

399458

内燃机车燃油的节约和 热工技术的现代化改造

A.З.霍米奇

O.И.图皮秦 著

A.Э.西姆松

林宏迪

顾永麟

译

中国铁道出版社

内燃机车燃油的节约 和热工技术的现代化改造

A.З.霍米奇

О.И.图皮秦 著

A.Э.西姆松

林宏迪

译

顾永麟

中 国 铁 道 出 版 社

1981年·北京

А.З.Хомич, О.И.Тупицын, А.Э.Симсон
Экономия топлива и теплотехническая
модернизация тепловозов
Москва «ТРАНСПОРТ» 1975

内燃机车燃油的节约和热工技术的现代化改造

А.З.霍米奇 林宏迪 译
О.И.图皮秦 著 顾永麟
А.Э.西姆松

中国铁道出版社出版

责任编辑 杨宾华

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 7.625 字数: 169 千

1981年2月 第1版 1981年2月 第1次印刷

印数: 0001—2,000册 定价: 0.80元

目 录

前言	1
第一章 内燃机车运用条件对柴油机各种工况和燃油消耗的影响	3
第一节 干线货运和客运内燃机车柴油机的运用工况	3
第二节 调车内燃机车柴油机的工作	14
第三节 柴油机的启动过程	17
第四节 柴油机的过渡工作过程	25
第二章 柴油机平均运用经济性和可靠性的指标	30
第一节 柴油机的燃油消耗量和工作指标	30
第二节 运用数据的收集和整理的方法	42
第三节 工作可靠性准则的确定	56
第三章 柴油机在常用工况下的工作过程	64
第一节 工作过程的分析和内燃机车特性的理论计算	64
第二节 各种运用条件下柴油机非额定工况和空转时的工作过程	82
第三节 柴油机在过渡过程的工作	99
第四章 空转和低负荷时燃油消耗量的降低	107
第一节 Д100型柴油机曲轴最低转速的选择	107
第二节 ТЭ3型内燃机车2Д100型柴油机曲轴最低工作转速的降低	118
第三节 2Д100型柴油机一组气缸停止供油	130
第四节 2Д100型柴油机在空转和小负荷下的空	

气旁通	151
第五节 机油、水和增压空气温度的提高	155
第五章 柴油机在非额定工况下工作时牵引发电机 特性的变化	180
第一节 现代内燃机车的牵引发电机特性	180
第二节 使2Д100型柴油机的内燃机车特性接近 于经济特性	183
第六章 非额定工况下柴油机机油和水的温度的提 高	197
第一节 机油和水的温度的提高对Д100型柴油 机工作的影响	197
第二节 ТЭ10和ТЭ3型内燃机车装用两级调温 系统的现代化改造	202
第三节 机油和水的温度的提高对Д50、Д70和 Д49型四冲程柴油机工作的影响的分析	211
第七章 非额定工况下柴油机功率的附加调节	214
第一节 环境温度和压力对Д100型柴油机工作 的影响	214
第二节 秋冬季节功率的附加自动调节	218
结论	227

前 言

我国铁路要消费大量的能源，特别是柴油机燃料。由于内燃机车所承担的运量在增加，燃油的年消耗量就更多，因此，减少燃油的消耗是有重大意义的，并且还要求挖掘新的潜力来进一步降低燃油消耗量。

改善运营管理工作、改进内燃机车修车质量和提高乘务组的业务水平等，都是铁路上经常用的节约燃油消耗量的可靠手段。然而，提高运用内燃机车的动力有效利用率，以及对内燃机车做现代化改造也都有着重要的作用，其中首先是对货运内燃机车，因为货运内燃机车的燃油消耗量占列车牵引总消耗的80%，特别又关系到目前承担货运量60%以上的T Θ 3型内燃机车和工业企业用的2T Θ 10JI型和2T Θ 116型内燃机车。

设计各种用途的柴油机时，通常是以保证额定工况下工作的可靠性和经济性作为决定性的因素，然而，铁路运输用内燃机车的柴油机有其本身的特点，由于工作条件与其它领域用的柴油机大不相同，故大部分时间是处于空转及低负荷或工况频繁变换，以及经常停车与启动的情况下工作。这些特点使机车在牵引中的功率利用率比较低，对T Θ 3型内燃机车来说不超过60%，对2T Θ 10JI型内燃机车来说不超过40%。换句话说，这些机车的功率平均只利用了一半。

鉴于机车柴油机的上述运用特点，在牵引货物列车的实际工作条件下（包括停车在内），T Θ 3型内燃机车的平均运用总效率大大低于额定工况时的内燃机车效率。内燃机车柴油机的动力有效利用率如此大幅度地下降，说明内燃机车柴

油机-发电机组不适应与额定功率稳定工况有显著区别的上述运用条件。

本书分析了在实际运用条件下机车效率下降的原因，并在此基础上提出了改善经济性的具体措施，其中包括：改善牵引发电机的励磁系统的措施，保证柴油机于低负荷时仍能在最经济的燃油消耗区域内工作的措施；提高非额定工况下的水温 and 机油温度以改善柴油机工作过程的措施；使发电机特性随环境温度的变化能自动调整，并接近于经济区的措施；预热低负荷时的进气空气温度来提高内燃机车低温运用经济性的措施；降低柴油机的最低转速以减少空转时的燃油消耗的措施；改善柴油机的启动过程和工况变换过程的措施等等。

本书的作者亲身参加了上述措施的实践，故书中的叙述不只是理论上的分析，而且是可以实际应用于内燃机车的热工现代化改造的。在分析这些措施的效果时，作者引用了改造后的内燃机车在日常牵引工作中多年的运用资料。

此外，书中还探讨了交通部机务总局对现有内燃机车实现综合性现代化改造的有关问题。

内燃机车经综合性现代化改造后的结果表明，其经济效益是使燃油消耗量下降 5 %。如环境温度在零度以下，经济效益将更好些，因此，采用书中所述的现代化改造措施，对贝加尔-阿穆尔铁路干线上工作的内燃机车有特别重要的意义。

目前可以利用机务段的力量，在 TЭ3 型和 2TЭ10JI 型内燃机车上实现综合性的热工技术改造，使柴油机-发电机组适应铁路运用的特殊条件。显然，这些措施，也适用于制造厂来改进内燃机车和柴油机-发电机组的结构，并可作为研究提高机车运用经济性时的参考。

第一章 内燃机车运用条件对柴油机 各种工况和燃油消耗的影响

第一节 干线货运和客运内燃 机车柴油机的运用工况

只有分析了内燃机车按工作类别、气候状况而变化的各种运用条件和决定其质量的大量指标之后，才能找出完善的途径，使内燃机车达到节约燃油消耗的最好效果。

1971~1975年间，按照交通部机务总局确定的任务和方法，在十二条铁路上用动力试验车所作的试验表明：在目前的列车重量、技术速度和区间速度条件下，T Θ 3型内燃机车牵引中的功率利用率平均不超过0.6，2T Θ 10Л型内燃机车的功率利用系数平均不超过0.4。

在现实的货运条件下，T Θ 3型内燃机车在运用期间的平均效率为20~21%（额定工况时为29%）。

为确定内燃机车效率在运用中降低的原因，作者提出了柴油机-发电机组平均运用经济性准则 K_{η} 这个概念来表示平均运用效率 $\eta_{\text{еср экспл}}$ 与额定工况时的效率 $\eta_{\text{ном}}$ 之比，公式为

$$K_{\eta} = \frac{\eta_{\text{еср экспл}}}{\eta_{\text{ном}}} = \frac{\sum \bar{P} \Delta \bar{\tau}_H}{\left(\sum \bar{P} \Delta \bar{\tau}_H \frac{\eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{e}}} + \sum \bar{b}_{\text{з,з}} \frac{\Delta \tau_{\text{з,з}}}{\tau_H} \right) K_{\Pi}}$$

式中 $\bar{P}$ —— $\Delta \tau_H$ 期间内，在给定的主控制器手把位（转速

$\bar{n}$) 上的相对功率,

$\Delta\tau_H$ ——柴油机在 $\bar{n}$ 和 $\bar{P}$ 负荷下的相对工作时间 (与整个工作时间 τ_H 之比);

$\bar{b}_{x,x}$ ——空转时的小时燃油消耗量与总燃油消耗量之比;

$\Delta\tau_{x,x}$ ——空转工作时间;

η_e ——给定功率 (非额定工况) 时柴油机的有效效率,

$$\eta_e = \frac{860P}{BQ_H},$$

$\eta_{e,HOM}$ ——额定工况时柴油机的有效效率;

K_n ——过渡过程中 K_n 的降低系数 (过渡过程是指柴油机工作在控制器手把变化时和因速度提高、牵引力改变、机车自身消耗负荷变化、空转以及其它情况而发生功率的自动变化时的过程)。

从公式得知, K_n 的降低与下列三种基本因素有关:

1. 非额定工况下柴油机效率的下降 (与额定工况时相比), 引起柴油机有效效率的明显降低。柴油机有效效率下降得愈大, 则对平均运用效率下降的影响也愈大。

2. 柴油机空转时间 $\Delta\tau_{x,x}$ 的延长 (特别在冬季) 以及该工况下相对燃油消耗量的增加。

3. 内燃机车在运用中的过渡过程, 以系数 K_n 表示之 (与该过程的品质及其延续期有关)。

上述这些因素都会导致平均运用效率的降低, 并说明内燃机车的柴油机-发电机组不适应运用的条件。因此, 为提高内燃机车的平均运用经济性, 必须使内燃机车特性接近最低燃油消耗区, 缩短柴油机的空转时间和降低空转时的燃油消耗量, 并且减少过渡过程的次数和过渡过程时间。

毫无疑义，为改善内燃机车的经济性，应当注意柴油机辅助工况下工作过程的改善。此处的辅助工况是指柴油机的空转、启动、停车、甩车、修理和维护时的工作等。

内燃机车主要在货运密度较大的单线区段运用，因而柴油机大部分时间是在非额定工况和辅助工况下工作的。

试运结果表明：货运内燃机车大部分时间是在额定功率50~60%的负荷下工作的。在客运内燃机车上，尤其是调车内燃机车上更是如此，它们的最大功率实际上不能得到发挥，所以只有分析内燃机车的运用条件，即分析影响其平均运用效率降低的因素，才能制订并推广那些能提高 K 的措施。

内燃机车柴油机在运用中长期处于空转和低负荷工况。在这些工况下，其工作过程参数往往要严重恶化，故内燃机车的平均燃油消耗主要取决于非额定工况下的工作。然而在设计柴油机时，却往往只考虑其额定工况或接近额定工况时的工作可靠性和经济性，这就导致柴油机结构所体现的可靠性和经济性不能得到充分的利用。

对内燃机车柴油机辅助工况的研究，值得引起重视。该工况下柴油机的工作时间受到各种因素的影响，诸如机车型式、列车重量、线路断面、气候条件、技术装备和区段性质（复线、单线、混合线）以及货运量（货运内燃机车）、客运量（客运内燃机车）、调车性质与工作量（调车内燃机车）等。

可以采用数学统计法来整理各种线路上内燃机车长期运用的大量资料，以便求得柴油机在各种工况下的平均工作时间。动力试验车记录带上自动记录的数据是分析柴油机工况的主要原始资料，而目测的资料，其可靠性就差多了。

根据哈尔科夫铁道学院和南方及西南铁路局若干机务段

的经验，内燃机车速度表上的记录带可直接记录各种工况。当然，除了记录运行中工况的延续时间外，还必须记录其在机务本段和折返段中的停留时间、双机联挂中的单节机车工作时间以及柴油机的停车和启动次数等等。

交通部机务总局和铁道科学研究院用动力试验车做了大量的试验。根据大量数据的统计和整理，得出了TЭ3型内燃机车和2TЭ10Л型内燃机车在整个行车期间内各种负荷下工作的时间分布情况（表1）。

表1

柴 油 机 工 况	工 作 时 间 的 分 布 (%)	
	TЭ3型内燃机车	2TЭ10Л型内燃机车
负 荷 (%) :		
25及以下	2.0	3.9
26~50	11.2	7.4
51~75	23.9	23.2
76~100	28.5	27.0
其中100%的占	6.8	3.4
空 转	34.4	38.5

从负荷工作时间分布中可知，2TЭ10Л型内燃机车实现最大计算功率的时间，差不多比TЭ3型内燃机车少50%。图1和图2表示内燃机车在上述试验时整个运行期间（包括空转）内在主控制器各手把位上工作时间的分布图。图3为奥斯诺瓦机务段TЭ10Л型内燃机车在客运和货运方面的类似分布图。

从表2可以明显地看到线路区段的性质对柴油机工作时间分布的影响。表2的数据取自铁道科学研究院对TЭ3型内燃机车的统计资料〔28〕。

西南铁路局科罗斯金分局将TЭ3型内燃机车一年内牵

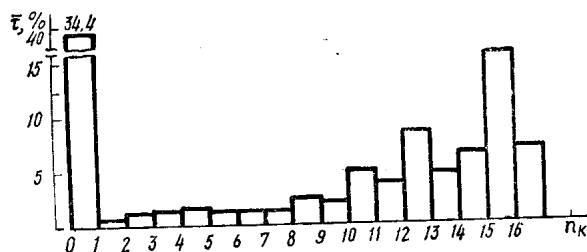


图1 T $\oplus$ 3 型内燃机车运行期间按各手把位 n_K 的工作时间 $\bar{\tau}$ 分布图

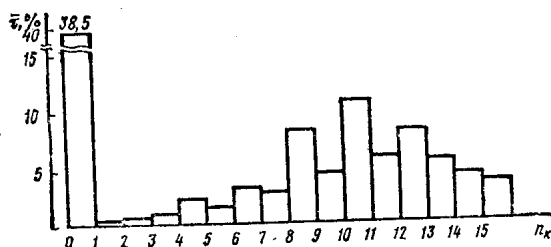


图2 2T $\oplus$ 10 II 型内燃机车运行期间按各手把位 n_K 的工作时间 $\bar{\tau}$ 分布图

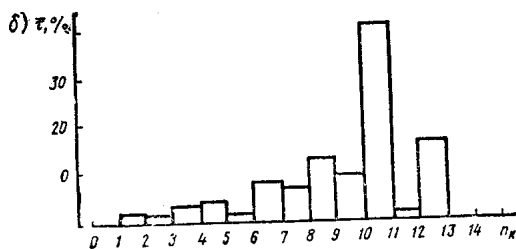
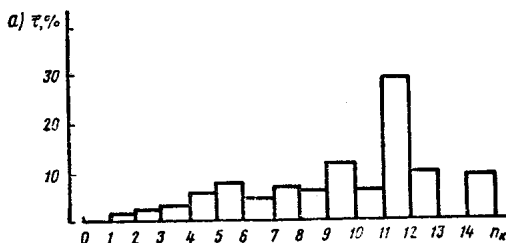


图3 T $\oplus$ 10型内燃机车按各手把位的工作时间 $\bar{\tau}$ 分布图
a——货运, b——客运。

引六种重量等级的列车在各工况下工作时间分布的数学统计结果列于表3中。

表2

柴油机工况	不同区段和机务段内工作时间的分布 (%)					
	复 线		混 合 线		单 线	
	1	2	3	4	5	6
负 荷 (%) :						
25以下	2.7	2.0	5.3	5.4	1.1	0.3
26~50	10.2	8.7	9.2	12.2	5.2	3.4
51~75	9.6	6.8	5.1	18.7	4.2	8.5
76~100	49.5	32.2	40.0	31.3	33.4	30.3
空 转	28.0	50.3	40.4	32.4	56.1	57.5

表3

柴 油 机 工 况	工 作 时 间 的 分 布 (%)						
	列 车 重 量 (吨)						
	1500 以下	1500~ 2000	2000~ 2500	2500~ 3000	3000~ 3500	3500 以上	平均值
负 荷 (%) :							
25以下	4.53	3.85	3.67	3.00	2.50	2.00	3.69
26~50	8.30	8.71	4.20	3.50	3.00	2.00	6.79
51~75	29.41	22.77	18.01	20.16	16.34	10.31	24.12
76~90	6.90	23.67	24.22	25.00	28.00	39.49	16.81
91~100	0.86	1.00	1.30	1.79	3.63	10.00	4.68
空 转	50.0	40.1	48.6	46.55	46.53	36.2	43.91

内燃机车柴油机在各种运用条件下的负荷程度，最好用功率利用系数表示

$$K_D = \frac{N_{\text{exp}}}{N_H} = \frac{\sum N \Delta \tau_H}{N_H \sum \Delta \tau_H}$$

柴油机牵引期间的平均功率，可按其燃油消耗量做近似地计算

$$N_{\text{с.с.р.}} = \frac{\Sigma B - \Sigma \Delta \tau_{xx} B_{xx}}{C_{\text{с.с.р.}} \Sigma \Delta \tau_H}$$

式中 ΣB ——观察期间的燃油消耗量；

$\Sigma \Delta \tau_H$ ——负荷下的工作时间；

$C_{\text{с.с.р.}}$ ——柴油机带负荷时的平均燃油消耗率；

N_H ——柴油机的额定功率。

列车重量的增加，对 TЭ3 型内燃机车的功率利用系数产生重大的影响（表 3），该功率利用系数的增加是由于高负荷（76~90%）工作时间的延长以及空转工作时间的缩短的缘故。

在各种区段内带负荷工作时，柴油机和内燃机车的平均功率利用系数列于表 4 中。

表 4

区 段	内燃机车型号	内燃机车功率 利用系数*	柴油机功率利 用系数**
秋旺——卡梅什洛夫	TЭ3	0.59	0.78
莫札依斯克——斯摩林斯克	TЭ3	0.53	0.78
科托夫斯克——宾德雷	TЭ3	0.44	0.62
列宁格勒——魏堡	TЭ3	0.47	0.73
克拉斯诺乌夫姆斯克——都 鲁日尼诺	2TЭ10Л	0.39	0.64
格列宾卡——巴赫马齐	2TЭ10Л	0.48	0.64
奥斯诺瓦——沃罗日巴	2TЭ10Л	0.40	0.61
达尼洛夫——马拉舒依卡	2TЭ10Л	0.38	0.60

注：*包括空转时间在内；**带负荷工作时间。

包括空转时间在内的机车平均功率利用系数，TЭ3 型内燃机车为 0.51，而 2TЭ10Л 型内燃机车为 0.42。

1960年铁道科学研究院在一系列铁路区段内曾对TЭ3型内燃机车柴油机功率利用系数进行过研究。1971年机务总局和铁道科学研究院又共同作了试验。从这次试验结果与1960年的数据相比来看，TЭ3型内燃机车的功率利用情况并无显著提高。例如，TЭ3型内燃机车柴油机1960年的平均功率利用系数为0.69，而1971年为0.73。

货物运输主要依靠TЭ3型内燃机车，而最近五年来2TЭ10Л型内燃机车才开始得到广泛使用。这些机车完成的货运工作量，1968年占8.4%，1972年增加到28.5%。表5列出了TЭ3型内燃机车和2TЭ10Л型内燃机车的平均线路工作量和其相应的燃油消耗的运用计算指标。

表5

指 标	年 份				
	1968	1969	1970	1971	1972
内燃机车货运工作比重(%)：	8.9	8.4	7.9	7.4	68.2
单位燃油消耗量：	8.4	14.0	19.0	24.0	28.5
(完成工作的计算单位e, 公斤/万吨公里)	43.4	43.7	43.0	42.6	42.8
	44.6	44.5	43.4	43.3	43.0
$\frac{e_{2TЭ10Л} - e_{TЭ3}}{e_{TЭ3}} 100\%$	2.77	1.60	0.93	1.64	0.47

注：分子表示TЭ3的指标，分母表示2TЭ10Л的指标。

2TЭ10Л型内燃机车按其货运单位燃油消耗量的计算指标，比TЭ3型内燃机车平均高1.5%，故经济性差些。

2TЭ10Л型内燃机车在轮周功率 $\overline{P}_H$ 时的有效效率相当高(图4)。在接近额定功率 $\overline{P}=0.5\sim 1.0$ 的工作范围内，2TЭ10Л型内燃机车的有效效率比TЭ3型内燃机车平均高9.2%。

然而，对比这两种机车的平均运用有效效率，则情况就不一样。图4中列出了TЭ3型和2TЭ10Л型内燃机车的机车效率。这些由机务总局和铁道科学研究院运用试验所得的数据表明，在运用条件下，TЭ3型内燃机车的效率很接近其履历簿的数值（最多低2.3%），而2TЭ10Л型内燃机车的效率却大大低于其履历簿的数值（平均低9.3%），这是由于车轮空转的倾向性和过渡过程的品质差而使燃油消耗量增加的缘故。

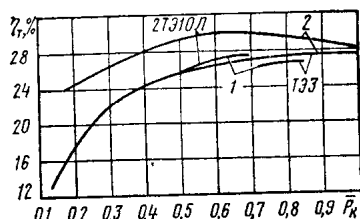


图4 内燃机车效率 η_r 为相对的轮周功率 $\bar{P}_k$ 的关系（速度范围30~70公里/小时）

1 —— 运用试验值；2 —— 牵引热工试验值。

此外，根据作者的研究，柴油机-发电机组在运用中，其工作特性大大地偏离履历簿的数值：柴油机-发电机组的功率有波动（按手把位达150~200千瓦），各气缸的工作不平衡。非额定工况下的机油、水和增压空气的温度大为降低，特别在冬季运用期间更是这样，而空转时间的延长又引起了在排气口处的燃烧。

由此，从上述柴油机运用工况和时间的数据中可以清楚地看到，其空转工况占有很大的比例。若不估及气候条件，TЭ3型和2TЭ10Л型内燃机车柴油机的平均空转时间约占其全部工作时间的50%。

根据统计资料看出：冬季由于柴油机预热时间的延长和其它客观及主观的原因，柴油机的空转和低负荷时间要增加10~15%。为保持机车停车时的水温 and 机油温度，通常只能使柴油机在无负荷下工作。根据“十月铁路局”的资料，在外温为 -30°C 下冷却器铺以防寒被时，TЭ3型内燃机车柴油

机为了预热而在无负荷下工作的时间占整个户外停车时间的60%。当TЭ3型内燃机车取消了预热锅炉时，柴油机的预热次数和持续时间还要增加。

内燃机车在冬季运行时，其燃油消耗量增加10~12%，机油因稀释和掺水而更换的次数也增多。在此期间气缸活塞组零件和冷却装置的故障增加，线路运行中的临修和破损增加一倍。大部分（40%）是属于柴油机的故障，并且导致燃油的附加消耗。对预防性检查和各种类型段修的费用进行分析后可以看出，气候条件对其费用和工作量的影响很大。例如每运行一千公里的费用，在南方铁路局奥斯诺瓦机务段为36.6卢布，而在北方铁路局佩乔拉机务段为61.8卢布。

对于10Д100型柴油机，上述不利因素还要加剧，因为其增压空气的冷却系统是按额定工况的最大冷却值计算的，而冬季期间的空转和低负荷时使空气温度低于最佳值。此时，柴油机的经济性和可靠性变劣，空转时间增加。为避免附加冷却器的结冰，所以户外停车的整个期间内，柴油机实际上都在空转。按整个铁路计算，每年用于预热柴油机的燃油消耗近50万吨。

空转的工作时间可分为：机务本段和折返段的停车；运行线路上的停车；运行期间的空转。

空转的工作比重受下列因素所决定：主循环中油温和水温的保持，对于装用10Д100型柴油机的机车还有附加循环的油温和水温的保持，制动管路和电空设备压缩空气的供给，蓄电池组的充电等等。

运用中，柴油机空转时的燃油消耗占全部消耗的8~12%。这种消耗量是很可观的，倘若考虑到内燃机务段的全部运用费的50%是燃料费用，则更是如此。柴油机长期空转工作要导致：活塞环结碳并随之产生缸套和活塞环磨损加剧