

生物工程课程设计

150m³机械搅拌生物反应器设计说明书

学 系 生物工程

专 业 微生物工程

班 级 120422

姓 名 邓 曦

指导教师 钟 成

天 津 科 技 大 学

2016 年 1 月 8 日

目 录

一、 前言.....	1
二、 设计任务和设计基本依据.....	1
1. 设计任务.....	1
2. 设计基本依据.....	2
三、 150m ³ 机械搅拌发酵罐的设计.....	3
1. 罐体几何尺寸的确定.....	3
(1) 发酵反应釜的总体结构.....	3
(2) 几何尺寸的确定.....	4
四、 冷却装置设计.....	5
1. 冷却方式.....	5
2. 装液量.....	5
3. 冷却水耗量.....	6
4. 冷却面积.....	6
5. 搅拌器轴功率计算.....	7
(1) 不通气条件下的轴功率 P_0	7
(2) 通气搅拌功率 P_g 的计算.....	8
(3) 电机及变速箱装置选用.....	8
五、 主要部件的设计计算.....	9
1. 发酵罐整体分析材料选择.....	9
2. 壁厚.....	9
(1) 罐体壁厚 δ_1	9
(2) 封头壁厚 δ_2	9
3. 搅拌器.....	9
4. 人孔和视镜.....	10
(1) 人孔.....	10
(2) 视镜.....	10
5. 接口管.....	10
6. 管道接口（采用法兰接口）.....	11
7. 仪表接口.....	11
六、 附属设备.....	11
(1) 空气分布器.....	11

(2) 密封方式.....	11
(3) 支座选择.....	11
七、 附录.....	11
1. 发酵罐参数设计汇总.....	11
2. 冷却装置有关参数.....	12
3. 搅拌有关参数.....	12
4. 其他参数.....	12
5. 管道接口参数（使用法兰接口）	13
6. 仪表接口.....	13
八、 收获与体会.....	13
九、 参考书与参考手册.....	14

一、前言

经过发酵工业化生产的几十年实践，人们逐步认识到发酵工业过程是一个随着时间变化的、非线性的、多变量输入和输出的动态的生物学过程，按照化学工程的模式来处理发酵工业生产（特别是大规模生产）的问题，往往难以收到预期的结果。从化学工程的角度来看，发酵罐，也就是生产原料发酵的反应器中培养的微生物细胞只是一种催化剂。按照化学工程的正统思维，微生物当然难以发挥其生命特有的生产潜力。于是，追溯到作坊式的发酵生产技术的生物学的内核（微生物），返璞归真而对发酵工程的属性有了新的认识。发酵工程的生物学属性的认定，使得发酵工程的发酵有了明确的方向，发酵工程进入了生物工程的范畴。

生物工程课程设计是生物工程专业学生在毕业设计（论文）前进行的一次综合训练。通过本课程设计培养学生综合运用所学知识解决工程问题的能力，为毕业设计（论文）打好应有的理论基础。通过生物工程课程设计的训练，要求我们综合运用所学如生物工艺学、生物工程设备和发酵工艺学等专业课程的基本理论和知识，使之系统化、综合化，从而培养我们综合运用基础理论和专业知识解决工程实际问题的能力。同时亦需要掌握有关设计手册（如《化工设备设计手册》、《化学工程手册》等）的使用。

生物反应器是生物反应过程最基本的也是最主要的设备。生物反应器的职能就是按照生物反应过程的要求，保证和控制各种环境条件，比如温度、压力、供氧量、密封防漏、防止杂菌污染等，以促进生物体的新陈代谢，使之能在低消耗下获得较高的产量。

生物反应器的结构和操作方式对生物产品的转化率、质量、能量消耗有着密切的关系，就一般而言，生物反应器应满足以下基本要求：

1. 具有良好的动量、质量和热量传递的性能；
2. 能量消耗低；
3. 操作方便，易于控制；
4. 能维持无菌操作；
5. 能适应特定的发酵生产，根据特定要求，通过计算，设计出达到预期效果的反应器。

而机械搅拌生物反应器具有溶氧速率高、混合效果好、产品质量稳定和适应范围广等特点，是目前生物工厂中最常用的好气性生物反应器。

二、设计任务和设计基本依据

1. 设计任务

我设计的是一台 150m³机械搅拌发酵罐，主要用于谷氨酸生产。

发酵罐主要由罐体和冷却装置、以及搅拌装置、传动装置、轴封装置，人孔和其它的一些附件组成。这次设计就是要对机械搅拌通风发酵罐的几何尺寸进行计算；考虑压力、温度、腐蚀因

素，选择罐体材料，确定罐体外形、罐体和封头的壁厚；根据发酵微生物产生的发酵热、发酵罐的装液量、冷却方式等进行冷却装置的设计、计算；根据上面的一系列计算选择适合的搅拌装置，传动装置，和人孔等一些附件的确定，完成整个装备图，完成这次设计。

这次设计包括一套图样，主要是装配图（使用 1#图纸），还有一份说明书。而绘制装配图是生物工程设备的机械设计核心内容，绘制装配图要有合理的选择基本视图和各种表达方式，有合理的选择的比例，大小和合理的安排幅面。说明书要写清楚设计的思路和步骤。

2. 设计基本依据

发酵液性质：

名称	符号	数据	单位
密度	ρ	1080	Kg/m ³
粘度	μ	2.0×10^{-3}	N·S/m ²
比热	C_p	4.174	KJ/Kg·°C
导热系数	Δ	0.621	W/m·°C
发酵热	q	$3.0 \sim 3.5 \times 10^4$	Kg/h·m ³

冷却水装置：冷却水选用地下水。列管冷却

名称	符号	数据	单位
进口温度	t_1	18~20	°C
出口温度	t_2	23~26	°C
发酵温度	T	32~33	°C

罐体：

名称	符号	数据
装料系数	η	0.65~0.75
高径比	H_0/D	2.0~3.0

通用式机械搅拌生物反应器，其主要结构标准如下：

- ① 高径比： $H/D=1.7 \sim 4.0$
- ② 搅拌器：六弯叶涡轮搅拌器， $D_i : d_i : l : B = 20 : 15 : 5 : 4$
- ③ 搅拌器直径： $D_i = D/3$
- ④ 搅拌器间距： $S = (0.95 \sim 1.05)D = 3(0.95 \sim 1.05)D_i$
- ⑤ 最下一组搅拌器与罐底的距离： $C = (0.8 \sim 1.0)D_i$

⑥ 挡板宽度： $B = 0.1D$ ，当采用列管冷却时，可用列管冷却代替挡板

反应器用途：

用于谷氨酸生产的各级种子罐或生产罐，有关设计参数如下：

装料系数：

种子罐 $\eta = 0.50 \sim 0.65$

产酸罐 $\eta = 0.65 \sim 0.75$

溶氧系数(亚硫酸盐氧化值)：

种子罐 $kd = 5 \sim 7 \times 10^{-6} \text{ molO}_2/\text{ml} \cdot \text{min} \cdot \text{atm}$

产酸罐 $kd = 6 \sim 9 \times 10^{-6} \text{ molO}_2/\text{ml} \cdot \text{min} \cdot \text{atm}$

标准空气通风量：

种子罐 $Q/V = 0.6 \sim 0.4(\text{v.v.m.})$

设计压力：

罐内：0.40MPa；夹套：0.25MPa。

表格 二-1 发酵罐主要设计条件

项目及代号	参数及结果
发酵产品	谷氨酸
工作压力	0.40MPa
设计压力	0.40MPa
发酵温度	33℃
设计温度	150℃
冷却方式	列管冷却
发酵液密度	$\rho = 1080 \text{ Kg/m}^3$
发酵液比热	$C_p = 4.174 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$
发酵液粘度	$\mu = 2.0 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{S/m}^2$

三、150m³机械搅拌发酵罐的设计

1. 罐体几何尺寸的确定

(1) 发酵反应釜的总体结构

发酵反应釜主要由搅拌容器，搅拌装置，传动装置，轴封装置，支座，人孔，工艺接管和一些附件组成。搅拌容器分罐体和轴封两部分，主要由封头和筒体组成，多为中、低压压力容器；

搅拌装置由搅拌器和搅拌轴组成，其形式通常由工艺设计而定；传动装置是为带动搅拌装置设置的，主要由电机，减速器，联轴器和传动轴等组成；轴封装置为动密封防漏，一般采用机械密封或填料密封；它们与支座，人孔，工艺接管等附件一起，构成完整的发酵反应釜。

(2) 几何尺寸的确定

根据工艺参数和高径比确定各部几何尺寸；高径比 $H_0/D=2.0\sim 3.0$ ，则取 $H_0/D=2.5$ 。

初步设计：设计条件给出的是发酵罐的公称体积(150m³)

设备结构及主要尺寸的确定(D 、 H 、 H_0 、 V 、 V_0 、 D_i 等)。

查阅[1]，通常对一个发酵罐的大小用“公称体积”来表示，指的是罐的桶身（圆柱）体积和底封头体积之和。椭圆形封头体积可用下式计算：

$$V_1 = \frac{\pi}{4} D^2 h_b + \frac{\pi}{6} D^2 h_a = \frac{\pi}{4} D^2 (h_b + \frac{1}{6} D)$$

式中， h_b ——椭圆封头的直边高度，m

h_a ——椭圆短半轴长度，标准椭圆 $h_a=0.25D$

故发酵罐的总体积为：

$$V_0 = \frac{\pi}{4} D^2 [H_0 + 2(h_b + \frac{1}{6} D)]$$

近似计算式为：

$$V_0 = \frac{\pi}{4} D^2 H_0 + 0.15D^3$$

其中 $H_0/D=2.5$ ，

因此，

$$V_0 = \frac{\pi}{4} \times 2.5D^3 + 0.15D^3 = 150(m^3)$$

求得 $D=4.140m$ ，取整 $D=4200\text{ mm}$ 。

$H=3.0D=12600\text{ mm}$ 。

当公称直径 $D_N=4200\text{ mm}$ 时，标准椭圆封头的曲面高为 $h_a=0.25D=1050\text{ mm}$ 。

直边高度，据壁厚一般取 25、40、50 mm，取 $h_b=50\text{ mm}$ 。

总深度 $H_f=1100\text{ mm}$ 。

容积，

$$V_1 = \frac{\pi}{4} D^2 (h_b + \frac{1}{6} D) = \frac{\pi}{4} \times 4.2^2 \times (0.05 + \frac{1}{6} \times 4.2) = 10.391m^3$$

可得罐直筒高度 $H_0=H-2H_f=12600-2\times 1100=10400\text{ mm}$ 。

此时 $H_0/D=10400/4200=2.511906\approx 2.5$ ，与假设相似，故 $D=4200\text{ mm}$ 合适。

发酵罐公称体积

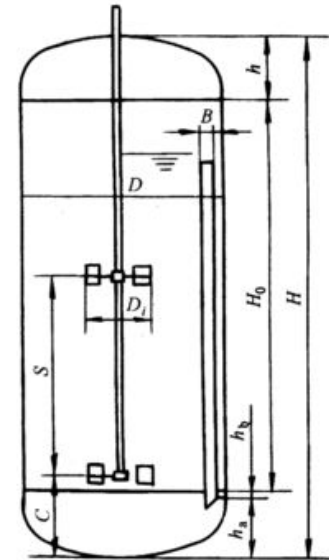


图 1-2-11 机械搅拌通风
发酵罐的几何尺寸

H —罐身高 h —液位高

H_0 —罐高 D —罐径

D_i —搅拌叶轮直径 B —挡板宽

C —下搅拌叶轮与罐底距

S —相邻搅拌叶轮间距

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H_0 + V_1 = 150.4086m^3$$

全体积

$$V_0 = V + V_1 = 160.80m^3$$

搅拌叶直径 $D_i = D/3 = 4200/3 = 1380 \text{ mm}$

搅拌叶间距 $S = D = 3D_i = 4200 \text{ mm}$

最下组搅拌器与罐底的距离 $C = D_i = 1380 \text{ mm}$

挡板宽度 $B = 0.1D = 420 \text{ mm}$

查手册选取搅拌器轴的轴径为 125 mm。

表格 三-1 150m³发酵罐的几何尺寸

项目及代号	参数及结果
公称体积 m^3	150
全体积 m^3	160.80
罐体直径 $D \text{ mm}$	4200
总高度 $H \text{ mm}$	12600
罐体高度 $H_0 \text{ mm}$	10400
搅拌叶直径 $D_i \text{ mm}$	1380
封头曲面高 $h_a \text{ mm}$	1050
封头直边高度 $h_b \text{ mm}$	50
最下组搅拌器与罐底的距离 $C \text{ mm}$	1380
搅拌叶间距 $S \text{ mm}$	4200
挡板宽度 $B \text{ mm}$	420

四、冷却装置设计

1. 冷却方式

发酵罐容量大，罐体的比表面积小。夹套不能满足冷却要求，综合比较列管的冷却效果好，在使用水作冷却介质时，选用列管式冷却装置。

2. 装液量

设计发酵罐装料系数，取 0.75

发酵罐装料液体积： $V_1 = 160 \times 0.75 = 120m^3$

不计算下封头时的装液量体积： $V_{\text{柱}} = V_1 - \text{下封头体积} = 120 - 10.4 = 109.6m^3$

装液量高度：

$$h_1 = \frac{V_{\text{柱}}}{\frac{1}{4}\pi D^2} = \frac{109.6}{\frac{1}{4}\times 3.14 \times 4.2^2} = 7.91m$$

单位时间传热量=发酵热×装料量

$$\text{即 } Q = Q_{\text{发}} \times V_1 = 3.5 \times 10^4 \times 120 = 4200000 \text{KJ/h}$$

3. 冷却水耗量

由实际情况选用进出口水温为 18℃、26℃，则

$$W = \frac{Q}{C_p(t_2 - t_1)} = \frac{4200000}{4.174 \times (26 - 18)} = 125778.6 \text{Kg/h}$$

Q——单位时间传热量

C_p——冷却水的平均比热，取 4.174KJ/Kg·℃

t₂-t₁——冷却水进、出口温度差

对数平均温度差，由工艺条件知道 t_F=33℃

$$\Delta t_m = \frac{(t_F - t_1) - (t_F - t_2)}{2.303 \lg \frac{t_F - t_1}{t_F - t_2}} = \frac{(33 - 18) - (33 - 26)}{2.303 \lg \frac{33 - 18}{33 - 26}} = 10.495^\circ\text{C}$$

t_F——发酵温度

4. 冷却面积

$$A = \frac{Q}{K \Delta t_m} = \frac{4200000}{2090 \times 10.495} = 191.479 \text{m}^2$$

K——传热总系数，取 2090KJ/(m²·h·℃)

冷却面积 A=π dL

冷却列管总长度：

冷却水的流量 W=125778.6Kg/h

则

$$V_s = \frac{W}{\rho} = \frac{125778.6}{1080} = 116.46 \text{m}^3/\text{h} = 0.03235 \text{m}^3/\text{s}$$

取冷却水在列管中的流速 v=1m/s

根据流体力学方程冷却管总截面积 S_总

$$S_{\text{总}} = \frac{V_s}{v} = \frac{0.03235}{1} = 0.03235 \text{m}^2$$

设冷却管管径为 d₀，组数为 n

又 S_总=n×0.785d₀²

取 n=4

则

$$d_0 = \sqrt{\frac{0.03235}{4 \times 0.785}} = 0.1015 \text{m}$$

取 $\Phi 114 \times 6$ mm 的无缝钢管, $d_{\text{内}} = 102$ mm

取冷却管总高度为 L

$$L = \frac{A}{\pi d_0} = \frac{191.479}{3.14 \times 0.102} \approx 600m$$

取每组 15 根, 则每根长度

$$L_0 = \frac{600}{4 \times 15} = 10m$$

冷却管的排列方式:

取管间距 $2.5d_{\text{外}} = 2.5 \times 0.102 = 0.255m$, 列管与罐内壁的最小间距为 0.26m

罐外径 $D = 4.2m$, 叶轮直径 $D_i = 1.38m$

叶轮外边沿到罐壁的距离为

$$\frac{D - D_i}{2} = 2.79m$$

每组列管采用转角正三角形排列, 每边排 5 根管

复核: 正三角形的边长为 $4 \times 0.255 \times 0.114 = 0.11628m <$ 叶轮外边沿到罐壁的距离

故采用转角正三角形符合要求且每组管管间距为 0.255m, 列管与罐壁的最小间距为

0.26m, 四组管间采用转角正方形排列。

由于采用列管式冷却, 故无需挡板。

5. 搅拌器轴功率计算

(1) 不通气条件下的轴功率 P_0

取发酵醪液粘度 $\mu = 2.0 \times 10^{-3} N \cdot S/m^2$, 密度 $\rho = 1080 Kg/m^3$,

搅拌转速:

取两档搅拌, 搅拌转速 N 可根据 50m³ 罐, 搅拌器直径 1.05, 转速 $N_1 = 110r/min$

以等 P_n/V 为基准放大:

$$N = N_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{\frac{2}{3}} = 110 \times \left(\frac{1.05}{1.38} \right)^{\frac{2}{3}} = 91.68r/min \approx 92r/min$$

则雷诺准数

$$Re = \frac{\omega D_i^2 \rho}{\mu} = \frac{(\frac{92}{60}) \times 1.38^2 \times 1080}{2.0 \times 10^{-3}} = 1.576 \times 10^6 > 10^4$$

为湍流, 则搅拌功率准数 $N_p = 4.7$

鲁士顿(Rushton J. H.)公式:

$$P'_0 = N_p N^3 D^5 \rho = 4.7 \times \left(\frac{92}{60} \right)^3 \times 1.38^5 \times 1080 = 9.086 \times 10^4 W = 90.86KW$$

$$P_0 = 2P'_0 = 2 \times 90.86 = 181.72KW$$

P_0 ——无通气搅拌输入的功率 (W);

N_p ——功率准数, 是搅拌雷诺数 Re_M 的函数, 圆盘六弯叶涡轮 $N_p \approx 4.7$;

N——涡轮转速 (r/min) ;

ρ ——液体密度(kg/m³), 因发酵液不同而不同, 一般取 800~1650kg/m³, 本设计取 $\rho = 1080\text{kg/m}^3$;

D_i ——涡轮直径 (m) ;

(2) 通气搅拌功率 P_g 的计算

因为是非牛顿流体, 所以用以下公式计算

$$P_g = 2.25 \times 10^{-3} \times \left(\frac{P_0^2 N D_i^3}{Q^{0.08}} \right)^{0.39}$$

P_0 ——两层搅拌输入的功率 (kW)

N——涡轮转速 (r/min), 为 92r/min

D_i ——涡轮直径 (cm), 138cm

Q——通气量 (ml/min), 已知标准通风比 0.2~0.4vvm。取低极限, 如果通风量变大, P_g 变小。为安全起见, 现取 0.2vvm,

则 $Q = 120 \times 0.2 \times 10^6 = 2.4 \times 10^7 \text{ml/min}$

$Q^{0.08} = (2.4 \times 10^7)^{0.08} = 3.894$

$$P_g = 2.25 \times 10^{-3} \times \left(\frac{P_0^2 N D_i^3}{Q^{0.08}} \right)^{0.39} = 2.25 \times 10^{-3} \times \left(\frac{181.72^2 \times 92 \times 138^3}{3.894} \right)^{0.39} = 142.50 \text{KW}$$

(3) 电机及变速箱装置选用

根据搅拌功率选用电动机时, 应考虑传动装置的机械效率

$$P = \frac{P_g + P_T}{\eta}$$

P_g ——搅拌轴功率

P_T ——轴封摩擦损失功率, 一般为 1% P_g

η ——传动机构效率

根据生产需要选择三角皮带电机。三角皮带的效率是 0.92, 滚动轴承的效率是 0.99, 滑动轴承的效率是 0.98, 端面轴封摩擦损失功率为搅拌轴功率的 1%, 则电机的功率

$$P = \frac{P_g + P_T}{\eta} = \frac{142.50 + 1\% \times 142.50}{0.92 \times 0.99 \times 0.98} = 161.25 \text{KW}$$

搅拌轴直径 $d = A \times (P/N)^{1/3}$

N 为转速 (r/min), 系数 A 可以取 97~149, 取 A=100,

已知 $P = 161.25 \text{KW}$, $N = 92 \text{r/min}$,

则 $d = A \times (P/N)^{1/3} = 100 \times (161.25/92)^{1/3} = 120.57 \text{mm}$

圆整取轴径 $d = 120 \text{mm}$

五、主要部件的设计计算

1. 发酵罐整体分析材料选择

发酵罐材料可以选用碳钢、不锈钢、合金钢等。相对其他工业来说，发酵液对钢材的腐蚀不大，但必须能耐受一定的压力和温度，通常要求耐受 130~150℃ 的温度和 0.40MPa 的压力。综合各因素，该发酵罐发酵罐生产谷氨酸，由于发酵液腐蚀性不大，选择不锈钢 16MnR 钢。

2. 壁厚

(1) 罐体壁厚 δ_1

$$\delta_1 = \frac{pD}{2[\sigma]\phi - p} + C = \frac{0.40 \times 4200}{2 \times 170 \times 0.8 - 0.4} + 3 = 9.1856 \text{ mm}$$

D——罐体直径 (mm)

p——耐受压强 (设计压力)

ϕ ——焊缝系数，双面焊取 0.8，无缝焊取 1.0，此处取 0.8

$[\sigma]$ ——罐体金属材料在设计温度下的许用应力 (查表得，16MnR 钢焊接压力容器在 150℃ 时许用应力是 170MPa)

C——腐蚀裕度，当 $\delta - C < 10 \text{ mm}$ 时， $C = 3 \text{ mm}$

圆整取 10 mm 的 16 MnR 钢板制作，查三-1 表知 $D = 4200 \text{ mm}$ ， $\delta_1 = 10 \text{ mm}$ ， $H = 12600 \text{ mm}$ ，

每米筒重 988kg， $M_{\text{筒}} = 988 \times 12.6 = 12448.8 \text{ kg}$

(2) 封头壁厚 δ_2

封头采用标准封头，故其壁厚 δ_2 确定：

$$\delta_2 = \frac{pDy}{2[\sigma]\phi} + C = \frac{0.40 \times 4200 \times 2.3}{2 \times 170 \times 0.8} + 3 = 17.20588 \text{ mm}$$

Y——开孔系数，取 2.3

圆整取 $\delta_2 = 18 \text{ mm}$

3. 搅拌器

根据设计要求，采用六弯叶涡轮搅拌器， $D_i : d_i : l : B = 20 : 15 : 5 : 4$

叶片直径：

$$D_i = D/3 = 4200/3 = 1380 \text{ mm}$$

盘径：

$$d_i = 3/4 D_i = 1035 \text{ mm}$$

叶高：

$$l = 0.25 D_i = 345 \text{ mm}$$

叶长：

$$B = 0.2 D_i = 276 \text{ mm}$$

4. 人孔和视镜

(1) 人孔

人孔的设置是为了安装、拆卸、清洗和检修设备内部的设置。

本次设计只设置 1 个人孔开在顶封头上，位置：左边距中心轴 1500 mm。

标准号为：人孔 RF II (R·G) 600-0.6HG21515-1995，公称直径 600。

(2) 视镜

视镜用于观察发酵罐内部的情况。本次设计只设置了 2 个视镜，直径为 DN80160，开在顶封头上，位于前后轴线离中心轴 1500 mm 处，标记为视镜 II PN1.0 DN160 HGJ501-86-17。

5. 接口管

以进料口为例计算：

设发酵醪液流速为 $v=1\text{m/s}$ ，2h 排尽。发酵罐装料液体积： $V_1=160\times 0.75=120\text{m}^3$

物料体积流量 $Q=V_1/2=120/2/3600=0.0167\text{m}^3/\text{s}$

则进料管截面积 $F=Q/v=0.0167/1=0.0167\text{m}^2$

又 $F=0.785d^2$

得

$$d = \sqrt{\frac{0.0167}{0.785}} = 0.15\text{m} = 150\text{mm}$$

取无缝钢管，查资料，平焊法兰钢管法兰 GB8163-87，取公称直径 150 mm， $\phi 159\times 4.5\text{mm}$

以排气管为例计算如下：

若压缩空气在 0.4MPa 下的情况，支管气速为 20~25m/s，标准通风比为 0.2~0.4vvm，为常温下 20℃，0.1MPa 下的情况，要折算为 0.4MPa，33℃下。通风量 Q_1 取大值。

$Q_1=V_1\times 0.4=120\times 0.4=48\text{m}^3/\text{min}=0.8\text{m}^3/\text{s}$

利用气态方程式计算工作状态下的通风量 Q_f ：

$$Q_f = 0.8 \times \frac{0.1}{0.4} \times \frac{273+33}{273+20} = 0.21\text{m}^3/\text{s}$$

取风速 $V=25\text{m/s}$

风管截面积

$$F_f = \frac{Q_f}{V} = \frac{0.21}{25} = 0.0084\text{m}^2$$

又 $F_f=0.785d_{\text{气}}^2$ ，则气管直径 $d_{\text{气}}$ 为：

$$d_{\text{气}} = \sqrt{\frac{0.0084}{0.785}} = 0.1034\text{m}$$

因通风管也是进料管，故取两者的大值。取 $d=159\times 4.5\text{mm}$ 无缝钢管可满足工艺要求。

复核：无流量 $Q=0.0167\text{m}^3/\text{s}$ ，流速 $v=1\text{m/s}$ ，

管道截面积 $F=0.785d^2=0.785\times 0.15^2=0.0177\text{m}^2$

在相同流速下，流过物料因管径较原来的计算结果大，则相应的流速低，

$$Z = \frac{Q}{F_v} = \frac{0.0167}{0.0177 \times 1} = 0.944(\text{倍})$$

则排料时间 $t=2 \times 0.944=1.888\text{h}$

其他管道也是如此计算。

6. 管道接口（采用法兰接口）

进料口：直径 $\Phi 159 \times 4.5\text{ mm}$ ，开在封头上

排料口：直径 $\Phi 159 \times 4.5\text{ mm}$ ，开在罐底

进气口：直径 $\Phi 159 \times 4.5\text{ mm}$ ，开在封头上

排气口：直径 $\Phi 159 \times 4.5\text{ mm}$ ，开在封头上

冷却水进、出口：直径 $\Phi 114 \times 6\text{ mm}$ ，开在罐身

补料口：直径 $\Phi 159 \times 4.5\text{ mm}$ ，开在封头上

取样口：直径 $\Phi 159 \times 4.5\text{ mm}$ ，开在封头上

7. 仪表接口

温度计：装配式热电阻温度传感器 Pt100 型， $D=100\text{ mm}$ ，开在罐身上；

压力表：弹簧管压力表（径向型）， $d_1=20\text{ mm}$ ，精度 2.5，型号：Y=250Z，开在封头上；

液位计：采用标准：HG5-1368，型号：R-61 直径： $\Phi 550 (260 \times 14)\text{ mm}$ ，开在罐身上；

溶氧探头：SE-N-D0-F；

pH 探头：PHS-2 型

六、附属设备

（1）空气分布器

对于好气发酵罐，分布器主要有两种形式，即：多孔管和单孔管，对通风量较小的（如 $Q=0.2 \sim 0.5\text{ ml/s}$ ）的设备，应加环形或直管型空气分布器；而对通气量大的发酵罐，则使用单管进风，由于进风速度快，又有涡轮板阻挡，叶轮打碎、溶氧是没有问题的。本罐使用单管进风，风管直径计算见接口管设计。

（2）密封方式

本罐采用双端面机械密封方式，处理轴与罐的动静问题。

（3）支座选择

发酵工厂设备常用支座分为卧式支座和立式支座，其中卧式支座又分为支腿，圈型支座、鞍型支座。立式支座也分为三种，即：悬挂支座、支撑支座和裙式支座。

对于 75 m^3 以上的发酵罐，由于设备总重量较大，应选用裙式支座，本设计选用裙式支座。

七、附录

1. 发酵罐参数设计汇总

发酵罐的几何尺寸	
公称体积	150 m ³
罐体直径 D	4.2m
总高度 H	12.6m
罐体高度 H ₀	10.4m
搅拌叶直径 D _i	1.38m
封头曲面高 h _a	1.05m
封头直边高度 h _b	0.05m
最下组搅拌器与罐底的距离 C	1.38m
搅拌叶间距 S	4.2m
挡板宽度 B	0.42m
装液量高度 h ₁	7.91m

2. 冷却装置有关参数

冷却管传热面积 A	191.479 m ²	冷却管排列方式	转角正三角形
冷却管组数 n	4	每组根数	15
冷却管内径 d _内	102 mm	每根冷却管长 L ₀	10m
冷却管管间距	0.26m	冷却管型号	Φ114×6 mm无缝钢管
冷却管总截面积 S _总	0.03235 m ²	冷却水流量 W	125778.6Kg/h

3. 搅拌有关参数

搅拌器选型		六弯叶涡轮搅拌器			
通风时轴功率 P _g	142.50KW	搅拌轴功率 P _n	181.72KW	搅拌器叶径 D _i	1380 mm
弧长 l	345 mm	盘径 d _i	1035 mm	叶宽 B	420 mm
叶轮间距 S	4200 mm	雷诺数 Re	1.576×10 ⁶	搅拌器档数	2

4. 其他参数

发酵罐材料	不锈钢 16MnR 钢	罐体壁厚 δ ₁	10 mm
人孔 型号	RF II (R·G) 600-0.6HG21515-1995	封头壁厚 δ ₂	18 mm
人孔公称直径	600 mm	视镜型号	II PN1.0 DN160 HGJ501-86-17
人孔位置	左边距中心轴 1500	视镜个数	2

	mm处		
视镜位置	前后轴线离中心轴 1500 mm处	视镜公称直径	160 mm

5. 管道接口参数（使用法兰接口）

管道接口类型	参数及位置
进料口	直径Φ159×4.5 mm，开在封头上
排料口	直径Φ159×4.5 mm，开在罐底
进气口	直径Φ159×4.5 mm，开在封头上
排气口	直径Φ159×4.5 mm，开在封头上
冷却水进、出口	直径Φ114×6 mm，开在罐身
补料口	直径Φ159×4.5 mm，开在封头上
取样口	直径Φ159×4.5 mm，开在封头上

6. 仪表接口

仪表类型	参数及型号
温度计	装配式热电阻温度传感器 Pt100 型，D=100 mm， 开在罐身上
压力表	弹簧管压力表（径向型），d ₁ =20 mm，精度 2.5， 型号：Y=250Z，开在封头上
液位计	采用标准：HG5-1368，型号：R-61 直径：Φ550 (260×14) mm，开在罐身上
溶氧探头	SE-N-D0-F
pH 探头	PHS-2 型

八、收获与体会

本次设计过程，小组成员合理分工，组织有序。在设计过程中我们参考了多本参考书籍，组织组内讨论并且向外组同学学习，不懂之处请教老师，可以说整个设计过程比较顺利。但是在其中也暴露我们知识积累太少、经验不足等问题。我们会在以后的工作学习中提高自己的知识水平和认识水平。

在设计过程中我们也遇到了一些问题，但是在老师的指点和同学们的帮助下，我们按质按量按时完成了设计任务。比如在列管的设计过程中，我们查阅了许多资料均没有关于列管的设计计算和作图规范，但是在老师的指点下，我们发现并改正了错误的设计计算和作图，并准确地确定

了设计方案。

由于时间比较仓促，在设计中也必然存在一些设计的不妥和计算的失误，还请各位老师指正。

九、参考书与参考手册

- [1] 梁世中.生物工程设备.北京，中国轻工业出版社，2004
- [2] 徐清华.生物工程设备.北京，科学出版社，2006
- [3] 贾士儒.生物反应工程原理.北京，科学出版社，2003
- [4] 陈 宁.氨基酸工艺学.北京，中国轻工业出版社，2006
- [5] 熊昌绪.发酵调味品工艺学.乌鲁木齐：新疆科技卫生出版社，1994
- [6] 姚汝华.微生物工程工艺原理.广州：华南理工大学出版社，1996
- [7] 俞俊棠，唐孝宣，邬行彦等.新编生物工艺学.北京：化学工业出版社，2003
- [8] 化学工程手册.北京，化学工业出版社，1989
- [9] 化工设备设计手册（2，金属设备）.上海，上海人民出版社，1975
- [10] 化工制图.北京，人民教育出版社，1980
- [11] 发酵设备.北京，中国轻工业出版社，1991