

大缸径发动机试验室的能量转换分析及工艺布置

车晨寅

(上海市机电设计研究院有限公司 上海 200040)

摘要: 大缸径发动机是国之利器,其性能、排放及可靠性试验是研发过程中的重要环节。发动机试验室的能源转换分析是创建试验标准环境和试验室设施建设的主要参考。能源转换分析对试验环境准确性、燃油供给、供电、辅机冷却介质的热交换、发动机进气、排气等计算起着决定性作用。文章阐述了试验室能量平衡分析方法和思路,介绍了试验室辅机设备及空调、排烟系统的工艺布置,可以为建设同类试验室的建设、运营与维护提供借鉴。

关键词: 大缸径发动机; 试验室; 能量转换; 工艺布置

0 引言

大缸径发动机作为大型装备的动力核心,在远洋航运、能源安全及国防军工等领域发挥着重要的作用。我国目前急需高性能、高可靠性和燃油经济性的大缸径发动机应用于各个关键行业。发动机的研发阶段需要大规模的验证及可靠性试验。试验是研发过程中重要的步骤。只有在设施先进、环境符合标准的试验室中进行反复测试,才能使发动机各项参数满足设计要求。

试验室的能量转换分析就是为了设计标准试验室、满足发动机性能、可靠性及排放的测试要求提供设计依据与输入。只有分析清楚发动机的能量转换过程,量化了相关参数,才能分析整个发动机试验室的能量转换过程。其目的是让发动机与试验室同时达到能量转换与热力学平衡。能量转换分析的具体工作就是:量化发动机输入的化学能转化为机械能,同时计算发动机内部运行中释放出的热能通过辅机设备冷却,外部散发的热量通过试验室环境空调及排气系统达到能量平衡。量化这些参数,可以建立热力学模型进行分析,同时规划辅机及环境空调及排烟系统的工艺布置,来实现试验室能量转化平衡。

1 发动机的理论能量转换

发动机是一种把燃料化学能转化成机械能的装置。能量转化过程中由于效率有限,系统中会产生大量热量。系统模型可以视为:输入燃料化学能,输出机械能及释放热量。这些热量主要以三种形式释

放:发动机尾气、发动机表面热辐射、辅机冷却带走热量^[1]。发动机能源转化输入输出表见表1。

表1 发动机能源转化输入输出表

输入	占比	输出	占比
柴油化学能	100%	机械动能	38%
		摩擦损耗	6%
		表面散热	7%
		尾气热量	28%
		辅机冷却	21%

柴油发动机的理论油耗为:210 ~ 220g/(kW·h),故10000kW的柴油发动机理论油耗为:

$$10000 \times (210 \sim 220) = 2100000 \sim 2200000 \text{g/h} \\ = 2100 \sim 2200 \text{kg/h}$$

目前高端柴油发动机的热效率可以做到35% ~ 45%,也就是把35% ~ 45%柴油的能量转换为机械能。文章针对的发动机为10000kW超重型柴油发动机的能量转换计算,按照最大功率输出状态进行分析。按照主流能量转换理论及大量试验室实测数据,柴油发动机将38%的燃料能量转换为机械能,将55%的燃料能量转换为热能,其中发动机产生的热量28%由尾气排出、21%由发动机自身的冷却系统排出、7%由发动机表面散发到环境中^[2]。结合表1,10000kW动力输出的发动机表面散热为1842kW,尾气排放热量为7368kW,摩擦损耗为1579kW,辅机冷却为5526kW。这些数据将作为试验室的能量转换分析的计算依据。

2 试验室的能量平衡分析

大缸径发动机试验室核心布置选择水电串联形

式：10MW 水力测功机 +10MW 交流电力测功机。试验室尺寸为 24m×12m，高度为 15m。试验间之外还要设置控制间、辅助设备间、设备基础间、电气设备间、进气空调间和全室空调间等。

大缸径发动机试验室可以视为一个封闭的能量转换模型及热力学模型。外部需要对试验室提供燃油、电力、冷却水、冷冻水、新风及燃烧空气，发动机试验室需要通过测功机把机械能转换为电能向室外输出电力、发动机尾气及温度升高后的冷却水及冷冻水。

发动机试验室外部设备有发动机进气空调，其作用是调节室外空气，为被测发动机提供 25℃ 的燃烧空气，进气空调所需要 7℃ 的冷冻水与电力。试验室外部设有环境空调，用于调节发动机试验室温度，使室内温度在发动机全负荷工作时，环境温度低于 50℃。试验室还有一些列辅机为被测发动机、水力测功机与交流电力测功机提供热交换及冷却。试验室内能源的转换及模型空间及逻辑形式及其数量取值如图 1 所示。

结合图 1 及计算分析结果，试验室输入介质为：冷却水进水（32℃）、测功机用冷却水进水（38℃）、冷冻水进水（7℃）、用电（380V@50Hz）、测功机用

电（3.3kV@50Hz）、燃油、进气空调燃烧空气、环境空调新风。试验室输出介质为：冷却水回水（42℃）、测功机用冷却水回水（68℃）、冷冻水回水（12℃）、测功机电力反馈（3.3kV@50Hz）、发动机尾气排放。被测发动机辅机冷却热量由输入的冷却水、冷冻水平衡，被测发动机热辐射与对流释放的热量由环境空调制冷量平衡。发动机尾气的热量则考虑全部释放到试验室外部。

3 辅机系统工艺布置

为了维持发动机的试验运行，需要配置各种发动机辅助设备。这些设备主要为了维持发动机的进气系统、发动机的冷却液系统、发动机润滑油系统以及发动机排放系统等运行。辅机设备布置在辅机设备间、基础设备间、排放设备间及进气空调间内^[3]，详见表 2。

发动机的装载高度为 4.8m，发动机上方还要布置发动机尾气管道；起重机的轨道高度为 9m；吊钩的高度为 8m，吊钩需要运行在发动机排烟风管上方。起重机上方是二层顶面的结构横梁，为了保证结构的稳定性，试验间二层顶部是有梁贯通的。梁的上方为全室空调的风管。

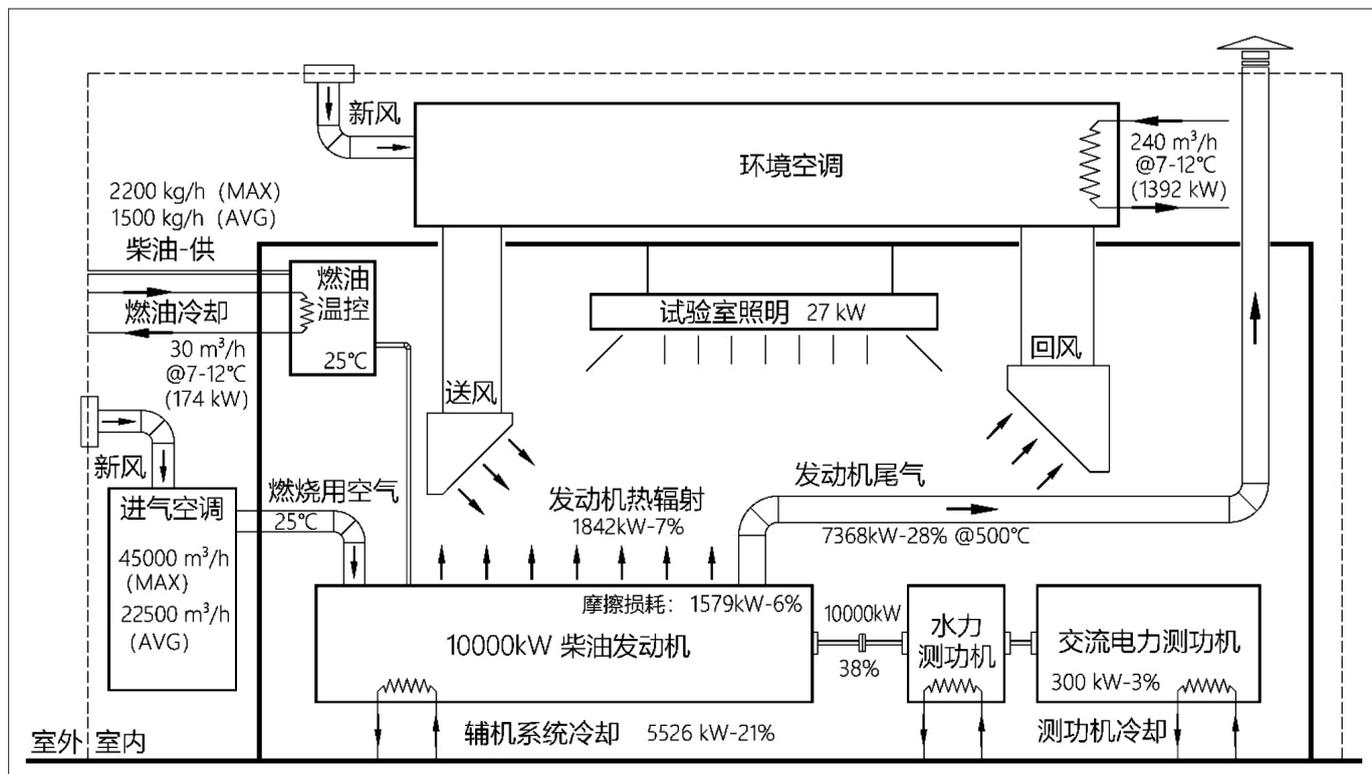


图 1 发动机试验室能量转换及热力学分析图

表2 辅机房间尺寸及主要设备表

序号	房间名称	楼层	尺寸/m	主要设备
1	试验室	+1	24×12	电力测功机、水力测功机、油耗仪、液压升降平台
2	电气间	+1	32×10	交流变频柜
3	地下辅机间	-1	32×34	电动机润滑、电动机温控、废机油罐、废冷却液罐等
4	辅机设备间	+1	24×8	高温水温控、低温水温控、发动机启动装置等
5	排放设备间	+2	24×8	排放分析设备、流量计等
6	进气空调间	+3	32×10	发动机进气空调
7	环境空调间	+4	32×34	环境空调

发动机是从试验室大门进入。门的高度受到一层顶梁的限制最高为5m。这样的尺寸能保证发动机与装载设备的进出，也能满足4m宽度的铁平板安装需求。电气间到试验间开一处人行门，方便疏散与检修。控制室内设有楼梯，改楼梯可以贯通地下室、电气间、控制室、进气空调间及4层的全室空调间。详细的竖向布置见图2。

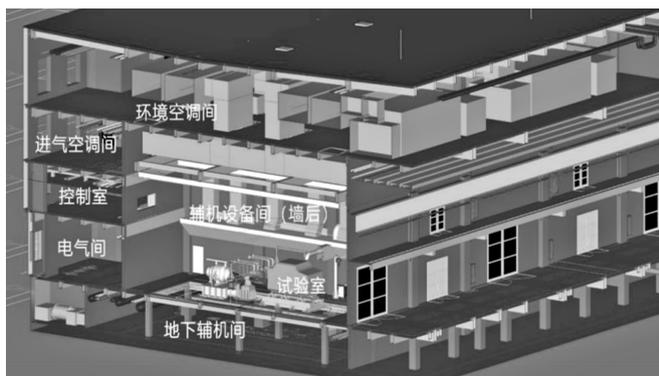


图2 试验室立面工艺布置图

4 环境空调及排烟系统

考虑到大缸径发动机发热量巨大，约为发动机功率的30%^[4]，加上交流电力测功机，水力测功机及一些辅助设备的发热量，试验间试验室时候温度控制在50℃以下。控制试验间温度的空调设备设在4层，即试验室、进气空调间和排放设备间的上方。每组试验室选用2台125000风量的空调机组。

试验室内由空调主风管引出送风管，送到被测发动机的两侧。冷风从侧面45°斜上方吹向试验中的发动机，保证发动机温度比室内其他区域的环境温度低，尽量让发动机的环境温度接近测试标准温度

25℃^[5]。整个房间的回风是从试验室的顶部回风，根据热空气上升原理，在试验间顶部，起重机结构梁上方布置回风口。这样气流组织合理的同时利用试验室立体的空间，详见图3。



图3 环境空调及排烟示意图

随着排放环保的要求越来越高，发动机尾气需要处理达标才能排放。由于室内面积都被占用完毕，尾气排放处理设备只能设在混凝土屋面上方。这样可以节省空间同时降低尾气排放烟囱的高度。当然也可将部分设备放置在排放设备间上方，减少屋面设备的放置。

5 试验室能量平衡的差异因素

试验室的能量平衡计算是理想状态下的，考虑的是单个试验室在发动机负荷100%及室外夏天极热温度或者冬天极寒温度下。通常发动机试验室全负荷的耐久试验与超负荷的性能试验是比较少进行的，而且极端室外环境温度持续的天数也比较少。按照试验室运营数据分析，设备的同时开动率与负载率的乘积在0.3~0.45之间。这个数据与试验的数量有关，与试验被测发动机的试验项目也有关系。如果被测发动机是在研发阶段，试验准备时间比较长，数值取低值。如果被测发动机为成熟系列发动机做产品试验，则数值取高值（图4）。

大缸径发动机往往被用于设备发电领域，最佳工作负荷在0.7~0.8左右。这类大型的发动机试验室往往只需要满足1~2个独立的试验台架运行，否则公用的冷冻水系统及冷却水系统将难以满足如此巨大的用量。

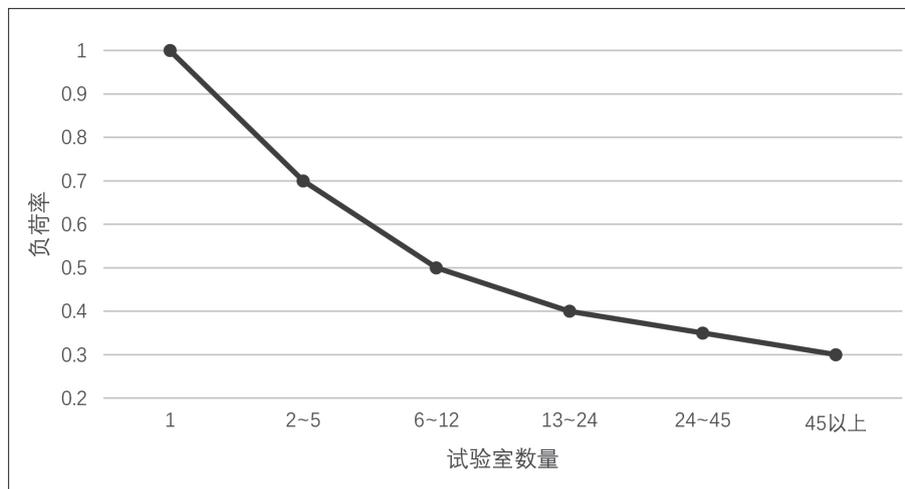


图4 公用及电力系统负载关系图

6 结语

上述超重型大缸径发动机试验室的能量平衡分析能指导辅机及空调排放系统的工艺布置,从而能够满足发动机性能、排放及可靠性试验要求。在建设初期提供了试验室内部设备选型及建筑服务系统的设计理

论依据,后期也将服务试验室的高效运营与维护。

参考文献:

[1] 马特 (A. J.), 普林特 (M. A.). 发动机试验理论与实践 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 42-43.

[2] 黄海燕. 汽车发动机试验学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 15-16.

[3] 张龙兵, 陈文杰. 现代发动机试验室规划设计思路 [J]. 柴油机设计与制造, 2016(1): 28-32.

[4] 杜雅娟, 鞠茂伟. 汽车发动机试验室通风、排烟系统规划与设计研究 [J]. 现代车用动力, 2017(1): 45-48.

[5] 陈顺章, 杜玮珂, 李海波, 等. 车用发动机试验室建设工艺流程及工艺设计 [J]. 内燃机与配件, 2013(9): 43-47.

作者简介: 车晨寅 (1986.11-), 男, 汉族, 浙江绍兴人, 本科, 工程师, 研究方向: 机械试验室工艺设计。

