ICS 27.020

CCS J91

|  |
| --- |
|  |

团体标准

T/CAAMTB XXXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

甲醇燃料增程器台架测试规范

Test specification for methanol-fueled range-extending machine bench

|  |
| --- |
|  |
| 在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。 |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国汽车工业协会  发布

目  次

[前  言 Ⅱ](#_Toc197435202)

[引  言 Ⅲ](#_Toc197435203)

[1 范围 1](#_Toc197435204)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc197435205)

[3 术语和定义 1](#_Toc197435206)

[4 误差及测量部位的要求 3](#_Toc197435233)

[5 试验条件的控制 4](#_Toc197435242)

[6 试验时增程器所带附件 5](#_Toc197435253)

[7 工作程序 5](#_Toc197435254)

[8 性能试验规范 7](#_Toc197435263)

[9 耐久试验 17](#_Toc197435283)

[10 试验报告 21](#_Toc197435288)

前  言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国汽车工业协会标准法规工作委员会甲醇汽车专业委员会提出。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位：浙江绿色智行科创有限公司、江苏常州绿创新能源动力科技有限公司、浙江吉利新能源商用车集团有限公司、南岳电控（衡阳）工业技术股份有限公司、华夏龙晖（北京）汽车电子科技股份有限公司、辽宁三特石油化工有限公司。

本文件主要起草人：张培亮、刘岩、李东利、宋志辉、洪安新、薛国颂、孙少伟、张淼、王勇、杨康康、葛峰、马建雄、张志敏、马恩。

本文件为首次发布。

引  言

本文件涉及甲醇增程器测试过程，规范测试过程的技术规范、操作要点及测试结果的评定标准等因素。鉴于国内外对甲醇增程器系统试验规范的迫切需求，本文件的目的是为甲醇增程器系统的设计和开发提供标准化的指导。

甲醇燃料增程器台架测试规范

1. 范围

本文件规定了往复式甲醇燃料发动机驱动的交流发电机（以下简称增程器）台架试验的术语和定义、试验条件、试验方法、试验结果评价等。

本文件适用于应用甲醇燃料的发动机和发电机及其控制器组成的增程器台架试验。

1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新的版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 18297 汽车发动机性能试验方法

GB/T 18488-2024 电动汽车用驱动电机系统

GB/T 18655-2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法

GB/T 19596 电动汽车术语

GB/T 21437.2 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第2部分：沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性

GB/T 33014.2 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第2部分：电波暗室法

GB/T 33014.4 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第4部分：大电流注入（BCI）法

GB/T 42416 M100车用甲醇燃料

GB/T 42436 M100车用甲醇燃料添加剂

QC/T 413 汽车电气设备基本技术条件

1. 术语和定义

GB/T 19596 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。



甲醇燃料增程器 Methanol-fueled range-extending machine

以甲醇作为燃料的内燃机与发电机及相关控制器组成的主动力源，完成由化学能到电能的转换功能，用于延长电动汽车续航里程的车载供电装置。



增程器能量转换率εRange extender energy conversion rate ε

消耗单位甲醇所能产生的电能，单位为kW·h/kg。



持续功率COP Continuous power COP

在规定的运行条件下并按制造商规定的维修间隔和方法实施维护保养，增程器不受限制地可持续输出的最大电功率。



峰值功率PEP Peak power PEP

在规定的运行条件下并按制造商规定的维修间隔和方法实施维护保养，增程器可短时输出的最大电功率。



稳态工作点Steady state operating point

增程器启动后，长时间保持功率输出状态的工作点。



稳态工作转速Steady state operating speed

增程器稳态工作点运行时，甲醇内燃机转速的平均值。



最低稳态工作转速Minimum steady-state operating speed

增程器启动后，甲醇内燃机保持正常运行的最低转速。此工作状态下发电机禁止工作。



最小稳态功率Minimum steady-state power

增程器所有稳态工作点中最小可控的输出电功率。最小稳定功率可以为0。



功率输出精度Power output accuracy

甲醇增程器输出功率实际值与期望值的最大稳态偏差，或输出功率实际值与期望值的最大稳态偏差占输出功率期望值的百分比。



额定电压Rated voltage

直流母线的标称电压值。



转速控制精度Speed control accuracy

转速实际值与转速期望值的最大稳态偏差，或转速实际值与转速期望值的最大稳态偏差占转速期望值的百分比。



扭矩控制精度Torque Control Accuracy

扭矩实际值与扭矩期望值的最大稳态偏差，或扭矩实际值与扭矩期望值的最大稳态偏差占转速期望值的百分比。



转速波动Speed fluctuation

增程器在启动、停机以及正常工作过程中，转速出现明显波动且波峰与波谷值大于100 r/min。

1. 误差及测量部位的要求
   1. 输出功率

输出功率测量误差不超过所测增程器最大功率值±1 %。

* 1. 转速

增程器转速测量误差不超过所测值的±0.5 %。

* 1. 甲醇消耗量

甲醇消耗量测量误差不超过所测值±1 %。

* 1. 电流

电流测量误差不超过所测值的±1 %。

* 1. 电压

电压不大于250 V时，测量误差不超过所测值的±2.5 %。

电压大于250 V时，测量误差不超过所测值的±1 %。

* 1. 温度

除有特殊规定外，一般按以下要求进行：

1. 冷却液温度：分别在发动机、发电机、发电机控制器、电池模拟器以及功率跟随器等冷却液出口及入口各两处测量；误差不超过±2℃。
2. 润滑油温度：在发动机及发电机（如需要润滑油润滑）的主油道、主油道的入口或者其他代表性部位测量；误差不超过±2℃。
3. 排气温度：传感器端头离发动机排气歧管出口或者涡轮增压器出口50 mm处测量，并位于排气连接管中心；误差不超过±2.5℃或不好过所测温度的±0.75 %，取两者中的较大值。
4. 甲醇温度：甲醇温度在靠近低压油轨的入口处或者高压油泵的入口处测量；也可按制造厂推荐的代表性位置；误差不超过±2℃。
5. 中冷后进气温度：在中冷器出气口50 mm处测量，误差不超过±2℃（如有）。
6. 发动机进气温度：沿发动机进气口（即进气连接管、节气门体或者空气滤清器进气口）的轴线，在进气口上游150 mm内测量；传感器不应收到热辐射，应采取必要的措施进行热屏蔽；误差不超过±1℃。
   1. 压力

除有特殊规定外，一般应按下列要求进行：

1. 进气管真空度及绝对压力：真空度在进气歧管进口的下游30 mm左右处测量，测压头与管内壁齐平，进气管绝对压力按制造厂规定的位置测量：误差不超过±0.15 kPa。
2. 进气连接管压降：在发动机进气口上游150 mm左右处测盈，测压头与管内壁齐平，误差不超过±0.05 kPa。
3. 涡轮增压器的压气机进、出口压力：在压气机进、出日的管壁上有代表性的部位测量，测压头与管内壁齐平：进口压力测量准确度不超过±0.1 kPa：出口压力测量误差不超过士1 kPa(如有)。
4. 排气背压：离发动机排气歧管出口或涡轮增压器出口下游75 mm处，在排气连接管里测量，测田头与管内壁齐平，误差不超过±0.2 kPa。
5. 润滑油压力：在发动机的主油道上或按制造厂 荐有代表性的部位测量，误差不超过±2.5kPa。
6. 冷却液压力：分别在发动机、发电机、发电机控制器、电池模拟器以及功率跟随器等冷却液出口及入口各两处测量；误差不超过±1 kPa。
7. 气缸压缩压力：传感器精度不低于1.5级。
8. 曲轴箱压力：误差不超过±0.02 kPa。
9. 进气压力：测量部位与进气温度测量部位一致；误差不超过±0.1 kPa。
   1. 甲醇发动机空气消耗量

空气消耗量测量误差不超过所测值的±3 %。

1. 试验条件的控制
   1. 总则

除有特殊规定以外，一般应按5.2～5.11的要求进行性能试验及耐久试验。且在试验期间，不得随意更换主要总成及零部件，易损易耗件的更换应做好详细记录。

* 1. 燃料

甲醇燃料牌号应符合GB/T 42416相关要求，甲醇温度控制在25℃±2℃，并按制造厂要求添加甲醇添加剂并搅拌均匀，甲醇添加剂性能应满足GB/T 42436相关要求。同一次试验的各项性能测定一般使用同一批燃料。

甲醇供给系统中管路材质应耐甲醇腐蚀（建议使用氟橡胶、不锈钢管）。

* 1. 润滑油

润滑油牌号应按增程器制造厂的规定执行，并按增程器制造厂规定的更换周期进行定期更换。同一次试验的各项性能测定一般使用同一批润滑油。

* 1. 冷却液

采用增程器制造厂规定的冷却液。冷却液出口的温度应控制在产品文件规定温度±5℃范围内或符合产品文件的相关规定。

* 1. 中冷后进气温度

控制在产品文件规定温度的±2℃范围内。

* 1. 排气背压

与产品文件规定的背压相差不超过±1 kPa。

* 1. 试验电源

试验电源应能满足被试驱动电机系统的功率要求，并能够工作于相应的工作状态。

* 1. 布线

试验中布线的规格应与实际布线一致，布线长度应与车辆中的实际布线相同。

* 1. 信号屏蔽

必要时，应对关联信号进行模拟或通过其他方法进行屏蔽。

* 1. 数据测量的条件

数据测量的条件按以下要求控制：

1. 测量数据时发动机发动机转速与选定转速相差应不超过1 %或±10 r/min，取两者中的较小值；
2. 待转速、电流、电压及排气温度稳定1 min后，方可进行测量；转速、电流、电压、燃料消耗量以及进气温度等尽量同时测量；测量时间应不少于20 s。

取连续两次测量的平均值，前后2次测量的燃料消耗量应相差小于2 %；测量时间间隔约 1min。

通过观察或手动试验对增程器的外观进行检查。

1. 试验时增程器所带附件

增程器试验过程中应携带维持增程器工作所必须的附件，如进气歧管、排气歧管、节气门体、燃油泵、水泵、润滑油泵、增压器、电机控制器等。

凡不是为了增程器本身服务的附件，对甲醇发动机来说是外加负载，如空调压缩机、动力转向泵等附件一律不带。若因为结构的原因，不便从增程器上拆下，其消耗的功率可增加到增程器实测有效功率中，或从机械损失功率中扣除。

试验过程应保证能量消耗系统（电池模拟器、功率跟随器）的相关参数满足增程器制造厂的相关要求，并能正常工作。

1. 工作程序
   1. 试验前精密测量

试验前对甲醇增程器及其各零部件进行精密测量，各测量项目可根据甲醇增程器制造厂要求进行调整，应包括以下部位：

1. 甲醇发动机及发电机各摩擦副的尺寸和间隙；
2. 曲轴、凸轮轴、电机转子止推间隙及齿隙；
3. 气门、气门座接触贷款和气门下沉量；
4. 各缸甲醇喷油器流量。
   1. 磨合

按甲醇增程器制造厂规范磨合，磨合时需同步监控发动机性能相关参数、发电机性能相关参数、电池模拟器相关参数、功率跟随器性能相关参数。

应对增程器磨合末期的润滑油进行取样，并与未使用的润滑油进行对比，润滑油检测机构的资质应满足增程器制造厂的要求。

润滑油检测时重点关注 Fe/Al/Cu/Ni/Pb/Sn等甲醇发动机可能存在的金属元素含量以及润滑油运动粘度。

磨合完毕后对数据进行整理分析，评价增程器主要参数的运行状态。

* 1. 性能初试

增程器磨合完毕后，应进行性能初试，对增程器各发电工况或增程器技术文件要求的工况（稳态工作转速）进行逐点测量（可参考表1 磨合工况），并记录发动机性能相关参数、发电机性能相关参数、电池模拟器相关参数及功率跟随器性能相关参数。

表1 磨合工况

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 增程器转速  r/min | 发电机功率  kW |
| 1 | 最低稳态工作转速 | 0 |
| 2 | 稳态工作点转速1 | 稳态工作点功率1 |
| 3 | 稳态工作点转速2 | 稳态工作点功率2 |
| 4 | …… | …… |
| N | 稳态工作点转速N | 稳态工作点功率N |

* 1. 性能试验

按第8章的规定执行。

* 1. 耐久试验

按第9章的规定执行。

* 1. 性能复试

按7.3进行。

* 1. 甲醇增程器拆解

对试验后甲醇增程器进行拆解：

1. 拍摄甲醇增程器整体照片，重点拍摄各个密封面，观察是否存在泄漏的痕迹，包括沉淀物、油泥等；
2. 检测重点部位紧固件（如缸盖螺栓等）拧紧力矩的衰减量（依据实际情况选择紧扣法和松开法测量试验后紧固件的拧紧力矩，并结合试验前的拧紧力矩计算力矩衰减量）；
3. 重点摩擦副的表面需拍摄局部清晰的照片，包括：曲轴、凸轮轴、缸孔、电机轴承等；
4. 拍摄活塞顶部、火花塞、甲醇喷油器、发电机输出位置照片；甲醇喷油器喷孔以及阀座等等易产生气蚀区域应使用显微镜进行外观检查；
5. 失效零件（如有）应重点关注，拍摄零件全貌以及故障部位的详细照片。
   1. 试验后精密测量

重复7.1。

甲醇喷油器耐久前后流量差应小于 3 %。

妥善保管测量数据及测量后的零部件，以便后续检查及分析。

1. 性能试验规范
   1. 能量转化率测试试验

目的

评定甲醇增程器的效率，测量不同工作点下燃烧1 kg甲醇所产生的电量。

试验条件

发动机所带附件按第6章的规定，利用标准悬架及垫块将甲醇增程器安装在台架上，使其悬置姿态与增程器布置要求相同。按甲醇增程器制造厂规定的工况点进行测试。

测试过程中按要求记录各项数据。

试验方法

* + - 1. 多功率点测试

多功率点测试方法见图1。

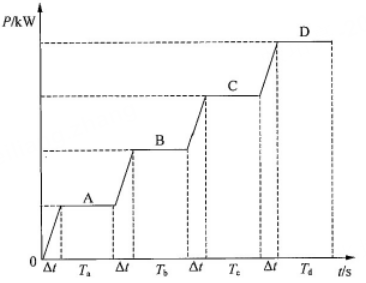


图1 多功率点测试方法

根据增程器产品技术条件，按表2选取增程器试验工作点。

表 2 多点型增程器试验工作点

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验工作点选择 | A | B | C | D |
| 目标功率／kW | 0.5Pe | 0.75Pe | Pe | Pp |
| 试验时间*I/ s* | 600 | 600 | 1200 | 300 |
| *△t/ s* | ≤10 | | | |
| 注1: Pe 对应产品技术文件中持续功率 ；Pp对应产品技术文件中峰值功率 ；  注2 ：试验时间=稳定工作点时间+*△t* ; TA=*△t* +Ta; TB=*△t* +Tb ; Tc=*△t+Tc*; TD=*△t* +Td ;  TA 、TB 、Tc 、TD 分别为增程器测试点 A、B、C、D 的试验时间；  注3：可根据实际情况增加测试循环，以降低燃料消耗量测量误差 。 | | | | |

多功率点测试方法下增程器能量转换率计算如公式（1）所示 ：

…………………………………………（1）

式中：

εe ——多功率点型增程器能量转换率 ，单位为千瓦时每千克（kW• h/kg)；

*G* e ——试验过程中甲醇燃料消耗量，单位为克（g)；

*E* e ——试验过程中增程器发电量 ，单位为千瓦时（kW• h）。

注：*G* e按GB/T 18297 相关规定完成计算；*E* e按8.1.3.3相关规定完成计算。

* + - 1. 单功率点测试

根据增程器产品技术文件，按表3选取增程器试验工作点。增程器能量转换率计算见公式（2）。

表3 单点型增程器试验工作点

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 工作点数量 | 目标功率  kW | 测试时间  s |
| 1 | Pe | 1800 |
| 注 1 : *P*e—— 对应产品技术文件持续功率 。  注 2 ：可根据实际情况增加测试时间 ，以降低燃料消耗量测量误差 。 | | |

…………………………………………（2）

式中：

εd——单点型增程器平均能量转换率，单位为千瓦时每千克（kW· h/kg) ；

Ed——试验过程中甲醇燃料消耗量，单位为克（g) ；

Gd——试验过程中增程器发电量，单位为千瓦时（kW• h）。

注：Ge按GB/T 18297 相关规定完成计算；Ee按8.1.3.3相关规定完成计算。

* + - 1. 发电量计算

试验过程中实时测量发电机的输出端电流和电压，其计算见公式（3）。

……………………………………（3）

式中：

E——增程器发电量，单位为千瓦时（kW• h）；

t0——试验开始时间，单位为秒（s）；

t1——试验终止时间，单位为秒（s）；

U——发电机控制器输出端电压，单位为伏特（V）；

I——发电机控制器输出端电流，单位为安培（A）。

测量项目及数据整理

* + - 1. 测量项目

甲醇增程器运行中，并当测试数据稳定后，分别读取、记录直流电压、电流、直流功率；三相交流电压、电流、交流功率；冷却介质温度、流量；增程器发电机绕组温度以及试验过程中甲醇燃料的消耗量等与时间的关系曲线，采集频率为10 Hz。

* + - 1. 数据整理

按8.1.3进行计算，按表4填写能量转化率试验结果，并绘制特性曲线；相关参数的允差应符合第5章规定。

表4 能量转化率试验

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 记录内容 | | 主要试验结果 |
| 多功率点测试或单功率点测试 | |  |
| 工作点1 | 试验开始时间 |  |
| 试验结束时间 |  |
| 发电机控制器输出端电压（V） |  |
| 发电机控制器输出端电流（A） |  |
| 燃油消耗量（kg/h） |  |
| 目标功率（kW） |  |
| 实际功率（kW） |  |
| 甲醇增程器转速（r/min） |  |
| 工作点2 |  |  |
| …… |  |  |

* 1. 增程器输出特性测试试验

目的

评定甲醇增程器输出特性含持续功率、峰值功率、最小稳定功率以及功率输出精度。

试验条件

甲醇增程器所带附件按第6章的规定，试验条件的控制按第5章的规定。

试验方法

* + - 1. 试验时，甲醇增程器应处于发电状态，工作转速范围由最低到最高工作转速均匀选取不少于10个转速点，测试点选取应包含以下特征点：

1. 额定工作转速点；
2. 最高转速工作点；
3. 持续功率对应的最低工作转速点；
4. 技术协议规定的其他工作点。
   * + 1. 扭矩测试点的选取：
5. 低于额定转速，扭矩按峰值扭矩的10 %～100 %范围内每10点进行一次测量；
6. 高于额定转速，扭矩按峰值功率的10 %～100 %范围内每10点进行一次测量；
7. 持续扭矩曲线上的点；
8. 持续功率曲线上的点；
9. 技术协议规定的其他工作点。

测量项目及数据处理

* + - 1. 测量项目

按照8.2.2和8.2.3要求选择扭矩、转速点进行转速-扭矩特性及效率测试，当测试数据稳定后，分别读取、记录直流电压、电流、直流功率；三相交流电压、电流、交流功率；增程器转速、扭矩、轴功率；冷却介质温度、流量；增程器发电机绕组温度；频率、增程器发电机效率、控制器效率以及增程器系统效率等数据，采集频率为10 Hz。

* + - 1. 数据处理

试验完成后输出持续功率、峰值功率、最小稳定功率，并将各工况点实测功率与甲醇增程器制造商技术文件中标注的功率进行比较，输出功率输出精度，并编制增程器转速、扭矩特性曲线和效率MAP图，按表5填写试验结果；相关参数的允差应符合第5章规定。

表5 增程器输出特性试验

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 记录内容 | 试验结果 | 记录内容 | 试验结果 | 记录内容 | 试验结果 |
| 额定工作转速 |  | 扭矩点1 |  | 功率1 |  |
|  | 扭矩点2 |  | 功率2 |  |
|  |  | …… |  | …… |  |
| 最高工作转速 |  | 扭矩点1 |  | 功率1 |  |
|  | 扭矩点2 |  | 功率2 |  |
|  |  | …… |  | …… |  |
| 其他转速点 |  | 扭矩点1 |  | 功率1 |  |
|  | 扭矩点2 |  | 功率2 |  |
|  |  | …… |  | …… |  |

* 1. 增程器启动特性试验

目的

评定甲醇增程器的低温冷机（甲醇机环境温度-30℃）、暖机及热机启动性、启动的优劣取决于增程器发电机启动甲醇发动机所需的拖动时间。

试验条件

甲醇发动机所带附件按第6章的规定。

低温冷机启动试验时，发动机不装特殊启动附件，低温冷机启动试验用燃料和电池容量应与制造厂的规定一致。

用仪器测量瞬态参效，如转速、启动电流、进气管绝对压力等。

低温冷机启动试验，加足冷却液及润滑油的发动机（含变速器）、充足电的电池和燃料一起置入规定的低温环境，至少静置8 h。待润滑油温度及冷却液温达到规定的环境温度±1℃时，即可开始低温冷机启动试验。

注：对气道喷射甲醇增程器，允许使用汽油进行冷机辅助启动。

暖机启动试验前：在40 %～80 %额定转速下运转，待冷却液温度达到88℃±5℃后，怠速10 s，停机120 min，环境温度不限，即可开始暖机启动。

热机启动试验前：在40 %～80 %额定转速下运转，待冷却液温度达到88℃±5℃后，怠速10 s，停机10 min，环境温度不限，即可开始热机启动。

试验方法

在相应试验条件下，各状态分别进行低温冷机、暖机及热机启动试验，其程序如下：

a) 按制造厂使用说明书的规定程序进行设置和操作，增程器发电机通电拖动发动机，气缸内点火，转速升高，尽早断电，通电时间不应超过20 s，发动机能自动运转10 s以上不熄火，则认为启动成功，在拖动及运转过程期间不应操控发动机；

b) 若启动失败，则按制造厂使用说明书的规定程序再次进行设置和操作，在3 min内继续进行下一次启动；低温启动时需等待润滑油达到规定的温度，方可进行下一次启动，若连续3次启动失败，则终止该试验。

测量项目及数据整理

* + - 1. 测量项目

启动前应记录，冷却液及各种润滑油的温度、启动成功的拖动时间、环境温度、甲醇发动机进气温度、进气压力和进气湿度，发电机和电池拖动时的电压、拖动及自行运转的增程器转速、启动电流、进气管绝对压力等与时间的关系曲线，采样频率为10 Hz。记录启动失败次数，汽油牌号（如使用汽油进行启动）。

* + - 1. 数据整理

增程器启动性评分及数据处理如下：

1. 分数与评语的对应关系见表6；

表6 分数与评语的对应关系

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分数 | 评语 | 分数 | 评语 |
| 9 | 优秀 | 4 | 不合格 |
| 8 | 较优秀 | 3 | 不太可靠 |
| 7 | 好 | 2 | 不可靠 |
| 6 | 较好 | 1 | 很不可靠 |
| 5 | 合格 | / | / |

1. 按启动质量（即启动成功的拖动时间）评分见表7；

表7 拖动时间与分数的关系

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 拖动时间  s | 低温启动评分  （环境温度-30 ℃） | 暖机/热机启动评分  （环境温度不限） |
| 0～1 | 9 | 9 |
| 2 | 9 | 7 |
| 3 | 8 | 5 |
| 4 | 7 | 3 |
| 5 | 6 | 2 |
| 6 | 5 | 2 |
| 7 | 4 | 2 |
| 8～9 | 3 | 2 |
| 10～20 | 2 | 2 |
| 20以上 | 1 | 1 |

1. 一次启动失败扣2分，两次启动失败扣5分，三次启动失败判定为1分；
2. 增程器启动性总分等于启动成功得分减去启动失败的扣分数；
3. 按表8填写启动试验结果；按图2绘制启动特性曲线。

表8 启动试验结果表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 启动试验种类 | 评语 | 拖动转速  r/min | 拖动时间  s | 增程器发电机工作电压  V | 环境温度  ℃ |
| 低温冷启动 |  |  |  |  |  |
| 暖机启动 |  |  |  |  |  |
| 热机启动 |  |  |  |  |  |

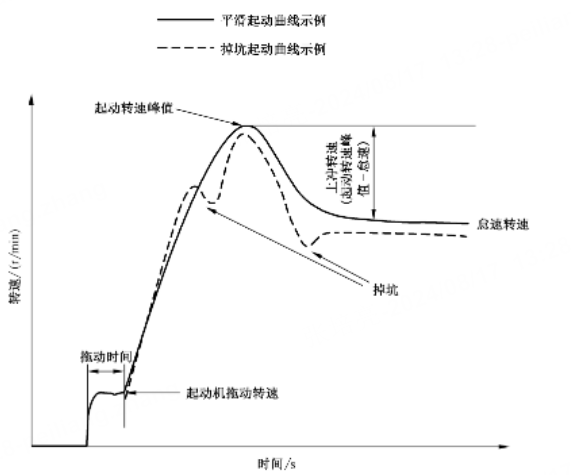


图2 启动特性曲线示意图

* 1. 增程器停机特性试验

甲醇增程器的停机时间应符合产品技术文件规定。

甲醇增程器停机的过程中，内燃机不应出现反转现象。

* 1. 增程器动态响应试验

目的

验证增程器在各稳态工作点之间切换的动态相应特性。

试验条件

甲醇发动机所带附件按第6章的规定。

试验方法

* + - 1. 测量工作点的选择如下：

1. 产品制造厂要求的增程器工作点；
2. 发动机额定转速点；
3. 最低稳态工作点。
   * + 1. 增程器预热，甲醇发动机冷却液温度达到100℃，润滑油温度达到110℃，或满足制造厂要求的适宜温度。
       2. 工况切换时保证节气门体开度为100 %或者0,测试工况见图3。

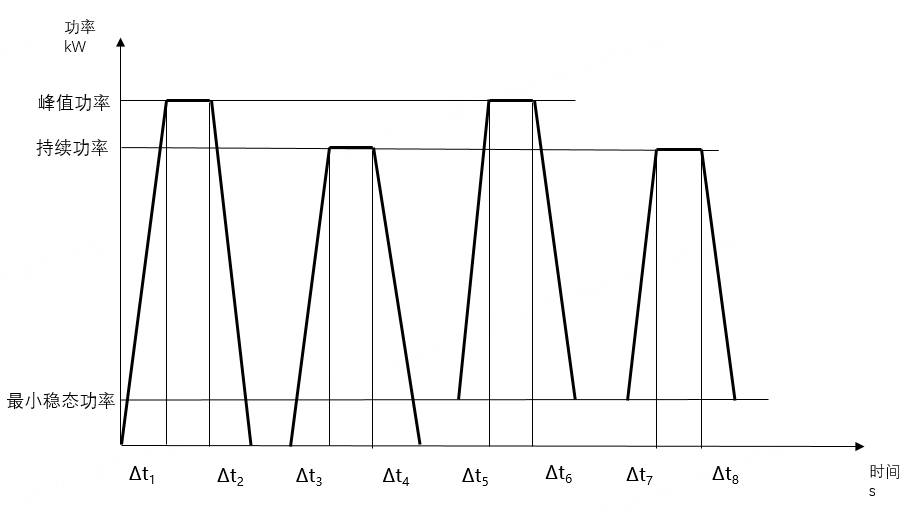


图3 测试工况

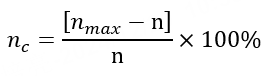
测量项目及数据处理

* + - 1. 测量项目

按照8.5.3要求进行动态响应特性测试，在测试过程中，分别读取、记录直流电压、电流、直流功率；三相交流电压、电流、交流功率；增程器转速、扭矩、轴功率；冷却介质温度、流量；增程器发电机绕组温度等数据与时间的曲线，采集频率为10 Hz。

* + - 1. 数据整理

试验完成后整理各个工况下的响应时间，并对转速超调量按公式（4）进行计算。按表9填写试验结果。

…………………………（4）

式中：

nc——转速超调量；

nmax——过渡过程的最大转速，单位为转每分（r/min）；

n——该工况稳定状态下发动机转速，单位为转每分（r/min）。

表9 动态相应特性试验结果表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测试工况 | 过渡时间 | 超调量 |
| 最低稳态工作点-峰值功率点 |  |  |
| 峰值功率点-最低稳态工作点 |  |  |
| 最低稳态工作点-持续功率点 |  |  |
| 持续功率点-最低稳态工作点 |  |  |
| 最小稳态功率点-持续功率点 |  |  |
| 持续功率点-最小稳态功率点 |  |  |
| 最小稳态功率点-峰值功率点 |  |  |
| 峰值功率点-最小稳态功率点 |  |  |

* 1. 环境适应性试验

目的

验证甲醇增程器在不同温度、气压下的工作情况，以满足在不同的环境下，甲醇增程器均能正常工作。

试验条件

甲醇发动机所带附件按第6章的规定。

试验方法

甲醇增程器环境适应性试验一般跟随整车级高温试验、高原试验以及高寒试验一同进行。

甲醇增程器发电机环境适应性试验方法按GB/T 18488-2024中6.5。

* 1. 电气安全性试验

目的

检测甲醇增程器高压系统的安全特性。

试验条件

甲醇增程器所带附件按第6章的规定。

试验方法

* + - 1. 过温保护

8.7.3.1.1 将甲醇增程器安装到测试台架上，将直流母线电压设定在甲醇增程器生产厂要求的额定电压，按生产厂要求设定冷却条件，分别触发发电机和电机控制器过温保护。

8.7.3.1.2 按照产品技术文件规定，将发电机和电机控制器的系统工作温度降低，使系统恢复输出能力。

8.7.3.1.3 观测并记录发电机及控制器系统故障信息、故障保护措施、故障恢复机制。

* + - 1. 系统通信中断故障保护试验

8.7.3.2.1 试验时，将被测甲醇增程器系統安装在测试台架上，将直流母线电压设定在额定电压处，按照甲醇增程器产品技术文件规定设定冷却条件，控制甲醇增程器工作于持续转矩、持续功率条件下。

8.7.3.2.2 通过断开甲醇增程器系统通信连接，触发驱动电机系统通信中断故障。

8.7.3.2.3 按规定恢复甲醇增程器系统通信连接，使系统恢复输出能力。

8.7.3.2.4 观测并记录甲醇增程器系统故障信息，故障保护措施、故障恢复机制。

* 1. 密封性试验

试验条件

* + - 1. 对于分体式甲醇增程器系统，发动机、发电机以及发电机控制器的冷却回路应分开后单独测量。
      2. 试验前，不应对被测试零件表面涂覆可以防止渗漏的涂层，可进行无密封作用的化学防腐处理。
      3. 试验时，试验介质的温度应和试验环境的温度保持一致并稳定。
      4. 试验使用的介质可以是气体或者液体，气体介质宜选用干燥、干净且不含油分的压缩空气等非有害气体，液体介质宜选用含防锈剂的水、煤油或黏度不高于水的非腐蚀性液体。

试验方法

* + - 1. 对使用气体介质试验时，需将回路中液体吹出并烘干，堵住被试样品的冷却回路的一端，但不能产生影响密封性能的变形，向回路中充入不低于200 kPa的冷却介质，升压时间不大于15 s，保压（平衡）时间不少于 1min，与气源断开后，1 min内压力下降不应大于300 Pa，或参照甲醇增程器产品技术文件要求的压力及时间。
      2. 使用液体介质的实验室，需将冷却系统内的空气排净，试验方法参照甲醇增程器产品技术文件执行。

测量项目及数据整理

* + - 1. 测量项目

试验过程中需检测试验压力、升压时间、保压时间以及压力下降量等参数随时间的变化。

* + - 1. 数据整理

对试验中的参数进行记录并整理至表10。

表10 系统密封性试验

|  |  |
| --- | --- |
| 试验参数 | 试验数据 |
| 测试压力（kPa） |  |
| 升压时间（s） |  |
| 保压时间（s） |  |
| 压力下降量（Pa） |  |

* 1. 绝缘测试

甲醇增程器的发电机及控制器绝缘性能应符合GB/T 18488-2024中有关规定；

甲醇增程器中其他导电零部件如点火线圈等的绝缘性能应符合QC/T 413中有关规定。

* 1. 耐高压测试

目的

评定甲醇增程器‌发电机的绝缘性能和安全性能，确保发电机在高压条件下能够安全、稳定地运行。

试验条件

试验前应做好必要的安全防护措施，并测量甲醇增程器发电机绕组的绝缘电阻，除非另有规定，试验应在静止状态下进行测试。

试验方法

甲醇增程器发电机耐电压试验按GB/T 18488-2024中6.2.5执行，并记录相关数据。

* 1. 温升及其限值测试

目的

验证甲醇增程器各部分的温度是否超过零件的允许工作温度，并测量热态绝缘电阻，评估增程器在热态下的负荷能力和过载能力。

试验条件

甲醇增程器所带附件按第6章的规定。发动机及发电机冷却介质入口温度、流量应符合甲醇增程器制造厂产品技术文件规定。

试验方法

* + - 1. 连续工作特性下的温升试验

使甲醇增程器工作在额定电压下，并在甲醇增程器制造厂产品技术文件规定的持续功率或扭矩点稳定运行；当甲醇发动机冷却液温度以及发电机绕组温度在1 h内变化均不超过2℃时认为增程器已达到热平衡状态，试验可以停止。

温升试验完成后停机，保持甲醇增程器处于热态下进行绝缘电阻检测，要求热态绝缘电阻应满足甲醇增程器制造厂产品技术文件规定。

* + - 1. 峰值工作特性下的温升试验

使甲醇增程器工作在额定电压下，并在甲醇增程器制造厂产品技术文件规定的峰值功率点及峰值扭矩点稳定运行1 min，或根据甲醇增程器制造厂产品技术文件规定确定运行时间。

温升试验完成后停机，保持甲醇增程器处于热态下进行绝缘电阻检测，要求热态绝缘电阻应满足甲醇增程器制造厂产品技术文件规定。

测量项目及数据整理

* + - 1. 测量项目

温升试验中，发电机绕组温度上升后功率出现下降，需实时进行补偿。试验过程中记录增程器转速、转矩、轴功率；直流电压、电流、功率；交流电压、电流、功率；发电机及发动机冷却介质出口、入口温度、流量；发动机冷却液温度、发电机绕组温度；运行时间；发电机效率、发电机控制器效率、发电机系统效率、发动机甲醇消耗量等数据。

* + - 1. 数据整理

试验完成后，对试验过程中冷却液温度进行整理，要求甲醇发动机冷却液温度及发电机绕组温度均不能超过相应阈值，对试验中的参数进行记录并整理至表11、表12。

表11 连续工作特性下的温升试验

|  |  |
| --- | --- |
| 参数名称 | 试验数据 |
| 甲醇增程器持续输出功率（kW） |  |
| 甲醇增程器持续输出扭矩（N·m） |  |
| 甲醇增程器额定电压（V） |  |
| 甲醇发动机冷却液入口温度（℃） |  |
| 发电机冷却液入口温度（℃） |  |
| 甲醇发动机冷却液入口流量（L/min） |  |
| 发电机冷却液入口流量（L/min） |  |
| 甲醇发动机热平衡水温（℃） |  |
| 发电机热平衡绕组温度（℃） |  |
| 发电机热平衡水温（℃） |  |
| 热态绝缘电阻（Ω） |  |

表12 峰值工作特性下的温升试验

|  |  |
| --- | --- |
| 参数名称 | 试验数据 |
| 甲醇增程器峰值输出功率（kW） |  |
| 甲醇增程器峰值输出扭矩（N·m） |  |
| 甲醇增程器额定电压（V） |  |
| 甲醇发动机冷却液入口温度（℃） |  |
| 发电机冷却液入口温度（℃） |  |
| 甲醇发动机冷却液入口流量（L/min） |  |
| 发电机冷却液入口流量（L/min） |  |
| 甲醇发动机热平衡水温（℃） |  |
| 发电机热平衡绕组温度（℃） |  |
| 发电机热平衡水温（℃） |  |
| 热态绝缘电阻（Ω） |  |

* 1. 电磁兼容

目的

确保甲醇增程器能够在电磁环境中正常工作，同时避免对其他设备造成干扰，并具备一定的抗干扰能力。

试验条件

甲醇增程器所带附件按第6章的规定。甲醇增程器应保持出厂状态，不可加装非设计状态的电磁屏蔽措施。

试验方法

* + - 1. 电磁辐射发射试验

8.12.3.1.1 电磁辐射发射试验测试布置和试验方法按照GB/T 18655-2018中I.4“零部件/模块的辐射发射-ALSE法”进行窄带电磁辐射样品状态为高压和低压正常供电，甲醇增程系统处于非工作状态，系统无输出功率。

8.12.3.1.2 宽带电磁辐射发射样品状态为甲醇增程系统发电及启动状态，发电时转速为额定转速的50 %，扭矩为持续扭矩的50 %，调整负载达到持续功率的25 %，当转速或者扭矩达不到试验状态时，可调整转速或者扭矩以达到持续功率的25 %,并在试验报告中注明。

* + - 1. 电磁辐射抗扰度试验

8.12.3.2.1 大电流注入法测试布置及试验方法按照GB/T 33014.4的相关要求进行；

8.12.3.2.2 电波暗室法测试布置及试验方法按照GB/T 33014.2的相关要求进行；

8.12.3.2.3 样品状态为增程器分别处于发电机及启动状态，发电时转速为额定转速的50 %，扭矩为持续扭矩的50 %，调整负载达到持续功率的25 %，当转速或者扭矩达不到试验状态时，可调整转速或者扭矩以达到持续功率的25 %,并在试验报告中注明。

* + - 1. 电源线瞬态传导抗扰度

8.12.3.3.1 电源线瞬态传导抗扰度试验按照GB/T 21437.2规定的试验方法进行。

8.12.3.3.2 样品状态甲醇增程器处于启动状态，高压和低压均正常供电，但发电机处于待机状态，系统无输出功率。

1. 耐久试验
   1. 增程器混合负荷台架试验

目的

验证甲醇增程器各组成部分工作的协调性，稳定性以及可靠性；检查是否存在薄弱环节。

试验条件

甲醇增程器所带附件按第6章的规定。

试验方法

甲醇增程器各工况点从低转速到高转速，低负荷至大负荷依次运行，各工况点运行时间均分（或根据甲醇增程器使用条件分配），具体试验工况见表13。

表13 试验工况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 增程器转速  r/min | 发电功率  kW | 测量时间  s |
| 1 | 增程器转速1 | 发电机工况1 | T1 |
| 2 | 增程器转速2 | 发电机工况2 | T2 |
| …… | …… | …… | …… |
| N | 增程器转速N | 发电机工况N | TN |
| 注：单次循环时间T=T1+T2+……TN | | | |

测量项目及数据整理

* + - 1. 测量项目

试验过程中需记录发动机性能相关参数、电机性能相关参数、电池模拟器相关参数，增程器性能参数。

* + - 1. 数据整理

整理分析各循环试验数据，绘制主要试验参数过程曲线图。并对试验阶段所有时间相关故障或问题进行整理。

* 1. 甲醇增程器启停耐久台架试验

目的

考核甲醇发动机及发电机连接部位的强度和磨损程度。

试验条件

甲醇增程器所带附件按第6章的规定。

试验方法

启停试验次数依据甲醇增程器制造厂产品技术文件规定，发动机出水温度达到30℃以上为热机启动，30℃以下为冷机启动。

注1：气道喷射式甲醇增程器冷机启动时（-30℃以下）可采用汽油辅助启动。

注2： 甲醇增程器启停试验每进行4 h后应在额定工况点运行，用于清除积碳。

每次启动时间为1 s，过渡时间为2 s，启动成功后运行6 s停机，即可进行下一次启动。

注：启停失败也算一次启停试验的次数。

测量项目及数据整理

* + - 1. 测量项目

试验过程中主要记录启停次数、失败次数、环境温度、润滑油温度、润滑油压力、排气温度、排气压力，曲轴箱压力、甲醇发动机进水温度、出水温度、发电机进水温度、出水温度等参数。

* + - 1. 数据整理

启停耐久性试验结束后，对甲醇增程器进行拆解，检查甲醇发动机与发电机连接件的磨损情况，表14为以花键轴和花键轴套连接方式进行评价。

表14 试验后考核及评定项目表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | 评价标准 | 评定结果 |
| 1 | 飞轮花键轴套与电机花键轴 | 无磨损、无变形、无偏差、无卡滞 | 优良 |
| 2 | 表面轻微磨损、无偏磨，无卡滞 | 通过 |
| 3 | 严重磨损、变形、卡滞 | 不通过 |
| 4 | 飞轮与电机 | 干涉、裂纹 | 不通过 |
| 5 | 飞轮花键轴套 | 断裂 | 不通过 |

* 1. 快速响应耐久台架试验

目的

考核甲醇增程器的快速相应能力，并对甲醇发动机及发电机连接部位的强度以及其他机械零件的强度进行考核。

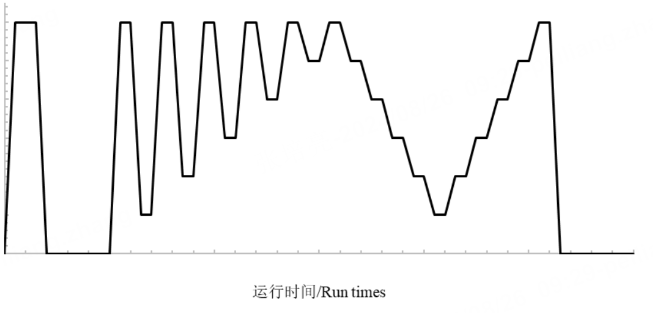
试验条件

甲醇增程器所带附件按第6章的规定。

试验方法

快速响应耐久工况可参考图4及表15工况。试验开始前应进行热机。

发电功率/kW



运行时间/s

图4 响应试验参考工况

表15 快速相应耐久试验工况表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 工况  kW | 运行时间  s | 备注 |
| 0～持续功率 | T1 | 含启动工况 |
| 持续功率点 | ∆t |  |
| 持续功率～0 | T2 |  |
| 0 | ∆t |  |
| 0～持续功率 | T3 |  |
| 持续功率点 | ∆t |  |
| 持续功率～10 %持续功率 | T4 |  |
| 10 %持续功率点 | ∆t |  |
| 10 %持续功率～持续功率 | T5 |  |
| 持续功率点 | ∆t |  |
| 持续功率～20 %持续功率 | T4 |  |
| 20 %持续功率点 | ∆t |  |
| 20 %持续功率～持续功率 | T5 |  |
| 持续功率点 | ∆t |  |
| …… | …… |  |
| 持续功率～90 %持续功率 | Ta |  |
| 90 %持续功率点 | ∆t |  |
| 90 %持续功率～持续功率 | Tb |  |
| 持续功率点 | ∆t |  |
| 持续功率～90 %持续功率 | Tc |  |
| 90 %持续功率点 | ∆t |  |
| 90 %持续功率～80 %持续功率 | Td |  |
| 80 %持续功率点 | ∆t |  |
| …… | …… |  |
| 10 %持续功率～0 | Te |  |

表15 快速相应耐久试验工况表（续）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 工况  kW | 运行时间  s | 备注 |
| 0 | ∆t |  |
| 0～10%持续功率 | Tf |  |
| 10 %持续功率点 | ∆t |  |
| 10 %持续功率～20 %持续功率 | Tg |  |
| 20 %持续功率点 | ∆t |  |
| …… | …… |  |
| 90 %持续功率～持续功率 | Th |  |
| 持续功率点 | ∆t |  |
| 持续功率～0 | Tj |  |
| 0 | ∆t | 停机 |
| 注：T1～T5、Ta～Tj -变工况响应时间，∆t-变工况后稳定时间，可按实际工况进行调整。 | | |

测量项目及数据整理

* + - 1. 测量项目

记录试验过程中所有的异常事件，并对循环次数，起止事件，环境温度，润滑油温度，润滑油压力，排气温度，曲轴箱压力，发动机进水温度、出水温度，发电机进水温度、出水温度，发动机进水压力、出水压力，发电机进水压力、出水压力，中冷前温度，中冷后温度，中冷器前压力，中冷器后压力，发电机输出电压、输出电流，发电机定子温度等参数。

* + - 1. 数据整理

整理分析各循环试验数据，绘制主要试验参数过程曲线图。并对试验阶段所有时间相关故障或问题进行整理。

* 1. 耐久试验评定

运行时间

依据甲醇增程器实际运行持续时间（s），运行过程中所更换的零部件及其时间（h），按如下进行评定：

1. 在没有重大结构损坏的前提下，允许更换少量的零部件，增程器需完成耐久试验后才可进行评定。试验中更换的零部件未达到设计寿命，则该零部件可靠性不合格。
2. 增程器不应向内、向外漏油或漏水；

增程器可靠性试验故障用首次故障时间、故障停机次数及故障平均间隔时间[即运行持续时间（h）与故障次数之比]来评定。

性能稳定

* + - 1. 比较性能初试（7.3）及性能复试（7.6）性能曲线及主要参数。
      2. 运行过程中校正最大输出功率下降量不应超过初始值的5 %。
      3. 额定转速、全负荷时润滑油/燃油消耗比不应超过0.2 %。
      4. 绘制可靠性试验过程中记录的各项参数与持续运行时间的关系曲线，分析可靠性试验性能变化趋势。

零部件的损坏

记录故障停机，紧固件松动，密封失效，橡胶老化，堵塞，变形，裂纹，断裂等故障发生的时间及维护作业情况，提供损坏部位、裂纹、断口等印迹等照片。

1. 试验报告

试验报告至少应包括下列内容：

1. 前言：说明试验任务的来源；
2. 目的；
3. 试验对象：试验甲醇增程器技术参数按制造商的技术参数进行填写；
4. 试验设备及仪表：应写明主要设备及仪表名称、厂家、型号、精度、标定日期及测量部位；
5. 试验条件、试验增程器所带附件及各系统的调整和试验程序；注明依据的试验标准及其编号，与标准不同之处，应加以说明；
6. 试验结果：对原始试验数据加以处理，尽可能用曲线表示，重要数据可以列表；
7. 结论：根据试验结果和评定方法，对增程器的可靠性做出通过或者不通过的结论；通过条件；
8. 满足9.4要求且与增程器的安全、法规、环保等相关的零部件没有出现破坏现象则判定为通过；
9. 试验日期。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_