



河北科技大学
HEBEI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

发酵设备设计、制造、安装中的问题及节能与规范设计探讨

河北科技大学生物科学与工程学院

徐亲民

13513370405

q_xu@hebust.edu.cn

2014年3月·北京

目录

- ◆ 现有发酵设备普遍存在的问题
- ◆ 发酵罐的节能与规范化总体设计
- ◆ 发酵管道的设计与安装
- ◆ 发酵罐阀门的选型与安装
- ◆ 发酵罐配件的设计
- ◆ 超节能超高温连续灭菌系统的设计
- ◆ 空气压缩机的选型与安装
- ◆ 发酵物料分配站的设计



现有发酵设备普遍存在的问题

- ❑ 发酵罐设计五花八门，几何尺寸不规范。
- ❑ 发酵罐内部结构不合理，存在存料死角。
- ❑ 结构过于复杂，使用阀门过多，存在存料死角。
- ❑ 滥用带有小排气管的阀门。
- ❑ 发酵罐滥用搅拌变频调速技术。
- ❑ 管道阀门设计安装不合理、不匹配。
- ❑ 接种、取样、补料等部件设计不合理。
- ❑ 连续灭菌设备设计选型不合理。
- ❑ 空压机选型不合理，安装不规范。
- ❑ 通气/搅拌功率配置不匹配。
- ❑ 发酵罐内空气分布管设计安装不合理。
- ❑ 分配站设计不合理。



现存问题对生产过程的影响（一）

- 几何尺寸不规范造成工艺放大和技术转移的困难。
- 复杂的发酵罐内部结构降低用功效率，影响混合效果，形成存料和灭菌死角，成为染菌隐患。
- 阀门过多且带排气小辫子，既增加了操作的繁杂性，又浪费灭菌蒸汽，恶化操作环境。
- 滥用搅拌变频调速技术，对工艺过程没有任何好处，虽能节省一点电量，但牺牲了发酵混合效果，加大了投资额度。
- 管道阀门设计安装不合理是造成染菌的重要原因，也影响工艺参数的控制。



现存问题对生产过程的影响（二）

- 发酵罐一些小部件看似不起眼，但不合理的设计不仅使操作不方便，还可能成为染菌隐患。
- 不适当的连续灭菌设备能耗大、噪声大、好存料、清洗困难、易染菌。
- 空压机选型、安装不合理造成能源巨大浪费。
- 不适当的通气/搅拌功率配置降低氧的溶解效率。
- 不合理的空气分布管造成空气分散不良，或致固形物在发酵罐底沉积。
- 不适当的分配站设计操作不方便，灭菌能耗大，还可能成为染菌隐患。



通用发酵罐设计的一般原则

- 几何相似——不同大小的发酵罐之间高径比、罐内部件尺寸与罐内径比相同。
- 比换热面积相同——不同大小发酵罐之间换热面积与罐体积比一致。
- 比功率相等——不同大小机械搅拌发酵罐单位体积输入搅拌功率相等。
- 搅拌与通气匹配——不同大小机械搅拌发酵罐均要求通气电功率/搅拌电功率=1.2~1.5。
- 节能——搅拌、通气、灭菌、换热效率高。
- 简洁——内部结构简单，无死角，清洗、维修方便，外部操作面集中，操作简便，尽量降低劳动强度。



通用发酵罐的设计

- $H=2.5D_t\sim 3.0D_t$
- $D_i=0.3D_t\sim 0.4D_t$
- $C=1.2\sim 1.8D_i$
- $C_1=D_i$
- $B=0.1D_t$

H : 发酵罐内部空间高度

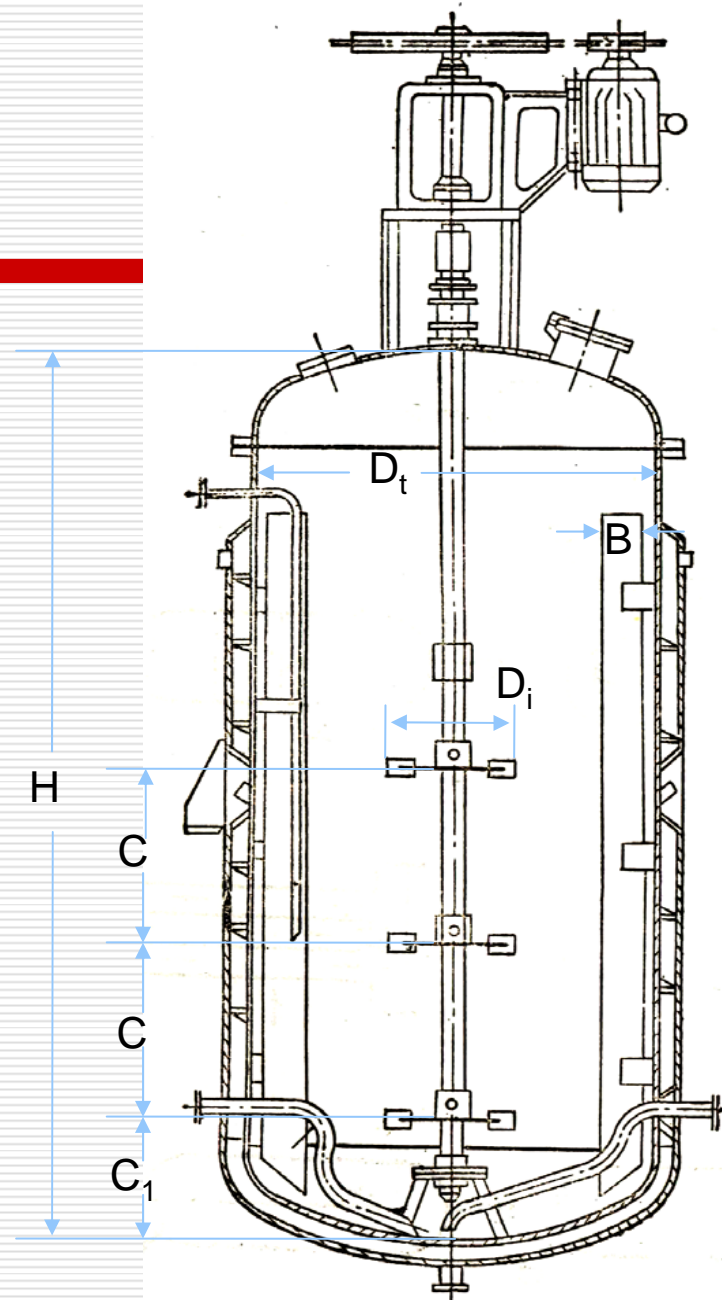
D_t : 发酵罐内径

D_i : 搅拌叶轮直径

C : 搅拌叶轮间距

C_1 : 下层搅拌至罐底距离

B : 挡板宽度



100m³通用发酵罐设计举例

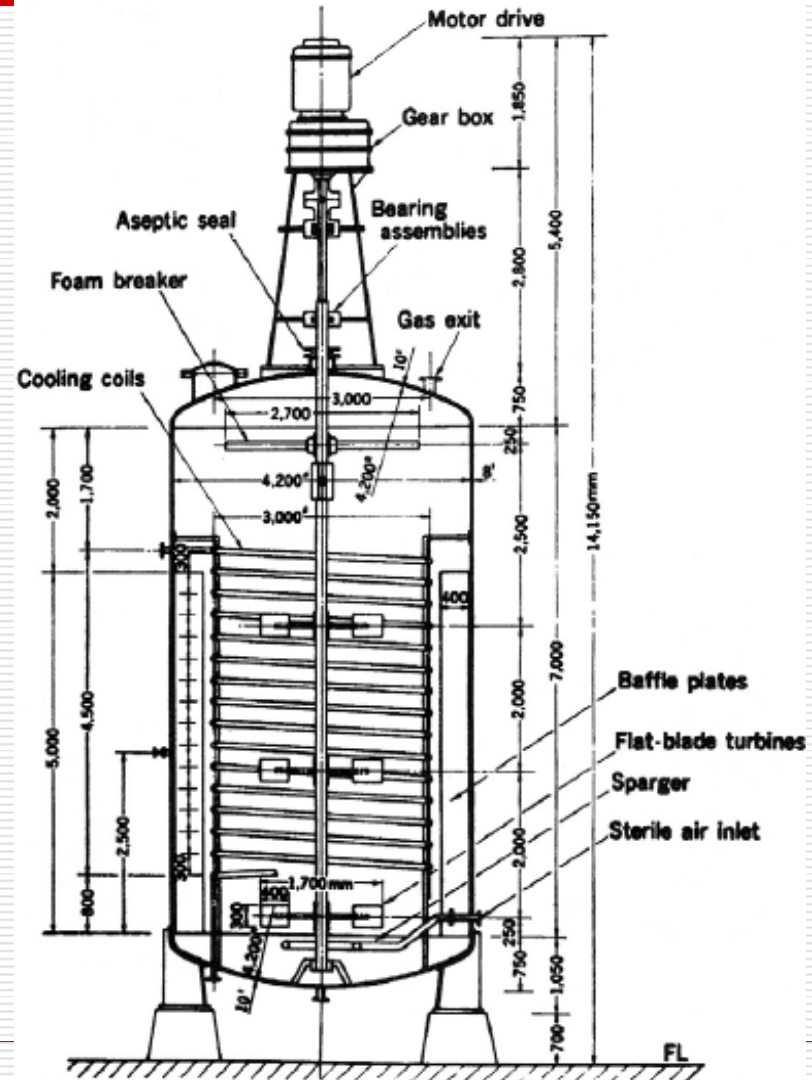
几何尺寸:

□ $H=8500$

□ $D_t=4200$

□ $D_i=1700$

□ $C=2000$



300m³通用发酵罐设计举例

几何尺寸:

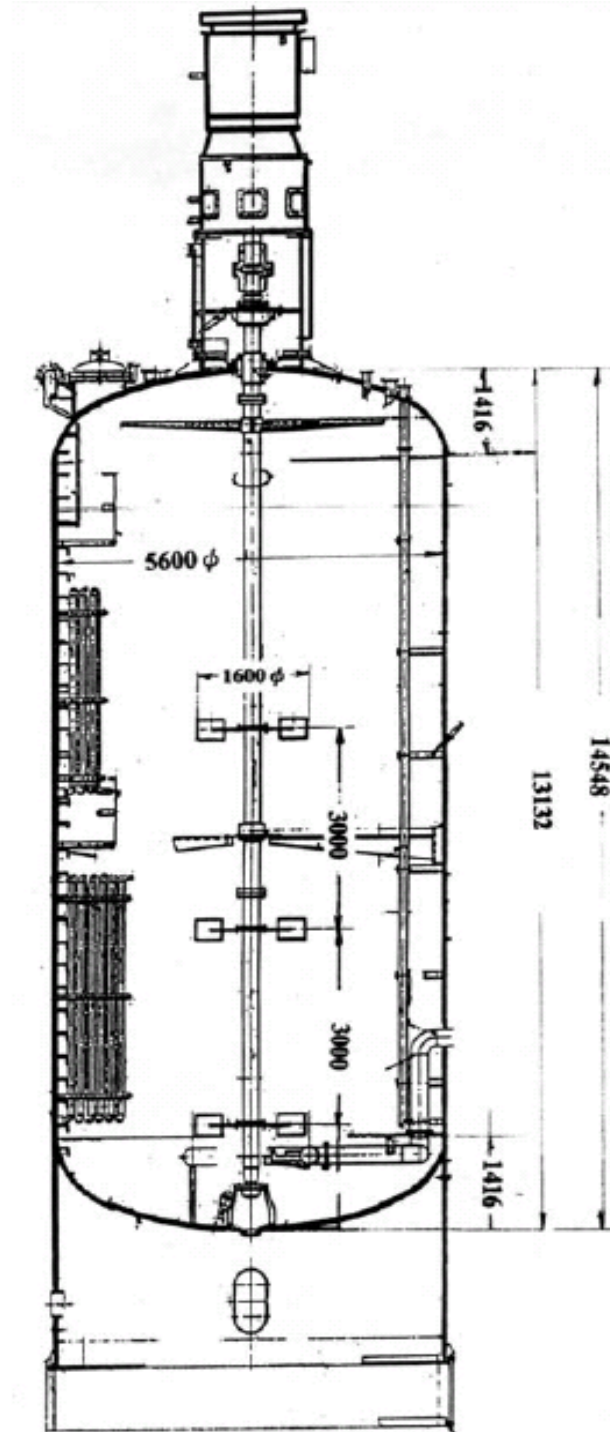
□ $H=14548$

□ $D_t=5600$

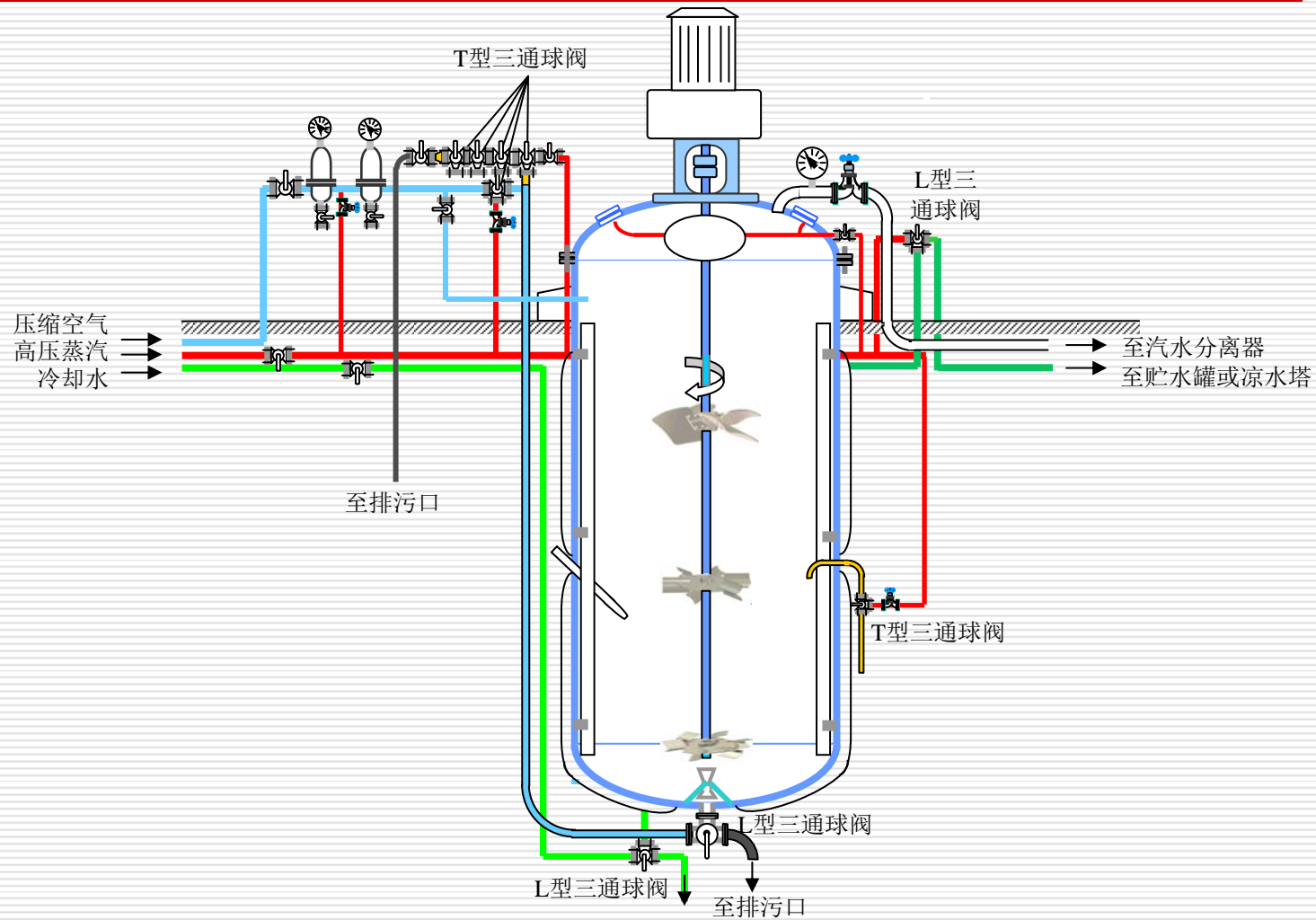
□ $D_i=1800$

□ $C=3000$

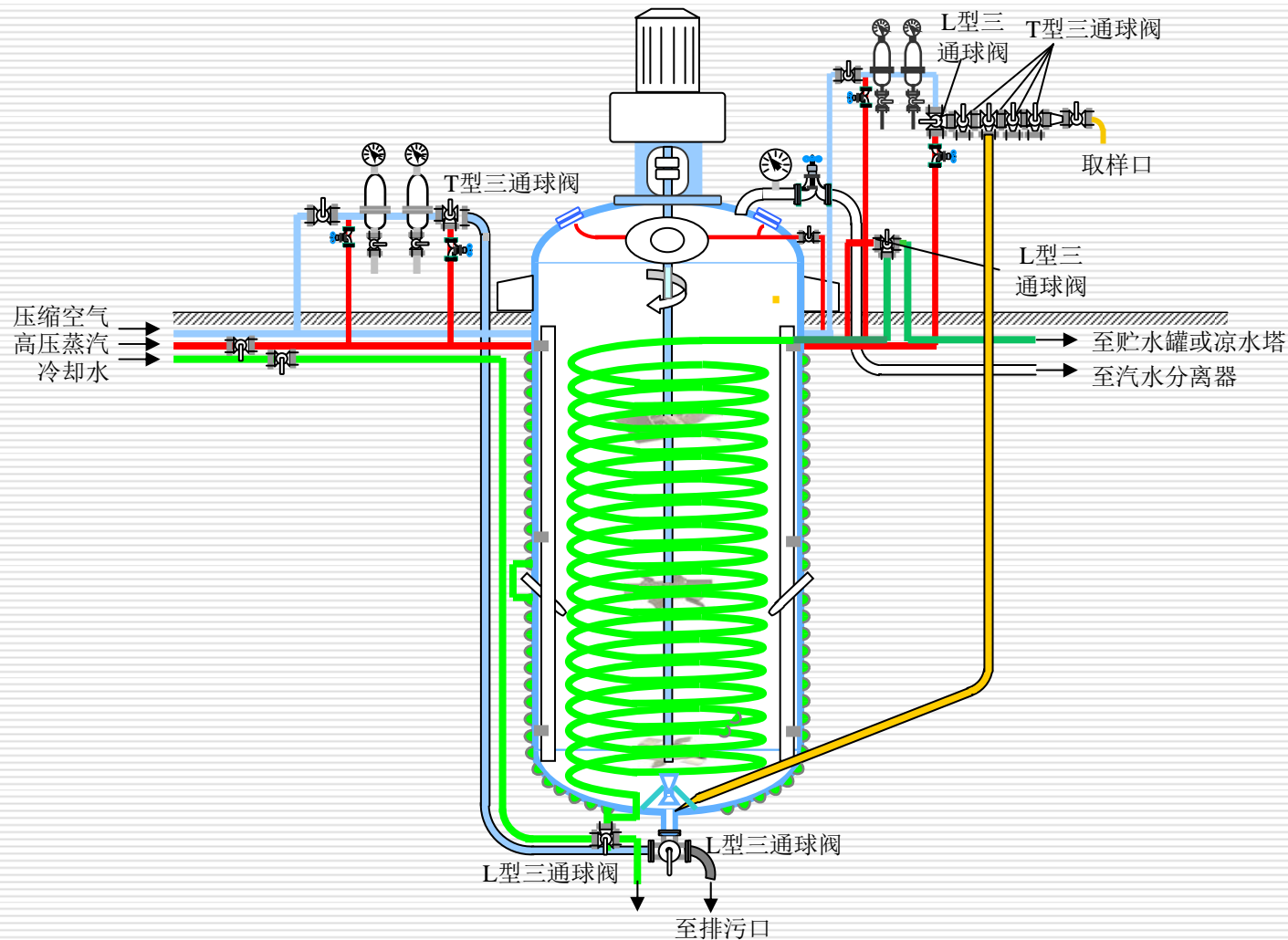
□ $C_1=1500$



简便节能发酵罐的设计——小型

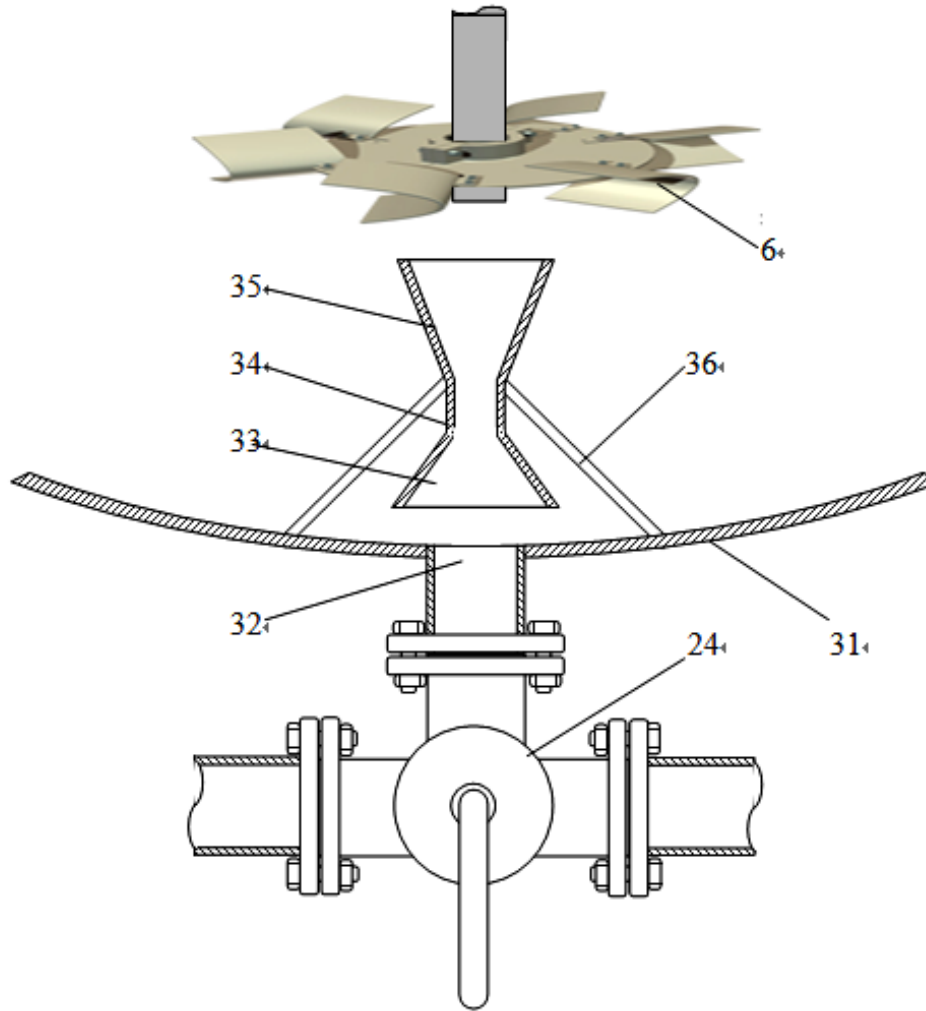


简便节能发酵罐的设计——中大型



简便节能发酵罐高效气-液混合器的设计

□ 这种设计解决了原分布管空气上吹造成发酵固形物在罐底沉积、下吹则气泡不能被搅拌打碎的问题。



高效节能系列发酵罐设计参数举例

公称容积		10 L	50 L	500 L	2.5 m ³	12.5 m ³	60 m ³	120 m ³	240 m ³
罐内径(mm)		200	320	680	1200	2000	3300	4200	5300
筒体高(mm)		400	640	1360	2400	4000	6600	8400	10600
实际容积(m ³)		13.6 L	55.7 L	535 L	2.94 m ³	13.6	61.1	126	253
搅拌叶轮直径(mm)	底层	60	96	204	360	600	990	1260	1590
	中层	70	112	238	420	700	1150	1470	1850
	上层	85	136	289	510	850	1400	1780	2250
搅拌叶轮类型	底层	抛物线浆叶圆盘涡轮(左)							
	中层	箭叶或弯叶圆盘涡轮(中)							
	上层	Lagntnin A315(四叶, 右)							
搅拌叶轮间距(mm)		98	160	345	590	980	1700	2200	2800
下叶至罐底距(mm)		60	96	210	360	600	1020	1320	1680
档板长×宽×厚(mm)		320×20×1	520×32×1.5	1100×70×1.8	1900×120×2	3300×200×2	5600×340×2	7100×440×2.2	8400×560×2.5
空气分布管		文丘里气-液混合导流管, 见上页设计图							
人孔或料孔(Fmm)		120	150	200	520×350*	520×350*	550×400*	550×400*	550×400*
电机功率(kW)**		0.075/0.1	0.25/0.3	1.5/2	5/7	22/30	100/140	200/280	400/560
搅拌转速(rpm)**		800/900	560/630	340/380	240/265	170/185	120/130	100/112	85/96

*长径×短径, 椭圆形人孔; **细菌和酵母发酵用分子数值, 放线菌和霉菌发酵用分母数值。



空气进出口管道设计计算参数

罐容积 m ³	罐内径 m	液层深度 m	入罐空压 MPa	出罐空压 MPa	标称空量 m ³ /min	工况空量m ³ /min		设计空速 m/s	入罐管径mm		出罐管径mm	
						入罐	出罐		计算	取值	计算	取值
0.01	0.19	0.30	0.12	0.05	0.007	0.003	0.005	6.16	3	4	4	4
0.05	0.32	0.51	0.12	0.05	0.034	0.015	0.023	7.02	7	8	8	8
0.1	0.40	0.64	0.12	0.05	0.068	0.031	0.045	7.49	9	10	11	15
0.5	0.68	1.09	0.12	0.05	0.340	0.155	0.227	8.95	19	20	23	25
1	0.86	1.38	0.12	0.05	0.680	0.309	0.453	9.79	26	25	31	32
2.5	1.17	1.87	0.13	0.05	1.700	0.739	1.133	11.16	37	40	46	50
5	1.47	2.35	0.13	0.05	3.400	1.478	2.267	12.47	50	50	62	65
10	1.85	2.97	0.13	0.05	6.800	2.957	4.533	14.09	67	65	83	80
25	2.52	4.02	0.14	0.05	17.000	7.083	11.333	16.86	94	100	119	125
100	3.99	6.39	0.15	0.05	68.000	27.200	45.333	23.17	158	150	204	200
120	4.24	6.79	0.16	0.05	81.600	31.385	54.400	24.27	166	180	218	200
150	4.57	7.31	0.17	0.05	102.000	37.778	68.000	25.73	177	180	237	250
200	5.03	8.05	0.18	0.05	136.000	48.571	90.667	27.82	192	200	263	250
240	5.35	8.55	0.19	0.05	163.200	56.276	108.800	29.27	202	200	281	300



设计说明

- 凡需要调节流量的阀门如蒸汽阀均使用截止阀，其余阀门根据不同情况使用二通、L形三通或T形三通球阀。
- 12.5 m³及以下容积的发酵罐只需外盘管，15~100 m³发酵罐需内外盘管，100 m³以上容积的发酵罐还需设置两套或两套以上内盘管。内盘管用316L不锈钢煨弯制作，尽量不要焊接。
- 冷却水在内外盘管中的流向应与搅拌方向相反。
- 管道颜色红色代表高压蒸汽，灰蓝色为压缩空气，金黄色为物料，亮绿为冷却水，深绿为回水。
- 独立发酵罐通气管可与物料管共用，两个以上并联的发酵罐通气管与物料管要分开设置。



简便节能发酵罐使用阀门一览表

编号	发酵罐容积					备注			
	500L	2500L	25m ³	60m ³	120m ³	阀门名称	阀门类型	阀门公称口径(DN, mm)	
1	按通过流速15~20 m/s确定					总蒸汽阀		不锈钢球阀	即根据发酵罐总容积确定
2	按通过流速1~1.5 m/s确定					总冷水阀		不锈钢球阀	即根据发酵罐总容积确定
3	25	40	80	125	150	空气过滤器空气阀	不锈钢球阀		
4	10	15	20	25	32	空气过滤器蒸汽阀	不锈钢球阀		
5	10	10	15	15	15	预过滤器排水阀	不锈钢球阀		
6	10	10	15	15	15	精过滤器排水阀	不锈钢球阀		
7	25	40	80	125	150	空气罐底入罐/蒸汽阀	T型三通球阀		
8	15	20	25	32	40	空气罐顶入罐阀	不锈钢球阀		
9	40	65	125	180	250	发酵罐排气阀	不锈钢截止阀		
10	15	25	40	65	80	接种分配站蒸汽/空气阀	L型三通球阀	按最大发酵罐确定	
11	20	32	65	80	125	接种分配站物料阀	T型三通球阀	阀体用316L不锈钢	
12	15					接种分配站末端阀	不锈钢球阀		
13	15	25	40	65	80	盘管(夹套)回水阀	L型三通球阀		
14	10					冲视镜蒸汽阀	不锈钢球阀		
15	25	40	80	125	150	罐底空气/放料阀	L型三通球阀	阀体用316L不锈钢	
16	15	25	50	65	80	盘管(夹套)冷水/排水阀	L型三通球阀		



简便节能发酵罐设计的优点

- 罐内部件少，既增加罐内空间，又减少死角。
- 使用的阀门数量少，简化了操作。
- 球阀无死角，且不易渗漏，减少了因阀门造成染菌的可能性。
- 罐内外螺旋盘管水流方向与搅拌方向相反，且盘管内的水容易放空，从而既能提高传热效率，又减少灭菌蒸汽消耗。
- 新型空气分布系统设计既可使空气得到很好的分散，又不在罐底产生固形物沉积。
- 新型搅拌系统组合设计既提高混合效率又节能。
- 降低发酵罐制作和安装成本。
- 易于标准化，使工艺放大更易获得成功。



小、中、大罐容积比例的探讨

- 不同的发酵罐制造厂家，小、中、大罐容积的比例五花八门，也是造成实验结果放大困难的重要原因。
- 过去的发酵罐，一般均采用1：10：100的比例设计小、中、大罐的容积，但随着发酵罐容积的不断增大，按这一比例将使小罐的容积过于庞大，加大种子的供应量，也增加接种时间和接种染菌的风险。
- 由于种子制备的限制，小罐的接种量往往很小，致使小罐培养周期延长，增加了小罐种子质量的不确定性，而相比之下，中罐的接种量很大，致使中罐生长过快，有时还来不及判断无菌实验结果。因此可适当减少小罐的容积，加大中罐的容积。
- 发酵过程优化研究结果表明，适当加大大罐的接种量，有利用缩短发酵周期，提高发酵产量。因此，合理的小、中、大罐容积比例应为1：40：200。



冷却盘管形式的探讨

- 目前大多数发酵罐制造厂家采用的都是垂直式盘管，其优点是可以起部分挡板作用，并可通过人孔取出罐外检修。但这种盘管的水流方向不能保持与搅拌发酵液的流向逆行，从而影响传热效率。另外盘管内的水不易放出，要放出必须在盘管下方增设连通放水管，产生很多焊接点，成为染菌隐患。
- 也有采用小圈水平螺旋盘管的，但仍然不能始终保持水流方向与搅拌发酵液的流向逆行，且加工制作困难，还牺牲了挡板作用。
- 建议采用大水平螺旋盘管加挡板，其缺点是不能取出罐外进行维修，因此必须尽量减少焊接点。



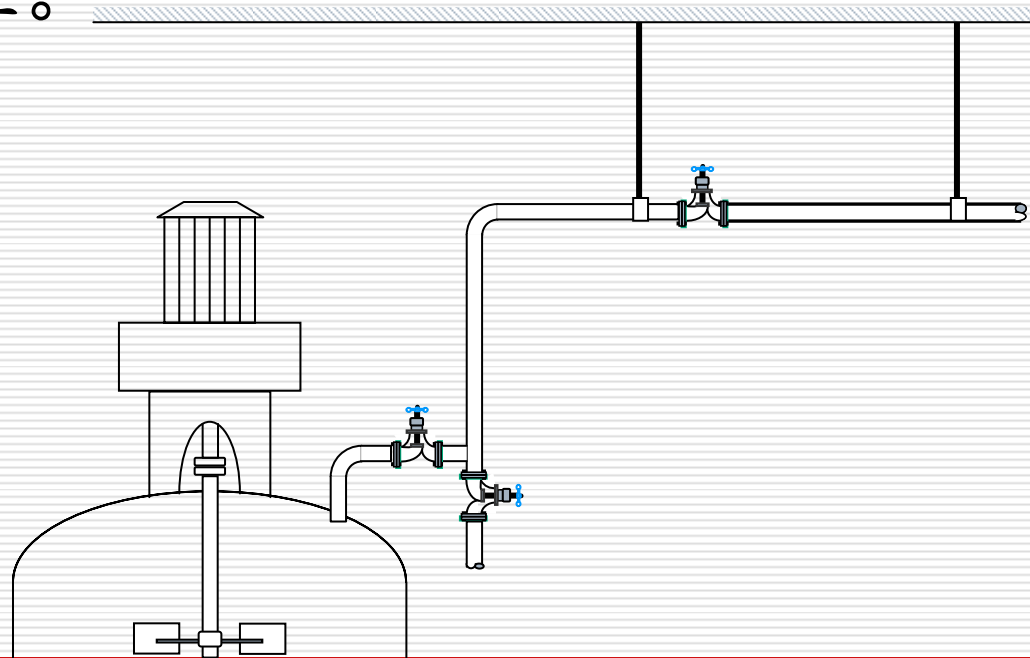
发酵罐的安装

- 10 m³及以上的发酵罐要在一楼落地安装，并做好牢靠的基础。10 m³以下的发酵罐可用侧耳固定在楼板上，但楼板须用槽钢加固。安装原则是确保操作时无振动。
- 所有发酵罐的安装都必须确保罐顶法兰或减速机基座面水平，搅拌轴垂直，这对于减少震动、保持轴封的密封和延长减速机的寿命至关重要。
- 尽量减少室内的排气（汽）口，以改善人员操作环境和仪器、仪表、控制元器件的运行环境，确保运行稳定可靠。因此，如无特别必要，请不要使用带小辫子的阀门。



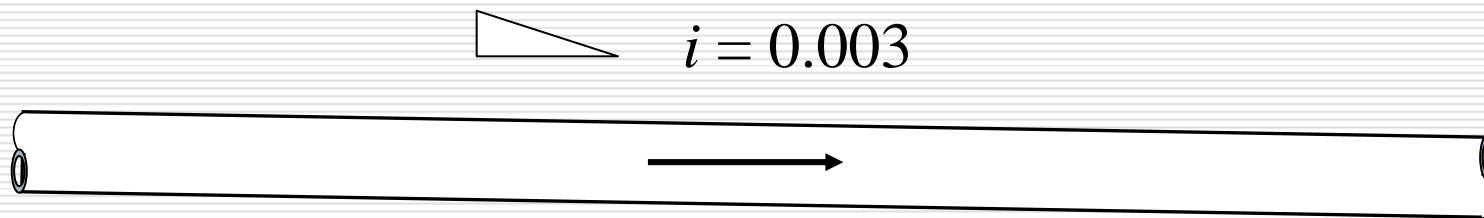
发酵管道的设计与安装（一）

- 与发酵罐及其他转动设备如泵、风机、压缩机等直接连接的管道，应安装管道支架，管道阀门的重量不得作用在设备上，而应主要作用在支架上。



发酵管道的设计与安装（二）

- 管道沿流体流动方向应有3‰~5‰的斜度，以免管道内积液。标注为 $i=0.003$ 。同时要合理布置支架及安装密度，防止管道出现向下弯曲从而产生积液的情况。



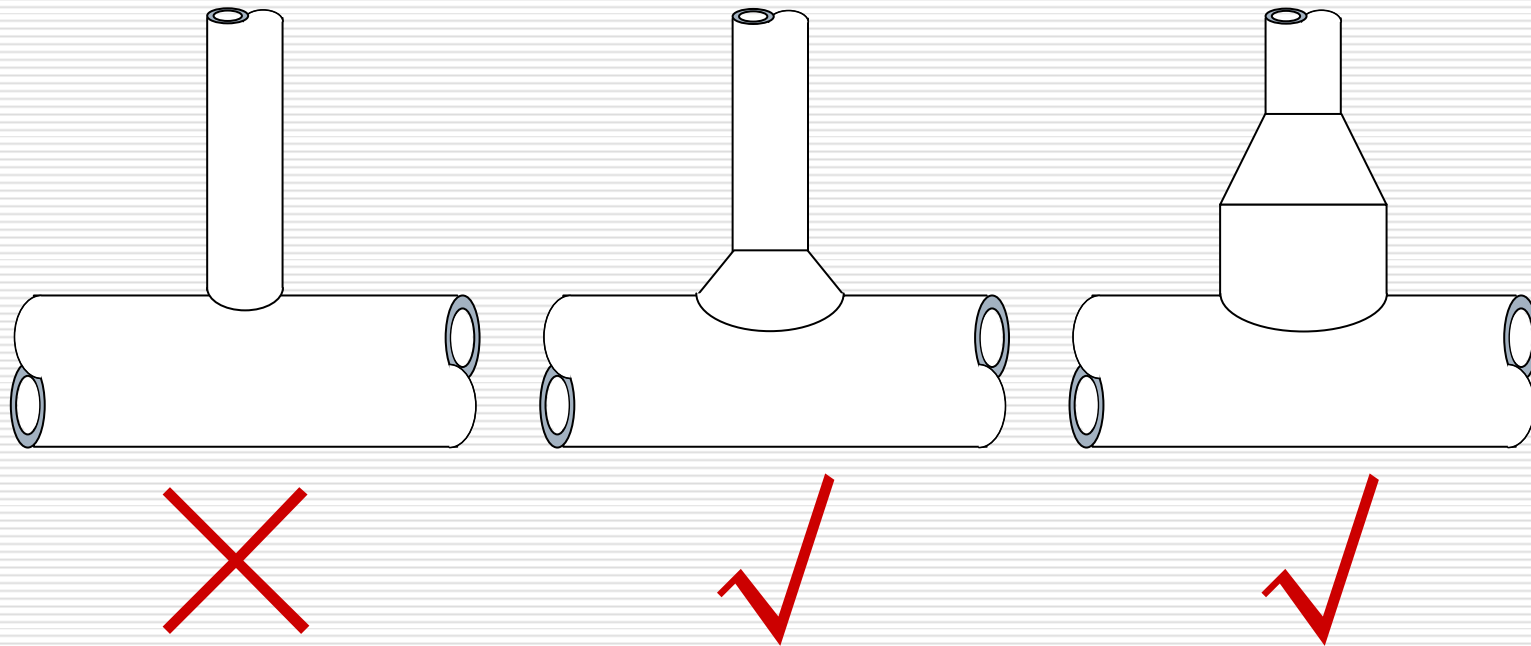
发酵管道的设计与安装（三）

- 为了防止管道积液，变径的场合应使用偏心大小头。



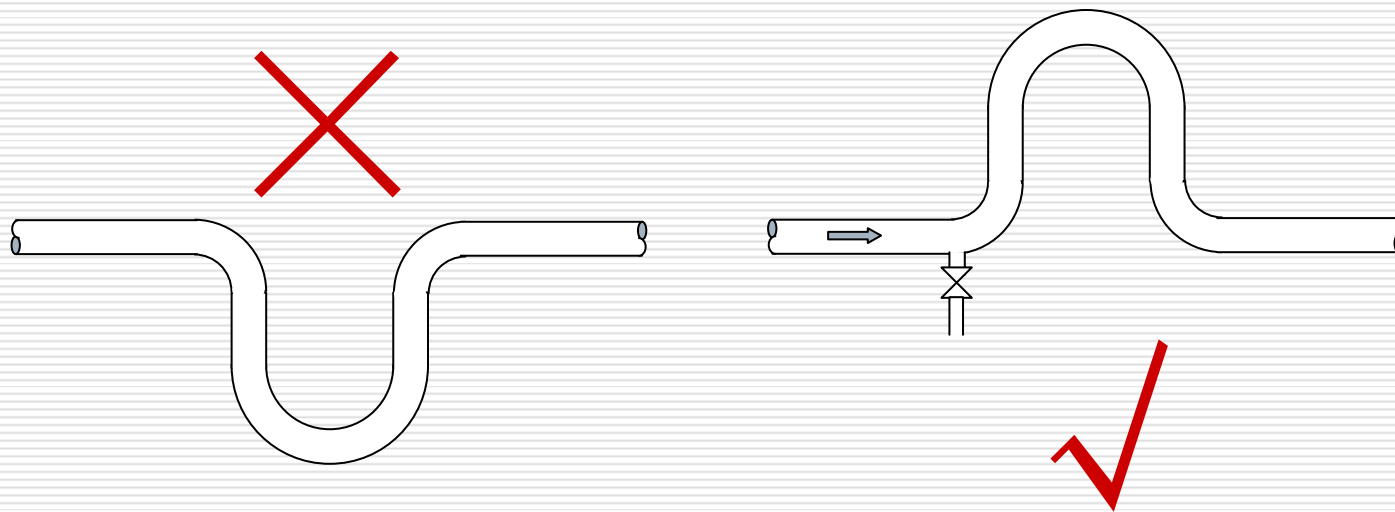
发酵管道的设计与安装（四）

- 在大管道上安装小支管，应该使用变径大小头连接，或先接同径三通，再以大小头连接以降低流体传输阻力。



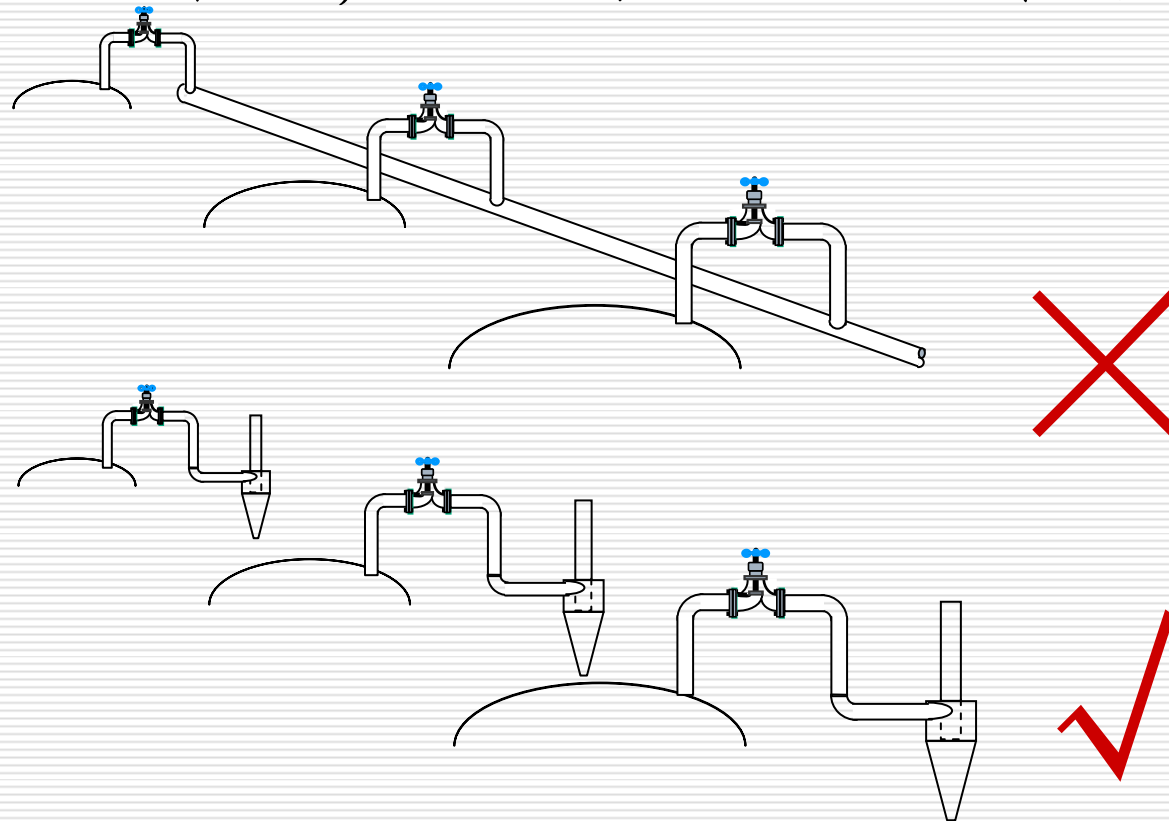
发酵管道的设计与安装（五）

- 管道不能成U形，否则无法清除U形管道内的积液。必须在水平方向拐弯或须安装热胀补偿器时可采用平躺U形或倒U形。必要时还应在倒U形管的上游一侧安装排液管、阀。



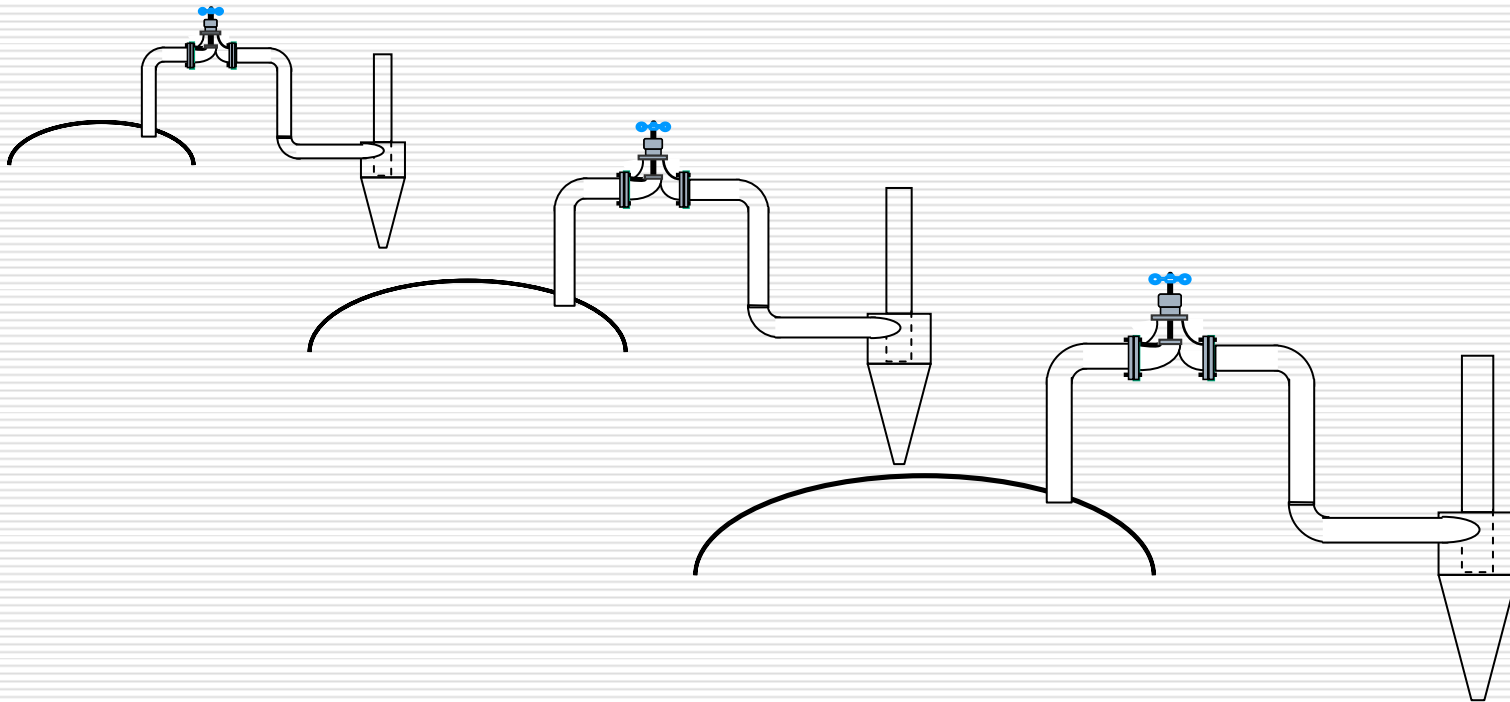
发酵管道的设计与安装（六）

- ❑ 发酵罐的排气管道要各罐单独配置，不得使用公用总管道，以防背压引起的排气倒流。



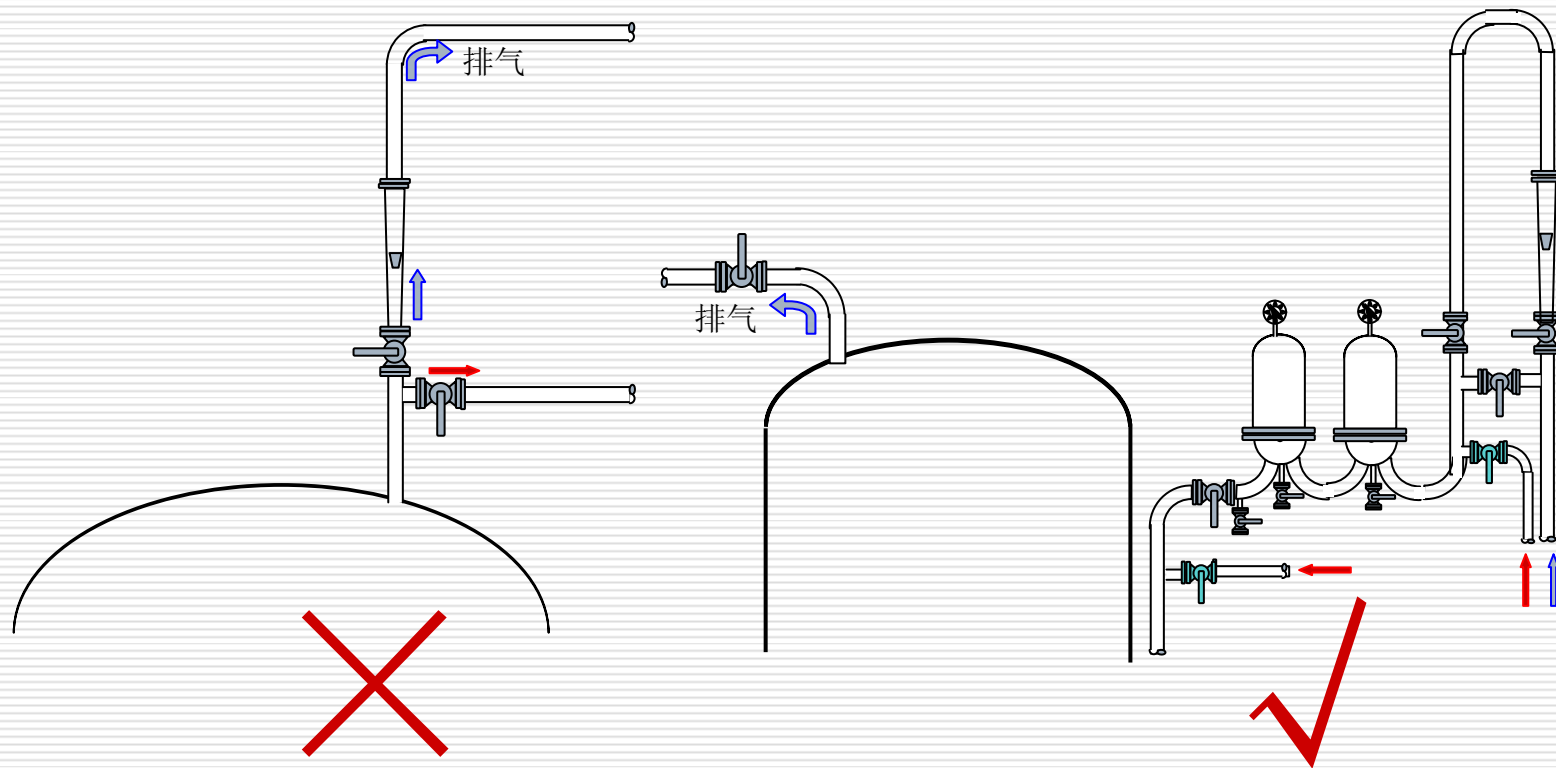
发酵管道的设计与安装（七）

- 发酵罐的排气必须经汽水分离器排放，对于病原菌和基因工程菌，还得安装过滤器除菌或经化学灭菌剂灭菌才能排放到大气。



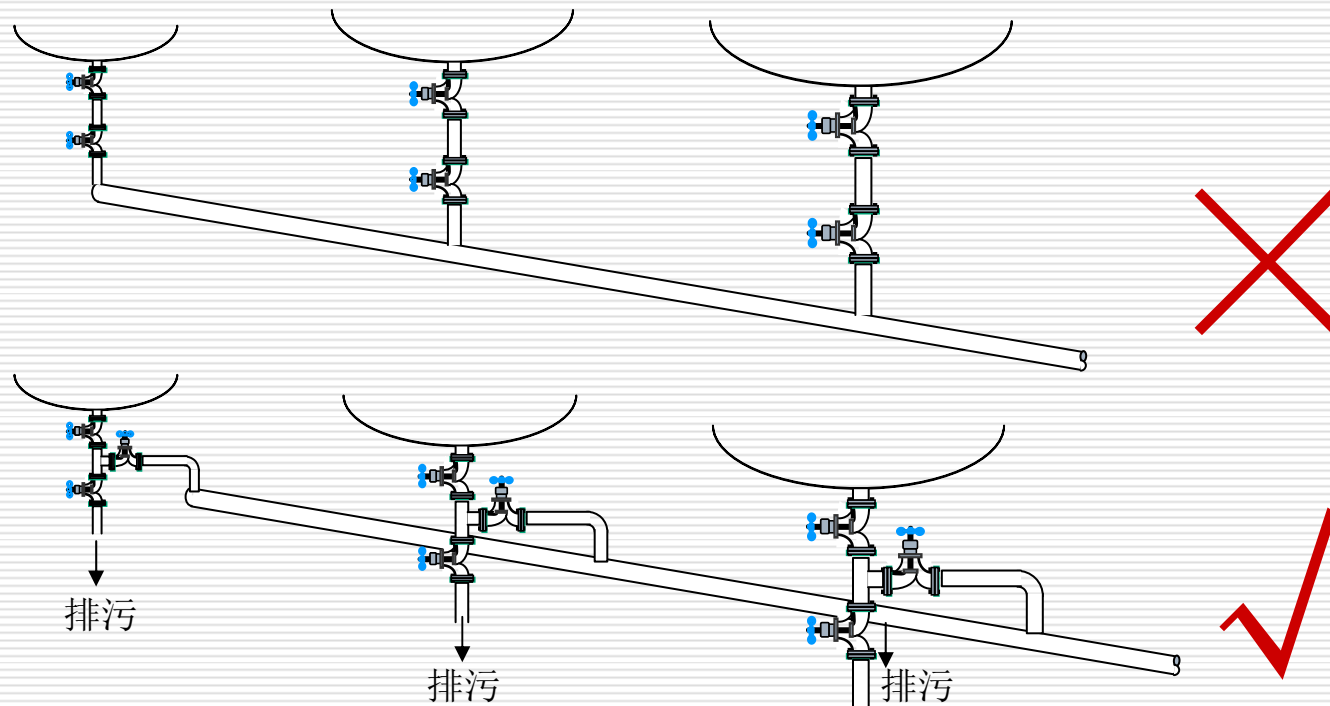
发酵管道的设计与安装（八）

- ❑ 转子流量计不能装在发酵罐排气管道上，而应装在发酵罐进气过滤器前的管道上。



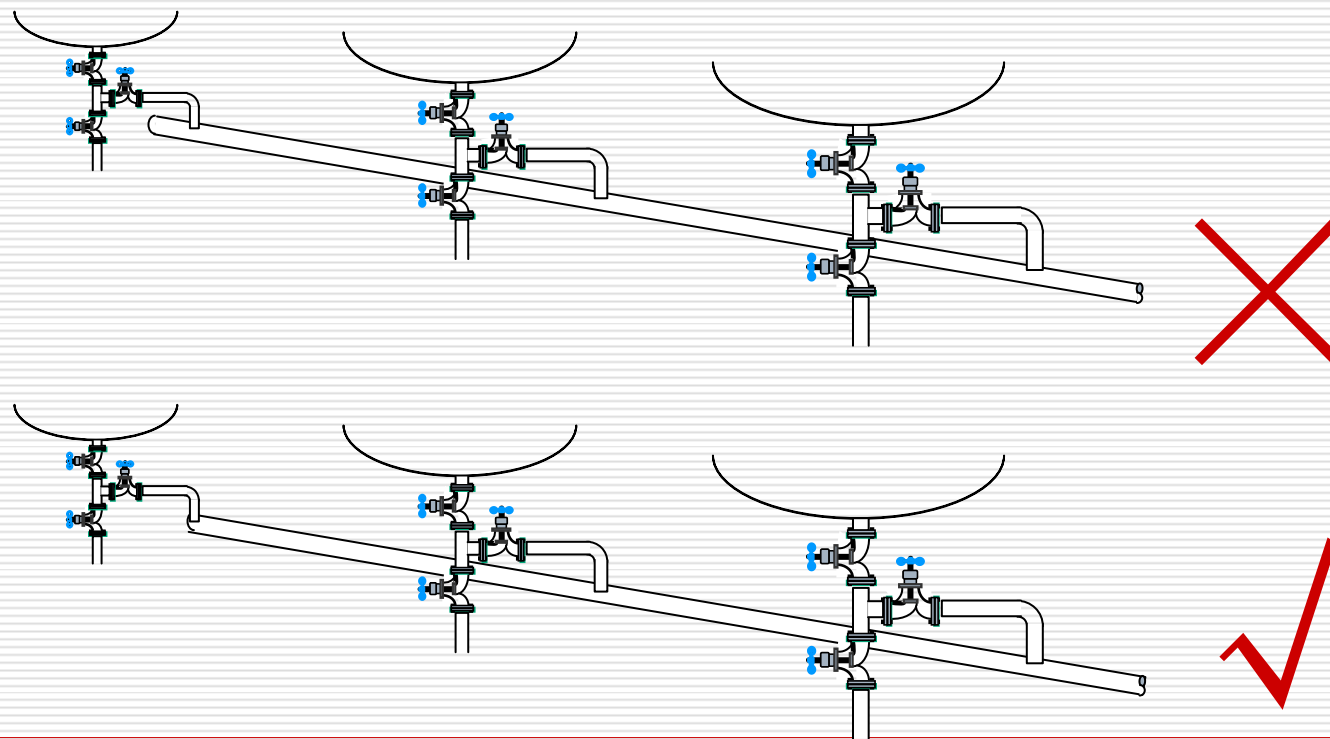
发酵管道的设计与安装（九）

- ❑ 发酵罐的排污管道也不能用总管道串连在一起，而应该分别排污，以免由于背压造成污水倒流。



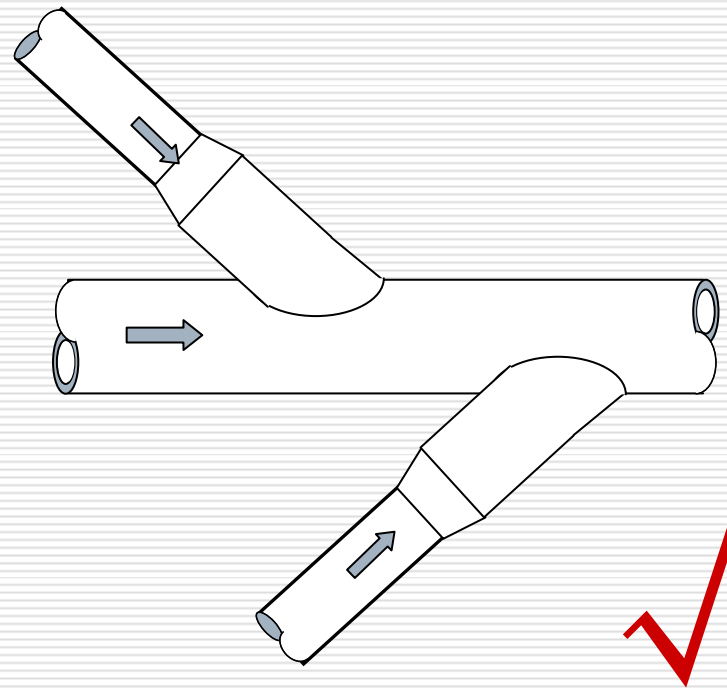
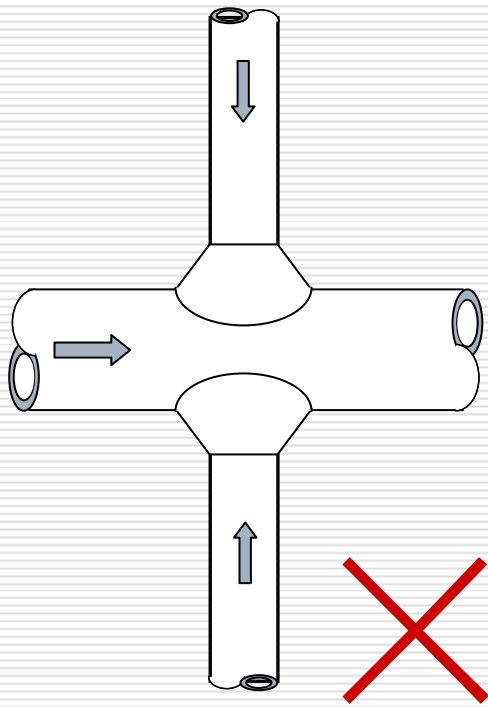
发酵管道的设计与安装（十）

- 发酵无菌管道无论是物料管、空气管和蒸汽管，都不能出现冲洗不净的盲管



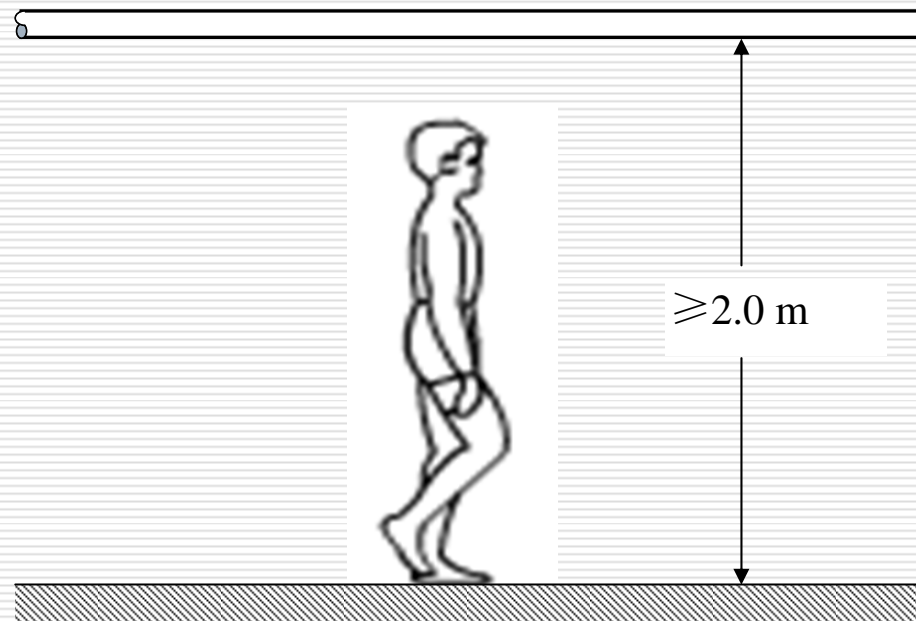
发酵管道的设计与安装（十一）

- 并流管的安装不得逆向并流，而应同向并流，并顺流向倾斜。



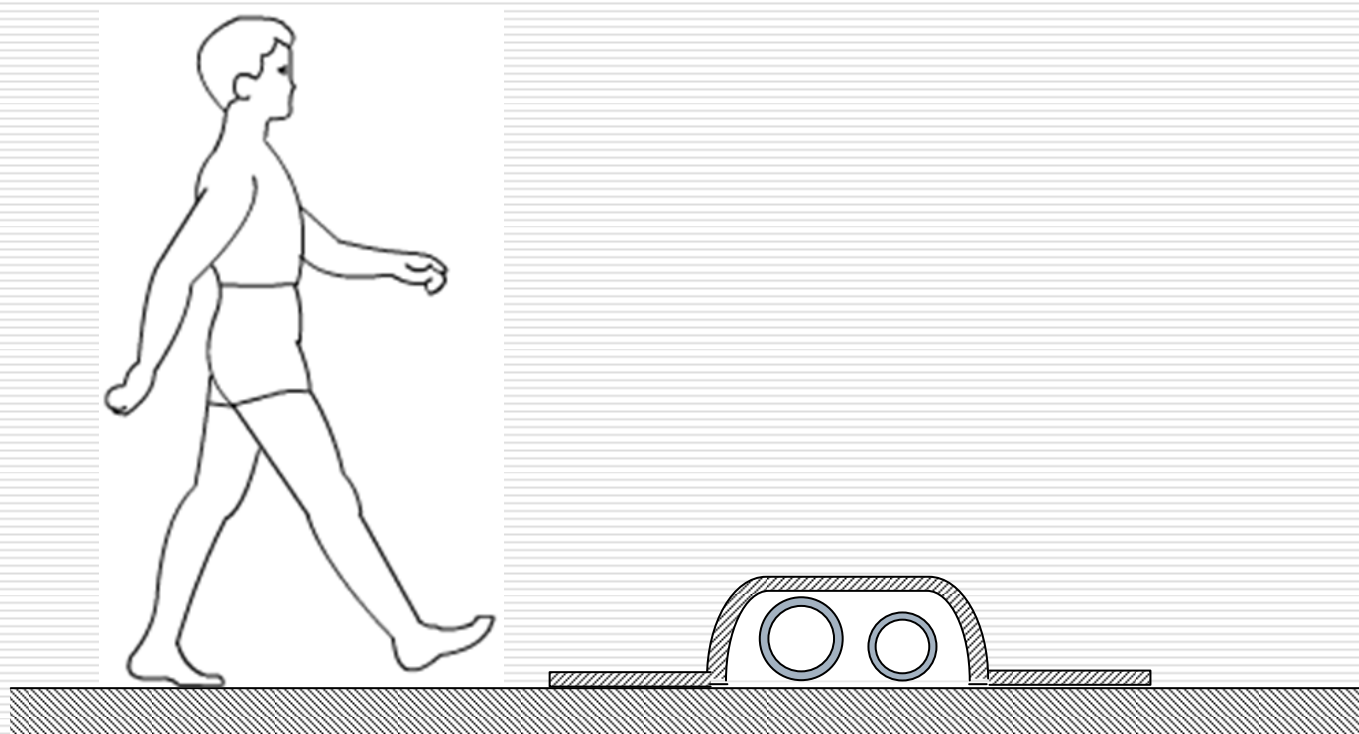
发酵管道的设计与安装（十二）

- 人流通道上管道的安装高度应不低于2米，以便安全通行。



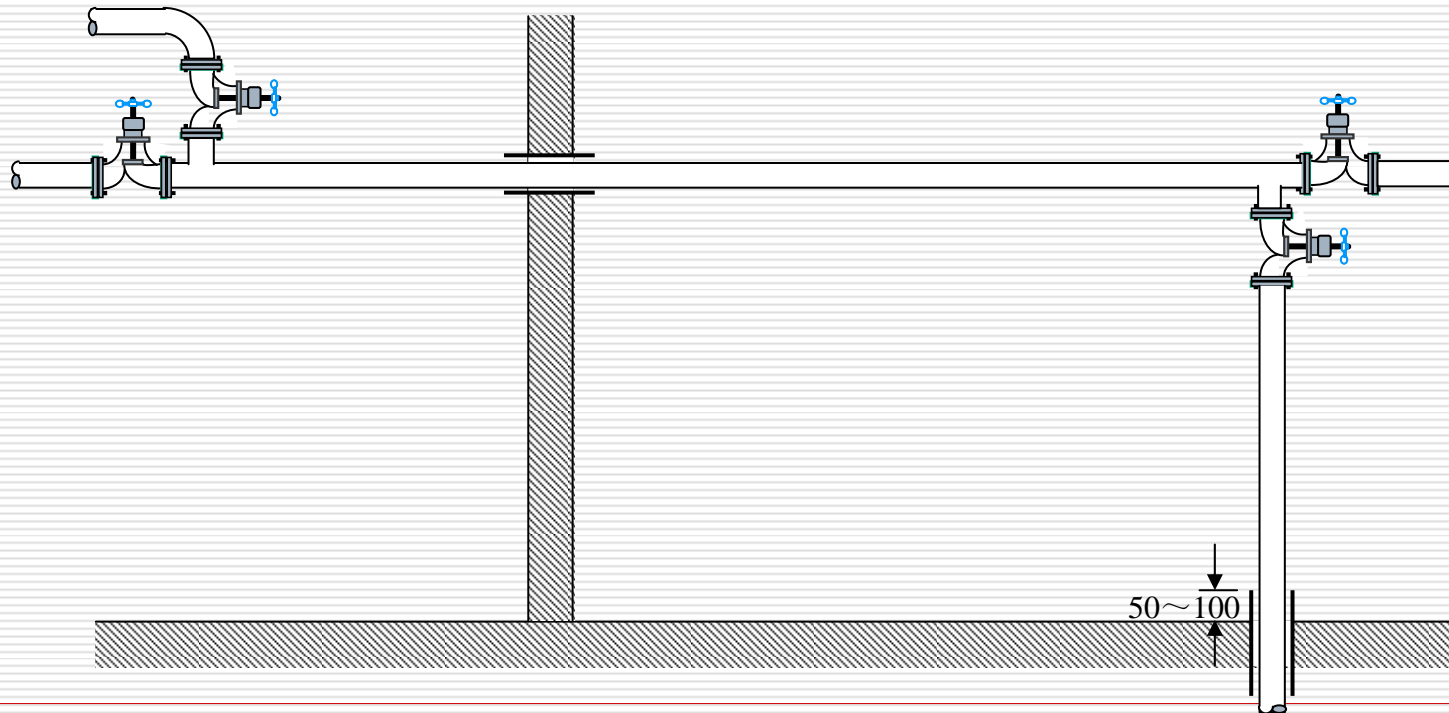
发酵管道的设计与安装（十三）

- 人流通道的地面不应设置管道，不可避免时应设置跨越桥道。



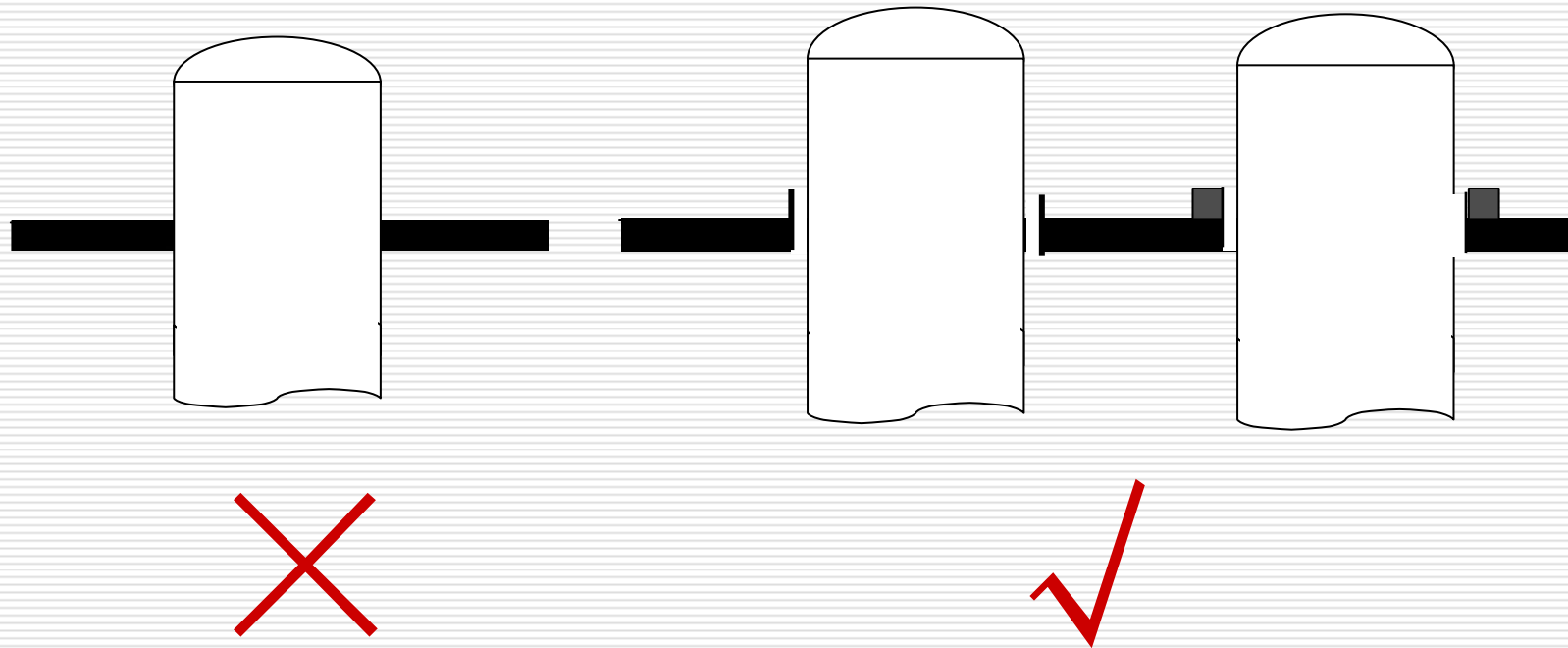
发酵管道的设计与安装（十四）

- 管道穿墙或穿地时，须加套管。穿地套管应高出地面50~100 mm。必要时在管道与套管之间添加绝缘材料或密封材料。



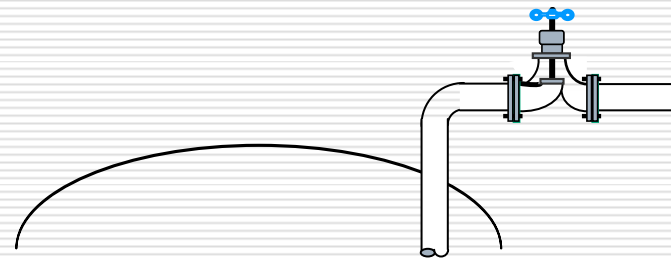
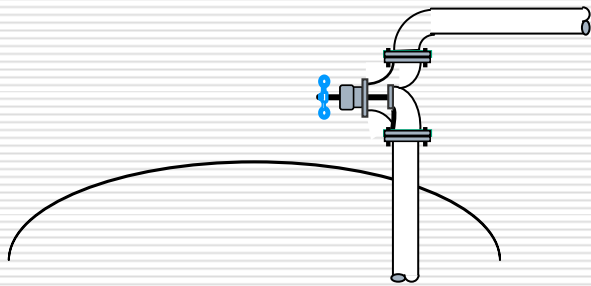
发酵管道的设计与安装（十五）

- 穿过楼板安装的设备在紧挨设备的四周必须设置高出楼面50~100 mm的围挡。



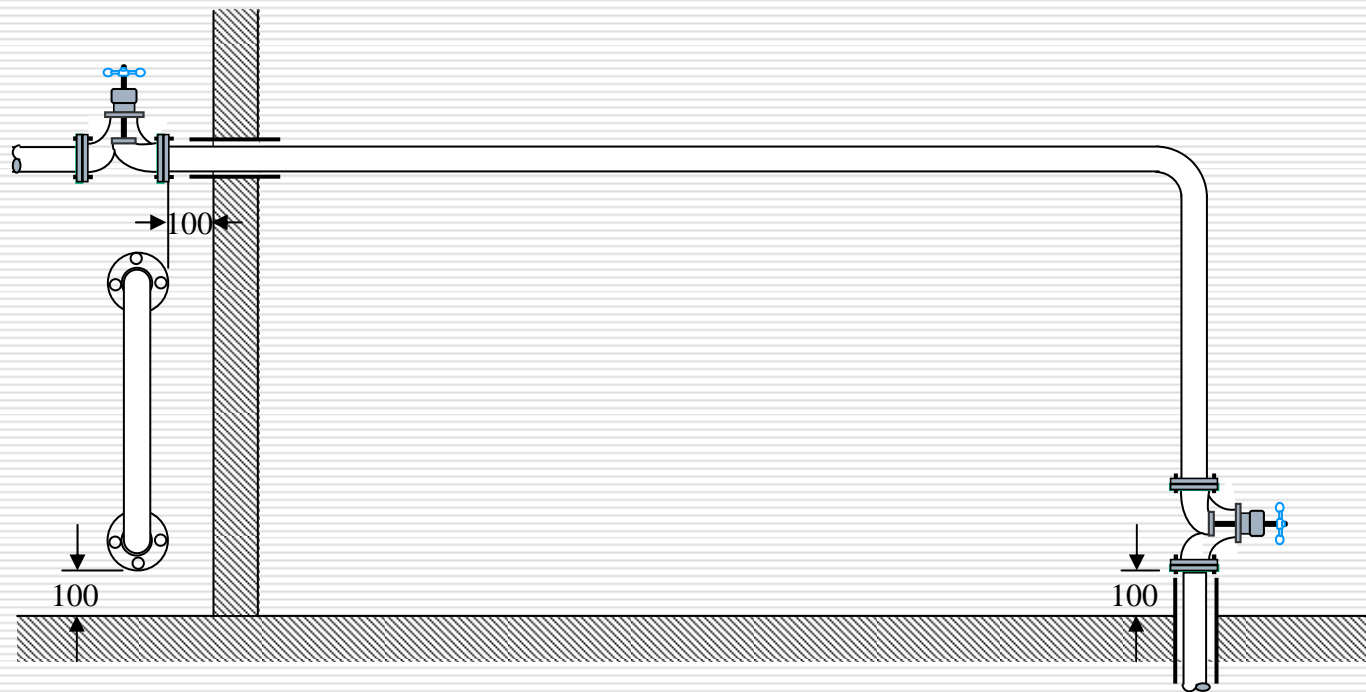
发酵管道的设计与安装（十六）

- 发酵罐及其他需要检修的设备在其水平投影面正上方都不应安装不可或不便拆卸的管道和阀门，以免影响吊装。



发酵管道的设计与安装（十七）

- 靠墙和靠地面设置的法兰，法兰边沿距墙面或地面的距离不应小于100 mm，以便于拆卸操作。



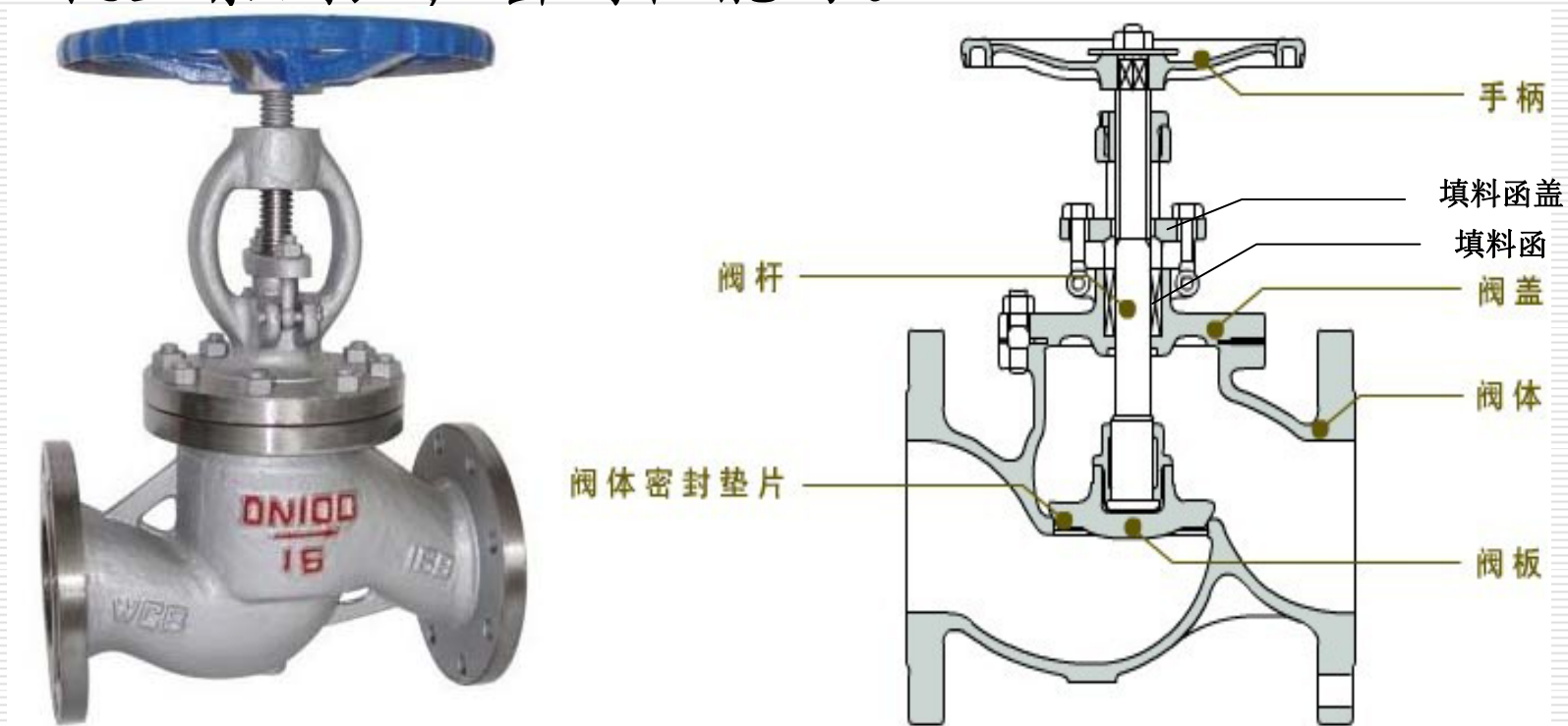
发酵管道的设计与安装（十八）

- 发酵罐排气的绝对压力一般为0.12~0.15 MPa，而进气的绝对压力随发酵罐大小不同在0.2~0.3 MPa之间变化，也就是说，进气压力是排气压力的1.7~2.5倍。
- 因为气体是可压缩的，按波义尔-马略特定律其体积与压力成反比，故要保持进、排气流量相同，排气管道的配管直径应为进气管道的 $1.7^{0.5} \sim 2.5^{0.5} = 1.3 \sim 1.6$ 倍。
- 举例来说，如果小、中、大罐进气管道直径分别是DN25、DN65和DN150，那么排气管道直径应分别为DN32、DN80(或DN 100)和DN200(或DN250)。



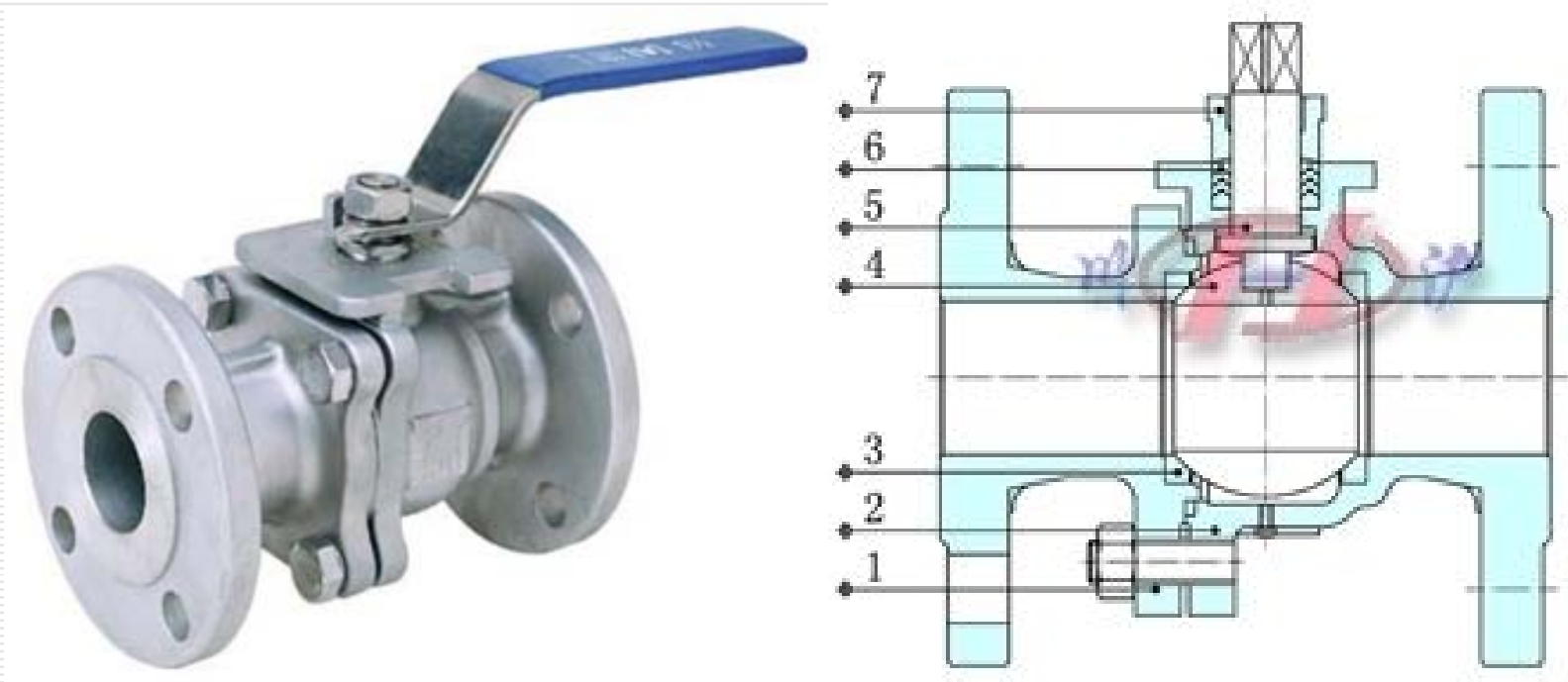
发酵阀门的选型与安装（一）

- 在需要精确调节流量的场合一般使用截止阀，特别是阀板带聚四氟乙烯密封垫圈的截止阀（又称抗生素阀），密封性能好。



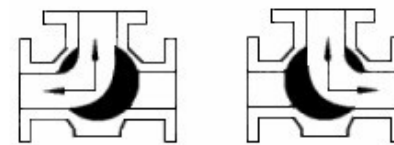
发酵阀门的选型与安装（二）

- 在不需精确调节流量的场合可使用球阀，其结构简单，密封性好，无死角，使用寿命长。

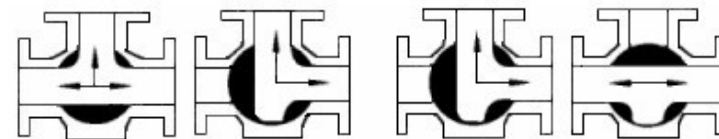


发酵阀门的选型与安装（三）

- 在需要切换不同流体如蒸汽与空气、蒸汽与物料、空气与物料，而不需精确调节流量的场合，使用L型或T型三通球阀，可起一阀顶两阀的作用。



L型三通球阀流向图



①

②

③

④

T型三通球阀流向图



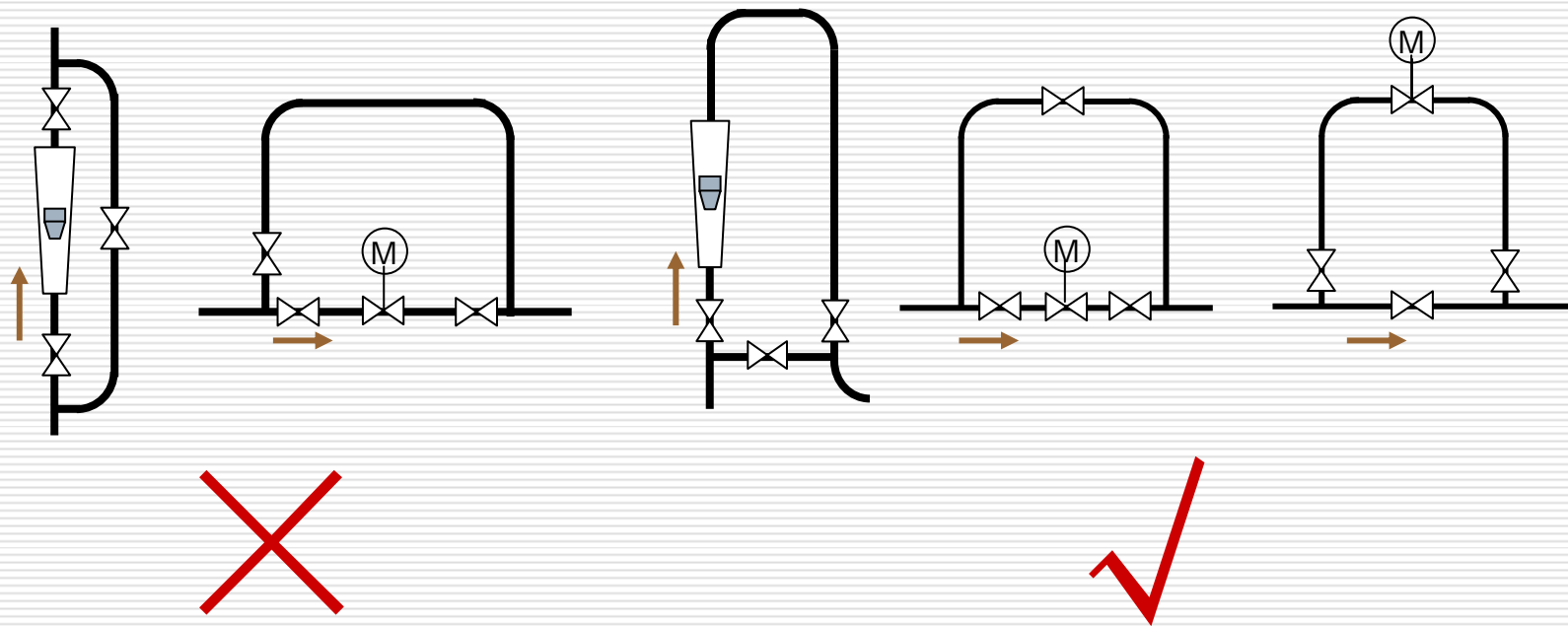
球阀的密封材料

- 球阀结构简单，没有死角，应该是发酵工厂理想的阀门。但如果密封材料质量不好，则容易发生渗漏。所以关键是选择优良的密封材料。
- 所选材料除了密封性能好外，还要耐高温、耐磨损、耐腐蚀、抗溶剂、自润滑性能好。
- 聚四氟乙烯是一种较好的材料，可在 $-20\sim 250^{\circ}\text{C}$ 范围内使用，对除液态钠和液氟外的所有化学品稳定，且摩擦系数小。
- 对聚苯材料是各项性能指标均优于聚四氟乙烯的新型优质材料，耐高温可达 400°C 以上，使用寿命是聚四氟乙烯的4~5倍，用于航天工业的火箭发动机上。
- 对聚苯与聚四氟乙烯的复合材料也是一种优良密封材料，其性能介于二者之间。



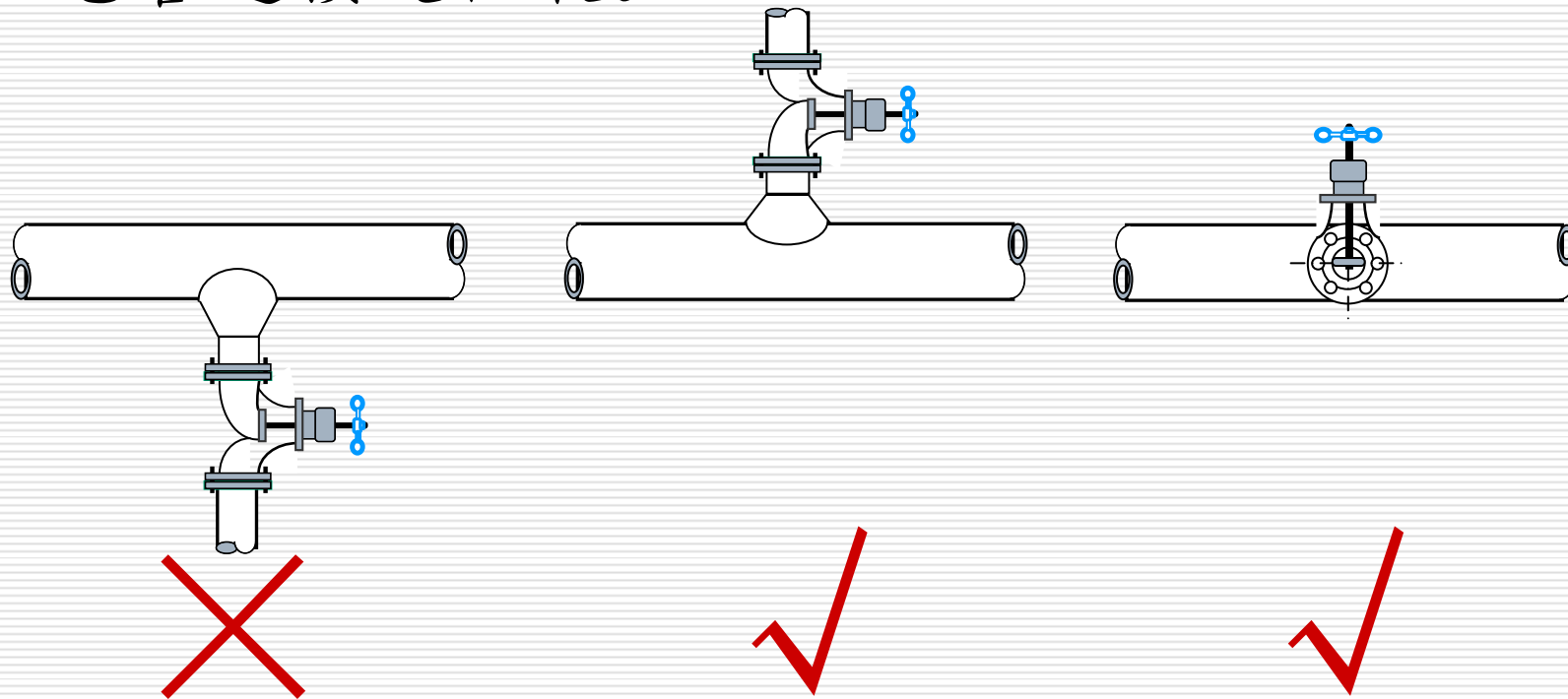
发酵阀门的选型与安装（四）

- 调节控制阀和执行机构为检修方便须安装旁路，但旁路阀应水平安装，以免积液。



发酵阀门的选型与安装（五）

- 在垂直支管上安装阀门，支管应位于横管上方，或水平安装，以免阀门关闭后在支管与总管连接处积液。



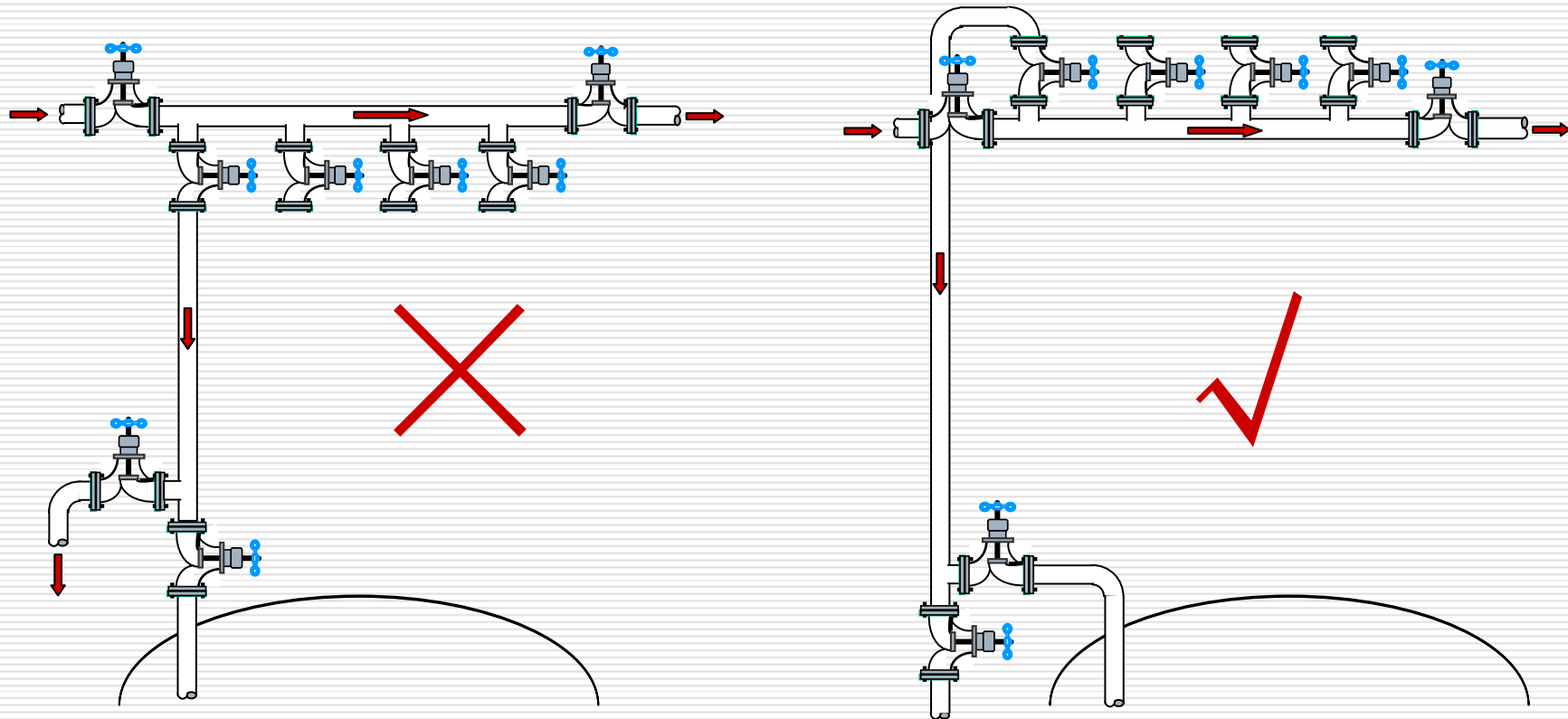
发酵阀门的选型与安装（六）

- 安装用蒸汽、空气、氮气等对物料管道进行吹扫的支管时，吹扫入口和出口阀门都应紧靠物料管道，吹扫方向应为管道倾斜方向。



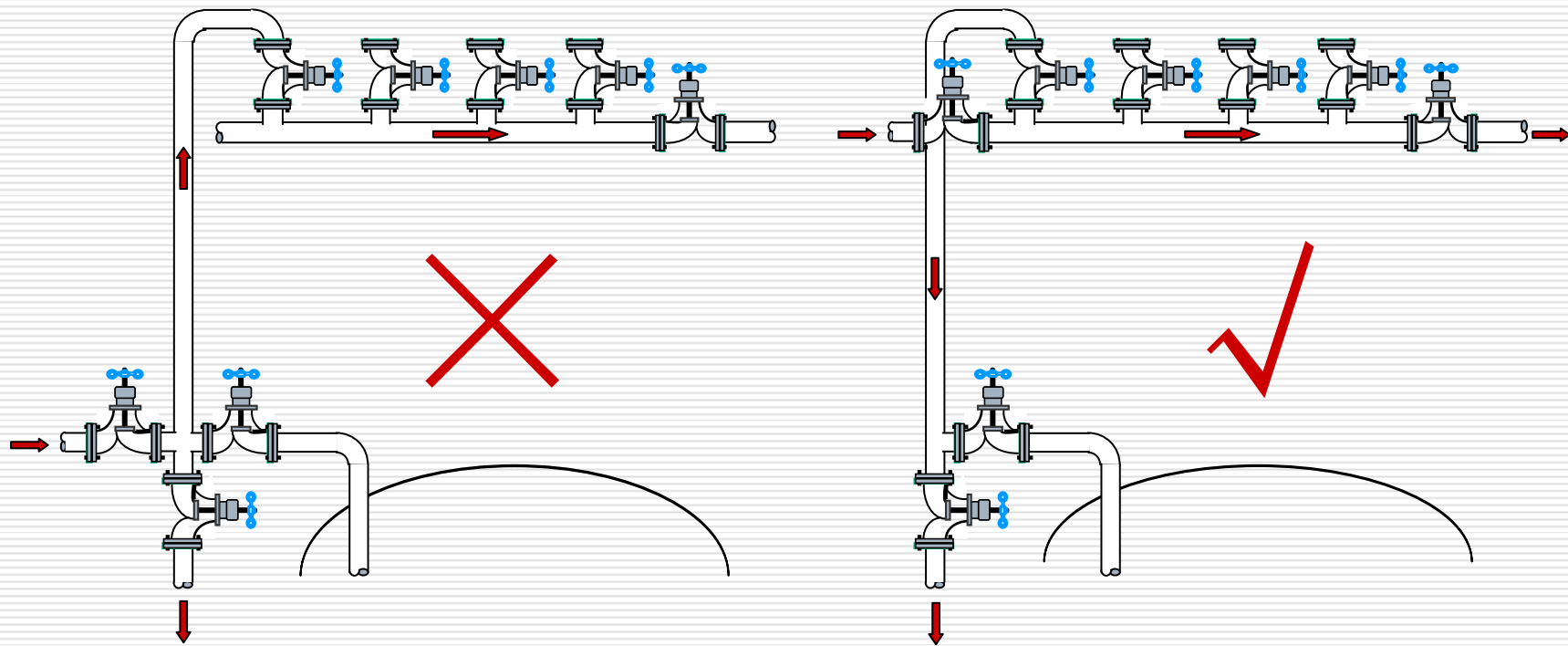
发酵阀门的选型与安装（七）

- 管道、阀门的设计安装应使吹扫达到管道的每个角落，而没有死角。



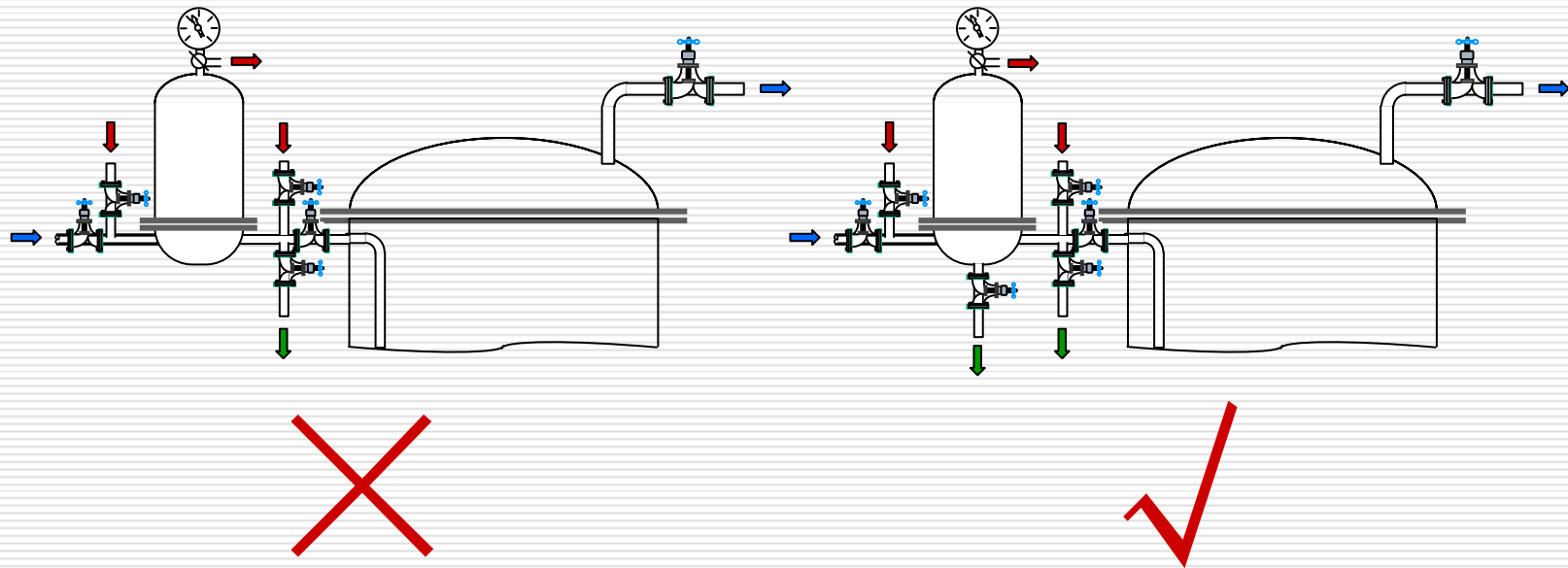
发酵阀门的选型与安装（八）

- 吹扫应顺流体方向自上而下，而不应该自下而上。



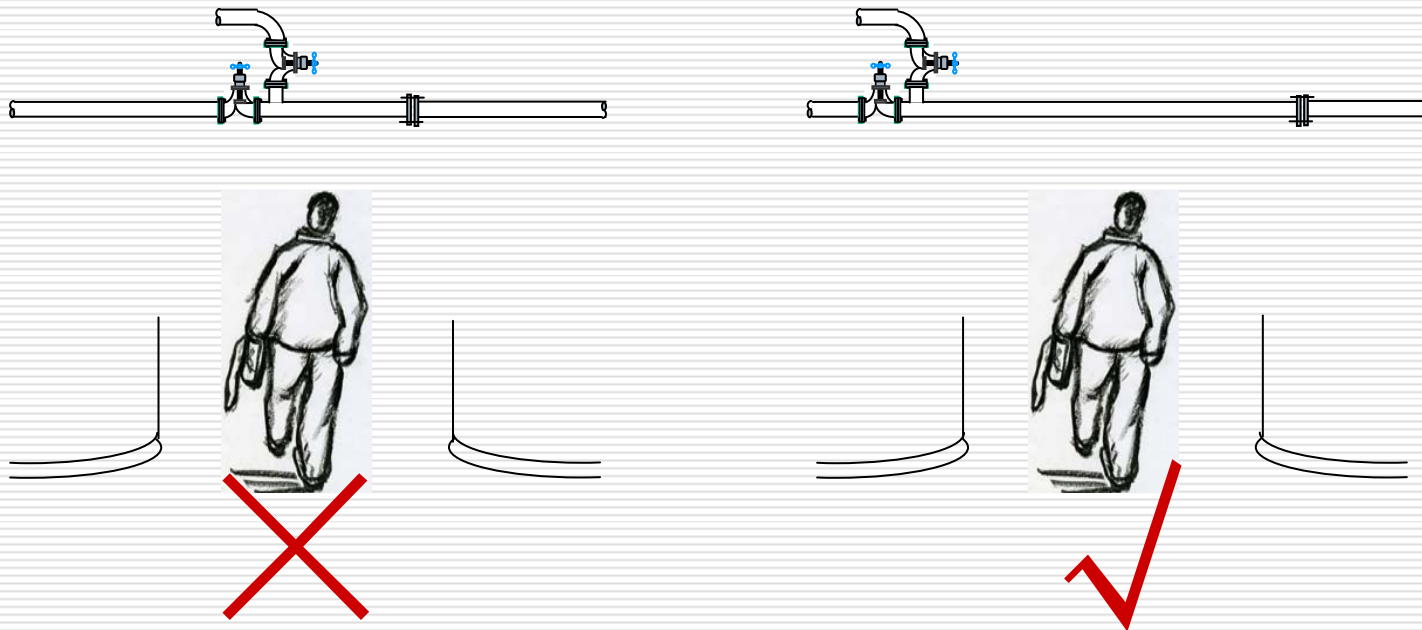
发酵阀门的选型与安装（九）

- 在空气过滤器等要求使用干燥蒸汽的场合，应在蒸汽入口管道或设备的最低位置安装排放冷凝水的管道和阀门。



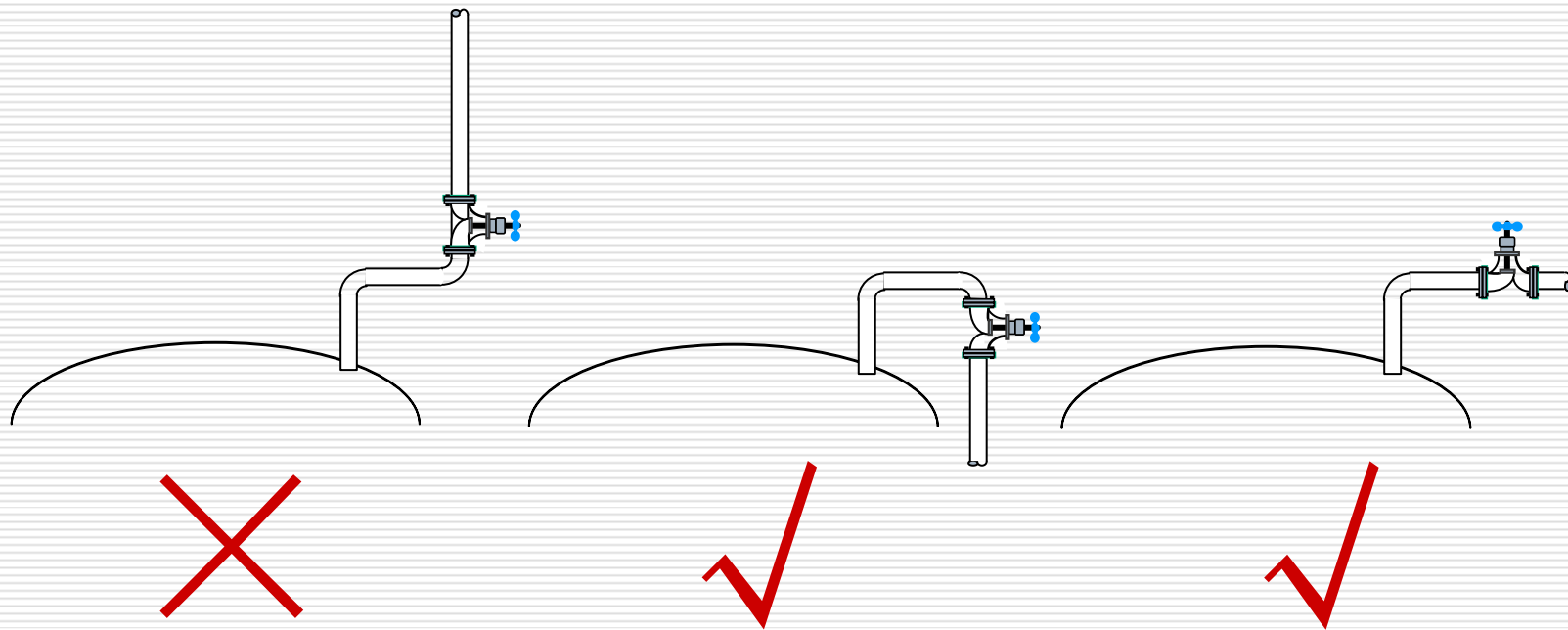
发酵阀门的选型与安装（十）

- 管道特别是蒸汽管道、腐蚀性流体管道上的阀门、法兰、螺纹连接处不得设置在人流通道的上方，以免发生泄漏时伤人。



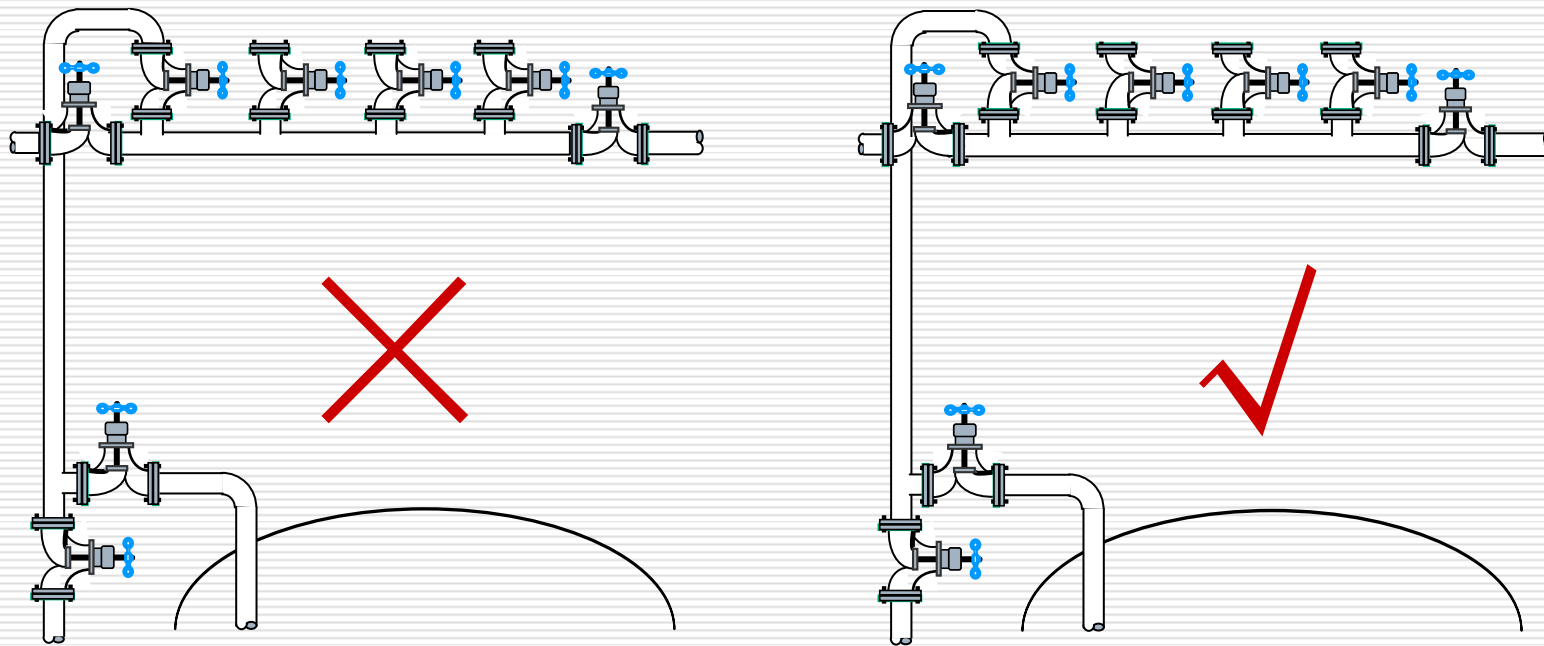
发酵阀门的选型与安装（十一）

- ❑ 发酵罐排气阀们不能装在上排的垂直管段，而应该装在水平管段或下排的垂直管段，以免因背压造成回流。

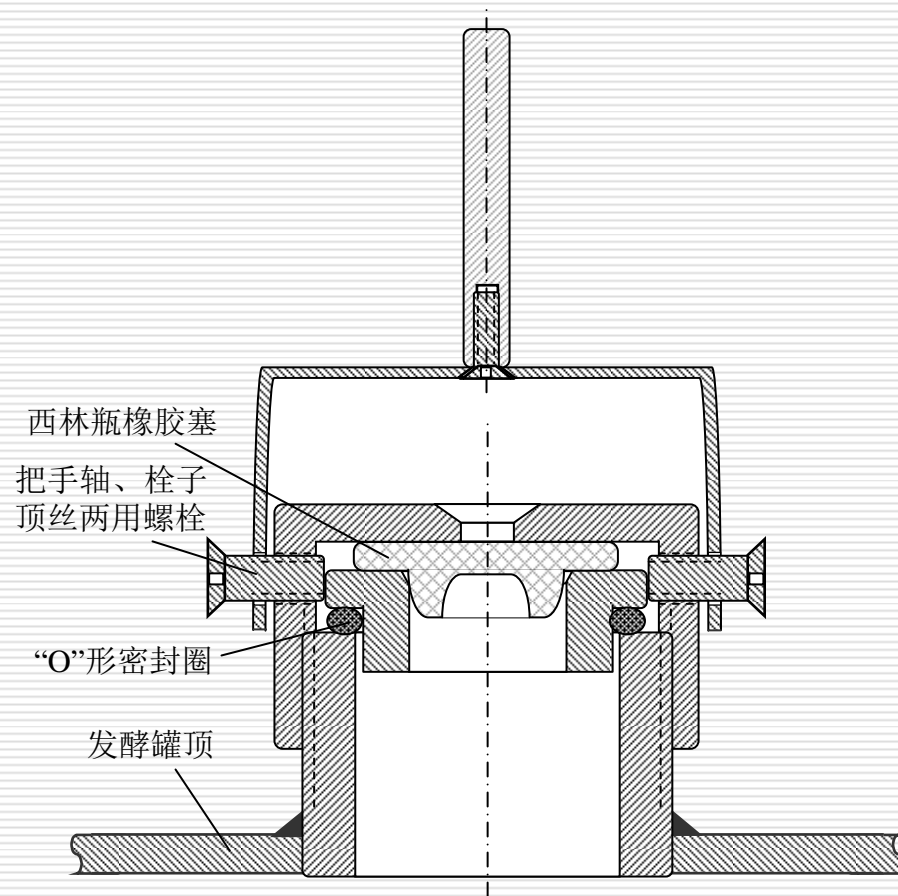


发酵阀门的选型与安装（十二）

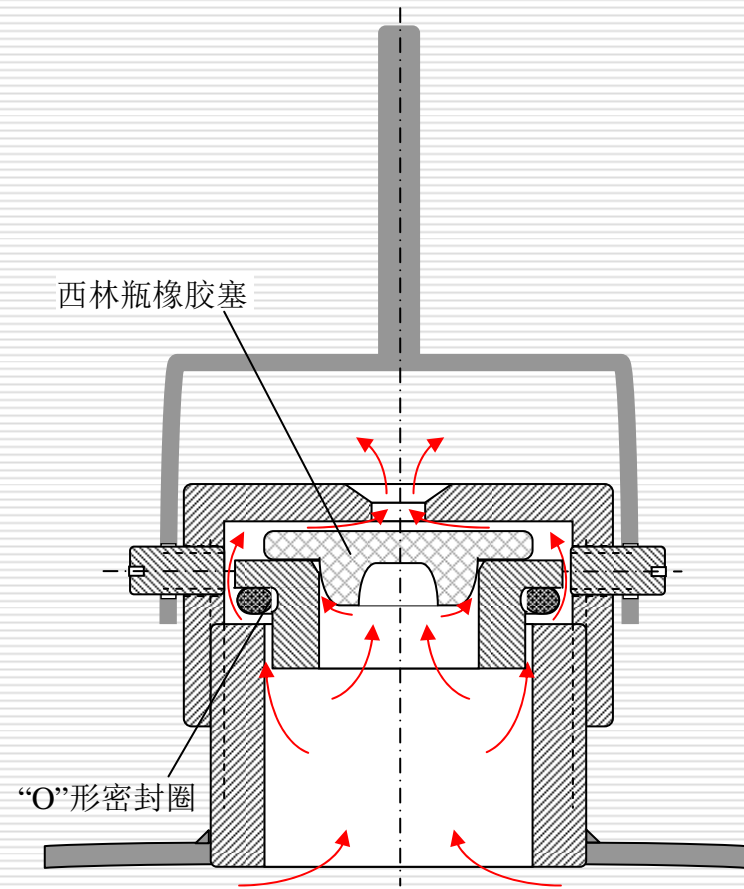
- 紧挨发酵罐和无菌管道的非常开截止阀，无论流体方向如何，一般情况下都应该阀芯朝向发酵罐和无菌管道，长开阀除外。



发酵种子罐两用接种口的设计

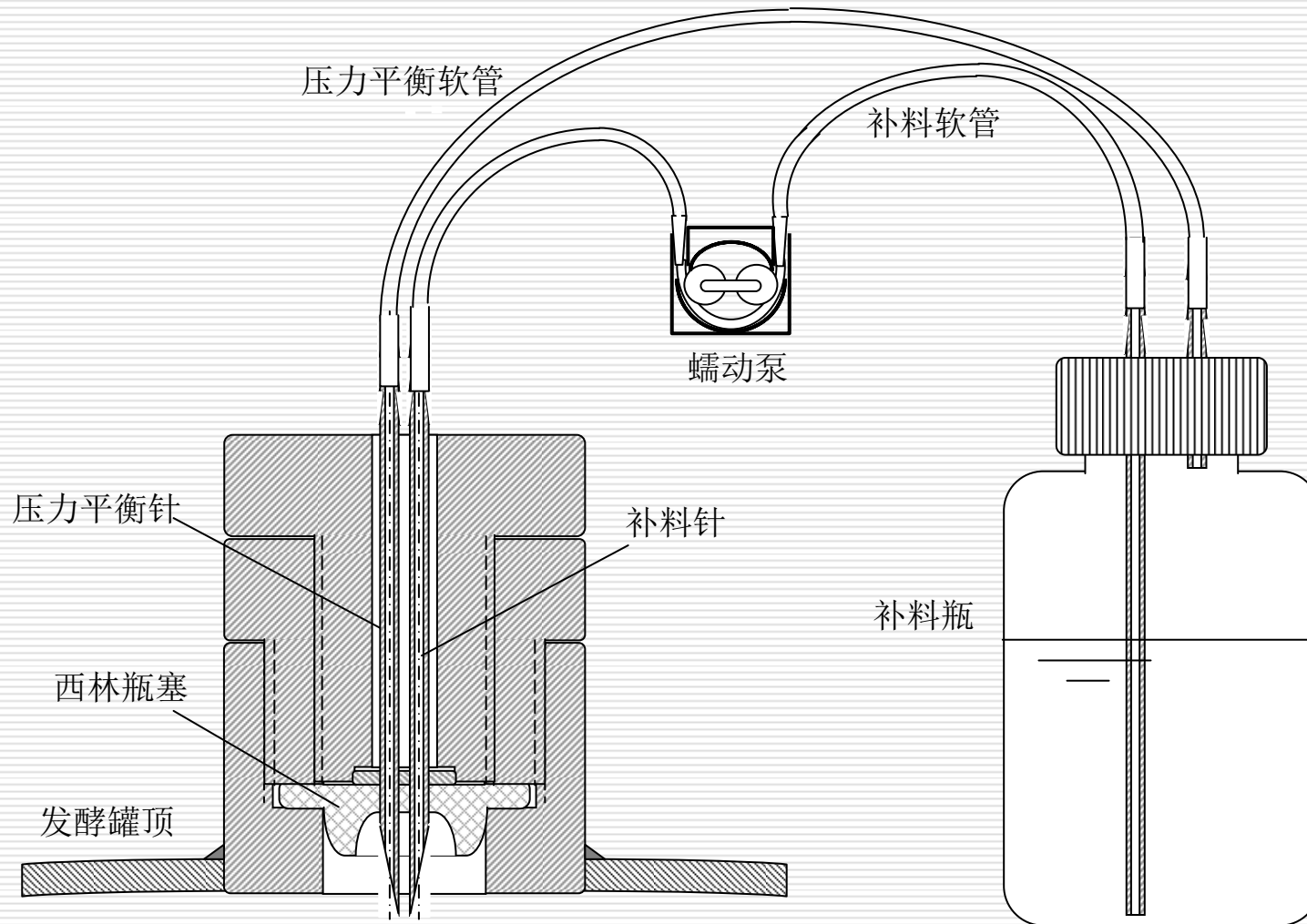


火圈、压力差两用接种口

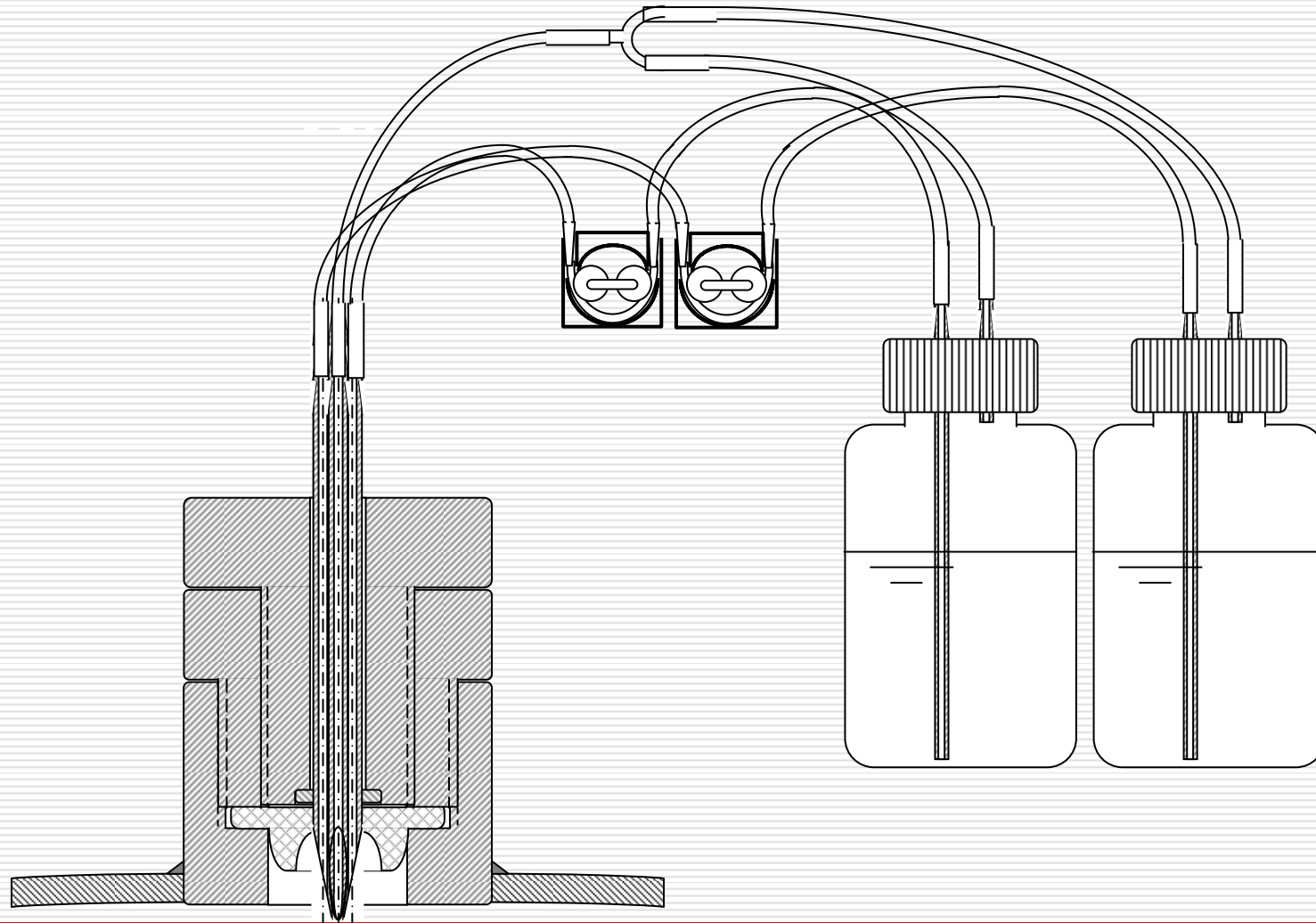


灭菌时蒸气流向示意图

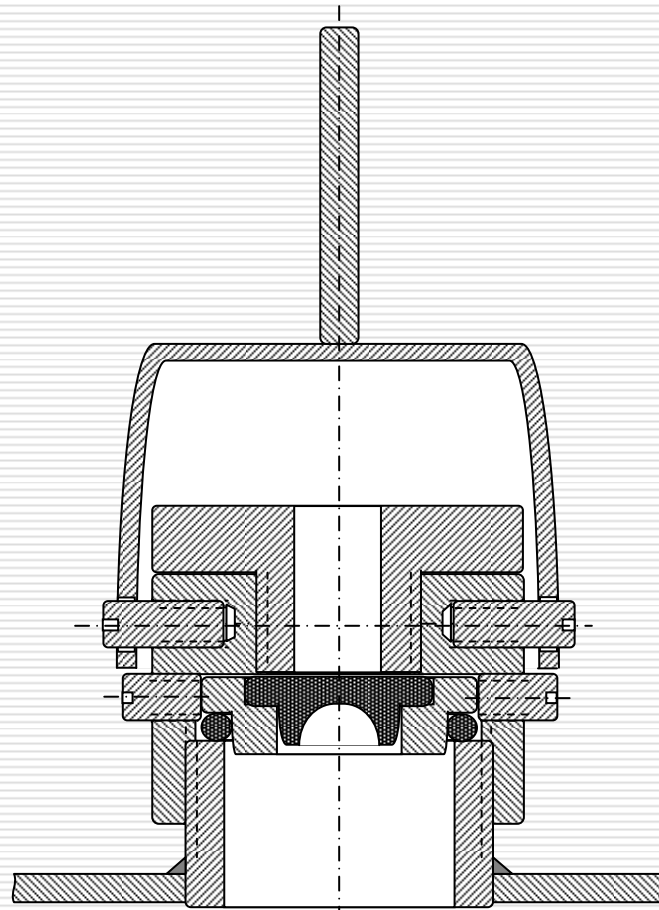
双针补料口的设计



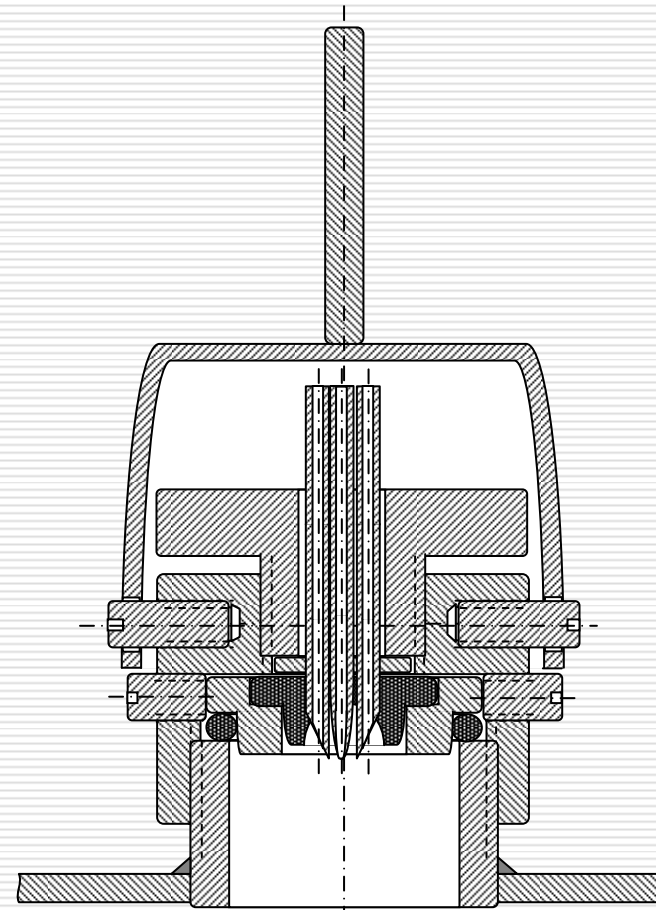
三针补料口的设计



接种和补料两用设计

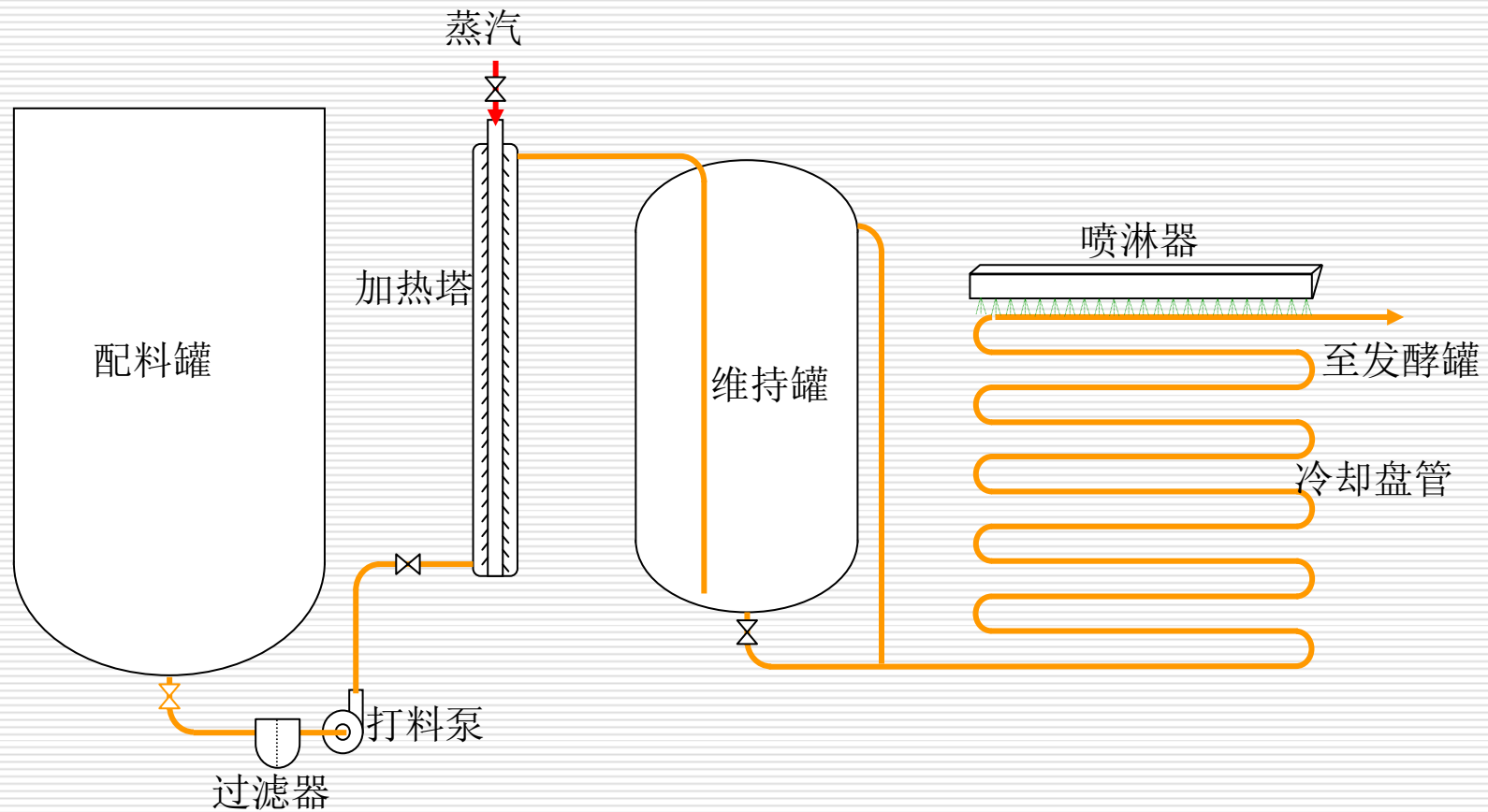


接种



补料

老式连续灭菌系统的设计



老式连续灭菌系统的缺点

- 需要使用高压蒸汽，不仅容易造成局部过热，而且乏汽排放量大，造成大量蒸汽潜热的浪费和挥发性营养物质的损失；
- 蒸汽喷射口易堵塞，喷射器和维持罐内物料容易过热形成焦糊块，不易清理，造成染菌隐患；
- 维持罐容易发生返混现象，不能确保灭菌物料先进先出、后进后出；
- 为了确保灭菌彻底，必须延长维持时间，造成物料营养成分的破坏；
- 冷却水消耗量大，且在冷却盘管外部容易形成水垢，降低传热效果；
- 环境散热大、噪音大，操作条件恶劣。



改进型连续灭菌系统

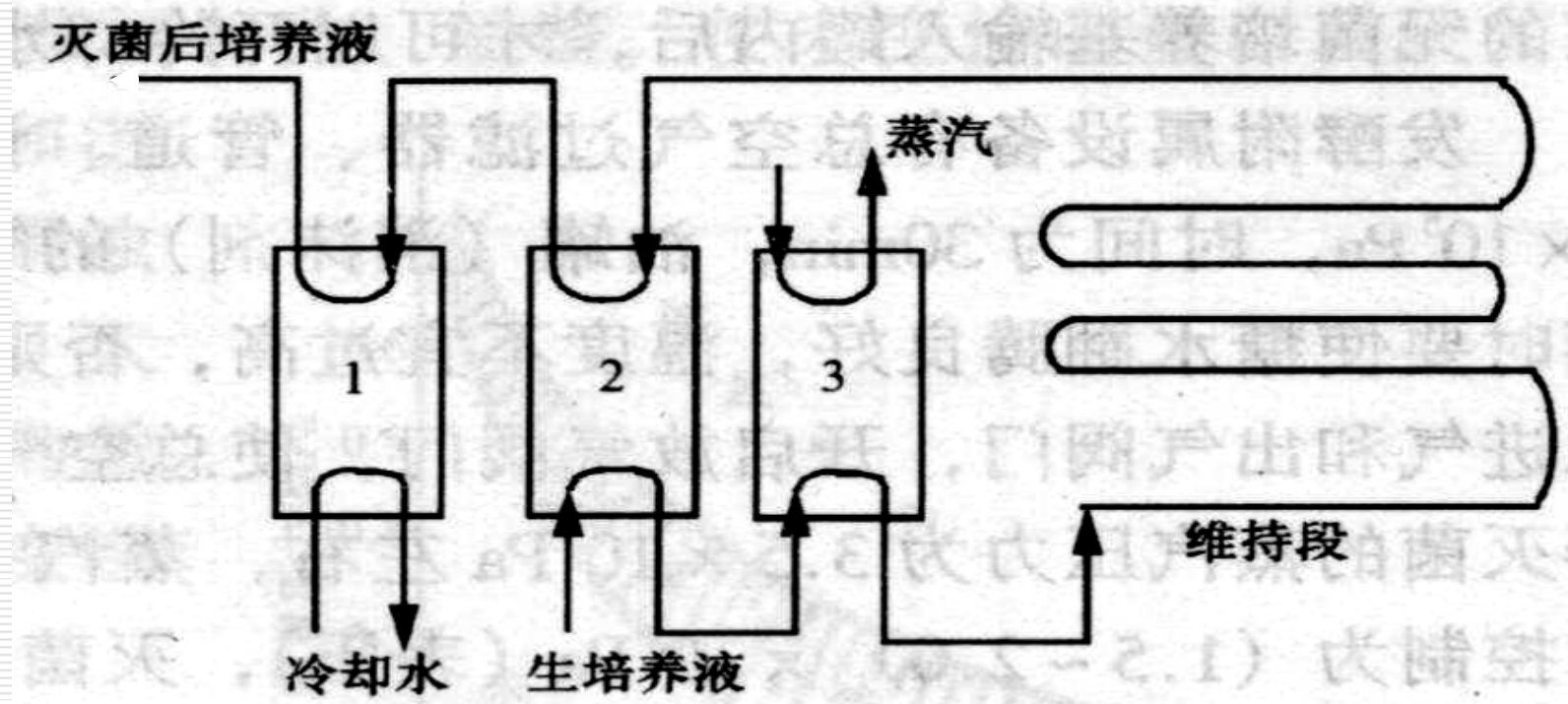


图 4-5 板式换热式连续灭菌流程

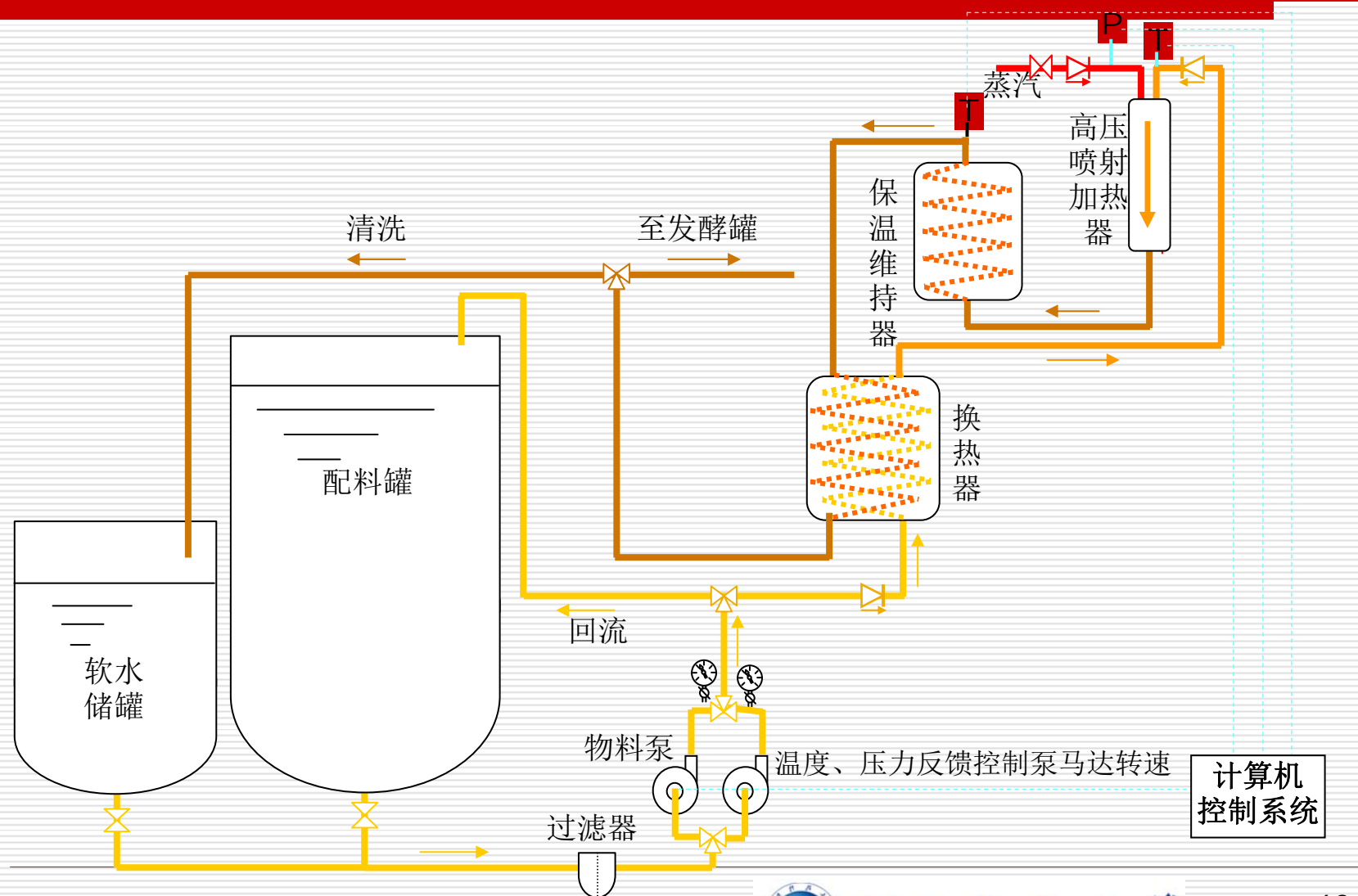
1、2、3—薄板换热器

改进型连续灭菌系统的缺点

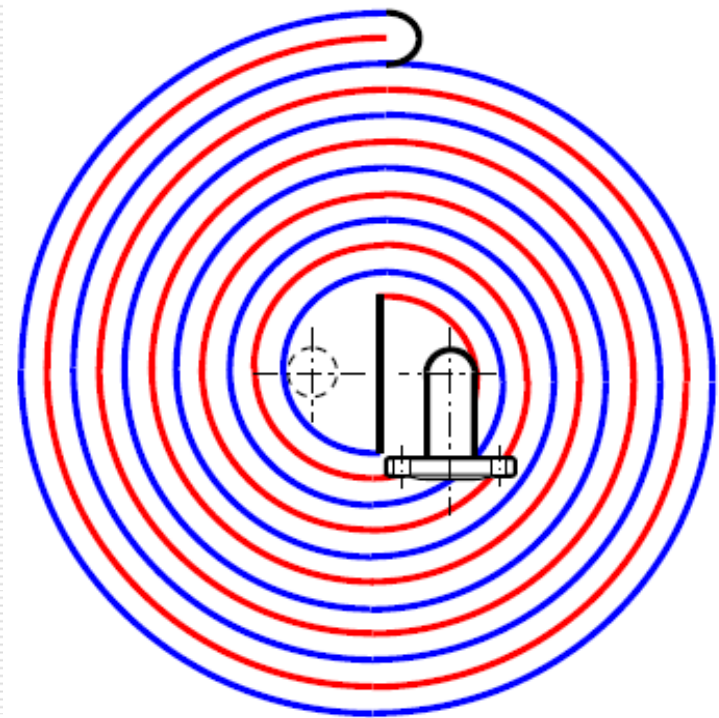
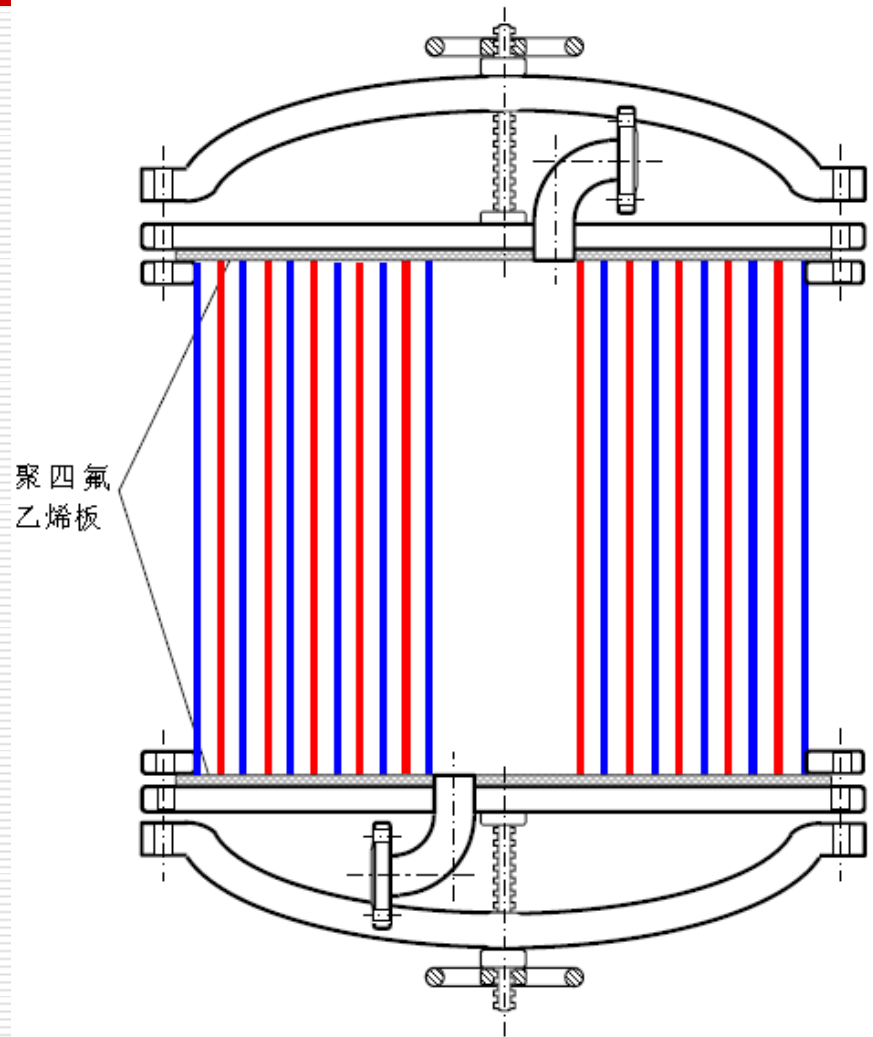
- ❑ 采用的板式热交换器存在不流动和存料死角，有些通道易发生堵塞，需要经常拆洗，增加了操作的麻烦和染菌的风险；
- ❑ 管道维持虽然不再产生前后返混的现象，但流动阻力大，散热面积大，不易保温，清洗困难；
- ❑ 板式热交换器板与板之间的密封面很容易发生串料和串水，是染菌的重大隐患；
- ❑ 余热没有被全部回收利用。
- ❑ 仍然需要高压蒸汽进行加热，仍然有部分乏汽排放和挥发性营养物质的流失。



超节能超高温连续灭菌系统的设计



两头可拆卸螺旋板保温维持器的设计

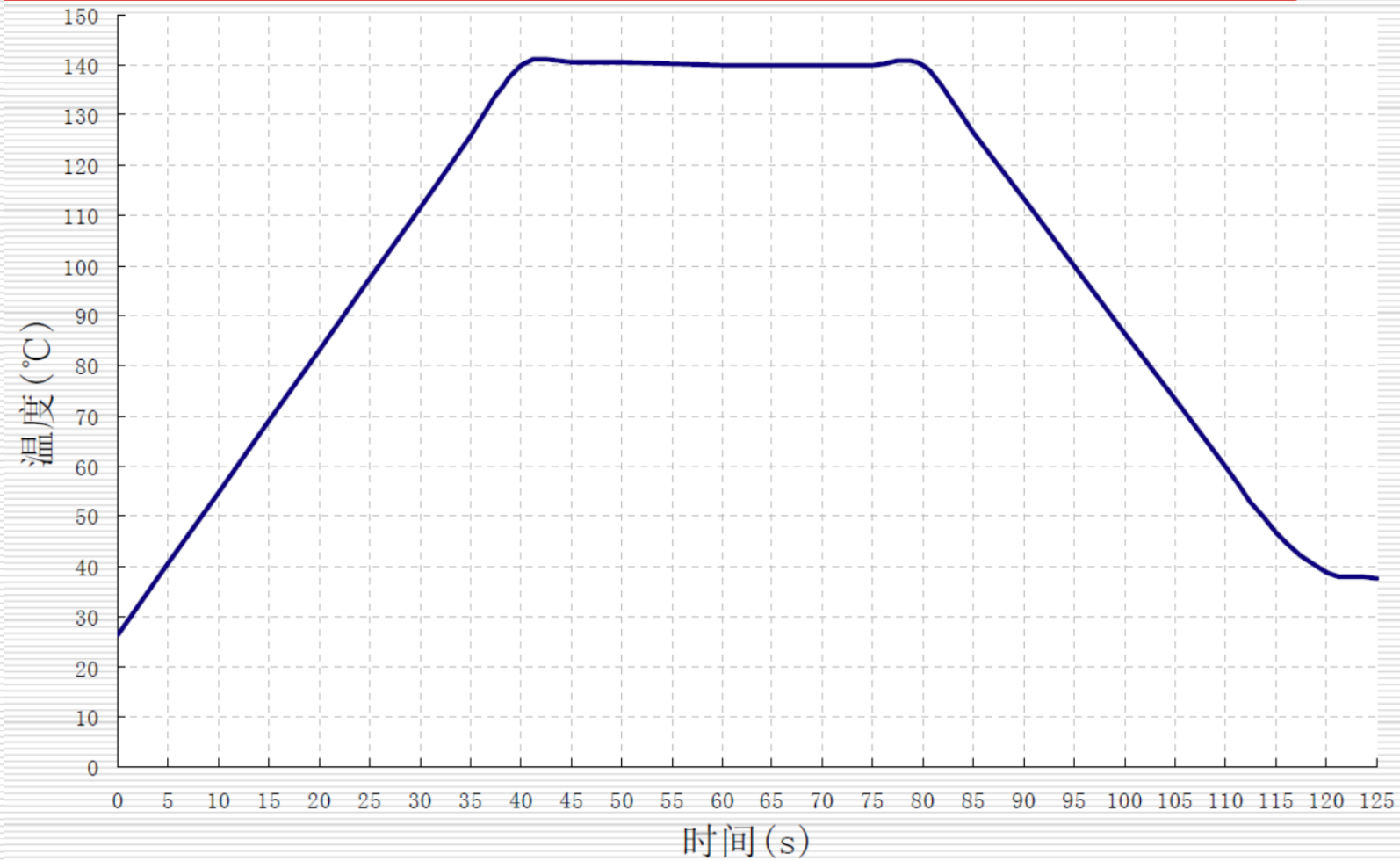


设计参数

型号	适用发酵罐容积(m ³)	灭菌温度(°C)	冷却温度(°C)	培养基流速(m ³ /h)	保温维持时间(s)	所需蒸汽压力(MPa)
UEHT-5	5~15	137~138	35~40	4~5	50~55	0.31~0.32
		141~142			30~35	0.33~0.34
UEHT-12	15~30	137~138	35~40	9~12	50~55	0.31~0.32
		141~142			30~35	0.33~0.34
UEHT-30	30~60	137~138	35~40	25~30	50~55	0.31~0.32
		141~142			30~35	0.33~0.34
UEHT-50	70~100	137~138	35~40	40~50	50~55	0.31~0.32
		141~142			30~35	0.33~0.34
UEHT-80	120~180	137~138	35~40	60~80	50~55	0.31~0.32
		141~142			30~35	0.33~0.34
UEHT-120	200~250	137~138	35~40	100~120	50~55	0.31~0.32
		141~142			30~35	0.33~0.34



灭菌过程的温度变化曲线



超节能超高温连续灭菌系统的优点(1)

- 实施用热料预热冷料、冷料冷却热料的自身加热与冷却，预热温度可达 125°C 以上，冷却温度可达 40°C 以下，从而节省大量蒸汽和冷却水，并避免因冷却水产生水垢而降低换热器的传热效果。
- 高温 ($\geq 139^{\circ}\text{C}$) 短时间 ($\leq 40\text{ s}$) 灭菌，可显著减少营养物质的损失，降低培养基色泽，提高培养基品质和生物发酵产量。
- 全自动计算机智能控制，可节省人工，提高劳动生产率和操作质量。
- 对蒸汽压力要求不高 ($0.31\sim 0.35\text{ MPa}$)，蒸汽消耗量小，且消耗均衡，没有大的负荷高峰，不对锅炉负载造成冲击，相应地可降低锅炉容量。



超节能超高温连续灭菌系统的优点(2)

- 易于按工艺要求实现某些不稳定营养物质（如葡萄糖、氨基酸、维生素、磷酸盐、铵盐等）的分开灭菌，灭菌后在低温下混合，可大幅度降低这些成分在高温下相互作用造成的营养破坏，而不需要另外增加设备。
- 对于含有淀粉、玉米粉、大米粉、木薯粉、地瓜粉等在灭菌前需要事先液化的物料，可使用本系统同时进行液化和灭菌，而不需要另外增加设备。
- 运转时噪声低（ <65 dB），对操作者的听力无不良影响。



超节能超高温连续灭菌系统的优点(3)

- 物料在系统中的各个部位流速均匀，不存在不流通和存料的死角，使用完毕可完全排空。
- 通入蒸汽的温度与物料灭菌温度温差小，因而物料在系统中不会因过热而生成糊垢，不会造成堵塞，不需要拆卸清洗，平时可在线清洗。
- 冷、热料通道之间无焊接或垫料密封连接点和面，可确保不串料，不相互污染，因而在热料回流管道上不需要加装增压泵。
- 结构紧凑，占地面积小，相应地操作面也小，方便操作，也易于保温。



超节能超高温连续灭菌系统的优点(4)

- 操作过程中无乏汽和任何挥发性气体排放，不污染环境。
- 使用本连续灭菌系统可大幅度缩短反应器灭菌、冷却所占用的时间，甚至可在放料后无菌保压情况下，不经清洗、灭菌，立即进行培养基连续灭菌给料，从而大幅度提高反应器周转率、劳动生产率和产量，并进一步减少蒸汽消耗。
- 使用本连续灭菌系统，很容易实现生物过程的连续补料和连续发酵操作。
- 价格便宜，制造成本不及进口产品售价的五分之一，节能效果却远优于进口产品。



技术保证指标

- **蒸汽消耗量**：每100 m³培养基 < 3.5吨（不包括空罐灭菌；空罐灭菌蒸汽消耗 < 3吨/100 m³发酵罐。节汽80%以上）
- **冷却水消耗量**：每100 m³培养基 < 80吨（节水85%以上）
- **耗电量**：每100 m³培养基 < 30 kWh（节电20%左右）
- **培养基色泽**：灭菌前后无明显差异
- **培养基稀释率**：< 3.5%
- **灭菌染菌率**：0（排除其他染菌因素）



超节能超高温连续灭菌系统的实际使用效果

使用单位		浙江新和成生化			使用日期		2013年11月7日	
进料时间(min)	打料流量	生料进料温度	生料换热后温度	生料换热温差	熟料进料温度	熟料换热后温度	熟料换热温差	
10	19	26.5	128.4	101.9	142.2	36.9	105.3	
20	19	26.5	130.8	104.3	141.7	38.9	102.8	
30	19	26.3	130.8	104.5	141.8	38.9	102.9	
40	19	22.6	130.9	108.3	141.7	35.9	105.8	
50	19	21.5	130.6	109.1	141.5	34.5	107	
60	19	21.3	130.4	109.1	141.9	34.2	107.7	
70	18	21.1	130.7	109.6	142.1	34.2	107.9	
80	18	20.9	131.1	110.2	142.4	34.1	108.3	
90	18	21.1	130.6	109.5	141.9	34	107.9	
100	14	22.5	142.2	119.7	149	44.7	104.3	
平均	18.2	23.0	131.7	108.6	142.6	36.6	106.0	



实际应用的节能效果计算

- 不考虑不同温度下饱和水比焓的差异，可近似计算实际节能效果如下：

$$\text{节能率} = \frac{131.7 - 23}{142.6 - 23} \times 100\% = 90.8\%$$

- 换热器的换热效率为：

$$\text{换热效率} = \frac{106.0}{108.6} \times 100\% = 97.6\%$$

- 这一结果与理论计算数据十分吻合。



超节能超高温连续灭菌系统与进口改进型连续灭菌系统节能效果的比较

	进料温度	预热后温度	预热温差	灭菌温度	加热温度
进口灭菌系统	35	88	53	131	43
本灭菌系统	20	130	110	141	11

以上数据来源于浙江新合成生化公司的统计结果

从对比结果可知：同样的灭菌体积，进口设备使用蒸汽加热的温差为43℃，而本系统加热温差只有11℃。两者相比，本系统较之节省蒸汽74%左右。



空压机选型的一般原则

- 排气压力：一般要求高于车间最大发酵罐满料时液体静压力0.1~0.12 MPa。
- 排气量：大于高峰总用气量的15%左右。
- 空气品质：尽量无油(优先选离心式空压机)。
- 能耗：单位排气量的功率消耗低(参考数据：大型离心式空压机低于50 kWh/km³)。
- 排气量调节能力：能使用变频调节，调节范围要大。
- 故障率和维修成本：尽量低。



不同海拔高度选用空压机排气压力的修正系数

- 高海拔地区空气密度低，空压机在使用时往往达不到设计的排气压力，故在选用空压机排气压力时须按右列表格进行修正。
- 高原地区选用空压机的压力修正系数

海拔高度(m)	修正系数
0	1.0
305	1.03
610	1.07
914	1.10
1219	1.14
1524	1.17
1829	1.20
2134	1.23
2438	1.26
2743	1.29



空压机安装场所的选择

- 空压机应安装在干燥、凉爽、洁净、尘埃少、通风良好，附近空气中不含有毒、易燃、易爆、有臭味、潮湿和酸性气体的厂房内。
- 空压机房大小和照明亮度要利于操作及维修。
- 空压机周围环境温度不得低于 5°C 和高于 40°C 。温度过低，润滑油因流动性下降而不能发挥正常润滑作用；温度过高，不利于空压机的冷却，特别是风冷式空压机，以致降低压缩空气的输出量。
- 安装场所不能远离用气场所，以免管路太长，增加空气压力损失。如有多个用气场所，则空压机房应建于距各用气场所都不远的中心位置。
- 安装场所应在厂房的底层，以减轻厂房的震动。

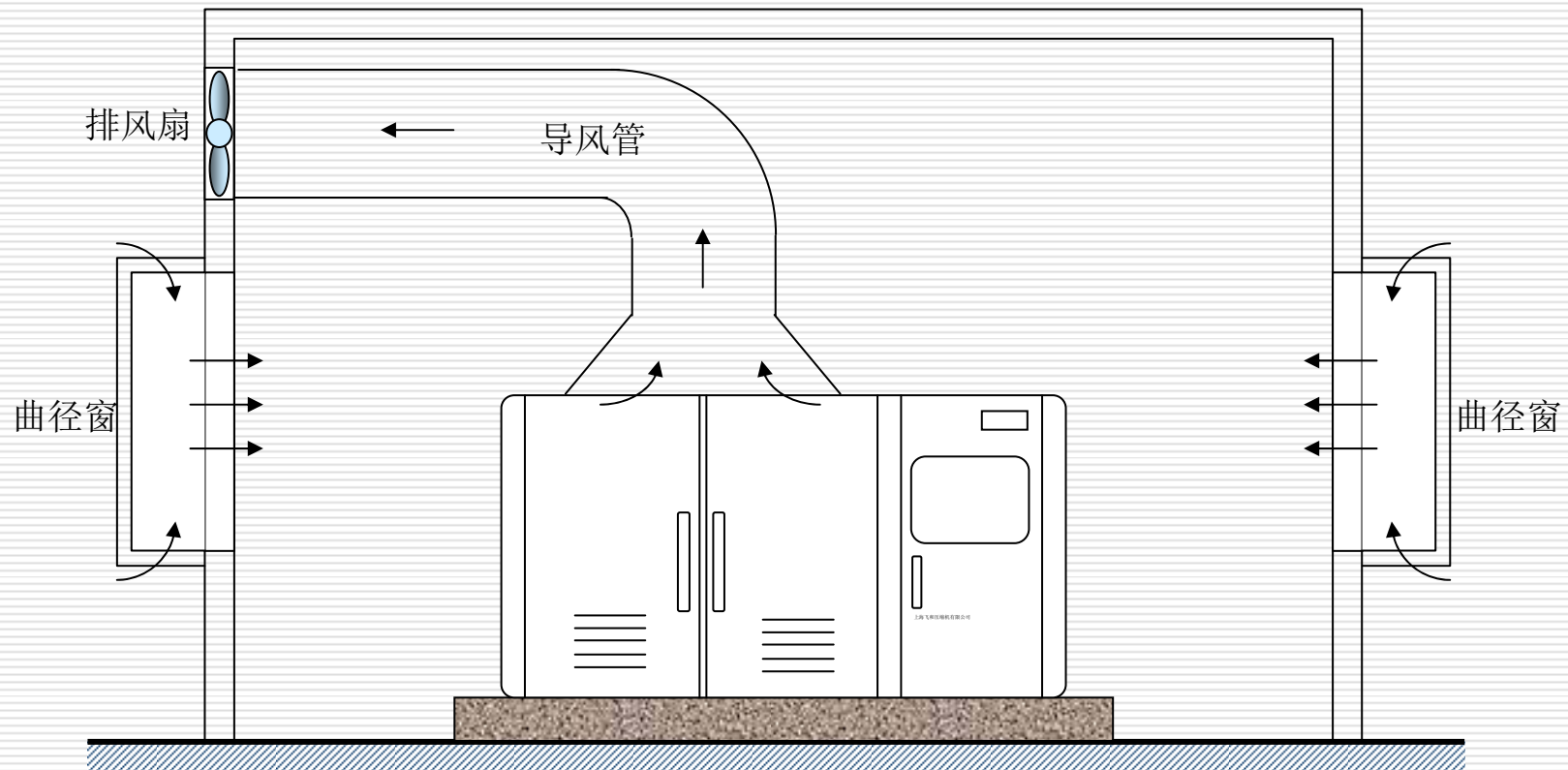


空压机房的设计

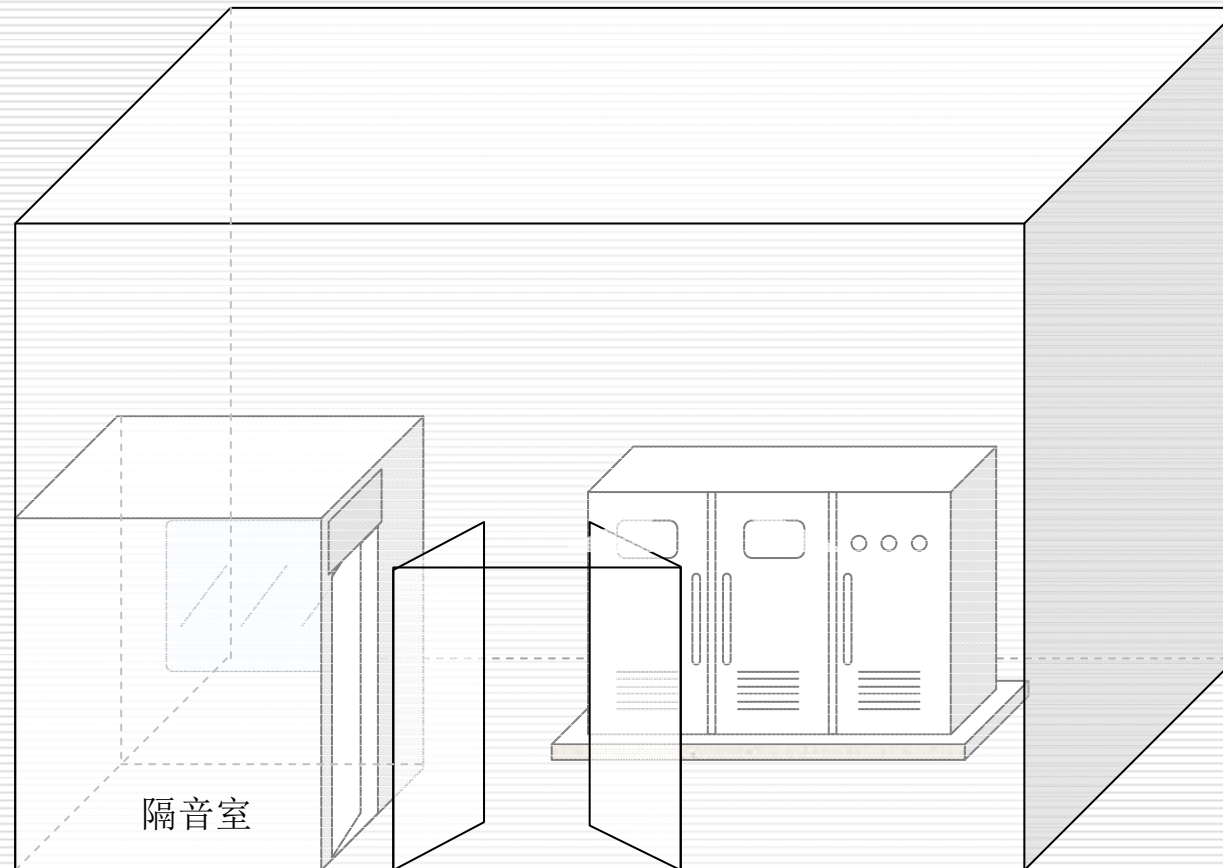
- 空压机房最好是独立厂房，并且有足够的预留面积，以备将来增加空压机所需。如非独立厂房，则应该用隔音墙与其它工作面隔开。
- 为保证吸入空气的洁净，应在空压机房门、窗等风口设置曲径，必要时加装粗效过滤网。
- 风冷式空气压缩机最好在机组上方装设导风管将热风排出室外，这样既可增加冷却效果，又可改善环境温度。
- 空压机厂房内应设隔音室，以减轻噪声对操作人员危害。隔音室在正对空压机的操作面应安设大玻璃视窗，窗台高度不高于0.8米。



空压机房导风管的设计



空压机房隔音室的设计



空压机的安装（一）

- 空压机应安装在坚固的地面上，离心式和往复式空压机还要制作坚实的基础。
- 多台空压机之间以及空压机与墙壁之间、空压机顶部与天花板之间的距离一般不少于2 m，以便日常操作、维护及检修。
- 空压机配管以工况下的压缩空气流速9~15 m/s来设计，超大型发酵罐可适当放宽。
- 管路中尽量不使用阻力系数大的元件，不要随意加装阀门，也不要陡然缩小或扩大管径(必须缩小时要用渐缩管)，以减少压力损失。



空压机的安装（二）

- 压缩空气主管路要顺流动方向有2‰~3‰的倾斜度，并在管路低端设置向下的小排水管和自动排水阀，以保持压缩空气的干燥。
- 支线管路必须从主管路的顶端接出，避免主管路中的凝结水下流至支管，在到达用气设备前也要在低端设置排水管和自动排水阀门。
- 空压机的压缩空气出口处及用气设备的压缩空气入口处都应安装单向阀。
- 无论何种机型，最好都通过配管将吸风口引向室外30 m以上的高空，并配以过滤能力为空压机额定排气量150%及具有消音功能的粗过滤器，以保持吸入的空气清凉、干燥、干净、静音。



空压机的安装（三）

- 压缩空气管道架空敷设，应考虑与热力管道、煤气管道和其他动力管道布置统一，尽量共架敷设。
- 根据空压机组的输入功率要求，正确选用电缆线径，当电源线路长时，需考虑线路损失，将线径适当加大。
- 大功率空压机应考虑使用单独一套供电系统，以免启动时影响相同线路上其它设备的正常工作，特别是不能同办公室、化验室、实验室的计算机和精密仪器共用一根线路。
- 空压机要有可靠的接地，防止因漏电造成触电危险。

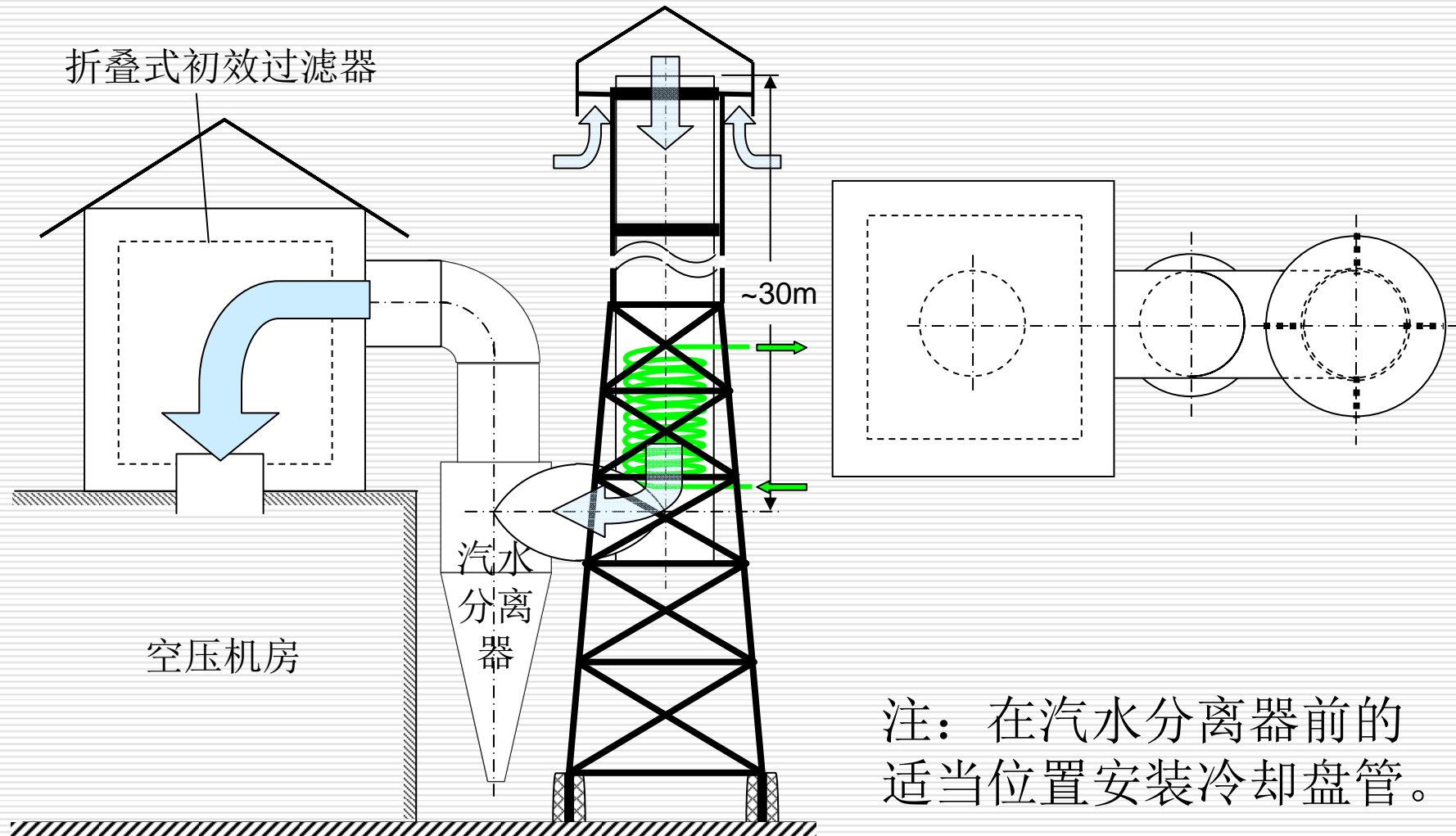


厂区压缩空气管道与建构物及其他管线的净距 (m)

名 称	水平净距	交叉净距
人行道路边和路面	0.5	2.20
道路边缘和路面	1.0	4.50
架空线外边缘: 1.0 kV以下	1.5	1.50
1.0~10 kV	2.0	2.00
35~110 kV	4.0	3.00
给水管、排水管	0.15	0.10
氧气管	0.25	0.10
非燃气管	0.10	
热力管	0.15	0.10
乙炔管	0.25	0.25
穿有导线的电线管	0.10	0.10
裸导线、滑触线	1.00	0.50



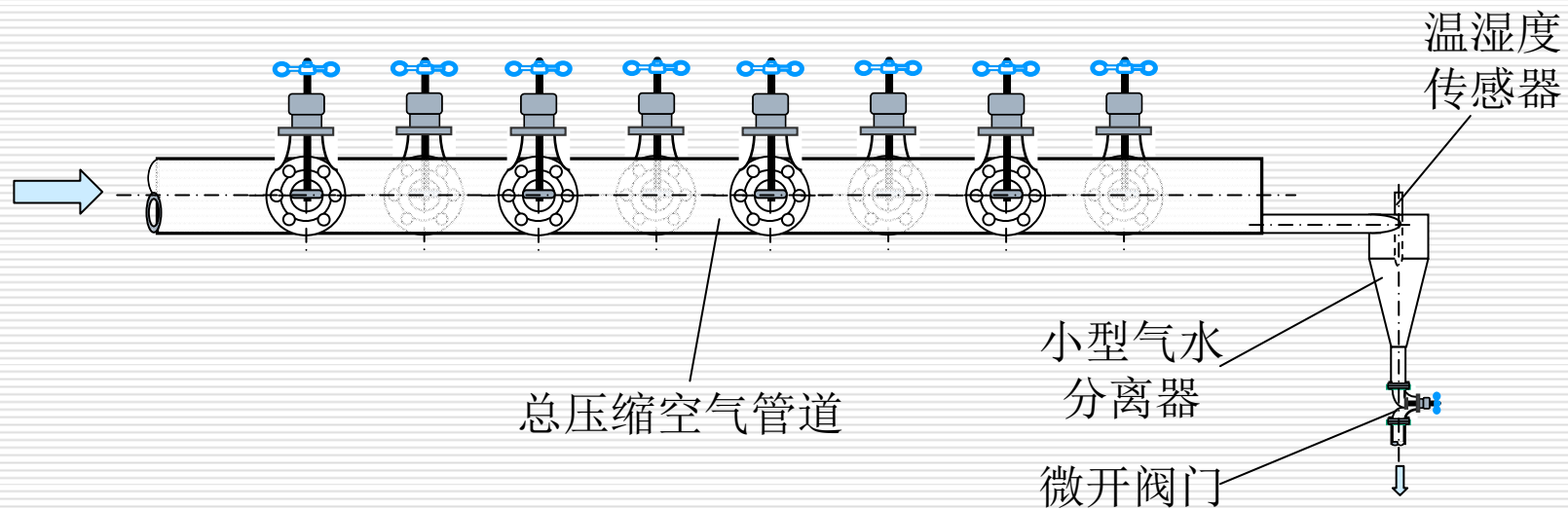
压缩空气吸风口预过滤及预冷却的设计与安装



注：在汽水分离器前的适当位置安装冷却盘管。

压缩空气温、湿度测量系统的设计

- 压缩空气温湿度的测量用于计算发酵罐通气的绝对湿度和蒸发量，据此调节发酵补料的浓度，稳定发酵工艺，解决冬夏因湿度差异过大对发酵的影响问题。



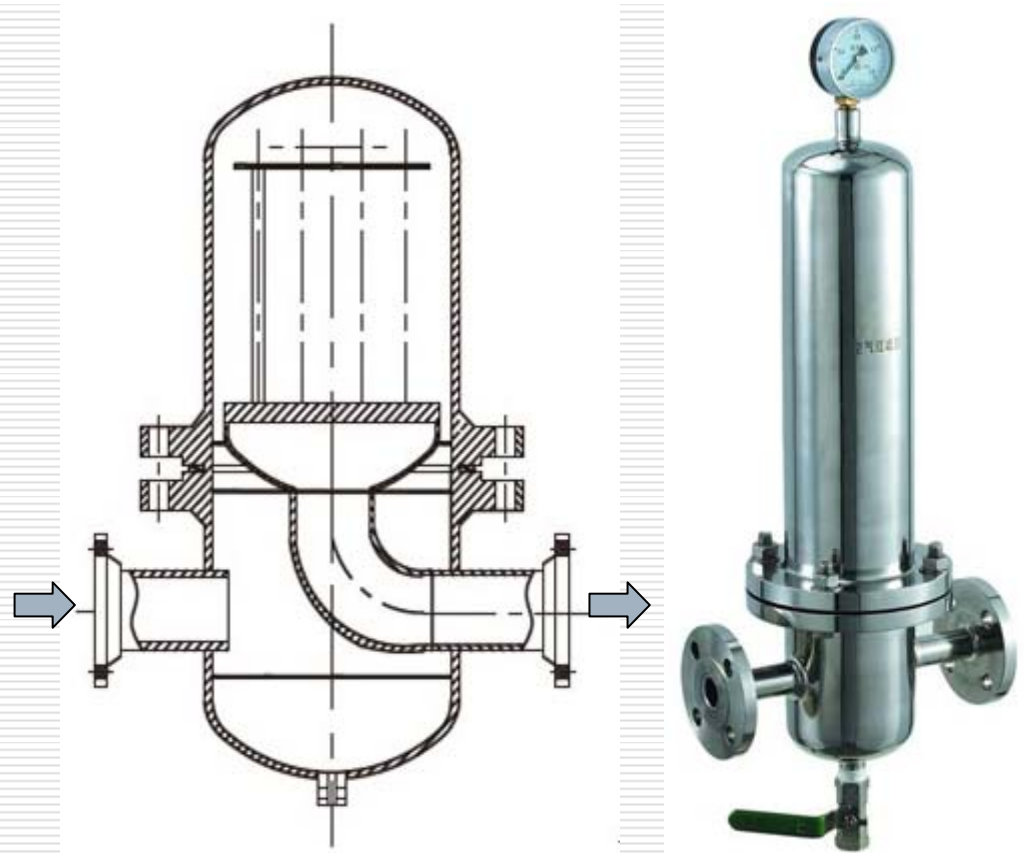
空气过滤器的选型

- ❑ 空气过滤器应选用不锈钢外壳和聚四氟乙烯膜滤芯。
- ❑ 一般发酵选用 $0.2\sim 0.45\ \mu\text{m}$ 孔径的滤膜，容易污染噬菌体的菌种要选用 $0.01\ \mu\text{m}$ 孔径的滤膜。
- ❑ 空气过滤器必须有配套的预过滤器和蒸汽过滤器。



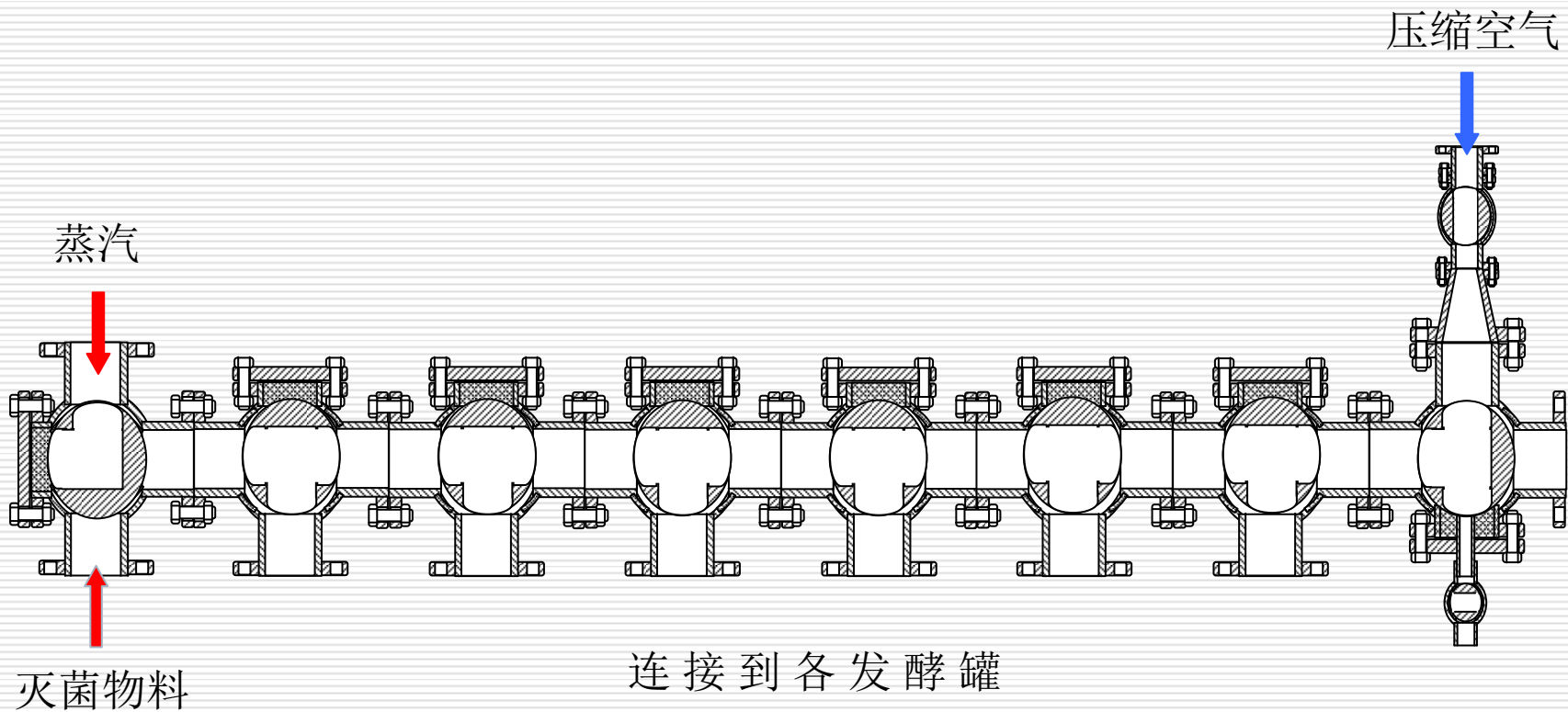
空气过滤器的安装

- 空气过滤器必须按所标箭头方向安装，以确保空气自外而内通过滤芯。
- 空气过滤器和预过滤器上方都必须安装压力表，一方面控制灭菌压力，另一方面可了解滤芯的压力降。
- 空气过滤器下方要安装排水阀，以便灭菌时放冷凝水。



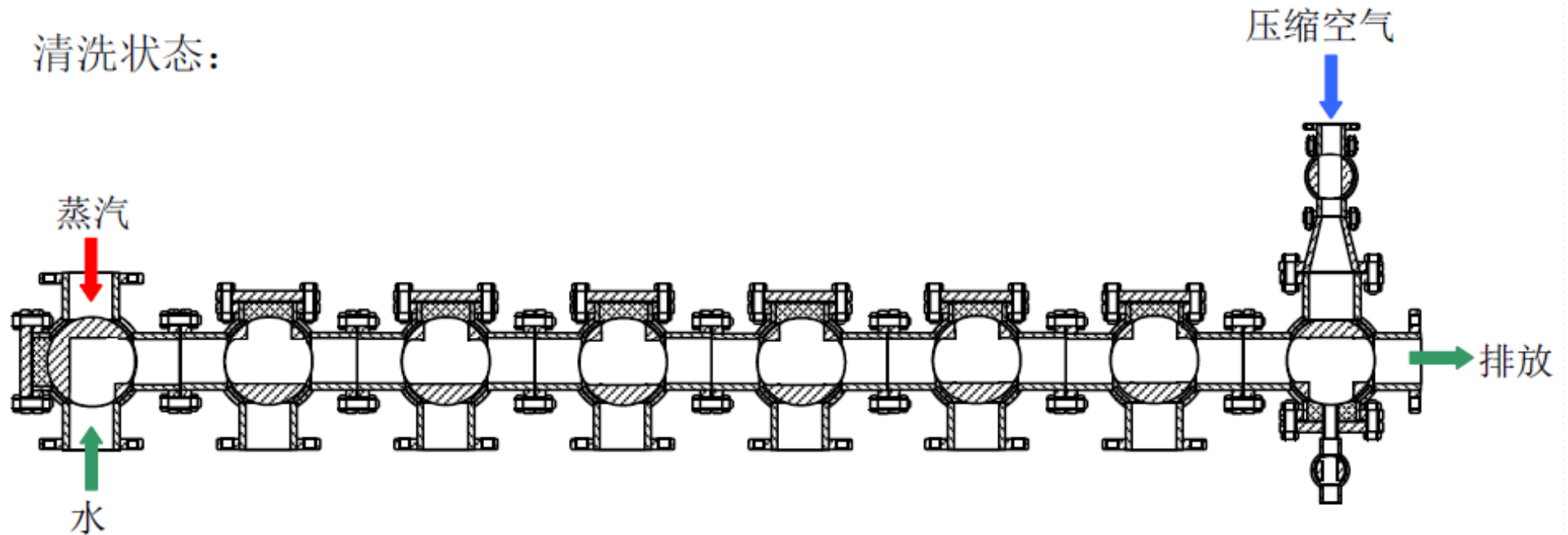
- 空气的所有附属设备和连接管道都应是不锈钢材质。

物料分配站的设计——三通球阀串联设计(保压状态)



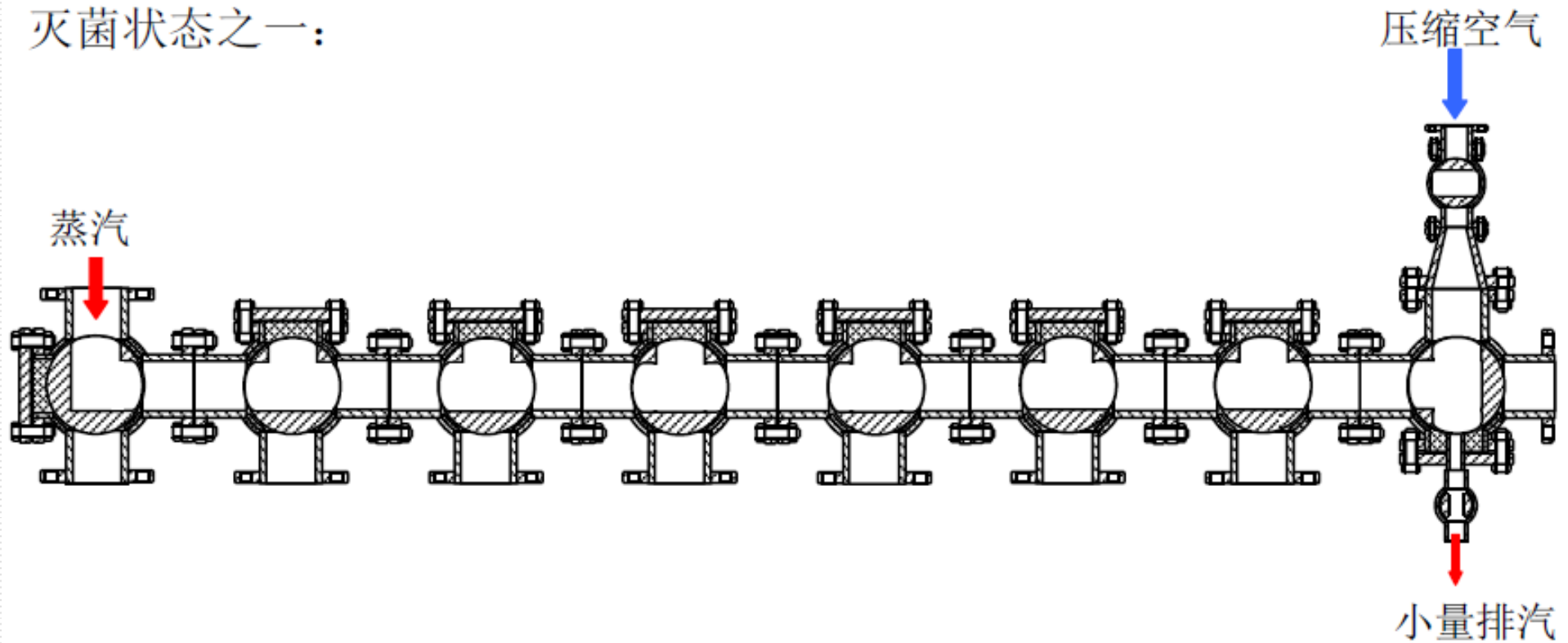
三通球阀分配站的清洗状态

清洗状态：



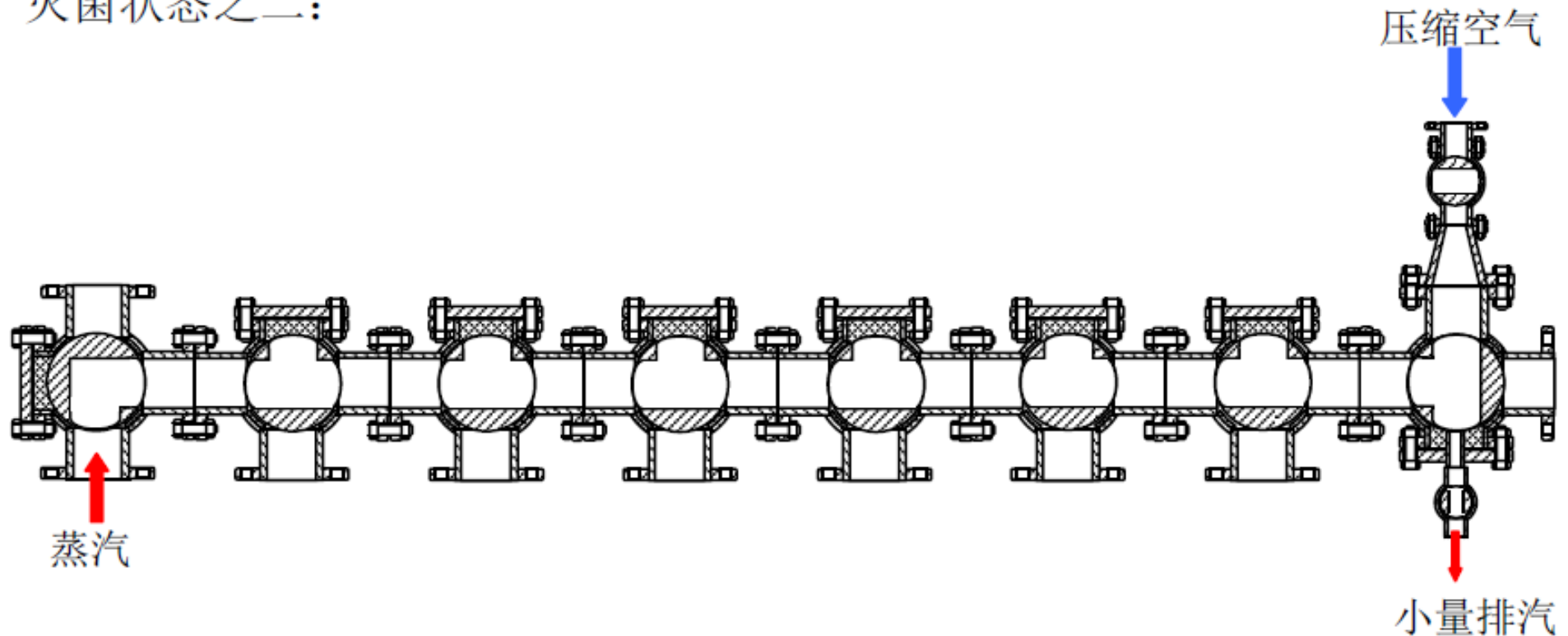
三通球阀分配站的灭菌状态之一

灭菌状态之一：



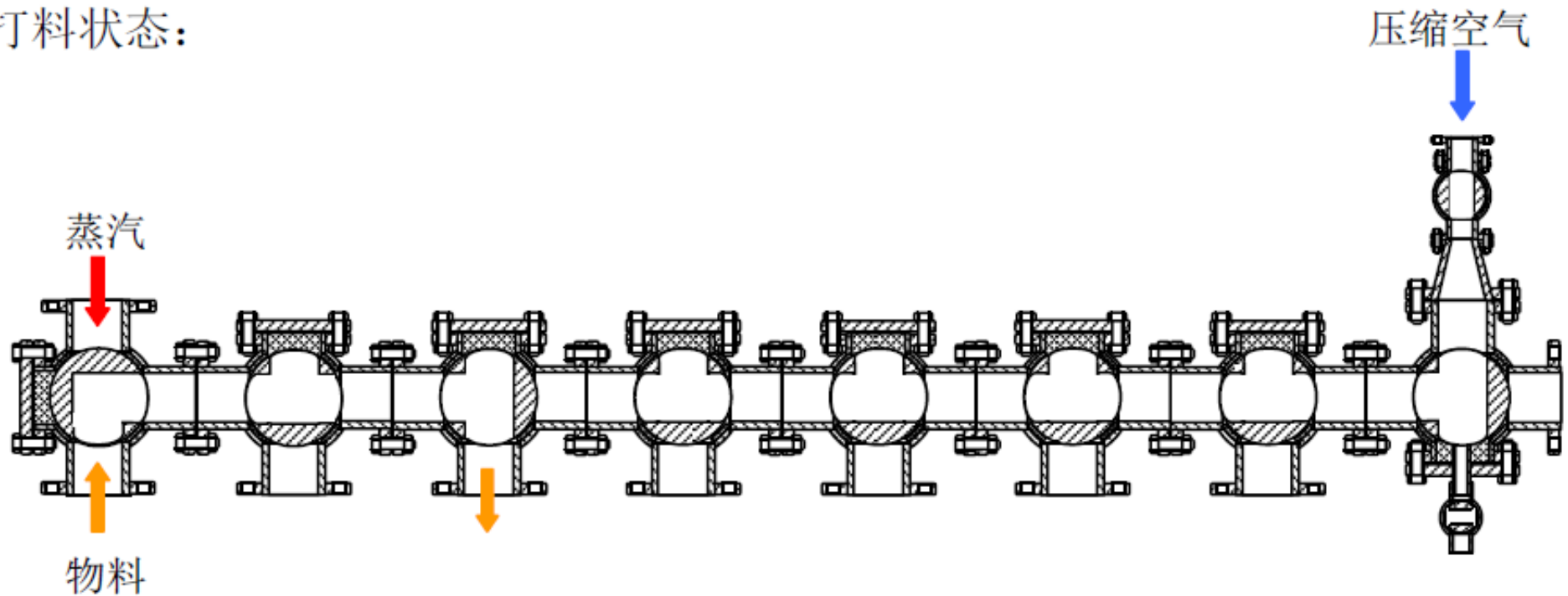
三通球阀分配站的灭菌状态之二

灭菌状态之二：



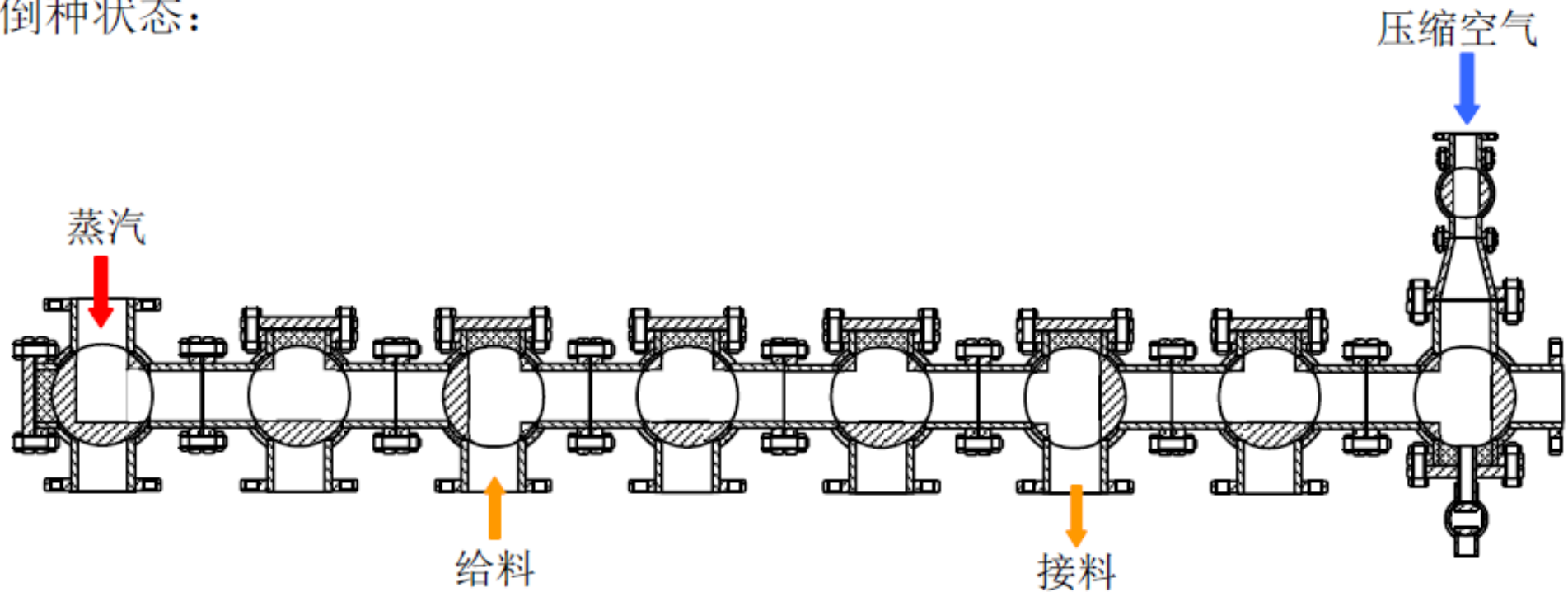
三通球阀分配站的打料状态

打料状态：



三通球阀分配站的倒种状态

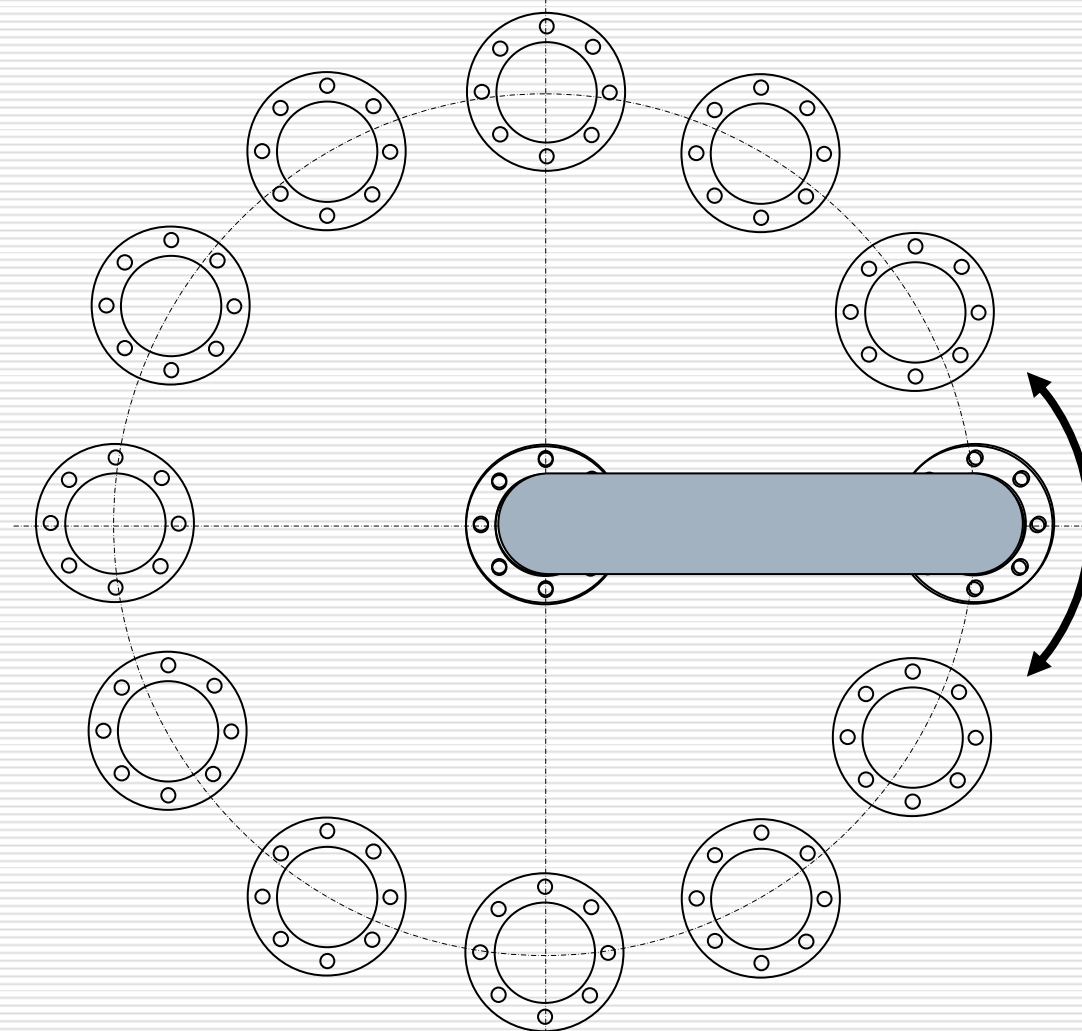
倒种状态:



物料分配站设计——活动连通管设计

中心：灭
菌培养基
来源。
四周：通
往各发酵
罐。

注：须采
用活动法
兰



两种分配站设计的优缺点比较

	优点	缺点
方案一	1、平常用无菌压缩空气保压，不用经常灭菌，可降低蒸汽消耗。 2、使用方便，操作简单。 3、无死角，有利于降低染菌率。	需要昂贵的耐高温高压三通球阀，投资费用高。
方案二	1、不需要阀门，投资费用低。 2、使用方便。操作简单。 3、无死角，有利于降低染菌率。	每次使用前需要灭菌，蒸汽消耗量大。

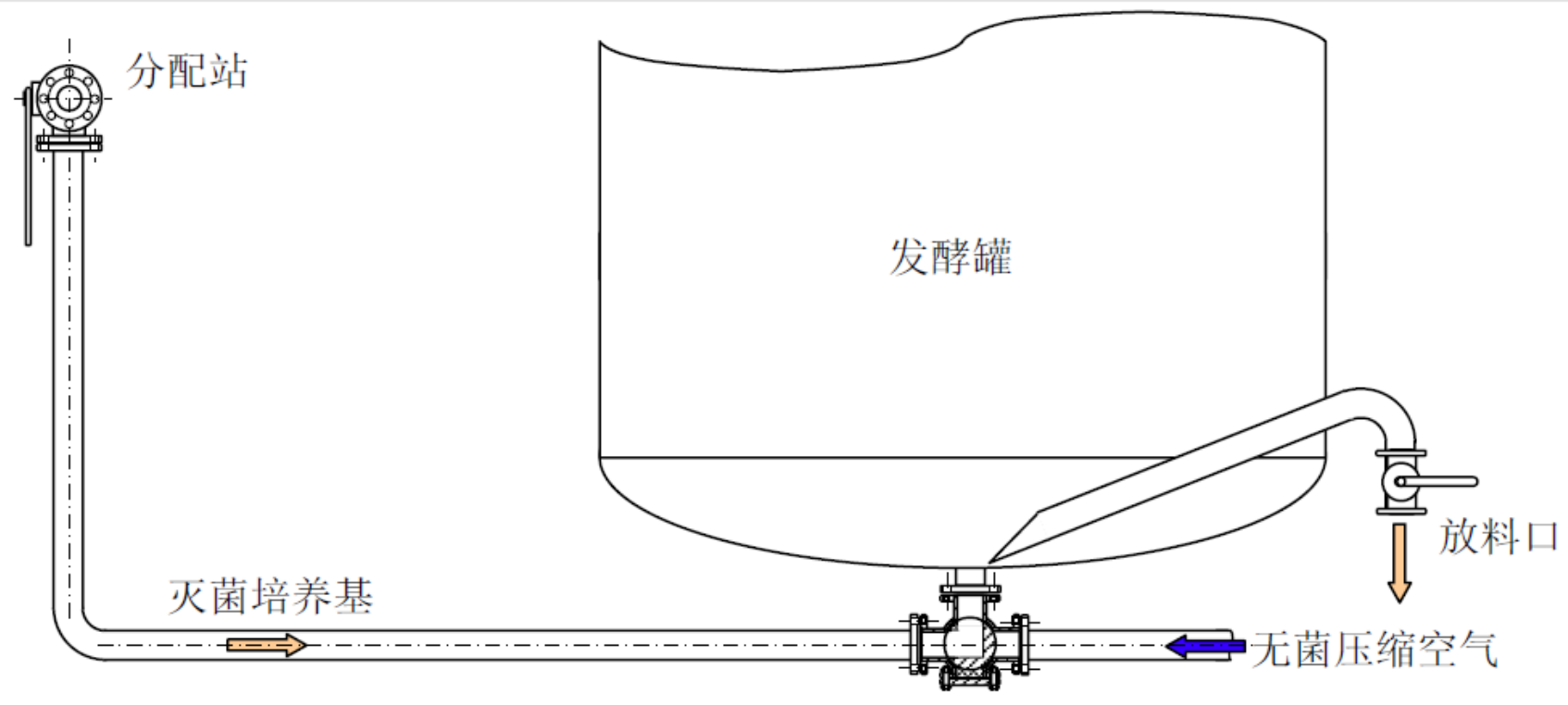


物料分配站的选用原则

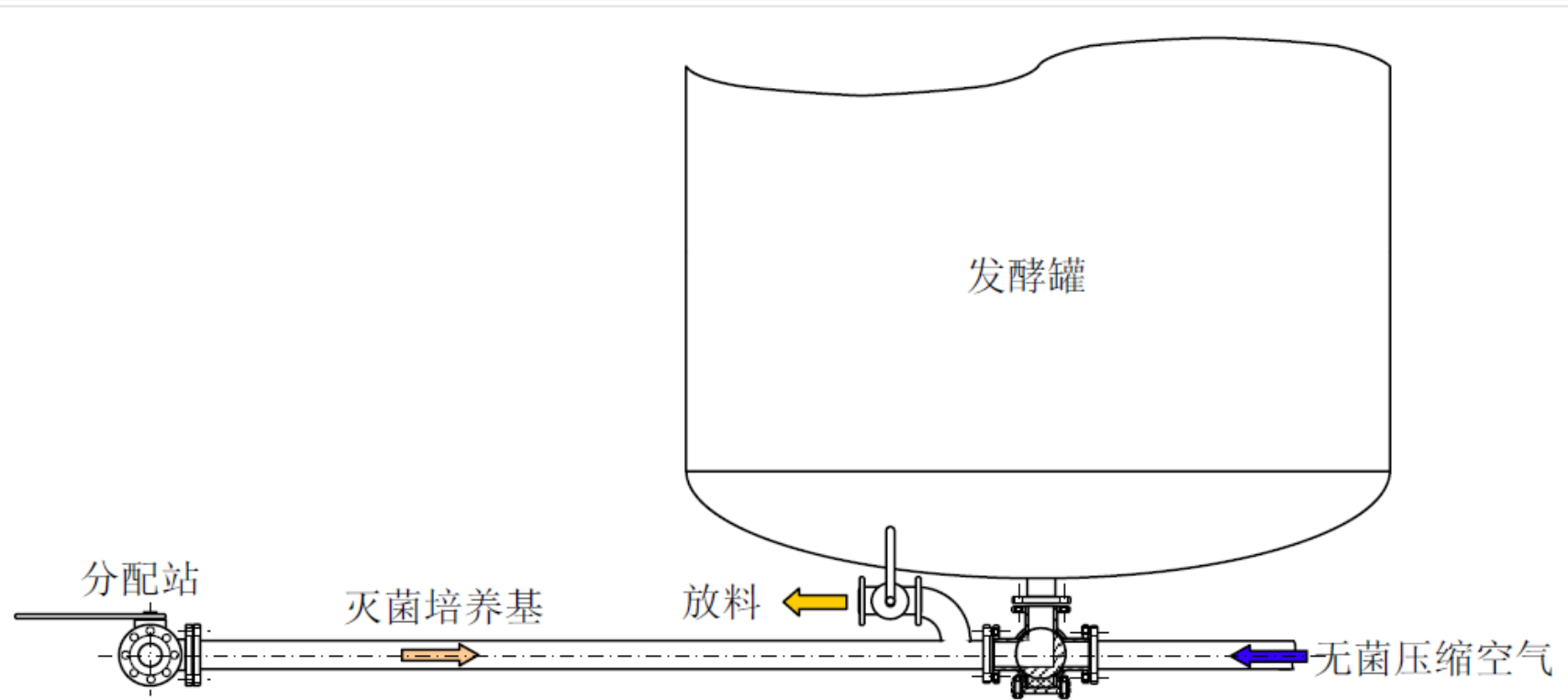
- 频繁使用的物料分配站，为减少灭菌蒸汽消耗，应选用带无菌压缩空气保压的三通球阀串联设计。
- 不频繁使用，而且使用前必须灭菌的物料分配站如连续灭菌物料分配站，可选用活动连通管设计。



分配站与发酵罐的连接方式之一



分配站与发酵罐的连接方式之二





河北科技大学
HEBEI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

谢谢聆听！
欢迎提问和提出宝贵意见！

河北科技大学

徐亲民

13513370405

q_xu@hebust.edu.cn

