# 磁力泵配置内外循环冷却方案处理聚合物应用

唐宏志[1)]，吴金松[2)]
(1.福陆(中国)工程建设有限公司，上海 201103； 2.巴斯夫(中国)有限公司，上海 201103)

摘　要：本文结合了磁力泵在丙烯酸叔丁酯(TBA)装置中的应用，阐述了磁力泵在处理化工聚合物时所遇到的问题，介绍了磁力泵配置内循环冷却与外循环冷却两种方案的使用情况，分析了采用内循环冷却方案的局限性及原因，提出了配置外循环冷却方案在处理化工聚合物流体时的优势。本文为磁力泵在处理化工聚合物的选型设计提供参考。

关键词：磁力泵；内循环冷却；外循环冷却；化工聚合物；TBA；

**Application of magnetic driven pumps equipped with internal and external circulation cooling solution for handling polymers**

Tang Hongzhi[1)], Wu Jinsong[2)]
1. Fluor (China) Engineering & Construction Co., Ltd, Shanghai 201103
2. BASF (China) Co., Ltd, Shanghai 201103

Abstract: This paper combines the application of magnetic driven pump in tert-butyl acrylate (TBA) plant, describes the problems encountered by magnetic driven pump in handling chemical polymers, introduces the use of magnetic driven pump with internal and external circulation cooling, analyzes the limitations and reasons for using internal circulation cooling, and proposes the advantages of external circulation cooling in handling chemical polymer fluids. This paper can provide reference for selection design of magnetic driven pumps in handling chemical polymers.

前言

在石化装置中，由于工艺介质大多具备有毒有害，易燃易爆的性质，普通的化工泵难以解决普遍存在的跑、冒、滴、漏的问题，而且随着人们环保意识的增强，无泄漏离心泵的使用将越来越受到行业的认可。然而对于输送含有聚合性质的物料时，屏蔽泵由于其内部结构的特性而使用受到限制，故通常选用磁力泵。

为满足部件的强度要求，磁力泵大多采用金属隔离套，从而不可避免由涡流损失而带来的发热问题，如不能将此热量及时冷却、转移，待温度达到磁缸的居里温度时，则可能引起磁缸退磁失效、隔离套过热变形至破裂而发生泄露的风险；另外，由于滑动轴承与泵轴间的相对运动作用，若得不到及时润滑，滑动轴承则会很快损坏，产生的摩擦热若不冷却或转移，则会引发介质的汽蚀现象，因此，磁力泵需要设置有效的冷却循环回路[1,2]。

现阶段对磁力泵的研究主要集中在联轴器磁力性能，内部流动特性及有效的监控措施等方面[3~7]。然而，对输送聚合性的物料的磁力泵配置外循环冲洗方案的研究及实际应用还比较少。对于在 TBA 装置中，工艺流体中含有的丙烯酸叔丁酯，因其具有独特而又活性强的极性分子、不饱和双键及羧酸酯(－COOR)结构，易于与原料中的丙烯酸反应生成聚合物，其可能发生聚合反应的温度为 30~45℃[8]，且含有磨蚀性颗粒，故在处理这样的泵送介质时给磁力泵带来较大困难，特别是国内的磁力泵厂商面临巨大的挑战。本文结合了磁力泵在 TBA 装置中的应用，介绍了内循环冷却与外循环冲洗方案在泵选型设计中运用的情况，为磁力泵在处理化工聚合物的选型设计提供一定的选型设计参考。

## 1.磁力泵的原理及设计

### 1.1 工作原理

磁力泵主要由泵头、磁力联轴器（内、外磁缸及隔离套）和电机等几个部分组成。叶轮与内磁缸相连，电机与外磁缸相连，隔离套位于内磁缸与外磁缸之间，从而将内、外磁缸完全隔开，只使内磁缸处于流体介质之中；当电机旋转时，带动外磁缸同步旋转，由于磁极之间的磁场作用力，驱动叶轮同步转动，从而实现转矩传递的功能，最后达到输送流体介质的目的。

1.2 循环冷却方案设计

磁力泵的循环冷却方案主要分为两种：一种为内循环冷却方案，即通过在泵腔内高压部位设置导流孔，迫使液体在隔离腔内循环流动来进行冷却和润滑，流程如图 1-a 所示；另外一种是在靠近泵出口位置开设引管，将泵送流体通过外循环管路接入泵后盖上开设的导流孔道，强迫液体循环的方式来进行冷却和润滑，即称为外循环冷却方案，流程如图 1-b 所示。

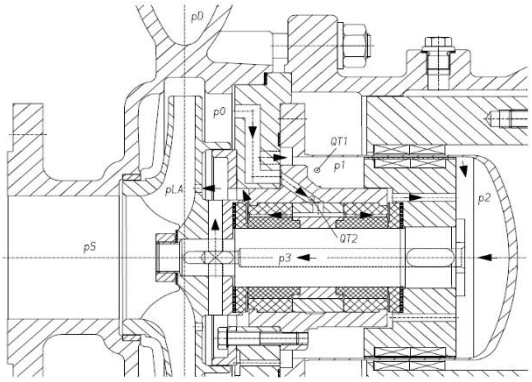


图 1-a 内循环冷却方案流程示意图

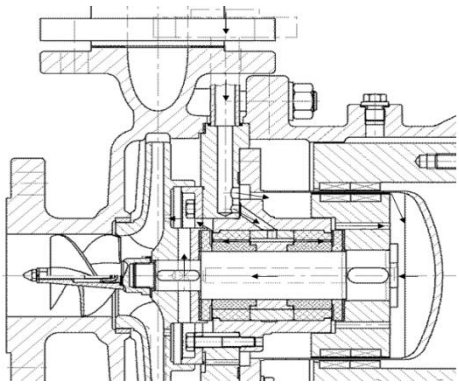

图 1-b 外循环冷却方案流程示意图

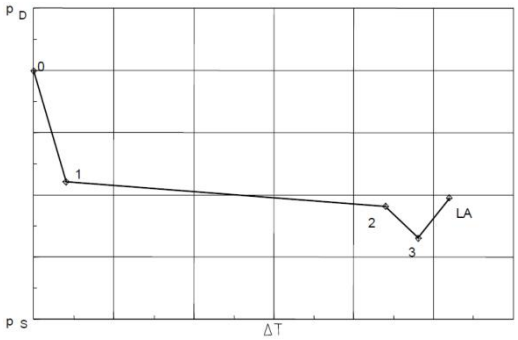


图 1-c QT1 的压力与增温趋势图

注释：

p0:泵后腔循环流体压力；
p1:循环流体刚入隔离腔压力；
p2:循环流体经过耦合磁场后压力；
p3:循环流体流经泵轴中心回流孔道压力；
pLA:流体叶轮弯道处压力；
pS:泵吸入口压力；
pD:泵排出口压力；
QT1:冷却隔离套与内磁缸间涡流热量的流体；
QT2:冷却滑动轴承摩擦热量的流体；
ΔT:流体升高的温度；

两种循环冷却流道内的压力分布规律基本相同，均是高压流体 p0 经过导流孔、隔离套间隙、回流孔道流入叶轮进口处低压区的过程中，由于流道的沿程阻力损失，压力逐步降低。如图 1-c 所示的 QT1 的压力与增温趋势图。图中回流孔中的压力 p3 低于平衡孔出口叶轮弯道附近压力 pLA，分析其原因在于高速流过轴上回流孔道后进入泵后背腔，与从滑动轴承间隙流溢出来的流体方向垂直冲撞而产生混流，后又经平衡孔流出的循环流体与泵进口腔内的介质发生碰撞而引起紊流，导致该区域出现小范围的较低速区域，根据能量守恒原则，循环流体减小的动能转换成局部势能，故出现压力 pLA 略高于 p3 的情况。循环流道中流体升高的温度，取决于所处的磁场特性，例如在允许的操作范围内，循环冷却水的温度可以增加 1℃至 4℃，或者更高[9]，因此，对于易发生汽化的流体，应将温升控制到最低来进行设计。

**2.循环冷却方案的选用**

对于这两种循环冷却方案的选用原则，行业上有这样的推荐：对于中小功率的磁力泵，一般采用内循环方案冷却润滑；对于较大功率的磁力泵，一般采用外循环方案进行冷却润滑。但对含有固体颗粒的流体，在选用循环冷却方案时，还需要考虑流体的特性，例如流体的固体颗粒含量，颗粒的尺寸，固体的物理性质等。国际上知名的磁力泵 K 制造商有这样选用指导，见表 1 所示。

| | 泵型式 | 固体颗粒的最大含量(w%) | 颗粒最大尺寸(mm) | 固体颗粒物性 | 过滤器精度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 不带过滤器 | 1% | 0.4 | - 无磨蚀性<br>- 无磁性<br>- 无粘性 | 不适用 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 带内置过滤器 | 3% | 75%叶轮叶片厚度 | - 无/有磨蚀性<br>- 无/有磁性<br>- 无粘性 | 1.5 mm |
| 3 | 带外置回路过滤器 | 10% | 75%叶轮叶片厚度 | - 无/有磨蚀性<br>- 无/有磁性<br>- 无粘性 | 0.4 mm |
| 4 | 带吸入口过滤器 | 10% | 75%叶轮叶片厚度 | - 无/有磨蚀性<br>- 无/有磁性<br>- 无粘性 | NPSH 无需苛刻条件要求时：0.5 mm |
| 5 | 带外接冲洗系统 | 20% | 0.02 | - 无/有磨蚀性<br>- 无/有磁性<br>- 无/有粘性 | 如果固体颗粒都很小和/或有结晶或聚合的风险，则需要接外部冲洗。 |

从表 1 中可以得出：前两种工况，磁力泵采用的是内循环冷却方案，对于不带过滤器的内循环冷却方案，其对流体介质中固体颗粒的含量、尺寸以及其物理性质，都有较苛刻的要求；当配置内置过滤器后，由于过滤筛孔将尺寸较大且较硬的固体颗粒阻挡于循环流道之外，确保了内循环冷却方案的正常进行，故可适当增加了磁力泵的适用工况；后三种工况，磁力泵采用的是外循环冷却方案，当在磁力泵的排出口或吸入口加设外置过滤器后，输送流体中的固体颗粒含量可以增大到 10%；当配置外接冲洗系统时，输送流体中的固体颗粒含量可以进一步增大到 20%，但是由于外接冲洗系统需要考虑冲洗液与泵送工艺介质的兼容性，以及随后下游流程中将冲洗液分离出来的工艺难易程度[10]，并且还要考虑对磁力泵进行额外特殊设计后性能的可靠性，故此方案在选型设计中很少考虑，本文对配置外接冲洗系统也不做过多分析。

2.1 内循环冷却方案使用的局限性及原因

在整个 TBA 装置中，工艺流体介质种类繁多，面对易发生聚合的泵送流体，首要任务就是要将较大的聚合物过滤分离出来，以避免聚合物堵塞循环流道，填塞内磁缸与隔离套之间的传动间隙，或者填塞滑动轴承的运转间隙，这些对磁力泵来说，一旦发生，都将是致命的伤害。

对于不带过滤器的内循环冷却方案，在处理含有聚合物/颗粒的流体时，对聚合物/颗粒的含量、尺寸以及其物理性质，都有较苛刻的适用要求。但各个磁力泵制造商的具体数值与以上表 1 中的数据可能不同，这个应根据各制造商技术特点来定。如国内磁力泵 H 制造商，为 TBA 装置某工段中提供的磁力泵的结构如下图 2-a 所示，为了防止聚合物/颗粒对内循环流道的堵塞，将部分流道的尺寸进行了特殊化的设计，以满足流体在内循环冷却方案中的各流道中正常流动，才能保证磁力泵的正常运行，这也是磁力泵最普遍适用的场合。

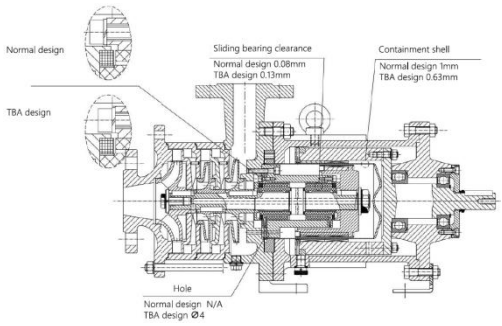


图 2-a 磁力泵针对 TBA 的特殊设计

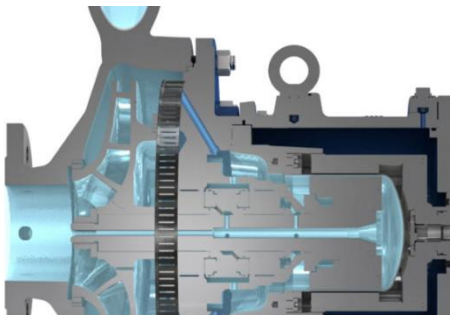

图 2-b 内置过滤器的布置位置

对于输送聚合物/颗粒含量较大，尺寸较大或具有磨蚀性的流体时，磁力泵可以采用内置过滤器，内置过滤器一般配置在泵腔体高压区的泵压盖上开设的导流孔进口处，如图 2-b 所示。加设这样的内置过滤器，就可以将较大的聚合物/颗粒且带磨蚀性、铁磁性的颗粒阻止在循环流道之外，降低对循环流道的堵塞，对隔离套和滑动轴承损坏的风险。内置过滤器的使用，确保了内循环冷却方案的正常进行，增加了磁力泵的适用工况。

但是，从现场运行的反馈来看，即使配置了内置过滤器，磁力泵也会出现损坏的现象，分析其原因，这可能是由于工艺流体介质组分太复杂，或者是因工艺包的技术保密性而无法提供具体的组分信息，选型设计对组分了解不够清楚，致使设定的内置过滤器精度不够合理，导致聚合物/颗粒含量、尺寸及其物理性质超过了实际内循环冷却方案的适用范围；此外，由于内置过滤器具有非可视化性，若出现超负荷的堵塞，在泵体外也不易于及时发现，只能通过监测隔离套的温度变送器的高温报警信号来体现，但由于此监测手段对磁力泵来说普

遍具有滞后性，即使出现了高温报警，其内部过流部件，特别是滑动轴承早已在欠流体润滑的状态下运行，轴瓦与固体颗粒摩擦，其表面已经出现磨痕甚至损坏；最后，保障内循环冷却的内置过滤器，由于当前还没有在线清洗或更换的便捷功能，若出现堵塞现象，需要停机拆泵才能进行维修更换，这样给装置运行的连续性及可靠性带来巨大的不便。

在 TBA 装置中，丙烯酸叔丁酯与丙烯酸易发生聚合反应，生产的聚合物附着在内置过滤器上，容易堵塞过滤器的筛孔，进而影响内循环冷却润滑的效果。因此，磁力泵配置内循环冷却方案只适用在上游或者辅助工艺流程中，而对含有丙烯酸叔丁酯的产品流程则不适合。这就是磁力泵配置内循环冷却方案在实际运用时的局限性。

2.2 外循环冷却方案的使用及优势

外循环冷却方案对过滤器放置的位置，一般有两种，即泵管线上的吸入口或排出口，然后在泵的排出口处引出一路高压高速流体，连接到在泵盖板上开设的导流孔，从而进行强制外循环冷却、润滑的效果。如图 2-c 所示，此种外冲洗方案如同 API682 的冲洗方案 Plan12 类似，泵排出口过滤器将流体中较大尺寸和/或含量较多的聚合物/颗粒排除，将适合循环冷却流道的流体引出，送至导流孔，然后经循环流道进行强制冷却润滑。但是，这种将过滤器放置在泵吸入口或排出口的方案，只适用于对连续工作没有太高要求的工况，因为一旦流体中聚合物/颗粒的含量较大，或者尺寸较大，过滤器需要定期拆卸清洗，这务必将磁力泵执行停机。

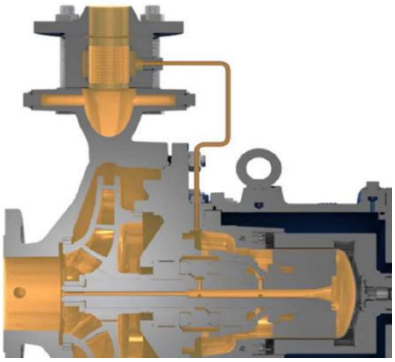

图 2-c 泵排出口设置过滤器的外循环冷却方案

TBA 装置中，根据以上设计的不足，通过将泵排出口的过滤器调整到外循环管路上，考虑到操作的连续性，将一个过滤器改成两个过滤器一备一用并列布置的形式；过滤器可以设计成多种形式，如磁性过滤器，篮式过滤器，离心过滤器等，设计时可以按照流体颗粒的物理性质来选择适宜的过滤器类型，比如流体中含有带磁性的固体颗粒，配置磁性过滤器比较理想的选择；另外，在过滤器前后增设两个压力表或者一个压差表，通过压力表/压差表盘的数值，可以判定过滤器中聚合物/颗粒的聚集情况，当达到设定的数值后，即可对当前运行的过滤器进行清洗或更换，通过加设相应的阀组，使清洗、更换及检修过滤器的过程实现在线操作。具体设计如图 2-d 及 2-e 所示。此操作方式简单，灵活且具有可视化的性质，无需停机，满足装置生产的连续运行的需求。

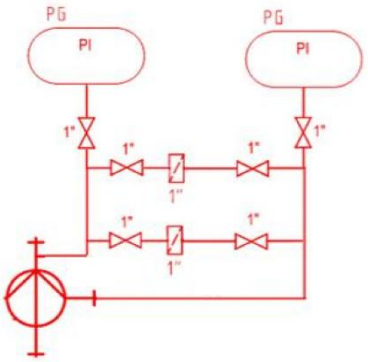


图 2-d 双过滤器的外循环冷却方案流程图

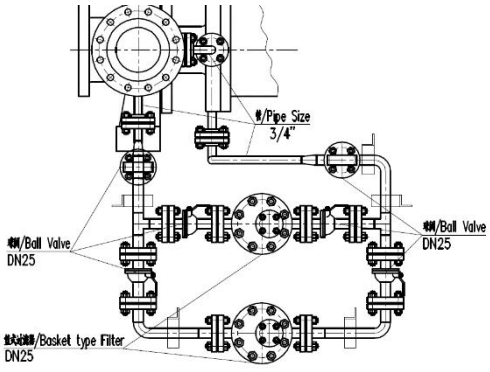


图 2-e 双过滤器的外循环冷却方案布置图

## 3 结论

在 TBA 装置中，配置内循环冷却方案的磁力泵，通过在泵腔高压部位设置导流孔，迫使液体在隔离腔内循环流动来进行冷却和润滑，但由于各流道部位尺寸的限制，只适用流体中含有一定量的、尺寸较小的聚合物/颗粒；即使加设内置过滤器，由于丙烯酸叔丁酯与丙烯酸形成的聚合物附着在内置过滤器上，容易堵塞过滤器的筛孔，进而影响内循环冷却润滑的效果，从而形成了实际使用的局限性。因此，磁力泵配置内循环冷却方案只适用在上游或者辅助工艺流程中，而对含有丙烯酸叔丁酯的产品流程则不适合。

配置外循环冷却方案的磁力泵，由于过滤器设计的位置是在泵管线上的吸入口或排出口，然后在泵的排出口处引出一路高压高速流体，接入至循环流道来进行冷却、润滑，可以适当拓宽对含聚合物/颗粒量的处理工况。另外，若对磁力泵有连续化工作的要求时，可以将过滤器调整到外循环管路上，设置两个过滤器并列布置，选用合适的过滤器类型，加设压力或者压差表，配置对应的阀组，就可以使清洗、更换及检修过滤器的过程实现灵活简单化的在线操作，无需停机，满足装置生产的连续运行的需求。

## 参考文献


[1] 赵克中. 磁力驱动技术与设备 [M] . 北京：工业装备与信息工程出版中心，2004.

[2] Clark D. Common Industry Myths About The Magnetic Drive Pumps [J] . World Pumps，2004（455）：20-23.

[3] A.Wallace, A. von jouanne, A. Rame. A Permanent Magnet Coupling With Rapid Disconnect Capability [J]. IET Electric Motors and Drives. 2000, 82(01): 058-064.

[4] 窦新生，赵克中，徐成海. 磁力驱动技术的磁路分析及磁转矩计算[J]. 化工机械，2004,06:357-360.

[5] 孔繁余,王志强,吕毅,刘厚林,张旭锋. 基于内流场数值模拟的高速磁力泵性能研究[J]. 石油机械,2009,04:31-34.

[6] 黄建军，孔繁余，等. 无密封泵运行监控设计[J]. 水泵技术，2007，(5)：20-23.

[7] 关红艳，杨逢瑜，王其磊. 磁力泵运转状态监控系统的研究[J]. 流体机械，2010，38(7)：42-44.

[8] 杨仙健 等，丙烯酸与异丁烯酯化合成丙烯酸叔丁酯动力学[J]. 化学反应工程与工艺，2015，31(1)：63-68.

[9] 谭林伟，施卫东※，孔繁余，张德胜. 磁力泵冷却循环回路的设计及数值模拟[J]. 农业工程学报，2015，31(8)：84-91.

[10] 陈金祥. 磁力泵的外置冲洗方案浅析[J].机电信息， 2021， 28，71-72.



投稿人简介：

姓名：唐宏志（1987—， 男，汉族，重庆人，工程师，现从事化工机泵选型设计工作）