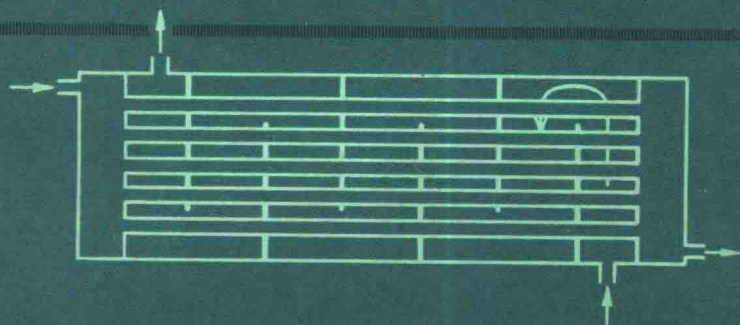


〔苏〕B.Φ.考瓦列夫斯基著

翟 培 祥译

矿山机械液压传动的 换热器与热计算



煤炭工业出版社

矿山机械液压传动的 换热器与热计算

〔苏〕B.Φ. 考瓦列夫斯基著

翟培祥译

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书简要地论述了热交换理论的基本知识和矿山机械液压传动的主要计算公式,介绍了矿山机械液压传动所用换热器的结构,以及在实验室中调节工作油液温度的测量仪表与装置。

本书计算部份包括:矿山机械液压系统的热计算,油冷却器的计算,液压系统许用运转工况的校核计算;并举出几个具体的矿山机械的热计算示例。

本书可供从事矿山机械与设备的设计、研究的工程技术人员使用,也可作为矿山机械专业大学生的参考书。还可供从事液压传动设计的机床制造业及其它机器制造部门的工程技术人员参考。

В.Ф.Ковалевский

ТЕПЛООБМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА И ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ ГИДРОПРИВОДА ГОРНЫХ МАШИН

Издательство «Недра»

Москва 1972

*

矿山机械液压传动的换热器与热计算

翟培祥 译

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$

印张 $9^{1/16}$

字数 199 千字

印数 1-10,460

1979年5月第1版

1979年5月第1次印刷

书号15035·2207 定价0.94元

前 言

广泛使用液压传动，特别是容积式液压传动是机械化与自动化的现代水平的标志。

液压传动有下述优点：能可靠地限制作用力；在尺寸和重量较小的传动装置中可以获得较大的传动比；可以在很宽的范围内进行无级调速；可以较容易地将转动运动变成移动运动；可以在工作机构和驱动设备的空间中自由地布置；可以平稳地进行起动、自动控制、程序控制和远程控制。由于上述优点，液压传动已广泛用于包括采矿工业在内的各个技术部门。

近十年来，采煤机械和其它矿山设备工作强度的增加，要求提高设备的液压化程度和增加机器液压装置的功率。

随着功率增加的同时，液压传动装置将日趋完善。较完善的设备具有较小的尺寸，其材料和结构得到了较好的利用。

由于比载荷的增加、尺寸和金属容量的减少，对液压装置工作的热工况提出了更高的要求。

为了解决冷却问题和确定液压设备的热工况，就必须熟悉其计算方法。

本书介绍了顿涅兹煤矿机械设计院取得的有关矿山机械液压传动换热装置的热计算与结构设计方面的工作经验。

除了换热理论的基本知识和矿山机械液压传动的最重要的热计算公式之外，书中还叙述了降低矿山机械液压传动过

热的方法，试验研究液压系统和液压装置时所用的稳定工作温度的实验室设备，以及矿山机械液压传动的换热器结构和热工测量与调节仪器。

利用计算部份能够选择出液压系统油箱中工作油液的体积，确定出液压系统任一点的温度，计算出输送工作油液和克服液压设备转动部份摩擦所耗费的功率，从热膨胀观点计算出液压传动中圆柱副的间隙，确定出液压传动零件因受热而产生的温度应力和尺寸变化，阐明了许用运转工况，并确定出储备量。

理论部份均用具体计算示例加以说明。

由于矿山机械液压传动与其它工业部门运用的液压传动有许多共同之处，所以，本书也可供各类机器制造专业的工程技术人员参考。

目 录

前 言

第一章 理论与参考数据	1
§ 1. 基本热物理学参数及其量纲、矿山机械液压 系统的材料和工作油液的热物理学参数	1
§ 2. 放热和传热、导热性	20
§ 3. 相似理论、无量纲判值	27
§ 4. 对流换热	32
§ 5. 辐射换热	53
§ 6. 基本传热方程	62
第二章 矿山机械液压传动换热器的结构 与热工测量仪表	65
§ 1. 矿山机械液压传动油冷却器的制造特点和降低 液压系统过热的方法、温度应力	65
§ 2. 联合采煤机(截煤机)牵引部和矿用扇风机润滑油 的油液冷却器	80
§ 3. 泵站油箱的换热器	89
§ 4. 液力传动的冷却装置与热保护	99
§ 5. 试验矿山机械液压系统和液压装置所用的稳定 工作油液温度的实验室设备	101
§ 6. 热工测量与调节的装置和仪器	112
第三章 换热器的热计算	122
§ 1. 热计算的基本概念	122
§ 2. 平均温度差(温压)计算	127
§ 3. 传热系数的确定	131
§ 4. 传热系数理论值的偏差计算	138

§ 5. 直管束式换热器计算	142
§ 6. 蛇管式换热器计算	155
§ 7. 散热油箱计算	162
§ 8. 浸在油箱中的管式换热器计算	164
第四章 换热器的流体力学计算与强度计算	174
§ 1. 概述	174
§ 2. 换热器的流体力学计算	175
§ 3. 换热器的机械强度计算	191
§ 4. 换热器的流体力学计算与机械强度计算示例	200
第五章 矿山机械液压系统的热计算	209
§ 1. 液压系统油箱中工作油液体积的选定	209
§ 2. 液压系统中的温度计算	217
§ 3. 输送工作油液和液压装置旋转部份摩擦功率 损失的计算	234
§ 4. 液压系统的热校核计算与许用运转工况的确定	240
§ 5. 在温度变化时液压缸的伸长及闭式系统中压力 变化的计算	248
§ 6. 从热膨胀和卡塞的角度计算液压传动光滑 圆柱副的间隙	253
§ 7. 油箱中油液受热后的体积膨胀	256
§ 8. 压气式蓄能器的热计算	258
§ 9. 液力传动的热计算	264
§ 10. 矿山机械与设备液压传动的热计算示例	266
参考文献	279

第一章 理论与参考数据

损失在液压系统中的功率将加热工作油液和系统元件。加热对液压传动有恶劣的影响：热膨胀引起零件的尺寸变化，油液氧化及其粘度降低，这便导致漏损增加，使系统更进一步变热。

液压系统所产生的热量，经过冷却表面和换热器散出。矿山机械液压传动装置功率的提高，常常需要装备换热器，因为只靠液压机组、设备和油箱的侧表面散热已经不能保证工作温度维持在允许的水平。

在设计换热器时必须考虑到以尺寸最小的装置和最快的速度将必须传出的热量由一个物体传给另一个物体。

经济指标具有很大的意义，因此，增设换热器不应当显著地提高机器设备的成本。

§ 1. 基本热物理学参数及其量纲、矿山机械 液压系统的材料和工作油液的热物理学参数

基本热物理学参数如下：温度、热量、功、功率、热容量、热膨胀、密度、容重和比重、粘度（如表1）。

温度 为确定物体受热程度，引用了温度概念。温度表明物体的热状态，而不能确定其中所含热能的数量。温度以约定的单位——度计量。目前有如下几种温度标准：

- 1) 热力学温度（开尔文或开——°K）^①；

① 或称为凯氏度，中文代号为开——译注。

表 1 热计算所用的基本量的符号和计量单位

基 本 量	符 号	国际单位制的计量单位
温 度	t, T	$^{\circ}\text{C}$
热 容 量 (比热)	c_p, c_v	焦耳/公斤·度
导热系数	λ_t, λ	瓦/米·度
体胀系数	β	1/度
线胀系数	α	1/度
密 度	ρ	公斤/米 ³
重 度	γ	牛顿/米 ³
重力加速度	g	9.81米/秒 ²
动力粘度	μ	牛顿·秒/米 ²
运动粘度	ν	米 ² /秒
热量, 热流量	L, Q	焦耳, 瓦
比重, 相对密度	δ_0	—
壁 厚	δ, B	米
面积, 换热表面	F, S	米 ²
热(温)阻, 半径	R	米 ² ·度/瓦, 米
直 径	d, D	米
长 度	l, L	米
放热系数	a	瓦/米 ² ·度
传热系数	k, K	瓦/米 ² ·度
雷诺判值	Re	—
压力、压力降、压力损失	$p, \Delta p$	牛顿/米 ² (公斤/厘米 ²) 1公斤/厘米 ² = 0.98×10^4 牛顿/米 ²
欧拉判值	Eu	—
液体、气体的运动速度	v, ω	米/秒
摩擦系数, 局部阻力系数	ζ	—
流动阻力系数	ξ	—
努谢尔特判值	Nu	—
普朗特判值	Pr	—
导热系数	a	米 ² /秒
贝克利判值	Pe	—
葛拉晓夫判值	Gr	—

续表

基 本 量	符 号	国际单位制的计量单位
毕渥判值	Bi	—
修正系数	ε, ψ	—
旋转速度, 单位时间的转数	n	1/秒
高度, 节距	h	米
物体的辐射系数	C	瓦/米 ² ·开 ⁴
黑 度	a	—
绝对黑体辐射系数	C_0	瓦/米 ² ·开 ⁴
受射有效表面积	H_n	米 ²
照射系数 (角系数)	φ	—
温度差, 温压	$\Delta t, \Delta T, \tau$	度, 开
功率, 功率损失	$N, \Delta N$	千瓦, 瓦
比热流量	q	瓦/米 ²
线性尺寸	h, b	米
容 积	V	米 ³
应 力	σ	牛顿/米 ²
弹性模数	E	牛顿/米 ² (公斤/厘米 ²)
流经系数	ω	—
阻力系数	λ	—
导管粗糙度	Δ	毫米
质量流量	G	公斤/秒
弯 矩	M	牛顿·米
抗弯断面模数	W	米 ³
时 间	t	秒
能量, 内能	U, E	焦耳
角 速 度	ω	1/秒
动 能	A	焦耳

2) 国际实用温度 (摄氏度或度——°C);

3) 华氏温度 (°F);

4) 兰金温度 (°R)①;

① 或称为阮氏度——译注。

5) 列氏温度 ($^{\circ}\text{P}$)^①。

这几种温度之间的换算公式列于表 2。

在国际单位制 СИ (ГОСТ 9867-61) 中^②取开尔文度作为热力学温度的计量单位, 对于水的三相点 (水的固相、液相和气相平衡点) 规定为 273.16°K 。

热量, 功, 功率 物体分子连续不断运动的能量称为热能。当热能加入时, 分子运动加快, 温度升高。当热量散出时, 分子运动减缓, 温度下降。

按 ГОСТ 9867-61 规定, 热能(热量)用功和能的单位——焦耳计量。

在贯彻 ГОСТ 9867-61 之前, 就曾采用过将 1 公斤水在大气压下由 14.5°C 加热至 15.5°C 所需的热量作为一个热量的工程单位, 称为千卡。

各种单位制的热量、功和能量的单位换算, 如表 3 所列, 其中也包括英美国家用的英热单位 (B.T.U.)。

各种单位制的功率单位换算, 如表 4 所列。

热容量 加热不同的物质升高同样温度需要不同的热量。表征物质的这个特性的是比热, 亦即使单位量物质上升单位温度所需的热量。

比热可分成定压比热 c_p 和定容比热 c_v 。

在某个有限的温度范围内求出的比热 c_m 称为平均比热

$$c_m = \frac{q}{t_2 - t_1}$$

式中 q —— 加热单位量物质所需的热量;

t_2 、 t_1 —— 分别为温度范围的终了与初始温度。

① 有的文献用 $^{\circ}\text{R}$ 表示——译注。

② 即 SI 单位制——译注。

表 2 各种温度换算公式

温 度	温 度				
	开T, °K	摄氏温度 t, °C	兰金度 T, °R	华氏度 t, °F	列氏度 t, °P
开, °K	—	$t^{\circ}\text{C} + 273.16$	$\frac{5}{9}T^{\circ}\text{R}$	$\frac{t^{\circ}\text{F} - 32}{1.8} + 273.16$	$1.25t^{\circ}\text{P} + 273.16$
摄氏温度, °C	$T - 273.16$	—	$\frac{5}{9}T^{\circ}\text{R} - 273.16$	$\frac{t^{\circ}\text{F} - 32}{1.8}$	1.25°P
兰金度, °R	$1.8T^{\circ}\text{K}$	$1.8(t^{\circ}\text{C} + 273.16)$	—	$t^{\circ}\text{F} + 459.67$	$2.25t^{\circ}\text{P} + 492$
华氏度, °F	$1.8T^{\circ}\text{K} - 459.67$	$1.8t^{\circ}\text{C} + 32$	$T^{\circ}\text{R} - 459.67$	—	$\frac{9}{4}t^{\circ}\text{P} + 32$
列氏度, °P	$0.8T^{\circ}\text{K} - 218.5$	$0.8t^{\circ}\text{C}$	$0.445T^{\circ}\text{R} - 218.5$	$\frac{4}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32)$	—

注: 冰的熔点: 0°C ; 32°F ; 0°P ; 273.16°K ; 491.67°R ;水的沸点: 100°C ; 212°F ; 80°P ; 373.16°K ; 671.67°R 。

表 3 热量或功(能量)单位换算

单 位	焦 耳	千 卡	公 斤 · 米	千 瓦 · 小 时	英 热 单 位 (B.T.U.)	卡
焦 耳	1	0.239×10^{-3}	0.102	0.278×10^{-6}	0.949×10^{-3}	0.239
千 卡	4186.8	1	427	1.163×10^{-3}	3.968	1000
公 斤 · 米	9.807	2.344×10^{-3}	1	2.724×10^{-6}	9.302×10^{-3}	2.344
千 瓦 · 小 时	3.6×10^6	860.5	3.67×10^6	1	3415	860445
英 热 单 位	1055	0.252	107.53	2.928×10^{-4}	1	252
卡	4.1868	0.001	0.427	1.163×10^{-6}	3.968×10^{-3}	1

表 4 功 率 单 位 换 算

单 位	公 斤 · 米 / 秒	千 卡 / 秒	瓦	千 瓦	英 热 单 位 / 秒	英 磅 力 · 英 尺 / 秒	马 力 (75公斤·米/秒)	英 马 力 (76.04 公斤·米/秒)
公 斤 · 米 / 秒	1	2.344×10^{-3}	9.807	9.807×10^{-3}	9.303×10^{-3}	7.233	1.333×10^{-2}	1.315×10^{-2}
千 卡 / 秒	427	1	4186.8	4.1868	3.968	3086	5.688	5.610
瓦 (焦耳/秒)	0.102	0.239×10^{-3}	1	0.001	0.949×10^{-3}	0.7376	1.36×10^{-3}	1.341×10^{-3}
千 瓦	102	0.239	1000	1	0.9486	737.6	1.36	1.341
英 热 单 位 / 秒	107.5	0.252	1054	1.054	1	777.5	1.433	1.414
英 磅 力 · 英 尺 / 秒	0.1383	3.24×10^{-4}	1.356	1.356×10^{-3}	1.286×10^{-3}	1	1.84×10^{-3}	1.82×10^{-3}
马 力	75	0.1758	735.5	0.7355	0.6977	542.3	1	0.9863
英 马 力	76.04	0.1783	745.7	0.7457	0.7074	550	1.014	1

注: 1 英热单位/时=0.2931瓦; 1 英热单位/分=17.55瓦; 1 千卡/时=1.163瓦; 1 千卡/分=70瓦。

对于液体的计算，采用定压比热 c_p ，其角标可以略去。比热不是一个常数，而是随温度而变化的。比热是以焦耳/公斤·度或千卡/公斤·度（重量比热）计量的。

石油制品的比热，用经验公式计算即可以满足实用精度的要求，密度 ρ 小于0.9克/厘米³者，可用克拉戈埃经验公式计算；密度 ρ 大于0.9克/厘米³者，可用克拉乌斯索尔德经验公式计算。

克拉戈埃经验公式

$$c_p = \frac{0.415}{\sqrt{\rho}} + 0.0009(t - 15) \quad (1)$$

克拉乌斯索尔德经验公式

$$c_p = 0.937 - 0.56\rho + 0.0011(t - 15) \quad (2)$$

式中 c_p ——定压比热，千卡/公斤·度；

ρ ——15℃时的密度，克/厘米³；

t ——温度，℃。

若比热计量单位以焦耳/公斤·度计量，则
对于 $\rho \leq 900$ 公斤/米³者

$$c_p = \frac{55000}{\sqrt{\rho}} + 3.77(t - 15) \quad (3)$$

对于 $\rho \geq 900$ 公斤/米³者

$$c_p = 3920 - 2.34\rho + 4.6(t - 15) \quad (4)$$

表5~8所列为用于矿山机械液压系统中的工作油液的比热与一些金属材料的比热。

在英单位制中采用英热单位/磅·°F 或者百分热单位 (Chu)，百分热单位等于加热一磅水上升1℃所需的热量。比热的各种单位制间的关系如下：1千卡/公斤·度 = 4187焦耳/公斤·度；1百分热单位 = 1.8英热单位，1千卡/

公斤·度 = 1 英热单位/磅·°F。

表 5 不同密度的石油基油液的比热 (焦耳/公斤·度)

(C.H. 奥勃里亚德奇科夫资料)

温 度 °C	密 度 公斤/米 ³		
	700	800	900
0	2020	1885	1780
20	2100	1960	1845
40	2180	2030	1915
50	2220	2070	1950
60	2260	2110	1985
80	2340	2190	2055
100	2420	2260	2130
120	2520	2340	2200

表 6 大气压下液体的平均比热

液 体	温度或温度范围 °C	焦耳/公斤·度 C_p
煤 油	18~99	2090
蓖 麻 油	20	2130
机 械 油	0~100	1675
变压器油	0~100	1880

表 7 水和乳化液的比热与温度、压力的关系 (焦耳/公斤·度)

温 度 °C	压 力 公斤/厘米 ²						
	1	50	100	150	200	250	300
0	4217	4203	4195	4187	4179	4171	4162
20	4179	4171	4162	4153	4142	4133	4121
40	4179	4162	4153	4142	4129	4121	4109
60	4183	4165	4153	4142	4129	4117	4104
80	4195	4183	4165	4153	4142	4125	4113

表 8 金属与合金的比热

金属与合金的牌号		c_p , 焦耳/公斤·度			0~100℃ 范围的平均比热 c_p , 焦耳/公斤·度
苏 联	中 国	0℃	20℃	100℃	
铝		880	897	940	910
铁		440	452	486	465
铜		380	384	397	388
黄铜JI96,JI80,JI68	H96,H80,H68	—	390	—	—
黄铜JI62	H62	—	388	—	—
CT.10	10钢	—	—	—	465
CT.15; CT.20; CT.30; CT.45	15; 20; 30; 45钢	—	—	—	470
CT.2X13(Ж-2)	2Cr13钢	—	—	—	503
CT.3X13	3Cr13钢	—	—	—	490

空气在大气压下温度范围为0~60℃时的比热为 1005 焦耳/公斤·度或者为0.24千卡/公斤·度。

导热性与导热系数 导热性——这是直接接触物体之间或者物体各部份之间热传递的过程。导热性用导热系数 λ 表征,该系数取决于物质、温度和压力。油液的导热性随温度由0上升至120℃而呈线性关系下降。导热系数的单位为瓦/米·度,或为千卡/米·时·度。

表9~12列出各种物质的导热系数,而表13所列为导热系数的各种单位间的换算关系。

为了变换成另一种单位,必须将给定数值乘以一个系数,例如锭子油的导热系数为0.119千卡/米·度·时要变换为卡/厘米·度·秒,其变换后的数值将为 $0.119 \times 2.78 \times 10^{-8} = 332 \times 10^{-8}$ 卡/厘米·度·秒。

热膨胀 一切物体受热都膨胀。对于液体来讲,最有实际意义的是体积膨胀。液体所占的体积在加热到温度为 t 时

表 9 导 热 系 数

物 质		t, °C	λ , 瓦/米·度	物 质		t, °C	λ , 瓦/米·度
苏 联	中 国			苏 联	质 联		
CT. 10	10钢	20~100	69.3	硬 橡 胶		0~100	0.157~0.161
CT. 20	20钢	20~100	65.2	石 棉 橡 胶 板		20	0.19
CT. 40	40钢	20~100	52	石 棉		20	0.151~0.209
CT. 45	45钢	20~100	48.2	松 木 (红松)		20	0.35~0.407
CT. 30XГC	30CrMnSi钢	20~100	37.2	煤		20	0.16~0.33
CT. П13	Mn13钢	20~100	14.7	蓖 麻 油		0~150	0.165~0.184
CT. 30XH3	30CrNi3钢	20~100	35.6	煤 油		20~75	0.141~0.149
CT. 12XH3	12CrNi3钢	20~100	35.3	机 械 油		30~100	0.138~0.142
CT. 1X18H 9 T	1Cr18Ni9Ti钢	20~100	16	735.6毫米汞柱下的		20	0.0252
CT. 2 X 13	2Cr13钢	20~100	25	空 气		40	0.0265
CT. 1X13	1Cr13钢	20~100	24.4			60	0.028
铝		0~100	228	锅 垢 (水垢)		20	0.7~2.33
黄铜 J168	黄铜 H68	0~100	100~107	盐		24	0.7
黄铜 J162	黄铜 H62	0~100	106~117	水成岩(沉积)		—	1.31~3.14
紫铜		20~100	396~392	酚醛树脂清漆		—	0.29
硬铝		20~100	162~181	油 漆		20	0.465
清漆		20	0.35~0.58				
软橡胶		20	0.128~0.163				