

DF_{7G}型青藏铁路调车机车柴油机的研制与试验

文晓玲,李鸿江,徐 红

(北京二七机车厂,北京 100072)

摘要:针对青藏高原特殊的自然环境,提出了DF_{7G}型青藏铁路调车机车装用的EQ16V240ZB型柴油机的高原运用技术方案,侧重于在其原型机(16V240ZC型柴油机)基础上的改进,进行关键部件选型和配套,完成了柴油机台架性能试验、水阻试验和高原性能试验。

关键词:DF_{7G}型调车机车;青藏铁路;EQ16V240ZB型柴油机;研制;试验

中图分类号:TK422 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-1820(2006)10-0007-05

1 前言

为了加快西部的发展,国家投资建设青藏铁路。青藏铁路的建成通车,需要有满足该地区特殊运用条件的机车车辆设备。中国北车集团北京二七机车厂承担了青藏铁路调车机车的研制工作,首批试制的3台DF_{7G}型青藏铁路调车机车(DF_{7G}型8001、8002、8003号),于2006年2月下旬全部出厂交付青藏铁路公司使用。

青藏铁路地处世界屋脊青藏高原,其特殊的自然环境对柴油机的性能和可靠性都极为不利。首先,由于大气压力下降,空气稀薄,进入气缸的空气量减少,使柴油机燃烧恶化,燃油消耗率升高,柴油机的热负荷增加;其次,温差大会造成柴油机的热负荷和机械负荷变化较大;此外,青藏铁路沿线风沙大,对柴油机各摩擦副以及增压器转子轴承的可靠性非常不利。因此,柴油机要运用于青藏铁路,必须采取相应的技术措施来适应其特殊的高原环境。

DF_{7G}型青藏铁路调车机车采用EQ16V240ZB型柴油机。该柴油机为目前铁路机车普遍采用的16V240型柴油机的变型产品。为适应青藏铁路的特殊环境,在其原型机(16V240ZC型)基础上,需要

重新进行柴油机关键部件的选型和配套,其中包括重新进行增压系统的配套,以改善柴油机燃烧状况,从而提高柴油机在高原地区的做功能力,减少柴油机的功率修正;另外还包括中冷器的重新选型,以及喷油器、高压油管、气缸套等部件的优选。

我们重点提出EQ16V240ZB型柴油机适应高原运用的技术方案和试验研究的主要问题。

2 柴油机高原运用的技术方案

2.1 最大运用功率及运用线的确定

随着海拔高度的上升,柴油机做功能力下降,柴油机的功率需要修正。由于调车机车的运用是以某一站场为中心,在既定的区域内进行运输作业。因此,针对调车机车定点运用的特点,为简化问题,通过与铁道部及青藏铁路公司沟通并达成一致,青藏铁路调车机车功率不随海拔实时修正。根据GB/T6072.1—2000《往复式内燃机 性能 第1部分:标准基准状况,功率、燃料消耗和机油消耗的标定及试验方法》^[1]中功率修正方法进行计算分析,并参照DF_{7D}型机车随海拔高度变化规律^[2]等资料,确定柴油机在两条运用线下工作,即海拔3 000 m以下,最大运用功率为2 200 kW;海拔3 000~4 600 m,最大运用功率为2 000 kW,运用线上部分负荷功率相应修正。在机车司机室内进行简单的微机操作就可实现两条运用线的切换。

2.2 增压匹配的研究

在高海拔地区,由于空气稀薄导致柴油机能发

收修回稿日期:2006-05-31

作者简介:文晓玲(1973—),女,四川高县人,工程师;
李鸿江(1969—),男,北京人,高级工程师;徐 红(1960—),女,北京人,高级工程师。

出的有效功率大大降低,为了保证机车牵引需要,机车柴油机应采用高原专用的涡轮增压器,通过提高增压器的压比,使涡轮增压器可以向气缸内提供更多的增压空气,以增加柴油机有效功率,从而提高柴油机在高原地区的做功能力,减少柴油机的功率修正。由于高原增压器具有高压比、高转速,机械负荷大大增加,对增压器轴承和叶轮的可靠性是严峻的考验。因此,对高原柴油机而言,增压器的选型非常关键,不仅在性能上要满足高原地区使用,还要具有高可靠性。

经过多方案对比选型分析,最终选定采用瑞士 ABB 公司生产的 VTC254P-13 型增压器。该增压器具有较高的压比,其轴承和工作叶轮能够承受较高的机械负荷和热负荷,可适用于高海拔、高温差地区柴油机配套运行。同时该增压器具有较高的可靠性,预期寿命为 20 000 h,大大延长了检修周期和使用寿命。通过增压配套仿真计算看出,在海拔 3 000 m 和海拔 4 600 m 条件下,标定工况下涡轮进口温度、增压器转速、喘振裕度皆有一定的余量,部分工况下增压器喘振裕度仍有一定余量。

在增压方式上,我们最初考虑了两种技术方案:定压增压和 MPC 增压。该柴油机用于调车机车,应具有较好的动态跟随性,故我们倾向于采用 MPC 增压。但经过与用户沟通,出于方便检修管理,与青藏铁路现有 16V240 型柴油机简统考虑,最终采用了定压增压。

2.3 中冷器选型

在高原条件下由于压气机处于高压比和低效率双重因素的影响,压气机出口空气温度将会升高。由于中冷器进水温度受到机车辅助系统的限制,因此要降低中冷后空气温度就必须提高中冷器的换热能力。

计算分析表明,选用芜湖 GEA 公司生产的 KLQ55D 型中冷器能够满足柴油机在 3 000 ~ 4 600 m 海拔高度运用。该中冷器与原型机上装用的 KLQ46D 型中冷器相比,换热面积增加了 17%,换热部分厚度降低,迎风面积加大,再加上进气道方向由向上变为水平,使气流进入更直接,从而降低了空气流动阻力,提高了换热能力,并使柴油机总高度降低。

2.4 部件优选

2.4.1 采用国外进口的喷油器、高压油管

燃油的喷射质量直接影响到柴油机的燃烧质

量。与平原机相比,高原柴油机由于缺氧造成燃烧条件恶化,对燃油的喷射雾化质量要求更高,喷油器的质量对柴油机性能及可靠性影响很大。为了提高柴油机可靠性,采用了英国 Bryce 公司生产的 99/660T 喷油器。

高压油管看似简单,但在实际工作中要承受很高的交变应力,需要很高的制造工艺水平才能保证其质量可靠性。我们委托瑞士 NOVA 公司按照我们的图纸要求制作高压油管装配,用国外先进的工艺来保证产品质量,提高运用可靠性。

2.4.2 优化气缸套活塞环组合

青藏铁路风沙大,对气缸套、活塞环摩擦副极为不利,容易导致柴油机早期出现活塞环、气缸套磨损超限问题,影响到机车柴油机的耐久性。导致气缸套摩擦副早期磨损的原因除了进气滤清外,还与摩擦副本身的材质、工艺直接相关。优化气缸套活塞环组合,可以提高摩擦副的工作寿命。通过多种方案对比,最终采用了激光淬火处理的气缸套方案,活塞环采用桶面镀铬环、锥面鼻形环和双鼻形油环的组合方案。

2.4.3 镁合金油底壳试装情况

为了机车减重,我厂与合作方一起进行了铸造镁合金油底壳的研制。第 1 个镁合金油底壳铸造完成后,称重结果比钢板焊接结构油底壳减轻了 380 kg,减重效果明显。但是由于镁合金材料的线膨胀系数与钢差异较大,在未对镁合金油底壳结构设计采取有效措施的情况下,装机进行台架试验过程中,发现油底壳受热膨胀后相对于机体端面突出较多,使机体端面的密封失效,因此镁合金油底壳最终没能装车。

2.5 高原性能模拟计算分析

为了确定柴油机的高原运用技术方案和平原试验方法,我们进行了柴油机高原工况的性能模拟计算分析研究^[3]。该计算分析在原型机试验数据、增压配套仿真计算及增压器压气机特性曲线、青藏高原气象资料等数据基础上,进行了海拔 3 000、4 600 m 下柴油机性能模拟计算、涡轮通流截面调节、压缩比和供油提前角调整的模拟计算。通过计算分析,得到一些结论:

(1) 适当加大供油提前角,对柴油机在高原运用是有利的。按照模拟计算分析,如果压缩比不变,将供油提前角由 21° 增加至 23°,即提早 2°,总管排温可降低 1.5 ~ 7.1 °C,油耗率可下降 2.3 ~ 3.5 g/kWh,增

压压比也稍有下降,而爆发压力并不会超过限制值。

(2) 适当提高压缩比,能使柴油机具有更好的高原适应性。根据模拟计算结果,在其它参数不变条件下,如果将压缩比由 12.5 提高到 13.5,总管排温可降低 3.1~7.6℃,油耗率可下降 3.2~3.7 g/kWh,在高原降功率使用条件下最高爆发压力也不会超过限制值,而且对柴油机低温起动很有利。

对于第(1)条结论,我们在柴油机台架性能试验中进行了供油提前角调整对比试验加以验证。虽然从模拟计算结果来看,适当提高压缩比能使柴油机具有更好的高原适应性,但是,压缩比的改变受到结构的限制。经过综合考虑, EQ16V240ZB 型柴油机的压缩比仍然维持 12.5 不变。

3 柴油机试验

3.1 柴油机厂内台架性能试验

首台 EQ16V240ZB 型柴油机于 2005 年 12 月在我厂柴油机试验站进行了台架性能试验。

柴油机通过磨合调整后,进行了负荷特性试验、供油提前角对比调整试验、模拟高原的运用特性试验、喘振裕度校核试验等项目。试验中柴油机运行状态良好,各项平原性能参数基本达到设计要求。

由于随着海拔高度的增加,增压器的转速、排气温度将随之增加,因此,采用高原增压器的柴油机在平原试验中应保证增压器的转速、排气温度等参数有一定的余量,否则到达高原使用时这些参数将增加至超过许用值而导致增压器损坏。在台架性能试验中, VTC254P-13 型增压器运转状态良好,柴油机在标定转速1 000 r/min、功率2 000~2 650 kW时,增压器效率均在 56%~59%范围内,增压器转速、排气温度都有较大的余量。在 1 000 r/min、2 200 kW

时,增压器折合转速为限制值的 76%;在排温最高工况下,涡轮前温度为限制值的 73%。平原试验中这些参数具有足够的余量。根据理论计算结果推算,柴油机在高原运用时,这些参数仍将具有一定的余量。

在台架试验中还进行了供油提前角的对比调整试验。供油提前角的增加虽然带来爆发压力的增加,但由于柴油机到高原降功率使用,而且爆发压力随海拔高度的增加呈现下降趋势,因此爆发压力不是柴油机的限制条件。从燃油消耗率和增压压比试验结果来看,供油提前角的增大对于柴油机在高原运用是有利的。

3.2 机车出厂水阻试验

首台 DF_{7G}型 8001 号青藏铁路调车机车于 2006 年 1 月在我厂进行了水阻试验,在表 1 中列出了水阻试验中柴油机部分参数。

3.3 柴油机高原性能试验及调整

为保证机车能在高原正常运行,需要验证机车的高原适应性。2 月 24 日~3 月 2 日,分别在格尔木、羊八井、拉萨西 3 个地点(海拔高度分别为 2 830 m、4 300 m、3 700 m)对 DF_{7G}型 8001 号机车进行了高原性能试验。

试验采用对被测试机车作自负荷试验的方式,根据指定的试验程序和试验大纲规定,在格尔木和拉萨西按照 2 000 kW 和 2 200 kW 两条运用线进行自负荷试验,在海拔高度 4 300 m 的羊八井按照最大运用功率为 2 000 kW 的运用线进行自负荷试验。

在柴油机油水温度正常并稳定的情况下,对运用线上各工况下柴油机主要参数进行了测量。表 2 中列出柴油机高原性能试验部分参数。

表 1 DF_{7G}型青藏铁路调车机车出厂水阻试验柴油机部分参数

海拔高度 /m	大气温度 /℃	大气湿度 /%	大气压力 /kPa	柴油机转速 /r·min ⁻¹	柴油机功率 /kW	增压器转速 /r·min ⁻¹	进气真空度 /mmH ₂ O	气缸排气 温度 /℃	总管排气 温度 /℃	爆发压力 /MPa
50	- 4	70	100	800	970	10 410	48	348	390	7.8
				900	1 400	14 760	100	368	428	9.1
				1 000	2 000	19 650	201	378	454	11.1
				800	1 060	11 080	52	356	403	7.9
				900	1 540	15 500	106	376	440	9.3
				1 000	2 200	20 670	225	395	488	11.3

表 2 EQ16V240ZB 型柴油机高原性能试验部分参数

海拔高度 /m	大气温度 /°C	大气湿度 /%	大气压力 /kPa	柴油机转速 /r min ⁻¹	柴油机功率 /kW	增压器转速 /r min ⁻¹	进气真空度 /mmH ₂ O	气缸排气 温度/°C	总管排气 温度/°C	爆发压力 /MPa
2 830	9	50	73	900	1 540	19 460	120	423	530	8.2
				1 000	2 200	24 800	290	407	520	11.0
3 700	10	40	66	900	1 540	20 700	125	465	560	8.0
				1 000	2 200	26 100	300	453	550	10.4
4 300	6.5	50	61	900	1 400	19 890	110	440	570	7.4
				1 000	2 000	25 350	260	423	550	9.0

对高原柴油机而言,主要限制参数是增压器转速和排气温度。从表 2 中可看出,增压器转速最大值为 26 100 r/min,是限制值 30 360 r/min 的 86%,出现在 3 700 m、1 000 r/min、2 200 kW 下;气缸排气温度最大值为 465 °C,是限制值 540 °C 的 86%,出现在 3 700 m、900 r/min、1 540 kW 下;总管排气温度最大值为 570 °C,是限制值 650 °C 的 88%,出现在 4 300 m、900 r/min、1 400 kW 下。这几项限制参数均有一定的余量,能够保证柴油机在高原运用的可靠性。

在机车到达海拔高度 4 500 m 的秀水河进行试验的过程中,发现柴油机在 600 ~ 650 r/min 转速下冒黑烟较严重,过 800 r/min 后柴油机又恢复正常,在 1 000 r/min 时柴油机工作状况良好。经分析认为,定压增压方式造成部分工况下增压器跟随性差,而柴油机运用线上部分功率设定偏高,因此决定对部分工况功率进行重新调整。在秀水河(海拔 4 552 m)至沱沱河(海拔 4 537 m)区段,中间翻越海拔 4 907 m 的风火山,为适应高原气候、线路变化时牵引特性动态调整要求,柴油机增压器、供油系统的动态调整和响应速度要适应海拔高度的变化,对预期的柴油-发电机组输出功率曲线进行了现场调整,对 600 ~ 800 r/min 运用线功率进行适当的下调。

通过调整后,机车控制手柄在提升柴油机转速、功率时,使柴油机工况尽快地进入增压系统工作的高效区,提高进气量,从而获得较好的燃烧状态,防止过量供油造成燃烧不充分而冒黑烟。运用情况表明,调整后的柴油机运用特性能够满足使用要求。

3.4 高原性能试验与厂内台架性能试验数据比较分析

随海拔高度变化,柴油机爆发压力、总管排气温度、增压器转速等参数随之变化。为了分析这些参数随海拔高度变化的规律,以平原试验参数作为基准,将高原试验所测得的爆发压力、总管排温、增

压器转速相对于平原试验数据按所增减百分比进行折合。如图 1 所示,横坐标为海拔高度,选取了平原海拔 50 m、高原海拔 2 830 m、3 700 m、4 300 m 共 4 个地点;纵坐标以平原参数作为基准值 0,反映各项高原参数相对于平原参数所增加或减少的百分比。从图中可看出,随着海拔高度的增加,柴油机爆发压力逐渐下降,在海拔 4 300 m 时,柴油机爆发压力相对于平原下降了 24%;随着海拔高度的增加,总管排气温度和增压器转速都呈上升趋势,在海拔 4 300 m 时,总管排气温度相对于平原增加了 15%,增压器转速相对于平原增加了 17%。

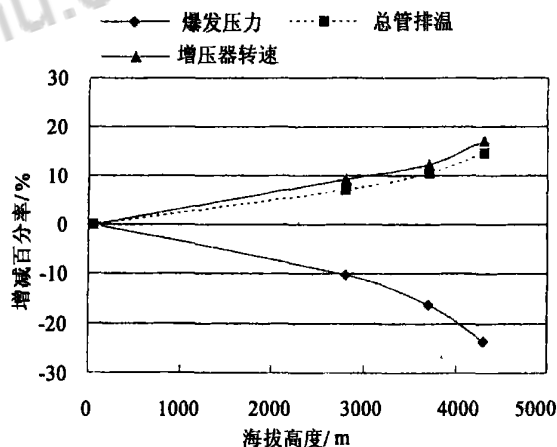


图 1 EQ16V240ZB 型柴油机主要参数随海拔高度变化曲线

4 结语

(1) EQ16V240ZB 型柴油机是在技术成熟的 16V240 型柴油机基础上进行高原设计改进的机型,可以充分利用青藏铁路公司现有的 240 系列柴油机运用、检修基础,实现简统化和方便用户维修。

(2) 针对调车机车定点运用的特点,预先设置两条柴油机运用特性曲线,根据运用点海拔进行简单的微机操作切换,这样做可以简化问题,同时也能够满足机车使用要求。

【下转第 19 页】

载荷几乎没有影响, 他们的轴心轨迹也基本不发生变化。而1、3、5、7、9位主轴承轴心轨迹并不一致, 但计算表明, 它们随平衡重的变化而呈现相一致的变化趋势和特征。

(2) 对于1、3、5、7、9位主轴承, 当平衡重改变时, 对离心惯性力有很大的影响, 轴心活动的范围发生较大的变化。在平衡重小时, 都有很明显的向心或离心运动, 和理论分析结论一致。这种运动如果在一个循环中出现几次, 可以看做是轴承在轴瓦内无规律的振动, 由于时间很短, 所以冲击力非常大, 对轴承损伤很大。振幅过大的向心和离心运动是轴承非磨损损坏的主要原因之一。

(3) 从3、7位轴心轨迹图上看, 当平衡重变大时, 向心或离心运动趋势减弱, 轴心曲线缓和; 但从轨迹图(如80%的平衡重时)可以看出最小油膜厚度持续角开始增大, 这样对轴瓦的磨损会增大, 出现干摩擦、混合摩擦状况的可能性增加; 同时平衡重取大时, 过大的平衡重将使轴承总载荷增大, 对曲轴的其它设计要求又增加了。

(4) 平衡重的改变实际上是改变了轴承载荷的大小和方向, 平衡重大小各有利弊, 所以在设计时应该充分考虑这些问题, 针对柴油机具体应用工况来选择合适的平衡重。总体来说选择不宜过大, 亦不宜过小, 综合其它各位轴承轴心轨迹图的变化情况, 对16V280型柴油机来讲, 在40%~75%之间的方案是更为合适的。该柴油机原83.6%平衡重设计中, 3、5、7位轴瓦易在 -40° ~ $+70^{\circ}$ 之间磨损。

4 结论

通过以上的计算分析, 我们可以得出以下几个结论:

(1) 用Holland法计算机车柴油机轴心轨迹,

【上接第10页】

(3) EQ16V240ZB型柴油机高原试验运行状态良好, 各项性能参数达到设计要求, 能够满足机车高原运用要求。

(4) 动态跟随性较差是定压增压方式的特点, 对于经常在部分负荷下工作的调车机车柴油机还可以尝试其它的增压方式, 以进一步优化柴油机的性能。

要取得较为理想的效果, 须对——关系的模型经验公式进行相应修正。

(2) 应用本文方法模型, 可以从众多平衡重设计方案中找到有利于改善轴承工作状态的一种或几种方案; 当然这并非一定满足理论上的最佳, 而且, 过大的平衡重将使轴承总载荷增大。

(3) 对主轴承运行(轴心轨迹)有影响的参数还有很多, 如: 发火顺序的改变、V形夹角的变化、柴油机工作转速的变化以及机油粘度的不同等等。我们也可以用类似的分析方法, 通过不同方案下轴心轨迹的比较, 针对运行工况, 选出该机车柴油机较优的一种或几种设计方案。

(4) 在机车柴油机轴承的设计改进过程中, 众多设计方案不可能全部用物理实验来评估比较, 因此借助修正的Holland模型计算变参数下主轴承的轴心轨迹, 用来定性确定合理设计方案这种分析比较法在节省设计成本、保证设计的可靠性和加快设计进度等方面能够起到积极作用。

参考文献:

- [1] 王忠, 杨时威, 魏琪, 等. 柴油机曲轴轴心运动特性的研究[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2004, 25(1): 36-39.
- [2] 柴油机设计手册编辑委员会. 柴油机设计手册[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1984.
- [3] 谈荣望. 内燃机设计[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1989.
- [4] 陈伯贤, 袁祖干. 润滑理论在曲轴轴承设计中的应用[J]. 内燃机工程, 1987, 8(2): 47-57.
- [5] 高明, 龙劲松. 动载滑动轴承轴心轨迹计算机模拟中Holland方法的改进[J]. 西南交通大学学报, 1997, 32(3): 294-299.
- [6] 胡以怀, 周铁尘. 柴油机主轴颈运动惯性的理论计算及诊断应用[J]. 内燃机工程, 1999, 21(1): 47-53.
- [7] 王朝晖, 张来斌, 刘玉辉. 柴油机滑动轴承磨损状况的轴心轨迹诊断法[J]. 石油矿场机械, 2002, 31(3): 6-8.
- [8] 牟恕宽. 16V240ZJA型柴油机轴承计算结果分析与改进[J]. 内燃机车, 1993, (3): 30-35.

参考文献:

- [1] GB/T6072.1—2000, 往复式内燃机性能第1部分: 标准基准状况, 功率、燃料消耗和机油消耗的标定及试验方法[S].
- [2] 铁科院机辆所. 东风_{7D}型内燃机车功率随海拔高度变化规律(修正)[Z]. 1998.
- [3] 顾宏中. EQ16V240ZB型柴油机高原性能模拟计算分析研究报告[R]. 2005.
- [4] 顾宏中. 涡轮增压柴油机性能研究[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1998.

ABSTRACTS

Development and operation of DF_{7G} shunting locomotive for Qinghai-Tibet Railway

LI Hai-bin, WANG Hong-xin

(Beijing Feb. 7th Locomotive Works, Beijing 100072, China)

Abstract : On the basis of DF_{7G} shunting locomotive for national railway, the technical improvements for the locomotive's systems, machine sets and components to be suited to geographic and natural conditions of Qinghai-Tibet Plateau were studied, and then the design and trial manufacture of the locomotive was completed. The operation results show that the system integration of the shunting locomotive is well designed, and the technical measures are effective.

Key words : Qinghai-Tibet Railway; shunting locomotive; DF_{7G}; locomotive general layout; development; operation

Development and test of DF_{7G} shunting locomotive diesel engine for Qinghai-Tibet Railway

WEN Xiao-ling, LI Hong-jiang, XU Hong

(Beijing Feb. 7th Locomotive Works, Beijing 100072, China)

Abstract : Keeping in mind of special natural environment in Qinghai-Tibet Plateau, the solution for DF_{7G} shunting locomotive to be equipped with EQ16V240ZB diesel engine to application to Qinghai-Tibet plateau is offered with the stress put on reforming the original 16V240ZC engine. Model selection and match of critical parts have been performed, and the diesel engine performance bench test, hydraulic resistance test and highland test have been completed.

Key words : DF_{7G}; hunting diesel locomotive; Qinghai-Tibet Railway; EQ16V240ZB; diesel engine; development; test

Study on crack of monoblock upper center pivot for C63A open wagon

HE Bai-chuan, LI Hua, CHEN Hong-kun, LI Xiang-wei
(Qiqihar Railway Rolling Stock (Group) Pty. , Ltd.)

Abstract : By means of static strength measurement and FEA (Finite Element Analysis) calculation for monoblock upper center pivot, the authors studied and analyzed the crack of monoblock upper center pivot for C63A open wagon.

Key words : monoblock upper center pivot; crack; study; C63A open wagon

Fracture reason analysis and improvement of the bolts of "Blue Arrow" locomotive gear case

ZHAO Li-hua, ZHANG Kai-lin, ZHANG Hong-jun

(Traction Power State Key Laboratory, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract : Due to the difference between thermal expansion coefficients of aluminum alloy gear case and steel bolt, the additional load resulted from temperature difference will come into being when aluminum alloy gear case temperature increasing. This additional load is the ultimate factor of bolt fracture. By pulsating load analysis of the bolts, the proper safety coefficient was obtained. By analysis, it is pointed out that the safety coefficient of original structure is not suitable. The improvement measures was given.

Key words : gear case; bolt; fracture; load resulted from temperature difference; safety factor

A method to evaluate the plan for locomotive diesel main bearing

PENG Yurming, LIU Ping, PENG Li-yin

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract : This paper presented a corrective Holland algorithm. By means of this algorithm, the crankshaft center movement tracks under different conditions for bearings in a 16V280 diesel engine can be calculated, and the results can



知网查重限时 **7折** 最高可优惠 **120元**

本科定稿，硕博定稿，查重结果与学校一致

立即检测

免费论文查重: <http://www.paperyy.com>

3亿免费文献下载: <http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重: http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载: <http://ppt.ixueshu.com>
