

文章编号:1671-251X(2017)03-0035-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.03.008

李强强,张翠平,张瑞亮,等.冷却净化水箱对防爆柴油机的影响研究[J].工矿自动化,2017,43(3):35-39.

冷却净化水箱对防爆柴油机的影响研究

李强强, 张翠平, 张瑞亮, 孙秀全, 张钰栋, 孙丹丹

(太原理工大学 机械工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:对加装冷却净化水箱前后的井下防爆柴油机进行了十一工况和外特性试验,分别测得不同工况下防爆柴油机排气口温度、排放废气及颗粒物含量、输出转矩、输出功率及油耗率,进而得到冷却净化水箱对防爆柴油机排放特性、动力性及经济性的影响。结果表明:防爆柴油机加装冷却净化水箱后,排气降温效果明显,废气温度不高于 50°C ; NO_x 排放有很大的改善,最大排放降幅为39.3%;CO排放量在高负荷工况下有所增加,最大增幅为22.2%;HC排放量变化不大;颗粒物排放量在高负荷工况下稍有增加;动力性有所下降,在最大转矩处,输出转矩和输出功率均下降2.5%;经济性有所下降,油耗率最多增加了3.2%。

关键词:防爆柴油机;冷却净化水箱;排放特性;动力性;经济性

中图分类号:TD524 文献标志码:A 网络出版时间:2017-02-28 16:52

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170301.1514.008.html>

Influence research of cooling and purified water tank on explosion-proof diesel

LI Qiangqiang, ZHANG Cuiping, ZHANG Ruiliang, SUN Xiuquan,

ZHANG Yudong, SUN Dandan

(College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Eleven working points test and external characteristics test were taken for underground explosion-proof diesel before and after installing cooling and purified water tank. Some indexes of explosion-proof diesel were obtained under different conditions, including temperature of exhaust port, contents of waste gas and particulate matter, output torque, output power and fuel consumption rate. Influence of cooling and purified water tank on discharge, power and economy performance of explosion-proof diesel was summarized. The test results show that cooling effect for exhausting gas is obviously improved after installing cooling and purified water tank, and temperature of waste gas is lower than 50°C . NO_x exhaustion is greatly improved with the largest decreasing amplitude of 39.3%. CO exhaustion increases under the heavy load condition with the largest increasing amplitude of 22.2%. HC exhaustion has little variety. Particulate matter exhaustion increases a little under the heavy load condition. Power performance of the explosion-proof diesel decreases, and output torque and output power decreases 2.5% separately under the maximum torque condition. Economical performance decreases, and fuel consumption rate increases 3.2% at most.

Key words: explosion-proof diesel; cooling and purified water tank; exhaustion performance; power performance; economical performance

收稿日期:2016-09-27;修回日期:2017-01-09;责任编辑:李明。

基金项目:山西省煤基重点科技攻关项目(MJ2014-14)。

作者简介:李强强(1992—),男,山西晋城人,硕士研究生,研究方向为防爆柴油机,E-mail:457986230@qq.com。通信作者:张翠平(1964—),女,山西万荣人,教授,博士,研究方向为现代发动机关键零部件分析,E-mail:zhangcp64@163.com。

0 引言

在煤矿井下,防爆柴油机除了要满足防爆条件,还要有一定的动力性能,以满足井下胶轮车运行需求。由于井下环境恶劣,空间有限,防爆柴油机的排气往往无法得到有效处理,因此有必要研究防爆柴油机的排放特性^[1]。

目前用于煤矿井下的防爆柴油机大多配备了冷却净化水箱来降低发动机的排气温度,以满足防爆要求,同时对发动机排气起到一定的净化作用^[2]。冷却净化水箱对防爆柴油机的动力性及经济性有一定影响^[3]。本文针对无冷却净化水箱的防爆柴油机和加装冷却净化水箱的防爆柴油机分别进行试验,研究冷却净化水箱对防爆柴油机排放特性、动力性及经济性的影响。

1 试验装置及方法

试验装置如图 1 所示。该装置可通过调节测控系统,使防爆柴油机在所需工况下稳定运转。ET2000 发动机测控系统可监测转速、转矩等动力性参数。排放测试仪可对防爆柴油机的排放特性进行测试分析^[4],由 AVL DICOM 4000 五组分排放仪测得 CO,CO₂,NO_x (包括 NO,NO₂,NO₃,N₂O,N₂O₃,N₂O₄,N₂O₅),O₂,HC 体积分数,由 AVL DISMOKE 480 不透光烟度计测得颗粒物浓度。

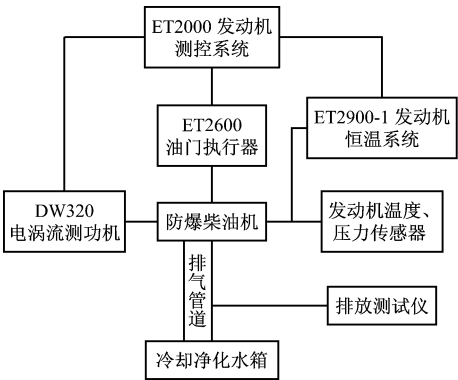


图 1 试验装置组成

测试采用 TDE4100QFB 型防爆柴油机,其主要技术参数见表 1。

采用 0 号柴油对防爆柴油机进行外特性和十一工况排放试验。十一工况点如图 2 所示。其中工况点 1 转速为 800 r/min,负荷为 0;工况点 2,3,4 转速均为 1 000 r/min,负荷分别为 0,50%,100%;工况点 5,6,7 转速均为 1 500 r/min,负荷分别为 0,75%,100%;工况点 8—11 转速均为 2 200 r/min,负荷分别为 100%,75%,50%,0。

表 1 防爆柴油机主要技术参数

指标	参数
型式	直列、四冲程、自然吸气
标定功率/kW	45
标定转速/(r·min ⁻¹)	2 200
最大转速/(r·min ⁻¹)	1 400~1 600
最大转矩/(N·m)	220
冷却方式	强制水循环冷却

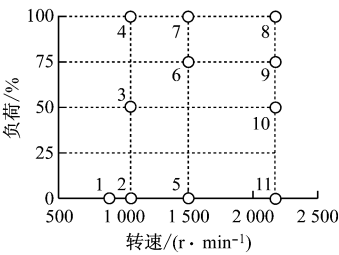


图 2 十一工况点

2 试验结果及分析

2.1 冷却净化水箱对防爆柴油机排放特性的影响

2.1.1 防爆柴油机废气排出温度

防爆柴油机外特性工况试验下废气排出温度如图 3 所示。MT 990—2006《矿用防爆柴油机通用技术条件》规定:防爆柴油机废气排出口温度不得超过 70 ℃^[5]。柴油机的排气温度高达 500 ℃,经过水夹套排气管冷却后,还必须经过冷却净化水箱的降温冷却作用才能达到井下防爆要求^[6]。从图 3 可看出,柴油机废气在经过冷却净化水箱后温度均降到 70 ℃ 以下,满足矿用防爆柴油机防爆要求。

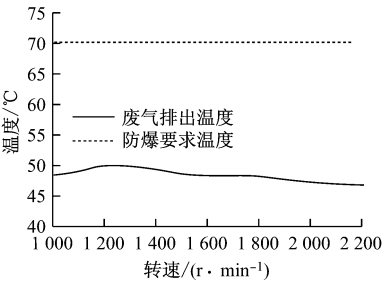


图 3 防爆柴油机废气排出温度

2.1.2 CO 排放量

防爆柴油机在稀混合气下运转,大多数运转工况下,其 CO 排放量较低。由于其燃料与空气混合不均匀,燃烧空间内不可避免存在局部缺氧和低温处,且反应物在燃烧区停留时间较短,难以完全燃烧,所以在高负荷工况下,过量空气系数 $\phi_a=1.2\sim 1.3$ 时,CO 排放量会大幅增加^[7]。试验测得的 CO 排放量如图 4 所示。

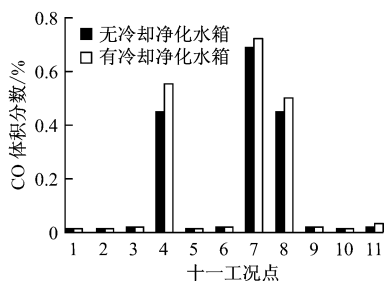


图4 CO排放量

从图4可看出,CO体积分数的峰值均出现在各转速下的高负荷工况中,分别在第4,7,8工况点。加装冷却净化水箱后,在这3个工况点测得的CO体积分数较未加装冷却净化水箱时分别增加22.2%,4.3%,11.1%,说明防爆柴油机加装冷却净化水箱后,CO排放状况有一定的恶化,尤其在第4工况点(转速为1 000 r/min,负荷为100%)时有较大影响。这是由于加装冷却净化水箱会使防爆柴油机的排气产生背压,尤其在高负荷时排气背压增大,使气缸内残余废气增多,影响防爆柴油机燃烧,同时降低柴油机气缸内 O_2 浓度,导致生成更多的CO^[8-9]。

2.1.3 HC排放量

柴油机在接近压缩结束时才喷油,燃油、空气混合不均匀;燃料以高压喷入气缸后直接形成可燃混合气并燃烧,在气缸内停留时间较短,因此柴油机排放未燃HC浓度较低。

防爆柴油机加装冷却净化水箱前后,其HC排放量如图5所示。可看出加装冷却净化水箱后,防爆柴油机的HC排放量有一定变化,但变化量很少,HC排放量总体很低^[10]。

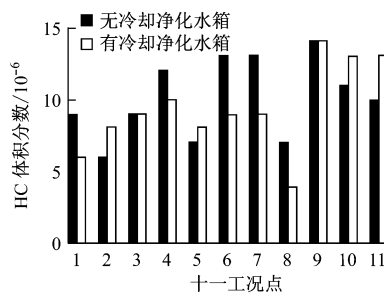
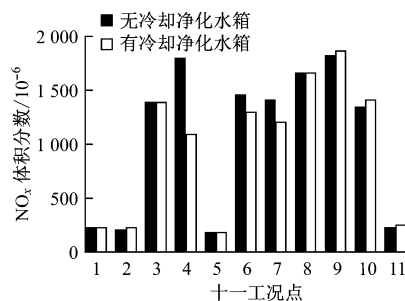


图5 HC排放量

2.1.4 NO_x排放量

防爆柴油机加装冷却净化水箱前后,其NO_x排放量如图6所示。可看出在低转速、低负荷工况下,加装冷却净化水箱对NO_x排放影响较小;在第4工况点,加装冷却净化水箱对防爆柴油机NO_x排放量的影响最大,加装前后排放的NO_x体积分数分别为 $1\,799 \times 10^{-6}$, $1\,091 \times 10^{-6}$,降幅为39.3%;在第6

工况点(转速为1 500 r/min,负荷为75%)、第7工况点(转速为1 500 r/min,负荷为100%),NO_x排放量降幅分别为10.8%,14.7%;转速为2 200 r/min时,加装冷却净化水箱后,防爆柴油机NO_x排放量有所增加。

图6 NO_x排放量

柴油机排放的NO_x中,NO是主要成分,其生成条件是高温、富氧和一定的反应时间。低负荷工况下,防爆柴油机空燃比大,加装冷却净化水箱对混合气的稀释作用不大,因此NO_x排放量变化不大。在中高转速、高负荷工况下,加装冷却净化水箱后会产生一定的排气背压,增大排气阻力,防爆柴油机内的残余废气增多,抑制了NO_x的生成^[11]。在高转速、高负荷工况下,防爆柴油机缸内温度升高,循环次数增多,使得NO_x排放量有所增加^[12],结合排气背压对NO_x排放的抑制作用,最终导致NO_x排放量有小幅增加。

2.1.5 颗粒物排放量

防爆柴油机排放的颗粒物包括碳烟、可溶性有机物和硫酸盐,其中,碳烟是主要组成部分。碳烟的形成条件为高温和缺氧,防爆柴油机虽然是稀燃,但由于油气混合不均匀,造成局部缺氧,从而导致碳烟生成。

防爆柴油机加装冷却净化水箱前后,其颗粒物排放量如图7所示。可见加装冷却净化水箱后,防爆柴油机颗粒物排放量在高负荷工况较未加装冷却净化水箱时有一定程度的增加,在第4工况点增幅为11.5%。这是因为防爆柴油机加装冷却净化水箱后,在缸内的高温废气区域易生成碳烟。测试时采集颗粒物的AVL DISMOKE 480不透光烟度计安装在防爆柴油机排气管后、冷却净化水箱前。实际上,由于冷却净化水箱的洗涤处理,防爆柴油机最终排放的尾气中颗粒物的含量可得到有效改善^[13]。

2.2 冷却净化水箱对防爆柴油机动力性的影响

对防爆柴油机进行外特性台架试验,得到加装冷却净化水箱前后防爆柴油机的输出转矩和输出功率,如图8所示。可看出加装冷却净化水箱后,防爆

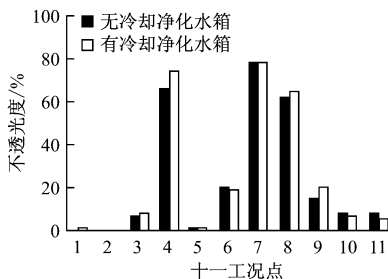
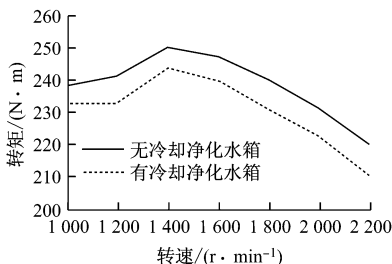
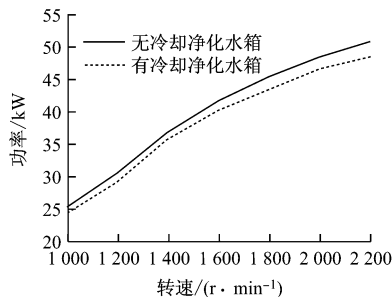


图 7 颗粒物排放量

柴油机的输出转矩、输出功率都有不同程度的下降；输出转矩平均降幅为 3.2%，转速为 2 200 r/min 时降幅最大，为 4.1%；在输出转矩最大处，输出转矩、输出功率降幅均为 2.5%。可见加装冷却净化水箱后，防爆柴油机的动力性有所下降^[14]。



(a) 输出转矩



(b) 输出功率

图 8 防爆柴油机输出转矩和输出功率

2.3 冷却净化水箱对防爆柴油机经济性的影响

防爆柴油机转速为 1 400 r/min 时，输出转矩达到最大，此时进行负荷特性台架试验，得到加装冷却净化水箱前后防爆柴油机的油耗率，如图 9 所示。可看出防爆柴油机加装冷却净化水箱后，油耗率有小幅增加；在防爆柴油机转速为 1 400 r/min、转矩

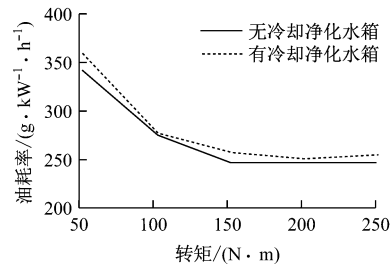


图 9 防爆柴油机油耗率

最大时，防爆柴油机油耗率在加装冷却净化水箱后较之前增加 3.2%。可见防爆柴油机加装冷却净化水箱后，其经济性有所下降。

3 结论

(1) 防爆柴油机加装冷却净化水箱后，排气降温效果明显，最终排气温度未超过 50℃，满足井下防爆要求。

(2) 防爆柴油机加装冷却净化水箱后，其 NO_x 排放大多数工况下得到改善，在转速为 1 000 r/min、负荷为 100% 工况下，NO_x 排放量较未加装冷却净化水箱时减少 39.3%，在转速为 1 500 r/min、负荷为 100% 工况下减少 14.7%。加装冷却净化水箱对防爆柴油机 CO 与 HC 排放量影响较小，且在高转速、高负荷工况下，导致颗粒物排放量有所增加。实际上，防爆柴油机排放的废气经冷却净化水箱处理后，其 NO_x 和颗粒物含量可得到一定程度的改善。

(3) 加装冷却净化水箱导致防爆柴油机的动力性有一定程度的降低，在最大输出转矩（转速为 1 400 r/min）处，输出转矩、输出功率均较未加装冷却净化水箱时降低 2.5%。

(4) 加装冷却净化水箱后，防爆柴油机经济性有所下降，在转速为 1 400 r/min、转矩为 220 N·m 时，防爆柴油机油耗率较未加装冷却净化水箱时增加 3.2%。

(5) 对防爆柴油机冷却净化水箱进行优化设计时，由于废气排出温度已较大程度满足防爆要求，所以应着重考虑冷却净化水箱对防爆柴油机动力性及气体、颗粒物排放的影响。

参考文献：

- [1] 魏勇刚,赵明岗,孟国营.煤矿井下防爆柴油机尾气控制技术探讨[J].煤炭科学技术,2008,36(12):67-69.
- [2] 王清燕.煤矿用运输车辆排气防爆技术研究[D].武汉:武汉理工大学,2013.
- [3] 王晓,贾二虎,兰春亮.矿用防爆柴油机增压中冷技术应用试验研究[J].煤炭科学技术,2015,43(7):107-110.
- [4] 帅石金,华伦,赵彦光,等.一种防爆柴油机尾气净化装置:CN104033222A[P].2014-06-30.
- [5] MT 990—2006 矿用防爆柴油机通用技术条件[S].
- [6] 王松,蒋炎坤,宋昌,等.水下工作柴油机排气降温系统设计与试验[J].内燃机与动力装置,2014,31(1):1-5.
- [7] 张翠平,王铁.内燃机排放与控制[M].北京:机械工

业出版社,2012.

[8] 朱瑞杰. 工作参数和稀释比对发动机排放影响的试验研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2015.

[9] 郭燕婵. 浅析防爆柴油机 CO、NO_x 的排放[J]. 河北煤炭,2003(3):39-41.

[10] 王渊. 矿用防爆柴油机尾气排放优化措施[J]. 煤炭与化工,2016(5):143-146.

[11] 李天鹏. 防爆柴油机进气系统的 CFD 分析[D]. 太原:太原理工大学,2013.

[12] 李志军,孙小明,马小强,等. 稀燃汽油机运转工况对吸附还原法降低 NO_x 排放的影响[J]. 燃料科学与技术,2005,35(4):244-246.

[13] 焦高荣. 防爆柴油机几种典型故障的诊断[C]//煤矿高效、安全、洁净开采机电一体化新技术研讨会,珠海,2008:22-23.

[14] 马少康,梁涛,苏艳君,等. 排气背压对发动机性能影响的研究[J]. 小型内燃机与车辆技术,2015,44(2):12-15.