

# 超导磁共振冷头的原理和维修

目前超导技术主要应用于医学上的核磁共振成像方面，低温制冷技术作为超导技术的重要组成部分之一，在整个超导系统中起着关键作用。目前无论低温超导材料，还是所谓高温超导材料仍需要在低温下才能达到超导临界点，一旦温度超过临界点，材料就会产生电阻，失去超导性，因此低温制冷机的运行在整个超导装置中起着至关重要的作用。本文主要对超导磁共振冷头的原理和维修进行阐述，如下：

## 1.冷头的种类

医用 MRI 设备的核心部件是一个高磁场强度的低温超导磁体，超导线圈浸泡在 4K (— 269oC) 左右的液氮之中，以实现超导。MRI 用低温制冷机从温度上区分为 4K 制冷机与 10K 制冷机两种，其中 4K 制冷机因为可以将磁体蒸发出来的氦气全部液化，从而实现磁体液氮的零消耗，成为 MRI 使用的主流低温制冷机。

## 2.冷头的构造和原理

GM 型低温制冷机是南 W.E.Gifford 与 H.O.McMahon 于 1959 年发明，目前世界上 95% 以上的 MRI 均配备了 GM 型低温制冷机。GM 低温制冷机系统由膨胀机(冷头)、气体发生器(氦气压缩机组)、连接管道组成，关键部件是膨胀机，其南阀组配气系统、汽缸、高效低温蓄冷器、排出器、冷端换热器、热端换热器组成。其产生冷量的基本过程是高压气体在汽缸中换热、膨胀制冷、与蓄冷器换热储存冷量、输出冷量。目前世界上采用的蓄冷材料主要是一系列磁性蓄冷材料。

我院核磁为西门子 avanto1.5TMRI，配置了日本住友生产的低温制冷机 RDK408L2。该机为 GM 型两级 4.2K 冷头，\*制冷温度达到 3.1K，在 4.2K 温度下可以输出 1 瓦的冷量。磁体蒸发出的氦气被引入再冷凝器重新液化，实现了 MRI 磁体液氮的零消耗。MRI 低温系统由冷水机、氦压缩机组(型号：CSW -71)、冷头及联接管路组成。在设备运行中应密切关注各个组件的运行状态，并做好日常记录，出现故障应及时维修，否则会导致磁体温度压力上升，液氮大量挥发，成像现伪影，甚至不能成像，最严重的情况是磁体失超给医院造成巨大的经济损失。

## 3.故障及维修实例

### 3.1 故障原因

我院核磁室报修冷头故障显示，现场发现冷头停止运行，氦压缩机液晶屏显示故障：Helium temp.err 复位后冷头可以正常运行，但运行半小时左右冷头再次停机，报相同故障。反复几次均是同样现象，用手摸压缩机组外壳发现外壳温度很高，接近 60℃。冷水机水温 11~C，正常。打开压缩机组机壳发现机壳底部有大量油迹，仔细检查发现压缩机底部一直径 6mm 铜管接头处松

动滴油，用扳手拧紧后不再漏油。观察压缩机油镜无法看到油面，判断造成压缩机排气温度过高的原因是南于氨压缩机润滑油泄漏造成的，因此必须加注润滑油。

### 3.2 故障维修过程

①润滑油型号的选择南于氦气的绝热指数远高于氟利昂，导致氨压缩机运行时的温度接近 120°C，普通的制冷压缩机油在这种状况下长期运行会失去必要的粘度甚至分解失效，经与润滑油厂家讨论我们选择了一种合成机油，该润滑油在 200°C 的高温下具有良好的稳定性，在 150°C 条件下可长期使用。

②解决润滑油中易挥发杂质的问题，由于冷头的工作温度为 -269°C，任何除了氦以外的物质都会在冷头的蓄冷器中固化，堵塞微小换热通道造成冷头制冷效率的大幅下降。因此氨压缩机提供给冷头的氦气纯度需要达到 99.999% 以上，而润滑油由于生产与储运过程中必然会有一些杂质，如何去除这些杂质是保证氨压缩机正常运行的关键因素。我们将润滑油装在一个密闭金属容器中，利用沸水浴的方法将润滑油加热到 100 摄氏度并保持此温度 3h，同时利用真空泵抽走易挥发的杂质，基本保证得到“纯净”的润滑油而不会对系统造成污染。

③将处理好的润滑油加入压缩机由于氨压缩机充有 16bar 的高纯氦气，为不使冷头受到污染，我们将处理好的金属容器中充入了 18bar 的高纯氦气，利用压力差将容器中的润滑油压入氨压缩机，充注的同时密切观察压缩机油镜，当油面刚刚超过油镜时立刻关闭阀门，停止加油，以防止注油过多影响压缩机效率。

### 4.冷头的维护和保养中的注意事项

通过上述维修过程，我们开机试运行冷头一切正常，磁体压力 5h 后恢复正常，目前该冷头已正常使用，未再出现过故障。我们认为对冷头的维护和保养应注意：值班人员应每天记录液氦面值，如发现上升趋势及时采取措施。注意监听冷头工作鸣音，密切观察氨压机的压力值以及冷水机的工作状态，做好冷水机组室外机的清洁工作。活塞(displacer)是制冷的关键部件，活塞长年以 2Hz 的频率在缸筒内往复运动造成气密不严、制冷效率下降。更换冷头活塞需要将冷头停机，更换活塞后应对冷头内部进行纯化，使系统内充满相应压力的高纯度氦气。另外，吸附器应定期更换，有利于延长冷头的使用寿命。吸附器的主要成分是活性炭，一定时间后会饱和，失去吸附作用会跟随氦气污染管道，进入冷头中冻结，造成活塞急剧磨损。

综上，预防冷头故障的发生需要广大工作人员精心的维护与保养，详细记录故障的现象，通过分析判断故障发生的原因进行排除等，同时要掌握其作用的基本理论及基础知识，熟悉冷头的结构、性能及常用的技术指标，才能提高设备运转的效率，减少故障的发生。因此，要求我们应定期进行检查和保养，而绝不能在发生故障后再进行检修。本文中，我们通过本院的技术迅速而及时地解决了 MRI 冷头出现的故障，为医院节省了大量的费用。