



Chase  
Research  
Cryogenics

World leaders in  
sub-Kelvin cryogenics

两级式亚开尔文温度氦 3 ( $^3\text{He}$ ) 冷却机

GL-7 型 (氦 7)

通用安装和操作说明



cryocooler GL-7 型 (氦 7) 冷却机

CRC 有限责任公司, Cool Works, Unit 2 Neepsend Ind. Est., Parkwood Rd, Sheffield S3 8AG, UK.

电话: +44114278 0711

总经理: Dr. S.T. Chase

部长: Dr. L.C. Kenny

在英格兰以及威尔士注册, No. 4643351

VAT registration No. GB 763 8558 84

## 目录

1. 总体操作流程.....	3
2. CHASE RESEARCH 冷却机产品安全性.....	3
2.1 《设备压力指令 2014/68/EU》.....	3
2.2 《设备压力（安全）条例 2016》.....	3
2.3 安全操作.....	3
2.4 风险评估.....	4
3. 冷却机设备图例.....	5
4. 安装.....	6
4.1. 机械组装.....	6
4.2. 电气安装.....	6
5. 自己试操作冷却机.....	8
5.1. 辐射屏蔽.....	8
6. 操作：快速启动.....	9
6.1. 操作步骤概览.....	9
6.2. 预冷却.....	9
6.3. 完成冷却并运行.....	11
6.4. 典型冷循环.....	12
7. 优化操作设备性能的提示和技巧.....	13
7.1. 预冷却.....	13
7.2. 运行 $^4\text{He}$ 模块.....	13
7.3. 操作 $^4\text{He}$ 模块上的热开关.....	14
7.4. 操作 $^3\text{He}$ 模块.....	14
7.5. 寄生加载.....	14
8. 标准销(pin)分配列表.....	15
9. GL7 操作流程图.....	16

**本通用操作手册**描述了如何安装和操作 CRC GL7 氦 7 冷却机。该手册附有一个 Excel 文件，其中包含您购买的冷却机机型零件的验证测试数据和校准文件。

建议您在特属于您冷却机零件的 excel 文件下面做好标记。

## 1. 总体操作流程

### **警告！**

**CRC 冷却机内部含有极高气压的氦气。**

**请不要试图挤压，扭转或者弯曲零件。防止向设备施加任何物理性压力。不要使设备温度超过室内温度。请确保设备保存在密封的低温恒温器中，或放在装运箱或者支架上。**

**在握住或者提起设备时不要使用冷却头作为着力点。**

**不要歪曲或使铜毛细管填充管变形。**

**在设备附近焊接时，避免使用酸性助焊剂。氯化物助焊剂会腐蚀不锈钢，并可能损坏设备。**

根据提供的说明打开低温冷却机的包装后，应立即将冷却机转移到主机低温恒温器中。运输支架兼作低温冷却机的支架，但是当作支架使用时，冷却头铝板上的螺钉请勿拧紧。如果想拿起低温冷却机，应该把主板当成着力点。

## 2. CHASE RESEARCH 冷却机产品安全性

### 2.1 《设备压力指令 2014/68/EU》

该 CRC 冷却机装置是遵守良好的工程规范制造的。这些设备内的体积和气体压力使设备低于《压力设备指令》附录 II 中的较低分类限值。因此《符合性评估》的要求不适用于这些设备，相关符合性声明也不能主张，也不能应用 CE 标志。

低压冷却机受《压力设备指令》第 4 条第 3 款的约束，该指令规定：

“为了确保安全使用，低于或等于第 1 款 (a)、(b) 和 (c) 点分别规定的限度和第 2 款规定的限度的压力设备和组件的设计和制造应符合欧盟成员国的健全工程惯例。压力设备和组件应附有适当的使用说明。在不影响其他适用的欧盟协调立法规定其附加的情况下，此类设备或组件不得带有第 18 条所述的 CE 标志。”

### 2.2 《设备压力（安全）条例 2016》

构成该低温冷却机单元的加压模块的内部容积远低于 1 升，压力 x 容积远低于 200 巴升（bar-litres, 1 bar =  $10^5$  Pa），因此冷却机不受 2016 年 PESR 法规附表 2 中规定的基本安全要求的约束，这意味着冷却机不需要书面检查。该低温冷却机在各方面都符合 PESR 2016 第 8 条的要求。使用者根据 PESR 规定有责任确保 a) 操作装置时不超过安全运行限值；b) 按照这些说明操作操作设备；c) 如果需要进行任何维护，该设备将返回 Chase Research Cryogenics Ltd 公司维修。该低温冷却器不包含任何用户可自行维修的部件。

### 2.3 安全操作

安全操作该冷却机的温度是 0 到 320k（开尔文温度）。

## 2.4 风险评估

CRC 低温冷却机在压力下含有氦气，设备储存的能量小于 50 巴升。所有设备组件在制造期间都经过完整性测试，最轻微的泄漏会使冷却机失去储存的气体并停止运转。有泄露现象的冷却机对操作者没有任何风险；因此以下风险评估仅适用于功能单元。

### *风险与后果*

低温冷却机的意外损坏可能导致加压气体突然释放，并导致设备机械故障，弹出的碎屑可能会造成潜在伤害（比如损坏周围仪器）。

可能导致失败的事件是：例如在火灾中使设备过热；掉落或挤压设备；加热或弯曲导气管。在设备构成零件的仪器组装过程中，最有可能产生对装置的机械损坏。

### *未适当控制风险*

上述事件不太可能导致危险。Chase Research Cryogenics Ltd 公司已经生产了几百种不同设计的低温机组，这些机组都被应用于世界各地的各种应用中。到目前为止，冷却机设备从未出现过突然故障的情况，这表明当设备在正常使用下（包括不可避免的处理事故），该设备有完备的安全记录。目前为止的用户经验表明，冷却机设备的意外机械损坏很有可能会导致缓慢气体泄漏，但是很小的几率会发生突然故障的情况。

### *控制适当*

为消除冷却机设备的产生机械损坏的风险(在合理可行的情况下)而实施的控制措施有：

- 提供本操作说明书，其中包含有关于对设备损坏而引发的潜在风险的警告，并提醒用户注意风险更大的操作；
- 提供指示，如果设备过热、掉落、破碎、弯曲或扭曲，则不应使用设备；
- 在运输箱上提供警告标签--应在处理设备之前阅读操作手册。

低温机组的设计使其不可能在设备本身贴上警告标签，但是如果将设备集成到另一个仪器中，该仪器则应带有警告标签以提醒用户 - “冷却机不包含用户可维修的部件，不应拆卸”。

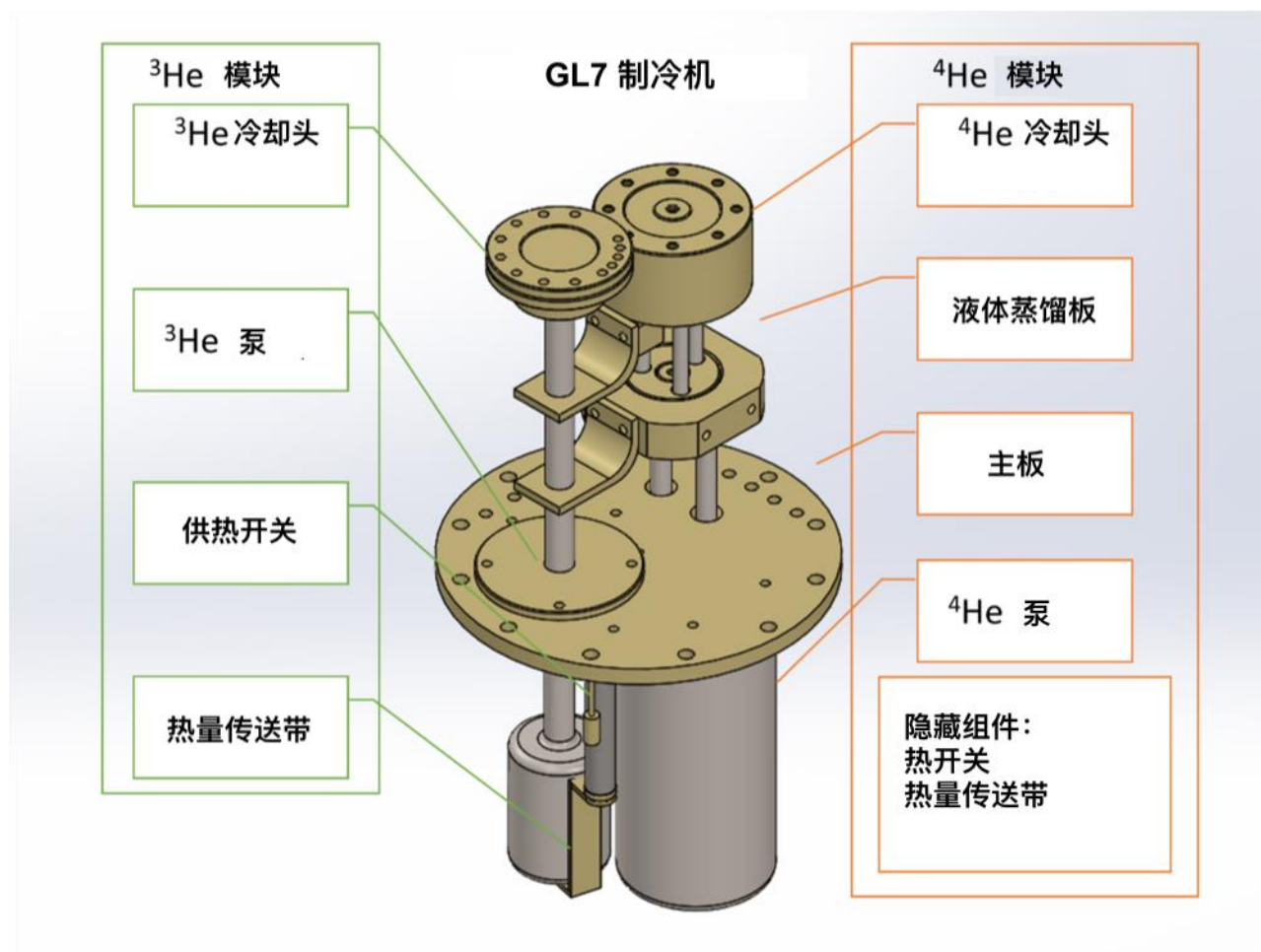
### *控制适当的风险*

假设操作者可以正确阅读和遵循本说明手册的风险可以忽略不计。

### 3. 冷却机设备图例

下图所示的低温冷冷却器是一款标准型号设备。在使用中，设备是倒置的，即头部将置于底部。主板需要热沉到 4K 或以下预冷器的冷头，有关详细信息请参阅第 4.1 节。 $^3\text{He}$  头， $^4\text{He}$  头和液体蒸馏层都可以用来从用户应用仪器中提取热量，有关详细信息请参阅第 5 节。泵和热开关在运行期间温度可达到 50k，这些需要从头部辐射屏蔽，有关更多信息请参阅第 5.1 节。所有电气连接都连接到安装在主板上的 MDM 连接器上。MDM 连接器上的销(pin)说明在本手册末尾列出。

本用户手册使用了以下低温冷却器各组件的简称：



在本手册中使用的简称	对应冷却机组件
头 3	$^3\text{He}$ 冷却头
头 4	$^4\text{He}$ 冷却头
FB	液体蒸馏板
泵 3	$^3\text{He}$ 泵
泵 4	$^4\text{He}$ 泵
开关 3	$^3\text{He}$ 泵的热开关
开关 4	$^4\text{He}$ 泵的热开关

## 4. 安装

### 4.1. 机械组装

**在给您的低温冷却机安装组件之前，请务必如拆包说明中所述，从所有的泵周围取出所有泡沫包装材料。**

**在冷却机的安装或正常运行过程中，不应触摸热开关或热量传送带。热开关很容易被损坏，如果弯曲或扭曲，热开关很可能发生故障。**

这种冷却机的设计在对使用  $^4\text{He}$  液体的“湿”低温恒温器也运作良好，也对被封装于“湿”低温恒温器中，在 4k 温度下整个热沉到机械预冷机中同样运作良好，比如说封装在一个 GM 或脉冲管冷却机中。预冷机的 4K 板 应由镀金铜制成，以确保冷却机和预冷却器之间良好的热接触。为了将冷却机连接到预冷机的 4K 板，在圆形主板的外围有 12 个 4.1 mm 直径 (M5 间隙) 对称分布在 115 毫米间距圆盘上的圆孔。除此之外，还有一排 5 x M4 间隙孔在  $\frac{1}{2}$ " (12.7 毫米) 中心，靠近主板的一个边缘。(注：如果客户提出要求，UNC #6 孔可以被替换)。如果有需求，您可以向我们索要一份以 .step 为扩展名的说明文件。

**由于冷却头的冷却性能取决于气体对流，以及在依靠重力的头部中收集液氮，因此冷却机必须保持接近冷却头垂直向下的状态。**



**确保弹簧垫片（左图）在每个螺栓头下，这样能保证微分热收缩；不然将会导致螺栓松动，从而影响热接触。**

### 4.2. 电气安装

所有电气连接都安装位于主板上的 25 销 (pin) DM-SSP 连接器上。这些销(pin)在本说明书结尾处列出了。

下表列出了安装在设备上的温度传感器。

温度传感器	校准	设置

三头二氧化钌 (3-head RuO <sub>2</sub> )	通用校准 – Lakeshore Cryotronics 公司提供	可根据要求提供单独校准的传感器
四头二氧化钌 (4-head RuO <sub>2</sub> )	通用校准 – Lakeshore Cryotronics 公司提供	可根据要求提供单独校准的传感器
液体蒸馏层二极管	在单个数据文件中提供特定校准	不提供
泵二极管	通用校准 – 本公司提供	
开关二极管	通用校准 – 本公司提供	

下表概述了驱动加热器和温度计的电压/电流要求。

组件	数目	植入式/加速电压	电压/电流
泵 3 加热器	1 off	约 300Ω	20 至 25V
泵 4 加热器	1 off	约 300Ω	20 t 至 25V
热开关加热器	2 off	10kΩ	4 至 5V
二极管温度计	5 off	0.5 至 1.8V	10μA 直流电
四头二氧化钌温度计 (4-head RuO <sub>2</sub> thermometer)	1 off	1kΩ至 3kΩ	最高 1μA
三头二氧化钌温度计 (3-head RuO <sub>2</sub> thermometer)	1 off	1kΩ至 7kΩ	最高 100nA

来自 Lakeshore Crotronics 公司的通用 (即标准校准) 二氧化钌传感器是所有 CRC 低温冷却机冷却头上的默认配置。单独校准的 "CERNOX" 或 二氧化钌传感器仅在客户的要求下安装 (有额外费用)。头 3 上的温度计是作为 4 线设备运行的, 应该用不大于 100nA 的交流电流激发, 相当于基温下电压在 2mV 左右。头 4 上的温度计是作为 2 线设备运行的, 理想情况下应由不大于 1μA 的交流电流驱动。如果使用 10μA 直流电驱动这种传感器, 也可以获得合理估计的温度值, 但是这可能会导致设备自热, 特别是在较高的温度下容易受到热电直流偏移的影响。

所有温度计传感器的校准数据都在每个组件附带的 Excel 数据文件中。泵二极管和热开关二极管的通用二极管校准曲线, 以及特定于液体蒸馏层二极管的校准曲线, 均作为校准标准提供。二极管温度计需要电流为 10μA 直流电的励磁。

热开关加热器通常需要大约 4 至 5 V 的电流, 以保持开关在 'ON' 状态下, 开关气体收集囊 (为开关储存气体) 大于 20K 温度, 也保证在 10 至 15 分钟冷却到关闭状态 (温度小于 10 k)。

泵加热器的阻抗通常为  $300\Omega$ 。在冷却循环期间, 必须将泵 4 加热到 50 至 60K 左右, 将泵 3 加热到 45 至 50K。泵 4 的加热器电流高达 100 至 130mA 左右, 泵 3 的加热器电流约为 50 至 60mA, 这些设置可快速加热泵; 较低的加热器电流会导致加热速度变慢。为使泵温度稳定在 50K 左右, 通常需要 12 至 15mA 左右的加热器电流。尽量确保这些加热器的引线不会过度损耗。

## 5. 自己试操作冷却机

这种型号的冷却机共有三个可以单独在将其安装在冷却台的使用中提取热量的组件, 分别是头 3、头 4 和液体蒸馏层。为了获得最佳性能, 头 3 上施加的负载应该要非常小。冷却功率的主要来源是头 4, 在低于 1K 的温度下它可以承受至少 250  $\mu\text{W}$  的热负荷。液体蒸馏层也可以在 2K 左右负担一些负载。

头 3 在一个 40 毫米间距的圆盘上有 9 个 M3 孔。头 4 有 8 个在 40mm 的间距的圆盘上的 M3 孔, 并另有一个 M4 轴向孔。液体蒸馏层主体上有 6 个 M3 孔, 两两成对, 彼此相距 20mm。 (注意: 如果客户请求, UNC #4 螺纹将被替换)。可以根据要求提供步骤文件。

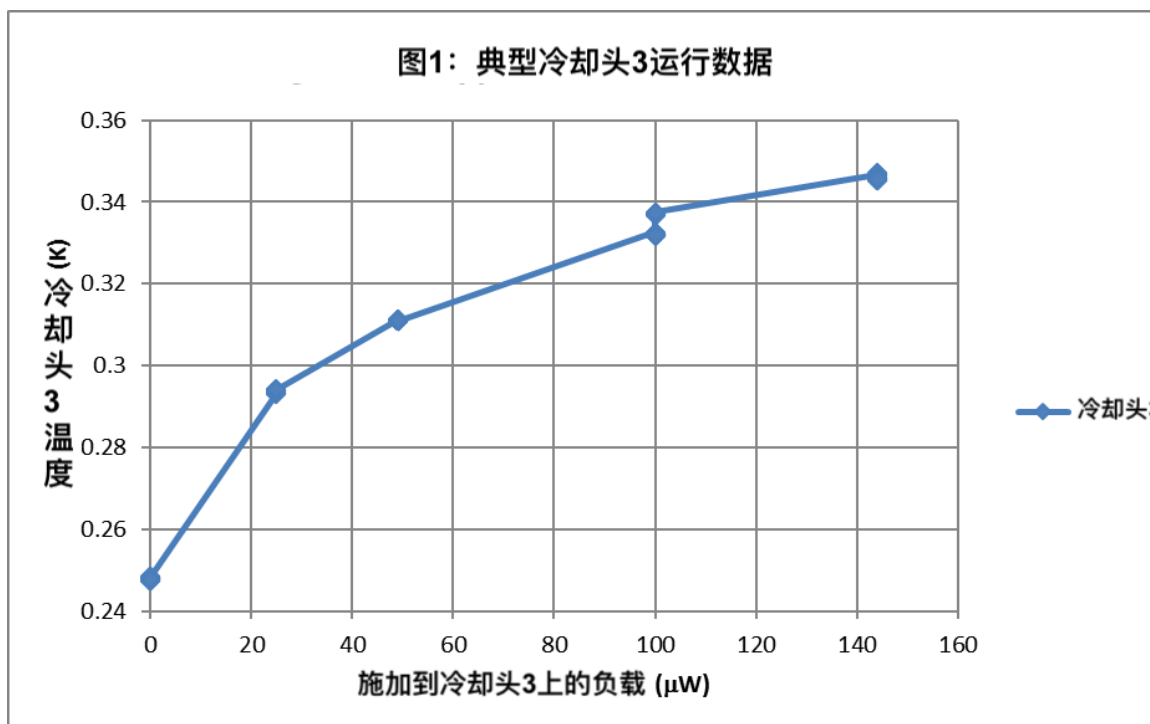
**在将实验设备固定在冷却头上时应格外小心, 不要扭曲或弯曲燃气管道, 并且请始终保持冷却头正对转矩。**

GL7 型冷却机的尺寸决定了其在给定热负荷下的运行时间和温度。您购买的冷却机将根据您指定的客户要求进行测试, 以验证其是否符合其规格。通常情况下, 运行时间受  $^4\text{He}$  头的限制,  $^4\text{He}$  头将用于支持用户规范中的预期负载要求。在没有负荷的情况下,  $^3\text{He}$  冷却头通常会在 260mK 左右运行,  $^4\text{He}$  头通常在 865mK 左右运行, 液体蒸馏层大约在 1 到 1.6 k 左右运行。当施加载荷时, 所有冷却头和液体蒸馏层会自行变热。特定冷却机的运行数据包含在随附的 Excel 测试数据文件中。

### 5.1. 辐射屏蔽

冷却头, 以及您所连接的任何冷却板实验设备探测器组件, 必须在 4K 左右进行适当的辐射屏蔽, 以实现亚开尔文 (sub-Kelvin) 操作。任何辅助支撑结构 (冷台) 和实验接线织机必须热沉入  $^4\text{He}$  缓冲头以提高工作温度。只有在冷却头的总热负荷保持在尽可能低的情况下, 温度才可以达到 300mK 以下。 $^4\text{He}$  头和液体蒸馏层的设计是为了缓冲由于布线和机械支撑结构而产生的寄生载荷。为实现令人满意的操作, 不需要对冷却机设备安装其他附件。如果您的冷却机性能不符合您的期望, 这很可能是由于冷冻机上的辐射负载造成的。检查您的辐射屏蔽, 并考虑在防辐射罩周围或泵周围添加额外的多层绝缘以屏蔽辐射。





## 6. 操作：快速启动

### 6.1. 操作步骤概览

基本的操作顺序如下：

- 预冷却至液氮温度。
- 当冷却到液氮温度时：当两个热开关都关闭时（它们的温度都小于 10K），将两个泵加热到 50K 左右，一直将它们保持在该温度，直到冷却头部冷却到 4K 左右。
- 关闭泵 4 加热器，然后打开开关 4。
- 当冷却头冷却到低于 2K 时，关闭泵 3 加热器，然后打开 3 开关。

本手册末尾包含了一张详细的流程图，其中显示了运行冷却机的所有步骤。建议温度只是近似值，可能需要进行调整以实现特定冷却机运行最佳性能。如果您使用的是冷却功率较低的机械预冷却器，请尝试使用建议温度范围的下限温度。

在第 9 节附有典型 GL7 冷冻机的操作顺序流程图。

### 6.2. 预冷却

图 2 显示了湿杜瓦器（wet dewar）中典型的液氮预冷却过程。当从机械预冷却器（如 PT 或 GM 冷冻机）中运行冷却机时，除非限制预冷却器冷却速率，冷却效应的时限将不同。本通用手册中的示例数字适用于设计运行约 24 小时的冷冻机。您的冷冻机可能是为不同的运行时限设计的，您可以在仪器附带的 Excel 测试文件中找到你设备的特定的相近的数据。

在图 2 中, 头 4 上的二氧化钨传感器依靠  $10\mu\text{A}$  直流电激发, 热电直流偏移特别是在较高的温度下的效果是显而易见的,。这些影响在较低的温度下得到了极大的缓解, 一旦系统冷却到 40K 左右, 这些影响就会基本消失。

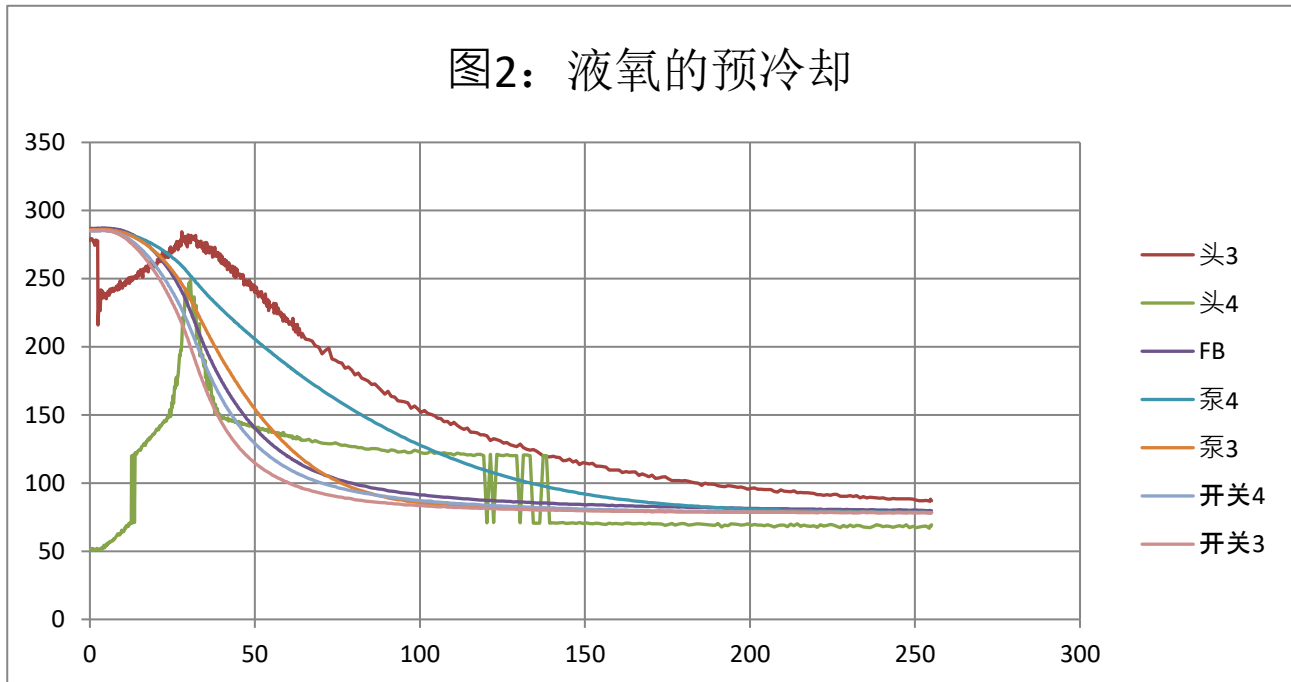
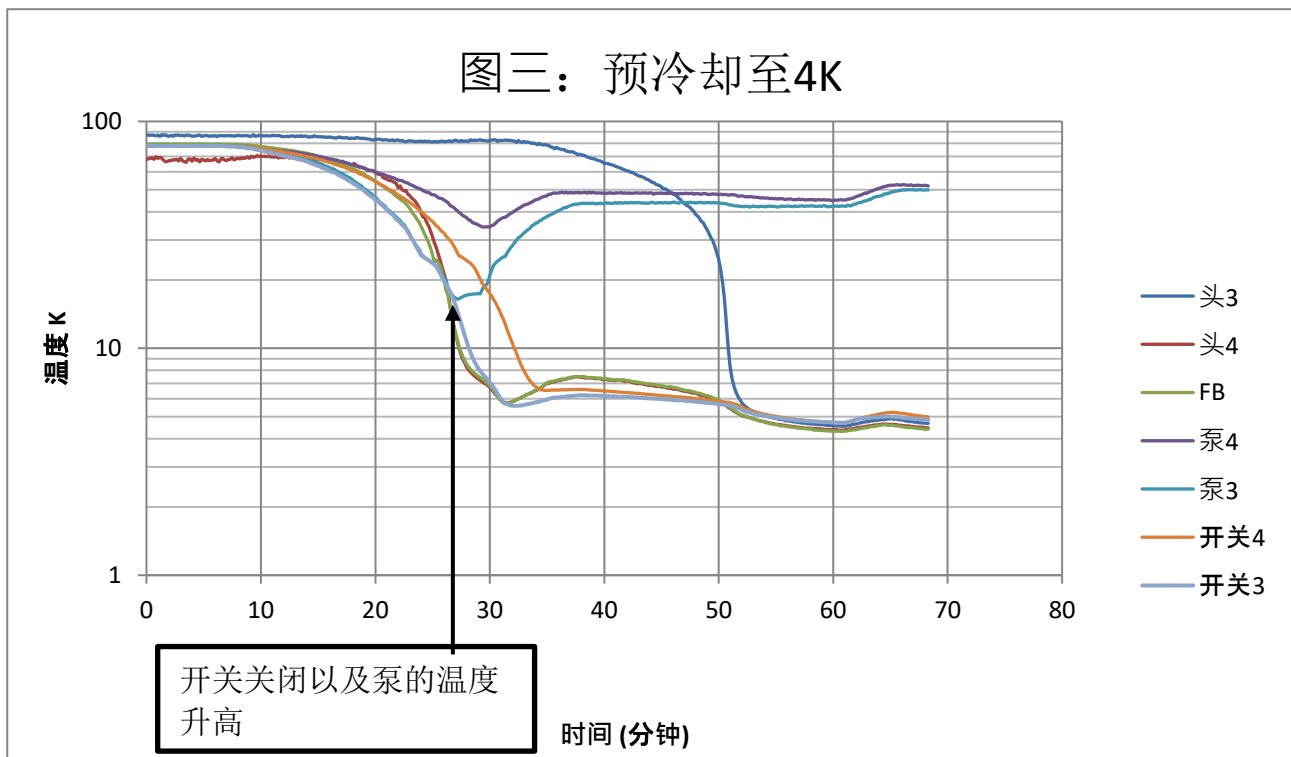


图 3 显示了氦转移过程中显示了湿杜瓦器 (wet dewar) 中典型冷却的下一阶段。如果使用机械预冷却机, 时间尺度将是相似的。需要注意的关键事件是热开关关闭和泵温度开始上升的点, 在示例中的  $t+25$  处。之后, 需要进行主动监测和控制以完成冷却时间 (见 6.3)。



### 6.3. 完成冷却并运行

在下一阶段的冷却中，需将两个泵的温度提高到 40 或 50K 左右，并在该温度下稳定它们，同时使它们冷却到 4K 左右--越低越好。在图 3 中，在  $t+30$  左右的两个泵上都使用加热器电源，泵的温度在大约 50K 下保持稳定约 40 分钟，然后再进行最后的冷却。

图 4 显示了最终冷却事件的典型流程。泵 4 可以先通过关闭加热器电源，打开热开关进行冷却。冷却头温度和液体蒸馏层温度随后开始迅速下降。一旦头 3 温度下降到 2K 以下，泵 3 也可以通过关闭加热器电源和打开热开关来冷却。随后，头 3 温度下降到不足 300mK。

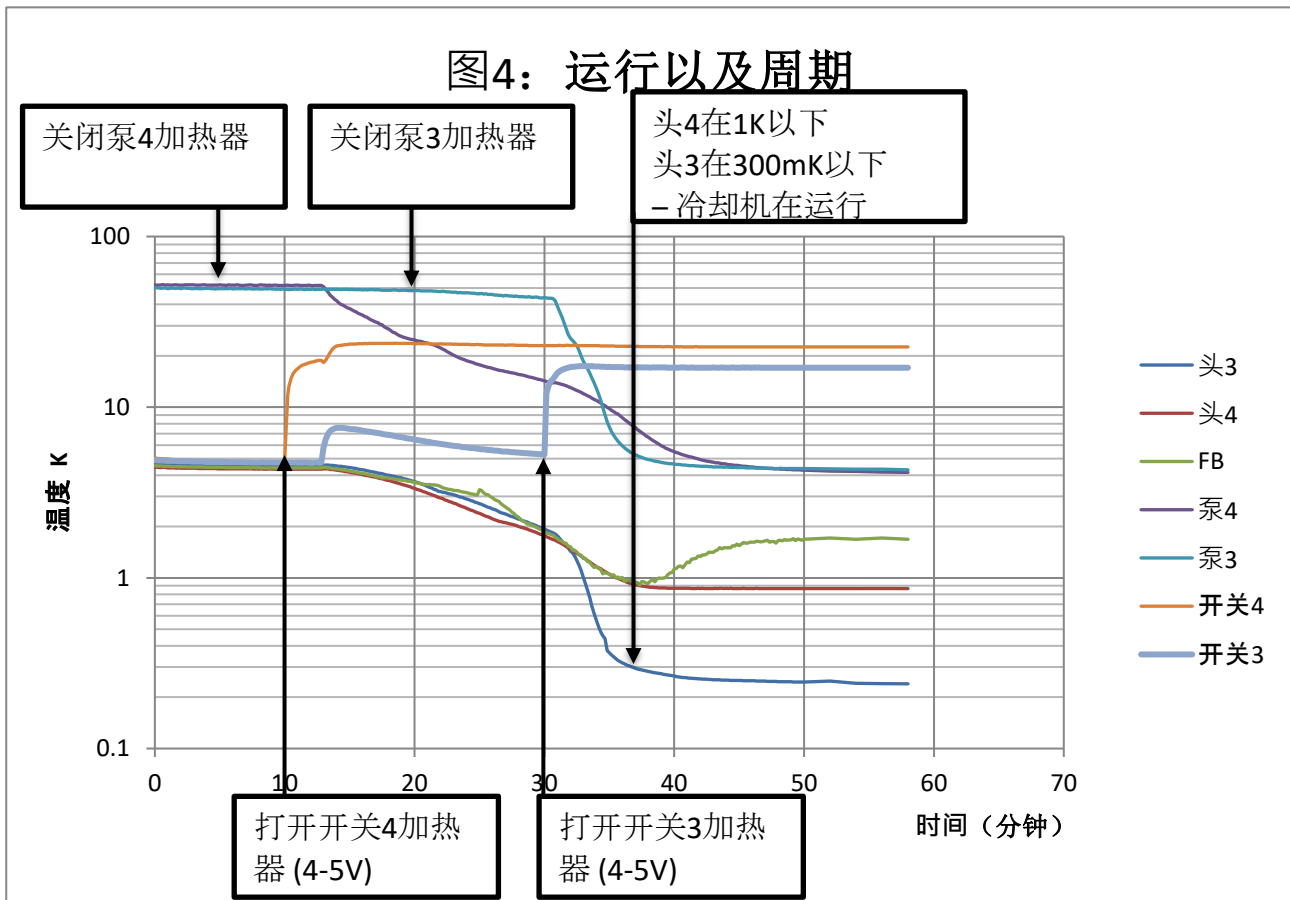
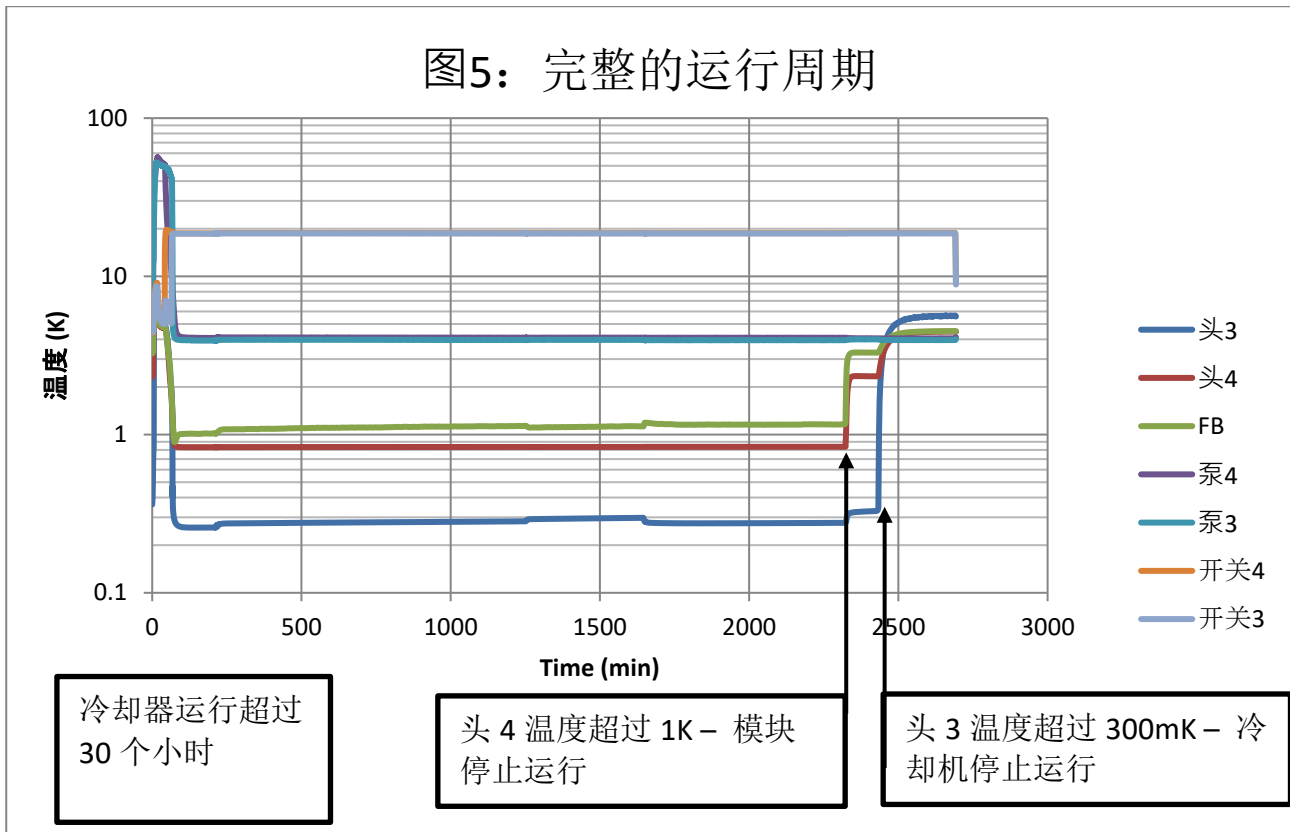


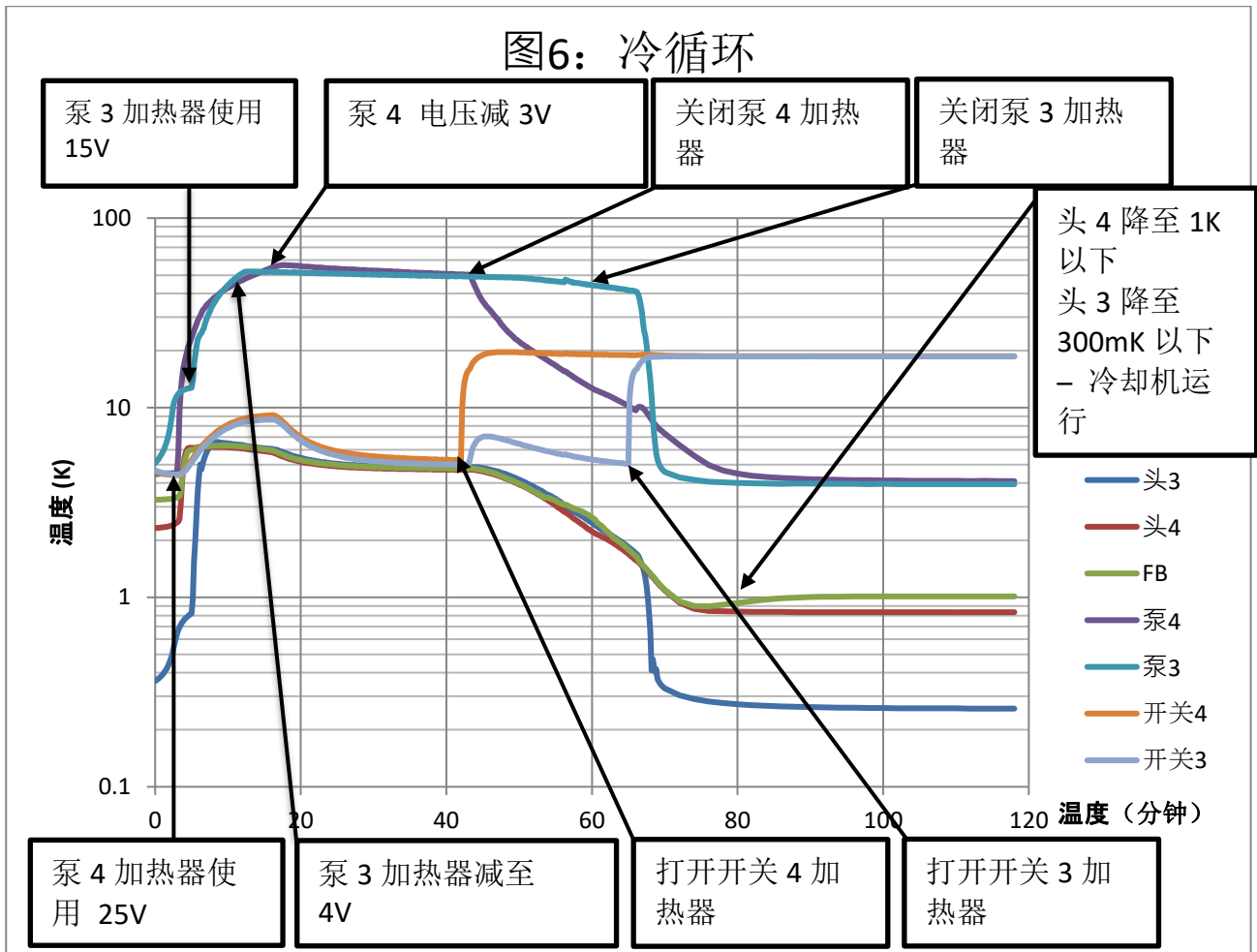
图 5 显示了一个具有各种应用热负荷的完整的运行循环的示例。在本例中，冷却机在负载下运行了 30 多个小时。在无施加载荷的情况下，头 3 的基准温度在 260mK 左右，头 4 的基准温度在 865mK 左右，液体蒸馏层的基准温度在 1.5 k 左右。

图5：完整的运行周期



#### 6.4. 典型冷循环

一个冷循环从开始到结束所需的时间不到 1 小时，实施起来非常简单，，请参见图 6 中的示例。在这个示例开始时，所有加热器的电源都关闭了。



## 7. 优化操作设备性能的提示和技巧

### 7.1. 预冷却

一旦开关关闭，在最初的冷却时间内，将泵保持在温度 25K 以上。

刚开始的冷却，冷却头通过气体对流开始冷却。当热开关打开时，低温泵通过热传导开始冷却。接着，冷却头将迅速冷却，而泵的温度高于 25K，但一旦泵下降到这个温度以下，冷却头可能需要几天的时间才能达到最终的冷却温度。这是因为当气体被吸附到水泵中时，冷却头不能通过气体对流冷却。快速冷却的关键是：一旦热开关关闭后，将大约在 25K 温度以上的泵重新加热，并将其稳定在此温度下。然后应该就能看到冷却头很快冷却到 4K 左右。

为了减少预冷却器上的负荷 (或减少在湿杜瓦器 (wet dewar) 中液体低温冷却剂的使用)，请对两个泵进行加热，使它们同时达到目标温度。这也会给你一个更少的冷却时间。

### 7.2. 运行 $^4\text{He}$ 模块

尝试在运行过程中改变泵的温度，以找到实现最佳性能的设置。

一旦头 4 温度在 4K 左右，开关是关闭的状态，就可以开始运行冷却机了。一般的方法是将泵加热到第 6.1 节表格中的建议温度，并将其保持在那个温度，同时确保头 4 冷却到  $^4\text{He}$  (5.2K) 的关键液化点以下。头 4 在泵热的时候温度越低，液化效率就越高，因此冷却机在必须进行循环之前运行的时间就越长。您应该尝试改变泵的温度，以找到能提供最佳性能的设置参数。

。当使用低功耗的机械预冷却器 (例如 100mW @ 4K pt 设备) 时, 您可能会通过从建议温度范围的低端开始, 实现更高效的  $^4\text{He}$  冷却, 这是因为从热泵对机械预冷却器施加越低的负载, 设备将会更快和更有效的循环和运行。

### 7.3. 操作 $^4\text{He}$ 模块上的热开关

*缓慢打开开关会减少预冷却器的负载。*

一旦  $^4\text{He}$  被液化 (当头 4 和液体蒸馏层温度停止下降), 泵 4 可以通过关闭泵加热器和打开热开关来开始冷却。温度极高的泵 4 会对 4K 板施加较大的热负荷, 这可能会导致温度暂时上升。但是泵的冷却速率可以根据施加到开关上的电压而变化。开关将在 14-17K 温度时开始打开, 并在 20K 左右完全打开。如果开关开得很慢, 首先施加较低的电压, 并逐渐增加电压, 泵产生的热量就会更慢地散热, 因此 4K 板的温度上升的会更少。此外如果在关闭泵电源和打开开关电源之间有一个小的停顿, 在这段时间内泵将通过泵管的寄生负载有些轻微的冷却。此时头 4 的温度和液体蒸馏层的温度将迅速下降。

特别需要注意的是要控制 GL7 中的冷却速度, 因为如果主板温度上升过高, 就有开关 3 被打开的危险。重要的是要保持泵 3 泵温度适宜 (并且保持开关 3 关闭的状态), 直到头 4 温度下降到 2K 以下。在冷却泵 3 泵前, 温度越低, 效果越好。

### 7.4. 操作 $^3\text{He}$ 模块

*直到看到某些信号再打开开关 3。*

一旦开关 4 被打开, 你可以关闭泵 3 的电源, 但只有当头 4 温度低于 2K, 以最大限度地提高  $^3\text{He}$  的液化效率时, 才打开开关 3。如果是运行低功耗的机械预冷却器, 最好等待更长的时间再打开开关 3。液体蒸馏层紧跟头 4 的冷却, 温度降到直到 0.9 K, 这个温度会保持一段时间, 然后再次上升温度, 您应该等待此信号再打开开关 3。

在泵 3 冷却时, 头 3 也会迅速冷却。在工作温度下的最终稳定将需要一些时间; 多长时间将取决于您的实验施加的热载荷。头 3 可能需要一些时间来稳定, 特别是在应用负载小于  $1\mu\text{W}$  左右时。这是因为液体  $^3\text{He}$  具有较高的比热容量, 相比气体蒸发的速度 (在非常低的蒸汽压力下) 可以提取潜热。最终工作温度越低, 相应的饱和蒸汽压力就越低, 气体蒸发的速度也就越低。

### 7.5. 寄生加载

*使用头 4 和液体蒸馏层缓冲任何寄生负载。*

在运行中, 寄生载荷可分布在头 4 头和液体蒸馏层之间, 以优化头 3 的温度或运行时间。当头 4 和头 3 的载荷分别保持在  $150\mu\text{W}$  和  $20\mu\text{W}$  以下时, 将获得最长的运行时间。

## 8. 标准销(PIN)分配列表

## GL7 25 销 micro-D SSP

功能	红色方框 代表双绞线			凹 25 销	驱动电流或电压
			类型	销编号	
3He 冷却头温度计 V+	[Red Box]	[Green Box]		1	交流桥或 低电流驱动 100nA 典型
3He 冷却头温度计 V-				14	
3He 冷却头温度计 I+				2	
3He 冷却头温度计 I-				15	
n/c	[Grey Box]	[Grey Box]		3	
4He 冷却头温度计 V+	[Red Box]	[Green Box]		4	交流桥或 低电流驱动
4He 冷却头温度计 V-				16	
二极管薄层数目 I+	[Red Box]	[Blue Box]		5	10 mA 直流电, 参阅 结电压.
二极管薄层数目 I-				17	
二极管 4He 泵 I+	[Red Box]	[Blue Box]		6	10 mA 直流电, 参阅 结电压.
二极管 4He 泵 I-				18	
二极管 3He 泵 I+	[Red Box]	[Blue Box]		7	10 mA 直流电, 参阅 结电压.
二极管 3He 泵 I-				19	
二极管 4He 泵开关 I+	[Red Box]	[Blue Box]		8	10 mA 直流电, 参阅 结电压.
二极管 4He 泵开关 I-				20	
二极管 3He 泵开关 I+	[Red Box]	[Blue Box]		9	10 mA 直流电, 参阅 结电压.
二极管 3He 泵开关 I-				21	
加热器 4He 泵开关 I+	[Red Box]	[Magenta Box]		10	10kΩ 加热器元件 供应 4-5V (约)
加热器 4He 泵开关 I-				22	
加热器 3He 泵开关 I+	[Red Box]	[Magenta Box]		11	10kΩ 加热器元件 供应 4-5V (约)
加热器 3He 泵开关 I-				23	
加热器 4He 泵 I+	[Red Box]	[Red Box]		12	200Ω 或 300Ω 加热器元件 供应 0-30V (约)
加热器 4He 泵 I-				24	
加热器 3He 泵 I+	[Red Box]	[Red Box]		13	300Ω 加热器元件 供应 0-30V (约)
加热器 3He 泵 I-				25	

电阻式温度计

二极管温度计

低功率加热器(少量 mW 级)

热功率加热器(高至 2W)



来自 Lakeshore Cryotronics 公司的通用 (即标准校准) 二氧化钨传感器是所有 CRC 低温机的默认配置。单独校准的 "CERNOX" 或二氧化钨传感器仅在客户的快速要求下安装 (额外的费用)。

CRC 有限公司提供了低温泵和热开关二极管的通用二极管校准曲线作为标准。还提供了特定于液体蒸馏层二极管的校准曲线。

## 9. GL7 操作流程图

请注意，某些操作并行发生。

