

什么是磁流体

What is Ferrofluid?

一种会对磁铁产生反应的液体。它既不是固体磁铁，也不是普通的油，而是第三种材料。将纳米级磁性颗粒分散在油中制成的这种液体，施加磁场时会改变形态，撤去磁场后又立即恢复为普通液体。它之所以被用作半导体真空设备的密封材料，正是源于这一特性。

约 10 nm

磁性颗粒直径
约为头发丝粗细的万分之一

三种成分

磁铁矿 · 表面活性剂
· 基载液

超顺磁性

撤去磁场后
磁性立即消失



MAGRON CO., LTD.

磁流体 · 馈通 · 磁体专业制造商

01 磁流体由什么构成

COMPOSITION

磁流体（Ferrofluid）是带有磁性的液体。将磁铁靠近这种黑色液体，整团液体都会被吸向磁铁。

液体之所以能像金属一样对磁铁产生反应，原因很简单：将磁铁矿或氧化铁等磁性物质研磨得极细后混入油中。但若只是单纯混合，粉末会沉淀或相互团聚。防止这一现象的，正是第三种材料——表面活性剂。

01 NANOPARTICLE

磁铁矿

直径约 **10 nm (100 Å)** 的磁性超微颗粒，采用磁铁矿·氧化铁系材料。只有小到这种程度，才能悬浮于液体之中。

02 SURFACTANT

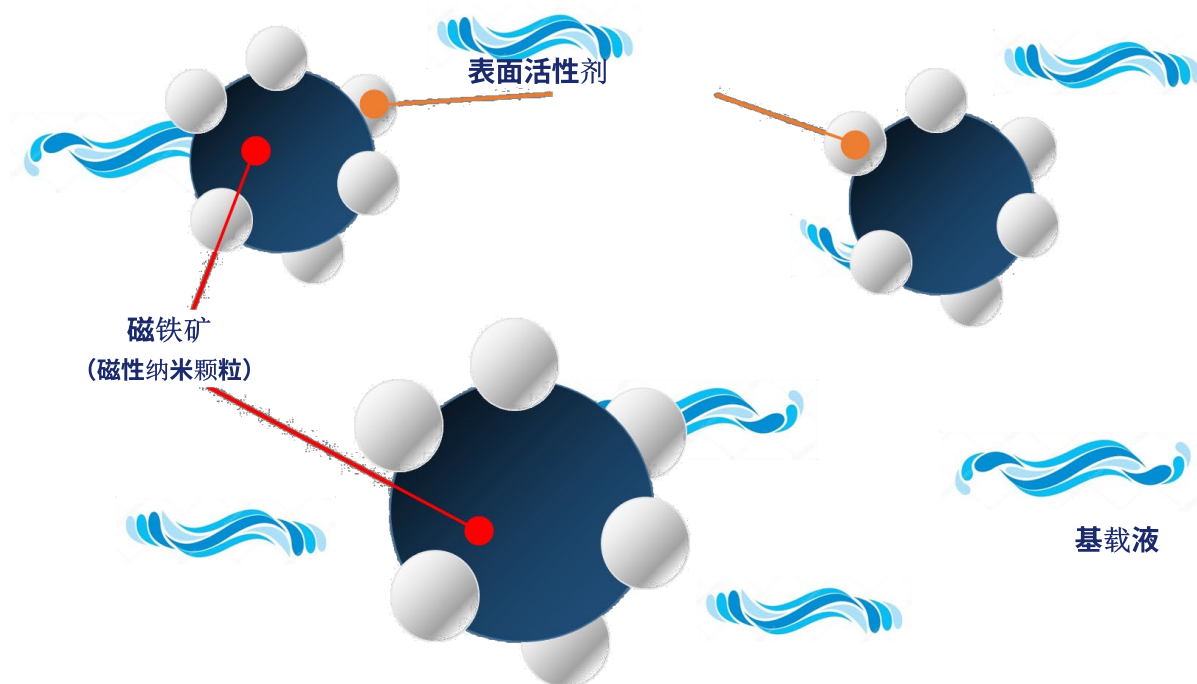
表面活性剂

吸附在颗粒表面形成薄膜，阻止颗粒相互黏附，使其保持**稳定的胶体状态**。

03 CARRIER FLUID

基载液

承载颗粒的基础液体。可根据使用环境，从**碳氢系、硅油系、氟系（PFPE）**中选择。



磁流体的基本结构——表面活性剂包覆的磁铁矿颗粒均匀分散于基载液中

10 纳米到底有多小？ 约为人类头发丝粗细的万分之一。只有小到这种程度，油分子推挤与碰撞的力量才会超过使颗粒下沉的重力，颗粒因而能持续悬浮在液体中。

02 为什么不会沉淀而保持液态

STABILITY

把磁性粉末放入油中，通常会团聚并沉淀。磁流体之所以历经长时间仍能维持均匀的液体状态，是两种力量共同作用的结果。

FORCE 01

布朗运动

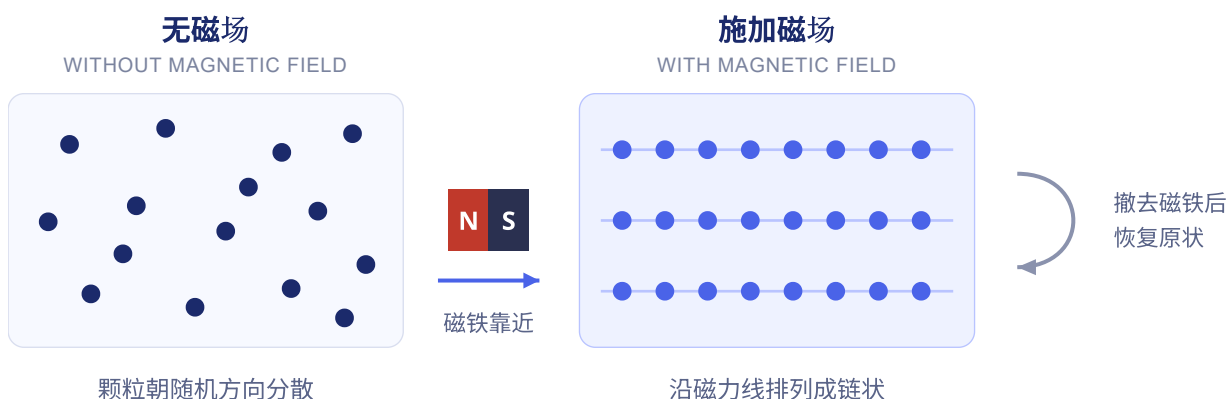
油分子不停地从四面八方撞击磁性颗粒。由于颗粒仅为 10 nm 级，仅凭这些碰撞就足以让它们持续漂浮。

FORCE 02

颗粒间斥力

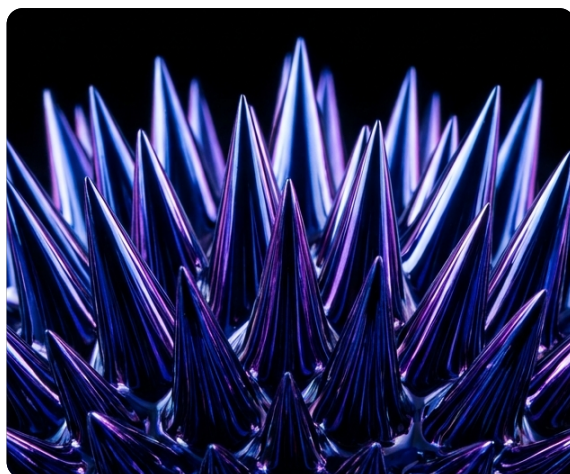
被表面活性剂包覆的颗粒表面彼此排斥。即使靠近也无法黏合，因此不会发生团聚。

得益于这两种力的平衡，磁流体的分散稳定性**在失重状态下以及强磁场之中都不会被破坏**。施加磁场时颗粒会沿磁力线排列，撤去磁场后又重新随机分散，恢复为原本均匀的液体。



尖峰形状是如何形成的

把磁流体放在磁铁上，表面会隆起成尖锐的尖峰 (spike)。磁力试图沿磁力线方向把液体向上牵引，而表面张力与重力则试图把表面拉回平坦。两种力相互抗衡，最终稳定在能量最低的形态，就形成了这种规则的锥峰阵列。这一现象称为**正常场不稳定性** (normal-field instability)，是磁流体确实在对磁场产生反应的直观证明。

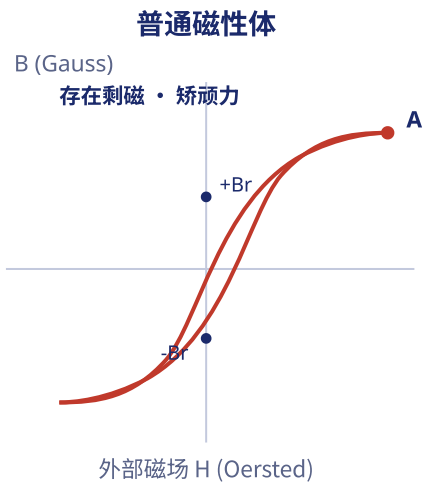


03 核心特性 —— 超顺磁性

施加磁场即成为磁体，撤去磁场则磁性立即消失。

这是磁流体最重要的特性。普通磁铁一旦被磁化，即使撤去外部磁场仍会残留磁性（剩磁）。磁流体则不然：磁场为 0 时磁性也为 0，回归为普通液体。这种特性称为超顺磁性（Superparamagnetism）。

状态	磁流体的行为
磁场为 0	无磁性，行为与普通液体完全相同。
施加磁场	颗粒沿磁力线排列并被磁化。持续增大磁场会达到不再增强的极限，该值称为磁饱和值。
撤去磁场	磁性立即消失。由于没有剩磁（Br）与矫顽力（Hc），不会出现磁滞现象。



磁化曲线（B-H 曲线）对比 —— 普通磁性体会画出宽阔的磁滞回线，而磁流体只画出一条通过原点的 S 形曲线

这一特性为何重要。 没有剩磁，意味着无论重复多少次都会回到与最初相同的状态。用作旋转轴的密封（seal）时，设备长时间运转也不会改变磁流体的特性，始终在同一位置重新形成同样形态的液态 O 形环。没有接触磨损的部件，使用寿命因而更长。

磁流体是**唯一能够依靠磁场固定位置的液体**。利用这一点，可以用液体封住旋转轴与真空腔体之间的间隙。与固体密封（seal）不同，没有接触磨损的部位，因此无摩擦、寿命长。

MAIN

真空馈通密封

磁铁与磁极片形成的磁场，把磁流体以**液态 O 形环**的形态固定在轴周围，维持高真空。叠加多层密封环，可承受的压力也随之提高。

CONSUMER

渔线轮防水

注入渔线轮内部磁铁之间，可形成在旋转过程中依然保持的防水膜，阻止海水侵入与腐蚀。

EDUCATION

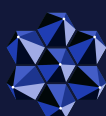
展示套件

可直接用肉眼观察磁流体尖峰现象的展览·教学用套装。

应用产业

产业	具体应用
半导体	CVD · 溅射设备，离子注入机，刻蚀设备，真空传输机器人，离子束设备
显示器	LED · OLED 制造设备，薄膜面板，真空吸盘，阳极 X 射线发生装置
能源	太阳能电池板，新能源电池，核聚变
一般制造	单晶生长炉，真空炉，搅拌组件
航空航天 · 医疗	航空航天，核工业，医疗影像设备（CT 等）

MAGRON 会根据用途选用不同的基载液。 对于流通腐蚀性气体的半导体工艺，采用化学性质稳定的 PFPE（氟系）产品系列；对于惰性环境，则采用硅油系 · 碳氢系产品系列。也可按照要求的规格进行定制生产。



MAGRON CO., LTD.

韩国京畿道安山市常绿区海岸路 705 号 京畿科技园 3 栋 403 室（邮编 15588）

TEL +82 31-500-4633 · FAX +82 31-500-4631 · magron@magron.co.kr

www.magron.co.kr · www.ferrofluidmagron.com