

第 9 章 发动机冷却系统

教学提示：发动机工作时，燃烧室燃烧的温度可高达 2500°C ，过高的温度将使金属材料的强度显著下降，润滑油也将因高温烧损变质或黏度下降，这会导致运动零件卡死或加剧磨损，因此对发动机必须加以适度冷却。

教学目标：要求学生掌握冷却系统的功用、分类、组成及冷却系统主要机件的结构和工作原理。重点了解强制循环式水冷系统中冷却液的循环路径，了解冷却系统冷却强度的调节方法。

9.1 概 述

发动机在工作过程中，燃烧室燃烧的温度可高达 $1973\sim 2773\text{K}(1700\sim 2500^{\circ}\text{C})$ ，直接与高温气体接触的机件(譬如，汽缸壁、缸盖、气门、活塞等)如不采取适当的冷却措施，则过高的温度将使金属材料的强度显著下降，运动件将可能因热膨胀而破坏正常的配合间隙，润滑油也将因高温烧损变质或黏度下降，使发动机零件之间不能保持正常的油膜而导致零件卡死或加剧磨损。因此，对发动机必须加以适度冷却。冷却过度，不仅浪费了热量，而且还会引起一些不良后果：由于缸壁温度过低会使可燃混合气不能很好地形成和燃烧，燃油消耗量增加；润滑油在低温时黏度增高，零件运动的阻力增加，输出功率下降；同时润滑油在低温时不能形成良好的润滑油膜，使摩擦损失加大；由于温度低而增加了汽缸的腐蚀磨损。

9.1.1 冷却系统的功用与分类

发动机冷却系统(cooling system)的功用是使发动机在所有工况下都保持在适当的温度范围内。对水冷式发动机，汽缸体水套中适宜的温度为 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ ；对风冷式发动机，汽缸壁适宜的温度为 $150\sim 180^{\circ}\text{C}$ 。

发动机所采用的冷却方式分为水冷式(water cooling)和风冷式(air cooling)两种。以冷却液为冷却介质冷却发动机的高温零件，然后再将热量传给空气的冷却系统称为水冷系统；以空气为冷却介质的冷却系统称风冷系统。汽车发动机，尤其是轿车发动机大都采用水冷系统，只有少数汽油发动机采用风冷系统。

水冷式发动机冷却系统分为强制循环式和自然循环式两种。在水冷系统中，不设水泵，仅利用冷却液的密度随温度而变化的性质，产生自然对流来实现冷却液循环的水冷却系统，称为自然循环式水冷系统。这种水冷却系统的循环强度小，不易保证发动机有足够的冷却强度，因而目前只有少数小排量的汽车发动机在使用。

9.1.2 强制循环式水冷却系统的组成及水循环路径

目前在汽车发动机上应用最普遍的强制循环式水冷却系统(forced-feed water circulation system)是利用水泵提高冷却液的压力，强制冷却液在冷却系统中循环流动。强制循环式水冷

却系统的组成及水循环路径如图 9.1 所示。水冷式发动机的汽缸盖和汽缸体中都铸造出储水的、相互连通的夹层空间 6 和 7，称为水套。水泵 5 将冷却液吸入并加压后，使之经散热器出水软管 10、分水管 8 进入发动机的机体水套 7。冷却液从汽缸壁吸热而升温，然后流向汽缸盖水套 6，再次吸热升温之后经节温器 4 及散热器进水软管流入散热器 1；同时空气流由前向后流过散热器，使冷却液因散热而降温；冷却了的冷却液流到散热器的下储水室后，又在水泵 5 的作用下，经分水管再进入水套，如此不断地循环。因此使得发动机中在高温条件下工作的零件不断地得到冷却。

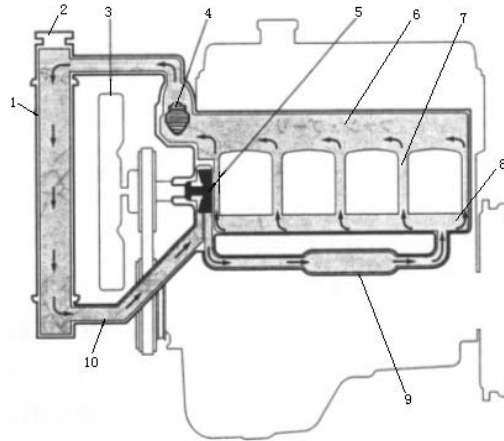


图 9.1 发动机强制循环式水冷系统示意图

1—散热器 2—散热器盖 3—风扇 4—节温器 5—水泵 6—汽缸盖水套
7—机体水套 8—分水管 9—机油冷却器 10—散热器出水软管

设置分水管的目的是使多缸发动机各汽缸冷却强度均匀。插入缸体水套的分水管是一根铜制的扁管，沿纵向开有若干个出水孔。离水泵愈远处，出水孔愈大。因为离水泵愈远处的冷却液的压力比靠近水泵处的要低一些，让出水孔大一些，可使从此处流出的冷却液流量与靠近水泵处相近，这样各汽缸冷却强度就比较均匀。

为了保证发动机在不同的负荷和转速条件下，经常在最适宜的温度范围内工作，冷却系统中还设有调节温度的装置，如百叶窗和节温器 4 等。为使驾驶员能经常掌握冷却系统工作情况，设有水温表等指示装置。通常，冷却液在冷却系内的循环流动路线有两条，一条为小循环，另一条为大循环，所谓大循环是水温高时，冷却液全部经过散热器而进行的循环流动；而小循环就是水温低时，冷却液不经过散热器而进行的循环流动，从而使水温很快升高。冷却液是进行大循环还是小循环，由节温器来控制。

9.2 水冷却系统主要部件的构造

9.2.1 散热器

1. 散热器(radiator)

散热器的功用是将冷却液所携带的热量散入大气以降低冷却液温度。散热器的构造如

图 9.2 所示,其主要组成由上储水室、下储水室及散热器芯三部分构成。冷却液在散热器芯内流动,空气在散热器芯外通过。热的冷却液由于向空气散热而降温,冷空气则因为吸收冷却液散出的热量而升温,所以散热器是一个热交换器。

散热器芯有多种结构形式。如图 9.3 所示为管片式散热器芯,它由散热管和散热片组成。散热管是焊在上、下储水室之间的直管。作为冷却液的通道,散热管有扁管和圆管之分。扁管与圆管相比,在容积相同的情况下有较大的散热表面。扁管都焊在多层散热片上,这种形式的散热器芯部散热面积大、气流阻力小、结构刚度好及承压能力强等。它的缺点是制造工艺比较复杂。

如图 9.4 所示为管带式散热器芯示意图,它由散热管及波形散热带组成。散热管为扁管并与波形散热带相间地焊在一起。为增强散热能力,在波形散热带上加工有鳍片。与管片散热器芯相比,管带式的散热能力强,制造简单,质量轻,成本低,但结构刚度差,其应用日益增多。

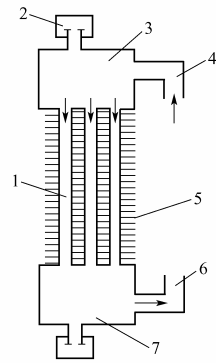


图 9.2 散热器结构

1—散热管 2—散热器盖 3—上储水室
4—进水管 5—散热片 6—出水管 7—下储水室

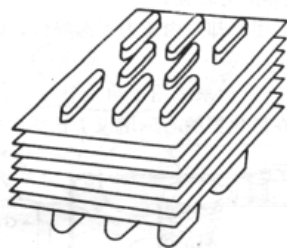


图 9.3 管片式散热器芯示意图

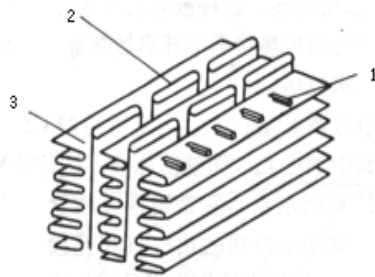


图 9.4 管带式散热器芯示意图

1—缝孔 2—冷却管 3—散热带

传统的散热器芯多由黄铜制造,但近年来更多的是用铝制造,而且有些散热器的上、下储水室由复合塑料制造,使散热器质量大为降低。

2. 散热器盖(radiator cap)

现代汽车发动机强制循环水冷系统多采用闭式水冷系统。即用散热器盖严密地盖在散热器冷却液加注口上,使水冷系统成为封闭系统。散热器盖的结构如图 9.5 所示,散热器盖安装有空气阀和蒸汽阀。当发动机热状态正常时两阀在弹簧力作用下处于关闭状态。当冷却系统内蒸汽压力超过大气压力 $0.026\sim 0.037\text{MPa}$ 时,蒸汽阀便开启,如图 9.5a 所示。此时将从蒸汽排出管中放出一部分冷却液到补偿水桶,使冷却液内的压力下降。提高冷却系统的蒸汽压力,可以提高冷却液的沸点,从而扩大散热器与大气的温差以增强散热能力。当冷却系统内蒸汽压力低于大气压力 $0.01\sim 0.012\text{MPa}$ 时,空气阀便开启,如图 9.5b 所示。空气从蒸汽排出管进入散热器,以防止散热器被大气压瘪。

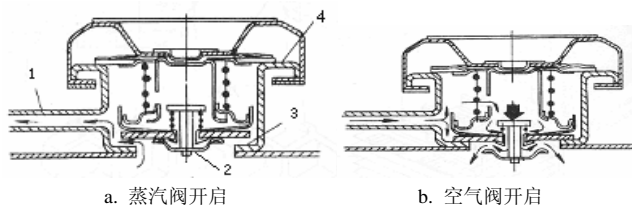


图 9.5 带空气—蒸汽阀的散热器盖

1—蒸汽排出管 2—空气阀 3—蒸汽阀 4—散热器盖

3. 补偿水桶(compensation reservoir)

补偿水桶的作用是减少冷却系统冷却液的溢失。补偿水桶为塑料制品并用软管与散热器冷却液加注口上的蒸汽排出管连接。当冷却液受热膨胀后, 部分冷却液流入补偿水桶; 当冷却液温度下降时, 散热器内产生一定的真空度, 部分冷却液又被吸回散热器。在补偿水桶的外表面上刻有两条显示液面高度的标记线: “DI”(低)和“GAO”(高)。补偿水桶内的液面应位于两条标记线之间。若液面低于“DI”线时, 应向桶内补充冷却液。在向桶内添加冷却液时, 液面不应超过“GAO”线。

9.2.2 风扇

风扇的功用是增大流经散热器芯部的流速, 以增强散热器的散热能力, 加速冷却液的冷却。

冷却风扇通常安排在散热器后面, 并与水泵同轴。当风扇旋转时, 对空气产生吸力, 使气流由前向后通过散热器芯, 从而使流经散热器芯的冷却液加速冷却。风扇的扇风量主要与风扇的直径、转速、叶片形状、叶片安装角及叶片数目有关。目前风扇的形式很多, 但汽车用的水冷发动机上大多数采用螺旋桨式风扇, 其叶片多用薄钢板冲压制成, 横断面多为弧形, 也可以用塑料或铝合金铸成翼型断面。翼型风扇虽然制造工艺较复杂, 但效率较高, 功率消耗较少, 故在轿车和轻型汽车上得到了广泛的应用。叶片应与风扇旋转平面安装成一定的倾斜角度(一般为 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$)。叶片数目通常为 4 片或 6 片。叶片之间的夹角一般不相等, 以减小旋转时产生的振动和噪声。

风扇和水泵通常装在同一轴上, 由曲轴皮带轮通过三角皮带驱动, 利用发电机皮带轮作为张紧轮。在使用时, 为了保证风扇、水泵的转速, 皮带应有一定的张紧力。如果皮带太松将在皮带轮上滑动, 而使风扇的风量减少, 引起发动机过热和冷却液水沸腾; 如果皮带太紧, 轴承磨损将增加。风扇皮带松紧度的检查方法如下, 以 $29 \sim 49\text{N}$ 的力按下皮带, 其挠度为 $10 \sim 15\text{mm}$ 为合适。

9.2.3 水泵

水泵的功用是对冷却液加压, 使其在冷却系统中加速循环流动。由于离心式水泵具有结构简单、尺寸小、工作可靠、制造容易等优点, 因而得到广泛应用。离心式水泵示意图如图 9.6a 所示。离心式水泵主要由泵体、叶轮和水泵轴等组成。叶轮的叶片呈有径向或向后弯曲的, 数目为 $6 \sim 9$ 片, 其结构如图 9.6b 所示。当曲轴通过皮带驱动叶轮 5 逆时针转动时(图 9.6a), 水泵中的冷却液被叶轮带动一起旋转, 在离心力的作用下, 冷却液被甩向水泵壳体的边缘, 同时产生一定的压力, 然后从出水口 3 流出。在叶轮的圆心处, 由于冷却液被甩向外缘而压力降低, 散热器中的冷却液便经进水口 1 被吸入水泵中心, 再被叶轮甩出。

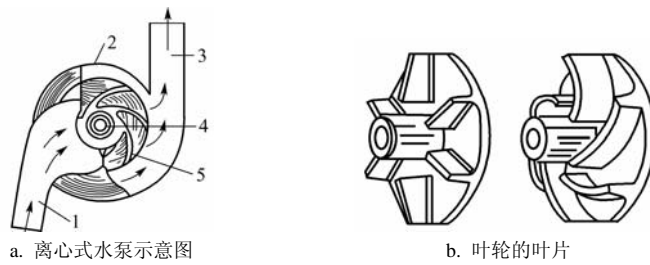


图 9.6 离心式水泵

1—进水口 2—水泵壳体 3—出水口 4—水泵轴 5—水泵叶轮

如图 9.7 所示为 EQ6100-1 型发动机所采用的离心式水泵典型结构。水泵轴 12 支承在两个球轴承 11 上，其伸出壳体以外的一端用半圆键 13 与安装风扇带轮的凸缘盘 14 连接。另一端装水泵叶轮 2。水泵外壳用螺栓固定在发动机缸体的前端面上。当叶轮旋转时，冷却液由散热器经进水口 A 进入水泵内腔 B，再经出水腔直接进入缸体水套内。

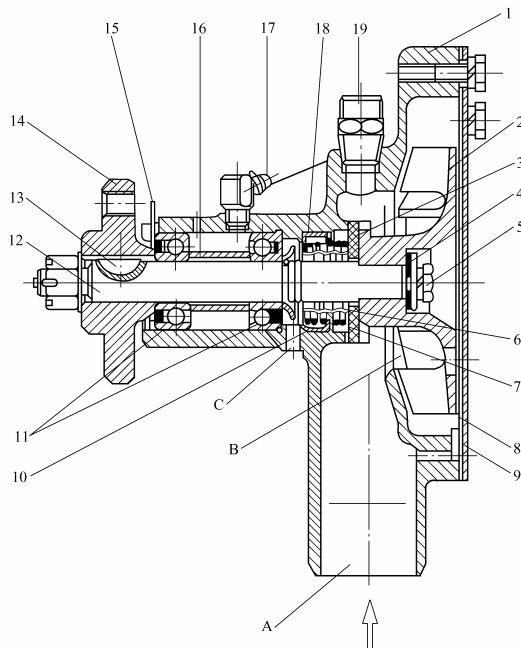


图 9.7 EQ6100—1 型发动机离心式水泵

1—水泵外壳 2—水泵叶轮 3—夹布胶木密封垫圈 4—垫 5—螺钉 6—水封皮碗 7—弹簧 8—衬垫
9—泵盖 10—水封座圈 11—球轴承 12—水泵轴 13—半圆键 14—凸缘盘(供安装皮带轮和风扇用)
15—轴承卡环 16—隔离套管 17—滑脂嘴 18—水封环 19—管接头 A—进水口 B—内腔 C—泄水孔

在叶轮 2 与轴承 11 之间装有水封，用来防止冷却液向前渗漏浸泡轴承。水封中的弹簧 7 通过水封环 18 将水封皮碗 6 的一端压在水封座圈 10 上，而将皮碗的另一端压在夹布胶木密封垫圈 3 上。夹布胶木密封垫圈在弹簧的压力下与水泵叶轮轮毂的端面贴合以防止冷却液进入轴承而破坏轴承的润滑。密封垫圈上有两个凸耳卡在水泵壳体上的槽孔内。在水泵

工作时水封不随水泵轴旋转。

水泵壳体上有泄水孔 C，位于水封之前。一旦有冷却液漏过水封，可从泄水孔泄出。

9.2.4 冷却强度调节装置

汽车发动机冷却系统的散热能力一般是根据发动机在常用工况和气温较高情况下能保证可靠的冷却而设计的。但使用条件(如转速、负荷和气温等)变化时，就必须能改变散热器的散热能力，以保证发动机经常在最有利的温度状况下工作。冷却强度可以通过改变流经散热器的冷却液流量和改变空气流量的方法来加以调节。

1. 改变流经散热器的冷却液流量

(1) 折叠式节温器(folding thermostat)

如图 9.8 所示为折叠式双阀节温器(thermostat)。上阀门 5 与发动机出水口连接，侧阀门 2 通过节温器外壳 8 上的窗孔与冷却系统旁通水路连接。折叠式圆筒 1 的下端焊在固定于外壳 8 的支架 9 上，上端连接着两个阀门，侧阀门焊在上端面上，而上阀门焊于圆筒上端杆的顶部。

折叠式圆筒由黄铜片制成，具有弹性，其内封装少许易于挥发的乙醚。当水温升高时，筒内液体逐步蒸发，蒸汽压力增高，圆筒的高度便提高，使上阀门逐渐开启而侧阀门逐步关小，迫使冷却水流入散热器以加强发动机的冷却。水温下降时则情况相反。

当发动机在正常热状态情况下时(温度高于 80°C)，冷却液应全部流经散热器，形成大循环(Big circulation)。此时节温器的上阀门完全开启，而侧阀门将旁通孔 10 完全关闭，如图 9.8a 所示。

当冷却水温度低于 70°C 时，折叠式圆筒 1 内的蒸汽压力很低，使圆筒收缩到最小高度，如图 9.8b 所示。上阀门压在阀座 4 上，即上阀门关闭，侧阀门打开。此时切断了由发动机水套通向散热器的水路，水套内的冷却液只能由旁通孔 10 流出经旁通管进入水泵，又被水泵压入发动机水套，此时冷却液并不流经散热器，只是在水套与水泵间进行小循环(Small circulation)，使冷发动机迅速而均匀地热起。当水温在 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 范围内时，上阀门与侧阀门处于与温度相适应的中间位置。此时冷却液同时进行大、小循环。

上阀门上的小气孔 6 是用来保证加冷却液时，发动机水套内的空气可以通过孔 6 排出，使冷却液能充满水套。

(2) 蜡式节温器(wax-like thermostat)

单阀蜡式节温器的结构如图 9.9 所示。推杆 3 的一端固定在支架 1 上，而另一端插入胶管 5 内。胶管与节温器外壳间装有精制石蜡 4，当冷却液温度低于规定值时，石蜡呈固态，在弹簧 8 的作用下关闭冷却液流向散热器的通道，冷却液经旁通孔、水泵返回发动机，

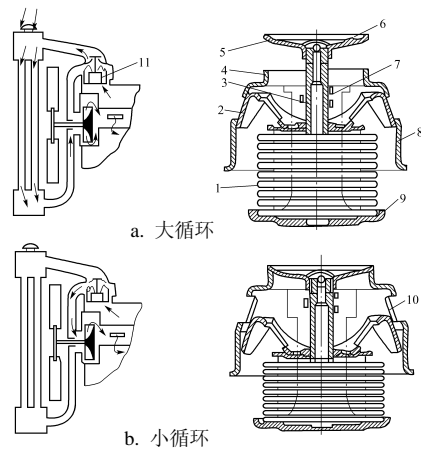


图 9.8 折叠式双阀节温器

1—折叠式圆筒 2—侧阀门 3—杆 4—阀座
5—上阀门 6—通气孔 7—导向支架 8—外壳
9—支架 10—旁通孔 11—节温器

进行小循环。当冷却液温度达到规定值后,石蜡开始熔化而逐渐变成液体,体积随之增大并压迫胶管使其收缩。在胶管收缩的同时,对推杆作用以向上的推力。由于推杆上端固定,因此推杆对胶管和感温体产生向下的反推力使阀门开启。这时冷却液经节温器阀进入散热器,并由散热器经水泵流回发动机,进行大循环。

国产轿车捷达、桑塔纳及奥迪 100 型等,均采用蜡式节温器。

2. 改变流经散热器芯部的空气流量

改变通过散热器的空气流量,通常是通过散热器前端的百叶窗和利用风扇离合器控制风扇的转速来实现的。近年来在汽车发动机上采用的风扇离合器由硅油式、机械式或电磁式等。大量试验表明,水冷系统只有 25% 的时间是需要风扇工作的,而在冬季只需 5% 的工作时间。所以采用风扇离合器来控制风扇的转速,不仅能减少发动机的功率损失,节省燃油,而且还能提高发动机的使用寿命,降低发动机的噪声。

(1) 百叶窗(shutter)

百叶窗一般装在散热器前面。当冷却液温度较低时,可将百叶窗部分地或完全关闭,以减少经过散热器的空气流量,使冷却液温度回升。百叶窗可由驾驶员通过装在驾驶室内的手柄来操纵,有的发动机则通过感温器自动控制。

(2) 硅油风扇离合器(silicon oil fan and clutch)

硅油风扇离合器是一种以硅油为转矩传递介质,利用散热器后面的气流温度来控制的液力传动离合器。硅油风扇离合器的结构如图 9.10 所示。主动轴 10 由发动机带动,在轴的左端装有主动板 8,它随主动轴一起旋转。从动板 7 固定在离合器壳体 6 上,从动板与离合器壳体之间的空间为工作腔 9。前盖与从动板之间的空间为储油腔,在储油腔内装有高黏度的硅油。从动板上的进油孔 4 在常温时被铍青铜的控制阀片 5 所遮闭,储油腔的硅油此时不能流入工作腔内。工作腔内没有硅油,主动板上的转矩不能传到从动板上,离合器处于分离状态。主动轴旋转时,装有风扇叶片的离合器壳体在主动轴的轴承上打滑,在密封毛毡圈和轴承摩擦力作用下,以很低的转速旋转。在前盖上,装有螺旋形的双金属片感温器 3。当发动机负荷增大,冷却液温度升高时,通过散热器芯部气流温度也随之升高。当气流温度超过 65°C 时,高温气流吹在双金属片感温器上,使双金属片受热变形,带动控制阀片 5 转过一定角度。从动板上的进油孔 4 被打开,储油腔中的硅油通过此孔进入工作腔中。主动板利用硅油的黏性带动从动板,使离合器壳体和风扇转动,离合器此时处于接合状态。进入工作腔的硅油在离心力的作用下甩向外缘,顶开钢球弹簧阀

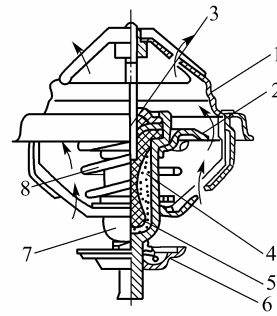


图 9.9 蜡式节温器

1—支架 2—主阀门 3—推杆 4—石蜡
5—胶管 6—副阀门 7—节温器外壳 8—弹簧

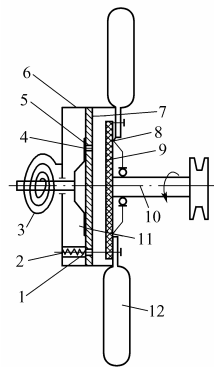


图 9.10 硅油风扇离合器

1—回油孔 2—钢球弹簧阀 3—双金属感温器 4—进油孔
5—阀片 6—离合器壳体 7—从动板 8—主动板
9—工作腔 10—主动轴 11—储油腔 12—风扇

2 并通过从动板上的回油孔 1 流回储油腔,然后再进入工作腔,形成循环。硅油在循环时将热量传给铸有散热片的前盖和离合器外壳而得到冷却,使硅油在工作时的温度不致过高。

当发动机因负荷下降等原因,吹向双金属片感温器的气流温度低于 35℃时,控制阀片将进油孔 4 关闭,硅油不再进入工作腔,而原来在工作腔中的硅油仍不断地在离心力作用下返回储油腔,直至排空为止。离合器此时又处于分离状态。

钢球弹簧阀 2 可防止硅油在发动机不工作时从储油腔流入工作腔中。

(3) 电动风扇(Electric fan)

随着汽车技术的不断进步,现代轿车的水冷系统大多采用电动风扇。电动风扇是由发电机电源系统供电并由风扇电机驱动,而不是由曲轴通过皮带驱动,风扇转速与发动机转速无关。这种风扇只有在冷却液温度达到一定值时才会转动,其组成主要包括风扇电机、风扇继电器和冷却液温度开关等。低温时,继电器触点断开,风扇电机不转;高温时,继电器触点闭合,电机带动风扇转动。

桑塔纳 2000GSi、奥迪 100、捷达等轿车采用的电动风扇分为两挡,风扇转速由温控热敏电阻开关控制。当冷却液流出散热器的温度为 92~97℃时,热敏开关接通风扇电机的 1 挡,这时风扇转速为 2 300r/min;当冷却液温度升高到 99~105℃时,热敏开关接通风扇电机的 2 挡,这时风扇转速升为 2 800r/min;当冷却液温度降到 84~91℃时,热敏开关切断电源,风扇停转。

电动风扇的优点是结构简单,布置方便,不消耗发动机功率,使燃油经济性得到改善。

9.2.5 冷却液(cooling liquid)

冷却液是水与防冻剂的混合物。冷却水最好使用软水,如雨水、雪水、自来水等,否则在发动机水套中容易产生水垢,使传热效率下降,造成发动机过热。

冷却液可降低冰点,从而有效地解决在冬季经常发生因冷却水结冰,使冷却水循环终止而引起发动机过热,甚至将机体、汽缸盖和散热器胀裂。冷却液中最常用的防冻剂是乙二醇。冷却液中水与乙二醇的比例不同,其冰点也不同。随着乙二醇含量的增加,冷却液的冰点下降。在冷却水中加入防冻剂又可提高冷却液的沸点。

乙二醇有毒,对人体有很大的危害,应严禁吸入口腔;它对金属有腐蚀作用,对橡胶有破坏作用。在冷却液中加入少量的防冻剂(anti-freeze)可配制成长效防锈防冻液。防冻剂中通常含有防锈剂和泡沫抑制剂。防锈剂可延缓或阻止发动机水套壁及散热器的锈蚀或腐蚀。冷却液中的空气在水泵叶轮的搅动下会产生很多泡沫,这些泡沫将妨碍水套壁的散热。泡沫抑制剂能有效地抑制泡沫的产生。在使用过程中,防锈剂和泡沫抑制剂会逐渐消耗殆尽,因此,定期更换冷却液是十分必要的。

在防冻剂中,一般要加入着色剂,使冷却液呈蓝绿色或黄色,以便识别。

9.3 风冷却系统

风冷系统是利用空气流过汽缸盖和汽缸体的外表面,将热量直接散到大气中去,以保证发动机在最有利的温度范围内工作。

风冷系统主要由散热片、风扇、导风罩和导流板等组成。如图 9.11 所示是一台四缸发动机风冷系统示意图。为保证有足够的散热面积,在汽缸体和汽缸盖表面上均布散热片 3,

它与汽缸体或汽缸盖铸成一体。为便于铸造，风冷发动机的汽缸和汽缸盖都是单个铸出，然后装到整体的曲轴箱上。

发动机最热部分是汽缸盖，为了加强冷却，现代风冷发动机汽缸盖都用导热性良好的铝合金铸造，而且汽缸盖和汽缸体上部的散热片也比汽缸体下部的长一些。但是，在某些多缸发动机中，为了缩短发动机的总长度，将汽缸上下部分的散热片都做成一样长，但需用加大流经汽缸上部空气流量的方法加强冷却。

为了更有效地利用空气流，加强冷却，一般都装有导流罩 2、4 和风扇 1，并设有分流板 5，以保证各缸冷却均匀。

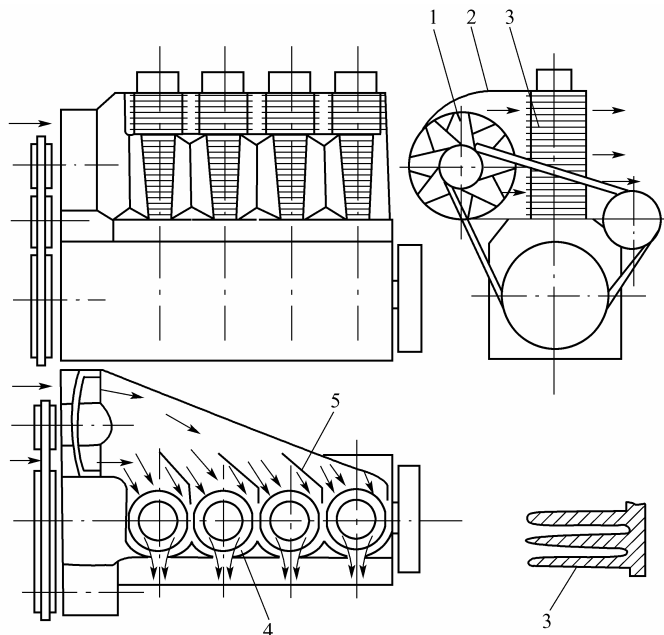


图 9.11 风冷系统示意图

1—风扇 2—汽缸盖导流罩 3—散热片 4—汽缸导流罩 5—分流板

由于风冷发动机表面空气通道阻力较水冷系统大，因此风冷系统中的风扇要求有较高的压力。风冷发动机上广泛采用轴流式风扇。与水冷系统比较，风冷系统具有零件少、结构简单、使用和维修方便、对地区环境变化的适应性好等优点，但存在着冷却不够可靠、消耗功率大和噪声大等缺点。

思 考 题

1. 冷却系统的功用是什么？冷却过度和冷却不足各对发动机有何影响？
2. 典型水冷系统由哪些主要部件组成？各起什么作用？
3. 水冷却系统中为什么要装节温器？什么叫大循环？什么叫小循环？
4. 为什么要采用风扇离合器？试简述硅油风扇离合器的基本工作原理。
5. 水冷系统的节温器在夏季是否可以摘除？为什么？