DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.04.015

依据排气歧管工作温度选择材料及其注意事项

赵新武,张　翼,张　成
(西峡县内燃机进排气管有限责任公司,河南 西峡 474500)

摘　要:如何依据排气歧管的工作温度选择材料是发动机设计人员比较关注的问题,在生产条件下,应测定球铁、硅钼蠕铁、硅钼球铁、高镍球铁、耐热钢在不同温度下的力学性能曲线。提出根据不同温度下的力学性能选择材料,但还要考虑排气歧管不仅是结构件,还是承载件,所以根据承载情况及运行状态下的工况情况,增强结构或选择高温性能更好的材料。

关键词:工作温度;材料选择;排气歧管
中图分类号:TG250　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)04-0391-03

Select the Materials According to the Working Temperature of the Exhaust Manifold and the Matters Needing Attention

ZHAO Xinwu, ZHANG Yi, ZHANG Cheng
(Xixia Intake & Exhaust Manifold Co., Ltd., Xixia 454500, China)

Abstract: How to choose the materials according to the working temperature of the exhaust manifold was a concern of the engine designers. The mechanical properties of ductile iron, silicon-molybdenum vermicular iron, silicon-molybdenum ductile iron, high-nickel ductile iron and heat-resistant steel at different temperatures should be measured under production conditions. Materials selection according to the mechanical properties at different temperatures was proposed. But also consider the exhaust manifold was not only the structure, or the bearing parts. Therefore, according to the loading conditions and operating conditions, the structure can be strengthened or materials with better high temperature performance can be selected.

Key words: working temperature; materials selection; exhaust manifold

图 1 是几种材料不同温度下力学性能的变化曲线[1]。我们应该关注发动机工作温度与热分析曲线对应的点,如图 1 所示。640 ℃时球墨铸铁的抗拉强度约为 50 MPa,就是我们研究排气歧管可靠性的基点。其它材质许用工作温度时的抗拉强度可靠性也建立在此基础上。

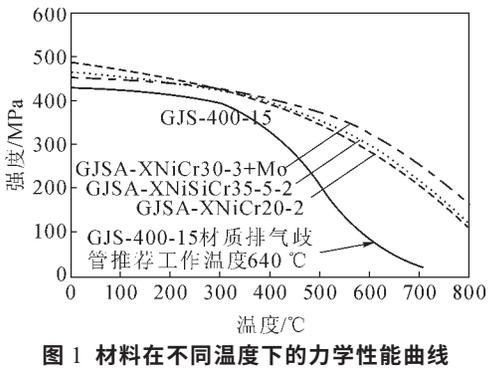

图 1 材料在不同温度下的力学性能曲线
Fig.1 Curves of mechanical properties of materials at different temperatures

图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 是我公司分别对球铁、硅钼蠕铁、硅钼球铁、高镍球铁、耐热钢在不同温度下的力学性能所做的曲线。

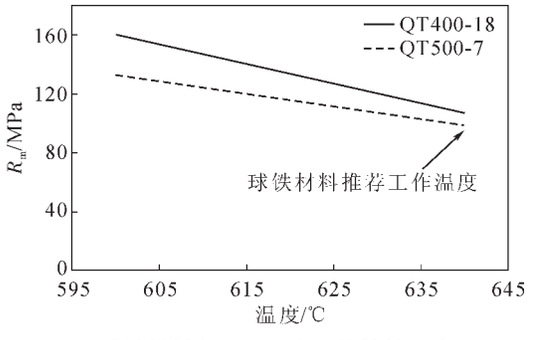

图 2 球铁材料在不同温度下的抗拉强度 R_m
Fig.2 Tensile strength of ductile iron materials at different temperatures

依据《不同材质的排气歧管失效原因》[2]《排气歧管铸铁件》[3]推荐的工作温度见表 1,《耐热钢排气歧管铸件》[4]推荐的工作温度见表 2,与以上温度曲线的对比,更进一步验证了表 1、表 2 推荐的排气歧管工作温度是适宜的。

收稿日期:2018-11-25
作者简介:赵新武(1950-),河南邓州人,高工.主要从事铸造工艺研究.

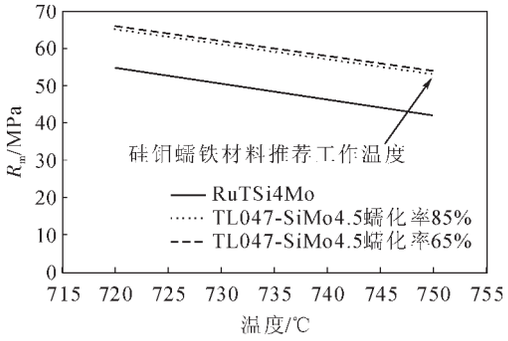

图 3 硅钼蠕铁材料在不同温度下的抗拉强度 R_m
Fig.3 Tensile strength of silicon molybdenum vermicular iron materials at different temperatures

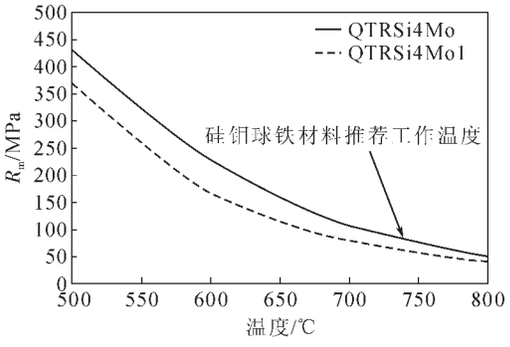

图 4 硅钼球铁材料在不同温度下的抗拉强度 R_m
Fig.4 Tensile strength of silicon molybdenum ductile iron materials at different temperatures

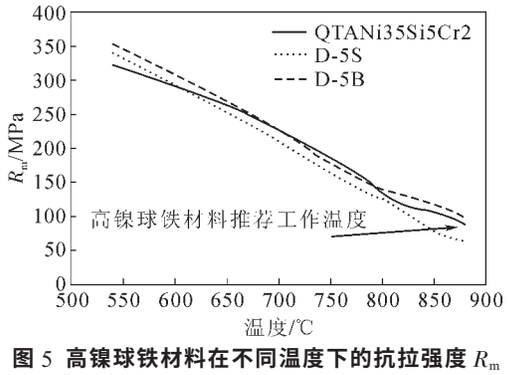

图 5 高镍球铁材料在不同温度下的抗拉强度 R_m
Fig.5 Tensile strength of high nickel ductile iron materials at different temperatures

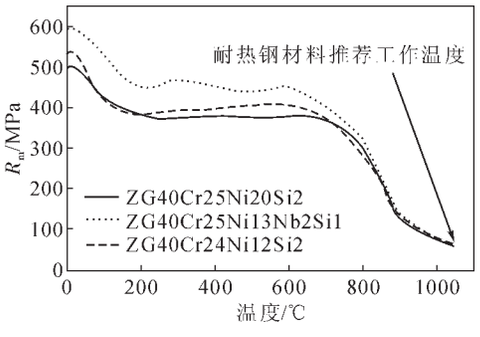

图 6 耐热钢材料在不同温度下的抗拉强度 R_m
Fig.6 Tensile strength of heat-resistant steel materials at different temperatures

1 球墨铸铁

表 1 推荐的工作温度是≤640 ℃，图 2 球墨铸铁在 640 ℃时的抗拉强度大于 100 MPa，超过了图 1GJS400-15 在 640 ℃时的 50 MPa。

表 1 排气歧管用铸铁材料的工作温度及热膨胀系数
Tab.1 Working temperature and coefficient of thermal expansion of cast iron for exhaust manifold

牌号	工作温度 /℃	保温范围 /℃	热膨胀系数 α/【μm/(m·K)】
HT200	≤500	20～400	13.0
HT250	≤500	20～400	13.0
RuT300	≤600	100～400	11～12.5
RuTSi4Mo	≤760	20～815	13.5
QT400-15	≤640	20～400	12.5
QT400-18	≤640	20～400	12.5
QT450-10	≤650	20～400	12.5
QTRSi5	≤730	20～400	12.5
QTRSi4Mo	≤730	20～400	12.5
QTRSi4Mo1	≤760	20～400	12.5
QTANi20Cr2、QTANi20Cr2Nb、QTANi22	≤880	20～200	18.4～18.7
QTANi30Cr3QTANi30Si5Cr5、QTANi35Si5Cr2	≤880	20～200	12.6～15.1

表2 耐热钢排件的最高工作温度
Tab.2 Maximum working temperature of heat-resistant steel exhaust manifold

牌号	最高工作温度 /℃
ZG40Cr22Ni10Si2	950
ZG40Cr25Ni20Si2	1 100
ZG40Ni38Cr19Si2	1 050
ZG40Cr25Ni13Nb2Si1	1 100

2 硅钼蠕铁

表 1 推荐的工作温度是≤760 ℃，RuTSi4Mo 在 750 ℃时的抗拉强度在 42 MPa。TL047-SiMo4.5 在蠕化率 85%的情况下，抗拉强度在 53 MPa，蠕化率 65%的情况下抗拉强度在 54 MPa。由于蠕墨铸铁受蠕化率的影响，高温下的力学性能在一个比较大的区间变化，特别是在冷热交变的温度下高蠕化率的排气歧管较之低蠕化率的排气歧管更容易开裂。文献[5]中有专门的论述。在冷热交变的温度下适合选择蠕化率较低的蠕墨铸铁，从实验结果看 TL047-SiMo4.5 的蠕化率都选择的比较高，如图 3。

3 硅钼球铁

表 1 推荐的工作温度，QTRSi4Mo 是≤730 ℃，QTRSi4Mo1 是≤760 ℃。在 750 ℃时抗拉强度分别是 55 MPa 和 52 MPa，如图 4。

4　高镍奥氏体球墨铸铁

表 1 推荐的工作温度≤880 ℃，图 1 的试验温度在 800℃时抗拉强度在 100～200 MPa 之间，我们做了 3 种材质在 880 ℃的强度试验，D5-S 在 65 MPa，QTANi35Si5Gr2 在 88 MPa，D5-B 在 98 MPa，如图 5。

5　耐热钢

推荐的工作温度在 950～1 100 ℃，做了3 种材质在 1 050 ℃的高温试验，ZG40Cr24Ni12Si2 在 60 MPa，ZG40Cr25Ni20Si2 在 55 MPa，ZG40Cr25Ni13Nb2Si1 在 65 MPa，如图 6。

由于受试棒冶金条件，试棒制作等条件影响，实际数据略有差异，对照图 1，球墨铸铁在 640 ℃时，以抗拉强度 50 MPa 为基点，各种材质在规定的工作温度下，抗拉强度都超过了 50 MPa，因此各种材料在推荐的工作温度下使用是安全的，这一观点也是建立在排气歧管仅只作为结构件而不是作为承重件提出的。但是实际工况条件不尽如此。排气歧管工作环境恶劣，又不能强制冷却，设计人员根据工作温度选择材料，忽略了不少构件安装在排气歧管上，使之变成了承重件。排气歧管的护罩，增压器均装载在排气歧管上，常温下没有任何问题，但是在高温下排气歧管材料的抗拉强度仅有 50 MPa 的前提下，进行热冲击试验时失效是必然的，在不同路况下，汽车超载、超速、超负荷的运行，更增加了断裂的风险。在文献[2]中有详细的阐述。因此设计人员必须引起高度的关注。

我们供货的一家发动机企业，六缸机，排气歧管分 3 节，工作温度在 650 ℃，见图 7。按照这一温度选择球墨铸铁 QT450-10 完全满足需要，实际选材 QTRSi4Mo1，跑车过程中仍有断裂现象。在中间一节排气口面上悬空安装增压器，排气歧管上安装护罩，在跑车过程中出现了漏气、开裂。在与客户沟通时，提出两个观点：①把护罩安装在排气歧管上，汽车在行驶过程中，左右拐弯，护罩与前行方向形成夹角，风吹在护罩上，护罩相当于行驶中的帆，有一个不断变换方向的力作用在排气歧管固定护罩的螺栓凸台上，产生反复的拉压应力；②悬空安装的增压器在汽车高速行驶，发动机不停的颠簸中，对排气歧管有一个快速向上、向下的震动的力，这个力形成了以增压器悬出长度为杠杆，以排气歧管与缸盖连接螺栓为支点的力矩，杠杆在力的作用下反复上下以一个扇形轨迹运动，导致 3 节排气歧管连接的密封环单边磨损，轻者漏气，重者排气歧管不规则断裂。①、②的综合作用使排气歧管失效的部位总是在热作用区，因为热作用区的温度最高，排气歧管材料在该处的强度最低。生产厂希望对排气歧管结构做适当的调整，热作用区的厚度适当加厚，增加铸造圆角，局部加筋等，但外方不同意。其实外方也在不断的改变其结构，只是没把相关信息及时通知我们。当我们发现“老外”已做了改进，企业已付出了巨额索赔。图 7 是国产件与进口件的对比分析。中隔壁厚，内道圆角，外观结构在适当部位做了许多改进，经过对比，我们才清楚原委。由于双方查清了问题的症结，经过共同努力，故障件大幅下降。

图 7　国产件与进口件对比

Fig.7　Comparison of domestic and imported parts

6　结语

依据发动机的工作温度选择材料，仅只是提供一个推荐值，这个值是基于排气歧管作为结构件，而不是承载件。当排气歧管上面安装有其它构件的时候，一定要考虑材料在承重条件下运动和颠簸的安全可靠，增强结构或选择高温强度更高的材料。当然改变结构，不增加成本，用较低的材料，通过结构优化达到目的。选择高温性能好的材料，同样要优化结构，但成本增加了。依据发动机的工作温度选择材料，表 1、表 2 提供了推荐数据。再者超出了材料许用的工作温度，材料的抗氧化性能就差，文献[6]中有专门的研究，严重氧化也是导致排气歧管开裂的原因之一。

参考文献：

[1]　郭全领，赵新武. 发动机排气歧管用铸铁材料工作温度综述[J]. 现代铸铁增刊，2011(2)：82-85.

[2]　赵新武. 不同材质的排气歧管失效原因[C]. 2017 中国铸造活动周论文集，北京：中国机械工程学会.

[3]　GB/T26653-2011，排气歧管铸铁件[S].

[4]　JB/t13044-2017，耐热钢排气歧管铸件[S].

[5]　赵新武，杨敉. 论含 50%～30%蠕虫状石墨的铸铁 [J]. 现代铸铁，2012(1)：19-24.

[6]　张鑫，李伟. 汽车排气系统用耐热材料的抗氧化性能研究[J]. 现代铸铁，2018(2)：81-86.