HJ

中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 1283—2023

污染土壤修复工程技术规范 生物堆

Technical specifications of contaminated soil remediation

—Biopiling

本电子版为正式标准文本，由生态环境部环境标准研究所审校排版。

2023-02-01 发布 2023-05-01 实施

生 态 环 境 部 发 布

目　　次

前　言.....ii
1　适用范围.....1
2　规范性引用文件.....1
3　术语和定义.....1
4　污染物与污染负荷.....2
5　总体要求.....2
6　工艺设计.....3
7　主要工艺设备和材料.....6
8　检测与过程控制.....7
9　主要辅助工程.....8
10　劳动安全与职业卫生.....8
11　施工与调试.....9
12　运行与维护.....9
附录 A（资料性附录）　生物堆堆体系统示意图.....11
附录 B（资料性附录）　堆体底部防渗、渗滤液收集与抽气系统示意图.....12
附录 C（资料性附录）　堆体及设置在堆体内部的土壤气等监测系统示意图.....14
附录 D（资料性附录）　堆体顶部的进气、营养水分调配和覆盖系统示意图.....16

前　　言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》等法律法规，规范污染土壤生物堆修复工程设计、建设及运行管理，制定本标准。

本标准规定了污染土壤生物堆修复工程的设计、施工和运行维护的技术要求。

本标准的附录 A～D 为资料性附录。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部科技与财务司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：北京市生态环境保护科学研究院、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、北京高能时代环境技术股份有限公司、北京建工环境修复股份有限公司。

本标准生态环境部 2023 年 2 月 1 日批准。

本标准自 2023 年 5 月 1 日起实施。

本标准由生态环境部解释。

污染土壤修复工程技术规范　生物堆

1　适用范围

本标准规定了污染土壤生物堆修复工程的污染物与污染负荷、总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、施工与调试、运行与维护等技术要求。

本标准适用于污染土壤生物堆修复工程的设计、建设及运行管理。

2　规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 8978　污水综合排放标准
GB/T 12801　生产过程安全卫生要求总则
GB 14554　恶臭污染物排放标准
GB 16297　大气污染物综合排放标准
GB 18599　一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
GB 19517　国家电气设备安全技术规范
GB/T 20801.1　压力管道规范　工业管道　第 1 部分：总则
GB/T 45001　职业健康安全管理体系　要求及使用指南
GB 50007　建筑地基基础设计规范
GB 50028　城镇燃气设计规范
GB 50055　通用用电设备配电设计规范
GB 50187　工业企业总平面设计规范
GB 50275　风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范
GB 50727　工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范
GB 55009　燃气工程项目规范
GBZ 1　工业企业设计卫生标准
GBZ 2.1　工作场所有害因素职业接触限值　第 1 部分：化学有害因素
HJ 25.5　污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）
HJ 682　建设用地土壤污染风险管控和修复术语
HJ 2042　危险废物处置工程技术导则
JGJ 79　建筑地基处理技术规范
《国家危险废物名录》（生态环境部令 第 15 号）

3　术语和定义

HJ 682 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

污染土壤 contaminated soil

土壤中污染物含量达到对人体健康或生态环境产生的不利影响超过可接受风险水平的土壤。

3.2

生物堆 biopiling

将污染土壤挖出并堆积于建设了渗滤液收集系统的防渗区域，提供适量的水分和养分，并采用强制通风系统补充氧气，利用土壤中好氧微生物的呼吸作用将有机污染物转化为 CO_2 和水，从而去除污染物的技术。

3.3

目标污染物 target contaminant

在地块环境中其数量或浓度已达到对生态系统和人体健康具有实际或潜在不利影响的，需要进行修复的关注污染物。

3.4

土壤气 soil gas

土壤孔隙中的气体和蒸气。

4 污染物与污染负荷

4.1 生物堆技术主要适用于修复土壤中石油烃等可生物降解的有机污染物。

4.2 拟采用生物堆技术修复的污染土壤，预处理后总石油烃（C_6～C_{40}）浓度不宜超过 50000 mg/kg，重金属（铁、铝除外）总量不宜超过 2500 mg/kg。

4.3 目标污染物的生物降解性和污染负荷可通过降解实验测定。

4.4 生物堆修复过程中二次污染主要包括：

a） 废气：主要来源于土壤预处理和修复过程中产生的废气，污染物一般包括土壤中目标污染物及其降解产物、其他挥发性有机物及半挥发性有机物等；

b） 废水：主要来源于预处理工序产生的固体废物清洗废水和生物堆运行过程产生的渗滤液，污染物一般包括土壤中目标污染物及其降解产物、重金属、氨氮和总磷等；

c） 固体废物：主要包括预处理工序产生的砖瓦、石块、木块、铁块等一般固体废物。废气处理工艺产生的饱和活性炭及其他固体废物应依据《国家危险废物名录》和国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法等认定其属性。

5 总体要求

5.1 一般规定

5.1.1 修复工程应因地制宜、科学合理；秉承绿色修复理念，避免能源浪费。

5.1.2 修复工程建设及运行全过程应符合工艺设计与实施方案的要求。

5.1.3 修复后土壤中目标污染物含量应符合修复目标值要求。

5.1.4 修复工程应配套防渗漏、防流失、防扬散以及废水废气收集、处理等二次污染防治设施及措施，防止修复工程对生态环境产生二次污染。二次污染防治设施与主体工程应同时设计、同时施工、同时运行。

5.1.5 修复工程应配备相应的监测设备，对污染物排放和周边环境质量状况进行监测。

5.2 工程构成

5.2.1 生物堆修复工程包括：主体工程、二次污染防治设施、辅助工程和配套设施等。典型生物堆修复系统示意图参见附录 A。

5.2.2 主体工程主要包括：土壤预处理系统、堆体系统等，其中堆体系统主要包括：

a） 堆体底部防渗系统、渗滤液收集系统及抽气系统，示意图参见附录 B；

b） 生物堆堆体及设置在堆体内的土壤气监测系统，示意图参见附录 C；

c） 堆体顶部进气、营养水分调配和覆盖系统，示意图参见附录 D。

5.2.3 二次污染防治设施主要包括：废气处理系统、废水（渗滤液）处理系统、固体废物（危险废物）暂存场所等。

5.2.4 辅助工程主要包括：电气系统、自控系统、给排水系统、暖通系统及通信系统等。

5.2.5 配套设施主要包括：办公区、值班室、厂区围挡、道路等。

5.3 场址选择与总图布置

5.3.1 生物堆修复工程实施前，应按国家相关标准规范要求对目标场址开展调查，确定是否符合工程建设、环境保护及人居安全相关要求，具体调查内容一般包括：

a） 区域气象气候条件，包括气温、降水量、主导风向等；

b） 拟选场址地质和水文地质条件；

c） 拟选场址用途（现状及规划）；

d） 拟选场址周边敏感目标分布状况；

e） 交通条件；

f） 能源供应条件，包括燃气、电力供应等。

5.3.2 场址选择参照 GB 18599 中I类场的选址规定执行，总图布置可参考 GB 50187 的要求实施。宜结合工艺特点和场地现状对主体工程、二次污染防治设施、辅助工程和配套设施进行分区布置，主体工程和辅助工程应衔接便利。

5.3.3 选址应充分考虑污染土壤的运输距离，尽量选择原地异位的处置方式。

5.3.4 应综合考虑厂界内及周边敏感目标的分布，办公区应布置在主导上风向。主体工程应布置在主导下风向且远离居住区等敏感目标，降低施工及运行过程的环境影响。

5.3.5 场地平面布置应遵从降低环境影响、方便施工及运行维护等原则，并按照消防要求预留消防通道和安全保护距离。

6 工艺设计

6.1 一般规定

6.1.1 修复工艺设计应遵循成熟可靠、经济适用、安全节能、操作简便的原则。

6.1.2 修复工艺设计参数及实施方案应根据土壤污染特征、修复工程量、现场实施条件、修复目标值、修复周期、能源供应条件等因素确定，必要时可开展小试或中试并根据其结果确定。

6.2 工艺流程

生物堆技术修复污染土壤的工艺流程如图 1 所示。

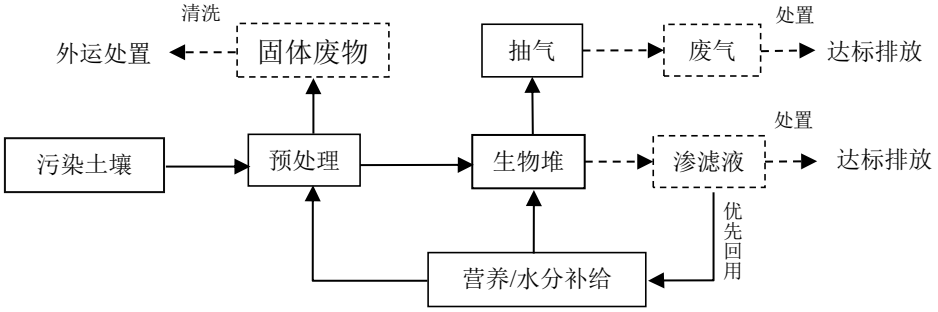

图 1　生物堆修复污染土壤的工艺流程

6.3　工艺设计要求

6.3.1　预处理系统

6.3.1.1　预处理系统包括筛分、破碎与混合调理等预处理设施以及废气收集处理设施。

6.3.1.2　预处理作业区应设置防扬尘与防雨等设施。目标污染物具有异味或挥发特性时，作业区应设置在密闭负压大棚内，并配套相应的废气收集处理设施。

6.3.1.3　可使用筛分设备去除砖瓦、石块、木块、铁块等非土壤物质。

6.3.1.4　可采用破碎设备对大粒径土块进行破碎，常用设备包括锤式破碎机、颚式破碎机、圆锥破碎机、复合破碎机等，破碎后的土块颗粒不宜大于 5 cm。

6.3.1.5　水分、氮磷等营养物质、pH 值调节剂及功能微生物菌剂等调理剂宜以溶液形式通过喷洒方式添加至破碎筛分后的土壤，固体调理剂可通过拌合方式添加。添加后土壤重量含水率宜控制在 10%～20%，微生物总数不宜低于 1000 CFU/g 土壤（干重）。

6.3.1.6　可采用石灰提高土壤 pH 值，采用硫酸铵、硫酸铝、亚硫酸铝降低土壤 pH 值，调理后 pH 值宜控制在 6～9。

6.3.1.7　可通过添加木屑、秸秆、砂土或类似材料增加土壤孔隙度，调理后土壤孔隙度不宜低于 25%。

6.3.1.8　可采用机械设备对土壤进行混合以提高均匀性，常用设备包括卧式搅拌器、立式搅拌机、行星式搅拌器、拌合站等。

6.3.2　防渗及渗滤液收集系统

6.3.2.1　生物堆建设区域宜优先采用铺设防渗膜或地面硬化的方式进行防渗，也可采用夯实建设区域土壤进行防渗。

6.3.2.2　采用防渗膜进行防渗的，应在防渗膜上下各铺设一层非织造土工布保护层，防止防渗膜在施工过程中被刺穿。

6.3.2.3　采用夯实土壤进行防渗的，施工前应通过现场实验确定压实方法、压实设备、压实次数等以确保可达到设计要求。夯实后土壤厚度应大于 0.75 m，渗透系数应低于 1×10^{-5} cm/s。

6.3.2.4　堆体底部宜根据渗滤液产生情况并结合区域降雨量等气象气候条件，设置渗滤液收集管。收集管应布置于生物堆建设区地势最低处，一端安装过滤网后与砂砾石导气层连通，另一端通过阀门与渗滤液储罐连接，定期开启阀门将堆体内的渗滤液导排至储罐，见附录 B 中的图 B.1。

6.3.3　抽气系统

6.3.3.1　抽气系统通常包括砂砾石导气层、抽气管网、抽气设备及其控制系统等。

6.3.3.2　抽气管网由抽气支管、抽气干管及阀门等管道连接件构成。应于堆体底部防渗层上铺设一层厚 20 cm～30 cm 且均匀的砂砾石导气层作为抽气支管的安装层。砂砾石直径宜为 4 mm～6 mm，不均匀系数宜小于 2.5。导气层四周边界与堆体底部四周边界的间距不宜小于 3 m。

6.3.3.3　抽气支管由未割缝的白管和割缝的筛管构成，割缝的筛管应安装在砂砾石导气层内，一端与未割缝的白管连接，另一端用管堵密封，割缝的筛管缝宽宜为 0.5 mm～1.0 mm。抽气支管间距可根据土壤渗透性并结合现场实验确定，也可通过数值模拟确定，一般控制在 2 m～3 m。

6.3.3.4　生物堆通气速率一般控制在每立方污染土每小时通气 0.5 m^3，可根据土壤中污染物浓度、渗透性以及运行过程中堆体内土壤气中氧气含量检测结果等实际情况调整，应确保堆体土壤气中氧气含量不低于 10%。抽气支管直径根据抽气量确定，宜控制在 5 cm～10 cm。抽气支管的布置见附录 B 中的图 B.2、图 B.3。

6.3.3.5　每根抽气支管上均应设置气量调节阀门与流量计，通过法兰等方式与抽气干管连接。抽气干管通过法兰与抽气设备连接，抽气干管上宜设置气量调节阀门与流量自动计量装置。

6.3.3.6　抽气管网连接后应开展气密性测试，确保阀门、仪表与管道连接处以及支管与干管连接处的气密性。

6.3.3.7　堆体内适宜微生物生长的温度范围一般为 20 ℃～40 ℃，堆体温度不能满足微生物生长需求时，可通过抽气系统充入加热空气对堆体进行升温，加热空气的温度范围可通过实验确定。

6.3.4　生物堆堆体

6.3.4.1　单个生物堆堆体尺寸与建设规模应综合考虑总体修复土方量、项目工期、单批次土壤修复周期、可用于建设堆体的厂区面积、共用设施（如道路、电力燃气、抽气与水分营养调理系统等）的一次性投资等因素确定。

6.3.4.2　为保证施工的可行性及通气效率，单个堆体宽度不宜超过 10 m，高度宜控制在 2 m～3 m。堆体边坡坡度宜控制在 1:1～1:1.5 以保证稳定性，具体形状尺寸参见附录 C 中的图 C.1。

6.3.4.3　堆体与抽气系统的砂砾石导气层之间应设置一层土工布，防止土壤颗粒进入导气层堵塞抽气支管。

6.3.4.4　堆体四周应利用自然地形，设置排水沟等导排系统，将降雨等地表径流及时导排后集中收集，经检测合格后外排。如不具备自然导排条件，应设置提升井等导排设施。

6.3.5　土壤气监测系统

6.3.5.1　土壤气监测系统主要监测运行过程中堆体内温度、湿度、氧气、二氧化碳及目标污染物浓度。

6.3.5.2　土壤气监测点应设置在两根抽气支管距离中心线的垂直正上方且抽气过程中堆体内气体流动较差的区域，相邻两个土壤气监测点水平向垂直距离宜为 4 m～6 m，具体布置方式参见附录 C 中的图 C.2。

6.3.5.3　土壤气监测点距离堆体顶部不宜小于 1 m，距离堆体底部不宜小于 0.3 m。应对堆体不同深度的土壤气进行监测，水平方向相邻两个土壤气监测点竖直方向的垂直距离不宜大于 1.2 m。布置方式参见附录 C 中的图 C.3。

6.3.6　进气系统

6.3.6.1　生物堆堆体顶部应设置进气系统，主要由进气管构成。

6.3.6.2　进气管水平间距一般为 2 m～3 m，布置于气体流通薄弱区域，如堆体底部两根抽气支管距离中心线的垂直正上方及堆体角落等，以确保抽气作用下气流能在堆体内均匀分布。进气管插入堆体的深度一般不小于 0.2 m，以能固定进气管为准，布置方式参见附录 D 中的图 D.1、图 D.2。

6.3.6.3　进气管顶部可连接三通等防雨装置，避免雨水直接通过进气管进入堆体，导致局部区域土壤

含水率增加而影响通气效果。进气管与堆体顶部覆盖系统连接处宜采用焊接等方式固定，并确保连接处的气密性，防止连接处形成气流优先通道影响通气效果。

6.3.7 营养水分调配系统

6.3.7.1 营养水分调配系统为循环管路，包括水泵、输送管道、滴灌投加管、调节阀等，具体布置方式参见附录 D 中的图 D.1、图 D.3。

6.3.7.2 营养水分调配可通过添加含氮、磷等物质的营养液及水分实施，常见外源氮源包括尿素（CH_4N_2O）、硝酸钾（KNO_3）等，磷素包括磷酸二氢钾（KH_2PO_4）等，营养元素应浓度适量、添加均匀并满足堆体中微生物生长需求。

6.3.7.3 运行过程中堆体土壤的碳氮磷含量比值宜控制在 100:10:1～100:10:0.5，重量含水率宜控制在 10%～20%。

6.3.7.4 液体功能菌剂也可通过营养水分调配系统添加至堆体内。

6.3.8 覆盖系统

6.3.8.1 堆体顶部进气和营养水分调配系统安装结束后，宜选用柔性防水膜对堆体进行整体覆盖。覆盖前应平整堆顶，剔除尖锐物，防止覆盖膜被刺穿。

6.3.8.2 覆盖膜应沿堆体侧面一直铺设至堆体底部，以实现对堆体的完全包裹覆盖。堆体底部四周应设置沙袋等锚固设施对覆盖膜进行固定。

6.3.9 二次污染防治措施

6.3.9.1 预处理及修复过程中产生的废气，应根据目标污染物种类及浓度，选择活性炭吸附等适宜技术达标处置。如设置多套抽气系统，各系统抽出废气可收集后合并处置。

6.3.9.2 运行过程中产生的渗滤液等废水，集中收集后宜优先通过营养水分调配系统进行回灌利用。确需外排的，应设置废水处理系统，根据废水中目标污染物种类和浓度选择适当处理工艺进行达标处置。

6.3.9.3 运行过程中，应对各排放口和厂界周界进行定期监测，监测对象包括大气与废水，监测方法和排放指标应满足 GB 16297、GB 14554 与 GB 8978 的要求，有地方标准的，还应满足地方标准的相关要求。

6.3.9.4 预处理产生的砖瓦、石块、木块、铁块等固体废物应进行清洗，清洗后可按建筑垃圾处理处置，清洗过程产生的废水应进行收集处理。

6.3.9.5 废气处理过程产生的废弃饱和活性炭及其他固体废物经鉴别属于危险废物的，其收集和处理处置应满足 HJ 2042 及相关法律法规的要求。

6.3.9.6 污染土壤在修复区域内的暂存和转运过程均应采取防止流失、遗洒或扬散的污染防治措施。

7 主要工艺设备和材料

7.1 生物堆修复工程涉及的主要设备包括水储罐、渗滤液储罐、pH 调节药剂储罐、营养液储罐、活性炭罐、水泵、抽气泵与变频控制系统等；主要材料包括防渗膜、覆盖膜、管材等。

7.2 储罐材质应选择耐腐蚀、抗压效果好的惰性材料，容量及数量设置应充分考虑工程规模。

7.3 抽气泵等抽气设备应高效节能、运行安全、使用方便、易维护管理，其标况抽气量应不低于设计抽气量的 130%，标况下的抽气负压应根据生物堆土壤渗透性选择，一般为-30 kPa～-50 kPa。

7.4 每个生物堆堆体宜配置一套抽气设备，有条件的项目可配置备用抽气设备。

7.5 当采用铺设防渗膜方式进行防渗时，防渗膜宜选用厚度不小于 1.5 mm 的高密度聚乙烯（HDPE）膜，覆盖膜宜选用厚度不小于 0.3 mm 的线性低密度聚乙烯膜（LLDPE），也可采用防渗性能和强度相

当的其他材料。

7.6　所用管道应采用耐腐蚀的惰性材料，如聚氯乙烯（PVC）、纤维增强复合材料（FRP）、不锈钢等。抽气泵、水泵、阀门等配件应满足相应防腐防爆要求。

8　检测与过程控制

8.1　目标污染物检测

8.1.1　运行过程中，应定期对堆体开展土壤取样，监测目标污染物浓度、土壤含水率、微生物数量与活性等参数。

8.1.2　土壤取样点应设置在生物堆体底部、垂向中间以及相邻抽气支管距离中心等修复薄弱区域。

8.1.3　堆体建成后运行启动前，应开展一次土壤取样检测，检测值作为修复初始浓度，运行过程中土壤取样频率可根据土壤气监测过程中氧气及挥发性组分等指标的浓度变化规律确定；如开展了小试或中试，也可参考实验过程污染物降解速率确定，一般不少于 1 次/季度。

8.1.4　土壤取样可采用手工土钻完成，每次对堆体开展取样后，如对堆体覆盖膜造成了破坏，应及时修补，防止雨水渗漏至堆体内部。

8.2　工艺参数检测

8.2.1　运行过程中，应利用设置的土壤气监测系统，采用便携设备定期对堆体内湿度、温度、氧气、二氧化碳及挥发性组分含量进行检测，确保堆体内土壤气中氧气体积含量不低于 10%。监测频率一般不低于 2 次/月，运行初期可适当增加监测频率，运行过程中可根据监测数据变化规律实时调整。

8.2.2　目标污染物具有挥发特性时，可利用自动监测设备对进入处理设施前废气中的挥发性有机物浓度进行监测，结合对应时段的抽气流量记录，判断污染物的去除速率和效果。

8.2.3　堆体规模较大、抽气支管较多时，可通过关闭不同区域抽气支管上的流量调节阀对堆体不同区域污染物的去除效果进行监测。

8.2.4　应根据检测结果及时调整优化抽气工况，保证生物堆高效稳定运行。

8.3　过程控制

8.3.1　控制系统可采用中控室集中控制系统或分站就地控制系统。

8.3.2　修复工程所有必备的环节宜采用自动控制系统，如抽气系统、营养及水分调配系统、废气处理系统等。

8.3.3　自动控制系统应能够对各生产工艺参数如温度、压力、流量、液位等进行监测和数据处理。

8.3.4　自动控制系统应设配电柜和控制柜，控制柜具备自动和手动互切换双回路控制系统，并具有自动保护和声光报警功能。

8.3.5　可设计变频控制系统对抽气量进行精确调节，实现节能降耗。变频控制系统应至少预留一条控制通道。

8.3.6　修复工程可根据需求，在水储罐、营养液储罐和渗滤液储罐内设置液位自动控制器，并有高/低位接点输出，可自动及手动控制泵的启停。

8.3.7　采用加热系统调控堆体温度的，宜对堆体温度进行自动监测，以实现加热系统的自动控制。

8.3.8　自动控制室、计算机房等机械通风不能满足温度、湿度要求的场所，应设置空调等温湿度调节装置。

9 主要辅助工程

9.1 电气系统设计总体应满足 GB 50055 的要求。通风系统、废气处理系统的主要用电负荷为 AC380/220，负荷等级为二级，应有备用电源。

9.2 生活与办公区排水和污水处理设施应根据当地排水管网情况和污水排放要求设置，应满足堆体运行期间工艺和管理人员日常生活的用水及排水需求。

10 劳动安全与职业卫生

10.1 一般规定

10.1.1 工程在设计、建设、运行过程中，应高度重视劳动安全和职业卫生，采取相应措施，消除事故隐患，防止事故发生。

10.1.2 生物堆修复工程的劳动安全和职业卫生应符合 GB/T 12801 的有关规定。

10.1.3 工程业主或施工单位应对劳动者进行劳动安全与职业卫生培训。

10.2 劳动安全

10.2.1 注意场地用电安全，电气装置应满足 GB 19517 的要求，电气设备应由专业电气人员操作。

10.2.2 工程的受压容器应按压力管道设计的有关规定进行设计和检验。压力管道、输送泵的设计安装需满足 GB/T 20801.1 的要求。

10.2.3 项目现场应设置明显标志，严禁明火。

10.2.4 如使用燃气设备进行堆体加温，应远离易燃易爆危险化学品存放地，安全距离应符合 GB 55009 等国家或相关行业标准规定。燃气管道设计及安装应符合 GB 50028、GB 55009 的要求。燃气的运输、卸载、储存及气化站内的操作等工作必须由专业人员执行。操作人员必须穿戴防静电防护服。

10.2.5 工程中各生产构筑物应设置便于行走的操作平台、走道、安全护栏和扶手，栏杆高度和强度应符合国家有关劳动安全卫生规定，主要通道应设置应急灯。

10.2.6 工程中在设备安装和检修时应有相应的防爆炸、烫伤及触电等安全保护措施。

10.3 职业卫生

10.3.1 工程职业卫生体系应符合 GB/T 45001 的规定，职业卫生设计应符合 GBZ 1 的规定，工作场所有害物质浓度应符合 GBZ 2.1 等标准的规定。

10.3.2 工程中有可能发生急性职业损伤的有毒、有害工作场所，应当设置报警装置，配备现场急救用品、冲洗设备、应急撤离通道和必要的泄险区。

10.3.3 现场人员应根据岗位的风险程度分级配备必要的劳动保护及个人防护装备，如防溅安全护目镜、全面罩、呼吸器、手套、防护服等防护用品，使用过的防护用品应收集处置。

10.3.4 应制订切实可行的人员伤害急救处置预案，并进行必要的训练和演习。

10.3.5 工作场所存在可能导致职业病的危害因素时，应当按照国家职业卫生管理及职业病防治相关法律法规，及时向所在地相关主管部门如实申报危害项目并接受其监督。

11 施工与调试

11.1 一般规定

11.1.1 建构筑物基础设计与建设应按照 GB 50007 及 JGJ 79 的有关规定执行。

11.1.2 工程建设中使用的材料与配件的设计选型均应符合国家及行业技术规范的相关要求。

11.1.3 修复工程的设计、施工、验收、运行应遵守本标准及国家有关法律法规、标准和行业规范的规定。

11.2 施工

11.2.1 生物堆修复工程的施工应符合国家和行业相应专项工程施工规范、施工程序及管理文件的要求。施工中采用的工程技术文件、承包合同文件对施工质量验收的要求不得低于国家相应专项工程施工规范的规定。

11.2.2 施工中采用的设备、材料、器件等应符合国家相关标准，有产品的合格证书、产品性能检测报告。主要材料应有进场复验报告。

11.2.3 施工应按设计文件、施工图纸和设备安装使用说明书的规定进行，工程变更应取得设计单位确认并出具设计变更文件后再进行施工。

11.2.4 需要采用防腐蚀材质的设备、管理和管件等的施工和验收应符合 GB 50727 的规定。抽气管道、抽气泵、泵安装工程的施工和验收应符合 GB 50275 的规定。

11.2.5 施工单位除应遵守相关的施工技术规范外，还应遵守国家有关部门颁布的质量、劳动安全、生态环境及卫生消防等强制性标准的要求。

11.2.6 施工过程中，应避免施工机械在堆体上行走，造成堆体被压实。

11.3 调试

11.3.1 工程安装、施工完成后应首先对相关仪器仪表进行校验，然后根据工艺流程对每个堆体进行分项调试和整体调试。

11.3.2 整体调试要求：各系统运转正常，技术指标达到设计要求，抽气管路系统气密性良好。

11.3.3 堆体抽气系统应采用逐步增大抽气流量的方式进行调试，确保堆体内气路均匀，避免形成优先通道。可通过设置的土壤气监测系统，定期监测堆体内氧气、二氧化碳含量与分布变化，以确认堆体内气体流场分布，必要时及时调整调试方案。

11.3.4 动力、控制及自动监测等系统的调试，可参照国家相关技术规范执行。

12 运行与维护

12.1 运行

12.1.1 应建立严格的交接班制度。交接班制度内容应包括生产设备、工具及生产辅助材料的交接，运行记录的交接等。

12.1.2 应对污染土壤、修复后土壤、设备运行状况、设备维护状况等建立严格的登记制度。登记内容应包括设备运行参数、化验分析及自动监测数据记录等。

12.1.3 工程运行效果未达到设计要求时，应及时排查问题并采取相应措施，必要时可调整设计方案。

12.2 维护

12.2.1 应制定治理修复工程设备的定期维护计划。

12.2.2 维护人员应根据技术要求与规范对工程设备开展定期检查，维护和更换必要的部件和材料，做好相关维护保养记录。

12.3 修复效果评估

12.3.1 经综合分析运行过程中各介质定期监测数据后，若判断修复达到目标值，可开展修复效果评估。修复效果评估宜在堆体拆除前开展，总体应满足 HJ 25.5 的技术要求。

12.3.2 效果评估过程中，土壤采样点数量和布置位置，应结合运行过程堆体不同区域抽气系统废气中污染物浓度变化、堆体土壤气中各指标含量变化及土壤监测结果确定，应重点设置在生物堆体底部、中间以及抽气支管之间位置等修复薄弱区域。

12.4 应急处理措施

12.4.1 生物堆工程可能发生的事故包括运行事故、安全事故和环境污染事故等。应在工程实施前判断可能发生事故的风险点，制定包含应急处理措施的应急预案，发生事故时立即采取相应措施，尽可能降低事故影响。

12.4.2 应急处理措施内容至少应包括重要设备或系统故障应急处理措施、事故停机应急处理措施、突发停水停电应急处理措施、火灾事故应急处理措施、触电事故应急处理措施、人员伤亡应急救援措施、排放超标或污染扩散应急处理措施等。

12.4.3 事故处理时应做好记录、查找问题并及时解决，防止类似情况重复发生。

附　录　A
（资料性附录）
生物堆堆体系统示意图

图 A.1 给出了生物堆堆体系统示意图。

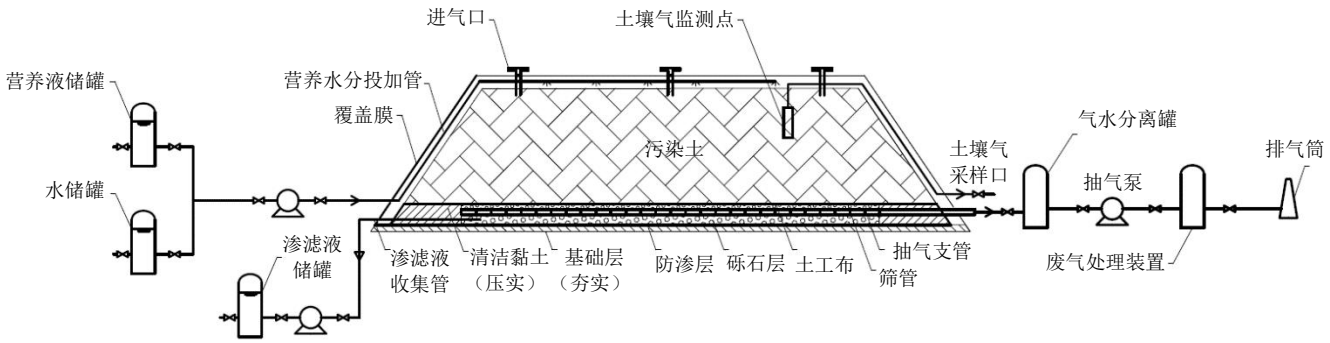

图 A.1　生物堆堆体系统示意图

附　录　B
（资料性附录）
堆体底部防渗、渗滤液收集与抽气系统示意图

图 B.1、图 B.2、图 B.3 分别给出了堆体底部防渗与渗滤液收集系统示意图、堆体底部抽气管平面布置示意图、堆体底部抽气管剖面布置示意图。

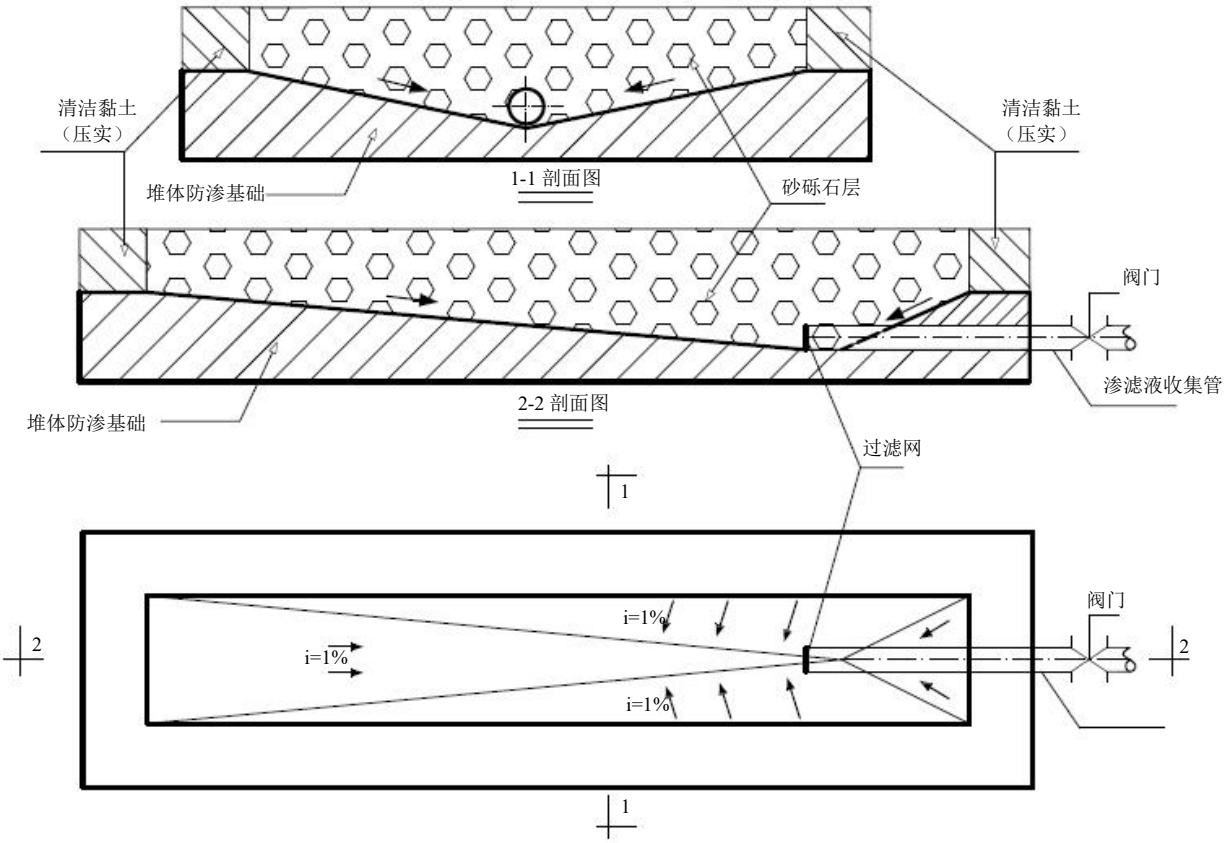

图 B.1　堆体底部防渗与渗滤液收集系统示意图

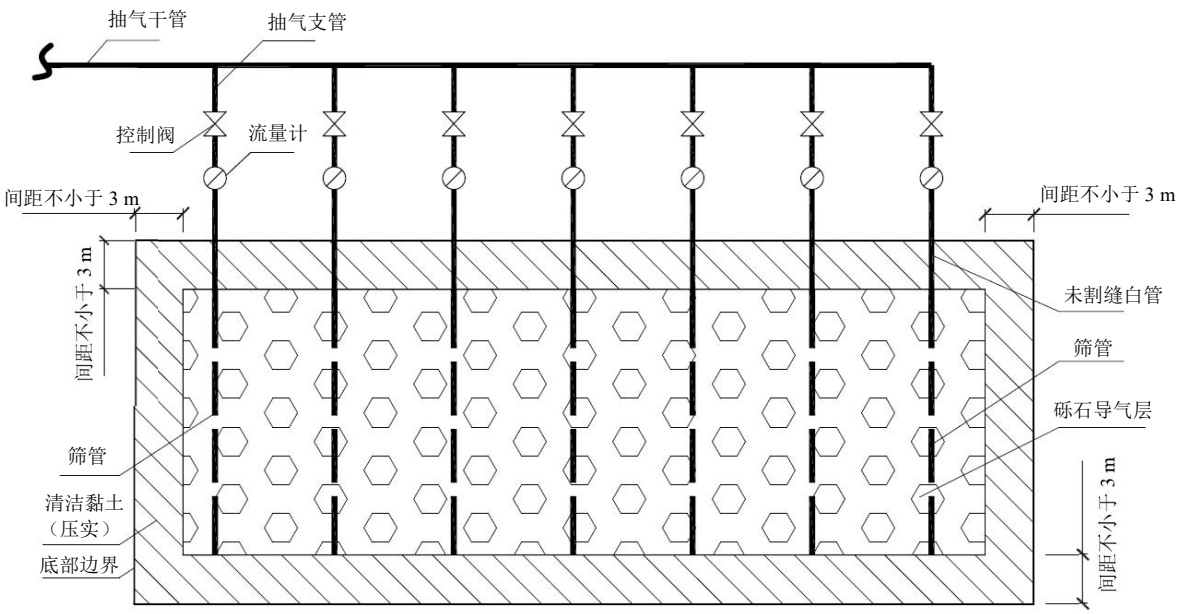

图 B.2　堆体底部抽气管平面布置示意图

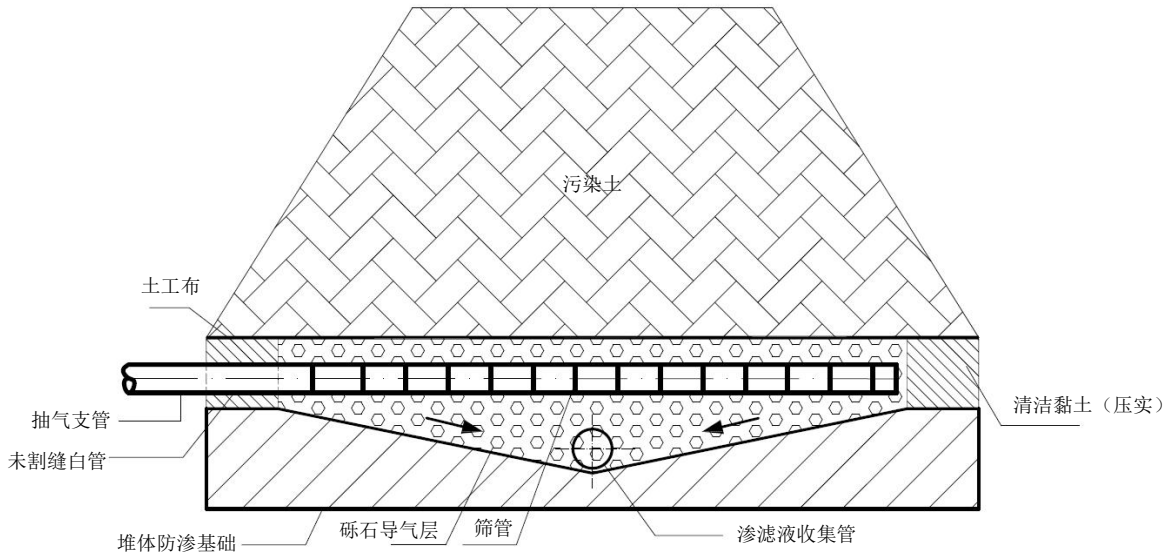

图 B.3　堆体底部抽气管剖面布置示意图

附　录　C
（资料性附录）
堆体及设置在堆体内部的土壤气等监测系统示意图

图 C.1、图 C.2 和图 C.3 分别给出了堆体剖面示意图、土壤气监测点平面布置示意图和土壤气监测点垂向布置示意图。

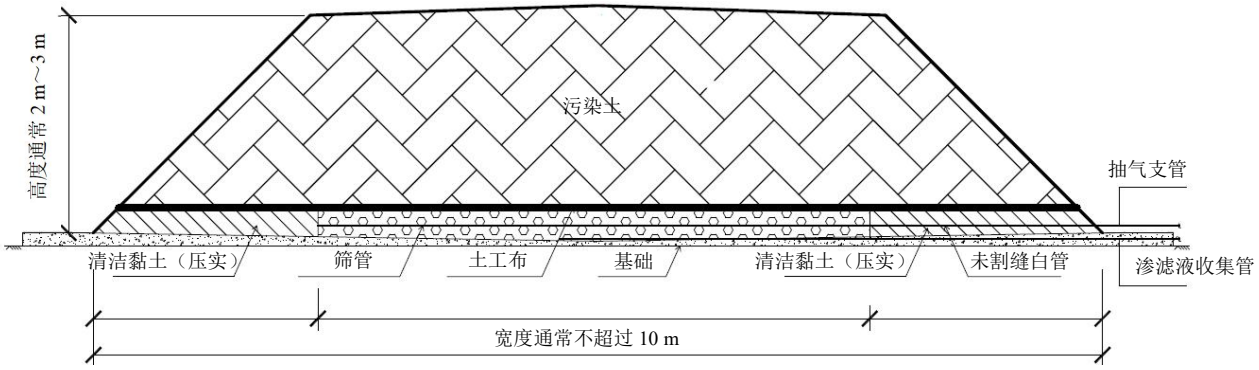

图 C.1　堆体剖面示意图

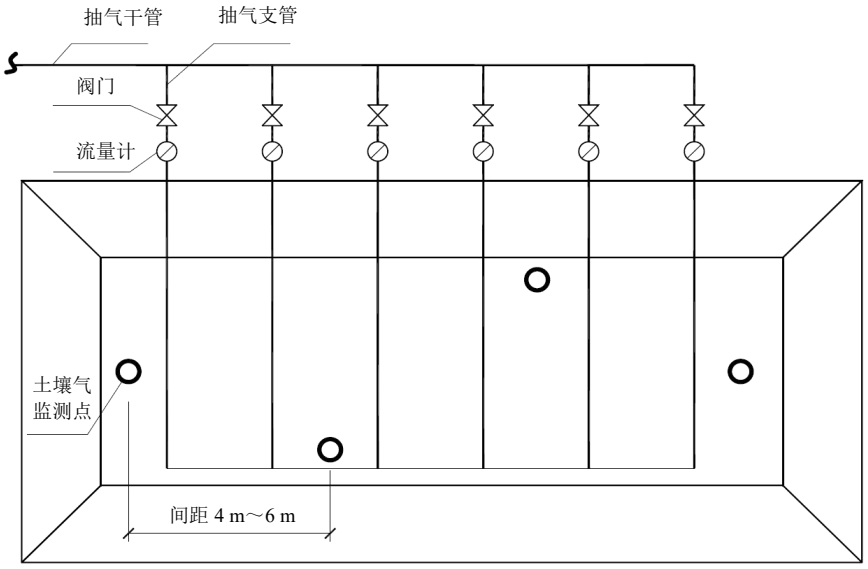

图 C.2　土壤气监测点平面布置示意图

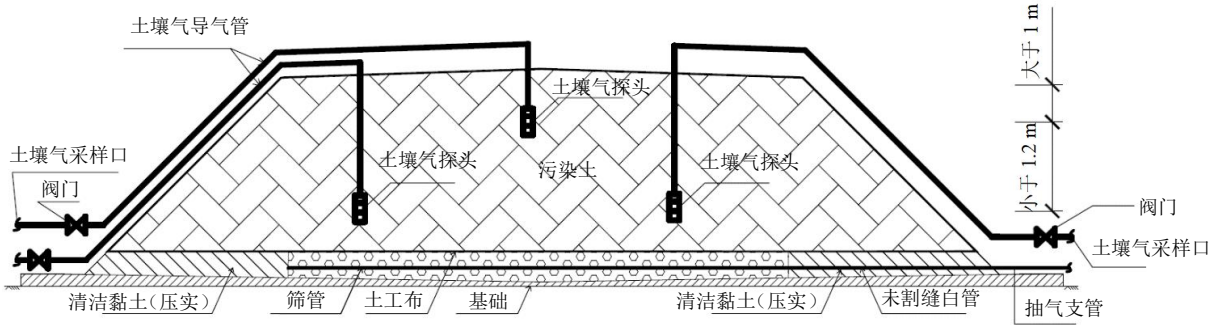

图 C.3　土壤气监测点垂向布置示意图

附　录　D
（资料性附录）
堆体顶部的进气、营养水分调配和覆盖系统示意图

图 D.1、图 D.2、图 D.3 分别给出了进气、营养水分调节和覆盖系统剖面示意图、进气管平面布置示意图、营养及水分调配系统平面布置示意图。

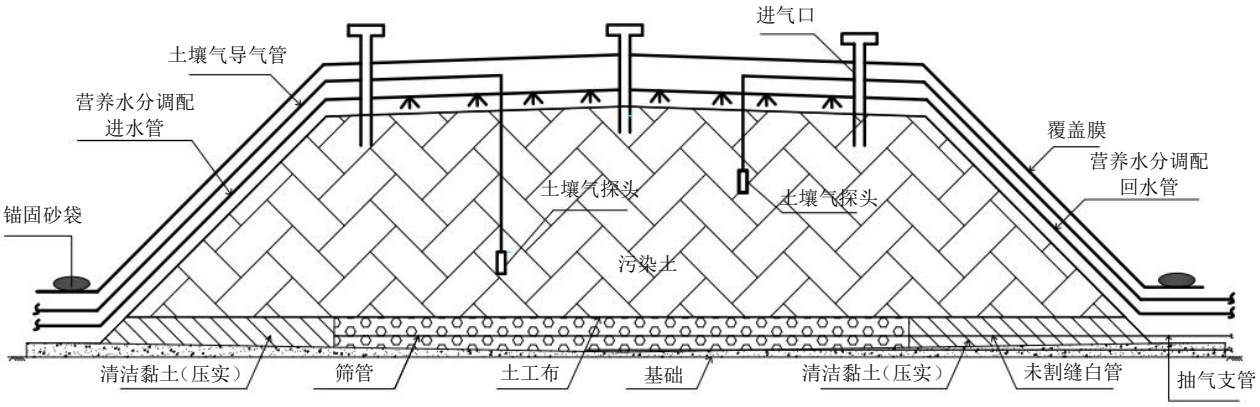

图 D.1　系统剖面示意图

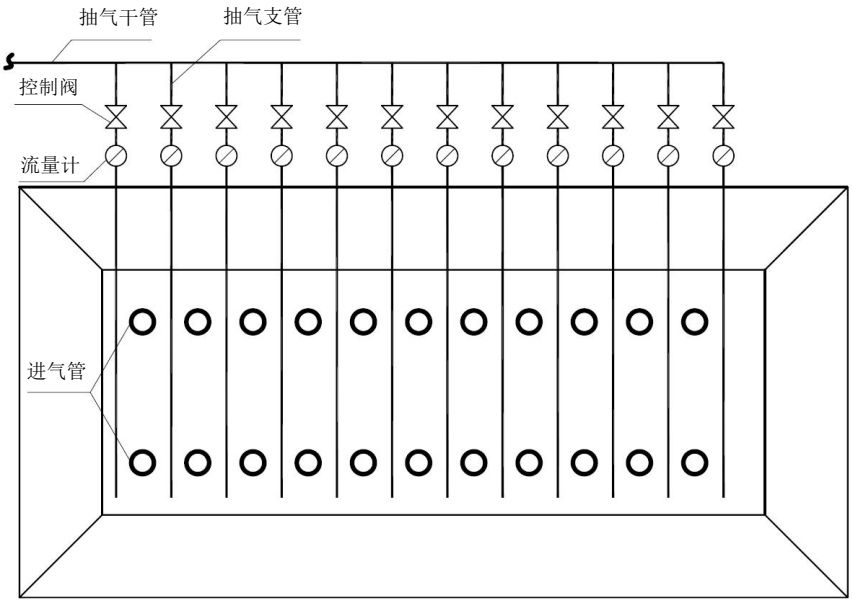

图 D.2　进气管平面布置示意图

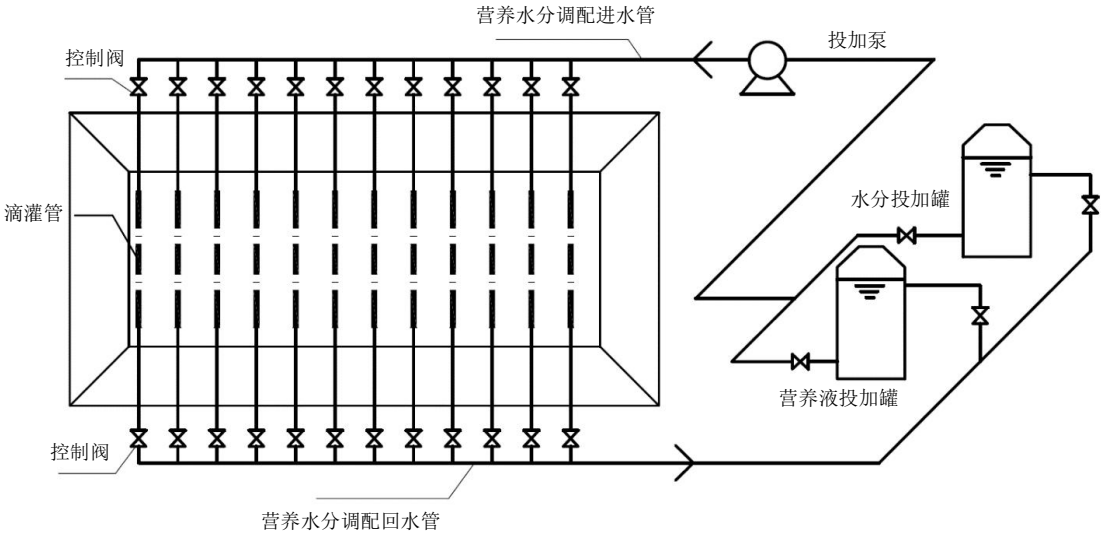

图 D.3　营养及水分调配系统平面布置示意图