

某国六柴油机球铁曲轴试制研究

李伟柱¹, 黄第云²

(1. 广西玉柴机器配件制造有限公司, 广西 玉林 537005; 2. 广西玉柴机器股份有限公司, 广西 玉林 537005)

摘 要: 针对某国六柴油机球铁曲轴疲劳弯矩计算值达不到设计要求, 通过采取以下措施: 曲轴轴颈中空, 提升石墨球的球化率, 提高圆角滚压的滚压力等, 使该球铁曲轴疲劳弯矩提升了 25%。该球铁曲轴试制测试表明: 安全系数达到 1.85, 满足使用要求。该曲轴的试制成功可为柴油机减重、降低成本提供选择; 也可球铁曲轴的开拓应用提供参考。

关键词: 柴油机; 球铁曲轴; 轴颈空心; 球化率; 滚压力

中图分类号: TK423.3⁺1; TK426 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2018)05-0050-03

Trial Production of the Ductile Iron Crankshaft of a China 6 Compliant Diesel Engine

Li Weizhu¹, Huang Diyun²

(1. Guangxi Yuchai Parts Manufacturing Co., Ltd., Guangxi Yulin 537005;

2. Yuchai Machinery Co., Ltd., Guangxi Yulin 537005)

Abstract: To deal with the problem that the calculated fatigue moment of the ductile iron crankshaft in a China 6 compliant diesel engine can't reach the design requirements, measures including hollowing shaft neck, increasing the spheroidization rate of the graphite nodule, increasing the rolling pressure of round corner were used to increase the ductile iron crankshaft fatigue moment by 25%. The trial production of the ductile iron show that the safety coefficient reaches 1.85, and meets with the application requirements. The achievements could offer options for reducing the engine weight and cost, and could be the reference point for the exploitation of ductile iron crankshaft

Key words: diesel engine; ductile iron crankshaft; hollowed shaft neck; spheroidization rate; rolling pressure

0 引 言

曲轴是汽车发动机的关键部件之一, 其性能好坏直接影响汽车的性能。曲轴工作时承受大负荷和不断变化的弯矩及扭矩作用。随着球墨铸铁技术的发展, 其性能也在不断提高, 优质廉价的球铁已成为制造曲轴的重要材料之一。

随着国家对发动机排放要求的不断升级, 发动机逐渐更新换代, 发动机的最高燃烧压力和功率不断提高, 作用在曲轴上的激振力和扭转载荷也越来越大, 如此, 球铁曲轴的应用越来越窄。某国六型

号发动机曲轴设计时, 采用 40Cr 材料, 疲劳弯矩要求超过 3 000 (N·m)。现欲采用 QT900-6 材料代替 40Cr, 将发动机和曲轴参数输入“新井淳一计算方法”^[1]计算。结果表明: 在当前材料和工艺不变情况下, 疲劳弯矩只有 2 500 (N·m)。因此须要通过工艺改进, 使得该球铁曲轴疲劳弯矩提升至 3 000 (N·m)。

1 工艺改进方向

研究表明: 曲轴轴颈采用适当的空心结构后, 轴颈圆角的应力分布状况将得到改善, 最大应力降

低并移向两侧，从而提高了曲轴的弯曲承载能力。铸造曲轴与锻造曲轴相比，可使连杆轴颈中空，减轻回转质量，且可减少轴拐角处的应力集中^[2]。圆角应力测量和曲拐弯曲疲劳试验表明：采用适当的空心结构后，某发动机曲轴轴颈圆角最大应力可下降 6% ~ 15%，弯曲疲劳极限可提高 4.4% ~ 8.4%，曲轴质量可减轻 4 ~ 5 kg^[3]。

弹性模量可视为衡量材料发生弹性变形难易程度的指标，其值越大，材料发生一定弹性变形的应力也越大，即材料刚度越大，亦即在一定应力作用下，发生弹性变形越小。球铁的弹性模量与石墨球的球化率成正比关系，即石墨球的球化率越高，球铁的弹性模量越大^[3]。

滚压力也即滚轮压到曲轴圆角处的力。滚压力对曲轴疲劳强度影响很大，不同材料、工艺和热处理状态的曲轴滚压力差别很大。最佳的滚压力与曲轴本体材料强度、圆角尺寸、轴颈大小、滚轮的结构及尺寸等有关。滚压力增大，曲轴圆角处残余压应力随之增大，曲轴弯曲疲劳强度也增大；当滚压力达到某一数值时，残余压应力已趋于饱和，曲轴疲劳强度不再增大，保持在一个较为稳定的水平^[4]。

本公司生产的球铁曲轴，铸造采用铁型覆砂工艺，强化采用沉割槽圆角滚压 + 轴颈淬火工艺，材料牌号为 QT900-6，疲劳弯矩已经和 40Cr 锻钢曲轴的相当，提高空间非常有限。通过分析研究提出如下技术工艺改进方向：连杆轴颈铸造空心；通过提高球化率，提高材料的弹性模量；使用更高的圆角滚压力，达到提升球铁曲轴疲劳弯矩的目的。

2 工艺试验方案及结果

以某国六型号发动机曲轴与相似的国五柴油机球铁曲轴作为试验对象，进行试验对比分析。柴油机性能参数和曲轴参数见表 1。

表 1 柴油机性能参数及曲轴参数

曲轴型号	某国五曲轴	某国六曲轴
发动机缸径/mm	102	105
发动机最高燃烧压力/MPa	16	19
曲柄半径/mm	57.5	60
名义弯矩/(N·m)	1 430	1 750
连杆径直径/mm	69	69

2.1 工艺试验方案

(1) 轴颈空心工艺的关键点在于既要方便铸造，又不能破坏曲轴结构。空心尺寸过小，坭芯制造不紧实，容易造成曲轴烧结、粘砂；空心尺寸过

大，影响曲轴疲劳弯矩。关键参数有两个：一是轴颈空心度（空心孔直径与轴颈直径之比）；二是轴颈空心后轴颈单边厚度，见图 1。

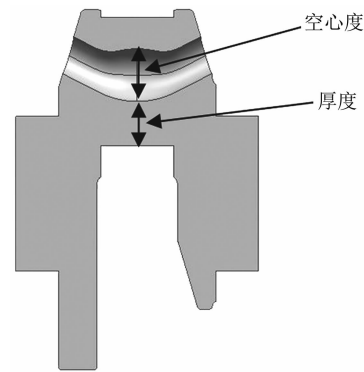


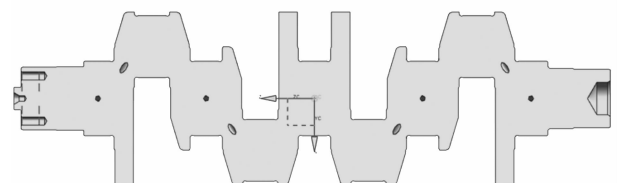
图 1 轴颈空心

轴颈空心工艺试验方案及结果见表 2。

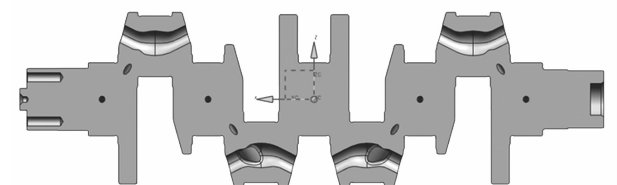
表 2 轴颈空心工艺试验方案及结果

方案	方案 1	方案 2	方案 3
空心度	0.3	0.4	0.5
厚度/mm	24	24	20
中空粘砂质量	粘砂	不粘砂	不粘砂
疲劳试验	通过	通过	不通过

经试验对比，本次试验的国六球铁曲轴空心度取 0.41，厚度为 24 mm。曲轴结构对比见图 2。



(a) 某国五球铁曲轴



(b) 某国六球铁曲轴

图 2 曲轴结构对比

(2) 球化率是在规定的视场内所有石墨球化程度的综合指标，反映该视场内所有石墨接近球状的程度。公司生产的球铁曲轴采用废钢增碳熔炼铁水冲入法球化反应处理，球化率在 80% ~ 90%。根据改进方向，球化率须要提升至 90% ~ 95%。理论上，提高球化率可以采用减少有害元素，提高镁吸收率等手段。结合公司现状，采取以下工艺：

炉料配比调整, 生铁比例下降为 10%, 提高废钢比例, 得到更纯净原铁水; 采用喂丝球化工艺进行球化处理, 球化反应更稳定。

(3) 随着球铁曲轴弹性模量的提升, 曲轴的抗压能力也得到提升, 使提高滚压力成为可能。影响滚压力提高的因素包括: 滚压机、压头的承受能力、曲轴变形量等。滚压力提高试验方案及结果见表 3。

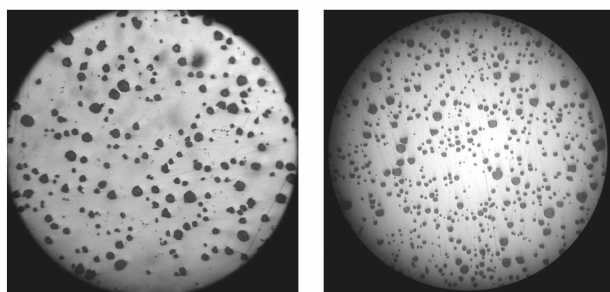
表 3 滚压力提高试验方案及结果

方案	方案 1	方案 2	方案 3
滚压力/kN	23	30	35
曲轴变形量	范围内	范围内	范围内
滚轮	无损	无损	开裂
疲劳试验	不通过	通过	/

通过试验并结合数据分析, 本次试验球铁曲轴的滚压力提升至 31 kN。

2.2 试验及测量

通过技术工艺改进后, 试验曲轴的重量减轻 1 kg, 球化率稳定在 90% ~ 95%, 见图 3。



球化率80%~90%

球化率90%~95%

图 3 曲轴球化率

弯曲疲劳试验在 DXP-200 电动谐振式疲劳试验机上进行。载荷为平面弯曲对称循环载荷。用升降法测定试件的疲劳极限弯矩, 见图 4。疲劳弯矩结果对比表明: 疲劳弯矩提升了 25%, 超过 3 000 (N·m); 安全系数达 1.86, 见表 4。

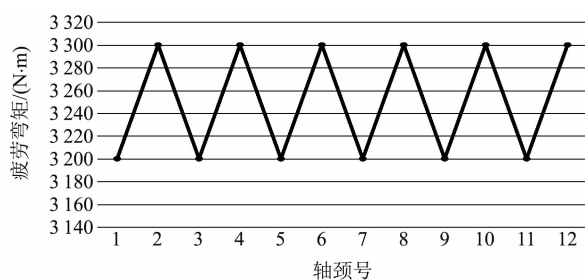


图 4 疲劳极限弯矩

表 4 疲劳弯矩对比

曲轴	某国五曲轴	某国六曲轴
疲劳弯矩/(N·m)	2 600	3 250
安全系数	1.81	1.86

3 结 论

球铁曲轴经轴颈空心, 提高石墨球化率, 提升滚压力等工艺改进后, 经某国六柴油机球铁曲轴试制: 曲轴重量减轻 1 kg; 球化率提升至 90% ~ 95%; 滚压力提高 35%; 疲劳弯矩提升 25%, 满足柴油机球铁曲轴安全系数 1.8 以上的要求。为柴油机减重、降低成本提供选择, 也为球铁曲轴的应用开拓了新的方向。

参考文献

- [1] 新井淳一. 整体曲轴的弯曲形状系数. 国外柴油机曲轴强度研究资料汇编 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [2] 陈铁石, 吴舜珪. 球铁曲轴结构强度经验计算方法的探讨 [J]. 拖拉机与农用运输车, 1979 (1): 9-18.
- [3] 冯美斌, 徐卫, 王小培. 轴颈空心对 6100 发动机球铁曲轴弯曲强度的影响 [J]. 汽车工程, 1994, 16 (1).
- [4] 孙泽涛, 高丽丽. 石墨球形态对球墨铸铁弹性模量的影响 [J]. 热加工工艺, 2011, 40 (19): 34-38.
- [5] 李满良, 冯美斌. 球墨铸铁曲轴滚压工艺试验研究. 汽车科技, 2001 (5): 15-17.