

# 海尔 -86 °C 超低温冰箱制冷系统故障维修

查晓俊, 史慧慧

南京鼓楼医院 临床医学工程处 (江苏南京 210008)

(关键词) 超低温冰箱; 制冷系统; 开系统维修; 制冷剂灌注

(中图分类号) R179.39 (文献标识码) B (文章编号) 1002-2376(2017)08-0047-03

20 世纪后期, 分子生物学和生命科学取得了长足进步, 如何在破坏样品原有性质的情况下长时间保存样品成为人们日益关注的问题, 各类超低温冰箱应运而生。低温冰箱可用于科学研究、医疗用品的保存、生物制品等特殊标本样品的低温储存。超低温冰箱保存温度选择广 (-40 °C ~ -192 °C), 温度控制精度高 ( $\leq \pm 1$  °C), 且在温度异常时可以及时报警提示, 为各类样品及试剂的保存提供了可靠保障, 在企业、高校、医院、实验室广泛应用。

我院各临床科室、相关实验室、生物样本库购置有大量海尔 -86 °C 超低温冰箱, 用于保存各种珍贵、重要的临床及实验标本 (如血液、疫苗、DNA、RNA、蛋白、细胞提取物等)。因此医院临床工程师需了解和掌握超低温冰箱工作原理, 并制定详尽的巡检制度。这不仅有利于隐患的及时排除和故障抢修, 保证储存样品的品质; 更可以延长深低温冰箱使用周期, 降低冰箱故障的发生率, 为医院节省了大量维修开支。

## 1 制冷原理

超低温冰箱制冷的目标是制冷剂蒸发温度远低于环境温度。随着蒸发温度的降低, 蒸发压力下降, 需要压缩机提供更高的压缩比。压缩比的增大会造成压缩机输气量减少, 制冷量减小, 压缩机能耗大幅增加<sup>[1]</sup>。为克服上述问题, 超低温冰箱设计时常采用两级 (甚至更多) 压缩机复叠的制冷结构 (图 1)。

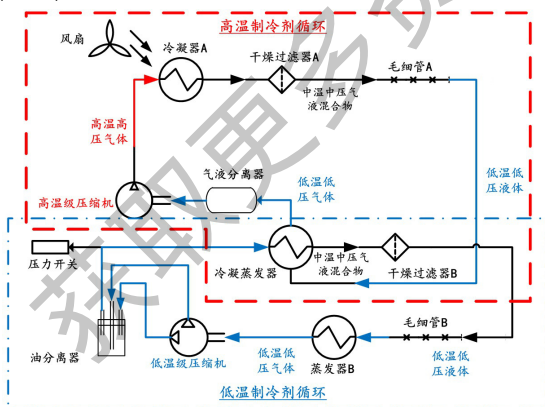


图 1 两级压缩机复叠的深低温冰箱系统框图

采用两级压缩机复叠式的超低温冰箱具有两套相对独立的制冷循环, 两套制冷循环通过冷凝蒸发器连接。高温制冷循环中灌注的高温制冷剂 (常用 R134a, R404a) 经高温级压缩机压缩形成高温高压蒸汽, 该蒸汽经冷凝器 A 降温液化

后, 经干燥过滤器 A 去除杂质及水分, 再由毛细管 A 节流, 形成低温低压液体后被引入冷凝蒸发器。冷凝蒸发器是复叠式制冷中关键部件, 其既是高温制冷循环的蒸发器, 又是低温制冷循环的冷凝器, 高温制冷剂在此汽化吸热, 为低温制冷剂 (常用 R290、R508b) 降温。降温后的低温制冷剂再由干燥过滤器 B 干燥及毛细管 B 节流后进入冰箱内部的蒸发器 B 吸热制冷。超低温冰箱内部如此循环, 借助制冷剂的物态变化, 将冰箱内部热量转移到外部, 从而实现制冷。

## 2 制冷系统常见故障

超低温冰箱系统设计复杂, 造成冰箱不制冷的因素大致可分为电路及控制系统失灵、制冷系统故障两大类。我们结合实际工作经验及文献资料<sup>[2-5]</sup>, 在表 1 中列举了超低温冰箱在使用中可能遇到的制冷系统常见故障。

表 1 深低温冰箱常见故障

故障现象	故障原因	维修方法
高温级压缩机不启动	供电故障或保险丝故障; 控制电路故障; 启动电容或运行电容故障; 压缩机烧毁、卡缸、抱轴等	检查供电电压及更换保险丝; 检查控制电路, 用替换法找出故障器件; 检查附件, 必要时更换启动电容或运行电容; 更换压缩机
高温级压缩机正常工作、低温级压缩机不工作	同高温级故障; 低温级启动电容或运行电容故障; 高温级系统制冷剂不足	同高温级解决办法; 更换启动电容或运行电容; 补充高温级制冷剂
压缩机长时间工作, 冰箱内部温度降不下来	系统渗漏; 系统堵 (脏堵、油堵、冰堵); 压缩机效率低; 蒸发器表面结霜	根据制冷系统外部油污找出系统渗漏点并补漏, 如渗漏发生在冷凝蒸发器中时仅能用开系统时的制冷剂喷出量或按压力表读取制冷剂压力值判断系统渗漏, 此时需更换新冷凝蒸发器; 使用电流表, 测量高温级或者低温级电流值, 海尔冰箱正常电流值为 4~5 A, 系统堵后电流值为 2~3 A, 找出何级系统堵后开系统, 用压缩氮气冲洗管路, 并更换干燥过滤器及油分离器 <sup>[3]</sup> ; 更换压缩机; 除霜
压力开关常断, 低温级压缩机不启动, 开关短接后, 冰箱制冷正常	压力开关故障	更换压力开关

在超低温冰箱的维修中, 电路及控制系统故障可以通过替代法, 更换相应配件迅速解决。而涉及制冷系统的故障维修时 (实际维修中较常发生), 需要打开制冷系统操作。此类型维修操作复杂, 工艺难度大, 对维修人员要求高, 为保障超低温冰箱后期可靠、安全运行, 开系统操作须有冰箱生产厂家或进过系统化培训的专业技术人员操作。本研究以海尔 -86 °C 系列超低温冰箱为例, 着重介绍了该系列冰箱在开系统维修时的操作步骤及相关注意事项。

收稿日期: 2016-10-28

需要特别注意的是超低温冰箱产品一般具有高、低温两个相对独立的制冷系统，在维修前必须确认是高温级系统，还是低温级系统问题。哪个系统出现问题，针对哪个系统维修。严禁未加判断就同时打开两个系统进行维修。

### 3 开系统维修方法

超低温冰箱制冷系统内混入水分会对制冷系统造成极大危害，除易引起毛细管冰堵外，与制冷剂混合后会降低绝缘，并对压缩机、蒸发器等系统部件产生不同程度的腐蚀。因此，在对超低温冰箱进行开系统维修时要求非常严格，在阴雨天或者环境湿度过大的场地，严禁开系统维修，且在维修前需将各类维修工具准备妥当，尽可能缩短系统管路暴露时间，防止空气中水分进入。海尔 -86℃ 系列超低温冰箱开系统维修常用工具有：(1) 制冷剂（参照冰箱铭牌或表 2）；(2) 清洗剂 R22；(3) 汉森快速接头；(4) 标准电子秤（误差 ≤ ±3 g）；(5) 真空泵（建议选用 4 L 或以上）；(6) 氮气（2 Mpa 压力）、氧气、乙炔；(7) 切割器；(8) 焊枪；(9) 干燥过滤器；(10) 封口钳；(11) 银焊条。

表 2 海尔 -86℃ 超低温冰箱常用制冷剂信息及灌注量

ASHRAE 编号	灌注量 (g)					改进制冷剂 时间
	高温级		低温级			
	R134a A1	R404a A1	R290 A3	R23 A1	R508b A1	
IUPAC 名称	1, 1, 1, 2-四 氟乙烷	五氟乙烷 R-125 1, 1, 1-三氟乙烷 R-143a 1, 1, 1, 2-四氟乙烷 R-134a	丙烷	三氟甲烷	三氟甲烷 R23 六氟乙烷 R116	
老品	DW-86L288	165	385	24	135	
	DW-86L386/388	95	525	28	162	
	DW-86L420	180	420	20	140	
	DW-86L626/628	180	420	30	180	
新品	DW-86L420		540	20	160	2012.04.01
	DW-86W100		510	20	140	
	DW-86L286/288		540	20	210	2011.01.10
	DW-86L386		560	20	235	2010.11.24
	DW-86L388		560	20	235	2011.01.12
	DW-86L486		580	30	265	
	DW-86L490		550	30	285	2011.12.20
	DW-86L626/628	90	810	30	305	2010.12.25
	DW-86L728	90	800	30	320	
	DW-86L828	80	685	30	315	

海尔超低温冰箱开系统维修大致可分为九个步骤<sup>[3]</sup>，如图 2。



图 2 超低温冰箱开系统维修流程图

#### 3.1 开高/低温级系统

根据表 1 判断出发生故障的制冷系统，依次找出故障制冷系统的高压与低压两根工艺管，将工艺管伸展竖直朝外并去掉工艺管上的保温管后再使用割管器将高压工艺管和低压工艺管焊口割开。切割时为防止制冷系统中含有润滑油及易燃易爆制冷剂喷出造成火灾及对操作人员产生伤害，严禁使用焊枪切割。开系统操作一般选在开阀的或者通风良好的场地进行，以减少制冷剂对维修人员造成可能的危害。在制冷剂释放完 30 s 内将汉森快速接头安装在工艺管断口处，并确保其安装密封。

#### 3.2 更换损坏零件

根据故障情况，更换损坏配件。更换配件时，为防止空气中水分进入制冷管路，维修应果断迅速，并用胶带封堵各开口管路。一般要求更换操作时间以不超过 10 min 为宜。

#### 3.3 氮气清理系统

该步骤主要应用于系统泄漏和系统堵的情况。操作时将 1.2 MPa 以上高压氮气由步骤 1 中的汉森快速接头注入，注意出口的气流是否流畅平稳。如果气流不稳定或者无气流出，

则说明系统中的堵塞物仍然存在。此时需要增大氮气压力，如果无法加大氮气压力，可在汉森快速接头处外接压缩机和带阀门的压力表。首先关闭压力表的输出阀门，让压缩机工作，待压力达到 2 MPa 时，打开阀门，用高压氮气冲击堵塞管路，直至出口处有顺畅平稳气流排出。

#### 3.4 清洗剂清洗系统

由步骤 1 的汉森快速接头处，将清洗剂（一般建议选用 R22），打开汉森快速接头门，让清洗剂充满制冷系统，直到另一侧喷出清洗剂液体后停止注入清洗剂。在该步骤操作中需将清洗剂罐体倒置，保证进入系统的为清洗剂液体。随后再将 1.2 MPa 压力以上的氮气从汉森快速接头处打入制冷系统管路，顶冲出清洗剂，直到制冷系统另一开口处无清洗剂排出。将氮气的压力减小至 0.2 MPa，保持不间断供应。

#### 3.5 更换干燥过滤器

在所有的超低温冰箱开系统维修后为保证设备正常运行，均需更换干燥过滤器。在更换过滤器操作中必须保证氮气的持续注入，防止空气中水分进入制冷系统。更换完干燥器后，焊掉回气侧的汉森快速接头并将打开的焊点重新焊接好。焊接时一般使用湿抹布包裹周围的器件及管路保温层，防止烧坏。

#### 3.6 氮气保压

在制冷系统中注入一定量的高压氮气，并保压 12 h，检查压力表读数是否下降，如果压力表读数无下降，将氮气释放。发现读数下降，可通过检查蒸发器、冷凝器及连接管路是否有油污或者通过涂抹肥皂水检查是否有气泡判断泄漏位置。

#### 3.7 抽真空

超低温冰箱制冷系统对真空度要求非常严格，抽真空不当会导致机器制冷差甚至不制冷。具体操作时要求在高低两个灌注管处接压力表及表阀，然后同时开启两台真空泵抽真空。确保制冷系统管道内真空度达到 3 Pa 以下。当达到真空度要求（4 L 真空泵时高温级需抽空 3 h，低温级需抽空 12 h。使用小容量泵时相应抽空时间需延长）时，先停止高压端抽空，并迅速把高温灌注管焊接封口，低压端继续抽空 1 h。低压抽空 1 h 后关闭压力表阀，这时要求制冷系统保持在负压状态 1 h 以上，以检查机器系统是否达到真空要求，期间若压力表示数增大，需重新抽空 1 h 以上，再度观测。直至制冷系统内压力不回升为止。

#### 3.8 灌注制冷剂

灌注制冷剂时需保证机器处于停止状态，并从压力相对低的制冷剂型号开始灌注。对于高温级压缩机，先灌注 R134a 制冷剂，然后灌注 R404a 制冷剂；低温级压缩机先灌注 R290 制冷剂，然后灌注 R508b/R23。制冷剂灌注需注意两条事项：(1) 制冷剂使用电子秤称量，灌注量严格按照铭牌标注执行；(2) 灌注时将钢瓶倒置灌注液体以保证制冷剂一次灌注到位。

#### 3.9 性能检测

步骤 8 完成之后为保证设备正常使用，需再进行性能测试。进行测试时，将超低温冰箱箱内温度参数设定 -86℃，温度偏移量为 0，在 12 h 内检查箱内温度是否降到 -86℃，若达标则冰箱断电静置 24 h 后进行第二性能测试。如测试温度存在异常，需重新检查冰箱，找出可能故障原因，重复上述步骤对冰箱进行维修。

# 呼吸机流量传感器的工作原理及故障分析

惠强, 王权, 王鹏 (通信作者)

徐州医学院第二附属医院 设备科 (江苏徐州 221006)

(关键词) 呼吸机; 流量传感器; 原理; 常见故障; 检修过程

(中图分类号) TH789 (文献标识码) B (文章编号) 1002-2376(2017)08-0049-02

呼吸机主要功能是利用呼吸机自身的机械动作人工地协助患者进行吸气和呼气, 但它无法替代肺生理功能中的通气作用(气体的吸入和呼出)和换气作用(吸收 O<sub>2</sub> 和排出 CO<sub>2</sub>)<sup>[1]</sup>, 而是作为对患者的呼吸支持和治疗。呼吸机主要包括电路部分、气路部分和操作控制面板, 通过这三部分完成了控制、指挥、监测、显示、报警、参数调节设定以及气体的供给。同时还包括许多传感器, 如流量传感器、压力传感器、氧传感器(氧电池)、温度传感器等, 这些传感器起到了监测患者端通气情况的至关重要作用。本研究介绍流量传感器的作用原理及与流量监测相关的常见故障维修案例<sup>[2]</sup>。

## 1 工作原理

流量传感器在呼吸机中主要对潮气量和流速进行监测控制, 通过监测出的信号帮助微处理器对阀门进行控制, 以提供患者所需的氧浓度; 监测到的流速和流量还直接影响到呼气与吸气时相的切换、分钟通气量上下限的报警、流量触发灵敏度、气流实时波形和 P-V 环的监测显示等等<sup>[3]</sup>。

从检测技术上来说, 流量传感器可分为电热丝式流量传感器、热模式流量传感器、压差流量传感器和超声式流量传感器。其中电热丝流量传感器较为常用, 其基本原理是将金属丝(随着温度的变化金属丝的阻值也发生相应的变化)放置在被测气流中, 并使金属丝流过电流产生热量, 使其温度高于流体的温度。当被测气体流过加热的金属丝时, 会带走热丝的一部分热量, 导致热丝温度下降, 而热丝在气体中的散热量与流速有关, 散热量导致热丝温度变化同时引起电阻值发生相应变化, 电阻的变化值反映出的就是流速信号随即转变成电信号, 最后经过电信号处理后就完成了实时监测气

体流量大小<sup>[4]</sup>。

## 2 故障分析与维修

目前, 我院常用的呼吸机为德尔格公司的 Savina 和 Evita 系列呼吸机, 它们采用的均是电热丝式流量传感器, 下面以 Savina 和 Evita 系列呼吸机为例, 介绍分析与流量传感器相关的故障。常见的与流量监测相关的故障报警有“流量传感器不工作”和“流量监测失灵”<sup>[5]</sup>两种。

### 2.1 故障一

故障现象: 开机启动后出现“流量传感器不工作”报警。

故障分析与维修: 该报警多为流量传感器损坏而导致无法识别安装的流量传感器, 可以先对流量传感器进行消毒清洗处理, 然后再次试机, 如果仍无法解除报警就须更换流量传感器; 对于 Savina 和 Evita 系列呼吸机通常还会出现流量传感器排线座接触不好的情况, 我们曾尝试处理过排线座接触不良的情况, 由于排线座封闭较严不容易处理所以效果不佳, 使用一段时间仍会再次报警, 因此建议直接更换传感器排线座<sup>[6]</sup>。

### 2.2 故障二

故障现象: 开机启动后出现“流量监测失灵”报警。

故障分析与维修: 该报警不仅与流量传感器有关, 还可能与气路漏气有关, 此时调出流量曲线图查看是否还有流量波形, 如有波形, 就先对流量传感器进行校准尝试是否可以消除报警, 在有波形的情况下一般通过校准都是可以解决的。而对于无波形的情况, 首先是要考虑流量传感器, 对其进行消毒清洗校准处理或直接更换来验证故障情况, 如果无法消除报警, 就使用最短的患者回路连接吸入和呼出口, 此方法为检测气路管道是否有漏气情况。如果报警消除则为存在漏气, 就要进行管路的排查或者更换一套管路以解决漏气导致流量监测失灵的情况; 而对于机器内部是否漏气, 需要将呼

而提高超低温冰箱的正常使用率, 发挥其更大的价值。

## [参考文献]

- [1] 程有凯, 常琳, 张文虎, 等. 两级压缩与复叠式制冷方式的比较 [J]. 制冷与空调, 2004, 4 (3): 66-69.
- [2] 陈立峰. Forma 702 超低温冰箱的维修分析 [J]. 中国医疗器械信息, 2014, 20 (8): 70-71.
- [3] 沈汉荣. 低温冰箱基本原理和常见故障 [A]. 2012 中华临床医学工程及医疗信息化大会暨中华医学会医学工程学会第十三次学术年会论文集 [C]. 2012: 1-6.
- [4] 黄哲. MDF-382 低温冰箱故障检修与分析 [J]. 医疗卫生装备, 2008, 29 (2): 114.
- [5] 王永胜, 郑骏, 文旭霞. 超低温冰箱的预防性维护技术 [J]. 医疗装备, 2015, 28 (17): 58-59.

收稿日期: 2016-11-22

## 4 小结

超低温冰箱在设计时为达到温度和控制温度要求, 整个系统设计复杂, 技术难度大。实际使用中发超低温冰箱故障主要集中在制冷系统。常见故障有压缩机损坏、制冷管路堵/漏。该类故障的维修中往往涉及开系统维修。在超低温冰箱制冷系统中, 水的存在会影响系统制冷, 严重时会产生冰粒堵塞管路或阀孔损坏制冷系统。因此医院或厂家工程师在维修时务必严格按照规定的维修程序和规范操作, 将风险降到最低。

在医院, 超低温冰箱存放有大量重要且珍贵的患者样本或实验标本, 一旦冰箱发生故障可能造成极大的损失。作为医院临床工程师, 需了解并掌握超低温冰箱的基本知识, 并对超低温冰箱制定详尽的定期巡检计划和故障应急预案, 从