

大型矿用自卸车冷却系统设计与匹配研究*

杨洋 张文明

(北京科技大学,北京 100083)

Design and matching study of cooling system for large mining dump-truck

YANG Yang, ZHANG Wen-ming

(University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

【摘要】针对矿用汽车冷却系统中设计过程,以发动机处于恶劣运行工况作为研究对象,采用无因次系数法对风扇及散热器参数进行优化设计。以首钢重汽正在设计中的大型电动轮自卸车为例,对所设计的风扇及散热器进行试验,根据实验数据绘制特性曲线,并对风扇和散热器进行匹配,结果表明该方法可行性较强。

关键词:矿用汽车;散热器;冷却风扇;无因次系数;匹配

【Abstract】Focused on the design process of cooling system for mining truck, author tried to optimize the main parameters of cooling fan by using dimensionless coefficient method, during the engine operating in bad conditions. The large mining dump-truck during manufacturing process as example, this work included drawing characteristic curves of actual fan according the test data, matching the fan and the radiator which was designed and get the desired results. It was showed that the method is simple and practicable.

Key words: Mining truck; Radiator; Cooling fan; Dimensionless coefficient; Matching

中图分类号:TH12, U464.238 文献标识码:A

良好的冷却系统应该达到要求是:能够满足发动机在各种工况下的正常运行,维持发动机冷却水温度在最佳的区间内;在达到冷却效果的前提下,要求冷却系统消耗功率小,并能在发动机启动后较短的时间内达到正常的工作温度。对于大型矿用汽车,运行环境较普通车辆更加恶劣,且长期处于大负载工况,因此,其冷却系统对于车辆的经济性和动力性都更加重要。

*来稿日期:2008-02-11 *基金项目:国家科技支撑计划(2006BAB11B03)

将用三种可靠度计算模型计算的结果列入表2做对比。

如表2所示,我们可以看出用模糊可靠度模型计算的结果值要比传统可靠度计算的结果值大些,而多出来的那部分正好是模糊极限状态区间内的可靠度值。

当选择不同的隶属函数时算出的可靠度值基本上是相同的,说明选用不同的隶属函数对可靠度最后的计算结果影响较小。

表2 三种可靠度计算模型计算的可靠度结果

可靠度计算模型	传统计算	隶属函数为升半梯型	隶属函数为升半正态型
R	0.983	0.989	0.991

6 结束语

(1)接触网零部件的可靠性直接关系到整个铁路系统的安全运行,故要求其可靠度的计算力求精确。

(2)提出的模糊可靠度计算模型比传统可靠度计算模型计算出可靠度结果更加科学和符合工程实际,为接触网零部件可靠度的计算提供了理论依据。

1 矿用汽车冷却系统基本组成

矿用汽车冷却系统由水泵、节温器、散热器、风扇等部分组成,如图1所示。采用封闭式强制循环冷却系统,利用具有较强供水能力的水泵和较强散热能力的水散热器,以保证柴油机在各种苛刻的使用情况下,都能始终处于良好温度条件下正常工作。当工况和环境条件变化是,冷却系统也能保证柴油机可靠地工作和

(3)隶属函数的形式多种多样,但具体应用到工程实际中时,我们一般选择偏大型隶属函数,其能很好的反映出零部件从安全状态到失效状态的中间过渡过程。

(4)计算模型中应力和强度均为正态分布,在工程实际中可能还会出现其它分布类型,如正态分布、指数分布等,区别只是在于概率密度函数的不同,但计算模型的建模思路基本相同。

参考文献

- 1 刘惟信. 机械可靠性设计[M]. 北京:清华大学出版社,1996
- 2 XIE Qi-fang. Calculation method of fuzzy random reliability for structures[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2006, 38(4): 480-485
- 3 (美)罗斯(Ross, T.J.)著. 钱同惠等译. 模糊逻辑及其工程应用[M]. 北京:电子工业出版社,2001
- 4 陈胜军. 模糊集合论在机械可靠性设计中的应用[J]. 机械设计与研究, 1997
- 5 贾星兰. 承载构件模糊可靠度评定方法研究[J]. 石油矿场机械, 2007, 36(3): 23-25
- 6 于万豪. 高速电气化铁路接触网[M]. 成都:西南交通大学出版社,2002

维持最佳的冷却水温度。节温器用来调节冷却液的温度,以保证柴油机在最佳温度下工作。风扇采用直叶吸风式轴流风扇,安装在机体前端,采用带传动方式,由发动机前端输出轴带动。

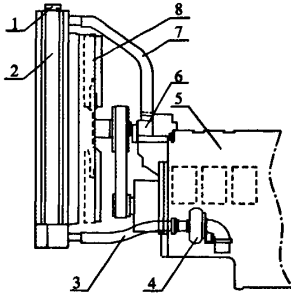


图1 矿用汽车发动机冷却系统示意图
1.水箱压力盖 2.散热器 3.出水管 4.水泵
5.发动机 6.节温器 7.进水管 8.冷却风扇

2 矿用汽车冷却系统设计

车辆冷却系统的设计步骤通常是确定发动机以及液压系统的散热量;确定所需冷却液的流量;确定风扇风量,转速,直径等数据;确定散热器,中冷器的散热面积和芯部尺寸;对散热系统进行匹配计算,确定冷却系统工作点;最后,经过比较对设计进行修改。大型矿用汽车的主要运行环境以矿区的山路为主,道路条件较差,坡路多,另外车辆本身处于重载甚至超载的情况也很普遍,所以应当适当增大安全系数,以保证车辆发动机能够长期正常。

2.1 冷却系统基本参数计算

2.1.1 计算冷却系统散热量

柴油机由冷却系统带走的热量,一般采用经验公式(1)进行计算:

$$Q_W = \xi \cdot \frac{a_0 \cdot g_e \cdot P \cdot H_u}{3600} \quad (\text{kJ/s}) \quad (1)$$

式中: a_0 —发动机传给冷却系的热量与燃料总热量的百分比;

g_e —发动机的燃料消耗率, $\text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$;

P —发动机功率, kW ;

H_u —燃料的低热值, kJ/kg ;

ξ —安全系数,选取 1.25。

2.1.2 计算冷却空气的需求量

冷却空气需求量应根据散热器的散热量确定,等于冷却系统的散热量,通常根据经验公式(2)计算:

$$V_a = \frac{Q_W}{\rho_a \cdot c_{p,a} \cdot \Delta t_a} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2)$$

式中: ρ_a —冷却空气的密度 kg/m^3 ; $c_{p,a}$ —空气的定压比热容 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; Δt_a —冷却空气进、出散热器的温升 $^\circ\text{C}$ 。

2.2 冷却风扇的设计

大型矿用汽车的冷却风扇结构,形式以及尺寸都要受到诸如整车布局,车辆运行环境等诸多因素的制约。

采用无因次特性系数法,以风扇速比 n 和风扇直径 D 为优化参数。矿用汽车由于其本身的设计时速较低,考虑空气流量和压力时散热器迎面空气风速可以忽略不计。根据公式(1)、(2)求

得的系统散热量和冷却空气需求量都是考虑发动机工作在额定功率下,即节温器全开,冷却系统散热量和冷却空气流量理论上的最大值。

以风扇消耗功率作为最终优化目标,根据风扇功率 N 的计算公式:

$$N = \frac{V_a \cdot P}{\eta} \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

式中: η —冷却风扇效率; P —风扇静压, Pa 。

标志风扇性能的无因次特性系数是压力系数和流量系数。同一风扇,各转速下的气体流动工况是相似的,根据相似理论,气体流动工况相似时,其相应工况下的压力系数相同,流量系数也相同。

从风扇的设计计算公式可以推导出:

$$V_a = \phi \cdot n \cdot D_2^3 / 2432 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4)$$

式中: ϕ —风扇流量的无因次特性系数; D_2 —风扇扇叶外径, m ;

D_1 —风扇扇叶内径, m ; n —风扇转速, r/min 。

$$P = \varphi \cdot n \cdot D_2^3 / 304 \quad (\text{Pa}) \quad (5)$$

式中: φ —风扇压力的无因次特性系数。

轴流式风扇无因次特性系数可表示为:

$$\phi = \frac{u_a}{u} \quad (6)$$

$$\varphi = \frac{2u_c}{u} \quad (7)$$

$$u_c = \frac{V_a}{A_f} \quad (\text{m/s}) \quad (8)$$

式中: u_a —空气通过风扇的轴向速度, m/s ; u_c —叶轮外径处空气圆周分速度, m/s ; A_f —风扇的有效出风的环形面积, m^2 ; u —风扇最大直径圆周速度, m/s 。

另外,风扇的总效率由经验公式(9)计算,即

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_v \quad (9)$$

式中: η_m —风扇机械效率,由传动方式决定; η_v —容积效率;

其中容积效率可由简化公式求得,即:

$$\eta_v = 1 - \frac{F_f}{F_f'} = 1 - \frac{(1 + (\frac{S_r}{D_2})^2)^2 - 1}{1 + (\frac{D_1}{D_2})^2} \quad (10)$$

式中: F_f —与径向间隙相应的环形面积, m^2 ;

F_f' —风扇有效面积, m^2 ;

S_r —风扇径向间隙, m 。

由公式可知,风扇的风量 Q 与风扇的转速 n 成正比,风扇的风压 P 与风扇的转速 n 的平方成正比,即风扇的消耗功率与风扇的转速 n 的立方成正比。可见在满足冷却风量需要的前提下,增大传动比,降低风扇转速,与此同时减小风扇直径是进行优化设计出发点。

根据整车设计的要求,在风扇直径的允许变化范围内取值,根据轴流式风扇设计要求,风扇扫过的环面积应等于散热器芯部正面积的(45~60)%,并且风扇扇叶内径与外径之比 D_1/D_2 应在 0.28~0.36 之间。通过约束条件的设定,可以确定风扇的基本设计参数。再经过风扇和散热器的匹配才能确认系统的设计是否合理。

2.3 散热器的选型设计

散热器散热器芯部的结构对于散热效果的影响很大,矿用汽车等大型车辆多采用的管芯式结构,如图2所示。具有制造难度小,维修方便、传热效率高等诸多优点。



图2 管芯式散热器结构形式

由于风扇超出芯部边缘的冷却效果不好,因此散热器芯部尺寸在高度方向上尽量接近或略大于风扇的直径为好。散热器结构特征包括冷却管的排列、散热片的间距、散热片的形状等都会对散热效果造成影响。当冷却水管的排数增加时,空气扰流增加,利于散热,但排数增加过多又会造成空气阻力增加,散热效果同时也会受到一定的影响。经过生产厂家的实验,通常制造的散热器芯在单位长度内波纹数量,单个波纹的长度,波纹的宽度相对固定。根据文献推荐,对于载重车辆,散热面积与发动机功率之比约为 $(0.003\sim 0.00375)\text{m}^2/\text{kW}$,而散热器芯部散热总面积,即与冷却空气接触的总面积应为 $(0.1\sim 0.16)\text{m}^2/\text{kW}$,为适应需要,均采用较大值进行设计计算。另外,根据文献,系统总的阻力约为散热器阻力的1.6倍,即 $\Delta p_{\text{总}}=1.6\Delta p_{\text{散}}$ 。

3 风扇与散热器的匹配

以首钢重汽正在开发中的某矿用电动轮自卸车冷却系统进行优化设计,该车型采用康明斯K1800E柴油发动机。初步确定风扇传动速比为2,风扇直径采用1.8m。厂家对所设计风扇进行风筒试验,得到在几种不同转速下,随进风量增加风扇的静压、耗功和效率的数据,经过拟和后得到风扇特性曲线及系统阻力特性曲线,如图3所示。

由图看出,当风扇工作时,随着空气流量的不断增加,系统空气阻力沿着系统阻力特性曲线上升,直到该曲线与风扇曲线相交,交点即为冷却系统匹配点。在匹配点上,系统的空气阻力等于风扇产生的压力值上,而系统空气流量稳定在曲线交点所对应的水平坐标轴。通常判断发动机冷却系统匹配优劣要看以下几点:

(1)冷却系统的进风量应该与式(2)计算得到的数值相接近,如果小于计算结果过多,必然造成冷却系统过热,反之,大于计算结果过多,又会造成系统过冷,同样影响发动机的效率和寿命。一般出现此类情况我们采用调节风扇速比或改变散热器风阻的方法进行改进。根据K1800E发动机的功率特性曲线,输出转速为1500r/min时,发动机输出最大扭矩,此时风扇转速为750r/min,由式(2)计算得到结果与匹配结果的差值在理想范围之内。

(2)匹配点应落在风扇特性曲线稳定工作区内,否则系统进

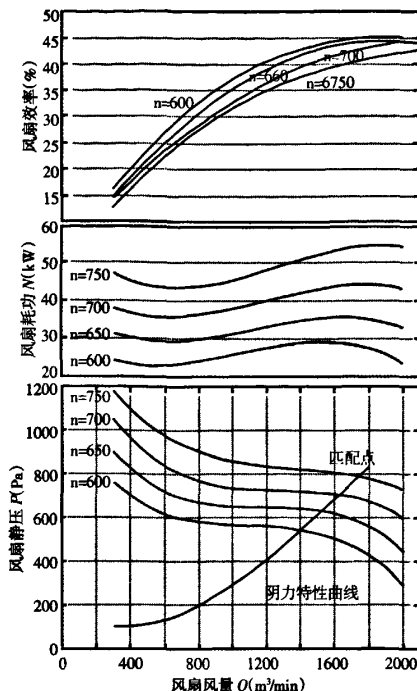


图3 风扇特性曲线及匹配关系

气不稳定,易发生出现异常噪声,风扇效率低,影响实际冷却效果。

(3)匹配点最好落在风扇高效率工作区之内,即风扇在该转速的最大效率点附近。若偏离过多,则风扇效率过低,功率损失也会过大。用匹配点与实测风扇效率图相对照,可见此时风扇效率可达40%,效率较高。

通过采用以上几个标准对冷却系统进行匹配计算,结果较为理想。故用无因次特性系数优化方法是十分简便且较为可行的。

4 结论

(1)对大型矿用汽车的冷却系统进行研究,结合常用的无因次特性系数方法,同时考虑车辆总体设计对冷却系统的各种约束条件,从而得到设计参数。最后,通过风扇和散热器的匹配计算,判断设计参数的合理性。

(2)车辆的冷却系统是一个相当复杂的系统,对冷却效果可能产生影响的因素很多,因此,设计并经过匹配计算的各种元件,包括散热器、风扇、水箱、空调冷凝器等在内,最后还要按要求安装在整车上进行严格试验和考核,包括热平衡试验等。冷却系统的设计和匹配也是一个动态的过程,只有经过不断的优化,才能使发动机发挥良好性能的同时拥有最佳的使用寿命。

参考文献

- 姚仲鹏,王新国. 车辆冷却传热[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001
- 周凯,杨珏. K1800E冷却系统研究与散热器选配计算[J]. 现代制造技术与装备,2007(3):21~23
- 王同雄. 汽车发动机冷却系统冷却风量的估算. 汽车科技,2005,11(6):33~35
- 吴海荣,郭新民. 发动机冷却系统设计参数的确定. 农机化研究,2007,1(1):223~224