水和水力搅拌的功能,为了保证这两个功能的实现,设计应满足如下原则:

- a、确保各单位面积的进水量基本相同,以防止短路或表面负荷不均匀等现象发生;
- b、尽可能满足水力搅拌需要,保证进水有机物与污泥迅速混合;
- c、易观察到进水管的堵塞;

d、当发现堵塞后，易被清除。

目前布水装置的形式一般可以采用一管多孔式布水，一管一孔式布水或枝状布水方式。

(1) 一管多孔式布水时几个进水孔由一个进水管负担，孔口流速不小于 2m/s ，配水管直径不小于 50cm ，可采用脉冲间歇进水；采用一管多孔布水管道，布水管道尾端最好兼做放空和排泥管。需考虑反冲洗装置，采用停水分池分段反冲，用液体反冲时，压力为 $1.0\sim 2.0\text{kg/cm}^2$ ，流量为正常水量的 $3\sim 5$ 倍。用气体反冲压力大于 1.0kg/cm^2 ，气水比 $5:1\sim 10:1$ 。

(2) 一管一孔式布水宜采用布水器布水，从布水器到布水口应尽可能少的采用弯头等非直管，废水通过布水器进入池内时在管道垂直段流速（或顶部）应低于 $0.2\sim 0.3\text{m/s}$ ，管道垂直段上部管径应大于下部。反应器底部采用较小直径的管道产生高的流速，从而产生较强的扰动使进水与污泥之间亲密接触。

(3) 枝状布水时支管出水口向下距池底约 200mm ，位于所服务面积的中心，出水管孔最小孔径不宜小于 15mm ，一般在 $15\sim 25\text{mm}$ 之间，出水孔处需设 45° 导流板使出水散布池底，出水孔正对池底。

6.7.3 出水收集装置

出水收集装置应设置在水解反应器的顶部，尽可能保证均匀地收集处理过的废水。水解反应器的出水堰一般与传统沉淀池的出水装置相同，即在水平汇水槽内一定距离间隔设三角堰。为保证出水均匀，大部分的水解反应器宜采用多槽式出水方式，每个槽两侧设有三角堰，设计时要考虑三角堰可以调整高度，堰上水头不小于 25mm 。

当处理的废水中含有蛋白质、脂肪或大量悬浮固体时，出水一般也夹带有大量悬浮固体或漂浮污泥，为了减少出水悬浮固体量，在出水槽前设置挡板，这样可减少出水中悬浮固体数量，有利于提高出水水质。但是设有出水挡板容易形成污渣层，此时可采用浮沫撇除装置，如刮渣机等，因此是否设挡板需根据处理废水的实际情况确定。

6.7.4 排泥装置

水解反应器内保持足够的污泥量，是保证反应器高效运行的基础。但经过较长时间的运行后，由于微生物自身增殖，不可生物降解的有机物及无机固体的积累，不利于水解酸化的正常运行，同时污泥量过大时，会因污泥沉淀使有效容积缩小而降低处理效率，甚至会因堵塞而影响正常运行，或使出水中夹带大量污泥，影响出水水质，为了保持水解酸化微生物的

活性，需要排除剩余污泥，控制泥龄，使微生物浓度维持在一个合适的水平，因此必须定期对水解反应器进行适量的排泥。

剩余污泥排放量可参考式（4）计算，实际运行中应根据污泥浓度变化确定。

$$\Delta X = \Delta X_1 + \Delta X_2 - \Delta X_3 \quad (4)$$

式中：

ΔX —排放的剩余污泥量，Kg/d；

ΔX_1 —进出水颗粒有机物的减少量，Kg/d；

ΔX_2 —微生物净增长量，Kg/d；

ΔX_3 —水解的有机物量，Kg/d。

考虑到进出水的颗粒性有机物浓度的差值即为悬浮物浓度的去除量，即 $\Delta X_1 = Q \times SS \times f$ ； ΔX_3 简化为 $\Delta X_1 \times f_a$ ；在不考虑水解微生物增殖的情况下，公式（4）变为：

$$\Delta X = Q \times SS \times f \times (1 - f_a) / 1000 \quad (5)$$

式中：

ΔX ——污泥产生量，kg；

Q —进水流量，m³/d；

SS ——固体悬浮物浓度，mg/L；

f ——污泥去除率，城市污水一般取 70%，工业废水一般取 40%~70%；

f_a ——污泥水解率，一般取 30%。

6.8 复合式水解反应器

复合式水解反应器是升流式水解反应器的升级版，在升流式水解反应器中又加入填料，以提高污水处理效果。

6.9 完全混合式水解反应器

由于水解反应器污泥浓度 X 与水力停留时间 HRT 乘积为与污泥龄有关的常数，污泥有效停留时间 T ，即：

$$X \bullet HRT = T \quad (6)$$

理论上污泥浓度 X 越高，则水力停留时间 HRT 越短，因此在反应器设计时引入污泥有效停留时间 T 。这与调研的案例基本吻合，相同行业污水，采用升流式水解反应器停留时间较短，而采用完全混合式水解反应器由于污泥浓度较低，相应的水力停留时间较长。通过对水解反应器 T 值的规定，依据上述公式可推导完全混合式水解反应器的水力停留时间。

因此，完全混合式水解反应器设计容积计算按规范中公式（1）。完全混合式水解反应器

的 HRT 需依据规范中公式 3 来确定，不能简单套用规范中表 2 的设计参数。

完全混合式反应器还包括后续沉淀池，设计时应参考相应设计规范。

此外，采用其他厌氧反应器型式实现水解酸化的反应器，如厌氧折流板反应器、厌氧接触反应器等未在标准正文中规定，此类反应器水力停留时间可参考上述说明。反应器结构型式可按厌氧折流板反应器、厌氧接触反应器设计，本标准不作重复规定。

6.10 后续处理

后续处理不是本规范的重点内容。水解反应器后续处理一般指好氧处理工艺，如活性污泥法、氧化沟、SBR 等，后续处理应考虑水解反应器对 SS 和有机物的去除率以及 BOD₅/COD_{Cr} 比值的变化。

6.11 剩余污泥及处理

水解反应器排放的一般为絮状污泥，因此可直接将污泥排至厂区的集泥池，和好氧池剩余污泥混合后一同脱水处理，一般升流式水解反应器排泥浓度在 15~30mg/L，含水率约 98.5%。浓缩脱水机选型时可参考执行。

污泥脱水后应运送到当地政府指定的处理场所进行无害化集中处置。污泥处理和处置应符合 GB 50014 的有关规定，经处理后的污泥应符合 CJ 3025 的有关规定。

6.12 检测与控制

为提高水解反应器的运行可靠性，必须设置各种类型的计量设备和仪表。对水解反应器实行监控的目的主要有两个：一是了解进出水的情况，以便观测出水是否满足工艺设计条件；二是为了控制各工艺的运行，判断工艺运行是否正常，以便及时调整运行条件。

水解酸化法污水处理工程应建立完善的检测控制系统，一般检测系统主要包含在线监测、现场监测和实验室检测等组成。为保证设施正常运行和处理效果，及时发现异常现象，应按照污水处理系统运行操作规程规定的检测项目、检测频率和取样点等进行操作和管理。检测项目一般包括温度、pH、溶解氧（DO）、悬浮物（SS）、污泥浓度总 COD、溶解性 COD、污泥浓度等。

6.13 运行与维护

6.13.1 运行控制

1、接种污泥

水解反应器启动可采用自然培养和二沉池脱水活性污泥接种,宜选用处理同类型工业废水的接种污泥以及采用厌氧消化池污泥,其整个池容的污泥平均浓度达到 5-10g/L。采用接种污泥的启动方法是当原水的 SS 浓度低于 100mg/L 以下,污水中菌种较少时使用。若污水生化性差,污泥增长缓慢,此时不接种污泥直接启动水解反应器,启动周期将达 3-6 个月,且出水水质很难在短时间内达到要求。若原水悬浮物 SS 浓度高于 100mg/L,可采用不接种污泥的方法启动。

2、水解反应器的启动

反应器启动时要设法在池底形成污泥层,可以通过污水自然培养,或投入一定量的接种污泥,以加快水解反应器的启动。运行时先开启反应器的进水阀门,注意观察反应器中液位状态,一旦形成污泥层,即可控制进水流量以保证污泥不流失,直至设计水力负荷。启动过程一般需要 2~6 个星期。

3、排泥

水解反应器排泥,特别是城市污水存在水力负荷变化,高水力负荷时排泥优点是易于控制污泥面高度,缺点是高负荷时污泥层膨胀率较大,污泥浓度低,后续污泥浓缩负荷大;低水力负荷排泥浓度高,污泥排放量少,缺点是对污泥层的控制不易掌握,排泥量过大会造成系统中污泥总量减少而影响处理效果。新建污水处理厂,最好采用高水力负荷排泥方式,而在运转一个相当时期后,在对水量变化规律有了一定了解后,再采用低水力负荷排泥方式。

升流式水解反应器污泥层应维持在出水堰下 1.0~1.5m,否则一旦系统完全充满污泥或在较高水力负荷条件下,由于供污泥层膨胀的空间有限,则会因为任何微小的污泥层膨胀,而造成严重的污泥流失的情况。水解反应器排泥可采用污泥界面计控制排泥。

6.13.2 停产控制

工业废水处理因工厂停产检修或因季节性生产等原因,水解反应器可能会有停运情况发生。这种停运对反应器系统的保持并无重大的影响,因为在不进水运行的条件下,水解酸化微生物的活性可以保持较长时间。

在停运期间，应采取相应的防冻措施。停运后的再启动，一般只需将系统的温度增高，再按原来运行中的平均负荷率进水运行，在短时间内就能够达到停运前的效能水平。

7 标准实施的环境效益与经济技术分析

本规范实施后，可以大幅改善原有污水处理工艺的处理能力，提高污水处理效率，改善出水水质，进一步降低水体污染物对环境的污染，为污水处理厂升级改造达标排放提供技术支持。

为了更好地说明水解结合好氧工艺技术经济特点，特将该工艺与传统活性污泥法，进行参数比较。主要运行参数如表 2 所示。

表 2 工艺参数比较

项 目	传统活性污泥法工艺	水解—活性污泥法工艺
进水浓度 (mg/L)	COD=300~450 BOD=150~250 SS=100~200	COD=300~450 BOD=150~250 SS=100~200
出水浓度 (mg/L)	COD=80~100 BOD=20~60 SS=10~20	COD=60~85 BOD=10~25 SS=10~20
初沉池/水解池	HRT=2.0h	HRT=2.5~3.0h
曝气池	HRT=8.0h, 气水比 15:1	HRT=4.0h, 气水比 5:1
二沉池	HRT=2.0h	HRT=2.0h

由上表可见，由于采用水解反应器替代了传统的初沉池，不仅使整个系统水力停留时间（HRT）缩短，曝气池气水比降低，而且出水水质也优于传统工艺，同时使污泥和污水得到一次处理并取消了传统的污泥消化系统，这既降低了总投资及日常运行费用，同时也简化了操作管理。

水解--好氧生物处理工艺基建投资，较传统活性污泥工艺可节约投资约 30%，处理厂占地也可相应减少，电耗和处理成本较传统工艺节约 33%。

8 标准实施建议

本标准为首次制订，由于水解酸化法将随着环保管理要求而不断发展与创新。建议在本标准实施过程中，广泛听取和收集各方面的意见与建议，根据实际应用情况，对本标准进行不断地修订与完善，使其实用性和可操作性与时俱进，不断满足环境管理和环保设施工程建设需要。建议各级环境保护行政主管部门及相关监督管理部门，在环境影响评价、建设项目环境保护管理、排污许可证管理和日常环境监督管理等项工作中积极采用本规范，以加强对环境保护设施的监管。