



GE Signa HDe 1.5T MRI 冷却系统结构、原理及故障分析

江金伟

南京市浦口区中心医院设备科

【摘要】超导环境对于超导型MRI是至关重要的,而冷却系统是建立超导环境的重要保障。本文主要介绍冷却系统的结构、原理以及故障分析。

【关键词】 MRI; 冷却系统; 故障分析

【中图分类号】 R197.39 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1674-9561 (2016) 08-014-02

The structure, principle and fault analysis of GE Signa HDe 1.5 T MRI cooling system

Jiang jin wei

Equipment Department, Nanjing Pukou Central Hospital, Nanjing Jiangsu

【Abstract】 The superconducting environment play a very important part in superconducting MRI, and cooling system is an important guarantee of establishing superconducting environment. This paper mainly introduces the structure, principle and failure analysis of the cooling system.

【Key words】 MRI; cooling system; failure analysis

在现代医学中,影像设备已成为诊断疾病的重要方法。其中,MRI在神经系统、脊柱、纵膈、心脏大血管、腹部病变、骨骼肌肉、四肢关节病变等具有较大优势^[1]。MRI是现代医学影像领域中最先进、最昂贵的影像设备之一^[2]。

MRI磁体有永久磁体、常导磁体和超导磁体3种,大多数MR成像系统采用超导磁体^[3]。我院引进的是美国GE公司新一代高场超导磁共振Signa HDe 1.5T,该MRI具有成像速度快,噪音小,图像清晰等主要特点,可明显提高病变的检出率。

超导MRI系统通常由主磁体、梯度线圈、射频线圈、计算机系统、冷却系统及其他辅助设备六部分构成,其中冷却系统是超导MRI维持超导状态的关键性部件。良好、稳定的冷却系统保证了超导环境的存在,同时降低了液氮的消耗,减轻磁共振运行成本^[4]。

一、冷却系统结构

冷却系统是超导磁共振系统维持超导环境的关键性部件^[5]。MRI冷却系统由冷头、氦压机、水冷机、磁体监视器组成。

1. 冷头

冷头是既是制冷部件,又是一个膨胀机。经过压缩机压缩的低温高压氦气在冷头膨胀带走周围的热量,并且通过两级缸套端面的钢线圈将能量传输到磁共振的两级屏蔽上,保持超导线圈环境温度^[6]。冷头的使用寿命一般在一年半到两年半之间^[7]。

2. 氦压机

氦压机主要将冷头输送过来的低温高压氦气压缩成高压低温氦气,并且将产生的高压低温氦气输送给冷头。氦压机为冷头提供电源,当氦压机停止工作时,冷头也将停止运行。

3. 水冷机

水冷机是MRI关键的外围设备之一,其能否正常运行直接关系到核磁共振能否正常工作^[8]。水冷机主要给氦压机提供20℃冷却水,带走氦压机产生的热量,保证氦压机正常运行。当水冷机发生故障,氦压机将发生高温报警而停止工作。

4. 磁体监视器

监视磁体、氦压机各项数据,数据超标时,给出警告信息。当液氦压力低于3.9PSI时,磁体监视器加热指示灯点亮,同时给磁体发送信号,加热器开始加热,液氦压力会不断上升。当液氦压力在正常范围时,加热停止。

二、冷却系统原理

1. 超导环境的建立

某些物质的电阻在超低温下急剧下降为零,此种物质为超导体,超导磁体就是利用某些物质的这种性质制成的^[9]。超导磁体在超导环境中通过励磁电源为超导线圈通电流而产生稳定磁场,而超导环境维持着稳定磁场的长期存在。MRI冷却系统的功能是给磁体建立一个超导环境。建立超导环境所用的制冷剂是液氮。氮的沸点是4.2K,是目前沸点最低的物质。氮在接近绝对零度时呈液态状,利用液氮可获得接近绝对零度的低温,为超导线圈建立和保持超导环境^[10]。建立超导环境的过程是先将超导磁体的环形真空绝热层抽真空,使真空度达到 10^{-6} ~ 10^{-7} mbar,再将磁体预冷,第一阶段将液氮直接导入磁体内部预冷至77K,第二阶段将液氮不间断的导入磁体内部预冷,当液氮容器腔内温度降到接近4.2K时,再向磁体液氮容器腔内灌满液氮,超导线圈将实现从正常态至超导态的转变,超导环境从而建立起来。

2. 氦循环

维持超导环境的关键是氦循环闭合回路。冷头循环出来的低温高压氦气通过管路传送到氦压机,低温高压氦气经过压缩机压缩成高压氦气,这时高温高压氦气在热交换器中与压缩机油交换热量,使得温度迅速下降,成为低温高压氦气。低温高压氦气经过油水分离器滤除其中的油滴,送至冷头致冷用。氦压缩机所产生的热量最终由水冷机输出的冷水带走。这样就在冷头和氦压机之间通过管路建立了氦循环,保证了良好、稳定的冷却系统。

三、故障分析及解决

1. 现象:磁体监视器Alarm和Heater指示灯点亮,进入Alarms选项查看报警信息,显示液氮压力过低。进入Data选项查看液氮压力为0.065PSI,液氮容量为73.62%。

分析:根据磁体数据记录表可知,5月5日,液氮压力为4.02PSI,液氮容量为96.72%,磁体所有数据显示正常,磁体监视器未有报警发生。5月7日,操作人员发现磁体监视器发生报警,液氮显示压力为0.065PSI,液氮容量为73.62%。正常状态下,液氮压力要保持于3.9~4.1PSI,液氮容量不得低于60%,现在液氮容量下降了23.1%,压力几乎接近于0。分析其原因,可能是液氮泄露或者磁体监视器故障。由于去年磁体监视器发生过故障,经调整后又恢复正常,现在怀疑磁体监视器再次发生故障,导致磁体监测数据产生偏差。进入磁体间查看磁体顶端液氮压力表,显示压力也接近于0,磁体监视器监测压力与压力表显示压力接近,说明磁体监视器正常,可排除磁体监视器故障。现在只有液氮泄漏这种原因导



致了液氮压力和容量下降, 排查氮压机、水冷机和冷头。进入设备间, 发现氮压机无“小鸟”叫声, 已停止工作。查看冷头到氮压机的送气管路, 并无泄漏现象。重启氮压机, 工作指示灯全部正常, 工作压力为 2.3Mpa, 氮压机正常工作压力为 2.1-2.3 Mpa, 说明氮压机并无故障。查看水冷机温度控制器, 显示温度偏高, 表明水冷机发生故障。水冷机不能工作, 就无法给氮压机冷却, 此时, 首先关上氮压机到水冷机的进水阀和出水阀, 然后打开氮压机到自来水、氮压机到下水道阀门, 这样就可以用自来水临时冷却氮压机。检查室外水冷机, 发现风机不转动, 压缩机停止工作, 过滤网覆盖一层厚厚的灰尘。由此可见, 压缩机产生的热量无法通过过滤网散失出去, 导致水冷机过热保护, 停止工作。清除过滤网后, 重启水冷机, 恢复正常工作状态。观察磁体监视器一段时间后, 液氮压力降低到 0.061PSI, 液氮容量降低到 71.5%, 液氮依然存在泄漏。进入磁体间, 检查冷头是否有故障, 观察后发现冷头的声音是规律的, 有节奏的, 并且机器可进行扫描, 冷头损坏的可能性不大, 可排除冷头故障。拆开磁体顶端外壳, 磁体高压室周围覆盖一层冰霜, 怀疑液氮从高压室冲破爆破膜通过通风口向外泄漏。拆下爆破膜, 果然爆破膜已穿透。

故障解决: 更换备用爆破膜, 用电风吹掉高压室周围的冰霜, 装好磁体外壳, 观察一段时间后, 液氮压力逐渐上升。经过两天观察, 液氮压力已恢复到正常范围, 磁体工作正常。

小结: 此次故障是由于水冷机过热保护, 停止工作, 氮压机会因高温报警而立即停止运转, 冷头就不能制冷。这时, 冷屏温度逐渐上升, 从而使液氮蒸发量不断升高, 液氮压力也持续增高, 当压力达到 10PSI 时, 爆破膜会发生破裂, 而造成液氮泄漏, 并通过通风管排出室外。

2. 现象: 磁体监视器 Alarm 指示灯点亮, 进入 Alarms 选项查看报警信息, 显示液氮压力过高, 压力为 5.062PSI, 其他监测数据正常。

分析: 进入设备间, 氮压机“小鸟”叫声停止, 说明氮压机已经停止工作。而水冷机控制器面板显示 E04, 说明水冷机已出现故障。在此情况下, 应先使用自来水对氮压机进行临时冷却, 再重新启动氮压机, 运行正常。观察一段时间后, 液氮压力逐渐下降。根据报错代码查看错误代码表, 可知 E04 有 E04(01) 和 E04(02), E04(01) 表示 Thermal switch protection compressor or high pressure(digital)/interrupteur de protection du compresseur thermique ou Haute pression (digital), E04(02) 表示 Thermal switch protection pump /interrupteur de protection de pompe thermique。从 E04(01) 和 E04(02) 可以判断出该故障是由于水冷机热保护导致水冷机停止工作。重新启动水冷机, 压缩机和抽水泵都启动正常, 但发现冷凝器风扇不转动, 几秒钟后水冷机整体停止工作。不难发现风扇不转动, 水冷机产生的热量散失不出去, 导致机器热保护, 从而停止工作。

故障解决: 测量风扇电容阻值, 阻值正常, 可排除电容损坏故障。怀疑风扇电机损坏, 打开机箱, 找到风扇两根电源线, 使用短接方法, 将火线并联到压缩机火线接线排上, 重启水冷机, 风扇转动, 可排除风扇电机故障。将电源线重

新接回控制板上, 重启水冷机, 风扇停止工作, 由此可判断出故障可能发生在控制板上。临时将风扇电源线并接到压缩机电源线接线排上, 只要压缩机启动, 风扇电机就得电启动, 散失冷凝器排出的热量, 使水冷机工作正常, 从而保证冷却系统运行正常。同时向 GE 公司定制冷凝器风扇控制板 CF-15, 更换该控制板后, 风扇工作正常, 整个冷却系统运行良好。

小结: 此次故障是由于冷凝器风扇控制板故障, 以致风扇不能转动, 冷凝器产生的热量散失不出去, 从而发生过热保护, 导致水冷机停止工作。氮压机会因高温报警而立即停止运转, 冷头就不能制冷。这时, 冷屏温度逐渐上升, 从而使液氮蒸发量不断升高, 液氮压力也持续增高。放射科值班医生及时发现情况, 采取应急措施致使液氮压力下降, 否则液氮压力逐渐升高, 爆破膜再次破裂, 液氮泄漏, 更严重的可能导致磁体失超, 后果不堪设想。

四、讨论

冷却系统是超导 MRI 正常运行的重要保证, 其定期的维护与保养至关重要。首先每日需做好数据监测记录, 实行值班医生与工程师双方签字责任制, 共同监测液氮压力、容量等数据。一旦数据出现异常而发生报警, 采取紧急措施, 保证 MRI 系统正常工作。其次, 定期清除水冷机过滤网灰尘, 保证水冷机散热充分。由于吸附器是过滤氮气中油雾的重要部件, 它的好坏与否关系到冷头的使用寿命^[10], 也需定期更换氮压机吸附器。冷却系统的维护与保养可以有效预防冷却系统出现故障, 延长冷却系统各部件的使用寿命, 并且可以减少液氮的挥发, 提高医院的经济效益。

参考文献:

- [1] 张瀚. PHILIPS 1.5T 核磁共振原理与故障分析 [J]. 医疗设备杂志, 2010, 23 (12): 55.
- [2] 刘毅, 陈怀亮. 超导磁共振机维护与保养的体会 [J]. 医疗装备杂志. 2003, 16 (7): 37-39.
- [3] 赵强. 医学影像设备学 [M]. 上海: 第二军医大学出版社, 2000. 130.
- [4] 黄咏文, 孙聚葆. 1.5T 超导磁共振制冷系统的工作原理及日常维护 [J]. 中国医学装备杂志, 2007, 4 (7): 68-69.
- [5] 李晓强. 超导磁共振低温制冷系统的原理及维护 [J]. 中国医学装备杂志, 2009, 6 (4): 49-50.
- [6] 倪萍, 蔡华. 超导磁共振低温制冷系统的原理及维护 [J]. 医疗设备信息杂志, 2003, 18 (7): 71.
- [7] 王晓华, 岳凤斌. GE 1.5T 核磁共振冷却系统维护 [J]. 医疗设备信息杂志, 2006, 21 (7): 98.
- [8] 王辉林, 黄昌永, 马彪, 徐卫锋. 超导核磁共振水冷系统的工作原理及维护保养 [J]. 中国医疗设备杂志, 2012, 27 (1): 97-98.
- [9] 徐跃, 梁碧玲. 医学影像设备学 [M]. 第 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 2010. 144.
- [10] 马毅, 刘腾, 史磊. 超导型磁共振冷头的工作原理及维护保养 [J]. 医疗设备信息杂志, 2006, 21 (6): 95-96.

(上接第 13 页)

3 讨论

舒适护理在一定程度上是以患者需求为中心, 而不仅仅以疾病治疗为中心, 可以提升患者手术期间生理与心理的舒适度, 同时也有利于提升患者手术进行效率与术后恢复效果。患者治疗依从性会相应提升, 从而达到更好的治疗配合效果, 手术开展与恢复效果更快速。

参考文献:

- [1] 王江英. 舒适护理在普外科腹腔镜手术 30 例中的应用 [J]. 中国民族民间医药, 2015, (19): 124-124, 126.
- [2] 吴书琴, 刘华, 李娜等. 舒适护理在普外科腹腔镜手术中的干预效果分析 [J]. 白求恩医学杂志, 2016, 14(2): 253-255.
- [3] 张静, 刘宁, 刘倩等. 舒适护理在普外科腹腔镜手术患者中的应用效果 [J]. 中国实用医药, 2014, (22): 241-241.