

“金属磨损自修复材料”
在北京铁路分局内燃机务段
内燃机车上的试用报告

北京铁路分局内燃机务段

二〇〇二年八月

金属磨损自修复材料在北京铁路 分局内燃机务段内燃机车上的试用报告

在我国铁路 6 万多公里的线路上，由内燃机车牵引的区段占 4.5 万公里（其余 1.5 万公里由电力机车牵引），内燃机车承担着全国铁路运量的 3/4。在今后相当长的时间内，我国的铁路运输内燃机车仍将是主力军。随着我国铁路改革的不断深入，采用先进技术不断提高内燃机车技术性能，实现“重载、高速、优质、高效”的目标，达到内燃机车较高的在线利用率，即“高运用率，低检修率”，是我国铁路系统当前亟需解决的问题。

2001 年 6 月，铁道部运输局装备部在成都召开了全路内燃机车柴油机质量专题研讨会，就柴油机活塞、活塞环、汽缸套质量不高的问题进行了充分讨论，装备部技术部门领导强调指出：目前影响全路内燃机车修程、修制改革的主要原因是柴油机摩擦副寿命低，尤其是发动机活塞、活塞环、汽缸套三大部件。国内铁路运输最恶劣的区段乌鲁木齐局因风沙大，20 台 DF4B 机车仅运行 6 万公里均发生活塞环严重磨损。会议代表一致认为，全路科技人员应努力合作、群策群力进行攻关，采用高新技术手段，延长内燃机车发动机活塞、活塞环、汽缸套使用寿命。我们开展的“金属磨损自修复材料”在内燃机车柴油发动机上的试用目的就是为了解决这一难题。

一、在内燃机车上试用“金属磨损自修复材料”的实施过程

1. 1999 年 11 月，我段在北京型 2008 号机车上进行了试用“金属磨损自修复材料”试验。11 月 5 日下午，有关人员进行了现场操作，首先把机车用润滑油 200 毫升与 20 克“金属磨损自修复材料”粉体混合搅拌，10 分钟后用医用注射器将油料和粉体混合物按操作规程分别打入柴油机 1 至 12 缸燃烧室，然后甩车、启动、空载磨合 2 小时，全过程不超过 4 小

时，操作过程结束，机车投入运行。随后专家又将剩下的 100 毫升加有粉体的油料交付我段技术人员，嘱托机车运用 300 至 500 公里后，再将此油料加入柴油机主油道中。投入运用后，机车运用一切正常，3 个月后机油粘度开始下降，截止到 2000 年 9 月 11 日机车第四次小修时，机油粘度为 9.31（机油粘度部颁标准不低于 10.5）。机车柴油机与过去相比工作平稳，噪音低，振动小，柴油机功率增大，辅、小修检测柴油机压缩压力始终维持在最佳状态。热力工程师发现，该车试验 3 个月后机车燃油消耗逐月下降。

2001 年 1 月，北京型 2008 号机车总计运行了 28 万公里，机车中修。为了检验试验效果，这次中修分解时我们分步进行，首先分解第一、第七缸燃烧室，检查测量第一、第七活塞连杆组，第一、第七活塞第一道环槽侧面间隙为 0.15、0.16mm（工艺标准侧面间隙原形为 0.12—0.16mm）。工作开口间隙 1.1、1.2mm（工艺标准工作开口间隙原形为 1—2mm），缸套直径 $\phi 240^{+0.025}$ 、 $\phi 240^{+0.035}$ mm（缸套新品原形尺寸为 $\phi 240^{+0.045}$ ）。活塞、曲轴、凸轮轴、轴瓦符合机件原形公称尺寸，摩擦面表面乌亮光洁，无任何拉伤痕迹。为此，北京型 2008 号机车柴油机在不更换任何机件的条件下，继续试验。

2. 2001 年 4 月 25 日我段又对 DF11—063、DF11—163 两台机车进行了使用“金属磨损自修复材料”的试验。操作过程基本同于上次，不同点是在向柴油机加油料时，不用注射器将加入粉体的油料送入燃烧室，而是用高压泵在柴油机运转时按操作规程将油料加入主机油道。油料打入后机车空转磨合 2 小时，负载磨合 2 小时，操作过程完毕。然后又为两台车各留下 100 毫升加入粉体的油料，待机车运行 300 至 500 公里后再按上述程序实施。

2002 年 1 月 18 日，DF11—063 机车走行 292,910 公里后进中修修程，柴油机进行分解。国家级计量检测单位国防科工委第一计量测试研究中心

的专家对分解后机件的技术数据进行了现场监测，确认柴油机活塞、活塞环、汽缸套均接近“零磨耗”，符合新品尺寸（一般柴油机中修时：活塞环全部更换，汽缸套磨耗最低为 0.10mm，需重新进行珩磨，最大超过 0.30mm，中修柴油机一般更换汽缸套 3—6 个、活塞 2—4 个）。该机曲轴、凸轮轴摩擦面乌亮光洁，无任何拉伤痕迹，主轴瓦、连杆瓦及增压器轴承为最佳磨合状态。

DF11—063 号机车柴油机本次中修全部按中修范围及现工艺标准进行检修，截止到 2002 年 1 月 30 日该柴油机全部组装完毕。1—16 缸活塞、活塞环、汽缸套全部为原试验机件，已装入 DF11—0114 机车，对该摩擦副进行下一轮运行周期合计为 60 万公里的运用试验。截止到 2002 年 7 月底已运行 118,161 公里。

DF11—0163 机车于 4 月 5 日，进入运行 30 万公里的中修修程，按技术科要求拆检第一、九缸，确认柴油机活塞、活塞环、汽缸套均接近“零磨耗”，符合新品尺寸，装于 DF11—162 机车，截止 7 月底已运行 68,848 公里。

3. 北京铁路局遵照李树田局长 2001 年 11 月 15 日对“关于内燃机车金属磨损自修复材料扩大试验请示”的批示要求，机务处于 2001 年 12 月起分别在北京、天津、石家庄、太原 4 个内燃机务段 100 台内燃机车上添加“金属磨损自修复材料”，于 2002 年 3 月 15 日全部添加完毕。其中北京铁路分局试验的 28 台机车，北京内燃机务段 DF11—052 等十台机车进入中修修程，按技术科要求拆检第一、九缸，确认柴油机活塞、活塞环、汽缸套均符合中修技术范围，继续装车进行第二个中修期 60 万公里应用试验。

二、试验数据统计

统计表格见附件。

三、操作工艺流程制定

根据“金属磨损自修复材料”的产品使用说明书要求，我段科技人员根据几年来的技术跟踪，制定了相关试验的操作工艺流程：

1、内燃机车柴油机添加前，柴油机须进行技术状态检测（按专用表格填写，附表1）。

产品添加作业流程：

①. 起动内燃机车柴油机，空转。

②. 内燃机车司机控制手柄“0”位，柴油机最低空转转数，油水温度大于或等于 60℃。

③. 将产品 a 瓶油料全部压入专用油泵储油处，将油料反复搅匀，用专用油泵压入柴油机主机油系统。

④. 柴油机空转磨合 4 小时，将内燃机车控制手柄依次上升 100 转，分为 500 r/min、600r/min、700r/min、800r/min，每次 1 小时。

注：空转磨合转数应低于本型机车最高转数 200r/min。

⑤. 内燃机车司机控制手柄“0”位。

⑥. 将产品 b 瓶油料全部压入专用油泵储油处，将油料反复搅匀，用专用油泵压入柴油机主机油系统。

⑦. 传动机车柴油机负载磨合 4 小时，将内燃机车控制手柄依次上升 100 转，分为 500 r/min、600r/min、700r/min、800r/min，每次 1 小时。液力传动机车空载磨合 4 小时。（注：磨合转数应低于本型机车最高转数 200r/min。）

⑧. 试验机车投入正常运用，干线机车走行 300 ± 50 KM，调车机车运用 24 小时后，按①、②、③项步骤将 c 瓶油料全部添加试验机车，空转磨合 2 小时，分别为 600r/min、800r/min 各 1 小时。

⑨. 试验机车投入正常运用，干线机车走行 1000 ± 50 KM，调车机车运用 72 小时后，按①、②、③项步骤将 d 瓶油料全部添加试验机车，空转磨合 2 小时，分别为 600r/min、800r/min 各 1 小时。机车投入正常运用。

⑩. 试验机车运用 30 万公里（或 1 个中修期）须进行油液成分光谱分析。

2、作业后机车技术状态检测（按专用表格填写，附表 2）

四、应用试验效果分析意见

自 1999 年至今，经过内燃机车活塞发动机对“金属磨损自修复材料”应用技术的实践验证，我们发现机械零件摩擦表面磨损自修复过程实质上是机械零件靠自身动力使其摩擦副摩擦表面，借助矿物质超细粉体进行自研磨精加工。其过程分两步进行：第一，以润滑油为载体，将矿物质超细粉体带入摩擦副表面，矿物质超细粉体附着在汽缸套、活塞、活塞环摩擦表面。第二，活塞、活塞环通过上下行程的往复运动，摩擦副表面借助矿物质超细粉体进行自研磨精加工，使其表面产生超硬、超滑的金属陶瓷层。该金属陶瓷层的产生即完成了金属磨损自修复的全过程。

根据统计资料数据和内燃机车运用走行 30 万公里后的检测结果，可以得出如下结论：

1、通过对汽缸套表面检查、测量，证明汽缸套表面确有金属陶瓷层存在，颜色为黑灰色，摩擦表面光滑，表面硬度增高，确有耐磨功效。

2、机车运行 30 万公里中修，中修期间润滑油未曾更换。BJ2008 机车机油粘度运行到 20 万公里时，已低于部颁标准（10.5），最低在 7.97 时仍继续运用。DF11—063、163 机车运行 15 万公里时，润滑油老化，斑点 4 级，按部颁标准应该换油，因试验未换，中修检查曲轴、凸轮轴轴瓦及各摩擦副状态良好。可以认为应用该技术处理过的柴油机润滑油技术指标可以适当降低等级。

3、3 台机车自开始试验，截止到 30 万公里中修，检测柴油机各缸有关技术指标均保持最佳状态，多数缸压缩压力 2.8—2.9MPa（正常技术指标 2.65—2.95 MPa），运用期间柴油机未发生任何临修、碎修，柴油机技术状态稳定，确认柴油机活塞、活塞环、汽缸套均接近“零磨耗”，为新

品尺寸。这一结果，将对铁路系统内燃机车修程、修制改革提供实践依据。

4、经热力工程师计算，BJ2008 机车自 2000 年 12 月到 2001 年 12 月，与 1999 年 12 月到 2000 年 12 月相比，燃油单耗下降 9.6%，DF11—063 机车自 2001 年 4 月至 2002 年 1 月机车燃油单耗比 2000 年 4 月至 2001 年 1 月燃油单耗下降 4.1%。该指标证明使用“金属磨损自修复材料”确有明显的节油效果。

五、经济效益分析及推广应用前景

应用试验的四点结论意见和有关技术资料表明金属磨损自修复材料在内燃机车活塞式发动机上试用成功，产生了明显的经济效益。早期试验的 BJ 型 2008 机车和 DF11—063 机车，两种不同型号机车，分别经过了一个中修期（30 万 km）试验，在柴油机主要摩擦副机件不更换的条件下继续试验，截止到 2002 年 7 月底，试验时间分别累计为：99 年 11 月 5 日～2002 年 7 月 31 日，走行公里已达 447,939 公里；2001 年 4 月 25 日～2002 年 7 月 31 日走行公里已达 411,061 公里。目前试验机车柴油机运用一切正常，性能卓越，仅此项就节省了数万元的内燃机车检修费用。BJ 型机车，中修检修费 18 万元（不包括 10 次辅、小修费用），DF11 型机车，中修检修费 62 万元（不包括 10 次辅、小修费用）。如果再加上一个中修期运用期间（两台机车燃油节油率分别为 9.6%，4.1%）的燃油节省费用和中修期间不更换润滑油，节省润滑机油费用，累计统计每台机车平均节省人民币十余万元，相当金属磨损自修复材料产品售价，如果试验机车安全运用 60 万公里（两个中修期），那么估算金属磨损自修复材料产品的性能价格比为 1：2。这仅是机车可见运用成本的具体分析。如果按上述两台机车的技术性能测算，社会效益会更大。事实证明 BJ 型 2008 和 DF11—063 机车性能的提高，大大提高了机车在线利用率，降低了机车检修率，达到了世界发达国家的先进水平。目前按我国内燃机车运用台数统计，其检修率下降 1%，就相当于铁路系统每天多投入 150 台机车的运用能力（按目前内

燃机车的价值计算，国家就节省了数亿元的资金)。铁路系统运输能力的提高，将大大加速我国的经济建设的发展。如果铁路系统在其摩擦、磨损的主要技术领域里，动力机械、轴承、齿轮、轮对，钢轨等，全部采用金属磨损自修复技术，那将获得巨大的经济效益。

因此，我们认为“金属磨损自修复材料”技术是一种全新的金属表面工程处理技术，将对我国工业的节能降耗技术进步起到巨大的推动作用。

在上述的内燃机车试验中，我们采用“金属磨损自修复材料”，敢于突破机车柴油机润滑油粘度降低的禁区，获得了活塞式发动机机油粘度降低，可大幅度节约燃油的实际效果，这样“金属磨损自修复材料”技术的应用，将为我国动力机械润滑理论提出了新的课题。

十五期间，我国将在 5 千米高原上建设青藏铁路，这一区段将以内燃机车为主力，这将向世界名牌内燃机车制造厂提出挑战，低温、空气稀薄、风沙大、雨雪等等恶劣环境，将对内燃机车的品质进行考验。由于我们对内燃机车柴油机进行了“金属磨损自修复材料”试验，大幅度降低润滑油粘度，这就大幅度的降低了动力机械的运动阻力。“金属磨损自修复材料”技术的高品质使其动力机械摩擦副表面产生超硬、超滑的金属陶瓷层。在担当青藏铁路运输主力军内燃机车技术性能的挑战中，“金属磨损自修复材料”技术将得到在苛刻条件下的品质验证。

北京铁路分局内燃机务段

(技术科张伍福执笔)

二〇〇二年八月