排气管包裹层的研究分析

张兰兰，邵华，任雷光，杨辉
陕西万方汽车零部件有限公司　陕西西安　710200

摘要：为了响应国家对货车进行从国五到国六的切换，陕西万方汽车零部件有限公司选用新型保温排气管材料无机复合纤维和不锈钢材料代替玄武岩纤维与铝箔波纹管材料。其耐高温性能更好，隔热效率强，降温速率低，外表面强度更高，耐腐蚀性能好，外形美观，可以在高温条件下长期使用。其良好的性能使货车排放的有害物质在高温条件下充分发生化学反应，减少环境污染。

关键词：玄武岩纤维；铝箔波纹管；无机复合纤维材料；不锈钢；失效
DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.06.002

随着目前国家对货车等机动车执行国六排放标准的要求，在尾气后处理系统中增加了DOC（柴油催化氧化系统）、DPF（颗粒捕捉器）和SCR（选择性催化还原系统）等装置[1]。后处理技术的结合使用成为改善汽车污染物排放并满足日益严格的排放法规的重要手段。而排气温度是影响尾气热反应净化效果与后处理性能的主要因素，在一定温度范围内，排气温度越高，热反应净化效果越好[2]。

重型商用车后处理系统排气管路的保温性能对整车排放性能有着重要的影响，减小排气管路沿程热损失，提高后处理器内部反应温度和污染物转化效率，是整车实现排放性能升级的重要途径[3]。并且，排气管附近有较多的软管、线束等零件，如果长时间和排气管接触会导致线束失效，降低零部件的寿命。虽然目前保温型排气管的应用早已提上日程，而保温层材料的选取还有很大的研究空间。

本文根据公司需求，选用不同的包裹层及工艺来分析保温排气管的保温及隔热性能，选用合适的保温包裹层材料达到所需的技术要求。

以往失效类型回顾及原因分析

在长时间使用及售后反映中发现：玄武岩纤维与铝箔波纹管排气管在装车使用较短时间后会出现大量失效现象，如图1所示。排气管长时间在高温条件下作用，排气管管壁发黑，内层玄武岩材料发生卷边，未能包裹住排气管，外壁铝箔波纹管沿着波纹方向出现开裂。铝箔波纹管开口处由铆钉固定，在长时间运行和高温作用下会出现撕裂和松动现象，铆钉脱落，内层玄武岩材料会暴露在外界，颜色发黑。玄武岩材料由于具有很好的弹性，没有外层铝箔的束缚，会发生卷边，排气管管体裸露在外界，导致保温排气管出现失效。

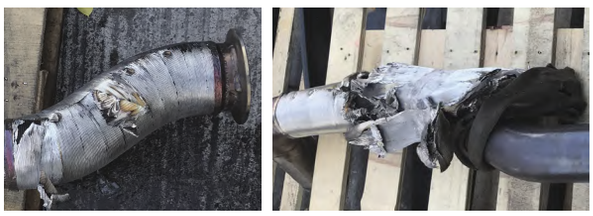

图1　玄武岩纤维与铝箔波纹管失效

为了验证车辆行驶过程中保温排气管内外部温度的变化，对保温排气管采用高温炉单点内加热。保温40min以上测对应外部点温度，所得结果见表1。

表1　不同管壁温度下保温产品表面温度（单位：℃）

序号	管壁温度	保温产品要求表面温度	实际测试保温产品表面温度
1	500	95±5	219
2	550	110±5	254
3	600	140±5	299
4	650	150±5	342

在不同温度点下进行试验保温40min后发现，实际测试保温排气管表面的温度均大于产品要求的表面温度。试验温度在500℃左右时，产品表面开始冒烟，烟雾随温度升高而增加，如图2和图3所示，而且烟雾有略微刺鼻的味道。当内部加热到650℃保温40min后，样品颜色无明显变化，保温层接缝处有黑色烟焦油渗出，如图4所示。

图2　500℃烟雾图片

图3　650℃烟雾图片

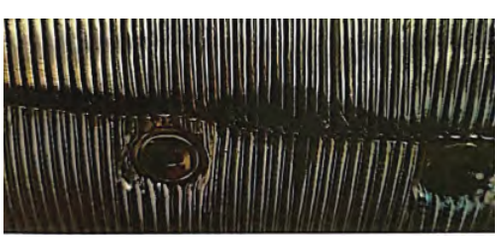

图4　试验结束后图片

而保温排气管实际使用环境更加复杂，环境更加苛刻，长时间高低温作用，行车过程中可能发生的较大振动或颠簸现象等多种原因导致保温排气管失效，排气管附近的软管及线束长时间作用在高温条件下则会发生大量失效现象。

因此，为了满足保温排气管更加严峻的工作环境，需要选择更耐高温、结构牢固、外观美观的保温材料。

排气管外包裹层的选用及研究

由于玄武岩纤维与铝箔波纹管排气管长时间使用出现大量失效现象，因此在大量试验后选取无机复合纤维与不锈钢材料作为排气管的保温材料。无机复合纤维材料具有优良的保温性、永久阻燃性及耐高温性能并且不会产生有毒气体；保温排气管外层使用不锈钢材料，相比于铝箔波纹管，不锈钢材料具有良好的耐腐蚀性，强度、韧性更强；采用焊接工艺，更加牢固，变形少，外观美观；其使用可以减少排气管在使用过程中因振动造成的铆钉松动，撕裂等导致表面失效。

1.单点加热试验

为了验证无机复合纤维与不锈钢材料组成的保温排气管的保温性能，测试车辆行驶过程中保温排气管内外部温度的变化。对保温排气管同样采用高温炉单点内加热，保温40min以上测对应外部点温度，所得结果见表2。在不同温度点下测试保温产品的表面温度，其温度均满足要求，并且在加热过程中，保温排气管未出现明显变化。

表2　不同管壁温度下保温产品表面温度（单位：℃）

序号	管壁温度	保温产品要求表面温度	实际测试保温产品表面温度
1	500	95±5	97
2	550	110±5	113
3	600	140±5	138
4	650	150±5	149

2.其他试验

为了进一步验证无机复合材料的性能，根据GB/T8624－2012《建筑材料及制品燃烧性能分级》中的试

验方法，使用电热恒温鼓风干燥箱、建筑材料不燃性试验机、箱式电阻炉等设备，对无机复合纤维材料进行燃烧等级、最高使用温度和隔热速率以及降温速率试验。

（1）燃烧性能等级　实验室环境条件：21～24℃，51%～54%，使用建筑材料不燃性试验机对无机复合纤维材料进行燃烧等级试验。图5所示为燃烧性能等级试验，材料的检测结果见表3，经过检测质量损失率、持续燃烧时间、炉内升温和总热值材料的性能等级为A级，为不燃材料。

图5　燃烧性能等级试验中样品照片

表3　材料不燃性试验检测结果

检测项目	检测结果	标准要求	检测结论	等级
质量损失率/%	5	≤50	符合	燃烧性能为A级
持续燃烧时间/s	0	=0	符合	
炉内升温	8℃	≤30℃	符合	
总热值/（×10^6J/kg）	0.6	≤2.0	符合	

（2）最高使用温度试验测试　由于规定保温层材料需在800℃下正常使用，相比于前期玄武岩保温材料的工作条件，无机复合纤维材料的工作条件更加严峻，为了证明无机复合纤维材料满足技术要求，本试验给定温度为900℃。

试验中样品层数为单层，在第463min时内部最高温度为572.2℃，试验过程中无可见的燃烧、闪火、阴燃和冒烟现象，试验后无明显裂纹、分层现象，外观无明显变化，无烧结、纤维熔融，试验后厚度变化率为4.3%（系统厚度收缩率为4.3%）。根据GB/T 17430－2015《绝热材料最高使用温度的评估方法》要求，试验温度900℃时，试验后外观无明显变化，不应有烧结、纤维熔融，系统厚度收缩率不大于5%，所测试结果均符合标准要求。

（3）隔热速率及降温速率试验　对无机复合纤维材料进行隔热效率和降温速率试验，图6所示为试验前、过程中及试验后的图片。在800℃保温1h，对其进行隔热效率检测，其结果为78%；保温1h后从800℃降至50℃，测试其降温速率为0.94℃/min，其结果均满足试验要求。

图6　隔热效率和降温速率试验前、过程中、试验后图片

无机复合纤维材料可以长时间在高温条件下使用，均未出现明显的变化，良好的保温性能和不燃性能使尾气中存在的有害物质可以充分溶解，减少有害物质的排放，符合排放要求。

结语

1）玄武岩纤维与铝箔波纹管保温排气管长期在高温条件下使用，容易出现失效现象。

2）无机复合纤维材料和不锈钢保温排气管相比于玄武岩纤维与铝箔波纹管保温排气管其耐高温性能更好，隔热效率强，降温速率低，外表面强度更高，耐腐蚀性能更好。

3）无机复合纤维材料和不锈钢保温排气管的使用，满足国五向国六的切换，尾气更加充分反应，减少环境污染。

4）对于重型货车排气系统，排气管路保温结构设计质量至关重要，无机复合纤维材料和不锈钢保温排气管的使用可以改善管路失效，提高产品质量。

参考文献：

[1] 常啸天，程晓章，朱博文，等.基于国Ⅵ柴油机SCR系统NOx转化效率影响因素研究[J].合肥工业大学学报，2022，45（2）：171-175.

[2] 赵克秦，楼狄明，张允华，等.基于玄武岩纤维包覆的汽车排气管保温特性试验研究[J].内燃机与配件，2021（13）：3-5.

[3] 张金全，李帅，李斌杰.基于无机复合材料的排气管路保温性能研究[J].汽车使用技术，2021，46（2）：115-117.