

797293

5757

〔苏〕 Н. Т. 洛马宁柯
Ю. Ф. 库里柯夫

著

5/3773

低温 阀

757

5/3773

机械工业出版社

低 温 阀

〔苏〕 H.T.洛马宁柯 著
Ю.Ф.库里柯夫
沈士良 译
王渊喆 校

机 械 工 业 出 版 社

本书阐述了低温阀的设计和计算方法，同时，还分析了低温阀的基本结构，研究了各种零部件的材料，绝热形式，密封机构的工作性能，以及低温阀中使用的传动机构的主要特性等，并且用数字实例说明了计算方法。

本书可供从事低温技术和阀门设计制造的工程技术人员使用。

书中附有16个图表，66个插图，27种主要参考文献。

КРИОГЕННАЯ АРМАТУРА
Н.Т. РОМАНЕНКО, Ю.Ф. КУЛИКОВ.
《Машиностроение》

低 温 阀

〔苏〕 Н. Т. 洛马宁柯 著
Ю. Ф. 库里柯夫

沈士良 译 王渊喆 校

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32 · 印张 3 7/8 · 字数 81 千字

1986年12月北京第一版 · 1986年12月北京第一次印刷

印数 00,001—2,140 · 定价 0.99 元

统一书号: 15033 · 6221

前 言

随着低温工程制品的生产规模不断发展扩大，要求低温阀门的结构作进一步完善。对低温阀门的技术性能和工作特性的要求也在不断提高。

在低温装置中，阀门的工作条件要比普通工业阀门恶劣得多。由于温度变化范围很大，使阀门的密封十分困难，因而必须要提高阀头和阀座之间的密封压力，这样，传动功率也要因之而增大。由于要在易爆介质中使用，所以需要采用专门的材料和润滑方式。高度绝热的要求对流程和结构的设计有着深刻的影响，一般都要要求采用双壁真空绝热。

本书阐述了低温阀设计和计算方法的特殊点，并对主要结构进行了分析。研究了液流阻力对热特性的影响。提出了对使用的材料及热桥、摩擦副、密封机构和绝热方式等设计的要求。指出了低温阀传动机构中采用气动阻尼方法，以及气动传动机构的动力特性的计算方法。还叙述了低温阀技术水平的评定准则，密封机构工作性能的计算方法以及通过试验来确定阀门各元件的热流、热特性及动力特性的方法，指出了用来操纵气动传动机构的电磁阀门的特点。提出了低温阀上使用脉冲式极化传动装置的前景。

本书中例举的材料是设计师和工艺师在低温阀的设计和加工中所必需的。

7A443/07

译 者 的 话

低温技术已在我国国民经济的许多部门和国防建设上获得了广泛的应用，但是我国低温技术的进展与世界先进水平相比，差距还较大。低温工程的实践告诉我们，低温阀质量的优劣直接影响着整个低温工程的进展。实践的教训是很多的，往往因为一个阀门不密封、关不严或打不开，导致了一次大型试验的失败，造成大量的人力、物力、财力的浪费，并使整个低温工程的研制计划推迟。

目前，我国对低温阀门还缺乏系统地试验研究，有关低温阀的设计资料也很少。《低温阀》一书系统地介绍了低温阀的结构特点和计算方法，并提供了有用的数据，内容全面而具体。希望本书的出版对从事低温工程的科技工作者在改进和提高我国低温阀的设计制造和试验研究水平方面有所裨益。

本书译文由王渊喆同志校订，并先后经流体工程学会袁玉求、樊力同志审校。

目 次

译者的话

前言

第一章 低温阀的主要特征和分类	1
第一节 低温阀的定义、工作特性及分类	1
第二节 低温阀技术水平的评定准则	4
第三节 低温阀的液流阻力对其热特性的影响	7
第二章 低温阀的结构	13
第一节 堆积绝热式低温阀	13
第二节 真空粉末绝热和真空屏蔽绝热式低温阀	23
第三节 低温安全阀	31
第四节 其他类型的低温阀	39
第三章 低温阀门所用的材料及其各个部件的设计	43
第一节 材料	43
第二节 对组件的材料和结构型式的防火防爆要求	49
第三节 热桥设计	52
第四节 波纹管 and 填料函密封的设计	55
第五节 摩擦副的设计	61
第四章 低温阀的启闭密封件	64
第一节 低温阀启闭密封件的特点及其参数的选择	64
第二节 低温阀启闭密封件工作性能的确定方法	68
第三节 低温阀中各种类型启闭密封件的工作特性	72
第五章 低温阀的绝热	80
第一节 对低温阀热特性的要求, 热力计算的任务和方法	80
第二节 热流轴向对称时低温阀热特性的计算	83
第三节 低温阀支座的热流计算	99

第四节 采用试验的方法确定阀门元件的热流	103
第六章 低温阀的传动机构	108
第一节 低温阀中的气动阻尼	108
第二节 操纵低温阀气动传动机构的电磁阀	112
参考文献	115

第一章 低温阀的主要特征和分类

第一节 低温阀的定义、工作特性及分类

低温阀用于大多数低温工程中，即获得或应用低温的工程中，低温阀的用途和普通工业管道阀门的用途基本上没有什么区别，也是用来直接切断或调节液流和气流的。让我们更确切地说明什么样的阀门可以称为低温阀。

低温阀是一种在温度等于或低于 120 K 的介质中工作的阀门。这种温度的工作介质对阀门构件的影响可能是持续的，也可能是短时间的。除了在低温介质下工作外，同样应当考虑到低温阀还要在周围环境温度下工作，即在 $223\sim 323\text{ K}$ 的温度下工作。在设计阀门元件时，例如在设计启闭密封件时必须考虑到这一点。

根据低温阀的使用条件，对其设计提出下列要求。

1. 整个阀门及其组合件在低温介质及周围环境温度下应具有长时间工作的能力(一般为10年或是3500~5000次循环)。
2. 阀门对低温介质不应成为一个显著的热源。另一方面，低温介质也不应对在周围环境温度下工作的阀门“常温”的组合件产生显著的有害影响。
3. 直接和低温介质接触的阀门组合件的结构应当符合在该介质中工作时的防爆和防火的要求。
4. 在低温下工作的阀门组合件不能润滑，所以需要采取结构措施，以防止摩擦部件擦伤的可能性。

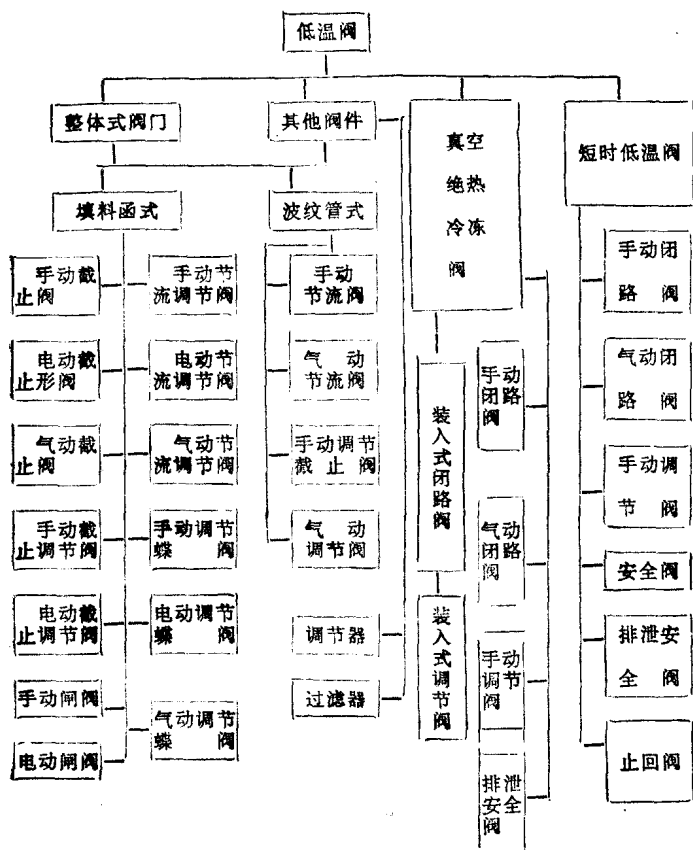


图1 低温阀的分类

根据低温阀的主要结构特性和用途，可将其分为以下四类(图1)。

1. 具有堆积式绝热层的阀门(整体式阀门) 这种阀门多用在空(气)分(离)装置、液氢装置和其它堆积式绝热的装置上，阀体位于装置的冷区内。使用加长的管子和阀杆，作为

阀体和位于热区内的外壳元件的连接件。阀杆的螺纹一般也要移到热区内。

整体式阀门按用途还可以进一步分为：闭路阀、调节阀、闭路—调节阀及安全阀。

按结构特点可分为：截止

阀、闸阀、蝶阀、旋塞阀等。

按操作方式可分为：手动、电动、气动及电磁阀门。

按阀杆的密封形式可分为：填料函式、波纹管式或膜盒式，等等。

2. 真空绝热冷冻阀

这种阀门用于冷凝温度低于120 K的液化气输送线中，在这种情况下，阀门绝热腔必须要和管道绝热腔形成统一的真空系统。

为了确保密封，要将阀体和外壳焊接在相应的管道内管和外管上，为了保证不把阀门从管线上取下来就能拆卸、修理，还使用了对接式热桥(图2)。

热桥本身有两根薄壁管4和1，在两根管子之间留有最小的结构上允许的间隙，间隙中充满工作介质。

具有底2的热桥内管4和传动

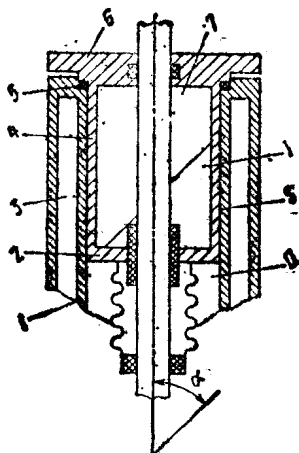


图2 对接热桥示意图

I—间隙S中的可能存在液相工作

介质区

II—低温区，液相

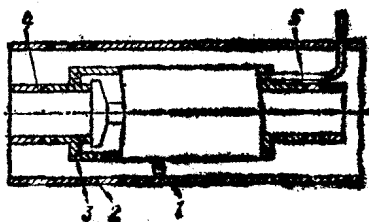


图3 安装在管道内的阀门示意图

装置底座 6 形成封闭的圆筒腔 7, 腔内通常充满空气, 但也可以抽成真空。壳体管 1 把工作介质和真空腔 3 分隔开, 用工作温度与周围环境温度区别不大的法兰和垫片 5 的连接来密封工作介质。

为了在更换阀杆组合件时, 不使阀瓣头和阀座摩擦, 广泛采用软密封副(通常为金属-氟塑料及金属-聚碳酸脂)。这种阀门主要是手动操纵和气动操纵的。按用途又可将其分为闭路阀、调节阀和安全阀几种。

为了尽量减少漏进低温介质的热量, 已研制成一种安装在低温管道内的阀门。图 3 为这种阀门的一般结构示意图。壳体 3 焊在管道的内管 4 上。低温壳体和较热管子 2 借助于承力支座 1 连接, 该支座是用绝热材料制成的。阀瓣头和阀杆的传动方法是一端用弹簧, 另一端用操作气体, 操作气体的冷凝温度比工作介质的冷凝温度低。操作气体通过管子 5 输送。

这种阀结构非常紧凑, 绝热完善, 组件装配方便。其缺点是阀杆组合件不能拆卸更换, 需要用氦气作操作气体, 并且难于制成调节阀。

3. 在常温下工作的低温阀, 也可以允许低温介质通过短时间受到冷冻, 这种阀门(安全阀、取样阀等)一般没有绝热层。其结构形式应能保证在冷冻时工作不发生故障。这主要取决于材料的正确选择及填料函的密封结构。

4. 其他形式的阀门 这里指的是过滤器、控制阀等等。

第二节 低温阀技术水平的评定准则

为了实现对低温阀提出的要求, 首先必须要确定能比较各个结构并评定其完善程度的客观方法。

可根据准则^[21]来评定气动机构的完善程度, 这一准则

是从能量消耗的合理性这一角度来评定的。低温阀技术完善性的指标应该考虑其工作特性，并能反映对其提出的主要要求。这些要求可以归纳为以下几点：

1. 通过阀门进入低温介质的热流 Q 必须是最小值。

显然，热量本身不决定绝热的完善性，更确切地说是 Q 和所通过的低温介质的单位质量的比 $\frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4} \omega p}$ ；

式中 ω —— 介质速度； p —— 介质密度。

但是，把这一数值用作绝热完善性的指标是不合适的，因为指标应该是只有一个值适合于该阀门。可是无论是介质速度还是介质的密度（标准阀门可以用于许多种介质），都不能得出单一的值，对同一个阀门来说可能有几种不同的数值。低温介质不同， Q 值也不同，所以选用下面数值作绝热指标比较合适：

$$K_r = \frac{a_r \cdot Q}{D_r^2 \cdot v_0} \text{ 瓦特/厘米}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

式中 a_r —— 比例系数。 v_0 —— 周围环境温度（ 20°C ）与低温介质温度之间的温度差。

这样确定的 $\frac{Q}{v_0}$ 值与 K_r 近似于常数。考虑到低温阀在液氮中试验，最好使 $a_r = 216$ ，这样

$$K_r = \frac{216Q}{D_r^2 v_0} \text{ 瓦特/厘米}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

2. 要冷却到低温的阀门零件的质量对于周期性工作的低温系统可能有着极其重要的意义。

例如：对于 $D_r = 100$ 毫米的球阀来说，零件冷却的冷耗量几乎相当于两昼夜内经过绝热层从外界漏进的热量。

根据上述类似的理由，阀门冷却质量的指标为

$$K_m = \frac{216Q_1}{D_r^2 v_0} \text{ 千焦耳/厘米}^2\text{℃} \quad (3)$$

式中 Q ——在不稳定冷却过程中阀门零件传给低温介质的热量，不计入周围空气的漏热。

3. 当冷却到低温时，密封机构的密封性经常被破坏。为了达到密封需要大大地增加密封比压。另外，低温阀门启闭密封件的密封性在循环过程中，经常出现许多特殊的变化。

低温阀门启闭密封件的工作能力指标采用

$$K_s = \frac{100\Delta V}{D_r} \text{ 厘米}^3/\text{分} \quad (4)$$

ΔV ——在工作寿命期限内气体的平均渗漏量 厘米³/分。

$D_r = 100$ 毫米的启闭密封件在低温下的密封标准取渗漏量 0.1厘米³/分。这时 $K_s = 1$ 。

4. 当低温阀工作时，其外表面不应结露，也不应结冰。外表面结冰程度首先取决于周围空气温度和零部件表面温度之间的差值 U ，另外也和空气的露点温度有关。总之，在全天气候条件下，要彻底消除结露是很困难的。但是，如果上述温度差值不超过5℃，那么结冰的可能性不大。

这样，阀门外表面不结冰的条件为

$$t_{\max} \leq t_{\text{доп}} = 5^\circ\text{C} \quad (5)$$

表1为现有阀门的一些技术水平指标。从表1中可以看出，随着公称通径的增大，性能也有所改善，所以对 K_r 与 K_m 指标的要求应当要根据 D_r 而定，指标 K_m 值要取决于阀门的类型，阀壳体的材料及其组件的结构完善程度。

表2列出了某些类型低温阀的 K_m 指标值。其中蝶阀的指标最佳，但是这类阀门在低温下很难密封，所以只用来调节液流或气流。

表1 气动式真空绝热阀门的技术水平标准数值

公称通径 毫米	低 温 介 质								
	氧(O ₂) 氮(N ₂)			氢(H ₂)			氦(He)		
	Q 瓦特	K _T	F _M	Q	K _T	K _M	Q	K _T	K _M
50	25	1.00	36	15	0.60	36	2	0.06	21
100	40	0.80	24	25	0.50	24	—	—	—
200	70	0.70	19	50	0.50	19	—	—	—
300	100	0.67	14	70	0.47	14	—	—	—

表2 一些主要类型的阀门的K_M准数

阀 门	D _g 毫米	主要零件的材料	K _M 千焦耳/ 厘米 ² ·°C
堆积绝热式截止流阀	200	阀体阀头——黄铜	16.7
堆积绝热式闸阀	300	阀体阀头——黄铜	30.6
整体式蝶阀	200	阀体——不锈钢 蝶板——铝	5.85
真空绝热截止阀	200	不锈钢	31
真空绝热球阀	100	不锈钢	67

第三节 低温阀的液流阻力对其热特性的影响

除了通过阀门直接漏入低温介质的热量之外，由于阀门流通部分的摩擦也会产生热量。让我们来计算一下这部分热量。

众所周知，热力学第一定律方程式对流体为：

$$dQ = di + WdW + dl_{r,ex} + dl_{r,p} + dh \quad (6)$$

式中 Q ——漏入低温介质的热量； i ——焓值， W ——流动速度； $l_{r,ex}$ ——流动所作的工程功 $\ominus$ ； $l_{r,p}$ ——摩擦功； h ——位能。

因为

$\ominus$ 原文 $dl_{r,ex}$ 有误，应为 $dl_{r,ex}$ 。——译注

$$di = dU + d(PV) = dU + PdV + VdP \text{ 与 } dQ = dU + PdV$$

式中 V ——低温介质的内能，所以根据(6)式得出

$$VdP + WdW + dl_{\tau_{ex}} + dl_{\tau_p} + dh = 0 \quad (7)$$

阀内不会产生工程功，而且位能和速度头的变化值也很小，可以忽略不计，这样

$$dl_{\tau_p} = -VdP \quad \text{或 } l_{\tau_p} = - \int_{p_1}^{p_2} VdP \quad (8)$$

从(8)式可以得出，如果流通部分没有摩擦，那么介质通过阀门时的压力损失也同样不会产生。要注意，这一结论是在没有限制介质性质的条件下得出的。但是阀门流通部分摩擦的存在，不会引起焓值增加，因为摩擦功转化成摩擦热 Q_{τ_p} ，贮存在介质中，即 $dl_{\tau_p} = dQ_{\tau_p}$ 。

采用同样假设 ($WdW = dl_{\tau_{ex}} = dh = 0$) 得出

$$dQ_{BH} + dQ_{\tau_p} = di + dl_{\tau_p} \quad \text{或 } dQ_{BH} = di \quad (9)$$

如果略去外界的热量，则得 $di = 0$ ，即介质流过阀门的综合过程可以说成是节流过程。

骤然看起来，好象上述推论是相互矛盾的。实际上我们一方面确定了在阀门流通部分中因摩擦而产生热量，但是另一方面在综合方程(9)中又没有这种摩擦。而且，众所周知，节流时，在很大的压力范围内大多数气体温度都要下降，这是一个有利的因素。

首先，我们看到，摩擦热实际上是存在的。没有摩擦热，就不可能有绝热节流，因为为了在降低压力时保持焓值不变，需要引进热量。这种热量到底消耗在哪里了呢？

让我们看一看下面两种情况。

1. 低温介质—不可压缩的液体 ($V = \text{常数}$)

$$di = dU + PdV + VdP = dU + VdP = 0;$$

$$-VdP = dQ_{\tau p} = dU \quad (10)$$

由此方程式看出，摩擦热消耗在增加低温介质的内能上（加热）。

2. 低温介质—理想气体

$$di = dU + PdV + VdP = C_v dT + PdV + VdP = 0 \quad (11)$$

众所周知，当理想气体节流时，其温度不变（ $dT = 0$ ），比较方程(11)和克拉毕隆等式 $PV = RT$ ，便可以得知这一点。

由方程式(11)得

$$-VdP = dQ_{\tau p} = PdV = dL \quad (12)$$

即在此情况下，摩擦热消耗在气体膨胀做功上，如果有什么方法能从气体中把热量引出来的话，那么正象从方程式(11)中得出的那样，气体温度在膨胀时要下降。这一过程相当于产生外功的绝热膨胀。

$$dT = -\frac{PdV}{C_v}; \quad dV > 0; \quad dT < 0$$

在大多数低温循环中，工质的压力降低时，其温度也要降低，而且节流循环的经济效率也比作外功的绝热膨胀循环的差。因此，虽然在介质以很大的流体阻力通过阀门时，其温度可能下降，但仍可以讨论热损失。因为如果依等熵膨胀过程压力降能得到更合理的利用，那么温度就可能更低些（图4、5）。

在图4中的 $S-T$ 图表是冷冻机中最简单的低温膨胀循环（线段3-4），而图5为类似的节流循环（线段3-4）。

在前一种情况下，没有阀门时，制冷量 Q_1 为 $Q_1 = i_5 - i_4$ （面积4-5-12-9）。

考虑阀门和节流影响时的制冷量为 $Q'_1 = i_5 - i_6 + i_7 - i_6 = i_5 - i_6 (i_7 = i_6)$ （面积6-7-10-9 + 面积8-5-12-11）。

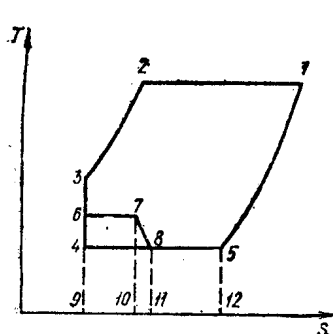


图4 冷冻机中阀门液流阻力对低温膨胀循环的影响

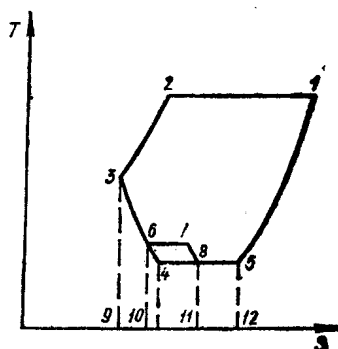


图5 阀门液流阻力对低温节流循环的影响

在第二种情况下相应地 $Q_1 = i_5 - i_4$ 与 $Q'_1 = i_5 - i_4 + i_7 - i_6 = i_5 - i_4$ 即 $Q_1 = Q'_1$

这样，如果在第一种情况下制冷量有所损失，因为 $i_5 - i_4 < i_5 - i_4$ ，那么在第二种情况下，阀门中的损失被证明是包括在节流总损失中的，并且对制冷量没有明显的影响。

总的可以说，在低温阀中的液流阻力产生热损失，但是和直接传入的热量不同，如果系统中采用冷冻机中的膨胀循环，那么，这些损失是有实际意义的，反之，如果采用节流使温度下降，这些损失便是没有实际意义的了。

如果阀门中的节流是在循环的最低水平上进行的，那么这些论断便是正确的。在其他各种情况下，阀门中的压力损失都会导致制冷量的损失。

让我们来研究一下，摩擦热和介质速度之间的关系。因为流体通过阀门时速度 V 变化很小， $Q_{T,p}(8)$ 可写成以下形式

$$Q_{T,p} = V_{T,p} \Delta P \quad \text{瓦特, 或 } Q_{T,p} = \varepsilon D^3 \rho W^3 \quad \text{瓦特} \quad (13)$$

式中 $V_{T,p}$ = 平均流量 米³/秒; ρ ——密度 公斤/米³;