



## 面向 21 世纪实验室的替代制冷剂

莱尔德热系统技术论文

作者：莱尔德热系统液体制冷系统产品总监 *Greg Ducharme*

## 目录

简介 .....	2
应用背景.....	3
制冷剂类型.....	4
政府和环境法规及其对实验室的影响.....	6
低 GWP 值替代制冷剂面临的挑战.....	7
可持续实验室的冷水机选择 .....	8
性能曲线.....	9
其他注意事项.....	11
结论 .....	11
关于莱尔德热系统.....	12
联络莱尔德热系统.....	12

## 简介

循环冷水机是许多现代实验室的重要组成部分，尤其是在分析、制药、化学和生物技术等行业更为明显。它们通过有效地制冷和循环液体，在保持工艺过程或系统的精确温度范围方面发挥着至关重要的作用。这样能够确保各种设备和工艺过程的正确功能和准确性，例如激光器、蒸馏塔、试验室和分析仪器等。近年来，在不断发展的法规和行业标准推动下，实验室设计越来越重视可持续性和能源效率，这一趋势导致了“绿色实验室”的快速发展，目的是最大限度地降低能源消耗并减少对环境的影响。绿色实验室若要实现这些目标，一种有效方法是使用节能型循环冷水机，并确保这些冷水机使用对环境安全的制冷剂。

## 应用背景

实验室设备中的很大一部分需要对热敏电子设备、电子元器件以及实验室设备测试室进行精确温控。化学反应过程中会释放或吸收热量，需要精确的温度控制以保持化学反应稳定。实验室设备小型化的趋势也会增加热流密度，从而加剧热管理挑战。当发热电子设备被封装在较小的外壳中时，自然气流和散热的物理空间较小，但废热必须有效散发出去，以确保实验室设备的正常性能和测试室中化学反应的最佳控制。



*Rheometer*

*Incubator Chamber*

*DNA Sampling*

常见的需要温度控制的实验室应用有：

- 化学工艺：反应器系统、高压灭菌器、合成、气体冷凝
- 生物学：生物反应器、育种、发酵罐、反应柱、培养、细胞培养
- 石油和天然气：液体的粘度一致性、凝固点、燃料开发
- 工业研究：材料测试、环境模拟、样品温度控制、真空室、质量控制
- 食品科学：食品开发、温度模拟、质量检查

## 制冷剂类型

20 世纪 70 年代，人们发现 CFC 正在对地球臭氧层造成破坏。根据 1987 年《蒙特利尔议定书》，CFC 制冷剂将被逐步淘汰，该议定书是一项旨在保护臭氧层的国际条约。为了应对 CFC 的淘汰，化学工程师开发了氢氯氟烃（HCFC）作为替代制冷剂。HCFC 对臭氧层的破坏比 CFC 小，但它们仍然对环境有害。

## 制冷剂的历史

Generation	1 <sup>st</sup> "What Ever Worked"	2 <sup>nd</sup> "Safety & Stability"	3 <sup>rd</sup> "Ozone Protection"	4 <sup>th</sup> "Global Warming"
Years	1830's-1930's Natural & HC	1930's-1990's CFCs	1950's-2010's HCFCs & HFCs	2010- HFOs, Natural & HC
Focus	Toxic Flammable	High chlorine Strong ODP Strong GWP	Lower chlorine Lower/Near zero ODP Medium GWP	No chlorine Zero ODP Near zero GWP
Milestone	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1974 –Molina-Rowland</li> <li>•1987 –Montreal Protocol</li> <li>•1990 –CAA amendments</li> <li>•1996 –total phaseout of CFCs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2010 –phaseout of HCFC-22 from new equipment</li> <li>•2020 -total phaseout of HCFC-22</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2014 –F-Gas Europe</li> <li>•2015 –EPA SNAP</li> <li>•2016 –Montreal HFC phasedown (Kigali)</li> <li>•2016 –ECCC Canada</li> </ul>

20 世纪 90 年代，氢氟碳化物 HFC 被开发为一种更环保的 HCFC 替代品。HFC 不含氯，对臭氧层无害。然而，它却能产生温室气体，导致全球变暖。

如今，业内正在推动使用全球变暖潜能 (GWP) 值较低的制冷剂。气体的 GWP 值由三个因素决定：

1. 气体对红外辐射的吸收量
2. 如果它能够吸收来自地球的一系列高长波排放，其 GWP 值就会更高
3. 气体在大气中停留的时间越长，GWP 值就越大

因此，100 年的 GWP 值是基于一种气体在 100 年内吸收的能量。

GWP 值气体是已知的那些能够导致全球变暖的气体。这些气体会将热量截留在大气中，导致全球气温上升和气候变化。最常见的 GWP 值气体包括：

- 二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)

- 甲烷 (CH<sub>4</sub>)
- 一氧化二氮 (N<sub>2</sub>O)
- 氢氟碳化合物 (HFC)
- 全氟化碳 (PFC)

制冷剂臭氧消耗潜能 (ODP) 和 GWP 值 (ODP 基于联合国环境规划署 (UNEP) (2006 年), GWP 值: 100 年)

Type	Name	ODP	GWP	ASHRAE	Efficiency	Note
CFC	R-11	1.00	4750	A1		• Very high ODP & high GWP
	R-12	0.82	10900	A1		• No longer available
HCFC	R-22	0.06	1810	A1		• Medium ODP and medium GWP
	R-124a	0.03	610	A1		• Phasing out via Montreal Protocol
HFC	R-134a	0	1430	A1		• Zero ODP and medium GWP
	R-404A	0	3920	A1		
	R-407C	0	1770	A1		
	R-410A	0	2090	A1		
	R-513A	0	573	A1	-	
	R-515A	0	392	A1	-	
	ARM-42	0	131	A2L	-	
HFO	R-1234ze	0	6	A2L	-	• Zero ODP and near zero GWP • Some higher flammability
	R-1234yf	0	4	A2L	-	
Natural	R-717	0	0	B2L	+	• Efficiency question for HFO (TEWI)
	R-744	0	1	A1	*	
HC	R-290 & R-600a	0	3	A3	+	* Typically complex configuration

GWP 值较低或接近于零的替代制冷剂包括一些碳氢化合物, 如丙烷(R-290: 目前用于中低温制冷)、异丁烷(R-600a: 目前用于轻型商用冰箱、冷冻柜、饮料分发器)、氨(R-717: 用于大型工业制冷)、二氧化碳(R-744: 用于运输、商业和工业制冷、超市等)和新型氢氟烯烃(HFO)制冷剂及其混合物, 如用于欧洲车辆的 R-1234yf 和用于自动售货机、制冷机和密封压缩机的 R-1234ze 等。

这些替代制冷剂由于其性能和环境友好特性, 在用作未来的替代品方面受到了极大重视。这些优势特征包括臭氧消耗潜能(ODP)值为零和 GWP 值接近于零。然而, 这些好处的代价是其中一些制冷剂被归类为易燃或毒性物质。这些下一代替代制冷剂当然是市场可用, 但每种制冷剂都有自己的安全问题和一系列环境挑战。

## ASHRAE 易燃性和毒性

higher flammability	A3	B3
lower flammability	A2	B2
no flame propagation	A2L	B2L
	A1	B1
	Lower toxicity	Higher toxicity
	Increasing toxicity >>	

易燃型制冷剂通常不用于设备，因为它们具有潜在的安全风险。由于对全球变暖的日益担忧以及监管要求的不断变化，需要更多地理解和开发使用易燃制冷剂的环保安全系统。

如上所述，目前使用的许多制冷剂 ODP 值为 0，GWP 值在约 400 至约 4000 之间。因此，莱尔德热系统公司的科学家们采取了一项举措，开发了一种使用 R-290 制冷剂的新方法，ODP 值为 0，GWP 值为 3。

R290 是一种碳氢化合物制冷剂，通常用于空调和制冷系统。尽管它工作压力比 R600a 更高，但由于其高效率和低 GWP 值，因而也是大型系统 (>1kW) 的热门选择。冷水机只需要 <100g 的 R290，这允许空运，同时限制了制冷量。使用 R134a 制冷剂的同类冷水机需要高达五倍的制冷剂充气量 (500g) 才能实现类似性能。然而，R290 是易燃制冷剂，如果不采取适当预防措施，操作起来可能很危险。因此，在使用和维护应用易燃制冷剂的设备时，必须遵守制造商的说明书和操作指南。

## 政府和环境法规及其对实验室的影响

政府和环境法规在实验室设备的采购决策中起着重要作用，尤其是在制冷剂和能源效率方面。政府和环境法规已经帮助淘汰了许多有害的制冷剂，代之以更环保的替代产品。

其中一项法规是《氟气体法规 (F-Gas Regulation)》(欧盟第 517/2014 号法规)，该法规专门针对氟化气体，包括实验室设备制冷系统中使用的某些制冷剂。该法规对这些气体的生产、使用和处理进行了限制，以减少其对气候变化的影响。这项法规鼓励逐步过渡到 GWP 值较低的制冷剂，并提倡采用高能效制冷技术。

除 F-Gas 法规外，还有其他类别的法规会影响实验室设备：



1. 环境法规：这些法规可能会对实验室设备施工中使用的材料类型以及设备产生的排放和废物进行限制。
2. 安全规定：实验室设备必须符合某些安全标准，以确保在实验室环境中安全使用。这可能包括设备的设计和构造要求（例如在发生泄漏时将电气部件与易燃制冷剂隔离），以及其它标签和警告标志。
3. 健康和卫生条例：实验室设备必须符合某些健康和卫生标准，以保护工人和公众免受与危险材料相关的风险。这些标准通常规定了设备的设计和材料要求。  
质量保证条例：实验室应遵守质量保证条例，其中可能包括实验室设备的采购和维护要求。

为了满足这些法规要求，实验室应考虑各种认证和标准。

例如，拥有 LEED 认证的实验室会表明实验室对环境负责，可能会享受税收优惠。ROHS 和 REACH 认证会确保含量高的汞或铅等某些金属材料不用于组件。UL 实验室标准会确保实验室技术人员安全使用产品，并与实验室中的其他技术电磁兼容。

EN 378 是制冷系统和热泵的欧洲标准。它规定了设计、施工、测试和性能，以及在安全性、环境影响和能源效率等方面的要求。该标准涵盖了各种不同的制冷和热泵系统，包括固定和移动系统，以及商业、工业和家用系统。EN 378 旨在为整个欧盟的制冷系统和热泵设计、建造和运行提供一个共同的基础，并在这些系统的设计、构建、测试和认证中用作基准。

此外，经国际许可机构认可，IEC/EN 61010-1 规定了各种电气设备及其附件的安全要求，涵盖包括测试和测量设备、工业过程控制设备和实验室产品等。

IEC/EN 61010-2-011 规定了电气设备及其附件的特殊安全要求，这些设备可以把制冷系统作为组成部分，或是独立设备，以及直接控制制冷系统的设备。本文详细说明了每级制冷系统使用最多 150 克易燃制冷剂时的所有要求。

循环冷水机现在采用国际标准化组织（ISO）的能效比（EER）标准进行评级，该标准用于衡量冷水机的制冷能力与其电输入功率的比率。具有更高能效比额定值的冷水机表明更加节能，有助于降低实验室的整体能耗。冷水机的 EER 等级是决定设备是否符合 EN 378 等政府和环境法规的一个关键因素。

实验室管理人员必须了解这些规定，并确保购买的所有设备符合相关标准。不遵守法规可能会导致罚款、法律诉讼，并损害实验室的声誉。

## 低 GWP 值替代制冷剂面临的挑战

低 GWP 值制冷剂的成本和性能在选择冷水机平台方面起着重要作用。GWP 值制冷剂成本可能受到几个因素的影响，包括要达到一定制冷效率所需的制冷剂量，以及原材料的可用

性、生产、制造和供需等。由于需求关系所致，一些 GWP 值制冷剂变得越来越稀缺，这样就推高了价格，使公司难以获得这些制冷剂。

政府法规和税收也可以在确定 GWP 值制冷剂的成本方面发挥作用。例如，GWP 值较高的制冷剂可能会面临更高的税收或受到更严格的监管，这可能会增加其成本。

一些政府及其它机构对在单个系统内允许运输的易燃制冷剂数量有严格限制，这可能会极大地影响基于替代制冷剂的制冷系统制冷能力。

## 可持续实验室的冷水机选择

在开发冷水机/制冷平台时，制冷剂的选择是决定结构和服务要求的关键因素。在可持续实验室中，选择具有低 GWP 值制冷剂的冷水机应该是首要考虑因素。

在谈及低 GWP 值替代制冷剂时，莱尔德热系统通常使用 R290 和 R600a。由于两者都是易燃物质，系统设计时需要保证制冷剂少于 100 克。考虑到热特性，R600a 的制冷能力在如此小充气量下受到限制，而且需要在较低压力下运行。因此，R600a 是制冷能力小于 1kW 应用的首选制冷剂。对于需要大于 1kW 冷却能力的应用，莱尔德热系统会结合必要的设计功能，用以管理更高压力，并利用 R290 的更高热性能。

### 其他考虑因素：

#### 确定冷水机尺寸

正确把握循环冷水机的尺寸对于确保能够有效地制冷预期区域或工艺过程至关重要，同时也能够实现节能和成本效益。正确把握冷水机尺寸的第一步是确定冷水机将要服务的区域或工艺过程的制冷负荷。制冷负荷（通常以 kW 为单位）是为了保持所需温度而要从目标区域或工艺过程中去除的热量。该负载可以使用多种方法计算，包括手动计算、计算机模拟和规范化软件等，莱尔德热系统的热管理大师（Thermal Wizard）即是其中一例。

一旦确定了制冷负荷，在选择能够满足指定冷却负荷的冷水机时，有几个因素需要考虑：

- 冷水机类型（风冷或水冷）
- 所用的制冷剂类型
- 所需的电源输入
- 泵流量和压力
- 系统效率



当使用风冷式冷水机时，同样重要的是要考虑冷水机安装设施的设计，以及其他设备是否会受到系统散热影响。

高效冷水机能够显著降低能源消耗和安装现场的热量，因而更加环保，也可减轻建筑物暖通空调系统的负担。采用变速压缩机和风扇的冷水机可使能耗降低近 50%。重要的是要寻找满足能效比（EER）、变速电机、冷却液维护和系统设计功能要求的冷水机，以确保系统的正常运行时间。

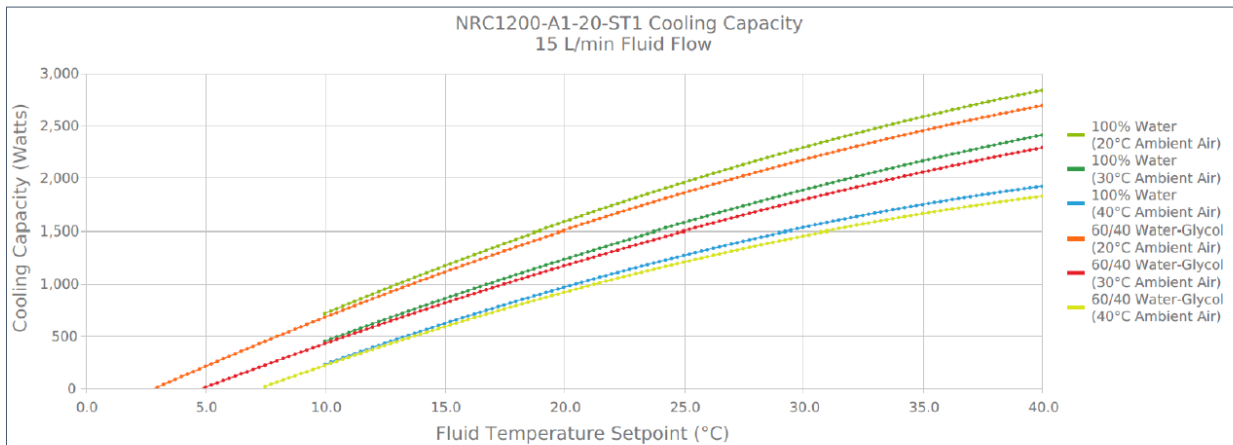


最后，重要的是要考虑冷水机的维护要求和更换部件的市场供应。冷水机必须易于维护和维修，以最大限度地减少停机时间，并保持其平稳高效运行。

## 性能曲线

冷水机的性能通常由一组性能曲线来描述，这些曲线显示了冷水机在不同条件下的性能表现。通过了解这些性能曲线，用户可以更好地决定哪种产品更适合他们的应用。

## 了解冷水机性能曲线



- Chiller performance...
  - Decreases with decreasing setpoint – result of capacity within evaporator
  - Decreases with increasing ambient temperature – result of capacity within condenser
- Type of fluid has small impact on performance

冷水机的一个重要性能曲线是制冷量曲线，该曲线显示了冷水机的制冷能力，以及如何随冷却剂（coolant）温度设定值和环境温度而变化。

在风冷冷水机的情况下，制冷能力是指冷水机可以从循环液体通过制冷系统传递到安装现场空气中的热量。了解温度设定值和安装现场周围空气温度与所需制冷能力的关系非常重要。

冷水机的另一个性能曲线是泵性能曲线。需要制冷的设备有一个内部热交换器，其设计用于在特定的冷却液温度和流速下运行。由于流量和压力密切相关，因此该图表上的数据可帮助选择一个确保内部热交换器有足够流量的泵，以确保设备正常运行。

冷水机的第三个重要性能曲线是 EER 曲线，该曲线显示了冷水机的效率如何随着制冷剂温度的变化而变化。EER 是冷水机的制冷能力与电输入的比率（瓦特/瓦特）。对于采用单速电机的冷水机，EER 随着冷水机制冷能力的使用量而增加。例如，制冷 1.5kW 时，2kW 冷水机的 COP 将高于 5kW 冷水机。

此外，为了了解冷水机性能曲线，必须确定冷水机运行的条件。冷水机性能随以下条件而变化：

- 冷水机负载（即所需的制冷量）
- 流出冷水机冷却剂的温度设定值
- 安装现场的环境温度
- 设备所需的冷却剂流量和压力

通过查看和分析性能曲线，用户可以了解冷水机在何种条件下能够高效运行，在哪里可能会遇到困难，以便调整运行条件以提高整体性能。

## 其他注意事项

除了能源效率之外，还必须考虑所需的温度范围和稳定性，以及正在进行的设备或工艺过程的特定制冷需求，这将有助于确定循环冷水机所需的尺寸和制冷量。冷水机的尺寸应适合实验室需要，因为尺寸过小的冷水机无法满足制冷需求，而尺寸过大的冷水机可能能效较低，运行成本较高。降低运行噪音以及减少对实验室环境的热输入有助于满足冷水机的环境友好要求。

## 结论

制冷设备是许多实验室环境中的重要组成部分，它可用于多种场合，包括电子设备的热管理、培养和细胞生长的精确温度控制，以及维持反应温度等。这类设备的客户群多种多样，包括化学、生物、医疗、石油和天然气以及食品科学等行业。新型制冷剂的开发体现了当今一系列技术进步，以及向更环保的选择方式转变。随着人们对气候变化的忧患意识不断加强，未来有必要进一步开发更新的制冷剂技术。而在选择循环冷水机时，重要的是需要仔细评估各种选项，并选择那些符合实验室具体需求的系统，同时也需要遵守相关政府和环境法规，并考虑其全球性影响。

## 关于莱尔德热系统

莱尔德热系统为全球医疗、工业、运输和电信市场的苛刻应用开发各种热管理解决方案，我们是能够制造业内最多样化产品组合的少数厂商之一，产品范围从主动热电制冷器和组件到温度控制器和液体冷却系统。我们的工程师使用先进的热建模和管理技术来解决复杂的热管理和温度控制问题，通过提供广泛的设计、原型制作和内部测试能力，我们与客户在整个产品生命周期内密切合作，以降低风险并加快产品上市时间。我们的全球制造和支持资源能够帮助客户最大限度地提高生产率、正常运行时间、产品性能和质量。莱尔德热系统是标准或定制热管理解决方案的最佳选择。欲了解更多信息，请访: <https://lairdthermal.com/cn>

## 联络莱尔德热系统

如果您对莱尔德热系统有任何疑问或需要更多信息，请通过：  
<https://lairdthermal.com/cn/contact-us> 联系我们。

### 商标

2023莱尔德热系统(Laird Thermal Systems Inc.) ©版权所有，保留所有权利。Laird™、Laird Ring 徽标和莱尔德热系统(Laird Thermal Systems™) 是 Laird Limited 或其子公司的商标或注册商标。