

提高转子发动机的使用性能 可靠性与寿命的研究

交通部公路科学研究所 杨道荫 田玉君

浙江省金华汽车修造厂 陈炳才 白效介 胡建平

中国长江动力公司(集团) 朱荣光 刘汉生

提要 在总结我国30年研制经验和吸收国外先进技术的基础上研制开发的JZ211C型汽油转子发动机新产品,采用了一系列先进实用技术,解决了冷起动、冷却、润滑、低端性能等方面的技术难题,通过1000h全速全负荷台架可靠性试验和10万km装车使用试验,可靠性取得突破性进展,并在客车、移动电站、车载风力灭火机等开发应用上取得一定进展。

关键词 转子发动机 使用性能 可靠性 寿命

The Improvement of Performance, Reliability and Durability of Rotary Engine

Yang Daoying Tian Yujun

(Research Institute of Highway)

Chen Bingcai Bai Xiaojie Hu Jianping

(Jinhua Automobile Repair and Manufacture Factory, Zhejiang province)

Zhu Rongguang Liu Hansheng

(China Changjiang power Corporation)

Abstract This paper introduces the new product JZ211C type rotary engine developed on the basis of thirty year experience of car manufacturing at home and advanced technology abroad. The technical problems of cold start, cooling, lubrication, and low speed performance have been solved by a number of advanced practical techniques. One thousand hour full speed and full load bench reliability test and one hundred thousand kilometer road test have been successfully conducted making a break-through in reliability performance test. Its application on bus, mobile power station, on vehicle extinguisher has been made with some progress.

Key words Rotary engine Performance Reliability Durability Life-span

1 引言

JZ211B型汽油转子发动机（简称B型机），于1982年通过部级科研成果鉴定之后，曾用来改装了51辆中型长途客车和旅游车，其营运总里程超过1 000万km，经受了长期的实践考验。该车以行驶快速著称，同时也暴露了它在使用性能、可靠性和寿命方面存在的问题。主要是：

- ①冷起动、怠速和低端性能较差；
- ②长期运行后缸体常有缩变漏水现象，平均寿命约6～7万km。

随着我国高等级公路的迅速发展，对国产高速、轻型公路客车的需求十分迫切，另外，轻便移动电站市场看好，这些都是转子发动机使用领域中的强项。

为此，在吸收国内外先进技术的基础上对B型机进行了全面的改进和技术攻关，研制了JZ211C型转子发动机（简称C型机）新产品。

JZ211C型转子发动机冷起动和低端性能良好，解决了缸体缩变漏水等方面的问题，按国家有关标准通过了1 000h全速全负荷台架可靠性试验和装车10万Km使用性试验，可靠性取得突破性进展，并于1990年通过了部级产品鉴定。而转子机中型长途客车，多年来一直在生产实践中应用。

2 改善使用性能

在解决冷起动、怠速性能、排放和低速低负荷动力性和经济性方面，采取了如下技术措施：

2.1 进气方式由周边进气改为双端面 and 混合分动进气

一次气口为中隔板端面气口，相位较迟；二次气口为前后端盖端面气口或缸体上的周边气口，相位较早；用进气管上的分动阀门控制二次气口的动作时间。

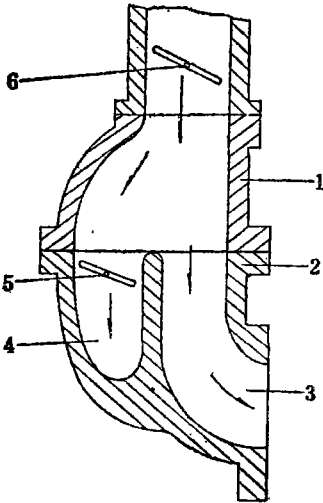


图1 进气管分动原理示意图

1.进气管上体；2.进气管下体；3.一次进气口；4.二次进气口；5.分动阀门；6.化油器节气门。

进气管的分动原理如图1所示。

C型机、B型机和日本13B型转子机的进排气相位列于表1。

进、排气相位比较				表1	
C 型 机			B 型机	13B 型机	
双 端 面 进 气		混合进气			
进气开	一次气口	45°	45°	上前83°	32°
	二次气口	40°	上前55°		32°/45°
进气闭	一次气口	40°	40°	51°	40°
	二次气口		56°		30°/80°
排气开	下前	70°		63°	75°
排气闭	上后	45°		71°	48°

由表1可知，C型机的一次进气口进排气重叠角为零，故排除了在起动、怠速和低负荷时排气对进气的干扰，怠速时的进气管真空度由B型机的360mm汞柱增加到约500mm汞柱，

改善了点火与燃烧条件，而发动机的高速功率则由二次气口给以保证。

2.2 采用PTC起动预热器

在混合进气式C型机的进气管一次气道下方设计有PTC热敏陶瓷起动预热装置（图2），保证了冷起动的需要；起动后的热车过程加快，燃烧状况显著改善。这种起动预热装置首次在转子发动机上应用。

2.3 进气管循环水预热

双端面进气C型机的进气管设有水套，冷却水从中流过以预热进气，对改善燃油雾化、均匀燃烧效果明显。

2.4 采用双火花塞无触点高能点火系统

采用双火花塞无触点高能点火系统，其点火电压高达28 000V，火花能量51mJ，明显降低了缺火率。

转子发动机专用冷型火花塞的质量也在吸收国外技术的基础上得到提高。

2.5 转子内腔采用喷油冷却方式

这种冷却方式，当油压低于0.2MPa时不喷油，可免除低速低负荷工况时的机油散热损失，保持转子燃烧室表面有较高的温度，改善了怠速和低端工况的燃油经济性，减轻了排放污染程度。

通过上述技术改进，改善了转子机的使用性能：

①冷起动性能良好。在不使用预热装置的条件下，可在-10℃顺利起动，达到JB3743—84标准规定的汽车发动机一般性冷起动要求。使用PTC起动预热装置后，可保证在-20℃条件下的冷起动要求，原B型机冬季冷起动困难的问题得以解决。

②发动机怠速轻柔、稳定，怠速排放指标优良。特别是在有进气管循环水预热时，无明显缺火现象，怠速转速可降低到400r/min以下，怠速排放：CO<1.3%，HC<500ppm（原B型机CO=1.71%，HC=2 100ppm）。

③低端油耗下降，经济性明显提高。例如在常用转速2 000r/min、50%负荷以下，比油耗比原B型机降低29~51g/kW·h，约降低14~18%。这是消除进排气重叠，高能点火、进气预热、转子喷油冷却等技术措施的综合效果。

④混合进气式发动机保证了原B型机的高速动力性。发动机的主要性能指标列于表2，性能曲线见图3。

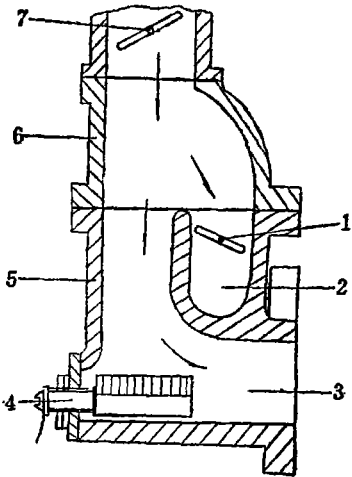


图2 PTC起动预热器装置图
1.分动阀门；2.二次进气口；3.一次进气口；4.PTC预热器；5.进气管下体；6.进气管上体；7.化油器节气阀。

发动机的主要性能指标 表2

	JZ211C		JZ211B
	双端面进气	混合进气	
额定功率（kW/r/min）	88.2/3600	117.6/4000	117.6/4000
最大扭矩（N·m/r/min）	265/2200	313.8/2800	313.8/2800
最低比油耗（g/kW·h）	<299	<292	<326

JZ211C型转子机的实测性能参数：

额定功率：

88.9kW/3600r/min——双端面进气

118.1 kW/4000 r/min——混合
进气

最大扭矩:

265.4 N·m/2800 r/min——双端
面进气

320 N·m/2800 r/min——混合
进气

最低比油耗:

283.1 g/kW·h——双端面进气

279.3 g/kW·h——混合进气

双端面进气, 由于进气相位较迟, 高速动力性指标下降较多, 但中低速性能明显提高, 其最大扭矩转速降到 2200 r/min。符合我国大部分汽车运行车速不高、需要发动机具有良好的中低速性能的要求。混合进气式转子机的最低比油耗为 279.3 g/kW·h, 接近日本马自达 13B 型电子汽油喷射式转子机的实测数据 277.4 g/kW·h, 达到了现代汽油机的先进水平。

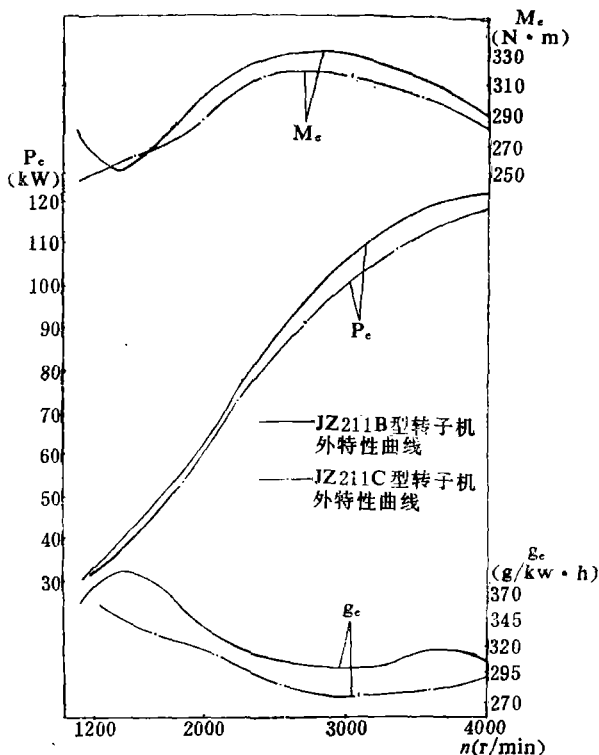


图3 外特性曲线

⑤C 型机在全速全负荷工况的工作均匀性由原 B 型机的 2 % 提高到 0.2 %, 说明新机的燃烧状况有了很大改善。

3

提高可靠性与使用寿命

①缸体热区变形与水密封的可靠性。

②端盖平面质量与耐磨性。

③刮片的耐磨性。

④机油密封的可靠性与密封件的耐久性。

JZ211C 型机在解决上述问题方面进行了卓有成效的研究工作, 可靠性取得实质性进展。

3

3.1 解决缸体热区变形与水密封的可靠性

3.1.1 改进水冷却系统

铸铁壳体的冷却, 用一次往返轴流冷却取代原 B 型机的环流冷却, 双火花塞处的冷却水流速由原 B 型机的 1.3 m/s 提高到 3.4 m/s, 接近往复机水套流速的上限 (一般为 2.5 ~ 3.5 m/s), 使双火花塞和缸体温度最高部位得到较充分的冷却, 缩小了冷热弧区的温差, 减小了缸体热弧区的缩变。对于铸铁缸体, 这一改进十分必要。

缸体热弧区水套形状如图 4 所示, 缸体中部壁厚减薄和外壁向内凹进, 以增加中部水流速度和冷却水向内壁冲击的流势, 从而提高了冷却效果。

缸体冷弧区水套设有中间环状隔筋, 仅留有小孔通水, 使绝大部分冷却水由后盖向前盖返回时流经热弧区。

水套设计中消除了死腔, 并通过模拟试验确定端盖水套中的筋片布置, 尽量消除涡流和死区。端盖水套结构见图 5、图 6、图 7。

通过上述改进,火花塞冷却良好,发动机能在水温 90°C 以上无爆震运转,1 000h全速全负荷台架可靠性试验后,缸体热区缩变量仅 $0.01\sim 0.02\text{mm}$,装车10万km使用试验,缸体缩变量 $0.015\sim 0.03\text{mm}$,可以确保水密封性能(允许缩变限值为 0.07mm)。

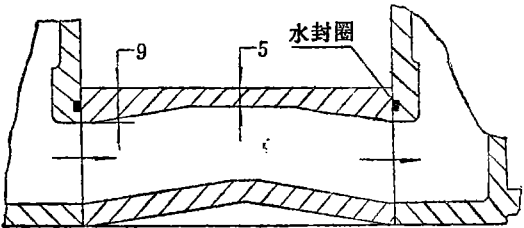


图4 缸体水套结构

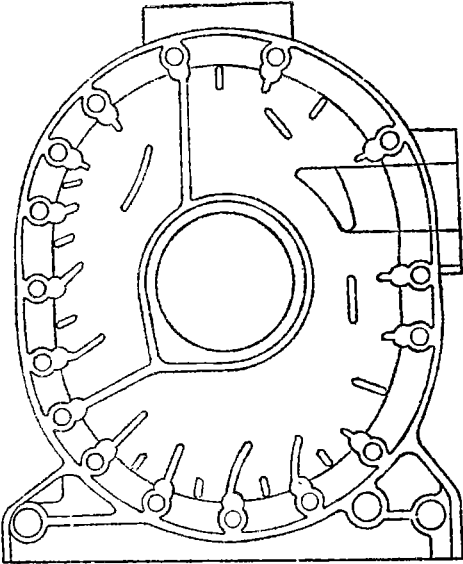


图5 前端盖水套

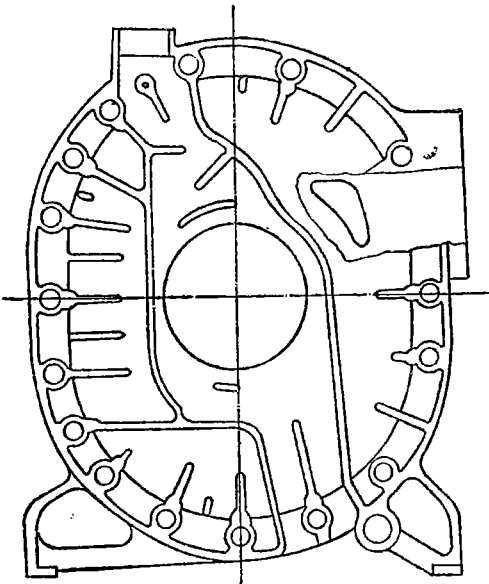


图6 中隔板水套

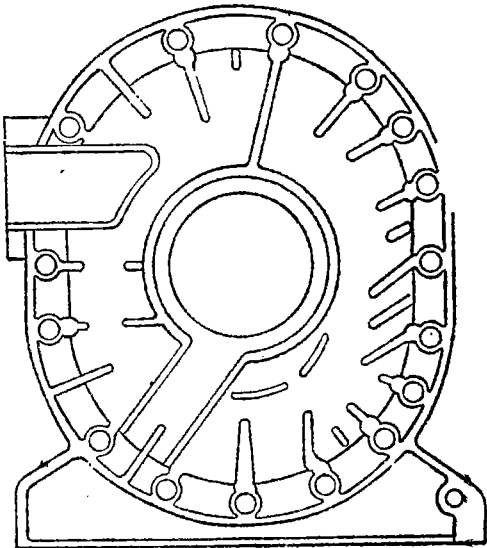


图7 后端盖水套

3.1.2 在前、中、后端盖上开有水封槽,嵌入耐热耐油胶圈水封(参见图4)

采取这样措施,即使缸体有些微缩变形,也不致引起漏水、漏气。

3.2 端盖的耐磨性与平面质量问题

为了保证端盖热区短轴部位的耐磨性,需要进行氮化处理,但氮化处理后平面变形和光洁度下降是技术难题之一。经反复改进机械加工、预先热处理和氮化工艺,终使端盖氮化后的平面度稳定在5级精度水平,使密封件运动范围内的不平度控制在 0.02mm 以内,以保证机油密封的可靠性。经1 000h台架可靠性试验和10万km道路使用试验,端盖平面最大磨损量

分别为0.02mm和0.05~0.08mm,比未经氮化处理的磨损减少二分之一,基本达到使用要求。

3.3 提高刮片的寿命

激冷铸铁刮片不仅成本低,而且耐磨。以往采用烧混合油的办法进行润滑,C型机改为用计量泵向缸体型面自动提供润滑油,改善了润滑条件。经1 000h台试,刮片最大磨损量0.19~0.23mm,达到铸铁刮片耐磨性的先进水平,基本满足使用要求。

3.4 机油密封可靠性和密封件的寿命

C型机采用端面进气和混合进气方式给机油密封带来较大困难,解决的措施是:

- ①通过大量的模拟试验,优选“O”型圈的材质;
- ②油环、油环槽采用高精度的机械加工,并通过试验确定合适的装配技术参数;
- ③合理设计油环弹簧的弹力;
- ④保证端盖工作平面氮化后的质量(平面度、光洁度和硬度);

经600h台架试验,机油/汽油消耗比为1.02%(包括计量泵消耗在内),密封件的寿命可满足10万km使用要求。

4 台架可靠性试验和道路使用性试验

为了验证JZ211C型转子发动机的可靠性和装车使用性能,进行了台架全速全负荷1 000h可靠性试验和用于中型长途客车10万km使用试验。

台架可靠性试验按照JB3744—84《汽车发动机可靠性试验方法》进行。试验机型为双端面进气式样机。试验规范见表3。

C型机台架可靠性试验前后的性能参数 表4

性能	规定指标	初试(前)	复试(后)	变化率
额定功率/转速 (kW/r/min)	88.2/ 3600	88.9/3595	89.1/3607	+0.2%
最大扭矩/转速 (N·m/r/min)	265/2200	265.1/2130	265.4/2599	+0.1%
最低比油耗 (g/kW·h)	≤299	291.2	296.6	+1.8%

1 000h 全速全负荷可靠性试验规范 表3

转速 (r/min)	测功机负荷	试验时间 (h)
3600	发动机油门全开(88.2kW)	1000

1 000h台架可靠性试验前后,发动机性能的变化见表4。

从表列数据可知,JZ211C型转子机经1 000h台架试验后其动力性指标没有降低,经济性指标降低1.8%,符合不超过5%的规定。

发动机主要摩擦部件的磨损情况正常。

JZ211C型转子发动机装在两辆ZJ662B型长途客车上,进行10万km使用性试验,转子机客车技术数据如下:

型 式	ZJ662B型,双轴后桥驱动
座 位 数	52
空车质量(kg)	7 095
汽车总质量(kg)	10 995
客车底盘	东风EQ140T型客车底盘
后桥速比	6.83(高原型)
轮胎型号	9.00—20斜交胎
最高车速(km/h)	85(双端面进气转子机) 90(混合进气转子机)

直接档最低稳定车速 12(km/h)

使用油耗 26.5(L/100km)

转子机客车和同型号东风往复机客车的运行条件完全相同。

试验表明,转子机长途客车冷起动能良好,运转平稳、噪声低,维修简便。平均燃油消耗较同类往复机客车低8.8%,机油汽油消耗比平均1.08%,但由于底盘匹配不理想,其加速性能略差。

10万km使用试验后,转子发动机的性能变化见图8和表5。

转子发动机10万km试验前后

性能指标的变化

表5

项 目	额定功率/转速 (kW/r/min)	最大扭矩 (N·m)	最低比油耗 (g/kW·h)
试验前	93.5/3600	270.6	294
试验后	86.5/3600	249.3	308.6
变化值	-7.5%	-7.87%	+5.0%

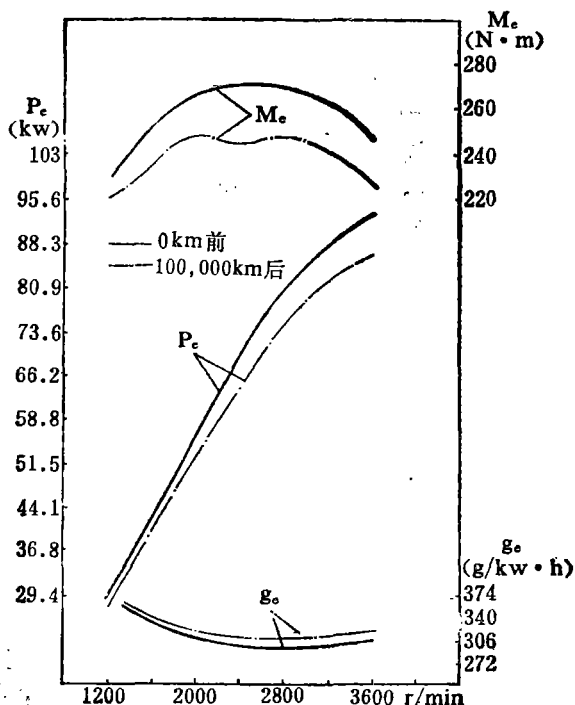


图8 JZ211C-3*机10万km路试前后外特性曲线

通过10万km运行试验,发动机可靠性良好,所有运动件和密封件完整无损,油、气密封和水密封正常,但轴瓦有局部剥落,外油环“O”形圈老化变形,油环磨损较大,刮片有偏磨。

5 开发与应用

我国的转子发动机采用铸铁缸体,国内的汽油标号又较低,故转子机的额定指标同国外相比要低一些(压缩比8.7左右,额定转速4000r/min,升功率70%左右),在设计上也着重考虑中、低速性能,这符合我国国情。

JZ211B型转子发动机应用于中型公路客车已有10多年的历史。目前采用C型机的长途客车有5辆,3年来累计行驶里程逾百万公里,由于油耗较低、车速较快、维修简便而受到用户好评,但需改进传动系匹配,以改善起步、加速和爬坡性能。转子机客车在高等级公路上行驶,能较好地发挥其高速性能优势,取得更好的经济效益。

JZ211C型转子发动机的应用开发工作已取得进展。根据转子发动机的特点,JZ211C型转子机用作22~27座非独立空调轻型客车动力更为合适,随着高等级公路的迅速发展,对这种车型有巨大需求。转子机非独立空调高档轻型客车已列入研制计划。

JZ211C型转子发动机的最大扭矩和经济油耗区均位于中速范围,这一特性使其在固定负荷动力领域也有着广泛的应用前景。JZ211C型转子发动机40~50kW移动电站(工作转速 $n=3000\text{r/min}$),质量可比同类往复柴油机电站轻一半左右,用作森林风力灭火车的风机动力($n=3600\text{r/min}$),可充分发挥其体积小重量轻的优点。国内首创的森林风力灭火车采用JZ211C型转子发动机作风机动力,已进行过初步现场试验;40kW转子发动机移动电站样机正在调试中。

QJ系列汽油机曲轴箱通风节油阀

王长欣 蔡凤田 卢京玲

提要 QJ 系列汽油机曲轴箱通风节油阀是一种适用于国产在用汽油机的节能装置。该阀兼有节约能源和保护环境的双重效果。本文就其结构、工作原理、使用范围和使用效果进行了说明和论述。

关键词 汽油机 曲轴箱 通风 节油阀

Crankcase Ventilation Fuel-Saving Valve for QJ Type Gasoline Engine

Wang Changxin Cai Fengtian Lu Jingling

Abstract Crankcase ventilation fuel-saving valve for QJ type gasoline engine is suitable for domestic made in-use gasoline engine vehicle. It possesses both fuel-saving and environment protection function. This paper outlines its structure, working principle, application scope and effects.

Key words Gasoline engine Crankcase Ventilation Fuel-saving valve

改善汽油发动机燃油经济性的重要途径之一是控制混合气的浓度。我国地域辽阔，汽车运行环境差异很大，为保证车辆的适应性，在汽油机的设计中混合气偏浓，而且国产化油器采用机械程序分段设计方案，为使各段过渡性能良好，混合气配剂也偏浓。在实际车辆使用中，人们普遍采用调小主量孔或配合改小喉管的方法，虽有一定节油效果，但也因此损失了发动机的动力性。有些使用人员对发动机的调整特性不了解，调整不佳，反而使混合气过稀，既损失了动力性，又未能得到满意的节油效果。国内生产的调稀发动机混合气浓度的节油装置，多采用柱塞形阀体结构。由于阀与阀体的接触面是圆柱面，因此间隙很小，容易卡滞，且不易调整。美国有一种调节混合气浓度的节油装置为球阀结构，在发动机工作时能调稀混合气浓度，使发动机的燃油经济性得到改善，但发动机不易起动，怠速不稳，大负荷时损失功

转子机发电机组还可用作内燃-电动混合动力汽车的浮充电源。这种车辆可降低城市排放和噪声污染，节约石油燃料，符合环保与节能要求，是目前世界上汽车技术研究的热点，预计本世纪内有可能投放市场。

其它如用于气垫船、飞艇、轻型飞机等，也有一定潜力。

JZ211C 型转子发动机是我国30年转子机研制技术的结晶。它将在高比功率轻便内燃动力领域发挥应有的作用。