

零部件整体耐热疲劳自动试验装备

广西玉柴机器股份有限公司

成果主要创造人：梁清延 王春风

成果参与创造人：刘先黎 陈堂标 李文杰 易致达 林海强 何春华

一、创新事由（背景）

1、背景技术

气缸体、气缸盖、排气管等是发动机的主要零部件，其耐热疲劳性能的好坏直接影响发动机的整体品质。发动机的零部件一旦进行材料变更或结构更改都必须进行模拟工况的可靠性试验。气缸体、气缸盖、排气管等零部件需要在高温下工作，因此，对于这些零部件的材料变更或结构改进，均需要进行耐热疲劳试验。目前对发动机气缸体、气缸盖、排气管等零部件的耐热疲劳试验有如下方式。

第一种是在发动机台架试验机上做可靠性试验，这种方式需要针对每种结构或材料的零部件装配到一台发动机上，然后连接到台架试验机上进行可靠性试验。针对每种结构或材料的零部件装配一台发动机，试验成本很高，一般四缸发动机仅试验油耗成本要 10 万以上，六缸发动机要 20 万元以上；并且一次试验只能对一个零部件进行试验，正常情况下每次试验需要耗时 500 小时，对不同结构或材料的同一种零部件全部做一次试验，周期很长，效率很低；不能同时对同一种零部件的不同结构或材料进行试验，无法保证试验条件相同，且无法进行直接对比，这样的试验误差较大。

第二种是在将零部件的局部取薄片后加工为结构相同的标准试样，或将与该零部件材质相同的试块加工成结构相同的标准试样，将标准试样在小型加热装置（加热温度在 200℃ 以下）内加热到设定温度后，再用水或空气的方式冷却停留一段时间，如此反复做冷热冲击疲劳试验，根据热疲劳裂纹萌生的早晚和扩展速率做出判定。

金属材料、零构件在循环应力或循环应变作用下，在一处或几处逐渐产生局部永久性累积损伤，经一定循环次数后发生部分或完全断裂，断裂包括裂纹的萌生与扩展的过程。

由于这种方式中的小型加热装置的最高温度在 200℃ 以下，而气缸体、气缸盖、排气管的工作温度在 500℃ 以上，因此无法模拟这些零部件在实际工况下的零部件的热疲劳情况；这种方式无法反应同一种材料的不同结构的零部件的热疲劳性能，因此试验结果准确度欠佳；试验时需要专人在现场操作，每隔数分钟一个冷热循环，每次均需要操作人员从加热装置取出样件并放入水中冷却，然后再放回加热装置内，工作强度高，且效率低。

另外，还有一种气缸盖的热疲劳试验机，根据气缸盖上的温度场分布情况在相应位置钻出若干个通孔，用于安装热电偶，在 PLC 系统上设置各个部位的加热温度和冷却时间等参数，然后通过线圈对缸盖底面的燃烧室区域进行循环式的加热和空冷以评判裂纹萌生和扩展情况。这种方式只能对气缸盖做试验，通用性差；每次仅能试验一缸，为避免对临近缸造成影响，只能对不相邻的两个缸进行试验，如六缸的气缸盖只能对第二和第五缸进行试验，无法确定未做试验的那些缸是否存在薄弱位置；不同的气缸盖的温度场分布不同，需要准备专用的线圈，且热电偶仅能一次性使用，试验成本高；每次仅能试验一个气缸盖，不能同时对采用不同结构或不同材料的气缸盖方案进行试验，无法保证它们的试验条件完全相同，且无法直接对比，对评判各方案的优劣有一定影响。

二、解决方案

为了降低台架试验成本、提高试验效率和对比的直观性、客观性和准确性，部门成立了项目组旨在以最小的投入做出最适合的零部件整体耐热疲劳自动试验装备。

1.项目目标

在不影响台车炉热处理功能的前提下改造设备实现自动循环试验零部件耐热疲劳性能的功能。

2.基础条件

1) 硬件基础：制造技术部试制中心有一台做热处理用的台车式电阻炉，最高温度可达到 1100℃。由于任务不饱满，该设备没有得到充分的应用，经过评估，设备的温度范围已经能满足最高温度需要的排气管的耐热疲劳试验的要求，且通过设备改造可以节约项目的资本投入。

2) 技术基础：公司有多位大师级的电气专家和机械专家，曾设计改造过多台设备。组织专家讨论后在台车电阻炉基础上进行改造增加自动循环试验的功能可以达到项目要求。

三、项目实施过程

(一) 方案确定

2012 年 3 月项目组经过多轮沟通，确定试验方案如下：

1.在台车电阻炉与水箱的上方，增加一套龙门式机械小车(也可叫机械手)。负责完成工件的提起、输送、放下等动作。同时，在不进行耐热疲劳试验的时候不会占用台车炉热处理作业的装卸零件空间。

2.采用数控系统控制，实现全自动操作。通过 PLC 控制吊钩行程和运动轨迹可以达到装料后的自动吊运、脱钩等要求，无需人力操作。

(二) 图纸设计

2012 年 9 月完成了全部图纸设计和评审工作，将各零部件图纸下发的加工厂进行制作加工。

(三) 配件制造及采购

2013 年 6 月完成了所有零部件的制作、精度检验和外购件的采购工作。

(四) 安装调试

2013 年 7 月进行安装调试阶段，历时 3 个月完成。

(五) 投入使用

2013 年 11 月正式投入使用，至今已完成气缸盖材质更改耐热疲劳对比试验、排气管材质开发耐热疲劳对比试验、气缸盖进排气道结构更改耐热疲劳对比试验等十几项任务。

四、实施效果

1.详细技术内容

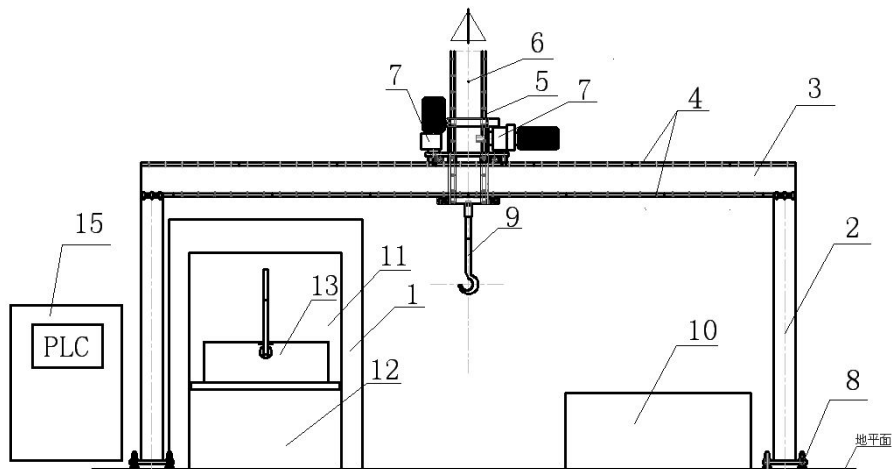


图 1 零部件整体耐热疲劳自动试验装备总图

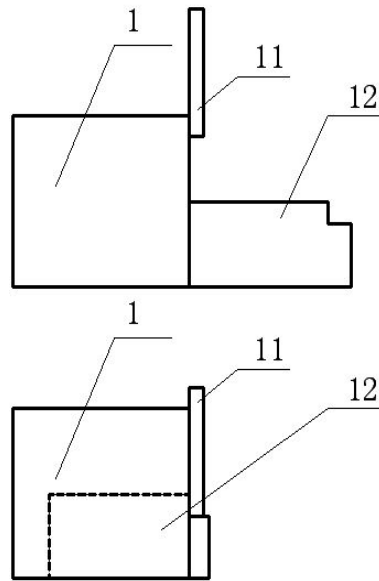


图2 加热炉侧视图

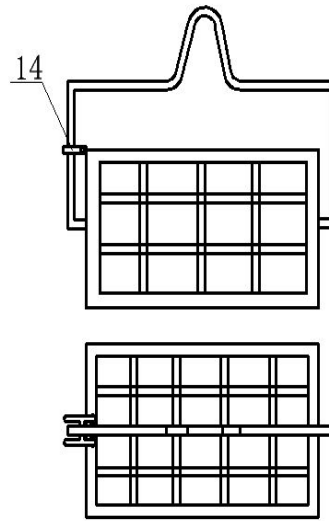


图3 工装篮主视图及俯视图

附图说明：1-加热炉；2-立柱；3-大梁；4-上下导轨；5-低噪音滚动直线导轨；6-滑枕；7-斜齿轮减速机；8-调整机构（2×4套）；9-吊钩；10-水箱；11-加热炉炉门；12-加热炉的台车；13-工装蓝；14-工装蓝卡扣；15-PLC控制系统。

实施方案的具体实施方式：

如图 1-3 所示为本设备的示意图，包括加热炉 1（加热温度范围 200-1100℃）、自动吊运装备（由立柱 2、大梁 3、上下导轨 4、低噪音滚动直线导轨 5、滑枕 6、斜齿轮减速机 7、调整机构 8、吊钩 9 组成）、水箱 10（内部有循环水系统可加速水温冷却，试验过程中水温保持在 70℃ 以下，可据此设计水箱的大小，一般在 2m×3m×2m，根据现场要求可露出地面一定高度，剩余部分沉到地下沉坑中）、工装蓝 13、PLC 控制系统 15 组成。首先在 PLC 控制系统 15 上根据试验要求设定加热炉 1 内的温度控制值及根据经验设定零件在炉温达到设定值后零件达到目标温度所需保温的时间值，还可以设定各个环节的停留值，如：在水中冷却停留时间值等各项参数，还可选择试验模式，分为两种，其一为设定试验循环次数，然后在相同试验条件下可对比出几种试验状态的零部件产生裂纹和变形的大小、多少和程度；其二为设定手动模式，在若干循环后当零部件在水箱 10 中冷却后自动放置到加热炉的台车 12 上时，人工暂停设备运行，查看每个零部件的裂纹情况，查看完毕设备开启后继续下一个循环；以上参数或模式设定好后即可将所需试验的零部件人工吊运到工装蓝 13 内，工装蓝 13 放置在加热炉的台车 12 的固定位置上，放置零部件时，工装蓝 13 上的卡扣 14 抬起，栏杆可放在一侧以方便吊运零部件，零部件放置好后人工将工装蓝 13 的栏杆竖起并用卡扣 14 卡住，加热炉的台车 12 进入到炉内后炉门 11 闭合，加热炉 1 开始加热，当炉腔达到预定温度值（可按零部件工况设置如 500℃，也可按加速热疲劳设置更高温度如 800℃）并按设定时间（一般 10min）保温结束后加热炉炉门 11 自动开启，加热炉台车 12 自动运行出来直到目标位置后，通过大梁 3 上的编码器控制滑枕 6 按既定程序运行实现吊钩 9 自动吊起工装蓝 13 的行程，然后吊钩 9 将工装蓝 13 浸入到水箱 10 中，水箱 10 内有循环水泵工作，把水箱 10 内的水从深处抽上来，推动水池的水进行上下循环流动，通过循环流动，把工件的热量带走，直至水箱内上下层水温一样，此时工件的温度也迅速降下来，这个过程时间控制在设定范围，达到预定的冷却时间值后吊钩 9 通过滑枕 6 上升，将工装蓝 13 放置到加热炉台车 12 的固定位置上，吊钩 9 通过滑枕 6 的行程实现自动脱钩，加热炉台车 12 感应后自动退到加热炉 1 内，加热炉炉门 11 关闭，第二个循环开始。

2.使用效果

零部件整体耐热疲劳自动试验装备投入使用后一年时间共完成 14 项任务，使用过程中除第一次上料需人工放入工装篮外其余循环动作均由设备自动执行，且运行稳定，噪音在 70 dB 以内。除试验开始的从冷炉到第一次升温速度

较慢外，后续每个循环用时约。试验过程中观察裂纹方便，能确保在同一试验条件下有效的对比出最佳方案。

3.项目收益

1) 项目投入

项目实施过程共花费配件制作和采购费用合计 15.3 万元。

2) 项目节约额

通过耐热疲劳试验装备完成试验任务 14 项，电费和水费消耗合计 8.6 万元。减少深冷台架试验次数 11 次（部分耐热疲劳试验装备任务是 3 个方案同时对比，对比出最好的方案后再上台架做整体的可靠性验证），每次台架试验费用仅燃油消耗按平均 15 万元（四缸 10 万元以上，六缸 20 万元以上）计算，累计节约费用为 165 万元。

3) 一年项目收益

一年总投入： $15.3+8.6$ 万元= 23.9 万元

台架燃油节约额：165 万元。

一年收益： $165-23.9=141.1$ 万元。

4.项目的意义

项目实施成功为公司增加了零部件耐热疲劳的检测手段，有效的缓解了台架资源紧张的压力，减少了各项目验证排队等台架的现象，为相应项目缩短开发时间提供了保障。同时，该技术具有以下优点：

1) 应用范围广：可进行气缸体、气缸盖、排气管等多种零部件的材质、结构的耐热疲劳性能评价；

2) 评价结果可靠：不同材质或不同结构的各种方案的同一种零部件放在同一个工装篮内，同时进行加热，同时进行水冷，在相同的试验条件下确保了对比试验的客观准确性。

3) 试验周期短、效率高：试验的理念是从各种方案中选择最优方案，因此可以进行加速热疲劳试验，在比零部件实际工况更苛刻的条件下完成试验，可很快的选出最佳方案；

4) 试验成本低：整个试验过程只消耗设备运行的电力，成本远远低于台架试验；

5) 节省工时、降低劳动强度：整个试验只在开始时需要一个人用吊钩将试验零件吊到工装篮内，其余工作均为设备自动完成，降低了劳动强度；

6) 一次多件：每次试验可装多件发动机零部件进行冷热冲击疲劳试验；

7) 评价热疲劳裂纹萌生和扩展速率：预先设置试验循环次数，循环结束后报警提示，然后专人评价不同状态（不同材质或不同结构）下的零部件的热疲劳裂纹萌生和扩展速率；

8) 模拟实际工况试验：选择在零部件工作温度下进行试验，且是整个零部件进行试验，使试验更贴近实际，更具可靠性。

9) 安全保障：设备运行过程为自动循环不用人员操作，人身安全有保障。

五、持续改进措施

现在判定裂纹的方法为从水中冷却后观察样件表面，有裂纹的地方会最后干燥
