

LENGQUE SHUIBANG SHIYONGJISHU



冷却水泵 实用技术

主编 翁祖亮

上海交通大学出版社

上海发展汽车工业教育基金会资助

冷却水泵实用技术

主编 翁祖亮

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书共分 11 章,系统地介绍了内燃机冷却水泵的基础理论、设计研究、制造工艺、材料性能、试验检验和发展趋势等。本书实用性强,是全面反映我国冷却水泵行业现状、水平和发展的专业用书。

本书对从事内燃机、汽车、工程机械、船舶、摩托车、农机等方面教学、科研、生产、使用和管理人员及高等院校师生有极大参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

冷却水泵实用技术 / 翁祖亮主编. — 上海: 上海交通大学出版社, 2004

上海发展汽车工业教育基金会资助项目

ISBN 7-313-03447-4

I. 冷... II. 翁... III. 汽车—活塞式发动机—水泵
IV. U464.138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003) 第 066071 号

冷却水泵实用技术

翁祖亮 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

上海交通大学出版社印务部印刷 全国新华书店经销

开本: 880mm × 1230mm 1/32 印张: 6.125 字数 172 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1-1050

ISBN7-313-03447-4/U · 113 定价: 12.00 元

版权所有 侵权必究

《冷却水泵实用技术》编委会

主 编 翁祖亮 上海内燃机研究所 所长

副主编(按姓氏笔画为序)

丁京焕	无锡市场名活塞环厂	厂长
王法林	宜兴市机械总厂	厂长
许仲秋	湖南机油泵股份有限公司	董事长
许 强	常柴金坛柴油机有限公司	总经理
邢运波	山东无润曲轴有限公司	董事长
周 毅	同济大学	副教授
唐仁发	上海内燃机研究所	高级工程师
夏小安	武进市恒泰机械密封件有限公司	总工程师
程德兴	仪征双环活塞环有限公司	董事长
蒋彬洪	一汽集团无锡柴油机厂	厂长
潘岳初	武进容天乐机械股份有限公司	常务副总经理

编 委(按姓氏笔画为序)

李绍裘 苏晴华 金瑞康 傅则明

前 言

内燃机配附件是内燃机工业的基础,它与内燃机工业的发展息息相关。先进的内燃机工业必须有一个“全面发展、重点突破,实现同步发展”的内燃机配附件基础工业作支撑。

随着内燃机产品的不断更新换代,我国内燃机配附件的制造技术与产品质量有了长足的进步。

铸造技术方面:采用双联熔炼工艺;利用微机和快速分析,加强炉前控制;气流冲击造型机、高压造型机推广应用;铁模覆砂造型、壳型铸造工艺已广泛使用;树脂砂芯普遍应用于铸铁和铸铝生产。

锻造技术方面:普遍采用电液对击和热模锻压力机,使锻造毛坯质量有了显著提高。

机械加工技术方面:随着 NC 和 CNC 控制系统在机床上的应用,在切削加工中带自动测量与自动补偿功能的设备获得大多数企业青睐,由高速加工中心为主体组成的柔性生产线是一项制造技术的重大突破,开创了柔性制造技术的新纪元,大大缩短了切削时间和非切削时间,同时能适应不同产品加工的能力,满足市场变化的需要。

检测技术方面:在线检测设备开始使用;三坐标测量机、电脑程控渗漏检测仪、微电子控制技术等已进入实用阶段。

计算机现代设计技术,新材料的推广得到行业的普遍重视。从总体上看,我国内燃机配附件生产已形成一个比较完整的体系。但在长期计划经济体制下,生产厂布点过多,产量少,制造技术和装备还较落后,现代设计技术尚处起步阶段,产品开发能力差,大部分产品与国外相比差距甚大,而且产品可靠性比较差,寿命只有国外同类产品的一半,严重影响了我国内燃机工业的水平大幅度提高。

为此,重视配附件产品质量的提高,关注配附件新技术、新材料、新工艺的应用,推进配附件行业的发展已刻不容缓。配附件必须与主机同

步发展,某些关键配附件要超前于主机的发展,已成为配附件进步的当务之急。

内燃机配附件中,就行业水平而言,冷却水泵并非处于先进状态。该件在研究开发、机理探索、产品品位、工艺装备、检测技术以及配套满足度等方面,与世界先进水平比较均有差距。奉献给读者的本书亦只是近况的若干反映。希望能给初学者以入门的向导,给从业者以提高的台阶,更希望有志于此的同仁们将其视作更新、提高的基础,进而导致内容更为丰富翔实,论理更为精辟透彻,能给人以无限启迪的新著问世,以推动冷却水泵行业整体水平的全面提高。

本书著者来自多个部门。其中第1、4、5章由金瑞康先生撰写;第2、3章由周毅先生撰写;第6、8章由夏小安先生撰写;第7章由夏小安、姜文俊两位先生合作撰写;第9、10章由胡琪先生撰写;第11章由施爱萍先生撰写。此外,附录由金瑞康先生整理。

本书成稿过程中,得到了何露斯、韩明芳、谈福祥、张宇光以及朱建申等有关专业人员在工作开展、资料收集与作者推荐等方面的大量帮助,在此表示感谢。

本书获上海发展汽车工业教育基金会资助,谨此表示诚挚的谢意。

上海内燃机研究所所长 翁祖亮

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 内燃机冷却水泵的基本特征	2
1.2 匹配要求	3
1.3 冷却水泵的系列型谱	8
第 2 章 冷却水泵的基本理论	10
2.1 冷却水泵的参数	10
2.2 基本方程式	13
2.3 损失与效率	23
2.4 特性曲线	29
2.5 冷却水泵运转性能	35
第 3 章 汽蚀现象	39
3.1 汽蚀基本方程式	39
3.2 汽蚀余量的计算	44
3.3 提高水泵抗汽蚀性能的措施	50
第 4 章 冷却水泵总体设计	56
4.1 冷却水泵的工作环境	56
4.2 典型总体结构	57
第 5 章 叶轮与涡室	62
5.1 叶轮分类及轴向力的平衡	62
5.2 叶轮的水力设计	64
5.3 叶片的绘型	65
5.4 涡室的水力设计与绘型	69
5.5 进出水系统的水力设计	71
第 6 章 泵轴及其支承	72
6.1 功能与结构	72
6.2 泵轴的设计计算	73
6.3 轴承的选择	85

6.3 轴连轴承的产品系列·····	90
第7章 水封装置 ·····	93
7.1 功能与结构·····	93
7.2 密封机理·····	94
7.3 动态密封性能·····	95
7.4 密封的稳定性·····	97
7.5 陶瓷石墨水封·····	100
7.6 水封试验及试验装置·····	109
第8章 制造技术 ·····	113
8.1 主要零件的技术要求·····	113
8.2 水泵零件的成型·····	115
8.3 水泵零件的机械加工·····	124
8.4 冷却水泵的装配·····	128
第9章 试验和检验 ·····	133
9.1 试验种类及基本装备·····	133
9.2 泵试验中参数的测量与计算·····	140
9.3 试验结果的整理·····	144
9.4 检验·····	151
第10章 内燃机冷却液 ·····	155
10.1 冷却液的种类及选用·····	155
10.2 冷却液的主要性能·····	156
10.3 防冻液的使用与注意事项·····	158
第11章 技术发展 ·····	161
11.1 结构与性能的发展·····	161
11.2 数控及计算机技术在冷却水泵方面的应用·····	166
附录 内燃机离心式冷却水泵水力设计程序 ·····	169
1 绪言·····	169
2 水力设计程序·····	170
3 计算示例·····	178
参考文献 ·····	185

第 1 章 概述

燃料在内燃机中燃烧时,将产生相应的热量。其中与炽热燃气直接接触的某些部件(如排气阀、火花塞等),温度可达 800°C 以上。为确保受热零部件及润滑介质能在合适的温度下工作,发动机冷却系统便紧随主机同步诞生与发展。图 1.1 示出了现代内燃机热平衡试验的结果。由图可知,燃料热量仅有三分之一左右转化为有效功,大部热量由废气、冷却系统及表面辐射等排出机外。

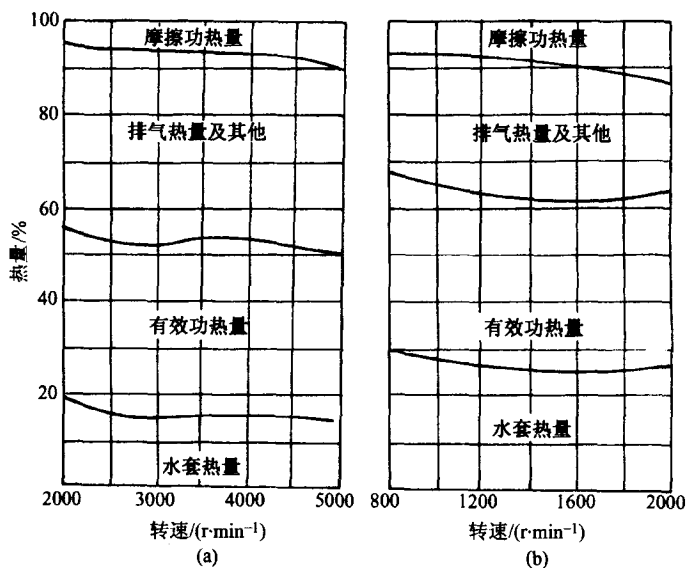


图 1.1 内燃机热平衡图

(a) 汽油机 (b) 柴油机

内燃机冷却系统有多种型式,冷却水泵系强制水冷式内燃机冷却系统的必备部件,其功能在于提高冷却液的工作压力,以克服水冷系统

的流道阻力,将适量的冷却液源源不断地输送到发动机相关部位,并确保其中任何一处的液体压力不低于相应温度下的饱和蒸汽压力,避免“汽蚀”现象的产生。

需要指出的是:为在各种工况下顺利运转,现代内燃机多用特殊的冷却液替代清水作为发动机的冷却介质,故冷却水泵的名称有被“冷却液泵”或“冷却剂泵”替代的趋向。本书根据国内实况及行业习惯,仍称冷却水泵。

众所周知,强制水冷式内燃机的冷却系统包括封闭循环冷却(多用于汽车拖拉机)及通流式(冷却液取自机外,工作后排入大气)两种,图 1.2 即为典型的车用封闭式循环冷却系统的示意图,图中示出了冷却水泵位置及冷却液的流向。

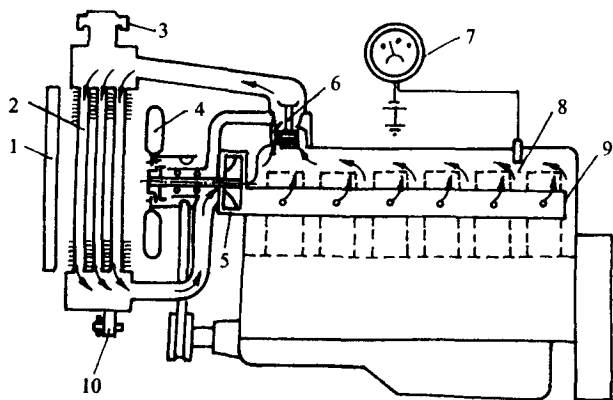


图 1.2 汽车拖拉机用封闭式强制循环冷却系统

1. 百叶窗 2. 散热器 3. 散热器盖 4. 风扇 5. 水泵
6. 调温器 7. 水温表 8. 水套 9. 分水管 10. 放水开关

1.1 内燃机冷却水泵的基本特征

现代内燃机的冷却水泵,根据配套要求及工作条件的不同,其结构型式可有离心泵、旋涡泵、旋转式容积泵及活塞式往复泵等多种选择,但随着发动机强化程度的不断提高,部件的工作空间更受限制,对水泵

的工作性能及紧凑化要求愈益强烈,其结构型式及设计方法亦将有异于普通水泵。本书则以此种应用最为广泛、配套于汽车拖拉机等行走机械及移动式内燃机的冷却水泵为对象,就其基本理论、结构特征、设计计算、制造工艺、测试技术及发展前景等作简要介绍。

此类水泵一般具有如下特征:

(1) 需在广泛的转速范围内,满足发动机配套要求。

(2) 工作时介质温度通常在 80°C 以上。

(3) 工作转速主要取决于与之同轴的冷却风扇。

(4) 囿于工作空间及相关件的设计要求,众多水泵部件难以合理设计,水泵效率低下,而实际设计时,也不那么追求效率(冷却水泵耗功约为发动机标定功率的 $0.5\%\sim 1.5\%$,仅为风扇耗功的 $1/5\sim 1/10$,故效率稍有上下,对整机影响甚微)。

(5) 采用具有宽畅流道的涡室式离心泵,此时即使水泵失效,仍可藉温差对流,维持介质的自然对流循环。

(6) 在满足功能要求的前提下,力求结构简单、制造容易、部件三化(标准化、系列化、通用化)程度高,以降低成本,便于大量生产。

离心泵一般无自吸能力,这一缺陷对于内燃机封闭式循环冷却系统,只要合理安排水泵位置,并不会构成问题。

图 1.3 为典型的冷却水泵结构图。

1.2 匹配要求

为使发动机正常工作,并使之保持一定的热力状态,需对发动机进行适度的冷却。冷却过程中,应保证发动机在最高的环境温度及各种工况条件下,均能将热量散走。由冷却水泵功能可知,该热量需藉不断流动的冷却液带走。为此,计算发动机水套需散走的热量,确定循环水量的匹配要求,应属本书的任务之一。其次,为克服流道阻力、避免汽蚀现象的产生,要求冷却液保持一定的压力,即水泵运行时必须产生足够的扬程。冷却液的流动、扬程的产生,均需在冷却液与叶轮叶片等发生能量交换的情况下才能取得,由此,适当的转速将是冷却水泵的关键匹配

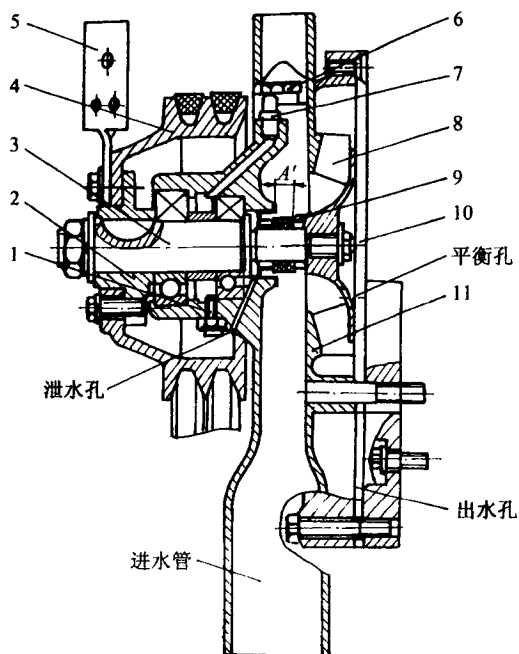


图 1.3 S6110A 型柴油机冷却水泵

1. 紧定螺钉 2. 轮毂 3. 泵轴 4. V 带轮 5. 风扇
6. 放气塞 7. 注油嘴 8. 叶轮 9. 水封 10. 盖板 11. 泵体

参数。冷却水泵研究表明,只有在上述参数确定的情况下,才能展开冷却水泵结构与基本尺寸的设计计算。

1.2.1 冷却系统散热量 U_s 的计算

$$U_s = \varphi g_c N_c H u \quad (\text{kJ/h}) \quad (1.1)$$

式中: φ 为计算工况下,冷却系统带走热量占燃料热量的比例。各种工况下 φ 的精确值由发动机热平衡试验获得,初步设计时可取:

柴油机: $\varphi = 0.21 \sim 0.32$

其中采用直接喷射式燃烧室、高转速、大缸径、冷却强度小(进出水温差

小,水流量相对较大)、单位功率冷却面积小、增压、四冲程的柴油机取小值。

汽油机: $\varphi=0.22\sim0.31$

对于压缩比大、经济性好的顶置式汽油机取小值。

g_e 为计算工况下,发动机燃油消耗率, $\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$;

N_e 为发动机输出功率, kW 。一般以最大功率作设计工况,并以最大扭矩工况进行核算。

Hu 为燃料的低热值, kJ/kg 。对于石油类的燃料:

$$Hu \approx 43000 \text{ kJ/kg}$$

当参数难以确定时,也可用比散热量 u_s 来计算 U_s 。

$$U_s = u_s N_e \quad (\text{kJ/h}) \quad (1.2)$$

其中, u_s 为比散热量, $\text{kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, 显然

$$u_s = U_s/N_e = \varphi g_e Hu \quad [\text{kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})] \quad (1.3)$$

柴油机: $u_s=1800\sim3700 \text{ kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$;

汽油机: $u_s=2840\sim4550 \text{ kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$;

其取值规律同 φ 。

如发动机带有机油散热器,上述 U_s 值尚应增大 $5\%\sim10\%$ 。

1.2.2 冷却液需要量 Q_s 及水泵设计流量 Q_p

$$Q_s = \frac{U_s}{60c\gamma(t_2 - t_1)} \quad (\text{L/min}) \quad (1.4)$$

式中: c 为冷却液的比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$; γ 为冷却液的重度, kgf/L ; t_2 为发动机出水温度, $^\circ\text{C}$ 。

一般情况下, $t_2=80\sim95^\circ\text{C}$

高温冷却时, $t_2=110\sim140^\circ\text{C}$

t_1 为发动机进水(水泵进口)温度, $^\circ\text{C}$ 。

$$t_1 = t_2 - \Delta t \quad (1.5)$$

或

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (1.6)$$

式中: Δt 为进出水温差, $^\circ\text{C}$ 。 $\Delta t=5\sim12^\circ\text{C}$ 。

增大进出水温差,由式(1.4)可知,冷却液流量可减少,水泵耗功亦小,但发动机受热部位冷却强度大,热负荷高,促使发动机工作平稳性变差,润滑介质工作条件恶化,机件易于磨损等,故大温差仅用于转速与热负荷均较低的场合。现代发动机,特别是高温冷却的发动机, Δt 值趋向下限。

在冷却系统的设计及试验中,人们也常用比流量 q_s 来考察发动机冷却液的供应水平。此时,如将式(1.2)代入式(1.4),并以简单变换,比流量 q_s 为:

$$q_s = \frac{Q_s}{N_e} = \frac{u_s}{60c\gamma(t_2 - t_1)} \quad [\text{L}/(\text{kW} \cdot \text{min})] \quad (1.7)$$

冷却水泵的设计流量 Q_a 应在上述 Q_s 的基础上,再增加一个储备量,即:

$$Q_a = \phi Q_s \quad (\text{L}/\text{min}) \quad (1.6)$$

式中: ϕ 为储备系数。

这是考虑到冷却系统散热量计算时,取的是“平均”概念,而实际发动机由于热点位置及热量分布并非匀称,各部位流道形状及流量分配亦不全同,且冷却液抵达时的温度又与所在部位的流程等有关,故需适当加大流量,以满足高热部位的冷却要求;同时,冷却系统可能的泄漏、低速超负荷运行以及元件长期工作后的性能减退均需适当补偿,故而

$$\phi = 1.10 \sim 1.25$$

1.2.3 扬程

水泵扬程虽然可以藉流体力学的经验公式,通过对流道阻力的估算等予以确定,但由于发动机流道形状复杂,过流部位表面质量及各部位流量的分配难以预定,故水泵扬程 H 的确定,多为经验估取,酌放裕量,充分参考同类、同规格发动机的扬程实况,加以设定。发动机制成后,再予试验验证。

对于本书讨论范围内的水泵:

$$H = 4 \sim 16\text{m}$$

其中缸数少、缸径小、流道短而宽敞、冷却系统组成简单、冷却液流量相

对较小的发动机取小值。

表 1.1 示出了部分发动机冷却水泵的扬程实测结果。

表 1.1 冷却水泵匹配参数

型号	发动机						冷却水泵			
	燃料	功率	转速 (r/min)	缸径 (mm)	行程 (mm)	缸数	叶轮外径 (mm)	转速 (r/min)	流量 (L/min)	扬程 (m)
NJ70	汽油	66	3300	82	110	6	76	4290	149	6.6
CA488	汽油	65	4800	87.5	92	4	86	5000	180	16
390	柴油	26	2000	90	100	3	80	3075	95	6.1
492	汽油	55	4000	92	92	4	76	4200	137	9.9
495	柴油	37	2000	95	110	4	70	3000	64	4.0
695Q	柴油	118	1800	95	115	6	100	3550	230	14
X4105	柴油	44	2000	105	120	4	90	2800	64	7.8
S6110A	柴油	99	2800	110	120	6	115	3300	300	14

1.2.4 转速 n

如前所述,冷却水泵转速通常取决于与之同轴的冷却风扇。首先满足风扇的转速要求,令其充分合理,可降低整个冷却系统的耗功水平。实际设计过程中,一般亦作适当协调,以求两者皆在最佳工况下工作。

冷却水泵的流量与扬程确定后,提高转速将有利于水泵结构尺寸的减小及重量降低,而转速的提高又受限于汽蚀条件与机件的强度等。

冷却水泵转速一般在 2000~5000r/min 的范围内。近期,轿车发动机有较大突破。

确定水泵的匹配参数时,除上述因素外,尚应对照有关行业标准,并使泵的特征参数即比转数 n_s 控制在 80~160 的范围内。统计表明,此时有较好的综合性能。

1.3 冷却水泵的系列型谱

按机械行业标准 JB/T51114-1999《内燃机冷却水泵产品质量分等》，冷却水泵大致可分为适宜与车用发动机配套的“高速系列”以及与拖拉机、固定动力配套的“低速系列”两类。两者均以叶轮外径为系列参数。表 1.2 及表 1.3 示出了该标准对产品系列及基本性能的规定。

表 1.2 冷却水泵产品系列及一等品性能要求

序号	叶轮外径 (mm)	标定转速 (r/min)	一等品指标			
			转速 (r/min)	体积流量 (L/min)	扬程 (m)	效率 (%)
1	55	≥ 4000	4500	65	4.5	18
		< 4000	3500	40	3.0	17
2	65	≥ 3700	4300	110	6.5	21
		< 3700	3150	70	4.0	19
3	75	≥ 3500	4000	160	8.0	25
		< 3500	3000	100	5.0	22
4	85	≥ 3500	4000	220	9.0	28
		< 3500	3000	130	6.0	25
5	95	> 3300	4000	300	11.0	30
		≤ 3300	2700	180	6.5	28
6	105	> 3000	3500	360	13.0	32
		≤ 3000	2600	240	7.5	30
7	115	> 3000	3500	420	14.5	35
		≤ 3000	2500	300	7.5	32
8	125	> 2800	3300	500	15.5	40
		≤ 2800	2350	380	8.0	35
9	135	> 3100	3100	570	16.0	45
		≤ 3100				
10	145	> 2800	2800	660	16.0	50
		≤ 2800				

表 1.3 冷却水泵产品系列及优等品性能要求

序号	叶轮外径 (mm)	标定转速 (r/min)	优等品指标			
			转速 (r/min)	体积流量 (L/min)	扬程 (m)	效率 (%)
1	55	≥ 4000	4500	70	5.0	20
		< 4000	3500	50	3.5	19
2	65	≥ 3700	4300	120	7.0	24
		< 3700	3150	80	4.2	22
3	75	≥ 3500	4000	170	8.5	31
		< 3500	3000	115	5.5	24
4	85	≥ 3500	4000	240	9.5	33
		< 3500	3000	150	6.5	28
5	95	> 3300	4000	320	12.0	35
		≤ 3300	2700	200	7.0	30
6	105	> 3000	3500	380	13.5	37
		≤ 3000	2600	265	8.0	32
7	115	> 3000	3500	440	15.0	39
		≤ 3000	2500	340	8.0	34
8	125	> 2800	3300	540	16.0	44
		≤ 2800	2350	410	8.4	37
9	135	> 3100	3100	630	16.0	48
		≤ 3100				
10	145	> 2800	2800	720	16.0	55
		≤ 2800				

显然,水泵基本性能参数向上表靠拢,既可保证产品质量,又利于“三化”(标准化、系列化、通用化)的实现。