

攪拌器設計

《五》

化工部化工設備設計中心站

搅 拌 器 设 计

化工部化工设备设计专业技术中心站

1969年8月

内 容 提 要

本书共分六章，内容有：搅拌器的型式、结构及选型；搅拌罐模拟放大；搅拌功率；搅拌叶强度计算；搅拌器传动装置；轴的密封。

在附录中还简单地介绍了非牛顿型液体的搅拌；搅拌启动功率；搅拌器选型和功率计算例题；电动机效率特性；搅拌器标准(HG)；以及框式搅拌器(标准草案)等。

本书可作为化工机械和设备专业的工人、设计人员以及有关学校师生的参考书籍。

搅 拌 器 设 计

化工部化工设备设计与制造中心编

(上海南京西路 1856 号)

内 部 发 行

*

开本 787×1092 毫米 $\frac{1}{18}$ · 印张 6 $\frac{8}{9}$

1969 年 8 月 上海

定价：1.00 元

序

根据化工部化工设备设计专业技术中心站第四届会议制订的1967~1968年业务建设的精神，在编制化工设备设计手册的同时，由本站组织各单位共同编制“搅拌器设计”参考资料。

伟大的领袖毛主席教导我们：“学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一想，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。”遵循这个教导，本内容的编制，是从化工机械设备专业实际需要出发，按照简明、实用和推荐的原则进行，尽可能把常用的内容汇编进去。

本书由化工部一院、上海高桥化工厂、天津化工建设公司、医药工业设计院等单位共同编制。

根据上述原则，对本书所选内容作如下几点说明：

一、本书按照搅拌器设计的一般程序编写，在内容上力求避免重复。个别地方也有将几种方法并列，以利于设计者选择使用。

二、由于搅拌器可资参考的资料较少，因此在一、二、三章中较多的介绍了一些国外的经验，希望有关专业人员在使用国外经验的时候应该有分析有批判的吸取那些和我国情况相适合的东西。

三、选型一章是希望能够解决生产上对搅拌器型式的合理选择，如果有现成设备可利用，消耗功率的经济价值又很低时，搅拌器的选型就不必太严格。

四、模拟放大一章中表2-1是根据前人对各种搅拌操作的计算式归纳得出的，因收集不全面，可能实际使用上不能解决生产要求，请斟酌具体情况决定。

五、搅拌器消耗功率中需要功率部分，有二种计算方法，一是英美的，另一是苏联的，其计算结果大同小异，现只推荐一种英美系统的，以免矛盾。牛顿型液体与非牛顿型液体的搅拌需要功率及启动功率的算法均不同，应予注意。

填料密封的功率损耗过去实测工作做得较少，这部分在搅拌需要功率甚小时更显突出，这里推荐的计算方法是否准确，还要待今后实践上证明。

六、附录中对非牛顿型液体搅拌和搅拌启动功率作了肤浅的叙述。

由于我们实际生产斗争知识贫乏，水平有限，对国内很多好的经验也没有系统的收集，故在内容上一定存在不少缺点和错误，衷心期望同志们提出批评和指正，以利于今后修改和补充。

化工部化工设备设计专业技术中心站

目 录

第一章 搅拌器的型式、结构及选型

一、搅拌器的型式及结构	1
二、搅拌附件	5
1. 挡板	5
2. 导流筒(或导流环)	6
3. 蛇管	7
三、搅拌器的选型	7
1. 选型时的几个有关问题	8
(1) 斜入和旁入推进式搅拌器的布置	8
(2) 搅拌器叶数	8
(3) 搅拌器层数及层间距	8
2. 选型方法	9
(1) 调和	11
(2) 分散	12
(3) 固体悬浮	12
(4) 气体吸收	14
(5) 传热	15
(6) 高粘度操作	16
(7) 结晶	16

第二章 搅拌罐模拟放大

一、各种操作类别的模拟放大法	17
二、在无法确定放大基准时采用的方法	17
三、搅拌器运转需要功率的放大	22
四、模型设备上实测轴功率计算方法	23

第三章 搅 拌 功 率

一、搅拌器运转需要功率	25
1. 单一液相搅拌需要功率	25

(1) 搅拌叶叶径或液面高度的影响	31
(2) 搅拌叶与罐底距离的影响	31
(3) 搅拌叶宽度和叶数的影响	32
(4) 推进式搅拌器螺距的影响	33
(5) 搅拌叶层数和层间距的影响	33
(6) 搅拌罐内附件的影响	34
2. 非均相搅拌需要功率	34
(1) 液-液相搅拌	34
(2) 气-液相搅拌	35
(3) 固-液相搅拌	35
3. 搅拌设备形状与需要功率的关系	36
二、驱动搅拌器的电动机功率	36
1. 转轴在轴封中摩擦损耗的功率计算	37
2. 传动机构效率	38

第四章 搅拌叶强度计算

一、计算搅拌叶强度时最大功率的确定	41
二、搅拌叶强度计算	41
1. 平直叶双桨式搅拌器	41
2. 折叶双桨式搅拌器	42
3. 锚式搅拌器	43
4. 单梁框式搅拌器	44
5. 双梁框式搅拌器	45
6. 六叶圆盘涡轮式搅拌器	45
7. 六叶开启式涡轮搅拌器	46
8. 推进式搅拌器	46
三、材料的许用应力	47
四、静平衡试验	47

第五章 搅拌器传动装置

一、常用的几种传动形式	48
二、联轴节选择及布置	50
三、填料箱底座	51
四、搅拌轴设计	53
1. 标准轴径系列	53
2. 轴的计算	53

3. 轴的支承条件	55
4. 轴的垂直度	55
5. 轴的光洁度、公差和表面硬度	55
6. 轴端连接结构	56
五、中间轴承和底轴承	56
1. 中间轴承	56
2. 底轴承	57

第六章 轴的密封

一、概述	59
二、填料密封	59
1. 填料选择	59
2. 填料箱标准介绍	63
3. 其他填料密封结构介绍	67
4. 填料箱结构尺寸的决定	69
5. 与密封结构有关的问题	70
三、端面密封	72
1. 端面密封结构型式的选择	72
2. 端面密封材料选择	74
3. 主要尺寸的确定	75
4. 端面密封设计计算	76
5. 制造与安装精度	89
6. 几种结构介绍	90

附 录

一、非牛顿型液体的搅拌	92
二、搅拌启动功率	97
三、搅拌器选型和功率计算例题	97
四、电动机效率特性	102
五、搅拌器标准(HG)	103
六、框式搅拌器(标准草案)	108
参考资料	111

第一章 搅拌器的型式、结构及选型

符号说明:

- D_0 ——搅拌罐内径, mm;
 D ——搅拌叶直径, mm;
 B ——搅拌叶宽度, mm;
 Z ——搅拌叶叶数, 个;
 S ——搅拌叶螺距, mm;
 L ——搅拌叶长度, mm;
 C ——搅拌叶离罐底或罐壁的距离, mm;
 J ——挡板宽度, mm;
 R ——挡板数, 个;
 H ——液面高度, mm;
 d ——搅拌器轮毂直径, mm;
 $N'_{\text{需要}}$ ——搅拌需要功率(轴功率), 瓦;
 Q ——容积循环速率, 米³/分;
 n ——搅拌器转速, 转/分;
 θ ——搅拌叶和旋转平面所成的角度, (见表 1-1, 图 c、f);
 α ——搅拌叶叶端的切线和轴向半径所成的角度, (见表 1-1, 图 e、g);
 ρ ——液体比重, 一;
 μ ——液体粘度, 厘泊。

一、搅拌器的型式及结构

现将国内外常用的搅拌器型式、尺寸、转速范围(以叶片端部圆周速度表示)液体流动的特性以及材料和结构分别予以归纳, 见表 1-1。

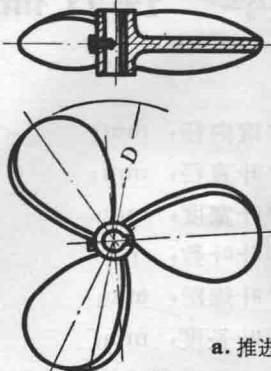
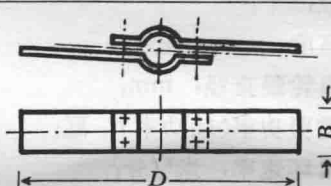
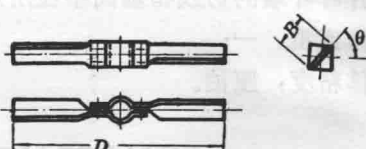
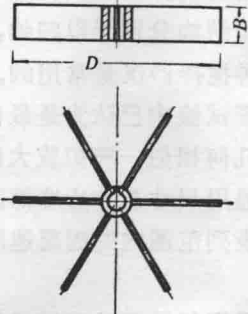
表 1-1 所列各种搅拌器仅是常用的。在特殊场合下应考虑表 1-1 以外的型式。如果有的搅拌型式在生产试验中已认为是最佳的, 并能符合大型生产, 在经济上又合理, 则大型生产中就可用几何相似、模拟放大的方法来设计。

表 1-1 所列的通用尺寸及叶片端部圆周速度范围不是十分严格的。如果在现有的传动机构上无法获得表列范围内的圆周速度, 而生产上又允许放宽时, 可以略为超出此范围。

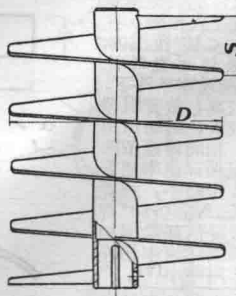
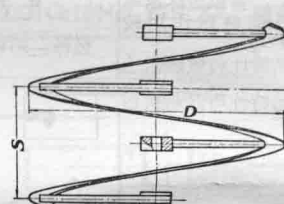
化工部已制订了钢制平直叶双桨式(平直叶就是 $\theta = 90^\circ$, 完全平直的桨叶)、圆盘平直六叶涡轮式, 和船舶型三叶推进式搅拌器的标准。表 1-2 列出其主要尺寸及 $N_{\text{计算}}/n$ 的上限。其详细结构尺寸见附录五或化工部标准 HG5-220-65~HG5-222-65^[9]。

搅拌器的型式、尺寸、特性、材料和结构

表 1-1

型式	通用尺寸及叶片端部圆周速度范围	搅拌液体流动特性	材料及简图结构说明
推进式	$S/D=1$ $Z=3$ 一般 5~15 米/秒 ^[6,7,8] , 与电动机直联的最大周速为 25 米/秒 ^[9] 。	主要是轴向推动液体循环。所起的作用以容积循环为主, 剪切作用小。在湍流区内无挡板时液体生成旋涡。用挡板则无旋涡, 而且上下翻腾更好。	 <p>a. 推进式</p> <p>HT15-33、HT20-40、ZG15B、ZG1Cr13、ZG1Cr18Ni9、ZL7、ZL5、陶瓷、硬木。</p> <p>搅拌叶用铸造时加工方便; 如用焊接时, 需模锻后再与轴套焊接, 加工不便。 轴套以平键和止动螺钉与轴连接。</p>
平直叶	$D/B=4\sim 10$ ^[1,9] $Z=2$ 1.5~3 米/秒 ^[6] 。	低速的浆叶主要产生切线流, 转速加高时可逐渐增加径向流。 无挡板时的流动为涡流, 高速时表面有旋涡生成。加挡板后旋涡消失, 流动以上下翻腾为主。	 <p>b. 平直叶浆式</p> <p>A3F、1Cr13、1Cr18Ni9Ti、L1、L2、硬木。</p> <p>搅拌叶一般以扁钢制造, 强度不够时需要加筋。单面加筋效果较好, 双面加筋会使浆叶翘曲不易校正。角钢制的浆叶亦可用。 扁钢加筋的浆叶与角钢制的相比, 前者生成的湍流强度略大, 故效果高些。 耐腐蚀时可用合金钢或有色金属制成, 但浆叶应尽量避免焊接, 因焊缝处易腐蚀, 尤其离轴中心远的焊缝, 腐蚀速度更大。(有的厂也用衬胶及环氧、酚醛玻璃布等防腐方法) 与轴连接的方法: 轴径 < 50mm, 螺栓对夹, 止动螺钉固定。 轴径 ≥ 65mm, 螺栓对夹, 对穿螺钉固定。</p>
折叶		折叶式与平直叶式相比, 轴向分流略多, 但对粘度较敏感。	 <p>c. 折叶浆式</p> <p>A3F、1Cr13、1Cr18Ni9Ti、L1、L2、硬木。</p>
开启平直叶	$D/B=5\sim 8$ ^[2] $Z=6$ 3~8 米/秒 ^[2,7] 。	搅拌叶主要产生径向流。在圆筒形罐中不装挡板的流动为涡流, 表面有很深的旋涡生成; 装挡板则无旋涡, 并产生叶平面上下两个循环的翻腾。剪切作用比弯叶或折叶大。	 <p>d. 开启平直叶涡轮式</p> <p>A3F、0Cr13、1Cr18Ni9Ti、ZG1Cr13、ZG1Cr18Ni9、L1、L2、硬木, HT15-33。</p> <p>搅拌叶一般采用扁钢和轴套焊接。 铸造制成的浆叶较均匀, 稳定性好, 表面硬度大, 能适用于磨损的场合, 但铸造比焊接复杂, 重量大。 耐腐蚀问题同“浆式”。 轴套以平键和止动螺钉与轴连接。</p>

型式	通用尺寸及叶片端部圆周速度范围	搅拌液体流动特性	材料及简图结构说明
蜗 弯 叶	$D/B=5\sim 8^{[2]}$ $Z=6$ $3\sim 8$ 米/秒 ^[2,7]	搅拌液体的流型基本上与平直叶式相同。在 $300 < N_{Re} < 10^4$ 范围内, 搅拌效果与平直叶比较, 在相同功率条件下, 转速可较高, 故容积循环速率较大, 剪切作用则相似; 相同转速条件下, 容积循环速率相等而剪切作用略小, 消耗功率也低。 $N_{Re} > 10^4$ 则转速一致时消耗功率相同, 容积循环速率相同而剪切作用略小 ^[2] 。	
轮 折 叶		搅拌叶主要产生径向分流, 但亦有一定程度的轴向分流。在湍流区内, 与平直叶式比较, 相同转速条件下消耗功率较小, 容积循环速率相似, 而剪切作用较小 ^[2,11] 。 对粘度比较敏感。	e. 开启弯叶涡轮式 f. 开启折叶涡轮式 材料、结构同开启平直式涡轮式。
式 圆 盘 平 直 叶	$D:L:B=20:5:4^{[3,6]}$ $Z=6$ $3\sim 8$ 米/秒 ^[2,7]	流动特性与开启式相似。	g. 圆盘平直叶涡轮式 h. 圆盘弯叶涡轮式 A3F, 0Cr13, 1Cr13Ni9Ti, L1, L2 搅拌叶一般和圆盘焊接或以螺栓连接, 圆盘焊接在轴套上。耐腐蚀问题同“桨式”。轴套以平键和止动螺钉与轴连接。
式 圆 盘 弯 叶			
			i. 锚式或框式搅拌器 A3F, HT15-33, 1Cr18Ni9Ti, 硬木 搅拌叶可采用扁钢或角钢弯制, 并与轴套一起全部焊接; 亦可用螺栓连接, 整体铸造的方法亦可用。 耐腐蚀问题同“桨式”。 轴套与轴连接可用平键和止动螺钉, 亦可采用“桨式”的连接方法。
锚式 或 框式	$C/D_0=0.05\sim 0.08^{[18]}$ $B/D_0=1/12^{[18]}$ $0.5\sim 1.5$ 米/秒 ^[6]	液体粘度低时搅拌叶主要产生切线流, 粘度高时会有其他方向的分流。	

型式	通用尺寸及叶片端部圆速度范围	搅拌液体流动特性	材料及简图结构说明
螺旋杆式	$S/D=1^{[6]}$ 一般用于层流区	搅拌叶一般在导流筒内推动液体向上, 在筒外的液体则反方向下降。	 <p>j. 螺旋杆式 A3F, 1Cr18Ni9Ti, L1, L2</p>
螺旋带式	$S/D=1^{[6]}$ $B/D_0=0.1^{[5]}$ $Z=1\sim 2$ 螺旋带加工条件尽量与内壁接近 ^[5] 一般用于层流区	液体被螺旋带推动沿设备壁向上, 呈复杂的螺旋状至顶部再沿轴而下。	 <p>k. 螺旋带式 A3F, 1Cr18Ni9Ti, L1, L2</p>

搅拌叶以具有一定螺距的螺旋片焊在轴上制成。耐腐蚀问题同“桨式”。

搅拌叶是螺距一定的螺旋带。带上沿周每一螺距均布焊有2个到3个支撑, 支撑的另一端与轴套焊接, 轴套数量与支撑相同。

耐腐蚀问题同“桨式”。
一端的轴套用平键, 其他的轴套用止动螺钉与轴固定。

- 注: 1. 桨式与开启涡轮式在外型上并无区别。习惯上把桨叶数 <4 , 周速 <3 米/秒的开启式搅拌器称为桨式, 而把桨叶数 >4 , 周速 >3 米/秒的开启式搅拌器称为涡轮式。事实上, 如果提高桨叶数 <4 的搅拌器的转速, 它就起涡轮式搅拌器的作用; 相反, 如降低桨叶数 >4 的搅拌器的转速, 它也就起桨式搅拌器的作用。
2. 层流区、过渡区和湍流区可参考图3-2。 $N_{Re} < 10$ 为层流区, 此区内操作的液体相对运动极小。 $N_{Re} > 1000$ 为湍流区, 液体之间相对运动甚大。两者之间为过渡区。
3. 围绕一固定轴的液体连续回转称为涡流。
由液体涡流所产生的液面凹陷称为旋涡。

HG 搅拌器尺寸表

表 1-2

	D	350	400	500	550	600	700	850	950
平直叶	B	40	40	50	50*	60	90	90	90*
	δ	10	10	12	12	12	16	16	16
	$N_{计算}/n \leq$	0.01	0.01	0.02	0.02	0.025	0.06	0.075	0.075
	D	1100	1100	1250	1250	1400	1400	1500	1500
双叶	B	120	120	120*	150	150	150	150	150
	δ	16	14	14	14	14	16	14	16
	$N_{计算}/n \leq$	0.075	0.2	0.2	0.35	0.25	0.35	0.25	0.35
	D	1700	1700	1800	1800	2000	2000	2100	2100
桨式	B	180	180	180	180	200	200	200*	200*
	δ	16	18	16	20	14	16	14	18
	$N_{计算}/n \leq$	0.4	0.75	0.54	1.0	0.64	0.8	0.6	1.0

续表 1-2

圆叶 盘六 平叶 直式	D	150	200	250	300	400	500	600	700
	L	38	50	62	75	100	125	150	175
	B	30	50*	60*	60	80	100	120	140
	δ	4	4	4	5	6	8	8	10
	$N_{\text{计算}}/n \leq$	0.008	0.008	0.011	0.018	0.031	0.089	0.110	0.40
船叶 船推进 三式	D	150	200	250	300	400	500	600	700
	S/D	1	1	1	1	1	1	1	1
	$N_{\text{计算}}/n \leq$	0.008	0.008	0.01	0.01	0.031	0.062	0.11	0.16

注: 1. 表中 $N_{\text{计算}}/n$ 为搅拌器强度所允许的数值, 其计算温度为 $\leq 200^{\circ}\text{C}$;

$N_{\text{计算}}$ ——计算强度的最大功率, 瓩(计算见第四章);

n ——搅拌器转速, 转/分;

δ ——搅拌叶厚度, 毫米。

2. 有 * 者尺寸与表 1-1 所列通用尺寸略有不同, 这是考虑到机械设计上的原因。

二、搅拌附件

1. 挡 板

在下列场合中可考虑搅拌设备内装挡板:

- ① 需要较大的搅拌强度, 或需要较大的剪切作用或容积循环速率。
- ② 需要被搅拌的液体作上下翻腾的运动。
- ③ 有时为了严格控制流型, 实验时与生产上应用时的搅拌流型必须相同。如果搅拌在湍流范围内, 也必须使用挡板才能解决此问题。

设备内的附件如蛇管, 支撑件等也能起一定程度的挡板作用。直立式蛇管的挡板作用是很显著的。

用斜入或旁入方法安装的推进式搅拌器时(见图 1-4)液体无涡流, 不需装挡板。

设备内附件在装置到一定程度, 当在已定的转速下再增加附件而轴功率仍保持恒定不变时, 称为符合“全挡板条件”。

通常径向安装 4 块宽度为 $1/12 \sim 1/10$ 罐直径的挡板即能满足全挡板条件。(见图 1-1)。当罐直径很大或很小时, 可以酌量增多或减少挡板的数目。此时如要达到全挡板条件须符合下式^[23],

$$\left(\frac{J}{D_0}\right)^{1.2} R = 0.35 \quad (1-1)$$

挡板的上部可与静液面相平, 其下部与罐底的距离见图 1-1(a)。在固液比及固液比重差都较大时, 此距离不宜太小, 以免淤塞。

装有卧式蛇管的设备内加装挡板时, 宜装于蛇管的内侧(即装在蛇管与搅拌器之间)。此时挡板也兼作蛇管的支撑用。

固液相操作或液体粘度达 $7,000 \sim 10,000$ 厘泊时, 挡板要离壁安装, 其间隙建议为 $1J$ ^[4], 见图 1-1(b)。为了进一步避免固体堆积或粘滞液体生成死角, 还可以沿流动方向

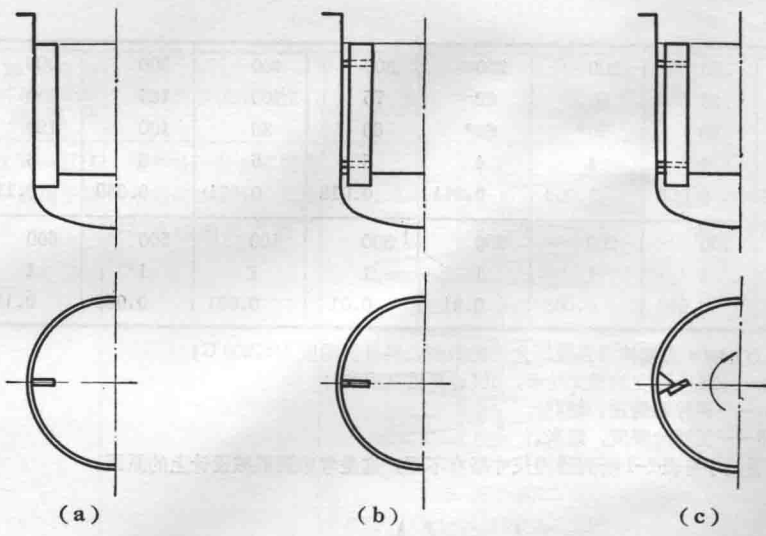


图 1-1 挡板的安装

倾斜地装置^[2]。此时宽度“*J*”为其投影宽度，见图 1-1(c)。

液体粘度约达 20,000 厘泊时，挡板的宽度可为式(1-1)计算值的 75%；而在 20,000 厘泊以上时，挡板宽度就可更小于式(1-1)的计算值，粘度越大，宽度越小；当粘度达 50,000~60,000 厘泊以上时就不用挡板^[2]。

固液相操作中，如固体物料易粘附堆积并给生产上带来困难，就不能用挡板(设备内附件要减少到最少程度)。

高粘度物料操作中使用桨式搅拌器时，可装上横挡板以增加掺和作用，见图 1-2。横挡板宽度可以与搅拌叶宽度相同。它与搅拌器的轴向距离越近，剪切作用越大。

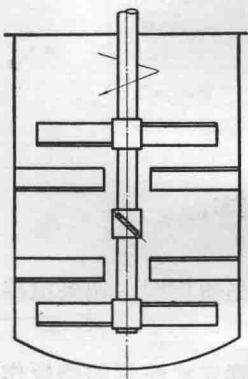


图 1-2 横挡板的安装

2. 导流筒(或导流环)

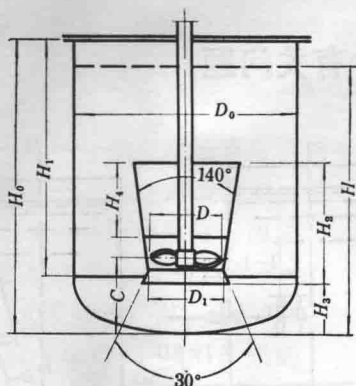
推进式、涡轮式及螺杆式搅拌器均可加教导流筒来达到特定的搅拌要求。加教导流筒后，如搅拌器是推进式或螺杆式，则向上推进液体的搅拌器将产生导流筒内向上而筒外向下的循环，向下推进液体的搅拌器则将产生与上述反方向的循环。涡轮式搅拌器的循环方向按筒内壁叶片的折叶方向而定；如筒内壁不装叶片，且搅拌器离底的距离小时，循环方向是筒内向下、筒外向上(如上药三厂伍式发酵罐)。加教导流筒后，流型是能严格控制的，混和效果也显著加强，所以使用它有时能达到挡板的同样目的，但搅拌时流体中央仍有旋涡，且两者的流型也不相同。

推进式搅拌器与导流筒之间的尺寸关系见图 1-3^{[9]*}。

涡轮式搅拌器与导流筒之间的大致参考尺寸关系如下：

- ① 与导流筒的间隙 0.05 *D*。

* 注：见部标编制说明。



$$D = (0.3 - 0.33) D_0 \quad D_1 = 1.1 D \quad H_4 = D$$

$$C = 1.2 D \quad H_2 \leq 0.5 H_1$$

$$H = 0.75 H_0 \quad H_3 \leq 0.5 H_1$$

$$H = 0.75 H_0 \quad H_5 = 0.8 D$$

图 1-3 推进式搅拌器与导流筒的尺寸关系

② 导流筒高度 $\geq 0.25 D_0$

③ 涡轮式搅拌器的导流筒内壁可以具有与搅拌叶同样多或更多的叶片。在气液相操作中(气相比重较轻),导流筒内叶片向下折流;处理固液相时(固相比重较重),向上折流。搅拌器可以恰巧置在导流筒之下。

螺杆式搅拌器的导流筒的适宜直径为 $0.7 D_0$ ^[5],高度可以与螺杆相同或略大于螺杆高度。

3. 蛇 管

传热蛇管的大致尺寸关系如下^[2]:

① 单层蛇管的管螺距不小于 2.5 倍管外径。

② 多层蛇管的管螺距不小于 3 倍管外径,层间管中心距不小于 3 倍管外径,内外层不可交错排列。

③ 外圈蛇管中心与罐内壁的距离不小于 3 倍管外径。

使用涡轮或桨式搅拌器且液体粘度很大或有固相存在时,蛇管宜在搅拌叶的平面位置处分离为上、下两层以减少阻力,相隔的距离至少要 1 个搅拌叶宽度。

三、搅拌器的选型

这里介绍的是在无类似生产的搅拌型式可参考时,牛顿型液体搅拌器的选型方法。供设计时参考。

在固定的生产上使用不同型式的搅拌器可能会得到不同的结果。但是,如果生产上容易达到要求,且设备价格和功率费用都较低,则效率的问题显得次要,那对于最佳型式的选择不严格。

如果生产上的要求严格,且超过了本节所能解决的范围时,建议在一定的试验基础上进一步研究得出最佳型式后,再用“模拟放大”的方法设计。

在很多场合搅拌罐是用作反应设备的,搅拌在化学动力学控制的过程中不是主要矛盾,故亦不属本节的范围。

1. 选型时的几个有关问题

(1) 斜入和旁入推进式搅拌器的布置

图 1-4 示出斜入和旁入推进式搅拌器的最佳布置方位、尺寸关系和回转方向。按此，被搅拌的液体不产生涡流，最容易达到均匀一致。

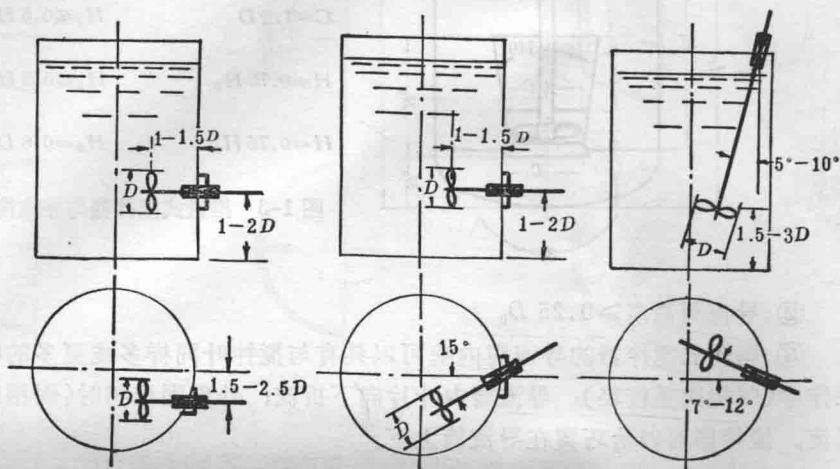


图 1-4 斜入和旁入的推进式搅拌器^[8]
左螺旋，顺时针旋转，推动液体向下或向前

(2) 搅拌器叶数

对于一般常用的搅拌器，最适宜的叶数为：

桨式 2 叶 推进式 3 叶 涡轮式 6 叶

在固体大量粘附又要经常清理的场合，叶数少较为有利，可用 2 叶式的搅拌器。

(3) 搅拌器层数及层间距

推进式搅拌器的层数可参考表 1-3 决定。

推进式搅拌器的层数^[8]

表 1-3

单 层	双 层
1. 液体粘度低于 100 厘泊。 2. 液面高度低，或高度会变低。 3. 需要较大的容积循环速率，故使用大直径的搅拌叶。 4. 需要保持罐底清净。	1. 液体粘度大于 100 厘泊。 2. 液面高度 $> 4D$ 。 3. 需较大的剪切作用，故用小直径的搅拌叶。 4. 需要减小安装座架的大小。

使用涡轮式搅拌器时，

$$\text{涡轮式搅拌器层数} = \frac{H\rho^{(11)}}{D_0} \quad (1-2)$$

搅拌两相物料时，比重 ρ 应是平均比重。

曾有人认为^[2]，如被搅拌的液体比重和粘度均近似于水，涡轮式搅拌器的搅拌所及范围在设备内上下大约可达 $4D$ 。此范围随粘度增加而变小，当粘度达 50,000 厘泊时，可小至 $1/2D$ 。

以上可作为选型时初步拟定搅拌器层数的参考。如果液体粘度较大，则当各项有关参数都已决定，搅拌器的需要功率*亦经计算得到后，还可以用以下方法覆核：

* 需要功率是搅拌叶在物料中正常运转的消耗功率，一切机械损耗均不包括在内，一般称为轴功率。

推进式或涡轮式搅拌器的搅拌理论有效圆周半径为，

$$R_a = 9.02 \times 10 \sqrt{\frac{N'_{\text{需要}}}{\mu}} \quad (1-3)$$

式中： R_a ——搅拌理论有效圆周半径，米

$N'_{\text{需要}}$ ——搅拌需要功率，瓦

μ ——液体粘度，厘泊

图 1-5 是使用式 (1-3) 对 $\mu = 1,000 \sim 100,000$ 厘泊， $N'_{\text{需要}} = 0.075 \sim 35$ 瓦， $R_a = 0.0305 \sim 18.3$ 米的计算结果。

船舶型推进式和平直叶涡轮式搅拌器的实际搅拌所及范围为^[4]：

推进式搅拌器

$$\text{径向半径 } R'_{ah} = 0.2 R_a \quad (1-4)$$

$$\text{轴向半径 } R'_{av} = 0.6 R_a \quad (1-5)$$

涡轮式搅拌器

$$\text{径向半径 } R'_{ah} = 0.5 R_a \quad (1-6)$$

$$\text{轴向半径 } R'_{av} = 0.2 R_a \quad (1-7)$$

例^[4]：在直径 1200 毫米的罐中使用叶径为 600 毫米的涡轮搅拌器，转速为 175 转/分。被搅拌液体 $\mu = 60,000$ 厘泊， $\rho = 0.962$ 。求搅拌所及有效范围。

解：使用图 1-5 前要先计算搅拌需要功率。

计算得到的需要功率为 10.4 瓦*。

由图 1-5 查得 $R_a = 1200$ 毫米

故搅拌所及有效范围为 $R'_{ah} = 0.5 \times 1200 = 600$ 毫米

$$R'_{av} = 0.2 \times 1200 = 240 \text{ 毫米}$$

由计算的结果来看，选择 $D_0/D = 2$ 是可以的，而多层搅拌器的层间距必需小于 240 毫米。

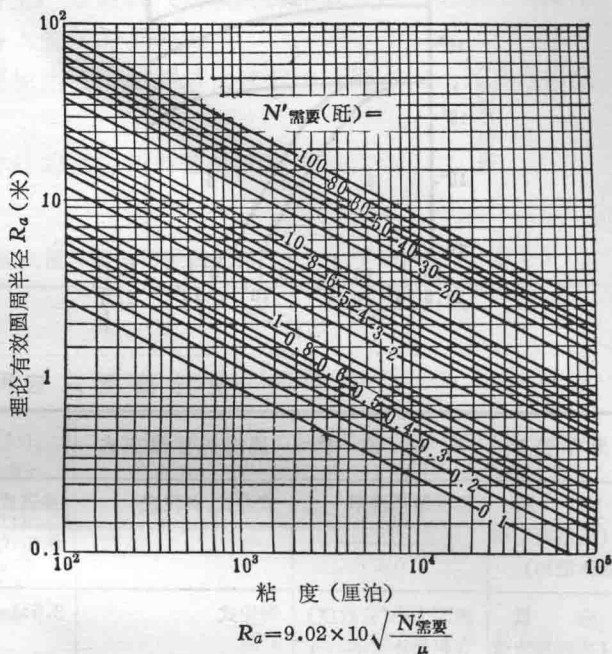


图 1-5 搅拌理论有效圆周半径^[12]

2. 选型方法

要搅拌的生产过程可以分为几种操作类别，而每种操作类别中又各有其主要控制因

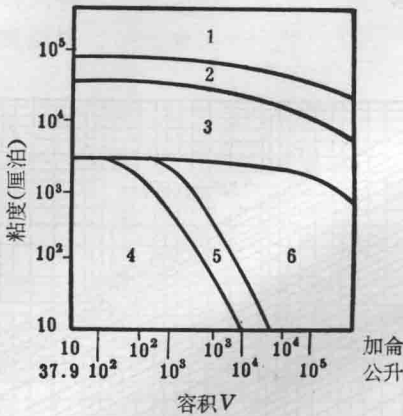
*
$$N_{Re} = \frac{nD^2\rho}{\mu} = \frac{175 \times 0.6^2 \times 0.962 \times 1000}{60,000 \times 10^{-3} \times 60} = 16.8, \text{ 由图 3-7 查得 } N_p = 5.5$$

$$N'_{\text{需要}} = N_p \rho n^3 D^5 / g_c = \frac{5.5 \times 1000 \times 0.962 \times \left(\frac{175}{60}\right)^3 \times 0.6^5}{9.81 \times 10^2} = 10.4 \text{ 瓦}$$

计算方法和单位见表 3-1。

素。如果在选型时先找出其操作类别和控制因素，选型就有了方向。以下就是这样进行的。

图 1-6 及表 1-4 可作为选型时的参考。



- 图中区域：1 区为桨式变种
 2 区为桨式
 3 区为涡轮式
 4 区为推进式 1750 转/分
 5 区为推进式 1150 转/分
 6 区为推进式 420 转/分

图 1-6 搅拌器型式与罐内液体容积及粘度的关系^[10]

搅拌器型式选用表*

表 1-4

操作类别	控制因素	适用搅拌器型式	D_0/D	H/D_0	层数及位置
调和 (低粘度均相液体混和)	容积循环速率	推进式、涡轮式	推进式： 4:1~3:1 涡轮式： 6:1~3:1	不限	单层或多层。中央插入时 $C/D=1$
分散 (非均相液体混和)	液滴大小(分散度) 容积循环速率	涡轮式	3.5:1~3:1	1:1~1:2	$C/D=1$
固体悬浮	容积循环速率 湍流强度	按固体粒度、含量及比重决定用桨式、推进式或涡轮式	推进式： 2.5:1~3.5:1 桨式或涡轮式： 2.0:1~3.2:1	1:2~1:1	根据固体粒度、含量及比重决定 C/D 比
气体吸收	剪切作用 容积循环速率 高速度	涡轮式	2.5:1~4.0:1	4:1~1:1	单层或多层 $C/D=1$ 自吸式操作时，搅拌叶紧贴液面
传热	容积循环速率 流经传热面的湍流速度	桨式、推进式、涡轮式	桨式：1.25:1~2:1 推进式：3:1~4:1 涡轮式：3:1~4:1	1:2~2:1	见 2.(5) (第 15 页)
高粘度操作	容积循环速率 低速度	涡轮式、框式、螺杆式、螺带式、带横挡板的桨式	涡轮式： 1.5:1~2.5:1 桨式： 1.25:1 左右	1:2~1:1	
结晶	容积循环速率 剪切作用 低速度	按控制因素用涡轮式、桨式或桨式的变种	涡轮式： 2.0:1~3.2:1	2:1~1:1	单层或多层。单层一般要装在 $H/2$ 处

* 主要参考：Parker, Chem. Eng. 71 (12) 161 (1964).

现在按表 1-4 所列的各项操作类别逐项加以说明：