

使用维修

柴油机进气稳压箱积水问题的探讨

王大鹏, 赵永玲

(大连机车车辆有限公司柴油机开发部, 辽宁大连 116022)

摘要: 对柴油机在高湿度、大工况时进气稳压箱积水原因进行的分析表明, 稳压箱积水的原因系中冷器冷却水温度低, 使增压空气的温度大幅降低, 而空气相对湿度较大, 含有大量水蒸气, 在温度急剧下降过程中, 水蒸气凝结成水, 进入稳压箱。据此提出了改进措施, 并进行了效果验证。

关键词: 柴油机; 稳压箱; 积水

中图分类号: TK423.4⁺4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2011)01-0057-03

0 问题的提出

柴油机作为动力机械, 在很多领域都具有不可替代的作用。大连机车车辆有限公司生产的柴油机, 除了在机车上大量应用, 现在已经在陆用电站和船舶上应用。在这些实际应用中发现, 在夏季, 外界湿度较大, 且柴油机在大工况运行时, 打开稳压箱排污管塞门, 大量的水就会持续从排污管中排出, 这说明在稳压箱内积聚了很多的水。如果这些水进入柴油机燃烧室, 且达到一定的程度, 在活塞往复运动过程中, 会对活塞顶面和气缸盖底面产生巨大的冲击力, 严重的会造成气缸盖碎裂、连杆弯曲、曲轴断裂等重大事故, 同时还会使机油乳化。这一现象一般也称之为“水锤”。所以, 稳压箱内积水, 给柴油机的安全运行造成了非常严重的隐患。

1 原因分析

发生稳压箱积水问题, 很多时候是因为柴油机的中冷器内冷却增压空气的水管漏水, 水进入空气腔造成的。但是, 如果是这个原因, 稳压箱内是否积水就跟外界环境湿度没有关系, 也就是说, 如果是中冷器漏水, 不管外界湿度如何, 都会在中冷器内积水, 否则, 就要从其它方面入手分析原因。经过仔细观察发现, 出现这样的问题的一个关键因素是空气的相对湿度, 只有在空气相对湿度大于某个范围以后, 才会出现积水问题。可见, 问题的出现并非中冷器裂漏造成。这又提供了另一条分析问题的线索。一般情况下, 这些柴油机在电站运用时, 往往采用冷却能力较大的中央冷却塔对冷却增压空气和机油的中冷水进行冷却, 如图 1 所示。而在船

舶应用时, 则直接使用海水或河水通过中冷器对增压空气进行冷却, 如图 2 所示。这两种冷却方式有一个共同点, 就是通过中冷器冷却增压空气的水的温度都比较低, 势必使增压空气的温度大幅降低; 而当空气相对湿度较大, 其中含有大量水蒸气, 在温度急剧下降过程中, 这些水蒸气就有可能凝结成水, 进入进气稳压箱。

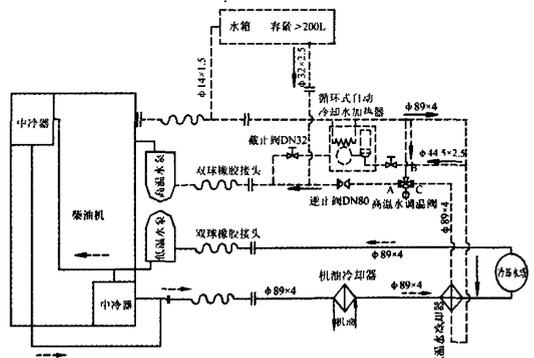


图 1 电站用柴油机冷却水系统原理图

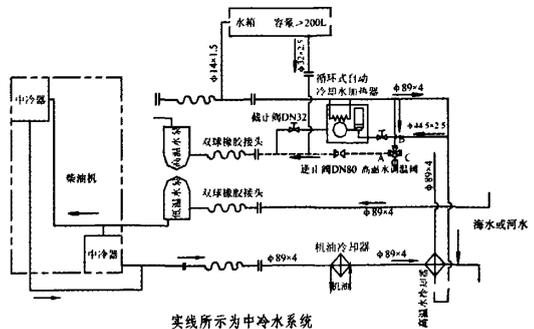


图 2 船舶用柴油机冷却水系统原理图

2 冷凝水量的分析计算

据, 试验日期: 2009 年 6 月 18 日; 环境温度: 26.1 ~ 28.2 °C; 相对湿度: 89%。

表 1 为某型柴油发电机组现场试验时的实测数据

表 1 某型柴油机发电机组现场实测数据

测试项目	测试 1	测试 2	测试 3	测试 4	测试 5	测试 6	平均值
大气压力 P_1/MPa	0.100 5	0.100 5	0.100 4	0.100 5	0.100 4	0.100 4	0.100 5
压气机进口温度 $t_1/^\circ\text{C}$	27.2	27.1	27.1	27.2	27.1	27	27.116 7
压气机出口温度 $t_2/^\circ\text{C}$	155.6	155.6	156.3	156.4	156.5	157	156.233 3
中冷后空气温度 $t_3/^\circ\text{C}$	27	27	28	29	29	29	28.166 7
中冷进水温度 $t_{w1}/^\circ\text{C}$	24	24	25	26	26	26	25.166 7
中冷出水温度 $t_{w2}/^\circ\text{C}$	25	27	27	27	28	28	27
增压压力 P_2/MPa	0.165 4	0.164 2	0.163 9	0.164 1	0.163 8	0.163 5	0.164 1
增压比计算值 π	2.645 3	2.634 0	2.632 1	2.632 8	2.631 5	2.628 5	2.634 0
转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	999	1 000	1 000	1 001	1 000	1 000	1 000
功率 N_e/kW	1 921.85	1 920.71	1 917.74	1 920	1 919.31	1 917.92	1 919.588 3

湿空气的饱和蒸汽压可通过下式计算^[2]:

$$\ln P_{\text{q}} = \frac{c_1}{T} + c_2 + c_3 T + c_4 T^2 + c_5 T^3 + c_6 T^4 + c_7 \ln T \quad (1)$$

式中: T 为湿空气热力学温度, K, $T = 273.15 + t$; P_{q} 为对应温度的湿空气饱和蒸汽压, Pa。

当温度 $t = 0 \sim 200$ °C 时: $c_1 = -5\,800.220\,6$, $c_2 = 1.391\,499\,3$, $c_3 = -0.048\,640\,239$, $c_4 = 0.417\,647\,68 \times 10^{-4}$, $c_5 = -0.144\,520\,93 \times 10^{-7}$, $c_6 = 0$, $c_7 = 6.545\,967\,3$ 。

由此可得, 在本试验进气温度下, 饱和蒸汽压 $P_{\text{qb1}} = 3\,591.82$ Pa。

实际水蒸气分压 P_{q} 可以通过下式计算^[3]:

$$P_{\text{q}} = P_{\text{qb}} \varphi \quad (2)$$

式中: φ 为相对湿度。

所以, 进气时空气中水蒸气分压

$$P_{\text{q1}} = 3\,591.82 \times 89\% = 3\,196.72 \text{ Pa}。$$

增压后, 也就是在压气机出口湿空气的饱和蒸汽压 $P_{\text{qb2}} = 561\,263.29$ Pa。

而此时实际的水蒸气分压

$$P_{\text{q2}} = P_{\text{q1}} \pi = 3\,591.82 \times 2.634 = 8\,420.26 \text{ Pa}。$$

以上计算表明, 压气机出口空气的水蒸气分压远小于出口温度时的水蒸气饱和蒸汽压, 所以此时不会有水析出。但为提高柴油机空燃比, 需要将空气压入中冷器进行冷却, 在此过程中, 空气温差变化的大小, 会决定空气中是否有水析出。

从表 1 数据看, 当外界温度在 27 °C 时, 电站冷却塔出口的水温为 25 °C 左右。经过这个温度的水的冷却后, 空气温度会降到 27 °C, 恰好与进口空气温度相当, 所以, 该温度下空气的饱和蒸汽压

为

$$P_{\text{qb3}} \approx P_{\text{qb1}} = 3\,196.72 \text{ Pa}$$

此值小于 P_{q2} , 所以, 增压空气被冷却后, 会有水析出。

湿空气加压冷却后的析水量可由下式求得:

$$q_m = 60 q_z \left[\varphi d'_{1b} - \frac{(P_1 - \varphi P_{\text{b1}}) T_2}{(P_2 - P_{\text{b2}}) T_1} d'_{2b} \right] \quad (3)$$

式中: q_m 为每小时的析水量, kg/h; q_z 为自由空气流量, m^3/min ; T_1 、 T_2 为增压前、后空气温度, K; d'_{1b} 、 d'_{2b} 为温度为 T_1 、 T_2 时饱和容积含湿量, kg/m^3 ; P_{b1} 、 P_{b2} 为温度为 T_1 、 T_2 时饱和空气中水蒸气的分压力(绝对压力), Pa。

如前所述, $T_1 \approx T_2$, 所以式(3)可写成

$$q_m = 60 q_z \left[\varphi - \frac{(P_1 - \varphi P_{\text{b1}})}{(P_2 - P_{\text{b1}})} \right] d'_{1b} \quad (4)$$

查参考文献 [4] 中表 42.1-4 可知, 当 $t = 27$ °C 时, $d'_{1b} = 0.025\,8 \text{ kg}/\text{m}^3$; 而该柴油机在试验环境下自由进气量 $q_z = 205.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 。所以, 由式(4)可得柴油机的析水量 $q_m = 164.5 \text{ kg}/\text{h}$ 。

可见, 在本文所述的试验条件下, 柴油机中冷器后析出水的量是很大的, 对柴油机安全运行造成威胁。通过降低经过中冷器时空气温度的下降幅度, 提高进入柴油机进气稳压箱空气的温度, 从而提高空气的饱和蒸汽压, 可有效防止空气中水蒸气的冷凝。然而, 考虑到要通过增加进气空气密度的办法来提高柴油机气缸内的空燃比, 从而提高柴油机的燃油经济性, 空气的温度又不可以太高。因此要设法使中冷器后空气温度在露点以上, 这样就能既不让水蒸汽凝结成水, 又使得进入气缸内的空气

具有较高的密度。

根据参考文献 [3] 提供的计算方法, 可以计算出开始析出水时的温度, 也就是露点温度:

$$T_1 = -35.28896 - 2.03222 \ln P_q + 1.17025 (\ln P_q)^2 = 41.04 \text{ } ^\circ\text{C}$$

注: 本式有效范围为 $T_1 = 0 \sim 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

3 设计改进

如何达到这样适度的冷却效果呢? 控制进入中冷器冷却水的温度是一种较为有效的办法。但在电站中, 用来提供中冷水的冷却塔一般还有其它用途, 冷却塔的出水温度是不便随意改变的, 那就只有在中冷水进出柴油机处想办法。在本项目中, 采用了增加电动调温阀, 通过控制中冷水进入冷却塔的被冷却水量的办法, 控制中冷器进水温度, 对增压空气进行适度冷却。原理见图3。

在上述试验环境下, 通过安装在机旁控制台上的温度调节仪将电控电磁阀 A 口(见图3)的温度设定在 $37 \text{ } ^\circ\text{C}$, 也就是将中冷器进水温度控制在 $37 \text{ } ^\circ\text{C}$, 此时测得中冷器后的扫气温度为 $41.2 \text{ } ^\circ\text{C}$, 与计算所得的露点温度较接近, 打开稳压箱排污管阀, 未见有水流出, 这说明控制中冷器进口温度的方法是成功的。

同样道理, 对船用柴油机的冷却水系统进行改进设计, 与电站用柴油机冷却水系统的不同之处在于电控调温阀直接安装在低温水泵之后。如图4所示。

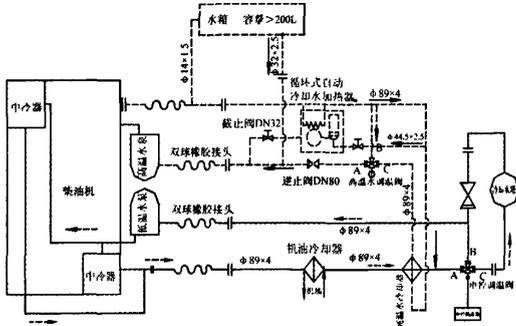


图3 改进设计后电站柴油机冷却水系统原理图

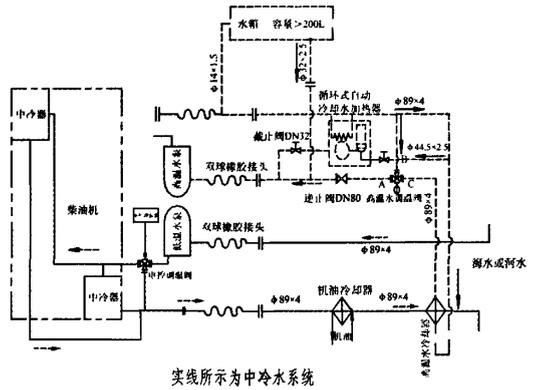


图4 改进设计后船用柴油机冷却水系统原理图

4 结语

上述分析表明: 当外界温度较高、湿度较大时, 如果冷却增压空气的冷却介质温度较低, 增压空气中就会有较多冷凝水析出, 对柴油机的安全运行造成隐患。为了解决这个问题, 可以通过在冷却水系统中增加电动调温阀的办法, 控制进入中冷器的水的温度或流量, 使进入柴油机稳压箱的空气温度、密度较大, 但又保持在露点温度以上。

下一步计划通过计算和试验结合的办法, 摸索出不同温度、不同湿度下对应的调温阀的合理设定温度, 以方便现场操作。

参考文献

- [1] 张千里, 刘纪林. 内燃机车柴油机稳压箱油水检测装置[J]. 内燃机车, 2002(9).
- [2] 赵荣义等. 空气调节第三版[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [3] 布文峰, 王世洪. 对露点温度计算经验式的修正[J]. 北京工业大学学报. 2001(9).
- [4] 机械设计手册. 5. 第二版[M]. 北京: 机械工业出版社. 2000.