

中华人民共和国化工行业标准



HG/T 20569—2013

代替 HG/T 20569—1994

机 械 搅 拌 设 备

Mechanical mixing equipment

2013-10-17 发布

2014-03-01 实施



中华人民共和国工业和信息化部 发布

中华人民共和国化工行业标准

机 械 搅 拌 设 备

Mechanical mixing equipment

HG/T 20569—2013

主编单位：中国天辰工程有限公司

批准部门：中华人民共和国工业和信息化部

实施日期：2014年3月1日

中国计划出版社

2014 北 京

中华人民共和国化工行业标准
机 械 搅 拌 设 备

HG/T 20569—2013

☆

中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座3层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

880 mm×1230 mm 1/16 8.25 印张 206 千字

2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷

印数 1—3100册

☆

统一书号: 1580242·328

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国工业和信息化部

公 告

2013 年 第 52 号

工业和信息化部批准《甲基丁烯醇聚醚》等 811 项行业标准,其中:化工行业标准 149 项、有色行业标准 105 项、黄金行业标准 5 项、冶金行业标准 15 项、建材行业标准 3 项、机械行业标准 39 项、航空行业标准 69 项、船舶行业标准 53 项、汽车行业标准 42 项、纺织行业标准 63 项、轻工行业标准 59 项、石化行业标准 42 项、民爆行业标准 1 项、电子行业标准 50 项、通信行业标准 116 项,现予以公告。

以上化工行业标准由化工出版社出版,纺织、有色及黄金行业标准由中国标准出版社出版,冶金行业标准由冶金工业出版社出版,建材行业标准由建材工业出版社出版,机械行业标准由机械工业出版社出版,航空行业标准由中国航空综合技术研究所组织出版,船舶行业标准由中国船舶工业综合技术经济研究院组织出版,汽车行业标准由中国计划出版社出版,轻工行业标准由中国轻工业出版社出版,石化行业标准由中国石化出版社出版,民爆行业标准由中国兵器工业标准化研究所组织出版,电子行业标准由工业和信息化部电子工业标准化研究院组织出版,通信行业标准由人民邮电出版社出版。

附件:12 项化工行业标准编号、标准名称和起始实施日期。

中华人民共和国工业和信息化部

二〇一三年十月十七日

附件：

12 项化工行业标准编号、标准名称和起始实施日期

序号	标准编号	标 准 名 称	被代替标准名称	起始实施日期
138	HG/T 22801—2013	化工矿山企业初步设计内容和深度的规定	HG 22801—1993	2014-03-01
139	HG/T 20567—2013	热油炉技术条件	HG/T 20567—1994	2014-03-01
140	HG/T 20677—2013	橡胶衬里化工设备设计规范	HG/T 20677—1990	2014-03-01
141	HG/T 21559.1—2013	不锈钢网孔板波纹填料工程技术规范	HG/T 21559.1—1995	2014-03-01
142	HG/T 20569—2013	机械搅拌设备	HG/T 20569—1994	2014-03-01
143	HG/T 21641—2013	管道工厂化预制技术规范		2014-03-01
144	HG/T 20578—2013	真空预压法加固软土地基施工技术规程	HG/T 20578—1995	2014-03-01
145	HG/T 20504—2013	化工危险废物填埋场设计规定	HG 20504—1992	2014-03-01
146	HG/T 20657—2013	化工采暖通风与空气调节术语		2014-03-01
147	HG/T 20577—2013	塔填料流体力学及传质性能测试规范		2014-03-01
148	HG/T 20501—2013	化工建设项目环境保护监测站设计规定	HG 20501—1992	2014-03-01
149	HG 20706—2013	化工建设项目废物焚烧处置工程设计规范		2014-03-01

前 言

本标准根据中华人民共和国工业和信息化部(工信厅科[2011]134号文)和中国石油和化学工业联合会(中石化联质发[2011]300号文)的要求,由中国石油和化工勘察设计协会委托中国石油和化工勘察设计协会设备设计专业委员会(全国化工设备设计技术中心站)组织中国天辰工程有限公司修订。

本标准自实施之日起代替《机械搅拌设备》HG/T 20569—1994。

本标准在修订过程中,进行了广泛的调查研究,总结了我国工程建设的实践经验,结合有关标准的变化,并在广泛征求意见的基础上,修订完成本标准。

本标准共分 11 章和 6 个附录。

本标准与《机械搅拌设备》HG/T 20569—1994 相比,主要变化如下:

1. 正文部分由原来 4 章增加到 11 章;
2. 增加了本标准用词说明、引用标准目录;
3. 增加了材料、搅拌设备组装、安全;
4. 增加了试验方法、检验规则;
5. 增加了搅拌设备出厂要求;
6. 增加了附录 A“搅拌机数据表”;
7. 增加了附录 F“搅拌机振动诊断”;
8. 修改了本标准的不适用范围;
9. 修改了术语,并增加了英文对应词;
10. 修改了搅拌容器与搅拌机的典型组合型式;
11. 修改了搅拌容器和搅拌机制造、检验和验收的要求;
12. 修改了附录 C“搅拌桨与搅拌轴设计”的部分内容;
13. 修改了附录 D“搅拌设备工艺参数”的部分内容;
14. 对原标准有关章节的内容进行了调整和组合。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出并归口。

本标准的技术内容由中国天辰工程有限公司负责解释。本标准执行过程中如有意见和建议,请寄送中国天辰工程有限公司(地址:天津市北辰区京津公路 1 号天辰大厦,邮政编码:300400,电话:022-23407882,传真:022-23407949)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:中国天辰工程有限公司

参 编 单 位:中石化上海工程有限公司

惠生工程(中国)有限公司

上海亚达发搅拌设备有限公司

浙江长城减速机有限公司
浙江长江搅拌设备有限公司
四川日机密封件股份有限公司
伊格尔·博格曼中国
大连华阳光大密封有限公司

主要起草人:陈维江 曹文辉 芦 玲 陈 伟 许宏亮 栗 娜 马立全 刘 鹏 张梦娣
田 斌 虞 军 苏 杨 王一帆 曾 勇 施 玲 何向东
主要审查人:冯连芳 蒋 国 邢桂坤 任学宁 陈仓社 夏少青 李 冰 钱静怡 张 利
胡小元 张嘉琳 彭世宏 吴云龙 齐志才 宋克刚 方志安 郝文生 彭 杰
于业明

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	型 式	(3)
4	材 料	(5)
5	搅拌容器	(6)
6	搅 拌 机	(8)
6.1	未注尺寸公差	(8)
6.2	搅拌桨	(8)
6.3	搅拌轴	(9)
6.4	轴封	(9)
6.5	传动装置	(13)
6.6	机架和轴承座	(14)
6.7	中间轴承和底轴承	(15)
6.8	联轴器	(15)
7	搅拌设备组装	(16)
8	安 全	(18)
9	试验方法	(19)
9.1	搅拌容器	(19)
9.2	搅拌机	(19)
9.3	搅拌设备运转试验	(20)
10	检验规则	(22)
11	搅拌设备出厂要求	(24)
11.1	出厂资料	(24)
11.2	搅拌设备铭牌	(25)
11.3	油漆和防锈	(25)
11.4	包装和运输	(25)
附录 A	搅拌机数据表	(26)
附录 B	搅拌容器	(30)
B.1	总则	(30)
B.2	无夹套容器	(30)
B.3	带夹套容器	(30)
B.4	带盘管容器	(41)
B.5	搅拌机对搅拌容器作用的附加规定	(44)
附录 C	搅拌桨与搅拌轴设计	(48)

C.1 搅拌桨	(48)
C.2 搅拌桨与搅拌轴的联接	(66)
C.3 搅拌轴	(68)
C.4 搅拌轴计算中有关数据的选取	(82)
附录 D 搅拌设备工艺参数	(87)
附录 E 搅拌机各零部件的传动效率	(96)
附录 F 搅拌机振动诊断	(97)
本标准用词说明	(99)
引用标准名录	(100)
附:条文说明	(101)

Contents

1	General Provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Types	(3)
4	Materials	(5)
5	Mixing vessels	(6)
6	Agitators	(8)
6.1	Unmarked tolerance	(8)
6.2	Impellers	(8)
6.3	Shafts	(9)
6.4	Shaft seals	(9)
6.5	Transmissions	(13)
6.6	Frames and bearing housings	(14)
6.7	Intermediate bearings and steady bearings	(15)
6.8	Couplings	(15)
7	Mixing equipment assembly	(16)
8	Safety	(18)
9	Test	(19)
9.1	Mixing vessels	(19)
9.2	Agitators	(19)
9.3	Mixing test	(20)
10	Inspection	(22)
11	Shipment requirements of mixing equipments	(24)
11.1	Vendor's data	(24)
11.2	Nameplates	(25)
11.3	Painting and rust prevention	(25)
11.4	Packing and preparation for shipment	(25)
Appendix A Agitator data sheets		(26)
Appendix B Mixing vessels		(30)
B.1	General	(30)
B.2	Vessels without jacket	(30)
B.3	Vessels with jacket	(30)
B.4	Vessels with coil	(41)
B.5	Additional requirements for mixing vessels considering the effect of agitators	(44)
Appendix C Design for impellers and shafts		(48)

C.1	Impellers	(48)
C.2	Connections of impellers and shafts	(66)
C.3	Shafts	(68)
C.4	Data selections for shaft calculation	(82)
Appendix D	Process parameters of mixing equipments	(87)
Appendix E	Agitator parts of the transmission efficiency	(96)
Appendix F	Vibration diagnosis of mixing units	(97)
	Explanation of wording in this standard	(99)
	Normative standard	(100)
	Addition; Explanation of the provisions	(101)

1 总 则

1.0.1 为了规范机械搅拌设备(以下简称搅拌设备)的设计,提高设计水平,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,制定本标准。

1.0.2 本标准规定了搅拌设备的设计、制造、检验和验收的要求。

1.0.3 本标准适用于化工、石油化工装置以及其他类似装置中的搅拌设备。

1.0.4 本标准不适用于下列搅拌设备:

- 1 受直接火焰加热的搅拌设备;
- 2 核能装置中存在中子辐射损伤失效风险的搅拌设备;
- 3 移动式搅拌设备(如车载或船载);
- 4 需做疲劳分析的搅拌设备。

1.0.5 搅拌设备的设计,除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 搅拌设备 mixing equipments

搅拌容器和搅拌机两大部分组成的总称。

2.0.2 搅拌容器 mixing vessels

运行中与搅拌机共同完成介质的物理、化学(如悬浮、分散、乳化、混匀、溶解、吸收、萃取、化学反应以及传热等)过程的容器。

2.0.3 搅拌机 agitators

由搅拌桨、搅拌轴、轴封系统和传动装置(驱动器、减速器、机架、联轴器)等组成的总体。

2.0.4 搅拌桨 impellers

由各种几何形状的桨叶或叶轮组成的部件总称。

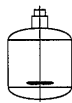
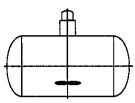
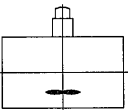
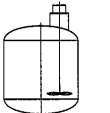
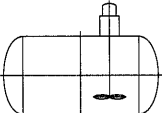
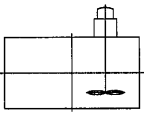
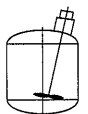
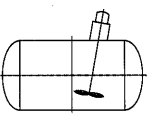
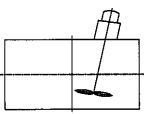
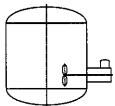
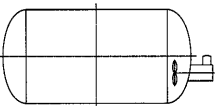
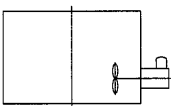
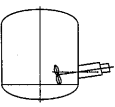
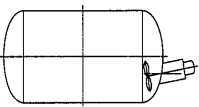
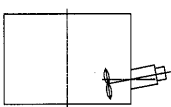
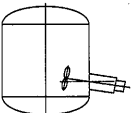
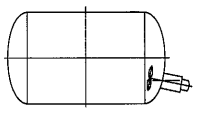
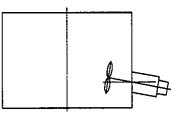
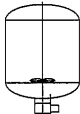
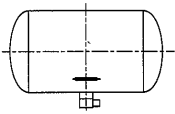
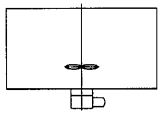
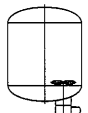
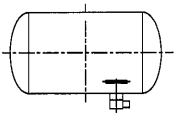
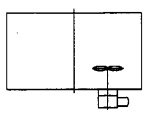
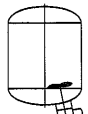
2.0.5 轴封 shaft seals

搅拌机传动轴与搅拌容器结合处的密封装置。

3 型 式

3.0.1 搅拌容器与搅拌机的组合型式,应满足搅拌设备大小、安装空间、容器工艺管口布置及流场运动方向控制等要求,其典型组合型式见表 3.0.1。

表 3.0.1 搅拌容器与搅拌机的典型组合型式

序号	搅拌机安装形式		搅拌容器 典型结构形式	典型图例		
				立式圆筒形	卧式圆筒形	矩形
1	顶入式	中心顶入式	立、卧式圆筒形矩形			
		偏心顶入式	立、卧式圆筒形矩形			
		倾斜顶入式	立、卧式圆筒形矩形			
2	侧入式	水平侧入式	立、卧式圆筒形矩形			
		上斜侧入式	立、卧式圆筒形矩形			
		下斜侧入式	立、卧式圆筒形矩形			
3	底入式	中心底入式	立、卧式圆筒形矩形			
		偏心底入式	立、卧式圆筒形矩形			
		倾斜底入式	立式圆筒形		—	—

3.0.2 搅拌机顶入式安装可分为中心顶入式、偏心顶入式和倾斜顶入式三种形式,并应符合下列规定:

- 1 无特殊要求的容器搅拌作业,宜采用搅拌机中心顶入式安装。
- 2 中、小型容器和不宜设置挡板的卫生级容器搅拌作业,宜采用搅拌机偏心顶入式安装。
- 3 小型常压或敞开容器搅拌作业,宜采用搅拌机倾斜顶入式安装。

3.0.3 搅拌机侧入式安装可分为水平侧入式、上斜侧入式和下斜侧入式三种形式,并应符合下列规定:

- 1 搅拌机侧入式安装宜设置搅拌轴密封的堵流结构。
- 2 大型贮存容器搅拌作业,宜采用搅拌机水平侧入式安装。
- 3 有悬浮固体沉积的大型贮存容器搅拌作业,宜采用搅拌机上斜侧入式安装。
- 4 需强化上下循环流场的大型贮存容器搅拌作业,宜采用搅拌机下斜侧入式安装。

3.0.4 搅拌机底入式安装可分为中心底入式、偏心底入式和倾斜底入式三种形式,并应符合下列规定:

- 1 大型容器和筒体高度与筒体内径之比大于 3 的容器底部物料搅拌作业,宜采用搅拌机中心底入式安装。
- 2 大型容器和不宜设置挡板的卫生级容器底部物料搅拌作业,宜采用搅拌机偏心底入式安装。
- 3 底部物料需高速分散剪切的小型容器搅拌作业,宜采用搅拌机倾斜底入式安装。

4 材 料

4.0.1 搅拌容器的材料应符合《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004、《压力容器》GB 150.1~150.2 和《钢制焊接常压容器》NB/T 47003.1—2009 的规定。

4.0.2 搅拌机的材料应符合下列规定：

1 搅拌机的材料应满足本标准附录 A 的要求。

2 搅拌机供货厂商应保证其使用的材料适合于规定的操作和环境条件,且与工艺介质具有相容性。

3 搅拌机供货厂商可根据经验提出建议,采用比买方在本标准附录 A 的规定要求更高的材料,并经买方确认。

4 除另有规定外,碳素钢和低合金钢材料的腐蚀裕量应大于或等于 1mm;高合金钢和有色金属材料的腐蚀裕量可不计。

4.0.3 对所选用材料有特殊要求时,应在设计图样或技术文件中注明。

5 搅拌容器

5.0.1 搅拌容器本体的制造、检验和验收除应符合《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004、《压力容器》GB 150.4 和《钢制焊接压力容器》NB/T 47003.1—2009 的规定外,还应符合设计图样的要求。

5.0.2 钢制焊接搅拌容器的设计和计算,应符合本标准附录 B 的要求。

5.0.3 接口法兰和安装底盖应符合下列规定:

1 当接口法兰采用接管法兰型式时,法兰的制造、检验和验收应符合《钢制管法兰、垫片、紧固件》HG/T 20592~20615 的规定以及设计图样的要求。

2 当接口法兰采用凸缘法兰型式时,凸缘法兰的制造、检验和验收应符合《搅拌传动装置 凸缘法兰》HG 21564 的要求。

3 安装底盖的制造、检验和验收应符合《搅拌传动装置 安装底盖》HG 21565 的要求。

4 接口法兰与安装底盖的结合面、安装底盖与机架及轴封的结合面应与搅拌轴垂直,其垂直度公差应小于或等于接口法兰外径的 1‰。

5 接口法兰和安装底盖应与机架凸缘及轴封凸缘轴线同轴,其同轴度公差应按《形状和位置公差 未注公差值》GB/T 1184 的 8 级精度要求选取。

5.0.4 支座应符合下列规定:

1 宜选用《容器支座》JB/T 4712.1~4712.4 规定的支座型式。

2 对于无夹套容器,支座宜装设在容器壳体上。

3 对于带夹套容器,支座安装应符合下列规定:

1) 整体夹套容器:支座可装设在整体夹套壳体上或者无夹套覆盖部分的壳体上;

2) 蜂窝夹套、半管夹套和型钢夹套:支座应装设在容器壳体上。当支座处遇有被覆盖的夹套时,夹套应局部避开支座。夹套与支座在壳体上的焊缝边缘间距离宜大于 3 倍容器壳体壁厚且大于或等于 100mm;

3) 外盘管容器:支座安装应符合本标准第 5.0.4 条 3 款 2) 项的规定。

4 设计非标准支座(包括裙式支座)时,应进行支座的强度计算。必要时,还应对连接支座的容器壳体或夹套壳体进行局部应力校核。

5 在进行支座和壳体的强度计算时,应满足搅拌机对其产生的动力影响的要求。

5.0.5 搅拌容器内表面根据工艺过程的要求需要进行抛光时,其内表面抛光后表面粗糙度 Ra 值应在 $0.1\mu\text{m}$ 至 $0.8\mu\text{m}$ 之间取值;其他可能接触物料的零部件表面也应进行抛光,其表面粗糙度应符合设计图样的要求;检验及评判规则除应符合《金属抛光表面质量检测及评定规则》HG/T 4079 的规定外,还应符合设计图样的要求。

5.0.6 受压夹套与筒体连接的环焊缝应进行 100% 磁粉或渗透无损检测,符合《承压设备无损检测》

JB/T 4730.4 或 JB/T 4730.5 中 I 级的要求为合格。

5.0.7 搅拌容器人孔开设位置和尺寸应满足搅拌机的装拆要求。

6 搅 拌 机

6.1 未注尺寸公差

6.1.1 除另有规定外,搅拌机各零部件加工面的未注尺寸公差应满足《一般公差 未注公差的线性

和角度尺寸的公差》GB/T 1804 的 m 级精度要求,非加工面的未注尺寸公差应满足 GB/T 1804 的 c

级精度要求。

6.1.2 加工面未注形位公差应满足《形状和位置公差 未注公差值》GB/T 1184 的 K 级精度要求。

6.1.3 铸件非加工面的未注尺寸公差应满足《铸件 尺寸公差与机械加工余量》GB/T 6414 中

CT14 的要求。

6.2 搅 拌 桨

6.2.1 搅拌桨的设计和计算,应符合本标准附录 C 第 C.1 节的规定,并应符合设计图样的要求。

6.2.2 搅拌桨与工艺参数的关系以及在容器中的尺寸及通用参数,可按本标准附录 D 的规定取值。

6.2.3 采用焊接结构的搅拌桨,应满足拆装以及进出搅拌容器的要求。

6.2.4 应在搅拌桨显著位置标明搅拌轴的旋转方向。

6.2.5 搅拌桨、轴组件的平衡试验应符合下列规定:

- 1 当搅拌机(轴)转速大于或等于 60r/min 时,搅拌桨应进行静平衡试验。
- 2 当轴长大于或等于 2.5m 时,搅拌桨应进行静平衡试验。
- 3 当搅拌机(轴)转速大于或等于 150r/min 时,搅拌桨和轴应进行组装后的静平衡试验。
- 4 当轴长大于或等于 3.6m 时,搅拌桨和轴应进行组装后的静平衡试验。
- 5 当搅拌机(轴)转速大于或等于 400r/min 时,搅拌桨应进行组装后的动平衡试验。
- 6 当柔性轴设计时,搅拌桨应进行组装后的动平衡试验。

6.2.6 许用不平衡力矩应符合下列规定:

搅拌机的许用不平衡度要求,可用许用不平衡力矩表示,也可用许用偏心距表示。当用许用偏

心距表示时,动平衡试验的校正平面许用值应为许用偏心距 $[e]$ 之半。

许用不平衡力矩应按下式计算:

$$[M] = 10^{-3}[e] \cdot Q \quad (6.2.6)$$

式中:[M]——许用不平衡力矩(N·m);

Q ——轴、搅拌桨及其他组合件的重力(N);

$[e]$ ——许用偏心距(组合件重心处)(mm), $[e]=9.55G/n$;

G ——平衡精度等级(mm/s)(见本标准附录 C 第 C.4.6 条第 2 款);

n ——搅拌轴转速(r/min)。

6.3 搅 拌 轴

- 6.3.1 搅拌轴材料应满足使用工况的要求,并应满足轴的强度、刚度和其他机械性能等要求。
- 6.3.2 搅拌容器内部的搅拌轴可设计分段结构,两段轴之间的连接应采用刚性联轴器。对顶部插入且分段的轴,轴上可设计搁轴结构。
- 6.3.3 除另有规定外,搅拌轴应采用实心轴结构。当采用空心轴结构时,轴的两端应密封焊。
- 6.3.4 轴不应拼接加长。对轴与联轴器采用焊接结构的轴,应进行焊后精加工。
- 6.3.5 长轴应采取防止变形的措施。
- 6.3.6 设计搅拌轴时,应计算轴的强度(扭矩和弯矩组合作用强度)和临界转速。当有要求时,还应计算轴的刚度(扭转变形和弯曲挠度)。搅拌轴的设计和计算,应符合本标准附录 C 第 C.3 节的规定。
- 6.3.7 除另有规定外,搅拌轴应采用刚性轴设计。当采用柔性轴设计时,应在搅拌机显著位置注明“不得空转”。
- 6.3.8 轴的直线度允差除符合表 6.3.8 的规定外,还应符合设计图样的要求。

表 6.3.8 轴的直线度允差

类 型	实 心 轴		空 心 轴			
			加 工 段		非 加 工 段	
转速(r/min)	<100	100~1000	<100	100~1000	<100	100~1000
每米长直线度允差(mm/m)	<0.15	<0.10	<0.15	<0.10	<0.30	<0.20

- 6.3.9 轴与轴承、联轴器、轴封、搅拌桨等的配合表面,其同轴度允差应按《形状和位置公差 未注公差值》GB/T 1184 的 8 级精度要求选取。
- 6.3.10 对填料密封要求较高时,填料密封处的轴表面可进行抛光,其表面粗糙度 Ra 应小于或等于 $0.8\mu\text{m}$;使用金属编织填料,轴表面硬化处理后粗糙度 Ra 应小于或等于 $0.4\mu\text{m}$ 。
- 6.3.11 采用填料密封且无轴套时,密封段轴的表面硬度应符合下列规定:
- 1 轴的材料为 35、40、45 钢或 40Cr 钢时,密封段应调质处理,硬度分别为:碳钢 $\text{HB}=190\sim 250$,铬合金钢 $\text{HB}=240\sim 290$ 。
 - 2 奥氏体不锈钢轴密封段应硬化处理,如镀硬质铬或氮化、堆焊、喷涂陶瓷等,镀层或涂层厚度应大于或等于 0.1mm 。
- 6.3.12 机械密封处的轴径表面粗糙度 Ra 应小于或等于 $0.8\mu\text{m}$,机械密封与轴的装配精度按基轴制应为 F8/h7。
- 6.3.13 中间轴承及底轴承处的轴表面应符合本标准第 6.3.10 条和第 6.3.11 条的规定。
- 6.3.14 轴还应符合设计图样的要求。

6.4 轴 封

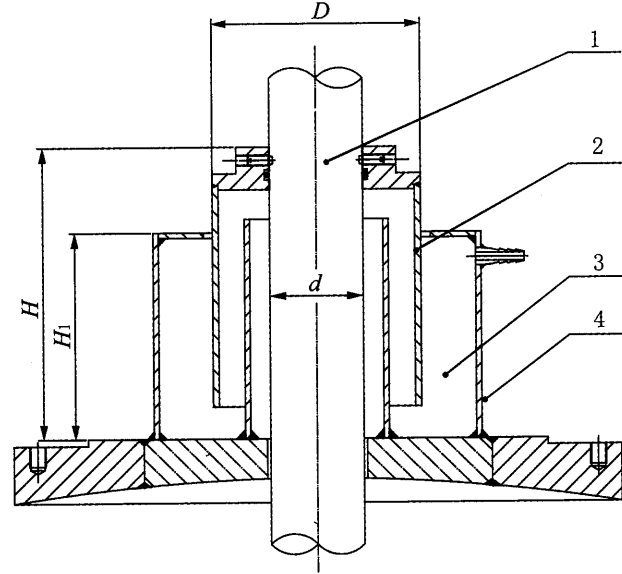
- 6.4.1 液封(图 6.4.1)应符合下列规定:

- 1 介质为非易爆,毒性为轻度危害程度,液体工作介质不可充满搅拌容器,搅拌容器内工作温度范围在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间。

2 容积小于 0.63m³,搅拌轴径小于 φ40mm 时,转速最高可达 1500r/min;容积大于 0.63m³,搅拌轴径在 φ40mm~φ130mm 时,搅拌转速应限制在 320r/min 以内。

3 为了防止灰尘与杂质进入内部介质,隔离工作介质与搅拌设备的外部环境,搅拌容器内工作压力为常压。

4 密封液应采用搅拌容器内工作介质,或与工作介质不发生物理化学作用的中性液体,密封液在搅拌容器的工作温度下应极小挥发且不污染大气。



1—轴;2—旋转倒杯形部件;3—封液;4—静止环形容器

图 6.4.1 液封结构示意图

6.4.2 填料密封(图 6.4.2)应符合下列规定:

1 介质为非腐蚀性或弱腐蚀性,毒性为轻度危害,搅拌容器内操作压力在 -3×10^{-2} MPa~1.6 MPa 之间,搅拌容器内操作温度不高于 300℃。

2 填料密封应按下列规定选取:

- 1) 宜选用现行标准填料箱。
- 2) 填料密封工作时应润滑和冷却,除了设有装填填料的空间外,还应根据工作条件设计相应的冷却、润滑结构,否则转轴线速度不应大于 1m/s。
- 3) 填料箱可不设支撑衬套,应将搅拌轴的支撑设置在机架上。
- 4) 搅拌容器内温度大于所采用填料材料的使用温度时,应满足密封填料冷却的要求。
- 5) 填料密封的填料腔尺寸主要按长期的使用经验确定,表 6.4.2-1 是填料径向宽度 W 与轴径 d 关系的参考数据。表 6.4.2-2 是轴旋转情况的填料圈数与介质压力的关系;填料宜为正方形,填料边宽 W 可按下式计算后,再按填料规格尺寸圆整。

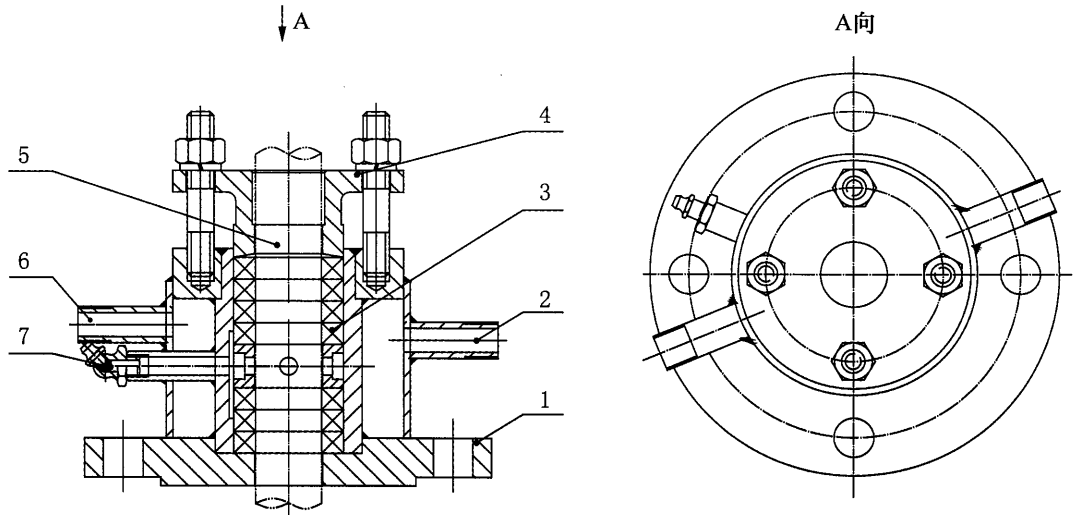
$$W = (1.4 \sim 2) \sqrt{d}$$
 (6.4.2)

表 6.4.2-1 填料宽度与轴径关系参考数据(mm)

轴径 d	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
填料宽度 W	6		10			13			16	

表 6.4.2-2 旋转工况下填料圈数与介质压力的关系

介质压力 $p(\text{MPa})$	0.1	0.5	1.0
填料圈数 z	4~5	5~7	6~8



1—安装法兰;2—冷却水入口;3—填料;4—填料压盖;5—旋转轴;6—冷却水出口;7—润滑液加注孔

图 6.4.2 填料密封结构示意图

- 6) 填料宜采用编结型式,其材料的选用应满足国家或行业现行法律法规的要求(例如:食品、医药行业要求材料无毒)。
- 7) 当填料箱油环中压注密封润滑液时,润滑液压力应在 $0.05\text{MPa}\sim 0.1\text{MPa}$ 之间取值,同时不应应对介质有不良影响。填料密封基本参数应按下列规定确定:

填料腔内径 $D=d+2W$;

填料轴向总高度 $L=zW$;

填料腔深度 $L_1(\text{mm})=zW+(5\sim 10)$;

有液封环时填料腔深度 $L_1(\text{mm})=(z+2)W+(5\sim 10)$;

填料压盖螺栓数目 Z 为 $2\sim 4$ 个。

填料压盖法兰厚度 $\delta\leq 0.75d_0$

其中:

D ——密封处搅拌轴轴径(mm);

W ——填料宽度(mm);

d_0 ——压盖螺栓直径(mm)。

- 3 填料箱本体下接盘的紧密面应垂直于轴线,其垂直度公差应小于或等于外径的 0.4% 。
- 4 填料密封设计应满足维修的要求,以便不用移动或拆开任何其他部件,只需拆卸填料压盖,就能更换填料。

6.4.3 机械密封应符合下列规定:

- 1 适用于在腐蚀、易爆、有毒以及带有固体颗粒的介质中工作的有压和真空的搅拌设备。
- 2 根据不同的分类方法,机械密封可分为液体润滑型和气体润滑型、接触式和非接触式、平衡

型和非平衡型、单端面 and 双端面、集装式和非集装式,或者其他多种型式。

3 普通机械密封属于接触式液体润滑型机械密封,而干气密封属于非接触式气体润滑型机械密封。

4 普通机械密封应按下列规定选取:

- 1) 普通机械密封宜选用现行标准机械密封;
- 2) 除另有规定外,装拆机械密封时应无需移动电机、减速器和机架。买方需要时,还应满足装拆机械密封时不用卸压、排空物料或进入搅拌容器的要求;
- 3) 宜采用平衡型机械密封;
- 4) 对于密封要求较高的场合(如毒性程度为中度危害及以上介质、高压操作等)应采用双端面机械密封;
- 5) 对于搅拌介质与密封装置接触(如底入式搅拌)且介质内含有固体颗粒的情况,应采用双端面密封,密封与介质侧应有隔离固体颗粒的措施,防止其阻塞浮动环,造成密封液的大量泄漏;
- 6) 当密封腔内介质温度大于 80°C 时,机械密封宜采取冷却措施;
- 7) 双端面机械密封通过辅助系统以调整密封液的压力、温度,其组合型式、技术要求、耐压试验方法,应符合《釜用机械密封辅助装置》HG/T 2122 的规定;
- 8) 机械密封所采用的密封液应与搅拌容器内物料的工艺性能相容,润滑性能良好,不腐蚀密封零件,有较高的汽化温度和比热;
- 9) 带内置轴承的集装式机械密封,其密封箱内设置的轴承支承是为了控制搅拌轴的径向摆动量,在搅拌轴的计算中不宜作为一个支承点,该支承点不应承受轴向力;
- 10) 普通机械密封的材料、主要零件的技术要求、试验、安装、使用和性能应符合《釜用高压密封技术条件》GB/T 24319 和《釜用机械密封技术条件》HG/T 2269 的规定;
- 11) 对于某些特殊场合(如无菌要求的医药行业或者不允许密封液泄漏到工艺介质内的化工行业等),可选用干气密封;
- 12) 除上述根据实际工况按各种密封的适用范围和选用原则确定搅拌轴封外,在设计搅拌轴封时,还应满足诸如底入式或侧入式搅拌轴封在停车、存液过程中密封防漏等的要求。

5 机械密封材料应按下列规定选取:

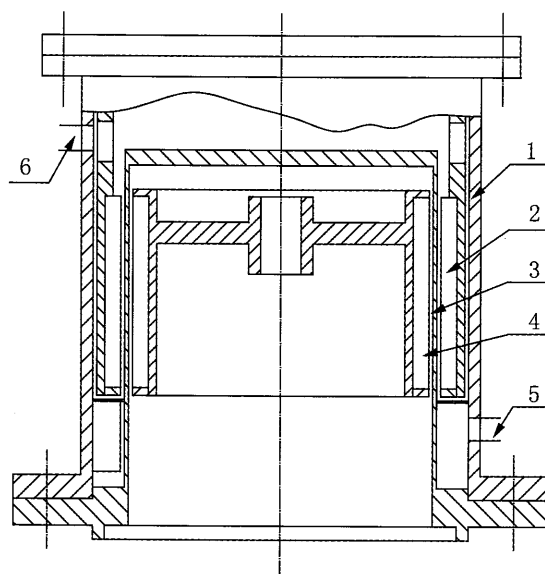
- 1) 应满足耐腐蚀的要求;
- 2) 应满足使用温度的要求;
- 3) 动静环的 PV 值应大于或等于规定的 $[PV]$ 值;
- 4) 应满足国家或行业现行法律法规的要求(例如:食品、医药行业要求材料无毒)。

注: PV 值系指密封端面比压(MPa)和密封端面平均线速度(m/s)的乘积。 $[PV]$ 值应根据所选密封端面材质、加工精度、使用工况条件等因素通过试验确定,该值由机械密封制造厂商提供。

6.4.4 磁力传动密封(图 6.4.4)应符合下列规定:

1 密封要求严格,介质有毒或易爆。

2 搅拌容器几何容积为 $0.025\text{m}^3 \sim 50\text{m}^3$,设计压力为 $0\text{MPa} \sim 35\text{MPa}$,设计温度为所用材料规定的温度(应在 350°C 以内)。



1—机架;2—外磁部件;3—隔离套;4—内磁部件;5—进水口;6—出水口

图 6.4.4 磁力传动密封结构示意图

6.5 传动装置

6.5.1 电机应符合下列规定：

- 1 电机型号应按搅拌轴功率和搅拌设备周围的工作环境条件等因素确定,电机性能应符合《旋转电机定额和性能》GB 755 的规定。
- 2 选定的电机型号和额定功率应满足搅拌设备开车时启动功率增大的要求。
- 3 除另有规定外,电机铭牌功率值应大于或等于搅拌轴功率和功率裕量系数 K 的乘积, K 值应符合表 6.5.1 的规定。

表 6.5.1 搅拌轴功率裕量系数 K

搅拌轴功率 P_s (kW)	功率裕量系数 K
≤ 15	1.25
$15 < P_s \leq 50$	1.15
$50 < P_s \leq 75$	1.12
> 75	1.10

4 爆炸或火灾危险环境,应按《爆炸和火灾危险环境电力装置设计标准》GB 50058 的规定选择电机。

- 1) 气体或蒸气爆炸危险环境,应根据爆炸危险环境的分区等级和爆炸危险区域内气体或蒸气的级别、组别和电机的使用条件,选择防爆电机的结构型式和相应的级别、组别;
- 2) 粉尘爆炸危险环境,应根据爆炸危险环境的分区等级和电机的使用条件,选择防爆、防护电机的结构型式和相应的防爆、防护等级;
- 3) 火灾危险环境,应根据火灾危险环境的分区等级和电机的使用条件,选择防护电机的结构

型式和相应的防护等级。

6.5.2 减速机应符合下列规定：

1 减速机宜符合《釜用立式减速机》HG/T 3139.1~3139.12 的规定，并应符合设计图样的要求。还应具有制造厂检验合格证或质量证明书。

2 当减速机在振动和载荷变化情况下工作时，应满足平稳性和连续工作的要求。宜选用传动效率较高的齿轮或行星摆线针轮减速机。齿轮减速机的服务系数应大于或等于 1.6，对于搅拌中有较大冲击载荷、频繁启动及搅拌桨可能埋入固体物料中的应大于或等于 2.0。

3 输出轴旋转方向要求正反双向传动的，不宜选用蜗轮蜗杆减速机。

4 处于易爆工作环境，不宜采用皮带传动减速，否则应有可靠的防静电措施，且应得到买方的批准。

5 搅拌轴的轴向力不宜由减速机轴承承担，否则应经验算核定，且应得到买方批准。

6 减速机额定功率应大于或等于正常运行中减速机输出轴的传动功率（输出轴传动功率包括搅拌轴功率、轴封处摩擦损耗功率以及机架上传动轴承损耗等功率之总和），同时还应满足搅拌设备开车时启动轴功率增大的要求。

7 输入轴转速应与电机转速相匹配，输出轴转速应与工作要求的搅拌转速相一致。当两者不一致时，搅拌转速应由买方确认。

8 输入和输出轴相对位置的选择应符合搅拌容器顶部或底部传动布置的要求。

9 减速机的结构设计应满足安装及检修的要求。搅拌容器顶部传动装置，宜采用单台立式传动机构。

10 减速机内润滑油不得在轴封等处泄漏。

6.5.3 搅拌机各零部件的传动效率可按本标准附录 E 的规定确定。

6.6 机架和轴承座

6.6.1 机架除应符合《搅拌传动装置 单支点机架》HG 21566 或《搅拌传动装置 双支点机架》HG 21567 的规定外，还应符合设计图样的要求。

6.6.2 机架如采用铸件，应采用机械性能不低于《灰铸铁件》GB/T 9439 中 HT 200 的铸件规定，铸件应进行时效处理或采用机械及热处理等方式，消除内应力。铸件加工后的配合表面上，不应存在气孔、渣孔、沙眼、裂纹等缺陷。其他部位也不应存在影响机架强度的缺陷。

6.6.3 机架上下轴承座以及安装止口加工面同轴度允差应符合《形状和位置公差 未标公差值》GB/T 1184 的 8 级精度要求。

6.6.4 机架与轴承座安装面，宜采用 H7/f6 配合公差，表面粗糙度 Ra 应小于或等于 $3.2\mu m$ 。

6.6.5 机架底平面对轴承座孔轴心线的垂直度公差应符合《形状和位置公差 未标公差值》GB/T 1184 的 9 级精度要求。

6.6.6 轴承座内与轴承外圈接触的端面对孔轴心线的垂直度应符合《形状和位置公差 未标公差值》GB/T 1184 的 7 级精度要求。

6.6.7 符合下列条件之一，且传递小功率和小的轴向载荷时，可选择无支点机架：

1 电机或减速机具有两个支点，并经核算确认轴承能够承受由搅拌轴传递来的径向和轴向载

荷者；

2 当减速机具有一个支点与中间轴承、底轴承或轴封上的轴承，上下组成一对轴支承时。

6.6.8 符合下列条件之一时，可选择单支点机架：

1 电机或减速机有一个支点，经核算可承受搅拌轴的载荷；

2 设置底轴承，并可用作支承的支点；

3 轴封本体设有可作为支点的轴承；

4 在搅拌容器内设有中间轴承，并可用作支承的支点。

6.6.9 当不符合选用无支点或单支点机架的条件时，应选用双支点机架。

6.6.10 当采用柔性轴时，机架与搅拌容器之间应满足隔振的要求。

6.6.11 机架设计应满足机械密封或填料密封的安装与拆卸的要求。

6.7 中间轴承和底轴承

6.7.1 容器内不宜设置中间及底轴承。当容器内设置中间及底轴承时，应根据传递搅拌轴载荷的大小、方向以及对传动装置上各支点的总体对中要求等因素，选择搅拌轴上的轴承型式和尺寸。

6.7.2 中间轴承及底轴承轴套及轴瓦应分别固定在轴和轴承座上，轴套与轴、轴瓦与轴承座之间不得有相对运动。轴瓦内表面粗糙度 Ra 应小于或等于 $3.2\mu\text{m}$ 。轴套外表面粗糙度 Ra 应小于或等于 $1.6\mu\text{m}$ 。

6.7.3 中间轴承及底轴承只起辅助支撑作用，安装后应不破坏轴原有的垂直度和同心度，且使轴能自由旋转，不应抱死轴。中间轴承及底轴承应符合设计图样的要求。

6.7.4 中间轴承或底轴承宜采用可更换的滑动轴承。更换滑动轴承的易损件时，应无需拆除搅拌轴和搅拌桨。

6.8 联轴器

6.8.1 搅拌轴与减速机或电机输出轴间的联轴器应按下列规定选取：

1 当采用无支点机架，且除电机或减速器支点外无其他支点时，应采用刚性联轴器；

2 当无中间轴承、底轴承或轴封上也未设置轴承的单支点机架、且传递较小功率和较小轴承载荷时，可采用刚性联轴器；

3 当搅拌轴分段时，两轴之间的连接应采用刚性联轴器；

4 当采用单支点机架，且设置可作为支承的中间轴承、底轴承或轴封上轴承时，应采用柔性联轴器；

5 当采用双支点机架时，应采用柔性联轴器。

6.8.2 刚性联轴器同轴度允差应按《形状和位置公差 未标公差值》GB/T 1184 的 8 级精度要求选取。

6.8.3 联轴器除应符合《搅拌传动装置 带短节联轴器》HG 21569.1、《搅拌传动装置 块式弹性联轴器》HG 21569.2 或《搅拌传动装置 联轴器》HG 21570 的规定外，还应符合设计图样的要求。

7 搅拌设备组装

7.0.1 搅拌机各零部件配合面之间应在出厂前进行试组装,组装前应仔细阅读各零部件使用说明书和组装示意图,各零部件结合面、密封面应进行清洁处理。宜与搅拌容器一起进行整体试组装。

7.0.2 搅拌机整体组装后,应确保减速机及轴承处均按产品说明书要求加注允许牌号的润滑油或油脂。

7.0.3 搅拌机整体组装后,应按标明的搅拌轴转动方向进行盘车,应顺利旋转一周以上,不得出现卡阻、噪声等异常现象。

7.0.4 立式搅拌机的安装,应在搅拌容器固定好后进行,搅拌容器的接口法兰水平度允差应小于或等于1‰法兰外径。

7.0.5 搅拌设备组装后,在试运转中应按下列规定检测和控制搅拌轴密封处的旋转精度:

1 轴封处轴的径向位移应小于或等于所选用轴封标准中的允许径向位移的规定值;

2 轴封处轴的径向位移应小于或等于设计图样上注明的按工艺操作特殊要求的允许径向位移的规定值;

3 无规定时,可按下式计算轴封处轴的允许径向位移的规定值:

$$[\delta]_{x=l_0} = 0.1 \times K_3 d^{1/2} \quad (7.0.5)$$

式中: $[\delta]_{x=l_0}$ ——轴封处允许径向位移(mm);

K_3 ——径向位移系数,应按本标准附录 C 第 C.4.6 条的规定;

d ——设计轴径(mm)。

7.0.6 搅拌机应在±10%操作转速范围内不产生共振。

7.0.7 搅拌设备组装后,搅拌轴轴封顶部的径向跳动公差和轴向窜动量应符合下列规定:

1 填料密封径向跳动公差应小于或等于0.2mm;

2 机械密封径向跳动公差:轴径应小于或等于80mm,径向跳动公差应小于或等于0.3mm;轴径应大于80mm且小于150mm,径向跳动公差应小于或等于0.4mm;轴径应大于150mm,径向跳动公差应小于或等于0.5mm;

3 对于波纹管型机械密封的轴的窜动量应为±0.4mm,其他机械密封的轴向窜动量应为±0.2mm;

4 当有特殊要求时,应在设计文件中规定。

7.0.8 静态盘车时,搅拌轴悬臂自由端部的径向摆动量,不得大于按下式计算所得的数值。当有特殊要求时,应在设计文件中规定。

$$\delta = 0.0025Ln^{-1/3} \quad (7.0.8-1)$$

$$\delta = 0.0005L \quad (7.0.8-2)$$

式中: δ ——径向摆动量(mm);

L ——轴悬臂长度(mm);

n ——搅拌轴转数(r/min)。

7.0.9 搅拌轴悬臂自由端部的径向摆动量不得大于按化工工艺过程或设备设计(如防止搅拌桨刮壁、带刮板搅拌桨等)等需要确定的且在设计图样上注明的允许值。

7.0.10 安装机械密封时,应在有 O 形圈通过的部位抹上清洁的润滑剂,润滑剂应满足密封效果的要求。

7.0.11 集装式机械密封,应在出厂前调试好,安装时不得随意拆开。

7.0.12 填料密封应通过调整压盖压紧力和注入密封润滑油脂达到密封效果。

7.0.13 搅拌轴与动力系统输出轴采用刚性联接时,其同轴度允差应符合《形状和位置公差 未标公差值》GB/T 1184 的 8 级精度要求。

8 安 全

8.0.1 组装安全应符合下列规定：

- 1 应符合国家现行法规、标准以及技术文件的要求；
- 2 应检测电机的绝缘情况，检查所配电源及线路的安全性；
- 3 裸露的旋转件，例如：机架开口处容易接触到人，应加防护罩；
- 4 应检查各零部件之间的连接可靠性，各连接之间应装有可靠的防松装置；
- 5 安全及控制装置、各仪器仪表应灵敏可靠；
- 6 组装中使用的脚手架、轻便梯等设施应安全、牢固。

8.0.2 试车安全应符合下列规定：

- 1 应符合国家现行法规、标准以及技术文件的要求；
- 2 与试车无关人员应离开试车现场；
- 3 试车过程中，试车人员不得随意离开试车岗位；
- 4 试车过程中，操作控制岗位的人员与现场人员应保持良好的联络状况，一旦出现异常情况时，应停车进行检查、处理；
- 5 人工盘车时，应切断电源，拆下三角皮带；
- 6 应检查润滑系统、冷却系统是否畅通。

8.0.3 维护安全应符合下列规定：

- 1 应符合国家现行法规、标准以及技术文件的要求；
- 2 应配戴规定的安全劳动防护用品，有毒、有害的场合应配备好防护器具，以作应急之用；
- 3 不得用水直接冲洗电机、减速机、保温层、仪表、计器等；
- 4 设备运转时，不得清理、擦拭运转零部件；
- 5 不得带压拧紧或松开螺栓及修理受压元件。

8.0.4 检修安全应符合下列规定：

- 1 应符合国家现行法规、标准以及技术文件的要求；
- 2 应按规定办理设备安全移交手续；
- 3 应配戴规定的安全劳动防护用品，有毒、有害的场合应配备防护器具，以作应急之用；
- 4 切断电源，应悬挂“禁止合闸”警告牌；
- 5 检修易爆、有毒、有腐蚀性介质的搅拌容器内部时，应切断出入口阀门，设置隔离盲板，并进行清理置换，经取样分析合格后，方能进行工作。

9 试验方法

9.1 搅拌容器

9.1.1 搅拌容器的试验除应符合《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R 0004、《压力容器》GB 150.1、GB 150.4 和《钢制焊接常压容器》NB/T 47003.1—2009 的规定外,还应符合设计图样的要求。

9.1.2 搅拌容器制造完成后,应按设计文件要求进行耐压试验和泄漏试验。

9.1.3 除另有规定外,搅拌容器耐压试验时应不包括轴封;耐压试验时,轴封处应设置盲板。

9.2 搅拌机

9.2.1 搅拌桨试验应符合下列规定:

1 静平衡试验采用旋转搅拌桨达到随遇平衡为合格。

2 动平衡试验在动平衡机上进行,搅拌桨试验转速不得小于 960r/min,且不得低于搅拌桨实际转速,许用偏心矩和许用不平衡力矩应满足本标准第 6.2.6 条的要求。

9.2.2 轴封试验应符合下列规定:

1 填料箱装配完毕后,应与搅拌容器一起进行耐压试验和泄漏试验(当搅拌容器要求时)。

2 机械密封应对密封箱、盖板、储液箱等承压部件进行耐压试验,试验压力应按搅拌容器设计文件的规定,保压时间应不少于 15min,且应在密封制造厂进行。运转试验压力应为设计转速下搅拌容器的最高工作压力。当包含真空操作工况时,运转试验压力还应按搅拌容器的最低工作压力进行试验。

9.2.3 减速机试验应符合下列规定:

1 电机和减速机出厂前,应逐台进行空载运转试验。

2 摆线针轮减速机试验应符合下列规定:

减速机装配合格后,应按规定的油位加入润滑油,在额定转速下进行正反方向空载试验,试验时间均不少于 0.5h,并应符合下列要求:

- 1) 各连接件、紧固件不得有松动现象;
- 2) 各密封处、接合处不得有漏油、渗油现象;
- 3) 减速机运转应平稳,不得有冲击和异常噪声;
- 4) 油泵工作正常,油路畅通。

3 齿轮减速机试验应符合下列规定:

减速机装配合格后,应按规定的油位加入润滑油或脂,在额定转速下进行正反方向空载试验,试验时间均不少于 1h,并应符合以下要求:

- 1) 各连接件、紧固件不得有松动现象;

- 2) 各密封处、接合处不得有漏油、渗油现象；
- 3) 减速机运转应平稳,不得有冲击和异常噪声；
- 4) 油温温升应小于或等于 25℃,润滑应充分；
- 5) 圆柱齿轮齿面接触斑点高度应大于或等于 40%,长度应大于或等于 50%,接触斑点的分布位置应趋近齿面中部,齿顶和两端部棱边处不可接触；
- 6) 弧齿、锥齿、轮齿面接触斑点高度应大于或等于 55%,长度应大于或等于 50%,接触斑点位置应在齿高中部,长度应在齿长的中部偏向小端；
- 7) 涡轮接触斑点沿齿高应大于或等于 55%,沿齿长应大于或等于 50%,接触应偏于啮出端,但不可在齿顶和啮入、啮出端的棱边接触；
- 8) 当不符合要求时可继续跑合 1h。

4 带传动减速机试验应符合下列规定：

减速机装配合格后,试验前应将皮带护罩按设计文件安装牢固并按要求注入润滑脂,试验时在额定转速下正反方向各运转不得少于 0.5h,并应符合下列要求：

- 1) 各连接件、紧固件不得有松动现象；
- 2) V 带型号应符合要求,配组公差合适,各带轮轴线应相互平行,相对应的 V 形槽对称平面应重合；
- 3) 减速机运转应平稳,无异常噪声；
- 4) 轴承和油封处温升应小于或等于 25℃。

9.2.4 搅拌机运转试验应符合下列规定：

- 1 搅拌机轴封处的径向跳动公差、轴向窜动量以及搅拌轴悬臂自由端部的径向摆动量的测量,均应在搅拌机组装完成后的试运转过程中测量。
- 2 运转试验还应符合设计文件的要求。

9.3 搅拌设备运转试验

9.3.1 搅拌设备运转试验,应在搅拌容器耐压试验、泄漏试验、搅拌机和搅拌容器组装并盘车检查、所需润滑油或脂和全面检验合格后进行。

9.3.2 运转试验程序应符合设计文件的规定。当设计文件无特殊要求时,应按表 9.3.2 的规定执行。

表 9.3.2 运转试验程序

运行阶段	机械密封及润滑循环系统	填料密封	电机减速机
设备启动时	<ol style="list-style-type: none"> 1. 润滑循环系统内及机械密封内腔或润滑盒内有足够的润滑油或脂和密封液。 2. 对润滑循环系统加压,然后升高釜内压力。 3. 连通所有需要冷却水的部位。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 压紧填料,达到产生密封所需比压要求。 2. 注入所需的润滑密封液。 3. 连通所有需要冷却水的部位。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 齿轮箱应充装足够符合该机规定的润滑油或脂。 2. 当环境温度低于润滑油规定使用环境温度下限值时,减速机启动前润滑油应预热到允许使用温度下限值以上。 3. 接冷却水的减速机应接通冷却水。

续表 9.3.2

运行阶段	机械密封及润滑循环系统	填料密封	电机减速机
设备运转中	1. 密封隔离液压力应保持比釜内介质压力高 0.2MPa 或 10%。 2. 根据泄漏情况,调节机械密封弹簧保证密封。 3. 应保证润滑循环管路畅通。带润滑液泵时,泵运转正常。润滑密封液温度不得高于 80℃。	1. 根据泄漏情况,压紧填料直到稳定。 2. 根据泄漏情况加注润滑密封。 3. 观察填料箱温度,调整填料压紧力及润滑。	1. 带润滑油泵的减速机,泵的运转及出油情况正常。浸油润滑的减速机应保持油位正常。 2. 带调速装置的减速机,如调速可能在共振区,应快速通过,不得停留。
停车	先关电机,停止搅拌轴转动,待搅拌容器内温度压力降到常温常压再关闭密封润滑系统及冷却水。		

9.3.3 运转试验时,搅拌容器内物料和填充高度应符合设计文件的规定。当设计文件无特殊规定时,可以水代替物料进行运转试验。当无要求时,物料填充高度可为搅拌容器总容积的 80%~85%。

9.3.4 对于柔性轴和需润滑液润滑的底部及中间轴承,正常工作最低液位及运转试验最低液位应高于搅拌桨或需润滑液润滑的底部及中间轴承,不得在正常工作最低液位以下运行或空载试验。

9.3.5 除具有需润滑液润滑的底部及中间轴承的搅拌桨外,搅拌轴为刚性轴时,应先进行空载试运转,时间不得少于 30min,然后以设计文件指定的物料进行负荷运转试验,当设计文件未指定时,可以水代替物料进行负荷运转试验,运转时间不得少于 30min,然后以每分钟小于或等于 0.2MPa 的升压速度缓慢升压至设计压力,试验物料达到最高工作液位进行试运转,运转时间不得少于 4h。

9.3.6 搅拌轴为柔性轴时,应以设计文件指定的物料进行负荷运转试验,当设计文件未指定时,可以水代料进行负荷运转试验,物料充至正常工作最低液位后开始试运转,运转时间不得少于 2h,且无异常现象,然后将试验物料液位升至最高工作液位,以每分钟小于或等于 0.2MPa 的升压速度缓慢升压至设计压力,运转时间不得少于 4h。不得在正常工作最低液位下或空载下试运转。

9.3.7 搅拌设备进行连续运转试验过程中,应对电机、减速机、密封、轴承座、噪声、运转性能等进行检查,试运转过程中设备应平稳,不得有不正常的噪声和振动。运转试验程序应按本标准表 9.3.2 的规定执行。

9.3.8 运转试验合格后,应缓慢降压,将试验物料排放干净,并用压缩空气吹干内件。

10 检验规则

10.0.1 搅拌容器除应按《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R 0004、《压力容器》GB 150.1、GB 150.4、《钢制焊接压力容器》NB/T 47003.1—2009 的规定进行检验外,还应符合设计图样的要求。

10.0.2 制造厂应对搅拌机的各零部件逐一检验合格,并对各零部件之间的配合试组装合格。

10.0.3 搅拌设备连续运转试验过程中,检查项目及要求不得低于表 10.0.3 的规定,且所采用的检验仪器精度等级不得低于 2.5 级。

表 10.0.3 运转试验检测项目及要求

检测项目	测量位置及方法		偏差要求		
电流和电压	电流表和电压表直接读数		小于或等于电机额定值		
转速	减速机出轴处用转速表直接测量		公称转速的 $\pm 5\%$		
噪音	离容器外壳 1m 远处用噪声计测量		电机额定功率	小于或等于 75kW	大于 75kW
			声压级噪声	低于 85dB	低于 90dB,且无异常噪音
振动	目测		无异常振动		
	轴承各支承点	测量仪器	可参照附录 F		
温度	电机表面	温度计直接测量	温升小于 45℃,且温度不得大于 85℃		
	减速机表面		温升小于 40℃,且温度不得大于 75℃		
	轴承箱表面及机封轴承		转速 n 大于 500r/min。用高温油脂可适当放宽,具体要求应在设计文件中或供货合同中明确		
	机械密封顶部轴表面		温升小于 35℃,且温度不得大于 70℃		
	填料密封顶部轴表面		温升小于 40℃,且温度不得大于 75℃		
轴封处轴径向位移/径向跳动公差	紧靠轴封上部的轴表面	千分表测量	应符合本标准第 7.0.5 条和第 7.0.7 条以及设计文件要求		
轴封泄漏量 ^注	普通单端面机械密封	目测	介质毒性程度为轻度危害及非易燃易爆介质时	无明显气泡为合格	介质毒性为中度,极度或高度危害、易爆气体时,泄漏量应符合有关安全规定要求
	普通双端面机械密封	收集润滑冷却循环流体	轴径小于或等于 80mm 时,泄漏量应小于或等于 5mL/h		
			轴径大于或等于 80mm,小于 130mm 时,泄漏量应小于或等于 8mL/h		
	填料箱	底/侧入式接触液相介质工况下的流体收集法	轴径大于或等于 130mm,小于 220mm 时,泄漏量应小于或等于 15mL/h		
			目测	无明显大气泡、连续及贯穿型气泡为合格	
				轴径小于或等于 80mm 时,应小于或等于 25mL/h;轴径大于 80mm 时,应小于或等于 30mL/h	

续表 10.0.3

检测项目	测量位置及方法	偏差要求
压力降	压力表直接读数	双端面机械密封能够保压不降压。单端面机封及填料箱随时间过程压力无明显下降趋势

注：表中未涉及的轴封泄漏量可按设计文件及合同协议约定要求。

10.0.4 搅拌设备应在制造厂完成试运转，合格后方可出厂，当无法在制造厂进行组装后的试运转时，可在现场进行试运转试验。

10.0.5 当搅拌机的型式、功率和速度等匹配由搅拌机供货商设计时，搅拌机供货商应在运转试验期间检查各个组件的匹配状况，并对不符合项向原设计方提出调整建议。

10.0.6 搅拌机供货商应在运转试验期间检查各个组件的匹配状况。

10.0.7 当设计文件或用户有规定时，还应进行临界转速、扭矩等要求的数据分析。

11 搅拌设备出厂要求

11.1 出厂资料

11.1.1 搅拌设备出厂技术资料应包括：产品合格证、质量证明书、搅拌设备说明书、搅拌设备装箱清单。

11.1.2 产品合格证应包括各零部件的合格证和搅拌机总成的合格证。

11.1.3 说明书应符合下列规定：

1 搅拌容器说明书应包括下列内容：

- 1) 设计压力(含不同工况条件下的设计压力)；
- 2) 最大允许工作压力；
- 3) 试验压力；
- 4) 设计温度(含不同工况条件下的设计温度)；
- 5) 工作介质；
- 6) 容器类别；
- 7) 搅拌容器的热处理状态和禁焊等特殊说明。

2 搅拌机说明书应包括下列内容：

- 1) 电机和减速机的规格型号；
- 2) 电机功率；
- 3) 电机防爆等级和防护等级；
- 4) 搅拌轴转速；
- 5) 密封型号和规格；
- 6) 吊装位置和安装方法；
- 7) 搅拌机各零部件安装使用说明,主要包括:电机、减速机、机架、密封等。

3 搅拌设备说明书应包括下列内容：

- 1) 搅拌设备竣工总图；
- 2) 主要零部件表；
- 3) 备品备件表；
- 4) 搅拌设备其他特殊说明技术资料,例如:操作维护说明、特殊工具、油品及油脂等。

11.1.4 质量证明书应包括下列内容：

- 1 主要零部件材料的化学成分和力学性能；
- 2 无损检测要求和结果；
- 3 热处理记录、耐压试验和气密性试验结果、试车运行试验结果；
- 4 搅拌机检查和测试报告,主要包括:电机减速机空载测试、搅拌机各零部件检测、静平衡及动

平衡试验、搅拌机总成检验(在现场试运转测试)、油漆检验、包装检验等;

5 与本标准和设计图样不一致的项目。

11.2 搅拌设备铭牌

11.2.1 搅拌设备铭牌应固定在显著位置,搅拌容器及搅拌机铭牌可分开固定。

11.2.2 搅拌设备的铭牌应符合下列规定:

1 搅拌容器铭牌应符合《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R 0004、《压力容器》GB 150.4、《钢制焊接常压容器》NB/T 47003.1—2009 的规定。

2 搅拌机铭牌应包括下列内容:

- 1) 制造单位名称;
- 2) 设备位号;
- 3) 搅拌机型号;
- 4) 搅拌桨;
- 5) 搅拌机重量;
- 6) 制造日期和产品编号;
- 7) 电机功率、搅拌转速等。

11.3 油漆和防锈

11.3.1 搅拌设备油漆及防锈除应符合《压力容器涂敷与运输包装》JB/T 4711 的规定外,还应符合设计文件的要求。

11.3.2 当采用海运时,还应采取防止海水腐蚀的措施。

11.4 包装和运输

11.4.1 搅拌设备包装、运输除应符合《压力容器涂敷与运输包装》JB/T 4711 的规定外,还应符合设计文件的要求。

11.4.2 搅拌机的电机、减速机、轴封、机架、联轴器、轴、搅拌桨等应有防锈、防潮、防尘、防晒包装。

11.4.3 搅拌容器与搅拌机宜分开包装运输;当整机包装运输搅拌设备时,外形尺寸应符合运输部门的规定,并将搅拌机固定,不得损坏其使用性能。

11.4.4 搅拌机不得露天存放。当长期存放时,应做搅拌机的长期防锈处理。

附录 A 搅拌机数据表

企业标识		搅拌机数据表				项目号			
						文件号			
						位号			
						页码		1 / 4	
1	通用数据								
2									
3	单元用途								
4	形式	<input type="checkbox"/> 立式		<input type="checkbox"/> 卧式		数量要求：			
5	操作方式	<input type="checkbox"/> 连续		<input type="checkbox"/> 间歇		<input type="checkbox"/> 批/日		循环次数：	
6	标准规范								
7									
8	标准编号								
9	其他规范	<input type="checkbox"/> 按约定 <input type="checkbox"/> 不需要							
10	检验标准								
11	现场条件								
12									
13	地点								
14	环境	<input type="checkbox"/> 安全区域		<input type="checkbox"/> 腐蚀环境		<input type="checkbox"/> 防冻/湿热环境		<input type="checkbox"/> 电气危险场所	
15	环境温度范围	最小 °C		最大 °C		平均 °C			
16	搅拌机安装位置	<input type="checkbox"/> 室内		<input type="checkbox"/> 室外					
17	介质特性								
18									
19	介质特性	进料				出料			
20	介质	介质 1	介质 2	介质 3	介质 4	介质 1	介质 2	介质 3	介质 4
21	流量 m ³ /h								
22	密度 kg/m ³								
23	黏度 Pa·s								
24	颗粒尺寸 mm								
25	沉降速度 m/s								
26	结晶温度 °C								
27	悬浮固体	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	毒性为轻度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	毒性为中度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	毒性为极度、高度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	易结晶	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	胶状	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	易形成泡沫	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	沸腾状态	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35	有腐蚀	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36	黏稠	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37	搅拌条件								
38									
39	物料相态	<input type="checkbox"/> 液-液		<input type="checkbox"/> 液-固		<input type="checkbox"/> 气-液		<input type="checkbox"/> 气-液-固 <input type="checkbox"/> 其他	
40	搅拌强度	<input type="checkbox"/> 温和		<input type="checkbox"/> 适中		<input type="checkbox"/> 强烈		<input type="checkbox"/> 剧烈	
41	混合目的								
42									
43	<input type="checkbox"/> 均匀	<input type="checkbox"/> 分散		<input type="checkbox"/> 悬浮		<input type="checkbox"/> 溶解			
44	<input type="checkbox"/> 乳化	<input type="checkbox"/> 浸出		<input type="checkbox"/> 反应		<input type="checkbox"/> 传热			
45	<input type="checkbox"/> 发酵	<input type="checkbox"/> 聚合		<input type="checkbox"/> 吸收		<input type="checkbox"/> 结晶			
46	<input type="checkbox"/> 萃取	<input type="checkbox"/> 稀释		<input type="checkbox"/> 防沉淀		<input type="checkbox"/> 其他			
47	<input type="checkbox"/> 溶解悬浮物	<input type="checkbox"/> 消除团聚物							
48	容器设计附加载荷								
49									
50	弯矩 N·m	轴向力 N		搅拌机质量 kg					
51	扭矩 N·m	径向力 N		<input type="checkbox"/> 卖方定					
52	备注								

企业标识		搅拌机数据表				项目号			
						文件号			
						位号			
						页码		2 / 4	
1	搅拌机容器参数								
2									
3	操作压力	MPa (g)		7	设计压力	MPa (g)			
4	操作温度	°C		8	设计温度	°C			
5	设备高度/长度	mm		9	最低液位	mm			
6	正常液位	mm		10	最高液位	mm			
11	操作液位特性	<input type="checkbox"/> 恒定 <input type="checkbox"/> 变化 <input type="checkbox"/> 排放							
12	顶部形式	<input type="checkbox"/> 椭圆 <input type="checkbox"/> 碟型 <input type="checkbox"/> 敞口 <input type="checkbox"/> 平盖							
13	底部形式	<input type="checkbox"/> 椭圆 <input type="checkbox"/> 碟型 <input type="checkbox"/> 圆锥形 <input type="checkbox"/> 平盖							
14	内件	<input type="checkbox"/> 挡板 <input type="checkbox"/> 导流筒 <input type="checkbox"/> 盘管 <input type="checkbox"/> 喷淋器							
15	搅拌机参数								
16									
17	轴功率 ¹⁾	kW		19	转速	r/min			
18	扭矩	N·m		20	临界转速	r/min			
21	材料								
22									
23	搅拌桨		<input type="checkbox"/> 卖方定	填料箱		<input type="checkbox"/> 卖方定			
24	轴/轴套		<input type="checkbox"/> 卖方定	填料		<input type="checkbox"/> 卖方定			
25	联轴器		<input type="checkbox"/> 卖方定	机械密封		<input type="checkbox"/> 卖方定			
26	接口法兰		<input type="checkbox"/> 卖方定	动环/静环		<input type="checkbox"/> 卖方定			
27	接口法兰处的垫片		<input type="checkbox"/> 卖方定	密封圈		<input type="checkbox"/> 卖方定			
28	稳定器		<input type="checkbox"/> 卖方定	弹簧		<input type="checkbox"/> 卖方定			
29	搅拌桨法兰		<input type="checkbox"/> 卖方定	压力罐和管线		<input type="checkbox"/> 卖方定			
30	螺栓/螺母		<input type="checkbox"/> 卖方定	密封液		<input type="checkbox"/> 卖方定			
31	注:与介质接触的材料应与搅拌桨相同。								
32	公用工程条件								
33									
34	电源	电压	V	相数	Ph	频率	Hz		
35	蒸汽	MPa (g)		°C		排气@	MPa (g)		
36	冷却水	MPa (g)		°C		最大压降	MPa (g)	最大温升	°C
37	密封液	MPa (g)		°C		最大压降	MPa (g)	最大温升	°C
38	驱动器								
39									
40	<input type="checkbox"/> 电动机	型式		防护等级		额定功率		kW	
41		型号		绝缘等级		转速		r/min	
42		相数		防爆等级		电压		V	
43		进线方式		供货商				<input type="checkbox"/> 卖方定	
44	<input type="checkbox"/> 联轴器	供货商		型式		型号		<input type="checkbox"/> 卖方定	
45	<input type="checkbox"/> 皮带传动	皮带数量		型号		速比		<input type="checkbox"/> 卖方定	
46		供货商							
47	<input type="checkbox"/> 齿轮箱	供货商		型号		速比		<input type="checkbox"/> 卖方定	
48		AGMA 系数							
49	<input type="checkbox"/> 防护罩	型式		<input type="checkbox"/> 变频器		<input type="checkbox"/> 液压驱动		<input type="checkbox"/> 卖方定	
50	减速机								
51									
52	<input type="checkbox"/> 齿轮减速机	使用系数		效率				<input type="checkbox"/> 卖方定	
53		供货商		速比					
54	<input type="checkbox"/> 摆线针轮行星减速机	供货商		效率				<input type="checkbox"/> 卖方定	
55		速比							
56	<input type="checkbox"/> 带传动减速机	速比		效率				<input type="checkbox"/> 卖方定	
57	备注								
	1)电机的功率应该能够克服任何的功率损耗以及瞬间操作所需的额外功率(如:启动等)								

企业标识		搅拌机数据表		项目号	
				文件号	
				位号	
				页码	3 / 4
1	机械要求				
2					
3	安装位置	<input type="checkbox"/> 上封头	<input type="checkbox"/> 下封头	<input type="checkbox"/> 侧面	<input type="checkbox"/> 侧面斜入 <input type="checkbox"/> 其他
4	搅拌桨型式	<input type="checkbox"/> 推进式	<input type="checkbox"/> 涡轮式	<input type="checkbox"/> 桨式	<input type="checkbox"/> 锚式 <input type="checkbox"/> 框式
5		<input type="checkbox"/> 详见4/4页	<input type="checkbox"/> 卖方定		
6	桨叶型式	<input type="checkbox"/> 平板式	<input type="checkbox"/> 倾斜式	<input type="checkbox"/> 螺旋式	<input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/> 卖方定
7		桨叶倾角:		桨叶数量:	
8	稳定器	<input type="checkbox"/> 上	<input type="checkbox"/> 下	<input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/> 卖方定
9	安装法兰	<input type="checkbox"/> 标准/尺寸/等级			<input type="checkbox"/> 卖方定
10	密封面形式	<input type="checkbox"/> 突面 RF	<input type="checkbox"/> 凸凹面 FMF	<input type="checkbox"/> 榫槽面 G&T	<input type="checkbox"/> O型圈 <input type="checkbox"/> 卖方定
11	轴端	<input type="checkbox"/> 按照XXX			<input type="checkbox"/> 卖方定
12	轴承(连续润滑)	<input type="checkbox"/> 固定轴承 (驱动机带)		<input type="checkbox"/> 松式轴承 (机械密封带)	
13		<input type="checkbox"/> 底轴承		<input type="checkbox"/> 中间轴承 <input type="checkbox"/> 卖方定	
14	轴承型式	<input type="checkbox"/> 滑动轴承	<input type="checkbox"/> 滚动轴承	<input type="checkbox"/> 球轴承	<input type="checkbox"/> 滚柱轴承 <input type="checkbox"/> 卖方定
15	<input type="checkbox"/> 机械密封	<input type="checkbox"/> 单端面 ¹⁾	<input type="checkbox"/> 双端面 ¹⁾	<input type="checkbox"/> 平衡型	<input type="checkbox"/> 非平衡型 <input type="checkbox"/> 卖方定
16		型式/尺寸:		冷却方式:	
17		供货商:		冲洗方式:	
18	<input type="checkbox"/> 填料密封	型式/尺寸:		密封环数量: <input type="checkbox"/> 卖方定	
19		供货商:			
20	更换轴封是否需要	排空物料		<input type="checkbox"/> 是	<input type="checkbox"/> 否
21		卸压或卸真空		<input type="checkbox"/> 是	<input type="checkbox"/> 否
22		<input type="checkbox"/> 拆去驱动机	<input type="checkbox"/> 可拆卸轴	<input type="checkbox"/> 从侧面拆卸	<input type="checkbox"/> 卖方定
23	润滑形式	<input type="checkbox"/> 油脂	<input type="checkbox"/> 压力油	<input type="checkbox"/> 冷却器	<input type="checkbox"/> 卖方定 P = MPa (abs)
24		<input type="checkbox"/> 压力油箱	<input type="checkbox"/> 外部管线	<input type="checkbox"/> 其它必要附件	T = °C
25	泄漏油回收	<input type="checkbox"/> 产品侧	<input type="checkbox"/> 大气侧	<input type="checkbox"/> 卖方定	
26	密封液系统	<input type="checkbox"/> 压力罐	<input type="checkbox"/> 外部管线	<input type="checkbox"/> 冷却器	<input type="checkbox"/> 卖方定
27		<input type="checkbox"/> 密封液	<input type="checkbox"/> 其它必要附件		
28	挡板	尺寸:		位置:	数量:
29		<input type="checkbox"/> 卖方定		<input type="checkbox"/> 见附图	
30	轴	<input type="checkbox"/> 实心	<input type="checkbox"/> 空心	轴径: mm	<input type="checkbox"/> 卖方定
31	试验和检验				
32					
33	<input type="checkbox"/> 性能试验	<input type="checkbox"/> 水压试验	<input type="checkbox"/> 机械运转试验		
34	<input type="checkbox"/> 静平衡试验	<input type="checkbox"/> 动平衡试验	<input type="checkbox"/> 材料		
35	<input type="checkbox"/> 轴封试验	<input type="checkbox"/> 试验后的拆卸	<input type="checkbox"/> 试验和检验报告		
36	表面处理及防护				
37					
38	打磨抛光	<input type="checkbox"/> 卖方定		<input type="checkbox"/> 不需要	
39	等级或表面粗糙度	<input type="checkbox"/> 等级		<input type="checkbox"/> Ra μm	
40	碳钢部件的底漆	<input type="checkbox"/> 按照XXX		<input type="checkbox"/> 卖方定	<input type="checkbox"/> 不需要
41	碳钢部件的面漆	<input type="checkbox"/> 按照XXX		<input type="checkbox"/> 卖方定	<input type="checkbox"/> 不需要
42	备注				
	1) 从侧面安装和拆卸, 不从顶部。				

企业标识		搅拌机数据表	项目号	
			文件号	
			位号	
			页码	4 / 4
1	特殊要求：			
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24	搅拌机桨结构简图：			
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39	搅拌机及搅拌容器位置示意图（包括液位、挡板、搅拌桨等位置示意）：			
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				

附录 B 搅拌容器

B.1 总 则

B.1.1 本附录规定了钢制焊接搅拌容器的设计和计算。

B.1.2 搅拌容器的型式及参数宜符合《钢制机械搅拌容器型式及主要参数》HG/T 3109 的规定。

B.2 无夹套容器

B.2.1 容器的结构和计算应按《压力容器》GB 150.3 和《钢制焊接常压容器》NB/T4 7003.1—2009 的规定执行。

B.3 带夹套容器

B.3.1 符号说明

a ——焊缝尺寸(mm);

b_1 ——螺旋导流板厚度(mm);

C ——厚度附加量(厚度负偏差加腐蚀裕量)(mm);

D_1 ——容器内径(mm);

D_2 ——夹套内径(mm);

D_R ——计算直径(对于筒体和封头), $D_R = D_1$ (mm);

d_0 ——蜂窝锥体或蜂窝短管的外径(mm);

d_1 ——夹套封头与容器封头的连接圆直径(mm);

E_1 ——设计温度下容器材料的弹性模量(MPa);

f_1, f_2 ——蜂窝锥体或蜂窝短管连接的强度系数;

h_1 ——螺旋导流板的厚度(mm);

j ——型钢宽度(mm);

l ——夹套或容器圆筒的计算长度(mm);

l_1, l_2 ——带加强圈的筒体的计算长度(mm);

m ——蜂窝锥体或蜂窝短管与容器、夹套连接区域的相对反力矩系数;

n_1 ——螺旋导流板的圈数;

n_2 ——螺旋通道的圈数;

n_3 ——螺旋通道的剩余圈数(n_2 圈数中整圈以外的余数);

p ——容器内和夹套内设计压力二者中的大值(MPa);

p_1 ——工作或试验条件下容器内的设计压力(MPa);

p_2 ——工作或试验条件下夹套或通道内的设计压力(MPa);

$[p_2]$ ——夹套或通道的许用内压力(MPa);

S_o ——蜂窝短管的实际壁厚(mm);

S_{oR} ——蜂窝短管的计算壁厚(mm);

S_1 ——容器筒体的实际壁厚(mm);

S_{1R} ——容器筒体的计算壁厚(mm);

S_2 ——夹套筒体、封口锥或通道的实际壁厚(mm);

S_{2R} ——夹套筒体、封口锥或通道的计算壁厚(mm);

S_3 ——容器封头的实际壁厚(mm);

S_4 ——夹套封头的实际壁厚(mm);

S_t ——型钢壁厚(mm);

t ——焊在筒体上的型钢宽度(见图 B. 3. 6-3)(mm);

t_o ——蜂窝锥体或蜂窝短管的有效节距(mm);

t_1, t_2 ——蜂窝锥体或蜂窝短管的计算节距(mm);

t_K ——筒体上夹套边缘至第一行蜂窝锥体或蜂窝短管的周向距离(mm);

$$t_K = 0.5(D_1 + D_2) \sin \frac{\delta_K}{2}$$

t'_K ——封头上夹套(圆缺边)边缘至第一行蜂窝锥体或蜂窝短管间(在容器封头和夹套封头平均半径处)的距离(mm);

t_L ——夹套边缘至第一列蜂窝短管或蜂窝锥体的轴向距离(mm);

t_P ——蜂窝锥体或蜂窝短管的轴向节距,对于封头上的轴向节距系指容器封头和夹套封头的平均半径处的轴向节距(mm);

t_S ——螺旋导流板或螺旋通道的节距(mm);

t_T ——蜂窝锥体或蜂窝短管的周向节距(mm);

筒体上:

$$t_T = 0.5(D_1 + D_2) \sin \frac{\delta_T}{2}$$

封头上的周向节距系指容器封头和夹套封头的平均半径处的周向节距。

δ_T ——筒体上蜂窝锥体或蜂窝短管周向节距所对圆心角(°);

η ——载荷系数;

$[\sigma]_o$ ——设计温度下封口环或蜂窝短管材料的许用应力(MPa);

$[\sigma]_1$ ——设计温度下容器壳体材料的许用应力(MPa);

$[\sigma]_2$ ——设计温度下夹套壳体或通道材料的许用应力(MPa);

ϕ ——筒体纵焊接接头系数,按 GB 150.1;

ϕ_o ——螺旋导流板两侧角焊缝计算的焊接接头系数。

B. 3. 2 设计准则

1 夹套的适用范围应符合表 B. 3. 2 的规定。

2 计算公式适用于夹套内仅有内压($p_2 \geq 0$)作用的条件。

3 由于压力载荷变化、热胀冷缩约束作用等引起的交变应力超过现行疲劳设计标准规定的不做疲劳分析的范围时,应按有关规定做低循环疲劳分析计算。但类似容器在相同工作条件下,使用年限不少于设计寿命的成熟使用经验时,则可不必要做低循环疲劳分析。

4 夹套覆盖范围外的容器筒体、封头等元件的结构与计算应符合本标准附录 B 第 B. 2 节的规定。

表 B.3.2 各种夹套的适用温度和压力范围表

夹套型式		适用最高温度(℃)	适用最高压力(MPa)
整体夹套(U型和圆筒型)		按《压力容器》GB 150.3 的规定	
半圆管夹套		按《钢制化工容器强度计算规定》HG/T 20582 的规定	
型钢夹套		200	2.5
蜂窝夹套	短管支撑式	200	2.5
	折边锥体式	250	4.0

B.3.3 整体夹套(U型和圆筒型)容器应符合下列规定:

1 U型夹套和圆筒型夹套结构见图 B.3.3-1。

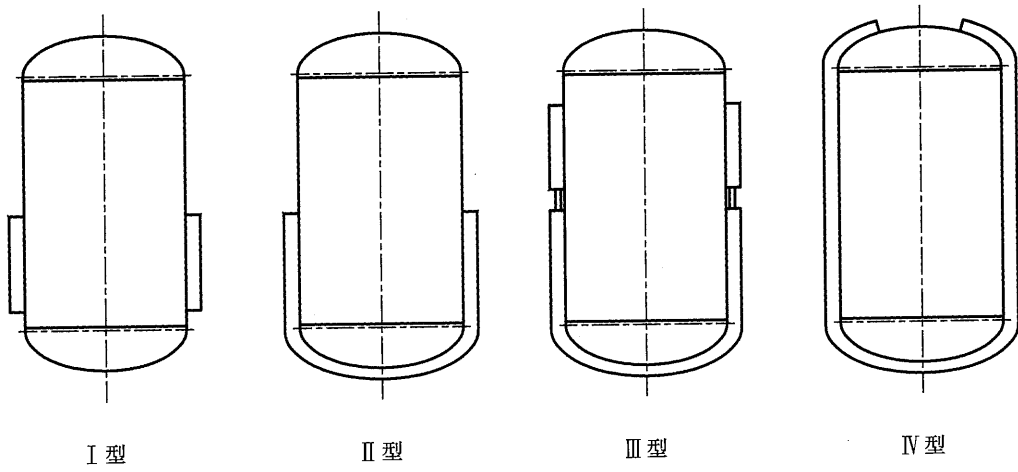


图 B.3.3-1 整体夹套容器结构

2 夹套封闭件(封口锥和封口环)结构见图 B.3.3-2。

3 筒体计算应符合下列规定:

- 1) 夹套覆盖范围内承受内压和外压的容器筒体及承受内压的夹套筒体的强度或稳定性计算,应按《压力容器》GB 150.3 的规定执行。
- 2) 容器筒体外壁上焊有螺旋导流板时,在符合下列条件时,可将容器筒体上缠绕的螺旋导流板视为加强圈,进行筒体的外压计算。

螺距 t_s 应小于 $0.3D_1$,螺旋导流板的圈数应大于一圈($n_1>1$)。

《压力容器》GB 150.3 规定,外压圆筒计算长度 L 应取下述 l_1 和 l_2 两者之大值:

$$l_1 = \frac{1}{n_1 - 1}$$

l_2 ——夹套计算长度 l 的端点至边缘螺旋导流板缠绕一整周终点处的轴向距离。

为了防止螺旋导流板失稳,其横截面应满足 $h_1/b_1 \leq 8$ 的要求。

为了保证螺旋导流板两侧角焊缝的强度,其焊缝尺寸应满足下列要求:

$$a \geq \frac{2b_1 \cdot h_1}{\phi_0 D_1}$$

计算的焊接接头系数 ϕ_0 可由焊缝总长与螺旋导流板总长之比确定。这时所有间断焊的焊缝间距应小于或等于容器筒体壁厚 S_1 的 8 倍,而螺旋导流板一整圈上与筒体双面交错焊缝总长应大于或等于其周长的一半。焊缝应从螺旋导流板的两端开始。

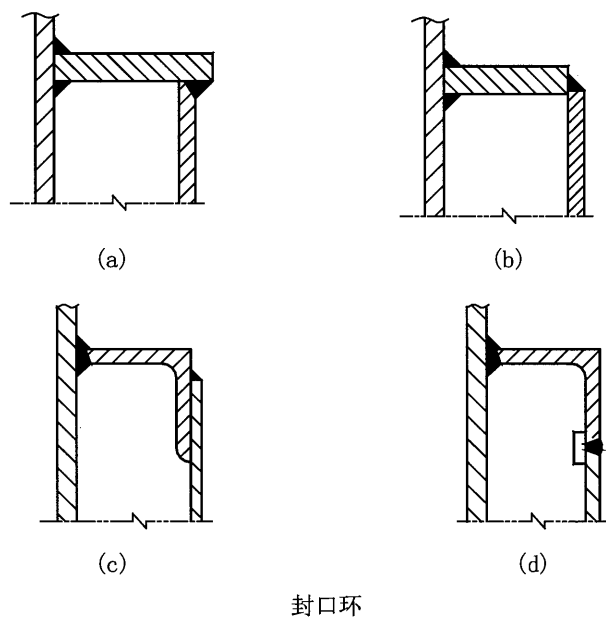
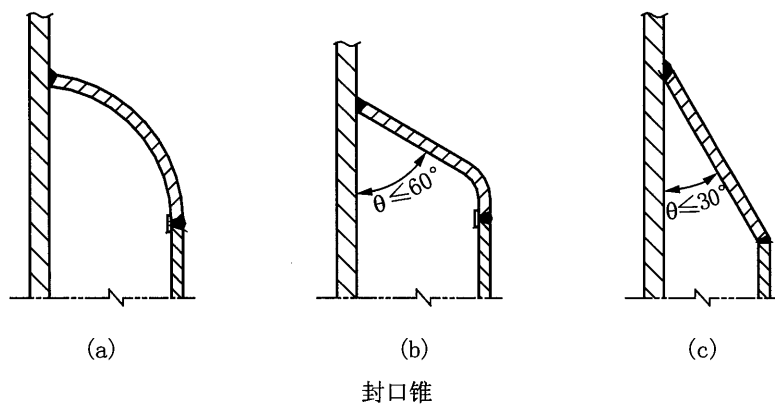


图 B.3.3-2 夹套封闭件结构

4 封头计算应符合下列规定:

- 1) 夹套覆盖范围内承受内压或外压的容器封头及承受内压的夹套封头的强度或稳定性计算,应按《压力容器》GB 150.3 的规定执行。
- 2) 计算夹套封头时,直径 d_1 部分不应按开孔计算。

5 夹套封闭件(封口锥、封口环)的计算应按《压力容器》GB 150.3 关于夹套封闭件结构的规定执行。

B.3.4 半圆管夹套容器应符合下列规定：

1 半圆管夹套容器结构见图 B.3.4。

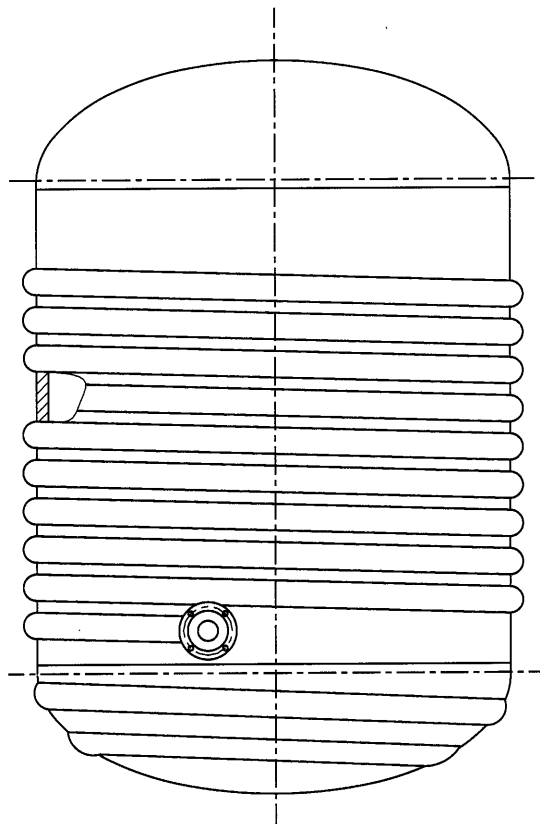


图 B.3.4 半圆管夹套容器

2 筒体、封头和半圆管夹套的计算应按《钢制化工容器强度计算规定》HG/T 20582 的规定执行。

B.3.5 蜂窝夹套(折边锥体式或短管支撑式)容器应符合下列规定：

1 计算公式的适用条件：

1) 焊于筒体上的蜂窝锥体或蜂窝短管周向节距所对圆心角,应满足下列条件：

$$\delta_T \leq 30^\circ \cdot \min \left\{ 1; 4 \sqrt{\frac{l}{D_1}} \cdot \sqrt[4]{\frac{S_1 - C}{D_1}} \right\}$$

2) 计算公式适用于下列节距比：

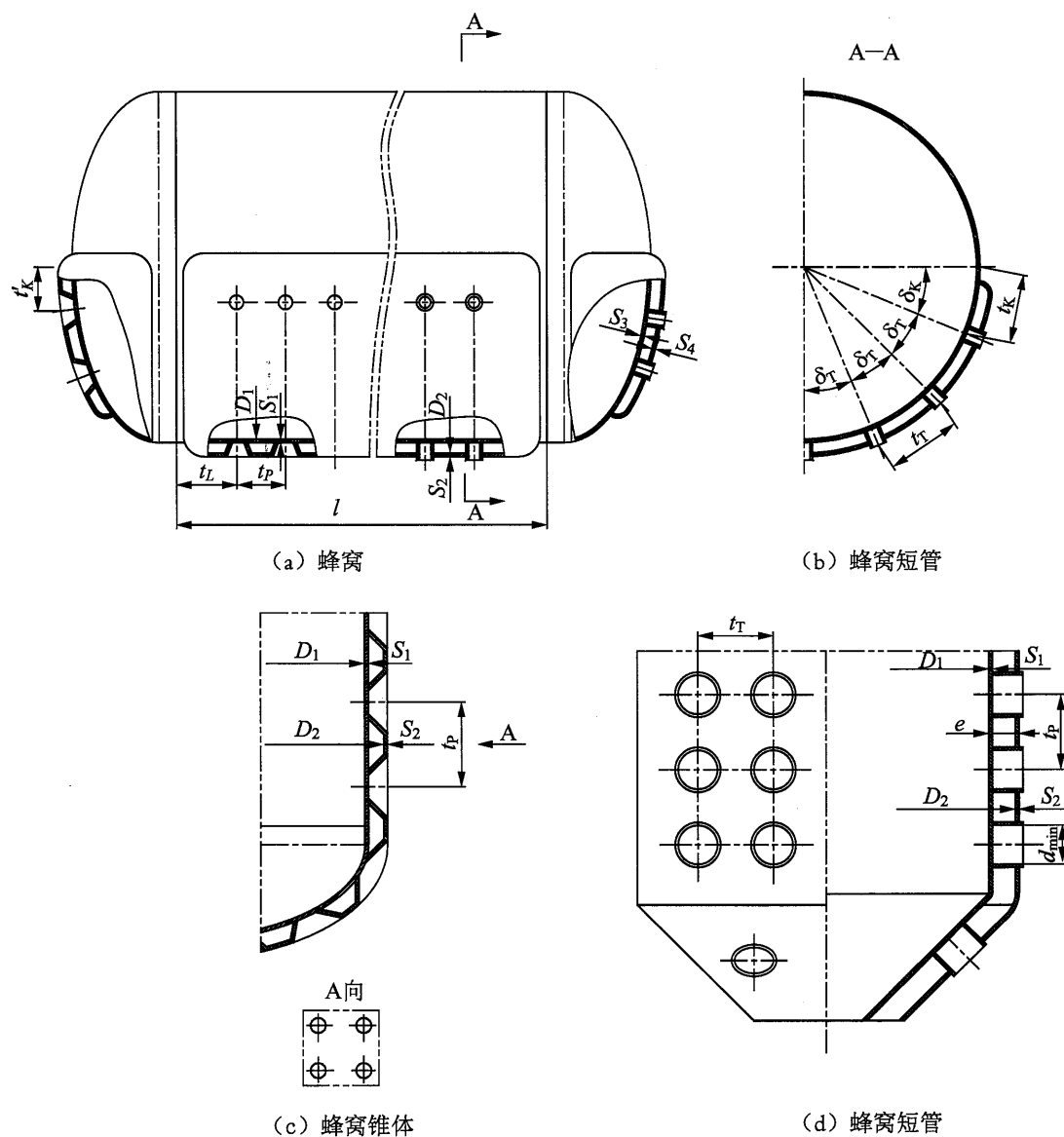
$$0.8 \leq \frac{t_p}{t_T} \leq 1.25$$

3) 对于蜂窝锥体,其计算公式适用于蜂窝锥体半顶角为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 以及与容器壳体全焊透的条件。

4) 对于蜂窝短管,下式适用于连接蜂窝短管与壳体的角焊缝尺寸：

$$a \geq 0.7 \cdot \min \{S_0; S_2\}$$

2 蜂窝夹套结构,见图 B.3.5-1;蜂窝锥体结构,见图 B.3.5-2;蜂窝短管结构,见图 B.3.5-3。



注：1 筒体部位的冲孔可按正方形排列，封头部位的冲孔可按同心圆排列；

2 短管的焊接， d_{min} 应满足下列要求(单位:mm)：当 e 为25、50、100时，则对应 d_{min} 为40、50、80。

图 B.3.5-1 折边锥体式或短管支撑式蜂窝夹套容器

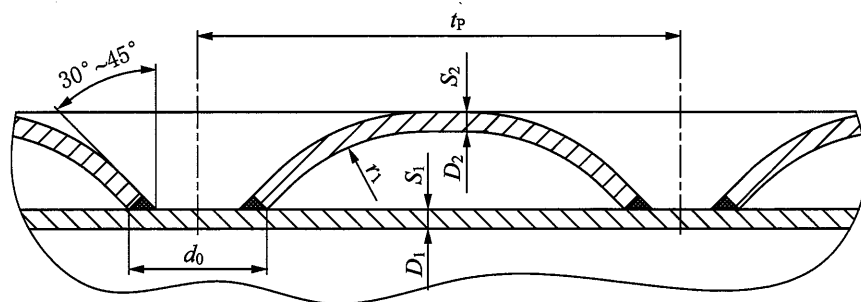


图 B.3.5-2 蜂窝锥体与容器壳体的连接

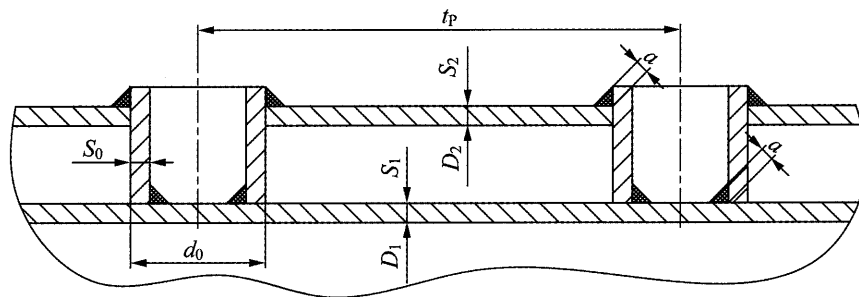


图 B.3.5-3 蜂窝短管与容器、夹套壳体的连接

3 筒体计算应符合下列规定：

蜂窝夹套计算长度 l 覆盖范围内的容器筒体，根据设计压力 p_1 按《压力容器》GB 150.3 进行强度或稳定性计算。

承受压力 p_2 时，夹套覆盖范围内容器筒体和夹套筒体各自的加撑区域均作为平板，应按下述第 5 款计算。当 $p_1 < 0$ 时，为了防止容器筒体出现失稳，还应满足本标准附录 B 第 B.3.5 条第 1 款第 1) 项的要求以及下式的条件。

$$\frac{S_1 - C}{D_1} \geq \sqrt[3]{4.5 \cdot \frac{p_1}{E_1} \left(\frac{\delta_T}{360^\circ} \right)^2} \quad (\text{B.3.5-1})$$

式中： p_1 ——设计压力，取 $p_1 = |p_1|$ 。

4 封头计算应符合下列规定：

带蜂窝夹套的封头，根据设计压力 p_1 按《压力容器》GB 150.3 进行强度或稳定计算。

承受压力 p_2 时，夹套覆盖范围内容器封头和夹套封头各自的加撑区域均作为平板，按下述第 5 款计算。但在公式中应用封头壁厚 S_3 、 S_4 分别代替筒体壁厚 S_1 、 S_2 。

5 按平板计算的加撑区域应符合下列规定：

1) 夹套中的许用内压力 $[p_2]$ 应按下列公式计算：

容器壁：

$$[p_2] = [\sigma]_1 \frac{(S_1 - C)^2}{t_P t_T} \cdot f_1 \left\{ 1 - \left[\frac{p_1 - D_R}{2[\sigma]_1 (S_1 - C)} \right]^2 \right\} \quad (\text{B.3.5-2})$$

夹套壁：

$$[p_2] = [\sigma]_2 \frac{(S_2 - C)^2}{t_P t_T} \cdot f_2 \quad (\text{B.3.5-3})$$

强度系数 f_1 和 f_2 根据 d_0/t_0 和相对反力矩系数 m ，可按图 B.3.5-4 确定，其中 t_0 、 m 应按下列公式计算：

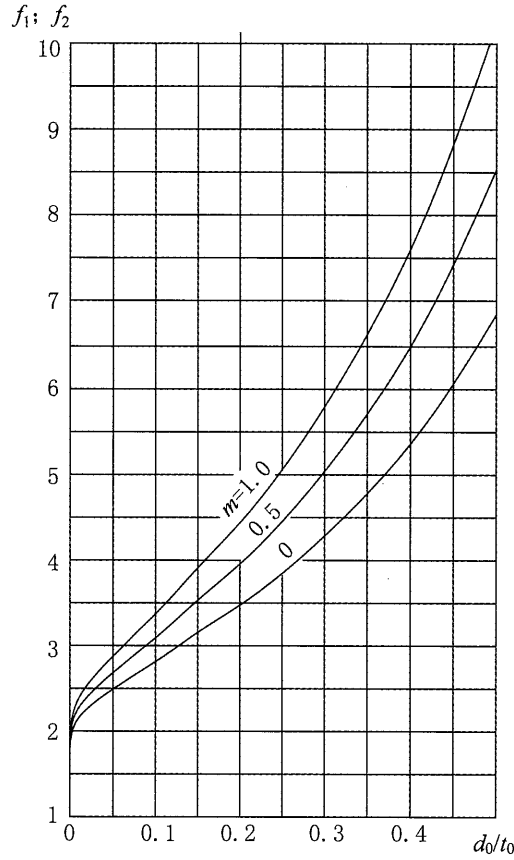
$$t_0 = \sqrt{t_P \cdot t_T} \quad (\text{B.3.5-4})$$

求 f_1 时，取

$$m = 1.0 \quad (\text{B.3.5-5})$$

求 f_2 时，取

$$m = \begin{cases} 1.0, & \text{对于蜂窝锥体连接} \\ \min \left\{ 1; \left(\frac{a}{S_2} \right)^2; \left(\frac{S_0}{S_2} \right)^2 \right\}, & \text{对于蜂窝短管连接} \end{cases} \quad (\text{B.3.5-6})$$



$$f_1 = \frac{\pi}{2} \left[1 + 1.3 \frac{1.8 + 2.3 \frac{d_o}{t_o}}{\ln \frac{t_o}{d_o}} \right]$$

$$f_2 = \frac{\pi}{2} \left[1 + 1.3 \frac{1.3 + \frac{m}{2} + (1 + 1.3m) \frac{d_o}{t_o}}{\ln \frac{t_o}{d_o}} \right]$$

图 B.3.5-4 强度系数 f_1 、 f_2

2) 按平板计算的加撑区域尺寸:

蜂窝锥体或蜂窝短管的计算节距应按下式确定:

$$t_1 = (S_1 - C) \sqrt{\frac{[\sigma]_1}{p_2} \cdot f_5 \left\{ 1 - \left[\frac{p_1 D_R}{2[\sigma]_1 (S_1 - C)} \right]^2 \right\}} \quad (\text{B. 3. 5-7})$$

$$t_2 = (S_2 - C) \sqrt{\frac{[\sigma]_2}{p_2} \cdot f_6} \quad (\text{B. 3. 5-8})$$

有效节距应按下式计算:

$$t_o \leq \min\{t_1; t_2\} \quad (\text{B. 3. 5-9})$$

给定 d_o/t_o 和 m , 强度系数 f_1 、 f_2 可按图 B. 3. 5-4 查得。此时 t_1 、 t_2 可按公式直接求得。当仅已知 d_o 和 m 时, t_1 、 t_2 可用叠代法求得。在按公式(B. 3. 5-9)和公式(B. 3. 5-4)确定 t_P 、 t_T 时, t_P 和 t_T 比值应符合 B. 3. 5 条 1 款 2) 项的要求。

加撑区域的壁厚应按下列公式计算:

容器筒体:

$$S_{1R} = t_o \sqrt{\frac{p_2}{[\sigma]_1 \cdot f_1} + \left(\frac{p_1 D_R}{2[\sigma]_1 t_o}\right)^2} \quad (\text{B. 3. 5-10})$$

$$S_1 \geq S_{1R} + C \quad (\text{B. 3. 5-11})$$

夹套筒体:

$$S_{2R} = t_o \sqrt{\frac{p_2}{[\sigma]_2 \cdot f_2}} \quad (\text{B. 3. 5-12})$$

$$S_2 \geq S_{2R} + C \quad (\text{B. 3. 5-13})$$

式中节距 t_o 可按公式(B. 3. 5-4)确定,强度系数 f_1 、 f_2 可按图 B. 3. 5-4 查得。

对于短管支撑式蜂窝夹套容器,应按式(B. 3. 5-6)确定 m ,应采用逐次逼近法计算 S_2 。

3) 夹套的边缘区域:

夹套封闭件(封口锥,封口环)的计算应按本标准附录 B 第 B. 3. 3 条第 4 款的规定执行。

夹套边缘至第一排蜂窝锥体或蜂窝短管的距离,应满足下列条件:

$$t_L \leq t_P \cdot \min \left\{ 1; 0.5 + \sqrt{\frac{t_T}{t_P f_2}} \right\} \quad (\text{B. 3. 5-14})$$

$$t_K \leq t_T \cdot \min \left\{ 1; 0.5 + \sqrt{\frac{t_P}{t_T f_2}} \right\} \quad (\text{B. 3. 5-15})$$

上述二式中 f_2 可按图 B. 3. 5-4 查得。

图 B. 3. 5-1 (a) 中 t_K 应满足式(B. 3. 5-15)的条件。

6 蜂窝锥体壁厚计算,见图 B. 3. 5-2。

$$S_{2R} = \frac{p_2 t_P t_T \eta}{0.7\pi(d_o - S_2) \cdot \min\{[\sigma]_1; [\sigma]_2\}} \quad (\text{B. 3. 5-16})$$

式中: $\eta = 1 - \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_o}{t_o}\right)^2$;

t_o 应按式(B. 3. 5-4)计算。

$$S_2 \geq S_{2R} + C \quad (\text{B. 3. 5-17})$$

$$a = S_2 \quad (\text{B. 3. 5-18})$$

7 蜂窝短管壁厚计算,见图 B. 3. 5-3。

$$S_{oR} = \frac{p_2 t_P t_T \eta}{\pi(d_o - 2S_o) \cdot \min\{[\sigma]_0; [\sigma]_1; [\sigma]_2\}} \quad (\text{B. 3. 5-19})$$

式中: η ——应按公式(B. 3. 5-16)中 η 式计算。

$$S_o \geq S_{oR} + C \quad (\text{B. 3. 5-20})$$

$$a \geq 1.41 S_{oR} \quad (\text{B. 3. 5-21})$$

上式确定的角焊缝尺寸 a 还应满足本标准附录 B 第 B. 3. 5 条第 1 款第 4) 项的要求。

B. 3. 6 型钢夹套容器应符合下列规定:

1 型钢夹套一般可采用沿容器筒体外壁轴线布置,也可采用沿容器筒体外壁螺旋布置的结构。

型钢常采用角钢,其结构见图 B. 3. 6-1、图 B. 3. 6-2 和图 B. 3. 6-3。

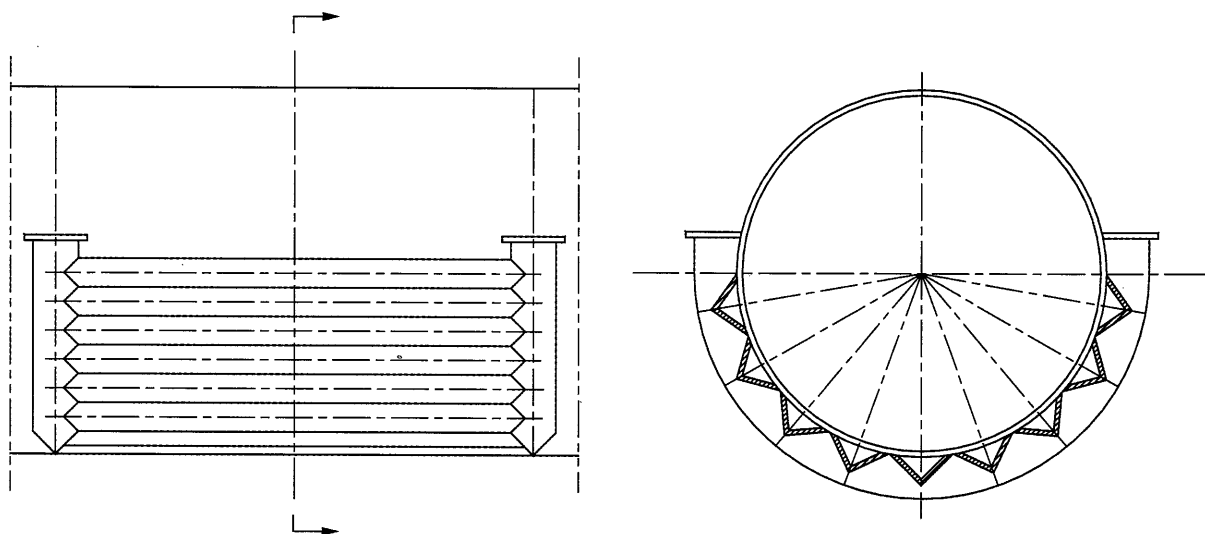


图 B.3.6-1 沿轴线布置的卧式角钢夹套容器

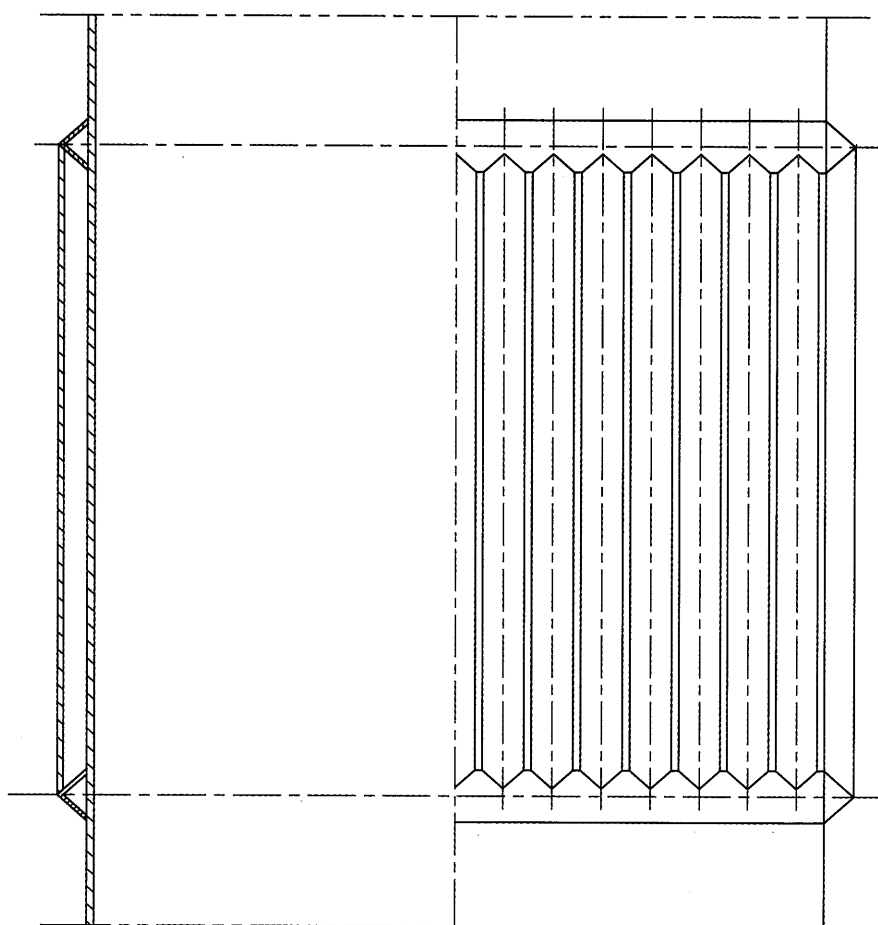
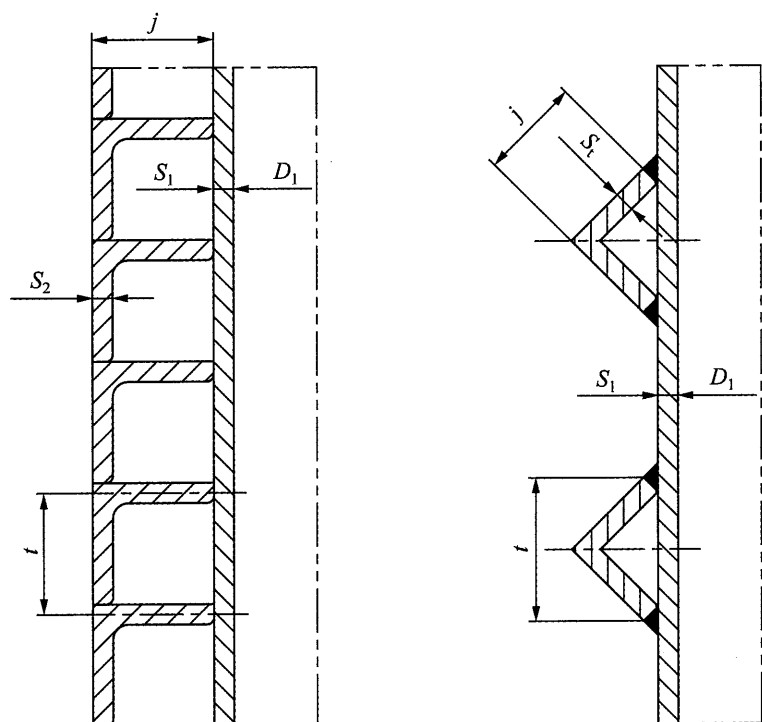


图 B.3.6-2 沿轴线布置的立式角钢夹套容器



(a) 螺旋形角钢互搭式

(b) 螺旋形角钢分隔式

图 B.3.6-3 螺旋形角钢夹套尺寸

2 型钢夹套的强度计算应符合下列规定：

- 1) 本规定适用于容器内和夹套内的设计压力均为正压(表压)的型钢夹套容器,其型钢夹套尺寸如图 B.3.6-3 所示。
- 2) 被型钢夹套部分或整体包围的容器筒体计算壁厚 S_{1R} 应分别按式(B.3.6-1)和式(B.3.6-2)计算,取其较大值。

$$S_{1R} = t \sqrt{\frac{p}{2[\sigma]_1 \phi}} + \frac{D_1 p_1}{8[\sigma]_1 \phi} \quad (\text{B.3.6-1})$$

$$S_{1R} = \frac{D_1 p_1}{2[\sigma]_1 \phi - p_1} \quad (\text{B.3.6-2})$$

$$S_1 \geq S_{1R} + C \quad (\text{B.3.6-3})$$

3) 型钢壁厚 S_t 应按下列公式计算：

对于图 B.3.6-3(a),应按下列公式计算,并取其最大值：

$$S_t = j \sqrt{\frac{p_2}{2[\sigma]_1 \phi}} + C \quad (\text{B.3.6-4})$$

$$S_t = t \sqrt{\frac{p_2}{2[\sigma]_1 \phi}} + C \quad (\text{B.3.6-5})$$

$$S_t = \frac{p_2 D_2}{2[\sigma]_1 \phi} + C \quad (\text{B.3.6-6})$$

对于图 B.3.6-3(b):

$$S_t = j \sqrt{\frac{p_2}{2[\sigma]_1 \phi}} + C \quad (\text{B. 3. 6-7})$$

B. 4 带盘管容器

B. 4. 1 设计准则：

- 1 容器筒体及封头的设计应符合本标准附录 B 第 B. 2 节的规定。
- 2 本规定仅适用于外盘管采用螺旋盘管缠绕并焊接于壳体外壁。
- 3 盘管的适用压力和温度范围,应按盘管所能承受的压力和温度确定。

B. 4. 2 外盘管容器应符合下列规定：

- 1 外盘管的结构见图 B. 4. 2-1。
- 2 外盘管内的许用压力应按管子公称压力及工作温度下的工作压力确定。
- 3 外盘管容器的强度校核计算：
 - 1) 适用于容器内和盘管内设计压力均为正压(表压)的被外盘管覆盖部分的容器筒体和盘管的强度校核计算。

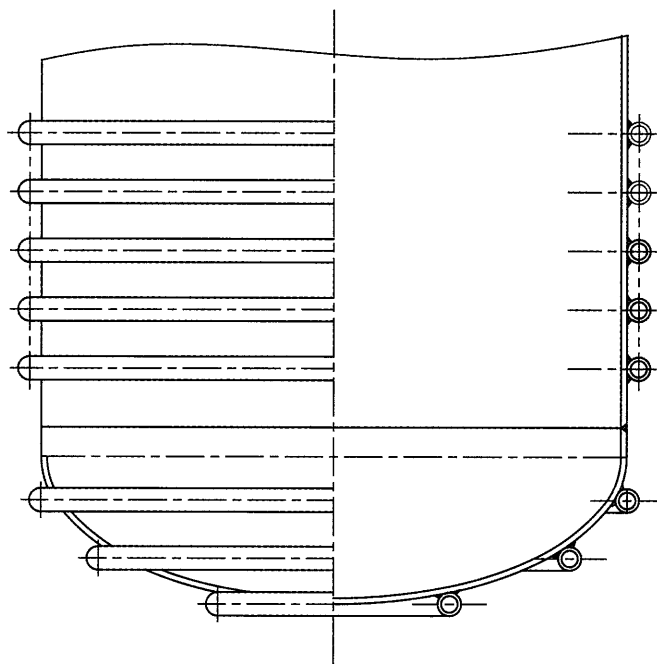


图 B. 4. 2-1 外盘管容器

2) 符号说明

- C ——筒体壁厚附加量(腐蚀裕量加材料厚度负偏差)(mm);
- C_1 ——管子壁厚附加量(腐蚀裕量加材料厚度负偏差)(mm);
- D_1 ——容器内直径(mm);
- d ——管子名义外直径(mm);
- d_0 ——管子名义内直径(mm);
- E ——筒体材料的弹性模量(MPa);
- p ——容器内设计压力(MPa);

p_1 ——盘管内设计压力(MPa);

R ——容器筒体平均半径(mm), $R = \frac{1}{2}(D_1 + \delta_e)$;

t ——筒体壁温($^{\circ}\text{C}$);

t_0 ——制造环境温度($^{\circ}\text{C}$);

t_1 ——管子壁温($^{\circ}\text{C}$);

t_s ——螺旋盘管节距(mm);

α ——筒体材料的线膨胀系数(mm/mm $\cdot^{\circ}\text{C}$);

α_1 ——管子材料的线膨胀系数(mm/mm $\cdot^{\circ}\text{C}$);

δ_e ——筒体有效厚度(mm);

μ ——泊桑系数,对钢材取 $\mu = 0.3$;

$[\sigma]$ ——筒体材料的许用应力,按 GB 150.2 选取(MPa);

$[\sigma]_1$ ——管子材料的许用应力,按 GB 150.2 选取(MPa);

ϕ ——筒体焊缝系数;

ϕ_1 ——管子焊缝系数;

$X_1(u)$ 、 $\varphi_1(u)$ 、 $X_2(u)$ ——И. Г. Бубнов 函数,见表 B. 4. 2;

$\mu_1(u)$ ——П. Ф. Папкович 函数,见表 B. 4. 2。

3) 筒体的应力校核:

图 B. 4. 2-2 中筒体截面上 a 点的纵向力 σ_{1a} 及环向应力 σ_{2a} 应按下列公式计算:

$$\sigma_{1a} = \frac{pR}{2\delta_e} \pm \frac{q_0 t_s^2 X_1(u)}{4\delta_e^2(1+B_1)} \quad (\text{B. 4. 2-1})$$

$$\sigma_{2a} = \frac{pR}{2\delta_e} + \frac{q_0 R}{\delta_e(1+B_1)} \left[\varphi_1(u) \pm \frac{\mu u^2 X_1(u)}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} \right] \quad (\text{B. 4. 2-2})$$

图 B. 4. 2-2 中筒体截面上 b 点的纵向应力 σ_{1b} 及环向应力 σ_{2b} 应按下列公式计算:

$$\sigma_{1b} = \frac{pR}{2\delta_e} \pm \frac{2q_0 R}{\delta_e \sqrt{3(1-\mu^2)}} \cdot \frac{u^2 X_2(u)}{(1+B_1)} \quad (\text{B. 4. 2-3})$$

$$\sigma_{2b} = \frac{pR}{\delta_e} + \frac{q_0 R}{\delta_e(1+B_1)} \left[1 \pm \frac{2\mu u^2 X_2(u)}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} \right] \quad (\text{B. 4. 2-4})$$

式(B. 4. 2-1)~(B. 4. 2-4)中:

$$q_0 = k \cdot R[\alpha(t-t_0) - \alpha_1(t_1-t_0)] - p(1-0.5\mu)$$

$$B_1 = \frac{A \cdot k \cdot t_s}{2} \mu_1(u)$$

$$u = \frac{at_s}{2}$$

$$k = \frac{E\delta_e}{R^2}$$

$$A = \frac{8R^2}{\pi E[d^2 - (d_0 + C_1)^2]}$$

$$a = \sqrt{\frac{k}{4D}}$$

$$D = \frac{E\delta_e^3}{12(1-\mu^2)}$$

筒体的应力应满足下列条件：

$$\{\sigma_{1a}、\sigma_{2a}、\sigma_{1b}、\sigma_{2b}\} \leq [\sigma]\phi$$

4) 盘管的应力校核：

图 B. 4. 2-2 管子壁的纵向应力 σ_1 及环向应力 σ_2 应按下列公式计算。

$$\sigma_1 = \frac{p_1(d_0 + C_1)}{2(d - d_0 - C_1)} \quad (\text{B. 4. 2-5})$$

$$\sigma_2 = \frac{pR(1 - 0.5\mu)}{\delta_e} + \frac{q_0R}{\delta_e(1 + B_1)} + \frac{p_1(d_0 + C_1)^2}{d^2 - (d_0 + C_1)^2} \quad (\text{B. 4. 2-6})$$

式中： q_0 、 B_1 应按本标准附录 B 第 B. 4. 2 条第 3 款第 3) 项中 q_0 、 B_1 公式计算。

盘管的应力应满足下列条件：

$$\{\sigma_1、\sigma_2\} \leq [\sigma]_1\phi_1$$

5) 外盘管容器强度计算见图 B. 4. 2-2 和表 B. 4. 2。

表 B. 4. 2 函数表

u	$\phi_1(u)$	$X_1(u)$	$X_2(u)$	$\mu_1(u)$
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000
0.1	1.000	1.000	1.000	1.000
0.2	1.000	1.000	1.000	1.000
0.3	0.999	0.999	0.999	1.000
0.4	0.996	0.996	0.997	0.999
0.5	0.990	0.991	0.993	0.995
0.6	0.979	0.982	0.985	0.988
0.7	0.961	0.967	0.973	0.978
0.8	0.935	0.946	0.956	0.967
0.9	0.899	0.917	0.931	0.948
1.0	0.852	0.878	0.899	0.920
2.0	0.141	0.279	0.397	0.527
3.0	-0.085	0.038	0.167	0.333
4.0	-0.052	-0.001	0.094	0.250
5.0	-0.009	-0.002	0.060	0.205

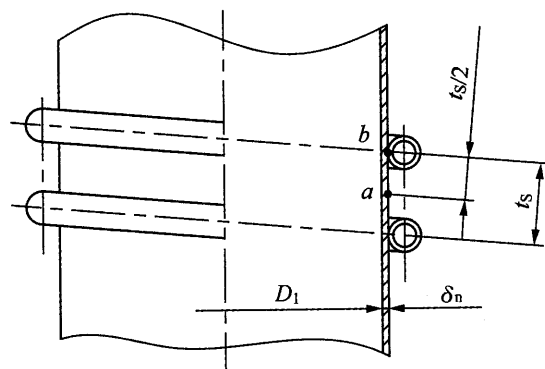


图 B.4.2-2 外盘管容器计算图

B.4.3 内盘管容器应符合下列规定：

- 1 内盘管的结构应根据工艺要求选定。
- 2 内盘管的计算应按国家现行标准执行。

B.5 搅拌机对搅拌容器作用的附加规定

B.5.1 符号说明

C —— 筒体或封头的厚度附加量,按《压力容器》GB 150.1 和《钢制焊接常压容器》NB/T 47003.1—2009 的规定选取(mm);

D_1 —— 容器内直径(mm);

E_r —— 型钢材料的弹性模量(MPa);

E^t —— 设计温度下圆筒材料的弹性模量(MPa);

I_r —— 型钢截面惯性矩(mm⁴);

K_c —— 系数;

L —— 型钢长度(mm);

$M_{r(\max)}$ —— 单根型钢中的最大弯矩(N·m);

p —— 容器内设计压力(见《压力容器》GB 150.1)(MPa);

$[p]$ —— 容器计算许用外压力(见《压力容器》GB 150.3)(MPa);

Q —— 筒体中的轴向压缩力(N);

Q_1 —— 搅拌机的重力(N);

Q_2 —— 流体作用在搅拌桨上的轴向力(N);

Q_3 —— 不包括器底重力在内的薄壁容器重力(N);

$[Q]$ —— 筒体的许用轴向压缩力(N);

W_r —— 型钢的抗弯断面模量(mm³);

$Y_{r(\max)}$ —— 单根型钢中的最大挠度(mm);

$[Y_r]$ —— 型钢的许用挠度可取, $[Y_r] = \frac{L}{1000} - \frac{L}{2000}$ (mm);

δ_n —— 筒体的名义厚度(包括壁厚附加量)(mm);

$\sigma_{r(\max)}$ —— 单根型钢中的最大弯曲应力(MPa);

σ_s^t ——设计温度下筒体材料的屈服点(MPa);

$[\sigma_r]$ ——型钢材料的许用应力(MPa);可按《钢制焊接常压容器》NB/T 47003.1—2009 表 5.6 的规定选取;

ϕ_c ——应力减小系数。

B.5.2 搅拌机装于立式薄壁容器(图 B.5.2-1)顶部的搅拌容器。

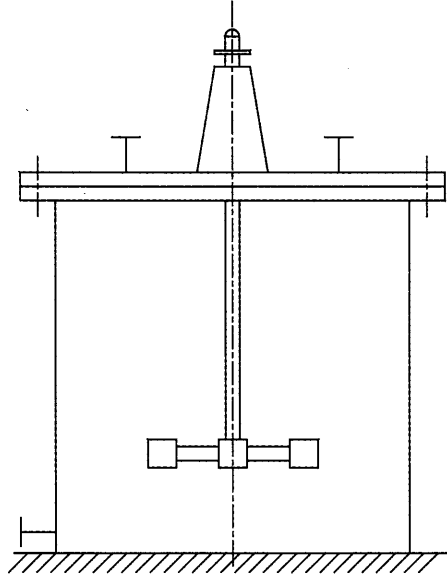


图 B.5.2-1 搅拌机与立式薄壁容器组合图

1 应按下列公式校核筒体受轴向压缩力 Q 作用时的稳定性,使 $Q \leq [Q]$ 。

轴向压缩力 Q 应按下列式计算:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (\text{B.5.2-1})$$

筒体许用轴向压缩力 $[Q]$ 值应按下列式确定:

$$[Q] = 2.09\phi_c D_1 (\delta_n - C) \sigma_s' \quad (\text{B.5.2-2})$$

式中:当 $\frac{D_1}{\delta_n - C} < 0.36 \frac{E^t}{\sigma_s^t}$ 时,

$$\phi_c = \frac{1}{1 + 5.75 \left(\frac{\sigma_s^t}{E^t} \cdot \frac{D_1}{\delta_n - C} \right)^2}$$

当 $\frac{D_1}{\delta_n - C} \geq 0.36 \frac{E^t}{\sigma_s^t}$ 时,

$$\phi_c = 2.5 K_c \frac{E^t}{\sigma_s^t} \cdot \frac{\delta_n - C}{D_1}$$

当 $\frac{D_1}{\delta_n - C} = 0.36 \frac{E^t}{\sigma_s^t} \leq 500$ 时,

系数 $K_c = 1.4$

当 $\frac{D_1}{\delta_n - C} > 500$ 时,系数 K_c 值可由图 B.5.2-2 查取。

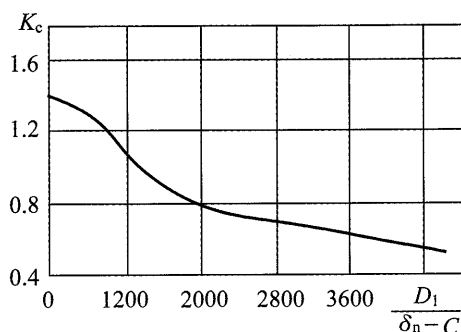


图 B. 5. 2-2 系数 K_c 值 ($\frac{D_1}{\delta_n - C} > 500$ 时)

对于筒体同时承受真空压力 p 和轴向压缩力 Q 作用时,还应按下式校核稳定性。

$$\frac{Q}{[Q]} + \frac{p}{[p]} \leq 1 \quad (\text{B. 5. 2-3})$$

2 搅拌机装于常压容器的平顶盖上时,顶盖宜采用薄钢板制造,并在其上加设型钢梁。此时,所加型钢应满足下列强度条件:

$$\sigma_{r(\max)} = \frac{M_{r(\max)} \times 10^3}{W_r} \leq [\sigma_r] \quad (\text{B. 5. 2-4})$$

计算 $M_{r(\max)}$ 时,对横跨至顶盖边缘的横梁可按简支梁计算。

同时,型钢还应满足刚度条件。对于集中载荷作用在型钢长度 $1/2$ 处的简支梁的最大挠度应按下列式计算:

$$Y_{r(\max)} = \frac{(Q_1 + Q_2)L^3}{48E_r I_r} \leq [Y_r] \quad (\text{B. 5. 2-5})$$

计算型钢的强度和刚度时,不论型钢在平盖上用何种方法布置,可作为仅由两根最长的型钢承受轴向力 Q_1 和 Q_2 的作用。

B. 5. 3 搅拌机装于凸形封头的搅拌容器应符合下列规定:

- 1 应计算搅拌机重力载荷的作用以及传动装置产生的震动等动力载荷的影响。
- 2 连接搅拌机传动装置的搅拌容器封头上的凸缘法兰和安装底盖应符合下列规定。

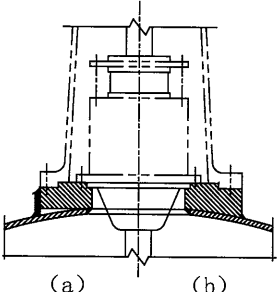
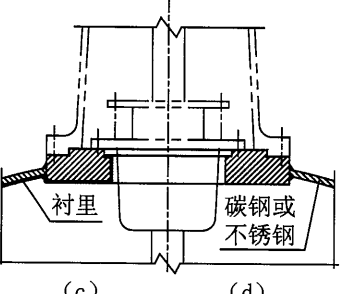
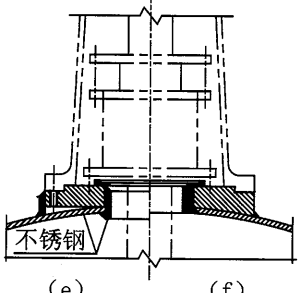
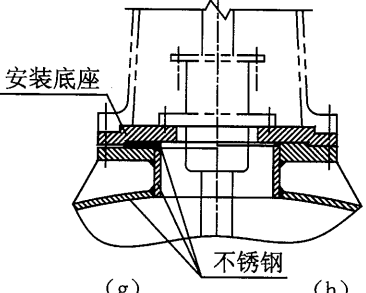
1) 设计时宜选用下列标准:

《搅拌传动装置 凸缘法兰》HG 21564

《搅拌传动装置 安装底盖》HG 21565

2) 非标准凸缘法兰和安装底盖可采用表 B. 5. 3 规定的常用结构。

表 B.5.3 凸形封头上的常用凸缘法兰和安装底盖结构

结构	适用范围
 <p>(a) (b)</p>	<p>(a)、(b)——适用于碳钢容器</p> <p>(a)——凸缘法兰对封头开孔无补强作用</p>
 <p>(c) (d)</p>	<p>(c)——适用于衬里容器</p> <p>(d)——适用于碳钢或不锈钢容器</p>
 <p>(e) (f)</p>	<p>(e)、(f)——适用于不锈钢制容器</p> <p>(e)——凸缘法兰对封头开孔无补强作用</p>
 <p>(g) (h)</p>	<p>(g)——用于不锈钢容器</p> <p>(h)——用于碳钢容器</p>

附录 C 搅拌桨与搅拌轴设计

C.1 搅 拌 桨

C.1.1 本节规定了常用搅拌桨的设计。

C.1.2 设计搅拌桨时,宜选用国家或行业现行标准规定的搅拌桨。

C.1.3 符号说明。

C_1 ——钢板或铸铁厚度的负偏差(mm);

C_2 ——桨叶的腐蚀裕量(mm);

D_1 ——搅拌桨直径(mm);

D_2 ——搅拌桨叶根直径(mm);

d ——搅拌轴直径(mm);

d_1 ——轴套外径(mm);

d_b ——螺栓孔直径(mm);

F_H ——流体作用在一个叶片的水平力(N);

F_{vi} ——流体作用在第 i 层搅拌桨上的轴向推力(N);

F_v ——流体作用在一个叶片的轴向推力(N);

H_1 ——桨叶垂直方向悬臂高度(mm);

H_m ——桨叶总高度(mm);

h ——桨叶宽度(mm);

h_1 ——桨叶厚度与加强筋高度之和(mm);

I_x ——对 x 轴的组组合断面惯性矩(mm^4);

I_y ——对 y 轴的组组合断面惯性矩(mm^4);

M_I ——断面 I—I 承受的弯矩($\text{N} \cdot \text{m}$);

M_{II} ——断面 II—II 承受的弯矩($\text{N} \cdot \text{m}$);

M_{nI} ——断面 I—I 承受的扭矩($\text{N} \cdot \text{m}$);

M_x ——断面 I—I 中对 x 轴的弯矩($\text{N} \cdot \text{m}$);

M_y ——断面 I—I 中对 y 轴的弯矩($\text{N} \cdot \text{m}$);

n ——搅拌桨转速(r/min);

n_b ——安全系数;

P_J ——一个桨叶强度计算时的设计功率(kW);

P_M ——电机计算功率(kW);

P_N ——电机额定功率(kW);

P_m ——轴封处摩擦损耗功率(见本标准附录 C 第 C.3.11 条)(kW);

P_q ——每 i 层搅拌桨的设计功率,由工艺过程确定(kW);
 P_{qi} ——第 i 层搅拌桨的设计功率,由工艺过程确定(kW);
 P_s ——搅拌轴功率,由工艺过程确定(kW);
 R_1 ——搅拌桨半径(mm);
 R_2 ——搅拌桨叶根半径(mm);
 r ——涡轮式搅拌桨的圆盘外半径(mm);
 r_0 ——弯叶截面重心位置所在层的曲率半径(mm);
 r_1 ——弯叶外壁的曲率半径(mm);
 r_2 ——弯叶内壁的曲率半径(mm);
 r_3 ——弯叶中性层的曲率半径(mm);
 S ——推进式搅拌桨的螺距(mm);
 S_1 ——推进式搅拌桨桨叶断面重心至弦边的距离(mm);
 S_2 ——推进式搅拌桨桨叶断面重心至弓形顶点的距离(mm);
 W ——桨叶断面的抗弯断面模数(mm³);
 W_I ——断面 I—I 的抗弯断面模数(mm³);
 W_{II} ——断面 II—II 的抗弯断面模数(mm³);
 W_{nI} ——断面 I—I 的抗扭断面模数(mm³);
 x ——桨叶上流体阻力的合力作用位置尺寸(mm);
 Z ——轴上相同搅拌桨的层数;
 Z_B ——断面 I—I 上的螺栓数;
 Z_J ——搅拌桨的桨叶数;
 δ_e ——桨叶有效厚度(mm);

$$\delta_e = \delta_n - C_1 - C_2$$

δ_{1e} ——桨叶的加强筋有效厚度(mm);

$$\delta_{1e} = \delta_{1n} - C_1 - C_2$$

δ_n ——桨叶的名义厚度(mm);

δ_{1n} ——桨叶的加强筋名义厚度(mm);

η_1 ——传动装置效率,可按附录 E 选取;

θ ——桨叶断面中心线与轴中心线的夹角(°);

$[\sigma]$ ——桨叶材料的弯曲许用应力(MPa);

δ_b^* ——桨叶材料在设计温度下的抗拉强度(MPa);

σ_1 ——在 I—I 断面的凸面产生的拉应力(MPa);

σ_2 ——在 I—I 断面的凹面产生的压应力(MPa);

$\sigma_{(1)}$ ——断面 I—I 上 1 点的应力(MPa);

$\sigma_{(2)}$ ——断面 I—I 上 2 点的应力(MPa);

$\sigma_{(3)}$ ——断面 I—I 上 3 点的应力(MPa);

σ_I ——断面 I—I 上的弯曲应力(MPa);

σ_{II} ——断面 II—II 上的弯曲应力(MPa);
 $[\tau]$ ——桨叶材料的扭转许用应力(MPa);
 τ_1 ——断面 I—I 上的最大扭转应力(MPa)。

C.1.4 搅拌桨设计功率应按下列规定确定:

1 电机额定功率:

1) 电机计算功率应按下式计算:

$$P_M = \frac{P_s + P_m}{\eta_1} \quad (C.1.4-1)$$

2) 计算所得的电机计算功率应圆整到电机产品系列中的额定功率值 P_N 。

3) 当启动功率大于电机允许的启动功率时,应适当提高 P_N 值。

2 每层搅拌桨的设计功率:

1) 第 i 层搅拌桨的设计功率 P_{qi} 应由工艺过程确定。

2) 对型式、规格相同的搅拌桨,每层的设计功率也相同,其值可按下列下式计算:

$$P_q = \frac{\eta_1 P_N - P_m}{Z} \quad (C.1.4-2)$$

3) 对型式相同、直径不同且得不到可靠的分配数据时,第 i 层搅拌桨的设计功率 P_{qi} 也可按本标准附录 C 第 C.4.3 条的规定确定。

3 每个桨叶强度计算时,设计功率应按下列下式计算:

$$P_j = \frac{P_q}{Z_j} \quad (C.1.4-3)$$

C.1.5 搅拌桨桨叶材料的许用应力应按下列规定确定:

1 弯曲许用应力应按下列下式计算:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b} \quad (C.1.5-1)$$

安全系数 n_b 可按表 C.1.5 的规定取值。

表 C.1.5 常用材料安全系数

材质	不锈钢	铸不锈钢	碳钢	铸钢	铸铁	铝	铸铝
n_b	3.5	5.0	3.0	4.2	8.0	4.0	6.0

2 扭转许用应力应按下列下式计算:

$$[\tau] = 0.577[\sigma] \quad (C.1.5-2)$$

C.1.6 锚式搅拌桨应符合下列规定:

锚式搅拌桨对流体作功时的危险断面在图 C.1.6 所示的 I—I 断面及 II—II 断面上。

1 对于 I—I 断面:

1) I—I 断面上的弯矩 M_I 应按下列下式计算:

$$M_I = 4777 \frac{P_q}{n} \quad (C.1.6-1)$$

2) 对于两侧有加强筋的桨叶,其抗弯断面模数应按下列下式计算:

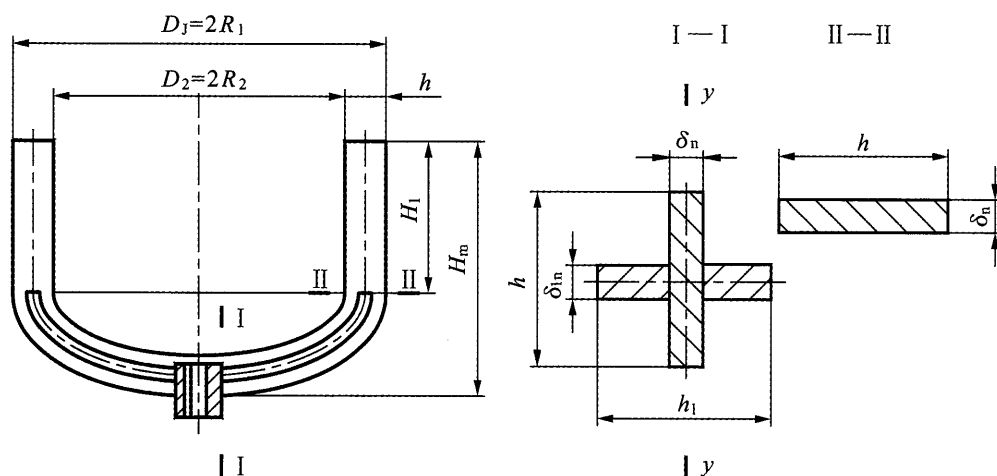


图 C.1.6 锚式搅拌桨

$$W_I = \frac{\delta_{1e} \cdot h_1^3 + (h - \delta_{1e}) \delta_e^3}{6h_1} \quad (C.1.6-2)$$

3) I—I 断面上弯曲应力应按下式计算:

$$\sigma_I = \frac{M_I \times 10^3}{W_I} \leq [\sigma] \quad (C.1.6-3)$$

4) I—I 断面上的扭矩 M_{nI} 应按下式计算:

$$M_{nI} = 3185 \frac{P_q \cdot (R_1^3 - R_2^3) \cdot (H_m - h)}{n \cdot (R_1^4 - R_2^4) \cdot (1 + a)} \quad (C.1.6-4)$$

式中: a ——系数

$$a = \frac{h}{H_m \left[\left(\frac{R_1}{R_2} \right)^4 - 1 \right]}$$

5) I—I 断面的抗扭断面模数:

不论桨叶上两侧或单侧有加强筋,可将全断面分成几个矩形断面来计算抗扭断面模数:

$$W_{nI} = \frac{\sum I_{ni}}{\left(\frac{I_{ni}}{W_{ni}} \right)_{\max}} \quad (C.1.6-5)$$

式中: I_{ni} ——第 i 个矩形断面的扭转惯性矩 (mm^4)

$$I_{ni} = \alpha_i \cdot \delta_{ei}^4$$

W_{ni} ——第 i 个矩形断面的抗扭断面模数 (mm^3)

$$W_{ni} = \beta_i \cdot \delta_{ei}^3$$

α_i, β_i ——第 i 个矩形断面的形状系数,见表 C.1.6;

表 C.1.6 α 和 β 系数

$m = \frac{\text{长边}}{\text{短边}}$	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
β	0.208	0.346	0.493	0.801	1.150	1.455	1.789	2.456	3.123
α	0.140	0.294	0.457	0.790	1.123	1.455	1.789	2.456	3.123

δ_{ei} ——第 i 个矩形断面的有效厚度(mm);

$(I_{ni}/W_{ni})_{\max}$ ——各断面的该比值中之最大值。

I—I 断面的最大扭转应力应按下式计算:

$$\tau_I = \frac{M_{nI} \times 10^3}{W_{nI}} \leq [\tau] \quad (\text{C. 1. 6-6})$$

2 对于 II—II 断面:

1) II—II 断面的弯矩 M_{II} 应按下式计算:

$$M_{II} = M_{nI} \cdot (1 - \frac{H_m - H_1}{H_m - 0.5h}) \quad (\text{C. 1. 6-7})$$

2) II—II 断面上的抗弯断面模数应按下式计算:

$$W_{II} = \frac{h \cdot \delta_e^2}{6} \quad (\text{C. 1. 6-8})$$

3) II—II 断面上的弯曲应力 δ_{II} 应满足下列要求:

$$\sigma_{II} = \frac{M_{II} \times 10^3}{W_{II}} \leq [\sigma] \quad (\text{C. 1. 6-9})$$

C. 1. 7 框式搅拌桨应符合下列规定:

图 C. 1. 7-1、图 C. 1. 7-2 所示的框式搅拌桨,对流体作功时的危险断面在 I—I 断面及 II—II 断面上。

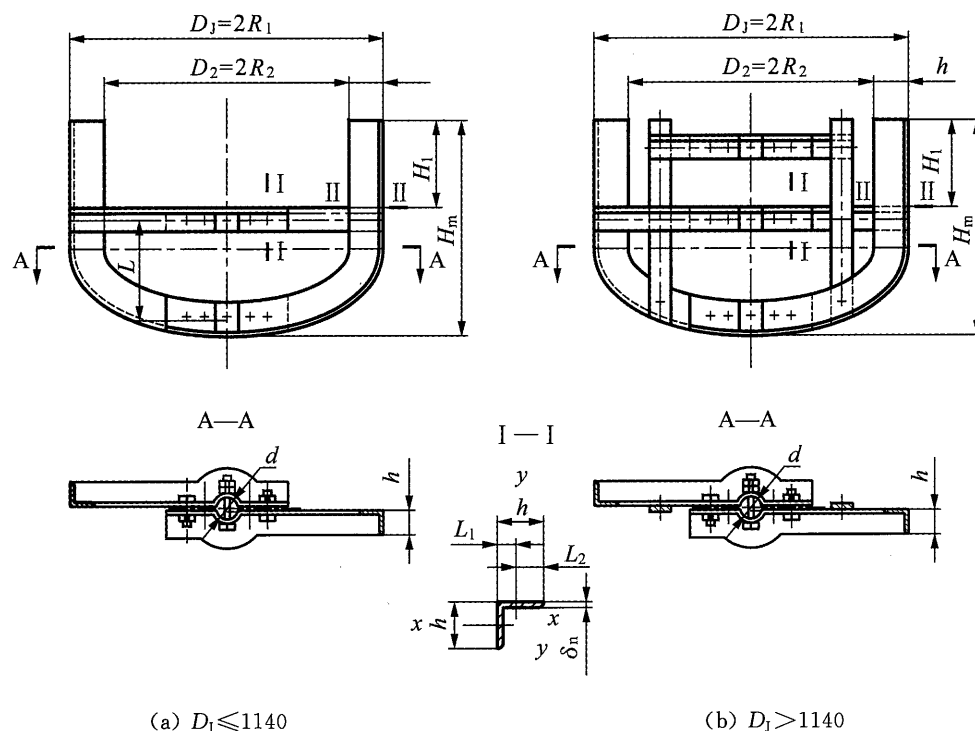


图 C. 1. 7-1 碳钢制框式搅拌桨

1 对于 I—I 断面:

1) I—I 断面上的弯矩 M_I 应按下式计算。

$$M_I = \frac{2388 \cdot P_q}{n} \cdot [1 + \frac{H_1}{2(1 + \alpha) \cdot L}] \quad (\text{C. 1. 7-1})$$

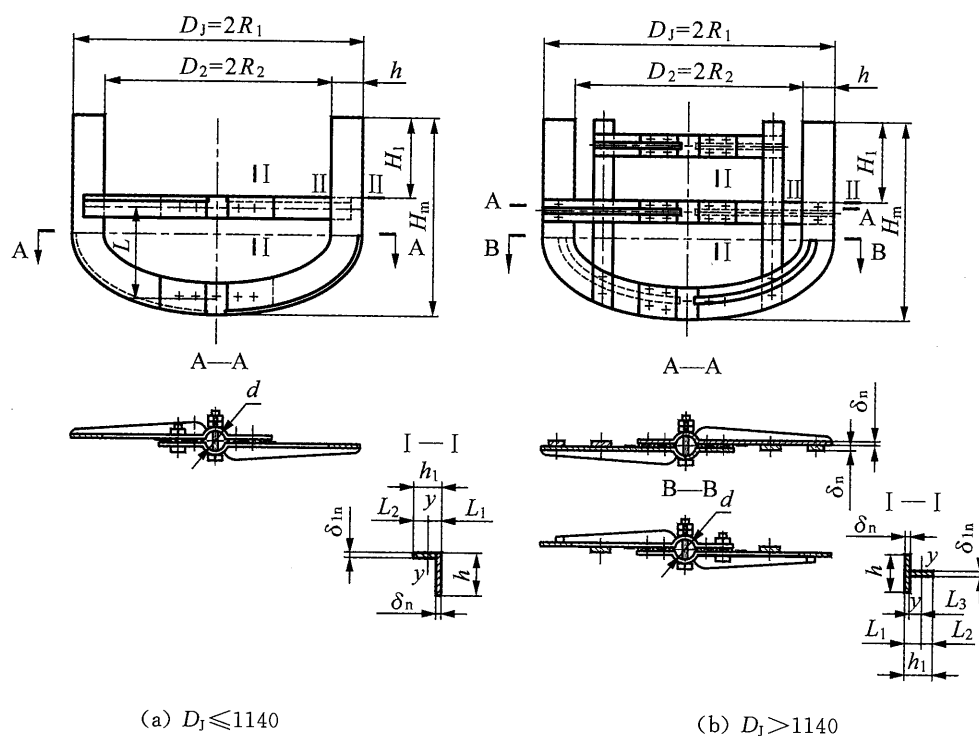


图 C.1.7-2 不锈钢制框式搅拌桨

式中: α ——系数

$$\alpha = \frac{2h}{H_m \cdot \left[\left(\frac{R_1}{R_2} \right)^4 - 1 \right]}$$

L ——搅拌桨横梁宽度中心线至椭圆形叶宽中心线的距离, 见图 C.1.7-1 和图 C.1.7-2。

2) I—I 断面上的扭矩 M_{nI} 应按下式计算。

$$M_{nI} = \frac{1592 \cdot P_q}{n} \cdot \frac{(R_1^3 - R_2^3) \cdot H_1}{(R_1^4 - R_2^4)(1 + \alpha)} \quad (C.1.7-2)$$

式中系数 α 其值与式(C.1.7-1)中 α 值相同。

3) I—I 断面的抗弯断面模数 W_I 应按下式计算。

$$W_I = \frac{I_y}{L_2} \quad (C.1.7-3)$$

对于等边角钢桨叶:

$$L_2 = h - L_1 \quad (\text{mm}) \quad (C.1.7-4)$$

$$I_y = \frac{1}{3} [\delta_e (h - L_1)^3 + h L_1^3 - (h - \delta_e) (L_1 - \delta_e)^3] - Z_B \left[\frac{d_b \cdot \delta_e^3}{12} + d_b \cdot \delta_e \left(L_1 - \frac{\delta_e}{2} \right)^2 \right]$$

(C.1.7-5)

式中:

$$L_1 = \frac{h^2 + (h - \delta_e) \cdot \delta_e}{2(2h - \delta_e)} \quad (\text{mm})$$

对于如图 C.1.7-2(a) 断面形状为不等边角钢桨叶:

$$L_2 = h_1 - L_1 \quad (\text{mm}) \quad (\text{C. 1. 7-6})$$

$$I_y = \frac{1}{3} [\delta_{1e} (h_1 - L_1)^3 + h L_1^3 - (h - \delta_{1e}) (L_1 - \delta_e)^3] - Z_B \left[\frac{d_b \cdot \delta_e^3}{12} + d_b \cdot \delta_e (L_1 - \frac{\delta_e}{2})^2 \right] \quad (\text{C. 1. 7-7})$$

式中:

$$L_1 = \frac{h_1^2 + (h - \delta_{1e}) \cdot \delta_e}{2(h_1 + h - \delta_{1e})} \quad (\text{mm})$$

对于如图 C. 1. 7-12(b) 断面形状为对称 T 字形桨叶:

$$L_2 = h_1 - L_1 \quad (\text{mm}) \quad (\text{C. 1. 7-8})$$

$$I_y = \frac{1}{3} [h \cdot L_1^3 - (h - \delta_{1e}) \cdot L_3^3 + \delta_{1e} \cdot L_2^3] - Z_B \left[\frac{d_b \cdot \delta_e^3}{12} + d_b \cdot \delta_e (L_1 - \frac{\delta_e}{2})^2 \right] \quad (\text{C. 1. 7-9})$$

式中:

$$L_1 = \frac{\delta_{1e} \cdot h_1^2 + (h - \delta_{1e}) \cdot \delta_e^2}{2[\delta_{1e} \cdot h_1 + (h - \delta_{1e}) \cdot \delta_e]} \quad (\text{mm})$$

$$L_3 = L_1 - \delta_e \quad (\text{mm})$$

4) I—I 断面上的弯曲应力 σ_I 应满足下列要求:

$$\sigma_I = \frac{M_I \times 10^3}{W_I} \leq [\sigma] \quad (\text{C. 1. 7-10})$$

2 对于 II—II 断面:

1) II—II 断面上的弯矩 M_{II} 应按下列式计算。

$$M_{II} = M_{nI} \cdot (1 - \frac{2H_1}{H_m + H_1}) \quad (\text{C. 1. 7-11})$$

式中: M_{nI} 应按式 (C. 1. 7-2) 计算。

2) II—II 断面的抗弯断面模数 W_{II} , 对于矩形桨叶应按式 (C. 1. 6-7) 计算; 对于角钢桨叶应按角钢的断面特性确定。

3) II—II 断面上的弯曲应力 σ_{II} 应满足下列要求:

$$\sigma_{II} = \frac{M_{II} \times 10^3}{W_{II}} \leq [\sigma] \quad (\text{C. 1. 7-12})$$

3 门框搅拌桨:

对于 3 根或 2 根横梁式门框搅拌桨, 其危险断面在图 C. 1. 7-3、图 C. 1. 7-4 中所示每根横梁的 I—I 断面上。强度计算可参照上述公式, 其中 I—I 断面上的弯矩 M_I 应按下列公式计算:

对于 3 根横梁:

$$M_I = \frac{1592 \cdot P_q}{n} \quad (\text{C. 1. 7-13})$$

对于 2 根横梁:

$$M_I = \frac{2388 \cdot P_q}{n} \quad (\text{C. 1. 7-14})$$

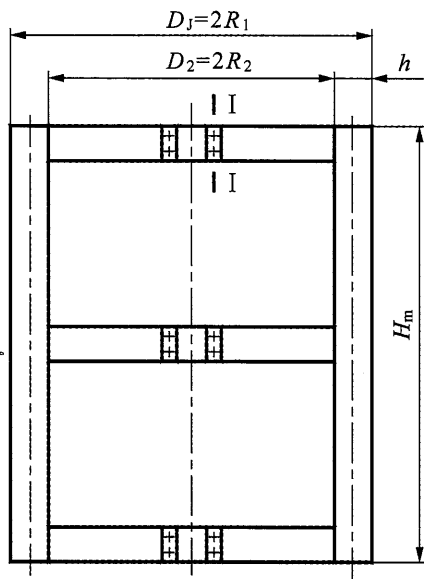


图 C.1.7-3 3根横梁式门框搅拌桨

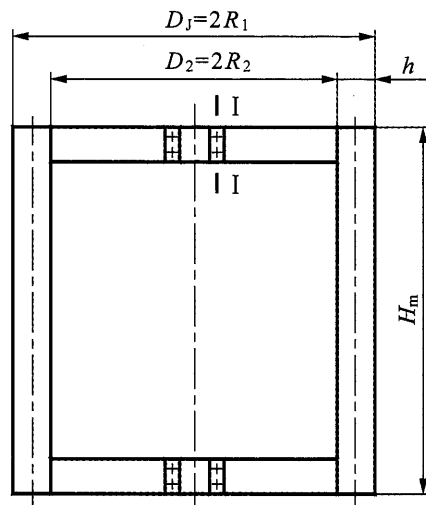


图 C.1.7-4 2根横梁式门框搅拌桨

C.1.8 桨式搅拌桨应符合下列规定：

- 1 直叶桨式搅拌桨对流体作功时的危险断面在桨叶根部如图 C.1.8-1 所示的 I—I 断面上。

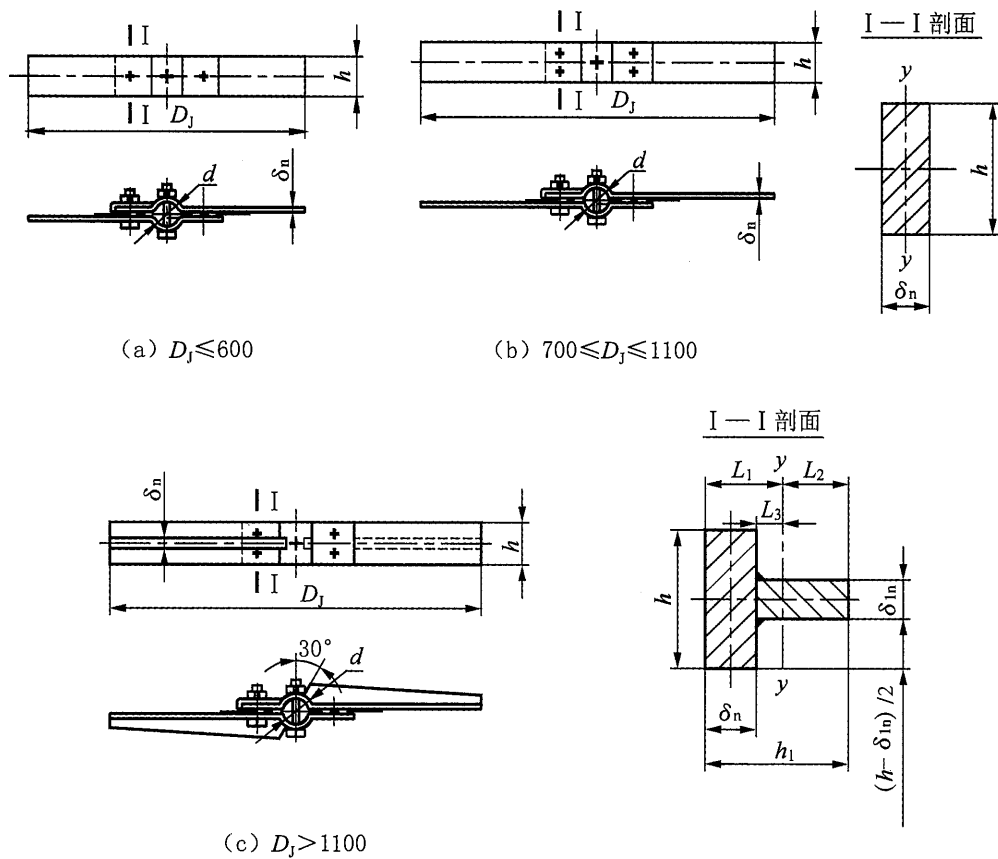


图 C.1.8-1 钢制直叶双桨式搅拌桨

1) I—I 断面所受的弯矩应按下式计算:

$$M_I = 4777 P_q / n \quad (\text{C. 1. 8-1})$$

2) y—y 轴的抗弯断面模数应按下列公式计算:

对于无加强筋的桨叶:

$$W_I = \frac{(h - Z_B \cdot d_b) \delta_c^2}{6} \quad (\text{C. 1. 8-2})$$

对于单侧有加强筋的桨叶:

$$W_I = I_y / L_2 \quad (\text{C. 1. 8-3})$$

式中: L_2 、 I_y 值应按式(C. 1. 7-6)、(C. 1. 7-7)计算。

3) I—I 断面上的弯曲应力应满足下列要求:

$$\sigma_I = \frac{M_I \times 10^3}{W_I} \leq [\sigma] \quad (\text{C. 1. 8-4})$$

2 斜叶桨式搅拌机。

斜叶双桨式搅拌桨的常用结构,对于铸铁制的如图 C. 1. 8-2 所示,对于钢制的如图 C. 1. 8-3 所示。桨叶倾斜角度 θ 应采用 45° 或 30° 。

斜叶双桨式搅拌桨对流体做功时的危险断面在桨叶根部如图 C. 1. 8-2、图 C. 1. 8-3 中的 I—I 断面上。

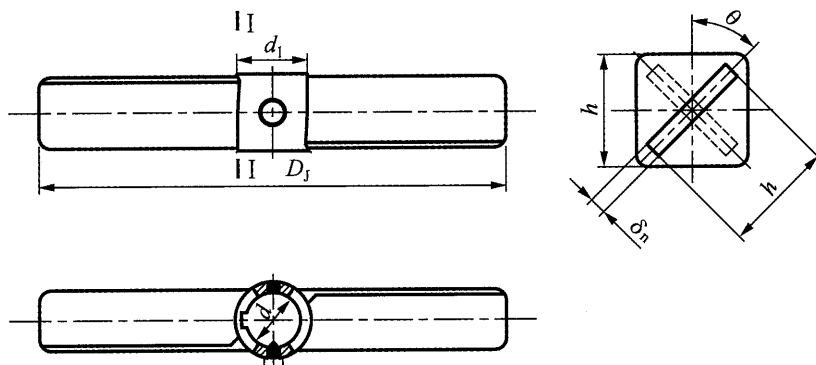


图 C. 1. 8-2 铸铁制斜叶双桨式搅拌桨

1) I—I 断面所受弯矩应按下式计算:

$$M_I = 4777 \cdot \frac{P_q}{n} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (\text{C. 1. 8-5})$$

2) 抗弯断面模数应按下列规定计算:

对于无加强筋的桨叶,应按式(C. 1. 8-2)计算;对于单侧有加强筋的斜桨叶,应按式(C. 1. 8-3)计算。式(C. 1. 8-2)、式(C. 1. 8-3)均满足螺栓孔对断面的削弱要求,当 I—I 断面上无螺栓孔时, $Z_B=0$ 。

3) I—I 断面上的弯曲应力应满足下列要求:

$$\sigma_I = \frac{M_I \times 10^3}{W_I} \leq [\sigma] \quad (\text{C. 1. 8-6})$$

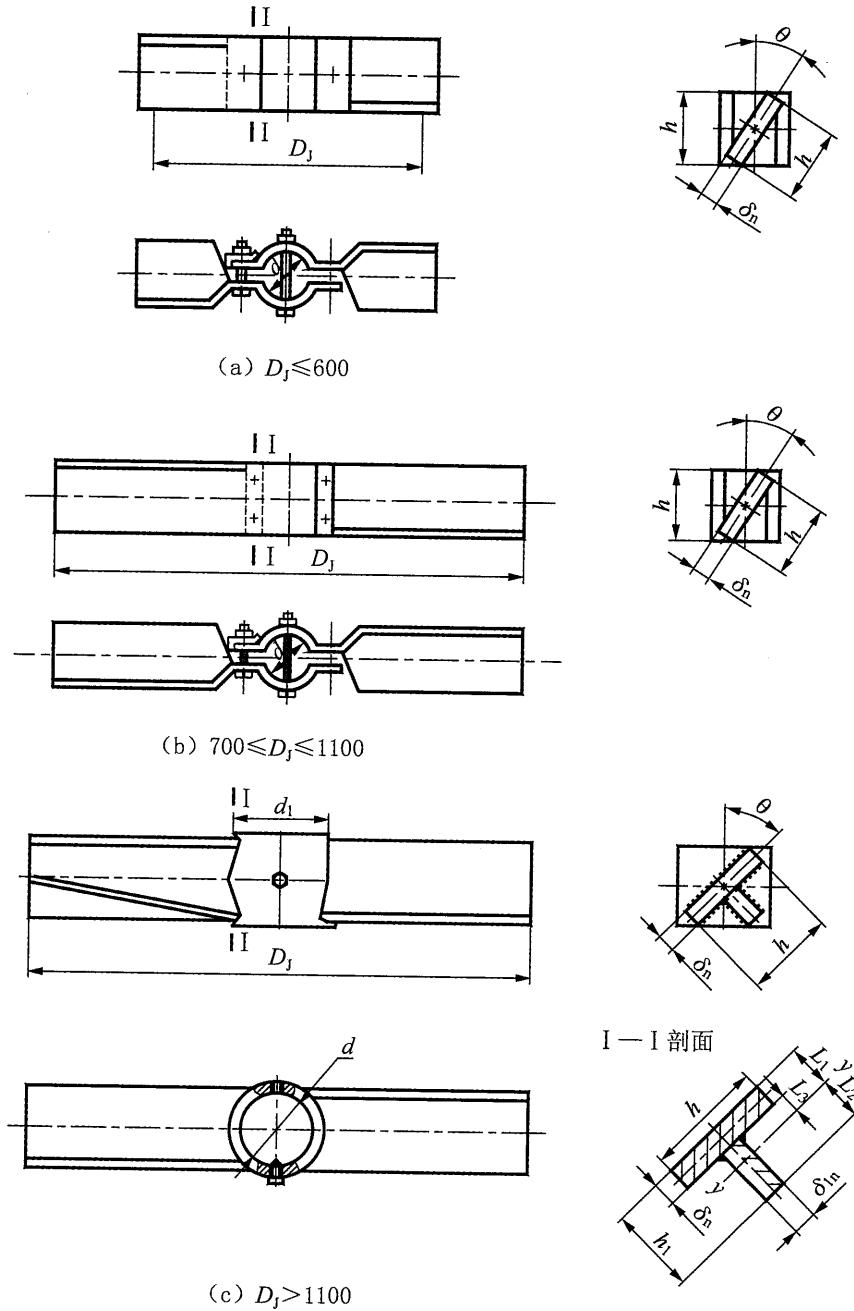


图 C.1.8-3 钢制斜叶双桨式搅拌桨

4) 每层斜叶桨式搅拌桨的轴向推力应按下式计算：

$$F_{vi} = 255 \times 10^5 \cdot \frac{P_q}{D_J \cdot n} \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (\text{C.1.8-7})$$

C.1.9 开启涡轮式搅拌桨应符合下列规定：

1 直叶开启涡轮式搅拌桨：

直叶开启涡轮式搅拌桨的常用结构如图 C.1.9-1 所示。

直叶开启涡轮式搅拌桨对流体做功时桨叶的危险断面在图 C.1.9-1 所示的 I—I 断面上。

1) I—I 断面上的弯矩 M_I 应按下式计算：

$$M_I = 9553 \cdot \frac{P_q}{Z_J \cdot n} \quad (\text{C.1.9-1})$$

2) I—I 断面上的抗弯断面模数 W_I 应按下列式计算:

$$W_I = \frac{h \cdot \delta_c^2}{6} \quad (\text{C.1.9-2})$$

3) I—I 断面上弯曲应力 σ_I 应满足下列要求:

$$\sigma_I = \frac{M_I \times 10^3}{W_I} \leq [\sigma] \quad (\text{C.1.9-3})$$

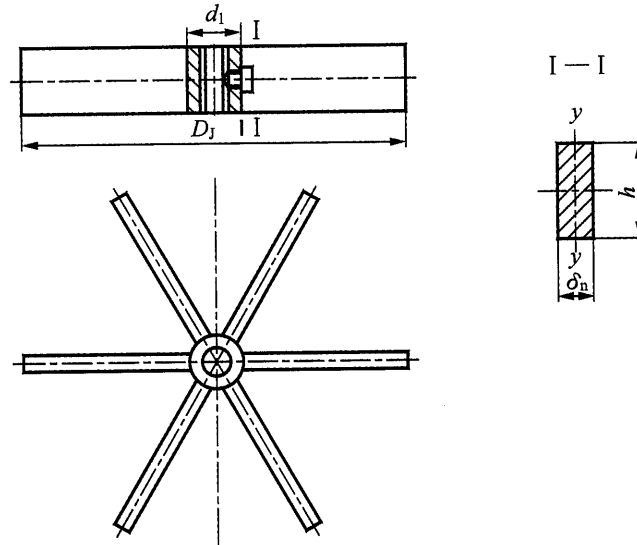


图 C.1.9-1 直叶开启涡轮式搅拌桨

2 斜叶开启涡轮式搅拌桨:

斜叶开启涡轮式搅拌桨的常用结构如图 C.1.9-2 所示。

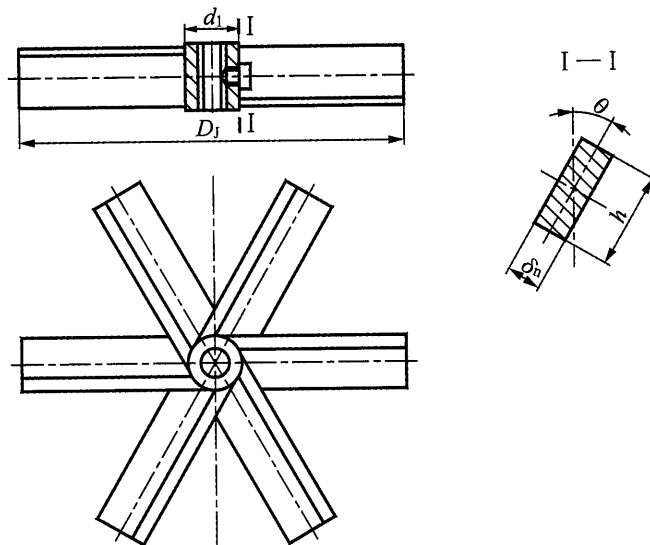


图 C.1.9-2 斜叶开启涡轮式搅拌桨

斜叶开启涡轮式搅拌桨对流体做功时桨叶的危险断面在图 C.1.9-2 所示的 I—I 断面上。

1) I—I 断面上的弯矩 M_I 应按下列式计算。

$$M_I = 9553 \cdot \frac{P_q}{Z_I \cdot n} \cdot \frac{1}{\cos\theta} \quad (\text{C. 1. 9-4})$$

2) I—I 断面上的抗弯断面的模数 W_I 应按式(C. 1. 9-2)计算。

3) I—I 断面上的弯曲应力 σ_I 应满足式(C. 1. 9-3)的要求。

4) 每层斜叶开启涡轮式搅拌桨的轴向推力应按式计算：

$$F_{vi} = 255 \times 10^5 \cdot \frac{P_q}{D_I \cdot n} \cdot \text{tg}\theta \quad (\text{C. 1. 9-5})$$

3 弯叶开启涡轮式搅拌桨：

弯叶开启涡轮式搅拌桨的常用结构如图 C. 1. 9-3 所示，弯叶的后弯角 β 可为 30° 、 45° 、 60° 、 80° ，旋转方向如图 C. 1. 9-3 中所示，不得反转。

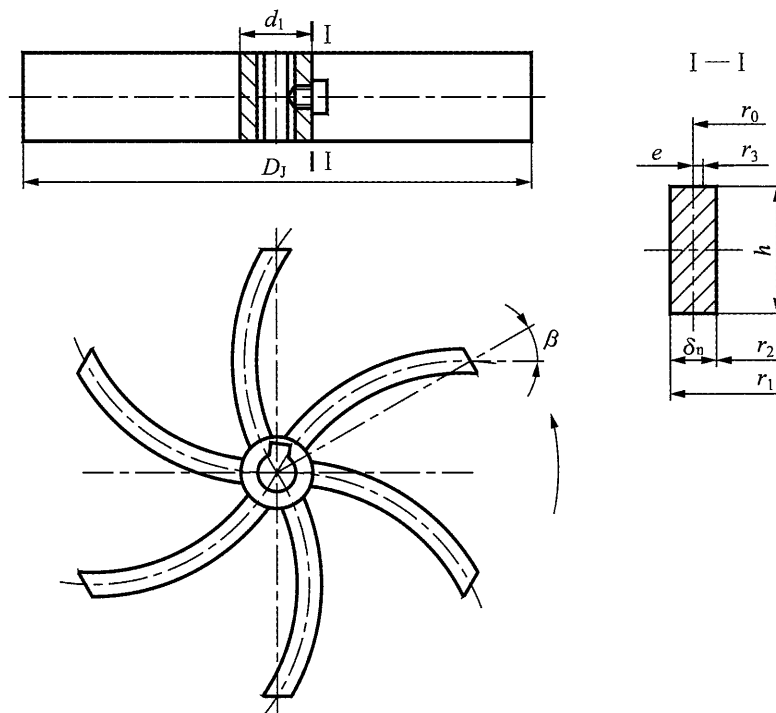


图 C. 1. 9-3 弯叶开启涡轮式搅拌桨

弯叶开启涡轮式搅拌桨对流体做功时桨叶的危险断面在图 C. 1. 9-3 所示的 I—I 断面，其强度计算分两种情况：

1) 当 $r_0/\delta_e \leq 5$ 时，应按下列步骤计算：

先假设一个桨叶厚度，然后计算中性层的曲率半径 r_3 应按式计算：

$$r_3 = \frac{\delta_e}{l_n \frac{r_1}{r_2}} \quad (\text{C. 1. 9-6})$$

I—I 断面的弯叶凸面产生的拉应力 σ_I 应按式计算：

$$\sigma_I = \frac{M_I (r_1 - r_3) \times 10^3}{S_0 \cdot r_1} + \frac{F_p}{A} \quad (\text{C. 1. 9-7})$$

式中： M_I ——I—I 断面上的弯矩，应按式(C. 1. 9-1)计算(N·m)；

S_0 ——横截面对中性轴的静矩(mm^3)；

$$S_0 = h \cdot \delta_e \cdot e$$

e ——截面重心到中性轴的距离(mm);

$$e = r_0 - r_3$$

A ——桨叶横截面积(mm²);

$$A = h \cdot \delta_e$$

F_P ——沿弯叶中心线垂直于桨叶横截面的纵向力(N);

$$F_P = F \cdot \sin\beta$$

F ——作用于弯叶上的非均布力,简化为集中力(N);

$$F = 2500 \cdot \frac{M_J}{D_J}$$

β ——弯叶的后掠角(°)。

I—I断面的弯叶凹面产生的压应力 σ_2 应按下式计算:

$$\sigma_2 = \frac{M_I (r_2 - r_3) \times 10^3}{S_0 \cdot r_2} + \frac{F_P}{A} \quad (\text{C. 1. 9-8})$$

校核弯叶凸面的拉应力 σ_1 及凹面的压应力 σ_2 ,应满足下列要求:

$$\sigma_1 \leq [\sigma], \sigma_2 \leq [\sigma]$$

当强度条件不满足时,则重新假设 δ_e ,直到满足强度条件为止。

2) 当时 $r_0/\delta_e > 5$,可按直叶进行强度计算。

C. 1. 10 圆盘涡轮式搅拌桨应符合下列规定:

圆盘涡轮式搅拌桨常用结构如图 C. 1. 10-1、图 C. 1. 10-2、图 C. 1. 10-3 所示。

圆盘涡轮式搅拌桨对流体做功时桨叶的危险断面在图 C. 1. 10-1、图 C. 1. 10-2、图 C. 1. 10-3 所示的 I—I 断面处。

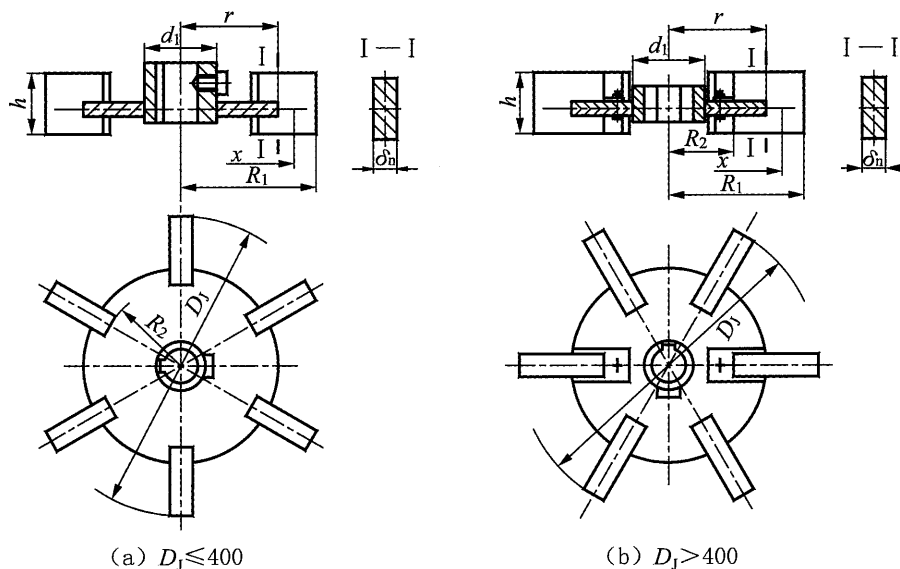


图 C. 1. 10-1 直叶圆盘涡轮式搅拌桨

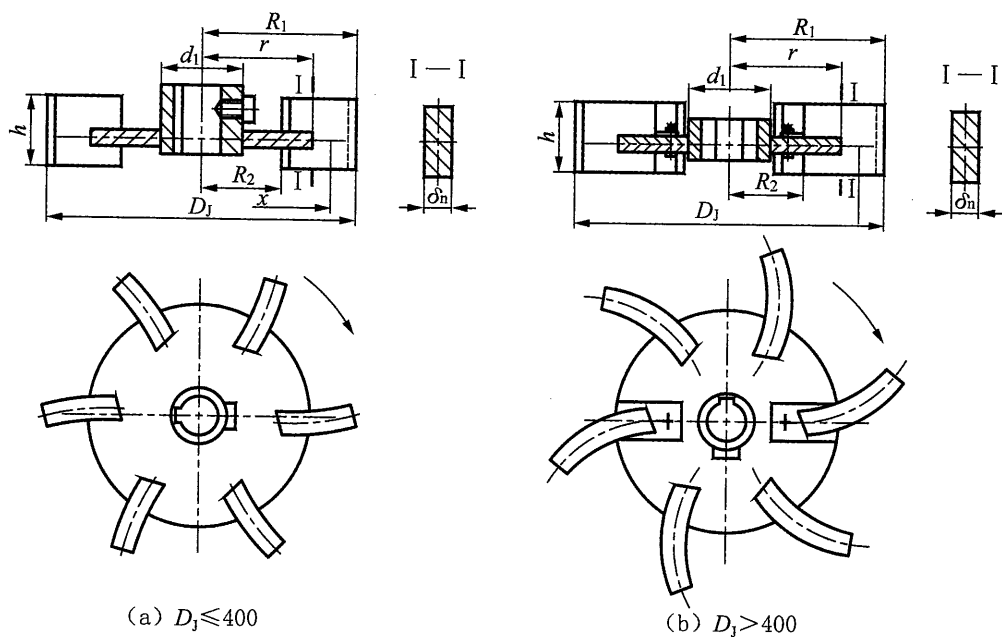


图 C.1.10-2 弯叶圆盘涡轮式搅拌桨

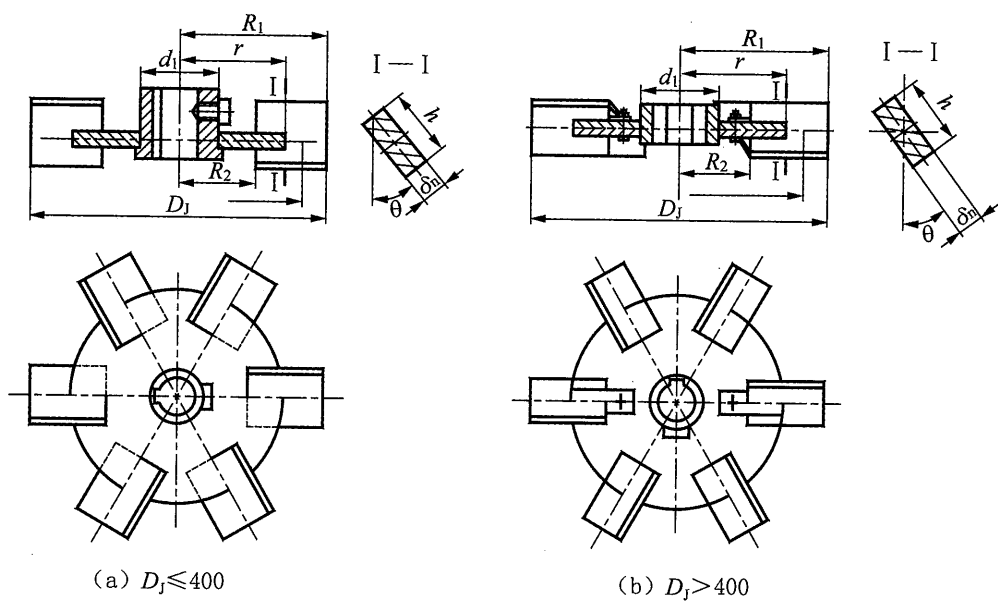


图 C.1.10-3 斜叶圆盘涡轮式搅拌桨

1 I—I断面的弯矩 M_I 应按下列规定计算:

1) 对于直叶、弯叶,在 I—I断面的弯矩应按下列下式计算:

$$M_I = 9553 \cdot \frac{P_q}{Z_j \cdot n} \cdot \frac{x-r}{x} \quad (\text{C.1.10-1})$$

式中:

$$x = 0.75 \frac{R_1^4 - R_2^4}{R_1^3 - R_2^3} \quad (\text{mm})$$

2) 对于斜叶,在 I—I断面上的弯矩应按下列下式计算:

$$M_I = 9553 \cdot \frac{P_q}{Z_J \cdot n} \cdot \frac{x-r}{x} \cdot \frac{1}{\cos\theta} \quad (\text{C. 1. 10-2})$$

式中 x 其值与式(C. 1. 10-1)中 x 值相同。

2 I—I断面的抗弯断面模数 W_I 应按下列规定计算：

对于直叶、斜叶、弯叶，在 I—I断面的抗弯断面模数 W_I 应按式(C. 1. 9-2)计算。

3 I—I断面上的弯曲应力 σ_I 应满足下列要求：

$$\sigma_I = \frac{M_I \times 10^3}{W_I} \leq [\sigma] \quad (\text{C. 1. 10-3})$$

4 每层斜叶圆盘涡轮式搅拌桨的轴向推力应按下列式计算：

$$F_{vi} = 127 \times 10^5 \cdot \frac{P_q(R_1^3 - R_2^3)}{D_J \cdot n(R_1^4 - R_2^4)} \cdot \text{tg}\theta \quad (\text{C. 1. 10-4})$$

C. 1. 11 三叶后掠式搅拌桨应符合下列规定：

三叶后掠式搅拌桨结构如图 C. 1. 11 所示，桨叶后掠角（指桨叶外表面端点与中心连线和通过该点切线方向的夹角）为 50° ，上翘角 α 为 15° ，桨叶断面中心线和搅拌轴中心线的夹角 θ 可为 10° 或 0° ；桨叶断面形状可为矩形、长圆形、椭圆形或圆形；搅拌桨的旋转方向如图 C. 1. 11 所示，不得反转。

三叶后掠式搅拌桨对流体做功时桨叶的危险断面在桨叶根部，如图 C. 1. 11 所示的 I—I 断面处。

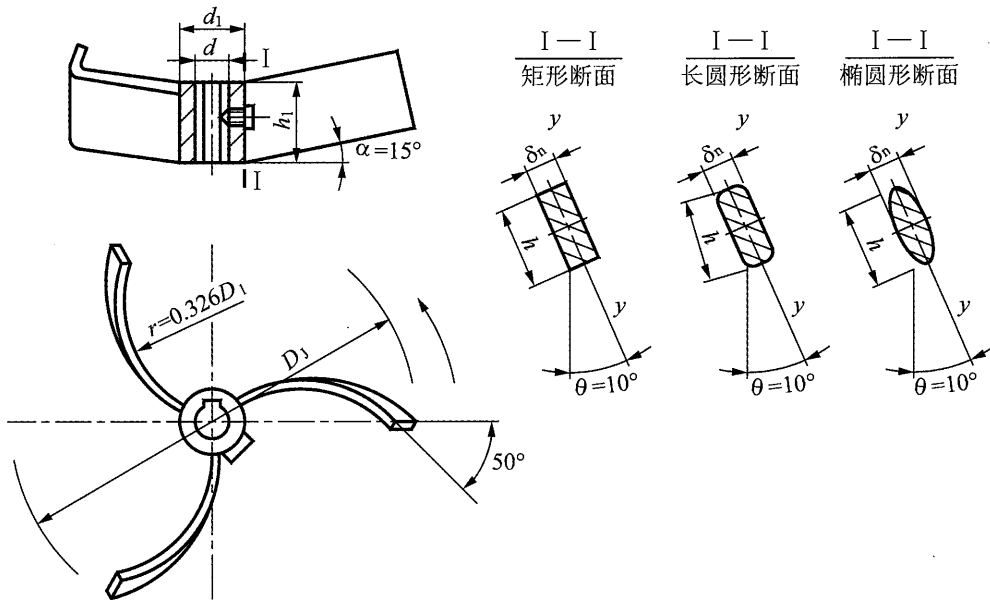


图 C. 1. 11 三叶后掠式搅拌桨

1 I—I断面上的弯矩 M_I 应按下列式计算。

$$M_I = 3184 \cdot \frac{P_q}{n} \cdot \frac{1}{\cos\theta} \quad (\text{C. 1. 11-1})$$

2 I—I断面的抗弯断面模数 W_I 应按下列公式计算：

1) 对于矩形断面的桨叶，其抗弯断面模数 W_I 应按式(C. 1. 9-2)计算。

2) 对于长圆形断面的桨叶，其抗弯断面模数应按下列式计算：

$$W_I = \frac{(h - \delta_e) \delta_e^2}{6} + \frac{\pi \cdot \delta_e^3}{32} \quad (\text{C. 1. 11-2})$$

3) 对于椭圆形断面的桨叶,其抗弯断面模数应按下式计算:

$$W_I = \frac{\pi \cdot h \cdot \delta_e^2}{32} \quad (\text{C. 1. 11-3})$$

3 I—I 断面上的弯曲应力 σ_I 应满足下列要求:

$$\sigma_I = \frac{M_I \times 10^3}{W_I} \leq [\sigma] \quad (\text{C. 1. 11-4})$$

4 每层搅拌桨的轴向推力应按下式计算:

$$F_{vi} = 255 \times 10^5 \cdot \frac{P_q}{D_J \cdot n} \cdot \text{tg} \theta \quad (\text{C. 1. 11-5})$$

C. 1. 12 推进式搅拌桨应符合下列规定:

1 推进式搅拌桨的结构如图 C. 1. 12-1 所示,其旋转方向应使桨叶前表面(推压流体的表面)为螺旋面的一部分,桨叶断面后表面为常用的二次抛物线或圆弧形。

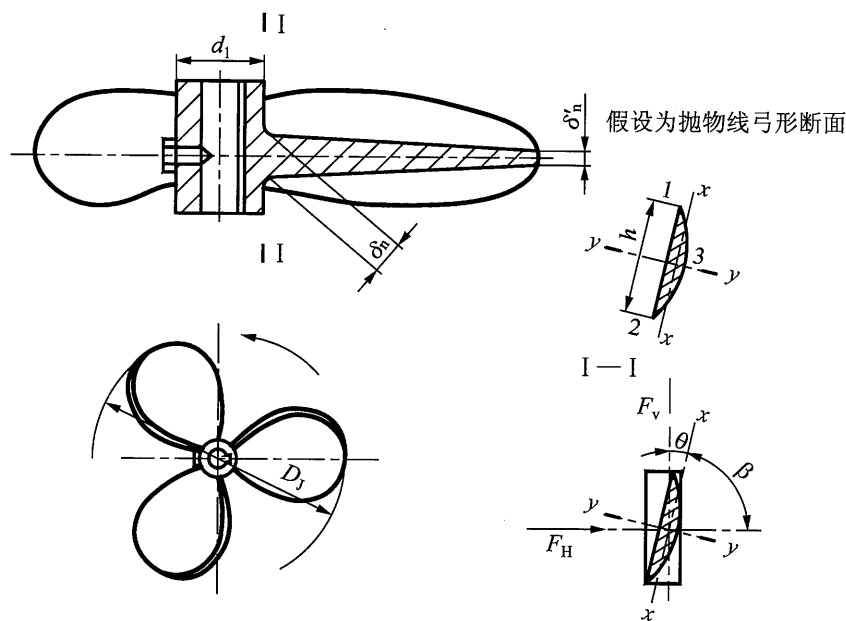


图 C. 1. 12-1 推进式搅拌桨

对于螺距与桨叶直径相等的三叶推进式搅拌桨,其桨叶母线垂直于搅拌轴线,投影在搅拌轴线平面上的桨叶展开面,如图 C. 1. 12-2 所示。

1) 图 C. 1. 12-2 中的 A 值是由坐标原点(轴套中心)到桨叶展开面起点的距离,其值应按下式计算:

$$A = 0.1675 D_J - 0.666 d_1 \quad (\text{mm}) \quad (\text{C. 1. 12-1})$$

2) 将自轴套处起到桨叶顶端的长度分成 10 等分,令其半径分别为 $r_0, r_1, r_2, \dots, r_{10}$, 相应的桨叶展开宽度分别为 $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{10}$ 。以 i 代表任一值,则任意半径 r_i 处的桨叶展开宽度 b_i 应按下式计算:

$$b_i = k_i \frac{D_J^2}{D_J - d_1} \quad (\text{mm}) \quad (\text{C. 1. 12-2})$$

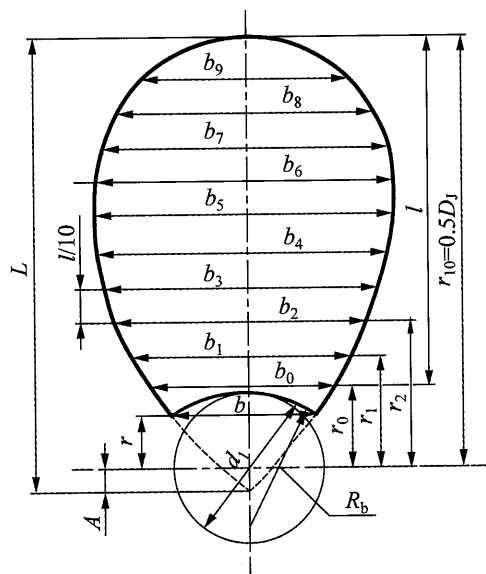


图 C. 1. 12-2 桨叶展开图

式中: k_i ——桨宽系数, 其值见表 C. 1. 12-1。

表 C. 1. 12-1 桨宽系数

r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}
k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
0.182	0.224	0.260	0.282	0.310	0.320	0.322	0.308	0.276	0.212	0.000

3) 沿着轴套的桨叶展开宽度 b 应按下式计算:

$$b = \frac{4 \cdot d_1^2 \cdot b_0}{b_0^2 \cdot \sin^2 \theta + 4 \cdot d_1^2} \text{ (mm)} \quad (\text{C. 1. 12-3})$$

式中: θ ——桨叶根部(轴套处)断面与搅拌轴线的夹角

$$\theta = 90^\circ - \beta \text{ (}^\circ\text{)}$$

β ——桨叶根部(轴套处)的螺旋截面升角, 当螺距 $S = D_j$ 时

$$\beta = \arctg \frac{D_j}{\pi \cdot d_1} \text{ (}^\circ\text{)}$$

4) 桨叶宽度为 b 处的半径 r 应按下式计算:

$$r = d_1 \left(\frac{b}{b_0} - 0.5 \right) \text{ (mm)} \quad (\text{C. 1. 12-4})$$

5) 沿着轴套的桨叶根部展开圆弧半径 R_b 应按下式计算:

$$R_b = \sqrt{0.25b^2 + (r + 0.5d_1)^2} \text{ (mm)} \quad (\text{C. 1. 12-5})$$

6) 桨叶厚度沿桨叶的母线向桨叶前端成直线变化, 当桨叶直径 D_j 应小于 1000 时, 对钢、青铜制的桨叶其前端的厚度可取 3mm~4mm; 对铸铁制的桨叶, 可取 5mm~6mm。桨叶根部靠近轴套处的厚度可按 $0.03D_j \sim 0.06D_j$ 的范围来初步选定, 再经强度计算决定。

2 推进式搅拌桨对流体做功时桨叶的危险断面在图 C. 1. 12-1 所示的 I—I 断面处, 它受到与搅拌轴平行的垂直力 F_v 和垂直于搅拌轴线的水平力 F_H , F_v 力作用于桨叶的 $K_1 \cdot \frac{D_j}{2}$ 处, 而 F_H 力

作用于桨叶的 $K_2 \cdot \frac{D_J}{2}$ 处。

1) K_1 和 K_2 是作用力位置系数,其值见表 C. 1. 12-2。

表 C. 1. 12-2 K_1, K_2 值

D_J/S	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
K_1	0.696	0.695	0.690	0.687	0.685	0.688	0.690	0.696
K_2	0.600	0.595	0.611	0.617	0.624	0.632	0.641	0.649
D_J/S	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
K_1	0.701	0.706	0.710	0.714	0.714	0.718	0.716	0.706
K_2	0.653	0.657	0.658	0.658	0.675	0.655	0.650	0.646

2) 每层桨叶一个叶片的轴向力 F_V 和水平力 F_H 应按下列公式计算:

$$F_V = 52525 \times 10^3 \cdot \frac{P_q}{S \cdot Z_J \cdot n} \quad (\text{C. 1. 12-6})$$

$$F_H = 19106 \times 10^3 \cdot \frac{P_q}{K_2 \cdot D_J \cdot Z_J \cdot n} \quad (\text{C. 1. 12-7})$$

3) F_V 和 F_H 力对 I—I 断面产生的弯矩应按下列公式计算:

$$M' = F_V \left(K_1 \cdot \frac{D_J}{2} - \frac{d_1}{2} \right) \times 10^{-3} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (\text{C. 1. 12-8})$$

$$M'' = F_H \left(K_2 \cdot \frac{D_J}{2} - \frac{d_1}{2} \right) \times 10^{-3} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (\text{C. 1. 12-9})$$

M' 作用于搅拌轴线的平面内, M'' 作用于垂直于搅拌轴线的平面内, 将 M' 、 M'' 两个弯矩值转换到作用于 I—I 断面的两个主惯性轴 $x-x$ 和 $y-y$ 上(见图 C. 1. 12-3)的弯矩应按下列公式计算:

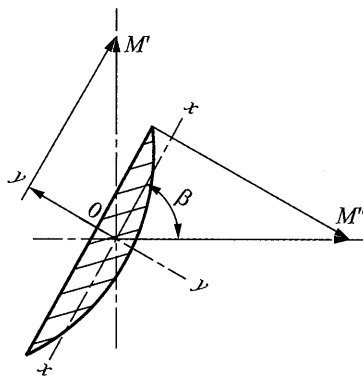


图 C. 1. 12-3 I—I 断面上弯矩

$$M_x = M' \cos \beta + M'' \sin \beta \quad (\text{C. 1. 12-10})$$

$$M_y = M' \sin \beta + M'' \cos \beta \quad (\text{C. 1. 12-11})$$

4) 如 I—I 断面为二次抛物线形成的弓形断面, 则对 $x-x$ 轴和 $y-y$ 轴的断面惯性矩应按下列公式计算:

$$I_x = \frac{8 \cdot h \cdot \delta_c^3}{175} \quad (\text{C. 1. 12-12})$$

$$I_y = \frac{h^3 \cdot \delta_e}{30} \quad (\text{C. 1. 12-13})$$

5) I—I断面上1、2、3点的应力应按下列公式计算:

$$\sigma_{(1)} = \frac{8750}{h \cdot \delta_e^2} \cdot M_x + \frac{15000}{h^2 \cdot \delta_e} \cdot M_y \quad (\text{C. 1. 12-14})$$

$$\sigma_{(2)} = \frac{8750}{h \cdot \delta_e^2} \cdot M_x - \frac{15000}{h^2 \cdot \delta_e} \cdot M_y \quad (\text{C. 1. 12-15})$$

$$\sigma_{(3)} = \frac{13125}{h \cdot \delta_e^2} \cdot M_x \quad (\text{C. 1. 12-16})$$

各点应力均应满足 $\sigma \leq [\sigma]$ 。

6) 每层推进式搅拌桨的轴向力应按下列公式计算:

$$F_{vi} = F_v \cdot Z_j \quad (\text{C. 1. 12-17})$$

C. 1. 13 搅拌桨设计还应符合下列要求:

1 当桨叶名义厚度大于 16mm 时,宜采用加强筋桨叶结构。

2 采用焊接结构的搅拌桨,其桨叶、加强筋与轴套之间的焊接均应采用全焊透的双面焊,焊脚高度不得小于较薄件厚度的 0.75 倍,且不应大于 0.85 倍。

3 当需要进入人孔装拆搅拌桨时,搅拌桨应设计成可拆式结构,其拆开后最大尺寸的组件应保证从人孔中顺利通过。

C. 2 搅拌桨与搅拌轴的联接

C. 2. 1 符号说明

b ——键的宽度(mm);

D_j ——搅拌桨直径(mm);

d ——搅拌轴直径(mm);

d_1 ——轴套外径(mm);

d_B ——螺栓直径(mm);

h_k ——键的高度(mm);

L ——键的工作长度(mm);

M_{nq} ——搅拌轴所传递的每个搅拌桨的扭矩(N·m);

$[\sigma]_B$ ——螺栓材料的许用应力(见《压力容器 第2部分:材料》GB 150.2)(MPa);

σ_k ——键联接的挤压应力(MPa);

$[\sigma]_k$ ——键联接中键、轴、轴套三者最弱材料的许用挤压应力(见表 C. 2. 4-1)(MPa);

τ_B ——螺栓剪切应力(MPa);

$[\tau]_B$ ——螺栓材料的许用剪切应力(MPa);

$$[\tau]_B = 0.6[\sigma]_B$$

τ_k ——键剪切应力(MPa);

$[\tau]_k$ ——键材料的许用剪切应力(见表 C. 2. 4-2)(MPa)。

C. 2. 2 搅拌桨与轴的联接(螺栓联接)应符合下列规定:

当采用桨叶一端煨成半个轴套,用螺栓将对开的轴套夹紧在搅拌轴上的结构时, D_j 小于或等于 600mm 时用一对螺栓锁紧; D_j 大于 600mm 时用两对螺栓锁紧。这种联接结构为传递扭矩可靠起见,宜用一穿轴螺栓使搅拌桨与轴固定。

C.2.3 搅拌桨与轴的联接(键连接)应符合下列规定:

当采用键和止动螺钉将搅拌桨轴套固定在搅拌轴上的结构时,键应按《平键 键槽的剖面尺寸》GB/T 1095 选取。搅拌桨轴套外径 d_1 宜为轴径 d 的 1.6 倍~2.0 倍。轴套长度应大于轴套处桨叶宽度在轴线上的投影长度,但应小于或等于 d 。

C.2.4 联接强度计算应符合下列规定:

1 穿轴螺栓剪切强度应按下列规定计算:

当搅拌桨与轴采用螺栓锁紧、穿轴螺栓固定的结构时,联接强度计算可略去螺栓夹紧力的作用,只核算穿轴螺栓的剪切强度。

$$\tau_B = \frac{4 \times 10^3 \cdot M_{nq}}{\pi \cdot d_B^2 \cdot d} \quad (C.2.4-1)$$

应使 $\tau_B \leq [\tau]_B$ 。

2 键联接强度验算应符合下列规定:

键联接应验算其挤压及剪切强度。

1) 键联接的抗挤压强度条件应按下列式计算:

$$\sigma_k = \frac{4 \times 10^3 \cdot M_{nq}}{d \cdot h_k \cdot L} \leq [\sigma]_k \quad (C.2.4-2)$$

2) 键联接的剪切强度条件应按下列式计算:

$$\tau_k = \frac{2 \times 10^3 \cdot M_{nq}}{d \cdot b \cdot L} \leq [\tau]_k \quad (C.2.4-3)$$

式(C.2.4-1)、(C.2.4-2)、(C.2.4-3)中扭矩 M_{nq} 应按下列式计算:

$$M_{nq} = 9553 \cdot \frac{P_q}{n} \quad (C.2.4-4)$$

3 键联接许用应力应按下列规定确定:

键联接的许用挤压应力应按表 C.2.4-1 选取,许用剪切应力应按表 C.2.4-2 选取。

表 C.2.4-1 键联接的许用挤压应力 $[\sigma]_k$ (MPa)

键、轴或轴套的材料	载荷性质		
	静载荷	轻微冲击振动载荷	冲击载荷
锻钢、铸钢	98~147	69~98	34~49
铸铁	69~78	46~58	22~26

表 C.2.4-2 键的许用剪切应力 $[\tau]_k$ (MPa)

键的材料	载荷性质		
	静载荷	轻微冲击振动载荷	冲击载荷
45	117	85	53

C.3 搅 拌 轴

C.3.1 符号说明

- a ——悬臂轴两支点间(跨间)的距离(mm);
- d ——设计最终确定的实心轴轴径或空心轴外径(mm);
- d_0 ——设计最终确定的密封部位实心轴轴径或空心轴外径(mm);
- d_1 ——按扭转变形计算的传动侧轴承处实心轴轴径或空心轴外径(mm);
- d_2 ——按强度计算的悬臂轴搅拌侧轴承处实心轴轴径或空心轴外径;按强度计算的单跨轴跨间段实心轴轴径或空心轴外径(mm);
- d_a ——悬臂轴跨间段的实心轴轴径或空心轴外径(mm);
- d_L ——单跨轴的实心轴轴径或空心轴外径(mm);
- d_{L1} ——悬臂轴 L_1 段的实心轴轴径或空心轴外径(mm);
- E ——轴材料的弹性模量(MPa);
- $[e]$ ——搅拌轴及各层圆盘(搅拌桨及附件)组合重心处的许用偏心距(按本标准第 6.2.6 条的规定计算)(mm);
- F_e ——搅拌轴及各层圆盘(搅拌桨及附件)组合重心处质量偏心引起的离心力(N);
- F_{hi} ——第 i 个搅拌桨上的流体径向力(N);
- I_a ——悬臂轴跨间轴段的惯性矩(mm⁴);
- I_L ——单跨轴跨间轴段(实心或空心)的惯性矩(mm⁴);
- I_{L1} ——悬臂轴悬臂轴段(实心或空心)的惯性矩(mm⁴);
- K_i ——单跨轴第 i 个圆盘(搅拌桨及附件)至传动侧轴承距离与轴长 L 的比值($i=1,2,\dots,m$);
- L ——单跨轴两轴承之间的长度(mm);
- L_1, L_2, \dots, L_i ——1~ i 个圆盘(搅拌桨及附件)的每个圆盘悬臂长度(对于悬臂轴)或 1~ i 个圆盘(搅拌桨及附件)的每个圆盘至传动侧轴承的距离(对于单跨轴)(mm);
- L_e ——搅拌轴及各层圆盘(搅拌桨及附件)组合重心离搅拌侧轴承的距离(对于悬臂轴)或搅拌轴及各层圆盘(搅拌桨及附件)组合重心离传动侧轴承的距离(对于单跨轴)(mm);
- M ——轴上弯矩总和(N·m);
- M_A ——由轴向推力引起作用于轴的弯矩(N·m);
- M_n ——按传动装置效率 η_2 计算的搅拌轴传递扭矩(N·m);
- M_R ——由径向力引起作用于轴的弯矩(N·m);
- m ——固定在搅拌轴上的圆盘(搅拌桨及附件)数;
- m_1, m_2, \dots, m_i ——圆盘(搅拌桨及附件)1,2,... i 的质量(kg);
- $m_{1e}, m_{2e}, \dots, m_{ie}$ ——圆盘(搅拌桨及附件)1,2,... i 的有效质量(kg);
- m_L ——单跨 L 轴段轴的质量(kg);

$$m_L = \frac{\pi}{4} d_L^2 (1 - N_o^2) \cdot L \cdot \rho_s \times 10^{-9}$$

m_{L1} ——悬臂轴 L_1 段轴的质量(kg);

$$m_{L1} = \frac{\pi}{4} d_{L1}^2 (1 - N_o^2) \cdot L_1 \cdot \rho_s \times 10^{-9}$$

m_{Le} ——单跨轴 L 段轴的有效质量(kg);

m_{L1e} ——悬臂轴 L_1 段轴的有效质量(kg);

m_w ——单跨轴及各层圆盘(搅拌桨及附件)的组合质量(kg);

m_{w1} ——悬臂轴及各层圆盘(搅拌桨及附件)的组合质量(kg);

N_o ——空心轴内径与外径的比值;

n ——轴的转速(r/min);

n_k ——轴的一阶临界转速(r/min);

P_N ——电机额定功率(kW);

P_m ——轴封处摩擦损耗功率(kW);

p ——设备内的设计压力(MPa);

S ——相当质量的折算点;

S' ——传动侧轴承游隙(mm);

S'' ——悬臂轴搅拌侧轴承或单跨轴末端轴承游隙(mm);

W ——单跨轴 L 段或悬臂轴 L_1 段轴有效质量的相当质量(kg);

W_1, W_2, \dots, W_i —— $m_{1e}, m_{2e}, \dots, m_{ie}$ 的相当质量(kg);

W_s ——在 S 点所有相当质量的总和(kg);

α ——搅拌轴轴线与安装垂直线的夹角(见图 C. 3. 4-1 和图 C. 3. 8-1)(°);

θ_i ——第 i 个搅拌桨叶片倾斜角(见图 C. 3. 6-1)(°);

γ ——轴的扭转角(°/m);

δ_{1x} ——由轴承径向游隙引起在轴上距中轴承 x 处的径向位移(mm)(见图 C. 3. 8-1 或图 C. 3. 8-2);

δ_{2x} ——由流体径向作用力引起在轴上距中轴承距离 x 处的径向位移(mm)(见图 C. 3. 8-1 或图 C. 3. 8-2);

δ_{3x} ——由组合质量偏心引起离心力在轴上距中轴承 x 处产生的径向位移(mm)(见图 C. 3. 8-1 或图 C. 3. 8-2);

δ_x ——距中轴承距离 x 处轴的径向总位移(mm)(见图 C. 3. 8-1 或图 C. 3. 8-2);

λ ——悬臂轴段惯性矩与跨间轴段惯性矩的比值, $\lambda = \frac{I_{L1}}{I_a} = \frac{d_{L1}^4 (1 - N_o^4)}{d_a^4 (1 - N_o^4)}$

ρ ——搅拌物料的密度(kg/m³);

ρ_s ——轴材料的密度(kg/m³);

Σ ——轴上所有搅拌桨其对应编号 i 之和。

C. 3. 2 搅拌轴计算限制条件应符合下列规定:

- 1 搅拌桨应浸入液体为连续相的介质中。
- 2 进出口处的介质流动对作用在搅拌轴上的流体径向力不得有显著的干扰。
- 3 用刚性联轴器联接的可拆轴应视为整体轴。
- 4 可不计算密封部件作用在轴上的力和轴承的柔度。

5 认为搅拌桨及轴上其他零件(附件)的重力、惯性力和流体作用力均作用在这些零件轴套的中部。如有几个轴套(如框式搅拌桨),均分成几个部分,每一部分的力作用在每一轴套的中部。

6 当位于轴承以外的轴外伸部分长度小于或等于单跨轴跨长的 30%,或者小于或等于悬臂轴悬臂长度的 30%,且装在该外伸部分上的零件质量小于或等于装在跨度中间或者悬臂部分上单个零件的质量时,可不计算对位于轴承以外的轴。

7 在计算轴的临界转速时,深度小于 $0.1d$ 的键槽和直径大于 $0.9d$ 的局部环形沟槽可不计其影响(d 为轴的设计最终直径)。

8 对于悬臂搅拌轴,悬臂和跨间两个轴段各自应是等直径轴段,但此两个轴段的直径可以相等也可以不等;对于单跨搅拌轴,跨间的轴段应是等直径轴段。

9 在等直径的轴段内,可存在最大与最小直径差小于或等于 5%设计最终轴径的区段。这时应取轴段内最长部分的直径作为等直径轴段的设计轴径。

10 本计算所得的轴径系指本标准所设定的危险断面处的轴径。本标准设定的危险断面条件是基于搅拌轴是同一种材料,没有涉及沿轴温度的变化。因此,在计算中对 E 、 G 、 $[\tau]$ 等材料特性值均不予区别;此外,在扭转变形计算中,由于最大扭矩发生在传动侧轴承处,因此,对于悬臂和跨间直径不等的悬臂搅拌轴,本计算系按跨间段直径小于悬臂段直径的条件,设定危险断面。当设计者根据特定条件,在轴上出现其他危险断面时(例如:不同材料的轴段连接处;轴径削弱超过规定允许范围处;由于温度变化而降低许用应力处;小于跨间段直径的悬臂段直径处等等),应按本标准规定的方法另作核算。

C.3.3 按柔性轴设计搅拌轴时,除应符合上述规定外,还应符合下列规定:

- 1 除单跨轴跨间段应是等直径轴段外,悬臂轴的跨间和悬臂两个轴段的直径也应相等。
- 2 在轴的计算长度范围内不应装设可拆的联轴器。
- 3 轴上应安装三叶后掠式搅拌桨、开启涡轮搅拌桨、圆盘涡轮搅拌桨及推进式搅拌桨等转速较高的搅拌桨。
- 4 不得在无折流挡板的搅拌容器中安装其他内件。
- 5 不得在气体介质中使用。
- 6 搅拌容器的充液高度应大于或等于 $1/2$ 容器直径。
- 7 斗状漩涡液面凹下深度不得大于 $1/2$ 充液高度,且漩涡最低液面不得低于搅拌桨。
- 8 当搅拌桨旋转使介质产生轴向流时,应保证搅拌轴仅受拉力。

C.3.4 搅拌轴典型受力图见图 C.3.4-1 和图 C.3.4-2。

C.3.5 按扭转变形计算搅拌轴的轴径。

受扭转变形控制的轴径 d_1 应按下式计算:

$$d_1 = 155.4 \sqrt[4]{\frac{M_{n\max}}{[\gamma]G(1-N_0^4)}} \quad (\text{C.3.5-1})$$

式中: $[\gamma]$ ——轴的许用扭转角($^\circ/\text{m}$);设计者可根据实践经验取值,如无可靠的经验,宜按本标准附录 C 第 C.4.6 条第 3 款的规定选取。

$M_{n\max}$ ——搅拌轴传递的最大扭矩($\text{N} \cdot \text{m}$);

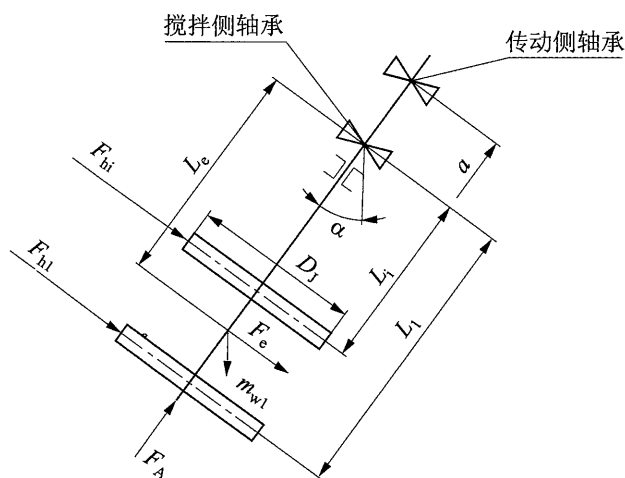


图 C.3.4-1 悬臂搅拌轴典型受力模型图

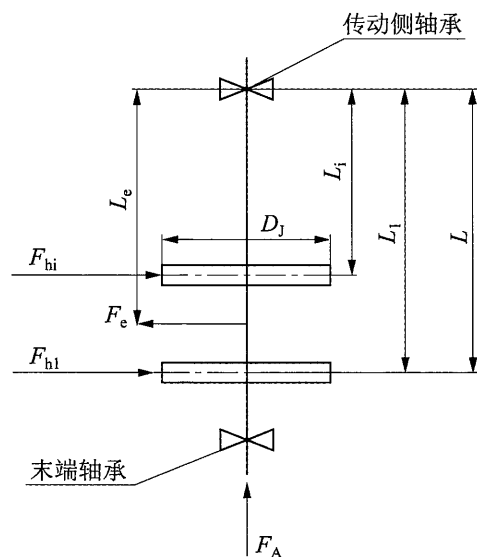


图 C.3.4-2 单跨搅拌轴典型受力模型图

$$M_{n \max} = \frac{9553}{n} \eta_1 P_N$$

η_1 —— 传动侧轴承之前那部分的传动装置效率,按附录 E 选取;

G —— 轴材料的剪切弹性模量(MPa)。

根据轴径计算轴的扭转变形时,轴的扭转角按下式计算:

$$\gamma = \frac{5836 M_{n \max}}{G d^4 (1 - N_0^4)} \times 10^5 \quad (\text{C. 3. 5-2})$$

式中 $M_{n \max}$ 、 G 与式(C. 3. 5-1)中 $M_{n \max}$ 、 G 相同。

C.3.6 根据临界转速核算搅拌轴轴径。

1 搅拌轴及圆盘(搅拌桨及附件)有效质量的计算:

1) 搅拌轴有效质量的计算:

刚性轴(不包括带锚式和框式搅拌桨的刚性轴)的有效质量等于轴自身的质量加上轴附带的液体质量。

悬臂轴:

$$m_{L1e} = \frac{4}{\pi} d_{L1}^2 L_1 [\rho_s (1 - N_0^2) + \rho] \times 10^{-9} \quad (\text{C. 3. 6-1})$$

单跨轴:

$$m_{Le} = \frac{4}{\pi} d_L^2 L [\rho_s (1 - N_0^2) + \rho] \times 10^{-9} \quad (\text{C. 3. 6-2})$$

柔性轴以及带锚式和框式搅拌桨的刚性轴其有效质量等于轴自身的质量。

悬臂轴:

$$m_{L1e} = m_{L1} \quad (\text{C. 3. 6-3})$$

单跨轴:

$$m_{Le} = m_L \quad (\text{C. 3. 6-4})$$

2) 圆盘(搅拌桨及附件)有效质量的计算

刚性搅拌轴(不包括带锚式和框式搅拌桨的刚性轴)的圆盘有效质量等于圆盘自身质量加上搅拌桨附带的液体质量(附件附带的液体质量忽略不计)。

$$m_{ie} = m_i + \eta_{ki} \frac{4}{\pi} D_{ji}^2 h_i \cos \theta_i \rho \times 10^{-9} \quad (\text{C. 3. 6-5})$$

式中: η_{ki} ——第 i 个搅拌桨的附加质量系数,按表 C. 3. 6-1 查得;

表 C. 3. 6-1 搅拌桨附加质量系数 η_k

叶片数	叶片角 θ	附加质量系数 η_k
2	0°(直叶)	0.31
2	45°(斜叶)	0.31
3	0°(直叶)	0.27
3	45°(斜叶)	0.17
4	0°(直叶)	0.29
4	45°(斜叶)	0.29
6	0°(直叶)	0.53
6	45°(斜叶)	0.30

D_{ji} ——第 i 个搅拌桨直径(mm);

h_i ——第 i 个搅拌桨的叶片宽度(见图 C. 3. 6-1)(mm)。

柔性轴以及带锚式和框式搅拌桨的刚性轴的圆盘有效质量等于圆盘自身的质量。

$$m_{ie} = m_i \quad (\text{C. 3. 6-6})$$

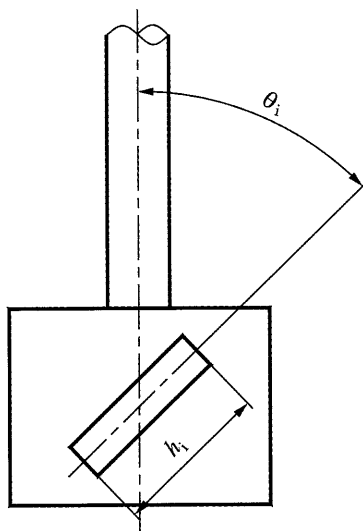


图 C. 3. 6-1 搅拌桨叶片宽度与倾角

2 悬臂及跨间二轴段直径相等、作用集中质量的悬臂轴(见图 C. 3. 6-2)一阶临界转速的计算。

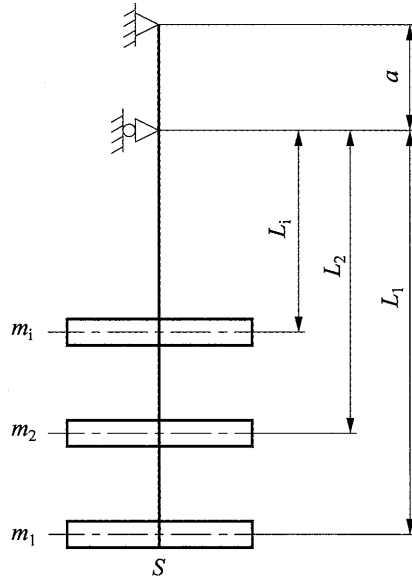


图 C. 3. 6-2 等直径悬臂轴

轴有效质量 m_{L1e} 在末端 S 点处的相当质量 W 应按下式计算：

$$W = \frac{140a^2 + 231L_1 \cdot a + 99L_1^2}{420(L_1 + a)^2} \cdot m_{L1e} \quad (C. 3. 6-7)$$

第 i 个圆盘有效质量 m_{ie} 在末端 S 点处的相当质量 W_i 应按下式计算：

$$W_i = \frac{L_i^2(L_i + a)}{L_1^2(L_1 + a)} \cdot m_{ie} \quad (C. 3. 6-8)$$

在 S 点处所有相当质量的总和 W_s 应按下式计算：

$$W_s = W + \sum_{i=1}^m W_i \quad (C. 3. 6-9)$$

具有 m 个圆盘的等直径悬臂轴的一阶临界转速 n_k 应按下式计算：

$$n_k = 114.7d_{L1}^2 \sqrt{\frac{E(1 - N_0^4)}{L_1^2(L_1 + a)W_s}} \quad (C. 3. 6-10)$$

3 悬臂与跨间二轴段直径不等、作用集中质量的悬臂轴(见图 C. 3. 6-3)一阶临界转速的计算。

轴有效质量 m_{L1e} 在末端 S 点处的相当质量 W 应按下式计算：

$$W = \frac{140a^2 \cdot \lambda^2 + 231L_1 \cdot a \cdot \lambda + 99L_1^2}{420(L_1 + a \cdot \lambda)^2} m_{L1e} \quad (C. 3. 6-11)$$

第 i 个圆盘有效质量 m_{ie} 在末端 S 点处的相当质量 W_i 应按下式计算：

$$W_i = \frac{L_i^2(L_i + \lambda \cdot a)}{L_1^2(L_1 + \lambda \cdot a)} m_{ie} \quad (C. 3. 6-12)$$

在 S 点处所有相当质量的总和 W_s 应按下式计算：

$$W_s = W + \sum_{i=1}^m W_i \quad (C. 3. 6-13)$$

具有 m 个圆盘的不等直径悬臂轴的一阶临界转速 n_k 应按下式计算：

$$n_k = 114.7d_{L1}^2 \sqrt{\frac{E(1 - N_0^4)}{L_1^2(L_1 + \lambda \cdot a)W_s}} \quad (C. 3. 6-14)$$

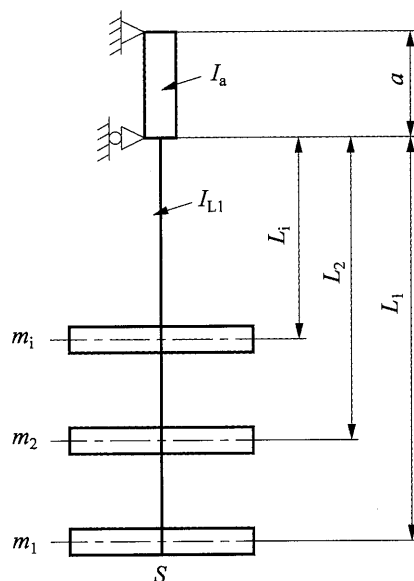


图 C. 3. 6-3 不等直径悬臂轴

4 作用集中质量的单跨轴一阶临界转速的计算:

- 1) 简支的等直径单跨轴(见图 C. 3. 6-4), 轴的有效质量 m_{Le} 在中点 S 处的相当质量应按下式计算:

$$W = \frac{17}{35} m_{Le} \quad (C. 3. 6-15)$$

第 i 个圆盘有效质量 m_{ie} 在中点 S 处的相当质量应按下式计算:

$$W_i = 16K_i^2(1 - K_i)^2 m_{ie} \quad (C. 3. 6-16)$$

在 S 点处总的相当质量应按下式计算:

$$W_s = W + \sum_{i=1}^m W_i \quad (C. 3. 6-17)$$

临界转速应按下式计算:

$$n_k = 458.9 d_L^2 \sqrt{\frac{E(1 - N_0^4)}{W_s L^3}} \quad (C. 3. 6-18)$$

- 2) 一端固支另一端简支的等直径单跨轴(见图 C. 3. 6-5), 轴的有效质量 m_{Le} 在中点 S 处的相当质量应按下式计算:

$$W = \frac{15}{35} m_{Le} \quad (C. 3. 6-19)$$

第 i 个圆盘有效质量 m_{ie} 在中点 S 处的相当质量应按下式计算:

$$W_i = \frac{64}{7} K_i^3 (1 - K_i)^2 (4 - K_i) m_{ie} \quad (C. 3. 6-20)$$

在 S 点处总的相当质量应按下式计算:

$$W_s = W + \sum_{i=1}^m W_i \quad (C. 3. 6-21)$$

临界转速应按下式计算:

$$n_k = 693.7 d_L^2 \sqrt{\frac{E(1 - N_0^4)}{W_s \cdot L^3}} \tag{C.3.6-22}$$

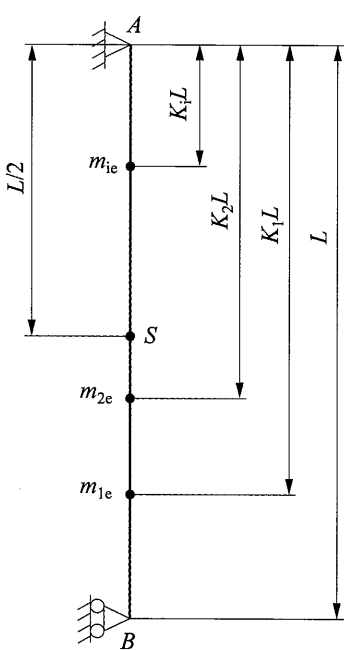


图 C.3.6-4 两端简支的单跨轴

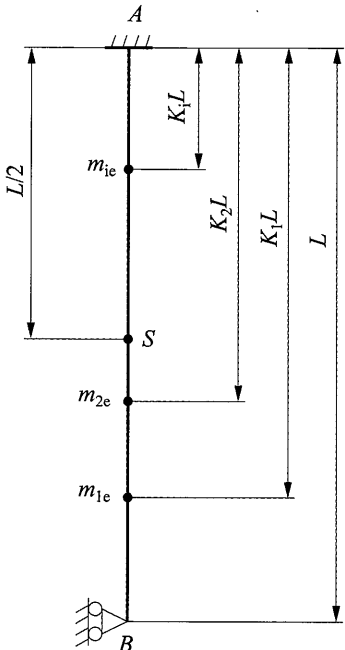


图 C.3.6-5 一端固支一端简支的单跨轴

3) 单跨轴传动侧支点的夹持系数 K_2 宜介于简支和固支之间,此时 n_k 的值应根据 K_2 取式 (C.3.6-18)和式(C.3.6-22)两者算的结果的中间值。夹持系数 K_2 的选取和 n_k 的中间值计算方法,宜符合本标准附录 C 第 C.4.4 条和第 C.4.5 条第 3 款的规定。

5 轴的转速 n 与临界转速 n_k 的比值应满足表 C.3.6-2 的规定。

表 C.3.6-2 搅拌轴的抗振条件

搅拌介质	刚性轴		柔性轴
	搅拌桨 (叶片式搅拌桨除外)	叶片式搅拌桨 ^a	高速搅拌桨
气体	$\frac{n}{n_k} \leq 0.7$	$\frac{n}{n_k} \leq 0.7$	不推荐
液体—液体 液体—固体		$\frac{n}{n_k} \leq 0.7$ 和 $\frac{n}{n_k} \neq (0.45 \sim 0.55)$	$\frac{n}{n_k} = 1.3 \sim 1.6^b$
液体—气体	$\frac{n}{n_k} \leq 0.6$	$\frac{n}{n_k} \leq 0.4$	$\frac{n}{n_k} = 1.3 \sim 1.6^b$

注：^a 叶片式搅拌桨包括：桨式、开启涡轮式、圆盘涡轮式、三叶后掠式、推进式等搅拌桨，不包括锚式、框式、鼠笼式、螺带式等搅拌桨在内。

^b 当设计者有更准确的计算方法或有效的试验手段时，可适当放宽。

C.3.7 按强度计算搅拌轴的轴径。

1 受强度控制的轴径 d_2 应按下式计算：

$$d_2 = 17.2 \sqrt[3]{\frac{M_{te}}{[\tau](1 - N_0^4)}} \tag{C.3.7-1}$$

式中: M_{te} ——轴上扭矩和弯矩同时作用时的当量扭矩(N·m);

$$M_{te} = \sqrt{M_n^2 + M^2}$$

$[\tau]$ ——轴材料的许用剪应力(MPa);

$$[\tau] = \frac{\sigma_b}{16}$$

σ_b ——轴材料的抗拉强度(MPa)。

2 轴上扭矩 M_n 应按下式计算:

$$M_n = \frac{9553}{n} \eta_2 P_N \quad (C. 3. 7-2)$$

式中: η_2 ——包括传动侧轴承在内的传动装置效率,可按本标准附录 E 的规定确定。

3 轴上弯矩总和 M 应按下式计算:

$$M = M_R + M_A \quad (C. 3. 7-3)$$

4 径向力引起的轴上弯矩 M_R 的计算:

1) 悬臂搅拌轴,其受力模型图见图 C. 3. 4-1,径向力引起的轴上弯矩 M_R 按下式计算:

$$M_R = (\Sigma F_{hi} \cdot L_i + 9.81 m_{w1} \cdot L_e \cdot \sin \alpha + F_e \cdot L_e) \times 10^{-3} \quad (C. 3. 7-4)$$

2) 单跨搅拌轴,其受力模型图见图 C. 3. 4-2,径向力引起的轴上弯矩 M_R 可按下式计算:

$$M_R = \frac{\Sigma F_{hi}(L - L_i)L_i}{1000L} + \frac{F_e(L - L_e)L_e}{1000L} \quad (C. 3. 7-5)$$

3) 第个搅拌桨上的流体径向力 F_{hi} 应按下式计算:

$$F_{hi} = K_1 \frac{M_{nqi} \times 10^3}{3/8 D_{ji}} \quad (C. 3. 7-6)$$

式中: K_1 ——流体径向力系数,其值根据实验确定。当无可靠实验数据时,设计者可根据搅拌设备内件情况、搅拌桨型式以及搅拌介质特性等,按本标准附录 C 第 C. 4. 2 条的规定确定;

M_{nqi} ——第 i 个搅拌桨功率产生的扭矩(N·m);

$$M_{nqi} = \frac{9553}{n} P_{qi}$$

P_{qi} ——第 i 个搅拌桨的设计功率,由工艺过程确定。对于型式相同仅直径不同的搅拌桨,当已知搅拌轴功率时, P_{qi} 也可按本标准附录 C 第 C. 4. 3 条的规定确定(kW);

D_{ji} ——与式(C. 3. 6-5)中 D_{ji} 相同。

4) 搅拌轴与各层圆盘的组合质量应按下式计算:

悬臂轴:

$$m_{w1} = m_{L1} + \sum_{i=1}^m m_i \quad (C. 3. 7-7)$$

单跨轴:

$$m_w = m_L + \sum_{i=1}^m m_i \quad (C. 3. 7-8)$$

5) 搅拌轴与各层圆盘组合质量偏心引起的离心力 F_e 应按下式计算:

悬臂轴:

$$F_e = \frac{\pi^2}{9} m_{w1} \cdot n^2 [e] \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{n}{n_k}\right)^2} \right] \times 10^{-5} \quad (\text{C. 3. 7-9})$$

单跨轴:

$$F_e = \frac{\pi^2}{9} m_w \cdot n^2 [e] \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{n}{n_k}\right)^2} \right] \times 10^{-5} \quad (\text{C. 3. 7-10})$$

在式(C. 3. 7-9)和式(C. 3. 7-10)的计算中,对刚性轴 $(n/n_k)^2$ 的初值取 0.5;对柔性轴 $(n/n_k)^2$ 的初值取 1.7。

6) 搅拌轴与各层圆盘组合重心离轴承的距离 L_e 应按下式计算:

悬臂轴:

$$L_e = \frac{\sum_{i=1}^m m_i \cdot L_i + m_{L1} \frac{L_1}{2}}{m_{w1}} \quad (\text{C. 3. 7-11})$$

单跨轴:

$$L_e = \frac{\sum_{i=1}^m m_i \cdot L_i + m_L \frac{L}{2}}{m_w} \quad (\text{C. 3. 7-12})$$

5 由轴向推力引起作用于轴上的弯矩 M_A 的计算:

1) M_A 可按下列公式计算:

当 $p \geq 2\text{MPa}$ 或轴上任一搅拌桨 $\theta_i \neq 0$ 时,可按下式计算:

$$M_A = 0.2 M_R \quad (\text{C. 3. 7-13})$$

当 $p < 2\text{MPa}$ 或轴上任一搅拌桨 $\theta_i = 0$ 时,可按下式计算:

$$M_A = 0 \quad (\text{C. 3. 7-14})$$

2) M_A 的精确计算:

按上述 M_A 计算 d_2 后,再按下列公式计算 M_A 。

悬臂轴:

$$M_A = -K_B \cdot F_A \frac{d_{L1}(1 + N_0^2)}{8} \times 10^{-3} \quad (\text{C. 3. 7-15})$$

单跨轴:

$$M_A = -K_B \cdot F_A \frac{d_L(1 + N_0^2)}{8} \times 10^{-3} \quad (\text{C. 3. 7-16})$$

式中: K_B ——压缩系数;

$$\text{当 } \frac{L_B}{I_o \sqrt{S_o}} < 110 \text{ 时: } K_B = \frac{1}{1 - 0.004 \left(\frac{L_B}{I_o \sqrt{S_o}} \right)}$$

$$\text{当 } \frac{L_B}{I_o \sqrt{S_o}} \geq 110 \text{ 时: } K_B = \frac{\sigma_S}{\pi^2 E} \left(\frac{L_B}{I_o \sqrt{S_o}} \right)^2$$

I_o ——回转半径(mm);

对于悬臂轴： $I_o = \frac{d_{L1}^4}{4} \sqrt{1 + N_o^2}$

对于单跨轴： $I_o = \frac{d_L^4}{4} \sqrt{1 + N_o^2}$

L_B ——计算段长度,分别按图 C. 3. 7-1 和图 C. 3. 7-2 取值(mm);

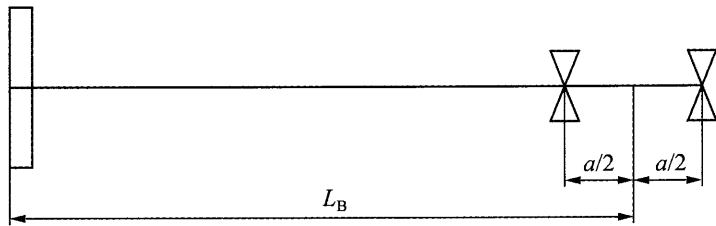


图 C. 3. 7-1 悬臂轴计算段长度

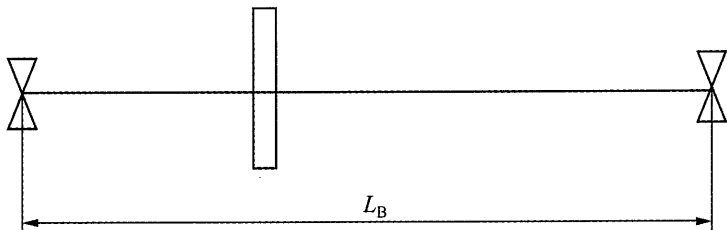


图 C. 3. 7-2 单跨轴计算段长度

σ_s ——轴的压缩屈服限(MPa);

S_o ——轴承型式系数,见表 C. 3. 7。

表 C. 3. 7 轴承型式系数 S_o 选用表

轴承类型	型式	
	悬臂轴	单跨轴
滚动轴承	0.25	1.00
滑动轴承	0.56	2.25

注：当上下轴承类型不同时, S_o 可取上表中滚动轴承和滑动轴承二者数值的平均值。

F_A ——作用在搅拌轴上的轴向合力(N);

$$F_A = \frac{\pi d_o^2 p}{4} \pm F_w \cos a \pm \Sigma F_{vi}$$

F_{vi} ——流体作用在第 i 个搅拌桨的轴向推力,各搅拌桨的轴向推力计算见本标准附录 C 第 C. 1 节的规定(N);

F_w ——当量长度为 L_T 的轴与圆盘重力的总和(N);

悬臂轴:

$$F_w = 2.452 \pi d_{L1}^2 (1 - N_o^2) L_T \cdot \rho_s \times 10^{-9} + 9.81 \sum_{i=1}^m m_i \tag{C. 3. 7-17}$$

单跨轴:

$$F_w = 2.452\pi d_L^2 (1 - N_0^2) L_T \cdot \rho_s \times 10^{-9} + 9.81 \sum_{i=1}^m m_i \quad (\text{C. 3. 7-18})$$

L_T —— 搅拌轴的当量计算长度, 按图 C. 3. 7-3 和图 C. 3. 7-4 取值(mm)。

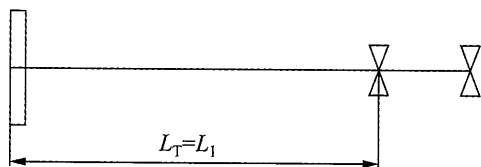


图 C. 3. 7-3 悬臂轴当量计算长度

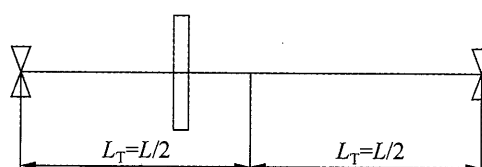


图 C. 3. 7-4 单跨轴当量计算长度

在 F_A 式中, 当 p 为负压时, p 取零; 当 F_w 和 F_{vi} 为轴向压力时取负号, 当 F_w 和 F_{vi} 为轴向拉力时取正号。

求得的 F_A 值, 当 $F_A \geq 0$, 取 $M_A = 0$; 当 $F_A < 0$ 时, 按式 (C. 3. 7-15) 或式 (C. 3. 7-16) 求出 M_A 。当所得 M_A 值大于粗略取值时, 应返回式 (C. 3. 7-3) 和式 (C. 3. 7-1) 重新求取 M 和计算轴径 d_2 ; 当所得 M_A 值小于粗略取值时, 则不必重新计算。

C. 3. 8 应按轴封处(或轴上任意点处)允许径向位移验算轴径。

搅拌轴在任意点的总位移应按下列方法计算。

1 因轴承径向游隙 S' 、 S'' 所引起轴上任意点距图 C. 3. 8-1 或图 C. 3. 8-2 中轴承距离 x 处的位移。

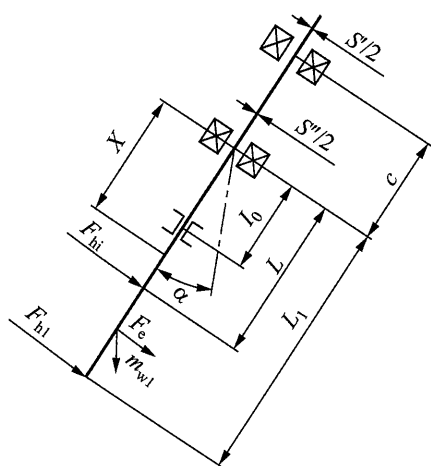


图 C. 3. 8-1 悬臂搅拌轴径向位移受力模型图

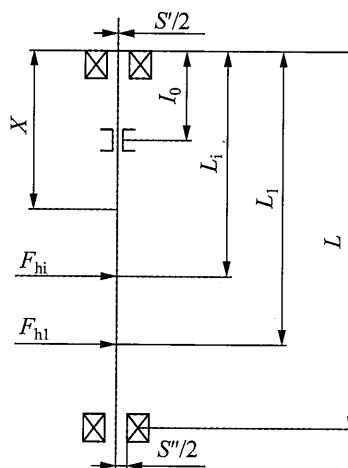


图 C. 3. 8-2 单跨搅拌轴径向位移受力模型图

悬臂轴(图 C. 3. 8-1):

$$\delta_{1x} = \frac{S''}{2} + \frac{x}{a} \left(\frac{S' + S''}{2} \right) \quad (\text{C. 3. 8-1})$$

单跨轴(图 C. 3. 8-2):

$$\delta_{1x} = \frac{1}{2} \left(S' - \frac{S' \cdot X}{L} + \frac{S'' \cdot x}{L} \right) \quad (\text{C. 3. 8-2})$$

轴承径向游隙可按照本标准附录 C 第 C. 4. 1 条的规定选取。

2 由流体径向作用力 F_{hi} 所引起轴上任意点距图 C. 3. 8-1 或图 C. 3. 8-2 中轴承距离 x 处的位移。

悬臂轴(图 C. 3. 8-1):

$$\delta_{2x} = \Sigma \frac{F_{hi} L_i^2 x}{6EI_{L1}} [2 \frac{a \cdot \lambda}{L_i} + A] \quad (C. 3. 8-3)$$

式中: 当 $x \leq L_i$ 时: $A = 3 \frac{x}{L_i} - (\frac{x}{L_i})^2$

当 $x > L_i$ 时: $A = 3 - \frac{L_i}{x}$

单跨轴(图 C. 3. 8-2):

两端简支的单跨轴

当 $x \leq L_i$ 时:

$$\delta_{2x} = \Sigma \frac{F_{hi} (L - L_i) L \cdot x}{6E \cdot I_L} [2 \frac{L_i}{L} - (\frac{L_i}{L})^2 - (\frac{x}{L})^2] \quad (C. 3. 8-4)$$

当 $x > L_i$ 时:

$$\delta_{2x} = \Sigma \frac{F_{hi} (L - x) L \cdot L_i}{6E \cdot I_L} [2 \frac{x}{L} - (\frac{L_i}{L})^2 - (\frac{x}{L})^2] \quad (C. 3. 8-5)$$

一端固支另一端简支的单跨轴:

$$\begin{aligned} \delta_{2x} = & \Sigma \frac{F_{hi} \cdot L_i^3}{6E \cdot I_L} [\frac{3}{2} (\frac{L}{L_i} - \frac{1}{3}) (\frac{x}{L})^3 + \frac{3}{2} (1 - \frac{3L}{L_i}) (\frac{x}{L})^2 - 3(1 - \frac{x}{L_i}) + 2] + \\ & + \parallel_{x < L_i} \Sigma \frac{F_{hi} \cdot L_i^3}{6E \cdot I_L} (1 - \frac{x}{L_i})^3 \end{aligned} \quad (C. 3. 8-6)$$

3 由搅拌轴与各层圆盘(搅拌桨及附件)组合质量偏心引起的离心力在轴上任意点距图 C. 3. 8-1 或图 C. 3. 8-2 中轴承距离 x 处产生的位移 δ_{3x} 应按下列式计算:

$$\delta_{3x} = \frac{[e] K_x}{(\frac{n_k}{n})^2 - 1} \quad (C. 3. 8-7)$$

式中: K_x ——位置系数。

悬臂轴:

当 $x \leq L_e$ 时:

$$K_x = \frac{x}{L_e} (\frac{a \cdot \lambda + \frac{3x}{2} - \frac{x^2}{2L_e}}{a \cdot \lambda + L_e})$$

当 $x > L_e$ 时:

$$K_x = \frac{x}{L_e} (\frac{a \cdot \lambda + \frac{3L_e}{2} - \frac{L_e^2}{2x}}{a \cdot \lambda + L_e})$$

两端简支单跨轴:

$$K_x = \frac{1 - \frac{x}{L}}{1 - \frac{L_e}{L}} \left[\frac{1 - \frac{1}{3} (3 - \frac{L_e}{L}) \frac{(1 - \frac{x}{L})^2}{(1 - \frac{L_e}{L})} + \parallel_{x < L_e} \frac{2(1 - \frac{x}{L_e})^3}{3(1 - \frac{L_e}{L})}}{1 - \frac{1}{3} (3 - \frac{L_e}{L}) (1 - \frac{L_e}{L})} \right]$$

一端固支另一端简支单跨轴：

$$K_x = \frac{2 - 3(1 - \frac{x}{L_e}) + \frac{3}{2}(1 - \frac{3L}{L_e})(\frac{x}{L})^2 + \frac{3}{2}(\frac{L}{L_e} - \frac{1}{3})(\frac{x}{L})^3 + \parallel_{x < L_e} (1 - \frac{x}{L_e})^3}{2 - \frac{9L_e}{2L} + 3(\frac{L_e}{L})^2 - \frac{1}{2}(\frac{L_e}{L})^3}$$

单跨轴传动侧支点的夹持系数 K_2 宜介于简支和固支之间,此时 δ_2 值应取式(C. 3. 8-4)或式(C. 3. 8-5)和式(C. 3. 8-6)两者算得结果之中间值。 δ_3 应取单跨轴的以上各不同 K_x 值代入式(C. 3. 8-7)算得各结果中的中间值。夹持系数 K_2 的选取和 δ_2 、 δ_3 中间值的计算方法可按照C. 4. 4和C. 4. 5 条第 1 款、C. 4. 5 条第 2 款的规定。

4 总位移应按下列公式计算：

刚性轴：

$$\delta_x = \delta_{1x} + \delta_{2x} + \delta_{3x} \quad (\text{C. 3. 8-8})$$

柔性轴：

$$\delta_x = \delta_{1x} + \delta_{2x} + |\delta_{3x}| \quad (\text{C. 3. 8-9})$$

5 验算应满足下列条件：

$$\delta_x \leq [\delta]_x \quad (\text{C. 3. 8-10})$$

式中： $[\delta]_x$ ——轴上任意位置 x 处的允许径向位移,由工艺介质、操作条件及轴封等要求确定其值。当无资料时,轴封处允许径向位移 $[\delta]_{(x=l_0)}$ 可按式(7. 0. 8-2)计算。

当 $x=l_0$ 时,求得的 δ_x 即为轴封处的总位移；

当 $x=L_1$ 时,求得的 δ_x 即为悬臂轴轴端总位移；

当 $x=L/2$ 时,求得的 δ_x 即为单跨轴轴中点总位移。

C. 3. 9 支点类型应按下列规定确定：

- 1 单个成对的或者双列的可以承受轴向载荷的滚动轴承,可作为不能移动的铰支承。
- 2 承受径向载荷的滚动轴承或者滑动轴承,作为可移动的铰支承。
- 3 滑动轴承的工作长度小于等于轴的直径,则视为是可移动的铰支承(不推荐采用轴套长度大于轴径的滑动轴承)。

C. 3. 10 轴径应按下列规定确定：

搅拌轴轴径 d 应满足强度和临界转速要求,当有要求时,还应满足扭转变形或径向位移的要求。

C. 3. 11 密封的动力损耗应符合下列规定：

1 转轴在填料密封中摩擦损耗的功率可按下式计算：

$$P_m = 6.67d_o^2 h \cdot n \times 10^{-9} \quad (\text{C. 3. 11-1})$$

式中： h ——不计密封环时填料密封圈的总高度,mm。

2 转轴在机械密封中摩擦损耗的功率可按式(C. 3. 11-2)或式(C. 3. 11-3)计算：

双端面机械密封所消耗的功率：

$$P_m = 1.8d_o^{1.2} \times 10^{-3} \quad (\text{C. 3. 11-2})$$

单端面机械密封所消耗的功率：

$$P_m = d_o^{1.2} \times 10^{-3} \quad (\text{C. 3. 11-3})$$

C.4 搅拌轴计算中有关数据的选取

C.4.1 轴承径向游隙应按下列规定确定：

- 1 轴承径向游隙可按表 C.4.1 取值。

表 C.4.1 轴承径向游隙 (mm)

轴承型式	轴径				
	$\leq \phi 50$	$> \phi 50 \sim \phi 80$	$> \phi 80 \sim \phi 120$	$> \phi 120 \sim \phi 160$	$> \phi 160 \sim \phi 200$
滚动	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
滑动	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10

2 采用上述轴承有特殊要求者,可按《机械设计手册》中“滚动轴承的游隙选用与调整”一节推荐的方法选用径向游隙。

C.4.2 流体径向力系数 K_1 应按下列规定确定：

- 1 推进式和三叶后掠式搅拌桨其流体径向力系数 K_1 可按表 C.4.2-1 取值。

表 C.4.2-1 推进式、三叶后掠式搅拌桨流体径向力系数 K_1

挡板及内件数	粘度 (mPa · s)	
	≤ 20	≥ 1000
无挡板	0.40	0.04
1~3 块挡板或 1~2 个插入内件 (指形、扁管形及内插管)	0.25	0.04
4 块挡板	0.16	0.04

注：1 中间值按线性内插法求取。

2 对于其他型式的内件,设计者可根据不同内件影响流体径向力的大小,在本表的系数范围内自行确定 K_1 值。

- 2 除推进式、三叶后掠式之外的搅拌桨,其流体径向力系数 K_1 应按下列式计算：

$$K_1 = K_1' \cdot K_{1u} \cdot K_{1b} \cdot K_{1e} \cdot K_{1i} \quad (\text{C.4.2})$$

式中： K_{1u} ——物料粘度修正系数,按图 C.4.2 查取；

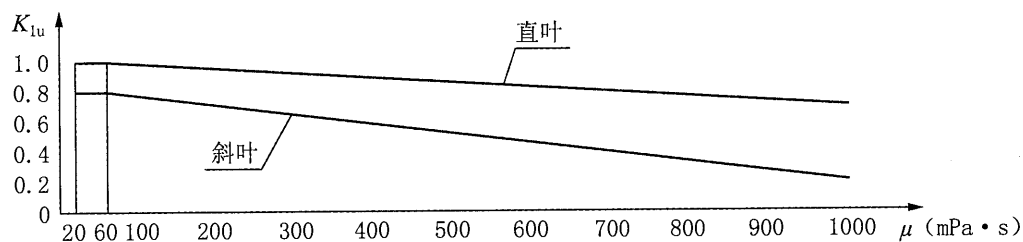


图 C.4.2 物料粘度修正系数 K_{1u}

K_1' ——基本流体径向力系数,按表 C.4.2-2 选取；

K_{1b} ——搅拌容器内平直挡板数的修正系数,按表 C.4.2-3 选取；

K_{1e} ——搅拌桨偏心安装的修正系数,按表 C.4.2-4 选取；

K_{1i} ——搅拌容器内件的修正系数,按表 C.4.2-5 选取。

- 3 侧插式和斜插式搅拌桨,其流体径向力系数 K_1 可按上述规定确定。

表 C.4.2-2 基本流体径向力系数 K'_1

搅拌桨型式	$n_o \cdot n/n_k$				
	≤ 0.5	1.0(峰值)	1.2	1.5	≥ 2.0
锚式、框式	0.08	(0.10)	—	—	—
直叶桨式	0.15	(0.20)	—	—	—
斜叶桨式	0.20	(0.25)	—	—	—
直叶涡轮(4叶)	0.15	(0.45)	0.18	0.13	0.11
直叶涡轮(6叶)	0.10	(0.30)	0.11	0.10	0.09
斜叶涡轮(4叶)	0.16	(0.50)	0.20	0.15	0.12
斜叶涡轮(6叶)	0.11	(0.35)	0.12	0.11	0.10

注：1 中间值按线性内插法求取。

2 不得在 $n_o \cdot n/n_k = 0.9 \sim 1.1$ 的范围内使用。

3 表中符号说明：

n ——轴的转速(r/min)；

n_k ——轴的一阶临界转速(r/min)；

n_o ——搅拌桨叶片数。

表 C.4.2-3 平直挡板数的修正系数 K_{1b}

搅拌桨型式	挡板数	K_{1b}	
		$n_o \cdot n/n_k = 1.0$	其他
双桨式	4	1.0	1.0
	2	3.0	3.0
	0	10.0	10.0
涡轮式(4叶片)	4	1.0	1.0
	2	1.6	1.6
	0	1.8	2.0
涡轮式(6叶片)	4	1.0	1.0
	3	1.3	1.4
	2	1.2	1.3
	0	2.2	4.4

注：表中 n 、 n_k 和 n_o 符号说明同前。

表 C.4.2-4 搅拌桨偏心安装的修正系数 K_{1e}

叶片形式	偏心距离(mm)		
	$D_1/96$	$D_1/12$	$D_1/4$
直叶	1.00	1.35	4.00
斜叶	1.40	2.45	

注：1 中间值按线性内插法求得。

2 偏心距离为零时， $K_{1e} = 1.00$ 。

3 表中符号说明： D_1 ——搅拌桨内径(mm)。

表 C.4.2-5 内件的修正系数 K_{Li}

内件种类	搅拌桨 叶片型式	K_{Li}	
		$n_o \cdot n/n_k = 1.0$	其他
4 个三角形内件	直叶	1.0	1.0
	斜叶	1.0	1.1
1 个螺旋盘管	直叶	0.8	0.9
	斜叶	0.9	0.9
1 个指形内件	斜叶	1.8	3.6
2 个指形内件	斜叶	1.4	1.7
1 个扁管形内件	斜叶	2.3	4.0
1 个内插管(在直径为 $D_1/2$ 处插入)	直叶	2.0	2.0
1 个内插管(在直径为 $D_1/3$ 处插入)	直叶	0.7	1.0
1 个内插管	斜叶	1.7	3.7
1 个小圈盘管(在直径为 $D_1/2$ 处插入)	直叶	2.0	2.0
1 个小圈盘管(在直径为 $D_1/3$ 处插入)	直叶	0.9	1.2
1 个小圈盘管	斜叶	1.8	3.8
1 个小圈盘管加一个内插管	直叶	1.9	1.9
	斜叶	1.3	1.9
2 个小圈盘管	直叶	1.4	1.5
	斜叶	1.2	0.9

注：1 无内件时, $K_{Li} = 1.0$;

2 除以上所列情况之外的内件,由设计者根据内件影响流体径向力的大小自行确定系数 K_{Li} ;

3 表中 D_1 、 n 、 n_k 和 n_o 符号说明同前。

C.4.3 在已知搅拌轴功率的情况下,当搅拌轴上有若干个型式相同仅直径不同的搅拌桨,而又没有每个搅拌桨的搅拌功率数据时,可按式(C.4.3-1)和(C.4.3-2)计算每个搅拌桨的设计功率。

1 对于转速较低的搅拌桨(如锚式搅拌桨、框式搅拌桨及门框式搅拌桨等),每个搅拌桨的设计功率 P_{qi} 应按下式计算:

$$P_{qi} = \frac{P_s \cdot D_{ji}^3}{\sum D_{ji}^3} \quad (C.4.3-1)$$

2 对于转速较高的搅拌桨(如直叶或斜叶双桨式搅拌桨、推进式搅拌桨、三叶后掠式搅拌桨、直叶、斜叶、弯叶开启涡轮搅拌桨及直叶、斜叶、弯叶圆盘涡轮搅拌桨等),每个搅拌桨的设计功率 P_{qi} 应按下式计算:

$$P_{qi} = \frac{P_s \cdot D_{ji}^5}{\sum D_{ji}^5} \quad (C.4.3-2)$$

上述二式中:

P_{qi} ——每个搅拌桨的设计功率(kW);

P_s ——搅拌轴功率,由工艺过程确定(kW);

Σ ——符号说明见本标准附录 C 第 C.3.1 条;

D_{ji} ——第 i 个搅拌桨直径(mm)。

C.4.4 单跨搅拌轴传动侧支点的夹持系数 K_2 应按下列规定选取:

当验算单跨搅拌轴径向位移和临界转速时,规定中列出两端简支和一端固支另一端简支两种支承型式的计算公式,传动侧轴承支点型式宜介于简支和固支之间,其夹持程度用系数 K_2 表示。设计者可根据不同结构按列规定选取 K_2 值。

1 采用单支点支架而又用弹性联轴节时,可取靠近两端简支的计算结果, $K_2=0.7\sim 0.9$ 。但采用刚性联轴节时,取两端简支和一端固支另一端简支二者的中间值, $K_2=0.4\sim 0.6$ 。

2 采用双支点支架而又用弹性联轴节时,取两端简支和一端固支另一端简支二者的中间值, $K_2=0.4\sim 0.6$ 。但采用刚性联轴节时,可取靠近一端固支另一端简支的计算结果, $K_2=0.1\sim 0.3$ 。

C.4.5 单跨搅拌轴由流体径向力引起的径向位移 δ_2 ,由离心力引起的径向位移 δ_3 以及临界转速 n_k 的中间值计算。

1 δ_2 的中间值应按下式计算:

$$\delta_2 = \delta_{2\text{固简}}(1 - K_2) + \delta_{2\text{简}}K_2 \quad (\text{C.4.5-1})$$

式中: $\delta_{2\text{固简}}$ ——一端固支另一端简支的单跨轴径向力产生的径向位移,按式(C.3.8-6)计算;

$\delta_{2\text{简}}$ ——两端简支的单跨轴径向力产生的径向位移,按式(C.3.8-4)、式(C.3.8-5)计算;

K_2 ——夹持系数,按 C.4.4 选取。

2 δ_3 的中间值应按下式计算:

$$\delta_3 = \delta_{3\text{固简}}(1 - K_2) + \delta_{3\text{简}}K_2 \quad (\text{C.4.5-2})$$

式中: $\delta_{3\text{固简}}$ ——一端固支另一端简支的单跨轴离心力产生的径向位移,按式(C.3.8-7)计算;

$\delta_{3\text{简}}$ ——两端简支的单跨轴离心力产生的径向位移,按式(C.3.8-7)计算;

K_2 ——夹持系数,按 C.4.4 选取。

3 n_k 的中间值应按下式计算:

$$n_k = n_{k\text{固简}}(1 - K_2) + n_{k\text{简}}K_2 \quad (\text{C.4.5-3})$$

式中: $n_{k\text{固简}}$ ——一端固支另一端简支的单跨轴的临界转速,应按式(C.3.6-22)计算;

$n_{k\text{简}}$ ——两端简支的单跨轴的临界转速,应按式(C.3.6-18)计算;

K_2 ——夹持系数,按 C.4.4 选取。

C.4.6 轴封处允许径向位移系数 K_3 、平衡精度等级 G 以及许用扭转角 $[\gamma]$ 的选取,应符合下列规定。

1 轴封处允许径向位移系数 K_3 应按下列规定选取:

1) K_3 值可按表 C.4.6 选取。

表 C.4.6 轴封处允许径向位移系数 K_3

P (设备压力)(MPa) n (搅拌轴转速)(r/min)	介质	K_3
敞口容器	非易爆,毒性程度为轻度危害介质	<0.80
常压容器	非易爆,毒性程度为轻度危害介质	0.50
	易爆,毒性程度为中度、高度、极度危害介质	0.35
真空容器	非易爆,毒性程度为轻度危害介质	
$\begin{cases} P=0.1\sim0.6 \\ n\leq 100 \end{cases}$	易爆,毒性程度为中度、高度、极度危害介质	0.30
$\begin{cases} P=0.1\sim0.6 \\ n>100 \end{cases}$ $\begin{cases} 0.6<P\leq 1.6 \\ n\leq 100 \end{cases}$	非易爆,毒性程度为轻度危害介质	0.30
	易爆,毒性程度为中度、高度、极度危害介质	0.25
$\begin{cases} 0.6<P\leq 1.6 \\ n>100 \end{cases}$ $\begin{cases} 1.6<P\leq 6.3 \\ n\leq 100 \end{cases}$	非易爆,毒性程度为轻度危害介质	
	易爆,毒性程度为中度、高度、极度危害介质	0.20
$\begin{cases} 1.6<P\leq 6.3 \\ n>100 \end{cases}$	任意物料	

2) 无轴封装置的敞口设备,为了保证轴承的使用寿命,也应限定密封点处的径向位移量。此时, K_3 值可在 0.50~1.00 范围内取值。

3) K_3 值系指轴径为 100mm 时,轴封处实际允许径向位移(mm)。在设计者有经验或有可靠参考资料的情况下,可采用其他数值。

2 平衡精度等级 G 应按下列规定确定:

平衡精度等级 G 可取 $G=6.3\text{mm/s}$;对于压力高、转速高以及易爆,毒性程度为中度、高度、极度危害介质的苛刻工况可取 $G=2.5\text{mm/s}$;对于压力低、转速低以及非易爆,毒性程度为轻度危害介质的工况可取 $G=16\text{mm/s}$ 。

3 许用扭转角 $[\gamma]$ 应按下列规定确定:

对于单跨轴: $[\gamma]=0.70(^{\circ}/\text{m})$

对于悬臂轴: $[\gamma]=0.35(^{\circ}/\text{m})$

附录 D 搅拌设备工艺参数

D.0.1 工艺操作目的和搅拌桨因素的关系可按表 D.0.1 的规定确定。

表 D.0.1 工艺操作目的和搅拌桨各因素关系

操作目的	推荐搅拌桨	评估搅拌效果的特性参数	过度搅拌对过程影响	搅拌桨的循环流量或剪切力的重要性
均相低粘度液混合 (易溶液体调和)	推进式、轴流旋桨及 涡轮式等	混合时间,混合指数,翻转次 数,均匀度	无影响,但返混 增大	提高循环流量能增大搅 拌效果,剪切力影响小
均相高粘度液混合	锚框式、螺带、螺杆、 大叶片式等	混合时间,剪切速率,翻转次 数,均匀度	依据多数非牛顿 流体特性来判断	循环流量及剪切速率均 能增大搅拌效果
液-液分散 (不互溶液体混合)	轴流式涡轮、圆盘式 涡轮、直叶涡轮等	均匀分散时间,液滴比表面 积、平均滴径或滴径分布,分 散均匀度	两相再分开困难, 返混增大	剪切力用作分裂液滴,循 环流动使液滴通过叶轮 强剪切区次数增多
气-液分散 气-液吸收	盘式涡轮、大叶片式 轴流涡轮等	分散时间,气泡比表面积、平 均滴径或滴径分布,溶气率, 临界分散转速	生成难于破碎的 泡沫及较稳定的 小气泡,返混增大	剪切力用作分裂气泡,循 环流动使气泡通过叶轮 强剪切区次数增多
固-液分散	均化器、锯齿圆盘、 胶体磨等	固体破碎程度,粒子分布均匀 度、润湿程度	易产生乳化	剪切力用作打散粒子,循 环流动使粒子通过叶轮 强剪切区次数增多
固-液悬浮	推进式、轴流旋桨、 轴流涡轮等	悬浮状态,临界悬浮转速,固 液浓度,比表面积	脆性粒子破碎	提高循环流量提高搅拌 效果,剪切力无影响
固-液溶解	推进式、轴流旋桨、 轴流涡轮等	溶解速度,以固粒表面积为基 准的液膜传质系数及总容积 传质系数	无影响,离底悬浮 即可	提高循环流量提高搅拌 效果,剪切力影响有一定 影响
固-液结晶	桨式、开启涡轮、推 进式加导流筒等	结晶速率,晶粒大小及分布和 杂质包裹量	晶粒被破碎,生成 大量晶核,易包裹 杂质	提高循环流量提高搅拌 效果,剪切力决定晶粒粒 径的大小。
固-液浸取	桨式、轴流旋桨等	悬浮状态,固液浓度,比表面 积,溶解速度	无影响	提高循环流量提高搅拌 效果,剪切力无影响
液-液萃取	轴流旋桨、直叶涡 轮、盘式涡轮等	萃取速率,萃取效率,液滴比 表面积,液膜传质系数和总容 积传质系数	两相再分开困难, 返混增大	剪切力用作分裂液滴,循 环流动使液滴通过叶轮 强剪切区次数增多
液-液乳化	直叶涡轮、均化器、 胶体磨、锯齿圆盘等	乳化速率,液滴大小及均匀度	液滴过小	剪切力用作分裂液滴,循 环流动使液滴通过叶轮 强剪切区次数增多

续表 D.0.1

操作目的	推荐搅拌桨	评估搅拌效果的特性参数	过度搅拌对过程影响	搅拌桨的循环流量或剪切力的重要性
传热(气、固、液)	推进式、轴流涡轮、布鲁马金、三叶后掠式等	传热速率,液膜传热系数,总传热系数	无影响	提高循环流量提高搅拌效果,剪切力影响小
反应(气、固、液)	按特定的反应条件要求配给	反应时间,传热、传质要求,翻转次数。对高分子聚合,转化率、相对分子量及分布为主要指标	据不同反应各有要求	循环流量及剪切力对反应均有影响。

D.0.2 针对不同的搅拌工艺过程和强度要求,可按表 D.0.2-1、D.0.2-2 及 D.0.2-3 中所述估算搅拌工艺过程所需的搅拌轴功率。采用的最小搅拌轴功率宜大于表 D.0.2-1 及 D.0.2-2 中所示的单位容积物料所需的功率值。

表 D.0.2-1 常用桨端线速度及单位容积功率值(按水溶液或类似溶液)

搅拌方式	缓慢搅拌	普通搅拌	强力搅拌	特强搅拌	高速分散和乳化
桨端线速度(m/s)	≤ 1.5	1.5~4.0	4.0~6.0	≥ 6.0	15.0~30.0
单位容积搅拌功率(kW/m ³)	≤ 0.1	0.1~1.0	0.5~3.0	≥ 3.0	5.0~30.0

注:针对不同粘度及密度的流体,选用值可适当变动。

表 D.0.2-2 工艺过程常见单位容积物料功率值





搅拌工艺过程	单位容积物料功率(kW/m ³)	搅拌工艺过程	单位容积物料功率(kW/m ³)
易溶液体混合(调和)	0.010~0.300 (按混合时间)	胶、浆液均质	0.100~0.300 (按胶浆粘度密度)
不互溶液体混合(分散)	0.300~1.200 (按密度、张力差)	大型储罐侧搅拌	0.005~0.050 (按目的)
固液悬浮 (小密度差)	0.200~1.000 (按粒径大小)	外夹套内盘管传热	0.300~1.000 (按时间及粘度)
气液分散和吸收(发酵)	0.500~3.000 (按通气量大小)	溶液及乳液聚合反应	1.000~3.000 (按反应时间要求)
固体有机物溶解	0.100~0.500 (按密度差)	高粘本体聚合反应	2.000~10.000 (按粘度大小)
固体无机物溶解	0.300~1.000 (按密度差)	高速液液乳化	5.000~30.000 (按乳化液安定程度)
机械爆气	0.010~0.100 (按爆气强度)		

表 D.0.2-3 搅拌工艺过程要求的搅拌等级

搅拌等级	液液混合	固液悬浮	气液分散
1~2 级	<p>适用于低流动速度的工艺过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 比重差小于 0.1 互溶液混均 2. 粘度比大于 1/100 互溶液混均。 3. 不同物料长时间混合均匀。 4. 混合液体表面产生平稳流动 	<p>适用于最低固液悬浮的工艺过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 颗粒在容器底部缓慢移动。 2. 容器底部颗粒可有周期性悬浮沉降 	<p>适用于气液分散不是关键因素的工艺过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 搅拌桨超过临界转速, 较低水平的气液分散。 2. 不受气液传质限制的过程
3~5 级	<p>适用于普通混合搅拌工艺过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 比重差小于 0.5 互溶液混均。 2. 粘度比大于 1/1000 互溶液混均。 3. 粘度液体表面产生小波动 	<p>适用于溶解搅拌工艺过程。离底固液悬浮</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 颗粒离开容器底部悬浮。 2. 颗粒在 1/3 液体高度均匀。 3. 悬浮液可从底部出口排出 	<p>适用于普通气液分散的工艺过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 可使小气泡达到容器壁。 2. 可使部分气泡再循环到搅拌桨产生再循环
6~8 级	<p>适用于大多数混合搅拌工艺过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 比重差小于 1.0 互溶液混均。 2. 高粘度差互溶液混均。 3. 低粘度液体表面产生大波动 	<p>适用于大多数固液悬浮搅拌工艺过程。固液悬浮均匀</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 颗粒在 95% 液体高度均匀。 2. 悬浮液可从 80% 液体高度处排出 	<p>适用于常见气液分散的工艺过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 可使气泡表面积达到一定的传质要求。 2. 可使多数气泡产生再循环
9~10 级	<p>适用于强烈混合搅拌工艺过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 比重差较大互溶液混均。 2. 高粘度差互溶液混均。 3. 低粘度液体表面产生激烈波动 	<p>适用于完全均匀固液悬浮搅拌工艺过程。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 颗粒在 98% 液体高度均匀。 2. 悬浮液可溢流排出 	<p>适用于常见气液分散的工艺过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 可使气泡表面积达到最大程度。 2. 可使全部气泡产生再循环

。D.0.3 搅拌桨在容器中的尺寸及通用参数可按表 D.0.3 的规定确定。


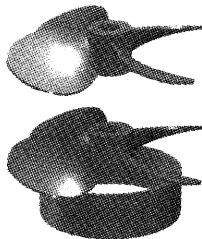
表 D.0.3 搅拌桨在容器中的尺寸及通用参数

序号	搅拌桨	简图	粘度	尺寸	转速	流动状态	工艺过程及控制因素	说明
1	直叶桨式		$<2 \times 10^3$ mPa·s	$D_j/D_t=0.35 \sim 0.80$ $h/D_j=0.10 \sim 0.25$ $z=2$ 斜叶 $\theta=45^\circ, 30^\circ$	$v=(1 \sim 5)$ m/s $n=(1 \sim 100)$ r/min	低速时水平环向流为主;高速时为径向流;有挡板时为上下循环流	固体悬浮(容积循环速率和湍流强度,通常 $D_j/D_t=0.35 \sim 0.50$; $H_o/D_t=0.5 \sim 1.0$); 传热(容积循环速率、流经传热面的湍流速度,通常 $D_j/D_t=0.50 \sim 0.80$, $H_o/D_t=0.5 \sim 1.0$); 高粘度操作(容积循环速率和低速度,通常 $D_j/D_t=0.80$; $H_o/D_t=0.5 \sim 1.0$); 结晶(容积循环速率、剪切作用和低速度,通常 $H_o/D_t=1.0 \sim 2.0$)	当 $D_j/D_t=0.90$ 以上时,并设置多层桨叶,可用于高粘度液的低速搅拌。在层流区操作,其适用介质粘度可达 1×10^5 mPa·s 而叶端线速度 $v=(1 \sim 3)$ m/s。 二叶桨式搅拌桨经过不断改进,目前已有成型产品,分为可拆和不可拆两种
2	斜叶桨式					有轴向分流、径向分流和环向分流。多在层流、过渡流状态时操作		
3	MIG 式		$<1 \times 10^4$ mPa·s	$D_j/D_t=0.50 \sim 0.98$	$v=(1 \sim 12)$ m/s	低速时为水平环向流和轴向流,高速时为径向流和轴向流。桨叶前端有较强的涡流。可在层流区及湍流区操作	混合、固液悬浮、液液分散、溶解和传热等(促进液体形成较大轴向循环,比传统斜叶桨减少 30% 混合时间)	属于斜叶桨的改型,桨叶前端增加一个与主桨倾斜 90° 的小桨。多用多层式
4	INTERMIG 式					同上,桨叶前端的涡流更强,混合效果更好		属于 MIG 型的改型,桨叶前端改成「形双斜叶小桨。多用多层式

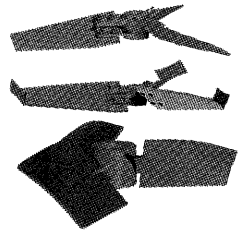

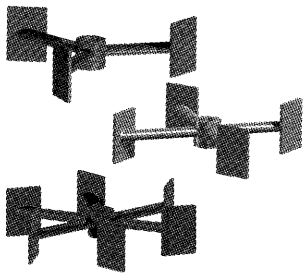
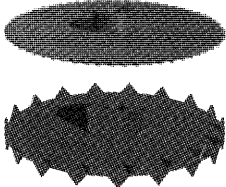
续表 D.0.3

序号	搅拌桨	简图	粘度	尺寸	转速	流动状态	工艺过程及控制因素	说明
5	直叶开启涡轮式		$<5 \times 10^4$ mPa·s	$D_j/D_t = 0.20 \sim 0.50$ (0.33 居多)	$v = (4 \sim 10)$ m/s $n = (10 \sim 300)$ r/min	直叶、弯叶为径向流。 在有挡板时可自桨叶 为界形成上下两个循 环流。斜叶的还有轴 向分流,近于轴流型	固体悬浮(容积循环速率和湍流 强度,通常 $D_j/D_t = 0.35 \sim 0.50$; $H_o/D_t = 0.5 \sim 1.0$); 调和(容积循环速率,通常 D_j/D_t $= 0.20 \sim 0.33$; H_o/D_t 不限); 分散(容积循环速率,液滴大小, 通常 $D_j/D_t = 0.29 \sim 0.33$; H_o/D_t $= 0.5 \sim 1.0$); 气体吸收(容积循环速率、剪切作 用、高速度,通常 $D_j/D_t = 0.25 \sim$ 0.40 , $H_o/D_t = 1.0 \sim 4.0$); 传热(容积循环速率、流经传热面 的湍流速度,通常 $D_j/D_t = 0.25 \sim$ 0.33 , $H_o/D_t = 0.5 \sim 2.0$); 高粘度操作(容积循环速率和低 速度,通常 $D_j/D_t = 0.80$; H_o/D_t $= 0.5 \sim 1.0$); 结晶(容积循环速率、剪切作用和 低速度,通常 $D_j/D_t = 0.30 \sim$ 0.50 ; $H_o/D_t = 1.0 \sim 2.0$)	最高转速可达 600r/min。斜 叶角度 66° 的,用于 3 叶开启 涡轮,搅拌效果类似 3 叶推 进式。高粘度时 β 宜取大 值,以降低功率消耗。 开启涡轮式搅拌桨经过不断 改进,也演变成多种形式,包 括锥底式和后掠式,后面列 出的布尔马金式也是此类的 变种
6	弯叶开启涡轮式		$<1 \times 10^4$ mPa·s	$h/D_j = 0.15 \sim 0.30$ (0.20 居多) $z = 3 \sim 16$ (3、4、6、8 居 多) 斜叶角 $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 66^\circ$ 后弯角 $\beta = 30^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 80^\circ$	$v = (2 \sim 6)$ m/s			
7	斜叶开启涡轮式				$v = (4 \sim 10)$ m/s $n = (10 \sim 300)$ r/min			
8	直叶圆盘涡轮式		$<5 \times 10^4$ mPa·s	$D_j/D_t = 0.20 \sim 0.50$ (0.33 居多) $h/D_j = 0.15 \sim 0.30$ (0.20 居多) $z = 4, 6, 8$ 斜叶角 $\theta = 45^\circ, 30^\circ$ 后弯角 $\beta = 45^\circ$	$v = (4 \sim 10)$ m/s $n = (10 \sim 300)$ r/min	直叶、弯叶为径向流。 在有挡板时可自桨叶 为界形成上下两个循 环流。斜叶的有轴向 分流。圆盘上下的液 体混合不如开启涡轮		最高转速可达 600r/min
9	弯叶圆盘涡轮式		$<1 \times 10^4$ mPa·s					
10	斜叶圆盘涡轮式				$v = (2 \sim 6)$ m/s			

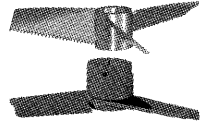
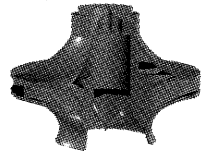
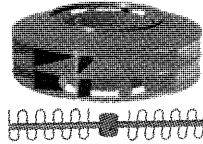
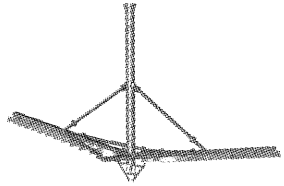
续表 D.0.3

序号	搅拌桨	简图	粘度	尺寸	转速	流动状态	工艺过程及控制因素	说明
11	箭叶式圆盘涡轮		$<1 \times 10^4$ $\text{mPa} \cdot \text{s}$	$D_j/D_i=0.20 \sim 0.50$	$v=(4 \sim 10)$ m/s	箭叶式圆盘涡轮式搅拌桨也是一种以径流为主的搅拌桨,但其桨叶剖面为抛物面,因而轴向有上下两股斜向循环流	相对平直桨功耗低,且具有较高的剪切力。适用于气体分散吸收、传质、混合、固液悬浮等操作	最高转速可达 600r/min
12	半管及抛物线圆盘涡轮			$D_j/D_i=0.20 \sim 0.50$		半管及抛物线圆盘涡轮都是径流式搅拌桨,它们的叶片分别为凹圆弧型及抛物面,具有极强的径向排量及分散能力	在相同功率下,其传质系数比平直叶圆盘涡轮高 30% 以上,持气能力提高 40% 以上,且功耗比甚低,因此特别适用类似发酵工艺的溶氧操作,也适用于其他要求下的气体分散、吸收、混合、传质等操作	
13	推进式		$<2 \times 10^3$ $\text{mPa} \cdot \text{s}$	$D_j/D_i=0.20 \sim 0.50$ (0.33 居多) $S/D_j=1.0, 2.0$ $z=2, 3, 4$ (3 居多)	$v=(3 \sim 15)$ m/s $n=(100 \sim 500)\text{r/min}$	轴流型,循环速率高,剪切力小。采用挡板或导流筒则轴向循环更强	固体悬浮(容积循环速率和湍流强度,通常 $D_j/D_i=0.29 \sim 0.40$; $H_o/D_i=0.5 \sim 1.0$); 调和(容积循环速率,通常 $D_j/D_i=0.25 \sim 0.33$; H_o/D_i 不限); 传热(容积循环速率、流经传热面的湍流速度,通常 $D_j/D_i=0.25 \sim 0.33$, $H_o/D_i=0.5 \sim 2.0$)	最高转速可达 1750r/min, $v=25\text{m/s}$, 转速在 500r/min 以下,适用介质粘度可到 $5 \times 10^4 \text{mPa} \cdot \text{s}$ 。 下面介绍的旋桨式搅拌桨也属于此类,其同时带有开启涡轮式特点,所以专门列出

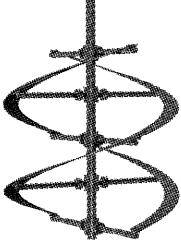

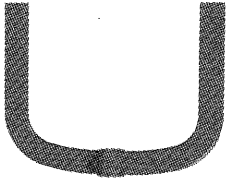
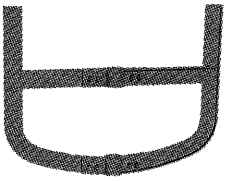

续表 D.0.3

序号	搅拌桨	简图	粘度	尺寸	转速	流动状态	工艺过程及控制因素	说明
14	旋桨式搅拌桨		$<2 \times 10^3$ $\text{mPa} \cdot \text{s}$	$D_j/D_t=0.20 \sim 0.50$	$v=(2 \sim 15)$ m/s	轴向流	混合、传热、溶解、反应(多种型式的旋桨式搅拌桨各具特色,有些节能为主,有些增加排量为主,有些增加湍流扩散能力)	旋桨式搅拌桨已有成型产品
15	三叶后掠式		$<1 \times 10^4$ $\text{mPa} \cdot \text{s}$	$D_j/D_t=0.50$ $h/H_m=0.40$ $h/D_t=0.05$ $\beta=30^\circ, 50^\circ$ 上翘角 $15^\circ \sim 20^\circ$ $z=3$	$v \leq 10 \text{m/s}$ $n=(80 \sim 150)$ r/min	径流型,配合指形挡板可得上下循环流。循环量大,在挡板配合下,剪切作用也好	传热、传质、固体溶解和悬浮等	最高叶端线速度 v 可达 15m/s 。 属于开启涡轮式搅拌桨的改进
16	布尔马金式		$<5 \times 10^4$ $\text{mPa} \cdot \text{s}$	$D_j/D_t=0.20 \sim 0.50$ $h/D_t=0.1$ $\beta=70^\circ$ $z=6, 8$	$n=(10 \sim 300)$ r/min	径向流	传热、传质、混合和纤维物料溶解(排出性能好,有挡板时,产生对流循环及湍流扩散)	桨叶前端加宽,有后弯角。排出性能好,动力消耗少,剪切力小,可以认为属于开启涡轮的改进
17	锯齿圆盘式		$<2 \times 10^3$ $\text{mPa} \cdot \text{s}$	$D_j/D_t=0.20 \sim 0.50$	$v_m(5 \sim 20)$ m/s	径流型,湍流状态操作	分散、混合、破碎和剥离(剪切能很高,循环能力相对弱)	属于高速搅拌桨,具有分裂破碎作用。同类搅拌桨还有三叶翘曲式,其特点是产生较大轴向流,功耗低,适用于溶解、混合和液液反应等操作

续表 D.0.3

序号	搅拌桨	简图	粘度	尺寸	转速	流动状态	工艺过程及控制因素	说明
18	三叶后齿、翘曲式				$v=(8\sim15)$ m/s	增大的剪切界面强化小涡流的产生	低粘度介质固体溶解、分散及高粘度分散相的混合、分散	
19	曝气叶轮		$<2\times10^3$ mPa·s	$D_j/D_t=0.20\sim0.50$	$v=(8\sim15)$ m/s	桨叶对气相及液相产生剪切力	气液吸收、分散和污水处理、传氧等过程(相表面更新及湍动)	属于特殊用途搅拌桨,有多种形式
20	消泡搅拌桨		$<2\times10^3$ mPa·s				消除液面上覆盖的大量泡沫(高速型消泡叶轮中心吸进泡沫,抛出液滴;中低速消泡桨破坏气泡的形成和增加)	属于特殊用途搅拌桨,有高速型消泡叶轮和中低速型消泡桨
21	耙式搅拌桨		$<1\times10^3$ mPa·s	$D_j/D_t=0.90\sim0.98$	$v<0.1$ m/s		给排水沉淀池、废水处理池的污泥刮除(耙臂上的倾斜刮板将污泥刮集到中部排除)	属于低速搅拌桨

续表 D.0.3

序号	搅拌桨	简图	粘度	尺寸	转速	流动状态	工艺过程及控制因素	说明
22	螺带式		$<1 \times 10^5$ mPa·s	$D_j/D_t=0.90 \sim 0.98$ $S/D_j=0.5, 1.0, 1.5$ $h/D_t=0.10$ $H_m/D_j=1.00 \sim 3.00$ $z=1, 2$	$v \leq 2$ m/s $n=(0.5 \sim 50)$ r/min	轴流型。液体沿槽壁螺旋上升再沿桨轴而下。层流状态操作	高粘度操作(容积循环速率和低速度,通常 $H_o/D_t=0.5 \sim 1.0$)	螺带式搅拌桨可偏心放入搅拌槽内,这时桨叶离槽壁的距离 $< D_j/20$,槽壁可起到挡板的作用。 螺带式搅拌桨属于大直径式搅拌桨,螺杆螺带组合使用的情况也存在,近年搅拌桨的不断改进,螺杆螺带搅拌桨,特别是螺带搅拌桨已经有了多种演变形式
23	螺杆式			$D_j/D_t=0.40 \sim 0.50$ $S/D_j=1.0, 1.5$ $H_m/D_j=1.00 \sim 3.00$		轴向流。当带有导流筒时,液体在导流筒内向下,在导流筒外部的环形空间向上。层流状态操作		
24	锚式		$<1 \times 10^5$ mPa·s	$D_j/D_t=0.90 \sim 0.98$ $h/D_t=0.10$ $H_m/D_t=0.48 \sim 1.00$	$v=(1 \sim 5)$ m/s $n=(1 \sim 100)$ r/min	不同高度上的水平环向流。如为斜叶或角钢型叶可增加桨叶附近的涡流。层流状态操作	高粘度操作(容积循环速率和低速度,通常 $H_o/D_t=0.5 \sim 1.0$)	为了增大搅拌范围,可根据需要在桨上增加立叶和横梁。 现在锚式和框式搅拌桨归类为大直径搅拌桨,经过不断改进,也常常和螺带斜叶等组合使用,已有成型产品
25	框式							
26	三角叶往复回转式					轴流型		往复回转,回转角度 90°

注: D_j ——搅拌桨直径; D_t ——搅拌容器内径; H_o ——液面高度;其余见图示。

附录 E 搅拌机各零部件的传动效率

E.0.1 除电机以外的各类减速机、变速机、传动零部件的传动效率列于表 E.0.1。

表 E.0.1 搅拌机各零部件的传动效率

传动类型	传动型式	机械效率 η
摆线针轮传动	摆线针轮行星减速器	0.88~0.95
谐波齿轮传动	谐波减速器	0.80~0.90
圆柱齿轮传动	单级圆柱齿轮减速器	0.97~0.98
	双级圆柱齿轮减速器	0.95~0.96
圆锥齿轮传动	单级圆锥齿轮减速器	0.95~0.96
	双级(圆锥+圆柱齿轮减速器)	0.94~0.95
蜗杆传动	自锁的	0.40~0.45
	单头蜗杆	0.70~0.75
	双头蜗杆	0.75~0.82
	三头蜗杆	0.82~0.92
	四头蜗杆	0.92~0.95
	圆弧蜗杆传动效率	0.85~0.95
链传动	开式传动(脂润滑)	0.90~0.93
	闭式传动(稀油润滑)	0.95~0.97
行星传动	NGW 行星齿轮减速器(一级)	0.97~0.99
	NGbiaW 行星齿轮减速器(二级)	0.94~0.97
轴承	滚动	0.98~0.99
	滑动	0.94~0.98
无级变速器效率		0.85~0.94
平皮带		0.92~0.98
三角皮带		0.90~0.97
同步带		0.93~0.98

附录 F 搅拌机振动诊断

F.0.1 搅拌机振动诊断标准可分为绝对振动标准、相对振动标准和类别振动标准。

F.0.2 绝对振动标准宜符合下列规定：

在正常操作工况，搅拌机转速小于等于 300rpm 的控制值可按表 F.0.2 的规定取值。

表 F.0.2 电机功率与振动烈度的关系

电机功率 $P(\text{kW})$	振动烈度 $V(\text{mm/s})$
$P \leq 5.5\text{kW}$	$V \leq 2.8\text{mm/s}$
$5.5\text{kW} < P \leq 18.5\text{kW}$	$V \leq 4.5\text{mm/s}$
$18.5\text{kW} < P \leq 55.0\text{kW}$	$V \leq 7.1\text{mm/s}$
$55.0\text{kW} < P \leq 155.0\text{kW}$	$V \leq 11.2\text{mm/s}$
$P > 155.0\text{kW}$	$V \leq 18.0\text{mm/s}$

注：对搅拌机支撑封头刚性较差、搅拌速度大于 300rpm、搅拌轴较长，电机功率 P 大于或等于 560.0kW、搅拌机重量，体积较大时，可适当放宽至 1.6 倍振动烈度值，但应在一段时间内监控直至振动值稳定。

F.0.3 相对振动标准宜符合下列规定：

采用绝对振动标准测量超标(但小于或等于 2 倍的允许值)的搅拌机也可进行相对振动标准的测试，定期监测直至振动值稳定，监测频率及时间长度由业主和厂家商定。合格指标可按表 F.0.3 的规定取值。

表 F.0.3 相对振动烈度

状态	振动烈度 $V(\text{mm/s})$
需定期监测	$< 1.6V$
需停机检修	$\geq 1.6V$

F.0.4 类比振动标准宜符合下列规定：

对于多台同一型号，同一工况的搅拌机，可测量各台的振动烈度求出平均值，以小于或等于平均值的 1.6 倍作为合格值。

F.0.5 搅拌机振动测量方法见表 F.0.5。

表 F.0.5 搅拌机振动测量方法

测量部位	合格指标
机架轴承座	1. 各处均不少于 4 点且沿各自圆周均布。 2. 各处最大值不得大于相应振动标准规定值。
减速机输出轴相对应的轴承部位	
减速机输入轴相对应的轴承部位	
电机输出轴相对应的轴承部位	

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《爆炸和火灾危险环境电力装置设计标准》GB 50058
《压力容器》GB 150.1~150.4
《旋转电机 定额和性能》GB 755
《平键 键槽的剖面尺寸》GB/T 1095
《形状和位置公差 未注公差值》GB/T 1184
《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》GB/T 1804
《铸件 尺寸公差与机械加工余量》GB/T 6414
《灰铸铁件》GB/T 9439
《釜用高压密封技术条件》GB/T 24319
《钢制化工容器强度计算规定》HG/T 20582
《钢制管法兰、垫片、紧固件》HG/T 20592~20635
《搅拌传动装置 凸缘法兰》HG 21564
《搅拌传动装置 安装底盖》HG 21565
《搅拌传动装置 单支点机架》HG 21566
《搅拌传动装置 双支点机架》HG 21567
《搅拌传动装置 带短节联轴器》HG 21569.1
《搅拌传动装置 块式弹性联轴器》HG 21569.2
《搅拌传动装置 联轴器》HG 21570
《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004
《釜用机械密封辅助装置》HG/T 2122
《釜用机械密封技术条件》HG/T 2269
《钢制机械搅拌容器型式与基本参数》HG/T 3109
《釜用立式减速机》HG/T 3139.1~3139.12
《金属抛光表面质量检测及评判规则》HG/T 4079
《压力容器涂敷与运输包装》JB/T 4711
《容器支座》JB/T 4712.1~4712.4
《承压设备无损检测》JB/T 4730.1~4730.6
《钢制焊接常压容器》NB/T 47003.1—2009

中华人民共和国化工行业标准

机 械 搅 拌 设 备

HG/T 20569—2013

条 文 说 明

目 次

修订说明.....	(103)
1 总 则	(104)
2 术 语	(105)
3 型 式	(106)
4 材 料	(107)
5 搅拌容器	(108)
6 搅 拌 机	(109)
6.1 未注尺寸公差	(109)
6.2 搅拌桨	(109)
6.3 搅拌轴	(109)
6.4 轴封	(110)
6.5 传动装置	(110)
6.6 机架及轴承座	(110)
7 搅拌设备组装	(111)
8 安 全	(112)
9 试验方法	(113)
10 检验规则	(114)
11 搅拌设备出厂要求	(115)
附录 A 搅拌机数据表	(116)
附录 B 搅拌容器	(117)
B.3 带夹套容器	(117)
B.4 带盘管容器	(117)
B.5 搅拌机对搅拌容器作用的附加规定	(117)
附录 C 搅拌桨与搅拌轴设计	(118)
附录 D 搅拌设备工艺参数	(119)
附录 E 搅拌机各零部件的传动效率	(120)
附录 F 搅拌机振动诊断	(121)

修订说明

《机械搅拌设备》(HG/T 20569—2013),经工业和信息化部 2013 年 10 月 17 日以第 52 号公告批准发布。

本标准是在《机械搅拌设备》(HG/T 20569—1994)的基础上修订而成,上一版的主编单位是中国天辰工程有限公司(原化工部第一设计院),主要起草人:沈鹏飞、王振洲、郑素清、孙争鸣、卓克涛。

本次修订的主要技术内容是:

1. 增加了材料、搅拌设备组装、安全;
2. 增加了试验方法、检验规则;
3. 增加了搅拌设备出厂要求;
4. 增加了搅拌机数据表;
5. 增加了搅拌机振动诊断;
6. 修改了本标准的不适用范围;
7. 修改了搅拌容器与搅拌机的典型组合型式;
8. 修改了搅拌容器和搅拌机制造、检验和验收的要求;
9. 修改了搅拌桨与搅拌轴设计的部分内容;
10. 修改了搅拌设备工艺参数的部分内容。

本标准修订过程中,编制组在行业内广泛收集该标准在实施过程中发现和存在的问题,结合目前化工和石油化工等行业的工程实施情况进行了广泛的调查研究,总结了我国工程建设的实践经验,同时对国外同类问题查阅资料,使各项技术指标、参数更加准确,各项性能要求等都有实际工程检验作技术支撑。

为便于广大设计、制造、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

1 总 则

将原标准适用范围修订为本标准的总则。

参照 GB 150.1~150.4 的范围和术语,修改了本标准的不适用范围。

2 术 语

为了规范设计、制造、试验、检验、安装和管理,本标准给出了机械搅拌设备部分常用术语的定义。

本次标准修订过程中,标准审查时对“搅拌器改为搅拌桨”进行了广泛讨论,为了与国内其他行业标准的用词保持一致,本次修订将搅拌器改为搅拌桨。

本次修订增加了术语的英文对应词。

3 型 式

为了扩大大标准的适用范围,修订了“搅拌容器与搅拌机的典型型式”,并将其单独列为一章。

本次修订将搅拌机安装基本形式分为顶入式、侧入式和底入式三大类 9 个系列,并与不同结构型式的搅拌容器组成 25 种典型组合型式。

4 材 料

搅拌设备所涉及的材料多种多样。从材料上分有金属材料和非金属材料两大类；从用途上分有搅拌容器材料、搅拌机材料。

由于本标准不是材料标准，因此本标准只是将材料分为搅拌容器材料、搅拌机材料两类；具体采用哪种金属材料或非金属材料由设计人员确定。

4.0.1 条对材料的规定是因为这些法规、标准适用范围内的材料涵盖了大部分搅拌容器，而且也是业内成熟的法规、标准；对于 4.0.1 条规定以外的材料，设计人员可参照本标准选取，但应满足材料的某些特殊要求。

5 搅 拌 容 器

5.0.3 采用新的术语接口法兰,将与搅拌容器连接的法兰分为接管法兰型式和凸缘法兰型式。对接口法兰和安装底盖的制造、检验和验收提出要求,同时也对接口法兰和安装底盖的安装公差提出具体要求。

5.0.4~5.0.7 对搅拌容器设计中的内容提出具体要求。

6 搅拌机

搅拌机中的一些部件,如电机、减速机、机架、联轴器和轴封等均已定型化、标准化,有的已有系列产品供选购。因此本标准只对这些部件的选用原则作出规定,并未涉及这些部件本身的机械设计和强度计算等内容。

6.1 未注尺寸公差

本节对搅拌机各零部件加工面及非加工面的未注尺寸公差提出具体要求。

6.2 搅拌桨

6.2.5 提出了对搅拌桨、轴组件的平衡试验要求,由于制造厂商多年使用的工程实例及机械加工水平的提高,适当放宽了动平衡试验限制条件。

6.3 搅拌轴

6.3.2~6.3.5 对搅拌轴的结构形式提出具体要求。第 6.3.5 条没有规定具体的长径比是多少时算长轴,因为各厂家的要求均不相同,作为标准只宜提出要求,不应在数值上做出硬性规定;具体要求由各厂家根据轴的长径比,放置条件综合确定。

6.3.6~6.3.7 对搅拌轴的设计计算提出基本要求。

搅拌机由搅拌轴、轴封、搅拌桨、机架和传动装置等部分组成,搅拌机的功率取决于搅拌过程所需的轴功率。轴功率应根据工艺过程确定,不属本标准的内容范围。因为使用介质操作条件的不同,物理化学性能的差异,容器形状及内部设施的不同以及各种搅拌桨特性上的区别,通过计算公式精确计算搅拌功率是十分困难的。

本标准未包括带中间轴承搅拌轴的计算。

6.3.8 本次修订删除了不适用于搅拌设备的高转速时对直线度的要求,明确了原标准中的要求为对实心轴的要求,增加了对空心轴的具体要求;轴的直线度允差通过调整,更趋于严格,也扩大了应用范围。

由于空心轴大多应用在转速较低的场合,因此对特殊情况下空心轴的直线度,可以在设计和制造单位沟通后并经业主认可的情况下,适当调整表 6.3.8 中对空心轴要求的数值。

6.3.12 此条原标准中装配精度为基孔制 H8/h7。与搅拌轴配合的机械密封轴套宜由轴封生产商提供,轴封生产商会服从搅拌轴制造商提供的轴径尺寸;根据制造单位的经验,H8/h7 配合在安装密封时会遇到很大的麻烦,有时会出现装配尺寸零对零的情况,由于轴套中有密封圈,不允许热装,过紧的配合会拉伤搅拌轴;且《离心泵和转子泵用轴封系统》API 682—2004 第 6.1.3.2 条规定轴套与轴的配合是 F7/h6;所以经各机封厂家及搅拌轴制造商共同商讨,选定配合精度为基轴制 F8/h7。

6.4 轴 封

轴封仅对使用范围和选用原则作出规定,并根据工程实际应用增加了磁力传动密封,常用的轴封已标准化和系列化,本部分未涉及密封元件产品的设计内容。

6.4.2 填料密封的适用范围规定为:搅拌容器内操作压力在 -3×10^{-2} MPa~1.6 MPa 之间,搅拌容器内操作温度不高于 300℃。虽然目前新型填料可耐 6 MPa 以上压力、耐温 500℃~600℃,但本标准不推荐高温、高压工况下仍然使用填料密封。

填料材料的选用应满足行业法律法规要求(例如:食品、医药行业要求材料无毒)。在工业发达国家,由于含石棉的垫片和填料产品会使人致癌,故早已禁止使用。虽然我国法律还没有完全禁止,但本标准也不推荐使用。

6.4.3 原标准中对动、静环材料的选用规定:宜选用硬质材料动环和软质材料静环配对。随着机械密封技术和材料的发展,采用硬对硬材料配对的机械密封已经有很多应用;静止型安装密封也打破了动、静环的概念;用硬质材料静环和软质材料动环配对的机械密封在国内外都有广泛应用。因此在本次修订过程中,将此条取消。

6.5 传动装置

6.5.1 补充了电机性能应符合《旋转电机定额和性能》GB 755 的规定、搅拌轴功率裕量系数表(K 值)及处在爆炸和火灾危险环境时,应按照《爆炸和火灾危险环境电力装置设计标准》GB 50058 的规定选择电机。

6.5.2 增加了对服务系数的要求。

6.6 机架和轴承座

6.6.2 随着工业技术水平和装备要求的提高,机架会越来越多采用钢结构焊接机架形式。因此本次修订将机架材料修改为不是只能采用铸件,对机架材料不再进行限制。

6.6.7 对于传递小功率和小的轴向载荷的具体数值,各方均有不同意见。因此本标准在具体数值上不便给出,由制造单位根据使用工况和经验确定。

7 搅拌设备组装

本章增加了搅拌设备组装要求,提出了多项运转试验后的检测项目。对搅拌机轴封处的径向位移/径向跳动公差补充了详细的要求。

7.0.5 明确了原标准中对轴封处的允许径向位移的规定值适用于试运转过程。

7.0.8 对静态盘车时,搅拌轴悬臂自由端部的径向摆动量给出了公式供参考,方便了检测。本条没有规定最小值,目的是为了适应现今工业装置越来越大型化,搅拌轴的悬臂长度越来越长,自由端部的径向摆动量也越来越大的现状;但不是盲目的放宽要求,因此规定“当有特殊要求时,应在设计文件中规定”。

7.0.10 此条要求润滑剂不能对密封效果产生不利影响,如像乙丙橡胶这种材料是不耐矿物油的。

7.0.11 因为所有集装式密封,无论单密封还是双密封,出厂前都应经过气压试验,合格后方可出厂。未经卖方许可而私自拆开的集装式密封,将丧失质保资格。目前机械密封强调安全性和可靠性,机械密封的合理弹簧比压在密封设计时已经得到保证,并可以在不做任何调整的情况下保证整个规定运转寿命中泄漏量符合标准要求。以前密封安装后调整弹簧比压的做法,增加了用户的维护难度,密封泄漏后难以分清买、卖双方的责任。

8 安 全

本章是新增内容。

在坚持“安全发展”的指导原则下,将安全生产条文列入标准,目的是发现潜在危险,以预防和减少各类伤亡事故。

按组装、试车、维护、检修各种搅拌设备可能遇到的工况,提出了最基本的要求。更多的安全要求应符合相关法规、标准、技术文件规定。

9 试 验 方 法

本章是新增内容。

原标准“搅拌设备制造、检验与验收”章节中有关试验和检验的部分条款并入本章。

10 检 验 规 则

本章是新增内容。

原标准“搅拌设备制造、检验与验收”章节中有关试验和检验的部分条款并入本章。

11 搅拌设备出厂要求

本章是新增内容。

规范各供货商对搅拌设备出厂资料、铭牌、油漆和防锈、包装和运输的要求。

附录 A 搅拌机数据表

本附录是新增内容。

通过表格形式,规范搅拌机数据表的形式,避免设计人员在提出搅拌机数据时,由于疏忽产生遗漏。

数据表的填写方式为,由买方填写主要工艺参数和工艺要求,其余需卖方确定内容由买方勾选“卖方定”选项。对于数据表没有涵盖的内容或者有特殊要求时,应在询价或签订技术协议过程中由双方商定,或者由供货商补充,并不限于附录 A 的内容。

附录 B 搅 拌 容 器

本附录将搅拌容器分为无夹套容器、夹套容器和带盘管容器三部分。

本附录增加和修改了部分例图,修改了一些计算方法。删除了对内盘管的具体要求。

凡在《压力容器》GB 150.1~150.4 标准中规定的内容,本附录不再重复。对《压力容器》GB 150.1~150.4 标准中没有规定的部分,本附录仍沿用原标准的计算方法。

原标准的计算方法移植了前苏联《夹套容器强度计算标准》ГОСТ 25867—83。编制单位没有继续跟踪该标准的最新变化,由于多年应用的成熟经验,该计算方法被保留在本附录中,供用户参考。采用其他国际通用的计算方法进行设计也是可以接受的。

B.3 带夹套容器

B.3.1 符号说明。本部分将部分公式符号进行了归纳和修改,集中列出,便于查阅。

B.3.3、B.3.4 计算方法的修订,是因为没有跟踪原计算方法的最新变化,并且原计算方法过于繁琐,使用起来不如新的计算方法简洁方便,使用范围广。

B.4 带盘管容器

带盘管容器按照盘管与容器的关系分为外盘管容器和内盘管容器。

删除了原标准中内盘管设置的具体要求,因为标准不宜对具体内容作出技术规定。

B.5 搅拌机对搅拌容器作用的附加规定

将型钢的许用挠度控制值由 $L/2000$ 改为 $L/1000 \sim L/2000$,由设计人员根据工况来选取,避免了以前硬性规定 $L/2000$ 造成简单工况下型钢较大的情况。

附录 C 搅拌桨与搅拌轴设计

本标准是按照《标准化工作导则 第1部分:标准的结构和编写》GB/T 1.1—2009的规则起草的,对标准正文作了修改和调整,搅拌桨与搅拌轴计算纳入本附录,目的是为了突出标准正文的技术要求。搅拌容器与搅拌轴计算方法没有变化,仍沿用原标准的计算方法。

搅拌桨浆叶常用材料安全系数增加了铝和铸铝材料的安全系数。

根据生产企业多年的生产实践,扩大了表 C.3.6-2 搅拌轴的抗振条件(柔性轴)的应用范围。

对搅拌轴的各个搅拌桨强度计算仅推荐了部分浆叶的设计方法,仅供参考。其他搅拌桨强度计算由供货商自行解决。

附录 D 搅拌设备工艺参数

工程实践中,影响搅拌设备工艺参数的因素较多,本附录是在原标准“附录 E”的基础上进行了调整和补充。

表 D.0.1、表 D.0.2-1、表 D.0.2-2、表 D.0.2-3 和表 D.0.3 可用于搅拌工艺参数的选取,对复杂工况,搅拌工艺参数的选取应依据工艺条件、成功的工程实例或实验手段来确定。

本标准所列的搅拌桨结构,根据近些年工程使用实例作了些补充,这只是目前最常用的一些结构形式。表 D.0.3 列出了多种搅拌桨在容器中的尺寸及通用参数,仅供参考。除特殊情况下需自行设计外,用户可选择应用表 D.0.3 的各种搅拌桨型式。

附录 E 搅拌机各零部件的传动效率

各种传动机械的传动效率不是一个定值,影响机械效率的因素较多,可按表 E.0.1 选取,在要求精确计算时,应根据各种机械影响机械效率的条件进行计算。

附录 F 搅拌机振动诊断

本附录是新增内容。

搅拌机的振源主要来自设计制造,安装调试、运行维修中的一些缺陷和环境影响。振动往往会破坏机器的正常工作和原有性能,振动的动载荷使机器加速失效、缩短使用寿命甚至导致损坏造成事故。机械振动还直接或间接地产生噪声,恶化环境和劳动条件,危害人类的健康。因此,要采取适当的措施使机器振动在限定范围之内,以减少危害。因此在搅拌机的振动诊断(或判定)中,要求设置预警值或报警值,以便反映设备是否有异常。

振动诊断标准分为绝对振动标准、相对振动标准和类比振动标准。

绝对振动标准是根据对某类设备长期使用、观察、维修与测试后的经验总结,并在规定了正确的测定方法后制订的。绝对标准是建立在一定理论基础和长期实测积累统计的结果之上。各企业应从自身设备状态实际出发,在参考绝对标准的基础上,逐步积累状态数据,建立设备诊断的相对标准。标准中表 F.0.2 是国内厂家的经验总结,仅供参考。

相对振动标准是对同一设备在同一部位(同一测量点、同一方向和同一工况)定期测量振动值并与正常运行的振动值进行比较,视其倍数判断设备是否异常的一种判别方法。相对标准中初值的确定极为重要,宜至少取 6 个有效数据进行平均后作为初值。在日本根据经验曾提出异常发生时的振动值大于或等于 1.6 倍初始值。

类比振动标准即对数台机型相同、规格相同的设备在相同条件下,对同一部分进行测定,并对测定值进行相互比较而判定某台设备是否发生异常。对于同规格型号、同运行状况的若干台设备在缺乏必要的标准时可采用类比标准进行状态判别。此类标准仅限于结构及工况比较简单的小型机械。

在实践中即使同类设备也难以找到同一标准。因为设备振动既与自身的差异(如制造、装配误差等)有关,又与安装、减振、实际工况等有关。故附录 F 所介绍的内容仅能作为参考,以这些标准作为分析的基础,采集大量的数据进行统计,不断摸索,建立符合实际的标准。

振动诊断标准并不说明某台设备在失效前能承受多大的振动幅值,而是给出一个最可能发生故障的预警值,以便提前采取避免故障发生的相应措施。

做好对每台设备长期的监测数据积累,并据此制定合乎实际的振动状态评价标准非常重要。参考绝对振动标准,根据制订的相对振动诊断标准掌握设备正常状态下的振动值和振动类型,一旦设备出现异常,就能快速准确地判断故障类型和故障严重程度,以便安排维修。

HG/T 20569-2013 《机械搅拌设备》勘误表

序号	页	行	更正前	更正后
1	P.32	倒数第 1 行	$l_1 = \frac{1}{n_1 - 1}$	$l_1 = \frac{l}{n_1 - 1}$
2	P.36	倒数第 1 行	$m = \begin{cases} 1.0, & \text{对于蜂窝锥体连接} \\ \min\left\{1; \left(\frac{a}{S_2}\right)^2; \left(\frac{S_0}{S_2}\right)^2\right\}, & \text{对于蜂窝短管连接} \end{cases}$	$m = \begin{cases} 1.0, & \text{对于蜂窝锥体连接} \\ \min\left\{1; \left(\frac{a}{S_2}\right)^2; \left(\frac{S_0}{S_2}\right)^2\right\}, & \text{对于蜂窝短管连接} \end{cases}$
3	P.44	倒数第 3 行	$[Y_r] = \frac{L}{1000} - \frac{L}{2000}$	$[Y_r] = \frac{L}{1000} \sim \frac{L}{2000}$
4	P.45	倒数第 8 行	$[Q] = 2.09\phi_c D_1 (\delta_n - C) \sigma'_t$	$[Q] = 2.09\phi_c D_1 (\delta_n - C) \sigma_s^t$
5	P.53	第 6 行	M_{n1}	$M_{n\downarrow}$
6	P.60	第 9 行	$F = 2500 \cdot \frac{M_J}{D_J}$	$F = 2500 \cdot \frac{M_I}{D_J}$
7	P.71	倒数第 8 行	$m_{Lle} = \frac{4}{\pi} d_{Ll}^2 L_1 [\rho_s (1 - N_0^2) + \rho] \times 10^{-9}$	$m_{Lle} = \frac{\pi}{4} d_{Ll}^2 L_1 [\rho_s (1 - N_0^2) + \rho] \times 10^{-9}$
8	P.71	倒数第 6 行	$m_{Le} = \frac{4}{\pi} d_L^2 L [\rho_s (1 - N_0^2) + \rho] \times 10^{-9}$	$m_{Le} = \frac{\pi}{4} d_L^2 L [\rho_s (1 - N_0^2) + \rho] \times 10^{-9}$
9	P.72	第 4 行	$m_{ie} = m_i + \eta_{ki} \frac{4}{\pi} D_{ji}^2 h_i \cos \theta_i \rho \times 10^{-9}$	$m_{ie} = m_i + \eta_{ki} \frac{\pi}{4} D_{ji}^2 h_i \cos \theta_i \rho \times 10^{-9}$
10	P.78	倒数第 7 行	$F_A = \frac{\pi d_o^2 p}{4} \pm F_w \cos a \pm \sum F_{vi}$	$F_A = -\frac{\pi d_o^2 p}{4} \pm F_w \cos a \pm \sum F_{vi}$