

文章编号: 0451-0712(2005)01-0030-07

中图分类号: U416.2

文献标识码: A

路面表面特性与汽车油耗关系研究

周育峰, 张浩然

(中交公路规划设计院 北京市 100010)

摘 要: 分析了路面表面特性与汽车油耗的相互关系, 并从节约能源和公路可持续发展的角度出发, 提出了所要求的道路表面特性。相关内容对于我国路面的设计、研究与养护具有重要的参考价值。

关键词: 路面; 表面特性; 汽车油耗

1 引言

1.1 路面表面特性

路面表面特性主要是由道路表面沿路线纵断面方向(轮迹方向)的纵向特性以及沿路面宽度方向的横向特性组成。纵面特性主要是根据路面路表波长, 对道路表面特性按形状尺寸从几何角度分成微观构造、宏观构造、巨型构造和不平整度, 具体分类见表 1。而横向特性主要指的是车辙。路面车辙产生的“沟槽效应”直接影响着车辆与路面间的相互作用, 亦即影响着车辆的制动效能和制动时车辆的方向稳定性, 并且对前者的影响尤为显著; 车辙内雨天积水, 对两者影响更大, 直接关系到行车安全。另外, 路面表面弯沉是反映路面强度性能的一项重要指标。

表 1 路面表面特性的分类

表面特性	频率范围	
	波长	单位长度波的个数 循环次数/m
微观构造	$< 0.5 \text{ mm}$	$> 2\ 000$
宏观构造	$0.5 \sim 50 \text{ mm}$	$20 \sim 2\ 000$
巨型构造	$50 \sim 500 \text{ mm}$	$2 \sim 20$
不平整度	$0.5 \sim 50 \text{ m}$	$0.02 \sim 2$

不平整度是对道路沿纵断面方向表面形态的描述。为了使不平整度的不同衡量尺度能在统一的基础上进行比较, 在世界银行的赞助下, 1982 年在巴西召开的国际道路平整度试验会议上, 提出了国际平整度指数(简称不平整度指数) IRI 概念。 IRI 用来表征, 轮迹方向上道路表面的起伏变化, 用平均调整坡度(ARS)来定义, 该值的确定是用一个标准

的 1/4 汽车数字模型, 沿着量测断面以 80 km/h 的速度行驶时, 悬架颠簸累积值与行驶距离的比值, 其计量单位为 m/km 。对于公路而言, 波长短的不平整度 ($IRI < 3 \text{ m/km}$) 使得汽车的跳跃降低到通过汽车悬挂系统即可消化, 而不平整度指数在 $7 \sim 28 \text{ m/km}$ 范围内时, 汽车车身将会在悬挂系统上颠簸。

1.2 汽车油耗及影响因素

汽车的油耗直接关系使用成本。汽车燃油经济性的指标, 是指汽车在一定使用条件下, 以最小的燃油消耗量完成一定行驶里程数的能力。各国的度量单位制及衡量习惯有所不同, 中国、日本和欧洲大多数的国家一般采用 $\text{L}/100 \text{ km}$ 表示方法, 即采用行驶 100 km 所消耗的燃油量作为汽车燃油经济性的指标。

影响汽车油耗的因素很多, 主要有汽车本身的性能(如汽车的动力和传动系统, 包括发动机、变速箱与驱动执行单元、车的造型和轮胎规格等), 以及所行驶的路面环境和驾驶技术, 都对汽车燃油经济性有重大影响。研究表明, 汽车本身性能及驾驶技术所消耗的能量几乎占 80% , 剩余的 20% 是用来克服各种不同的阻力(包括速度变化的惯性阻力、纵断面线形、滚动摩阻力及空气阻力)。从广义角度而言, 燃油经济性就是燃油的能量乘以汽车运行的效率。因此, 提高燃油经济性的途径不外乎 2 条: 一是提高效率(使燃料充分燃烧), 二是降低负荷(减少阻力, 少做功)。汽车运动是为了克服 3 种阻力(惯性力、空气阻力和道路滚动摩阻力)而做功。

道路表面特性直接影响滚动摩阻力大小, 路面表面构造及不平整度的大小直接影响到行车的速

度、车辆的油耗、机械的磨损以及乘车的舒适性;路面强度或刚度影响汽车轮胎与路面接触面积及阻尼力的大小,从而影响汽车轮胎滚动摩阻力的大小,进而影响汽车油耗.对各类汽车在不同的运行条件下,尤其是在不同道路条件下所产生的不同油耗进行分析、预测,一直是各国道路经济学者非常重视的一个研究课题。

2 汽车油耗与路面表面特性的关系分析

目前,研究路面表面特性与汽车油耗的关系有 2 种方法:一种是用同一辆汽车,以固定车速在不同的

路面上行驶,直接测量其耗油量;第二种是用不同的汽车,以固定车速在不同的路面上行驶,测量不同路面的滚动摩擦系数和相应油耗,建立路面构造、不平整度引起的滚动摩擦阻力与汽车油耗的关系。下面是自 20 世纪 80 年代以后关于汽车油耗同路面不平整度、路面表面构造、路面强度关系的一些研究成果。

2.1 汽车油耗与道路不平整度的关系分析

一些关于汽车油耗同道路不平整度关系的研究结果,概括见表 2。这些结果都统一换算成基于每变化 1 个单位的不平整度指数 *IRI* 时,相应油耗的百分率变化。

表 2 等速情况下路面不平整度对油耗影响的研究成果

来 源	研究方法	IRI 变化范围	汽车类型	每单位 IRI 引起的变化率/%	
				摩擦阻力	油耗
Young(1988)	滑道试验—人工粗糙度	1.3~4.0	货车		4.1
	直接测油耗—人工粗糙度	3.3~5.6	小汽车		3.1
	直接测油耗—汽车并排	2.3~4.4	小汽车		3.6
	直接测油耗—变化路表	1.7~5.4	小汽车		0.8
Ross(1982)	直接测油耗—变化路表	0.5~3.7	小汽车		0.4
Bester(1984)	测滚动摩阻力—变化路表	1.4~5.5	小汽车	2.6	0.5
Descornet(1990)	测滚动摩阻力—变化路表	0.8~7.7	小汽车	4.0	0.8
Laganier 和 Lucas(1990)	测滚动摩阻力—变化路表	1.0~6.0	小汽车	6.0	1.2
Sandberg(1990)	直接测油耗—变化路表	1.0~6.0	小汽车		1.7
Du Plessis 等(1990)	测滚动摩阻力—变化路表	1.2~15	小汽车	3.4	0.7
			货车	4.4	1.1
Watanatada 等(1987)	测滚动摩阻力—变化路表	2~14	小汽车	2.5	0.5
			货车	1.8	0.5

由表 2 可知,Watanatada 和 Du Plessis 等人研究的不平整度指数 *IRI* 变化范围比较宽泛,其余研究成果的 *IRI* 变化范围都是公路网中实际水平值。

Young(1988)是通过英国交通研究试验室的滑道试验及机械模型,对汽车油耗进行研究。Young 的前 3 种试验结果显示,*IRI* 每增加 1 m/km,引起的油耗增量为 3.1%~4.1%,较其他研究结果要高,也许是由路面不平整度统计和油耗间转换口径不一致而引起的。

Ross(1982) 是通过威斯康星州(Wisconsin)公路局指导研究的,油耗是通过在 5 段不同路面不平整度水平的公路上以 88 km/h 的车速行驶直接测得。其研究结论是:*IRI* 每增加 1 个单位(1 m/km),油耗增加 0.4%。

Descornet(1990)研究了轮胎相对于不同路面

的滚动摩阻力,同时也研究了路面表面其他方面的性能。研究发现,不平整度中影响滚动摩阻力的主要是波长短于 10 m 的不平整度。其研究结论是:*IRI* 每增加 1 个单位(1 m/km),滚动摩阻力增加 2.6%,油耗增加 0.5%。

Laganier 和 Lucas(1990)给出的是法国在这个领域的研究成果,采用直接在路上测油耗的方法,并于试验轨迹上测滚动摩阻力。主要结论是:在法国道路上的不平整度变化范围内,*IRI* 每增加 1 个单位,滚动摩阻力增加 6%,汽车油耗增加 1.2%。

Sandberg(1990)报告的是瑞典的研究成果,研究的是宏观构造、巨型构造和短波不平整度(波长小于 5 m)。通过在 20 条道路表面直接测油耗的方法,研究得出:*IRI* 值每增加 1 m/km,油耗增加约 1.7%。

Watanatada 等人(1987)及 Du Plessis、Visser 等人(1990)用来试验的路面,其不平整度指数 *IRI* 变化范围较宽泛,包括碎砾石路和土路表面,宏观构造深度作为一个附加变量包含在内。研究结论是:*IRI* 值每增加 1 m/km,油耗增加约 0.5%~1.1%。

2.2 不平整度、油耗与车速的关系分析

道路的不平整度直接降低驾驶的舒适性。早期的研究表明,当路面表面不平整度大时,驾驶员会减慢车速来满足行驶的舒适性。很多汽车油耗模型(例如世界银行的 HDM-3)研究表明,许多公路在维修后的表面随不平整度的增大,其油耗反而减少。这主要是因为不平整度的增加导致了车速降低,最终因车速减低而使得空气阻力减小,从而减少油耗量,其值较因不平整度引起的滚动摩阻力增大而增加的油耗量要大。随着不平整度的增大,产生的汽车油耗也会增加。但在正常的平整度范围内,油耗变化的幅度不大。如汽车以 10 km/h 时速行驶,在不平整度指数 *IRI* 为 15 m/km 的道路上的油耗与 *IRI* 为 3 m/km 的道路上的油耗相比,大小没有显著变化,而在不平整度指数 *IRI* 为 15 m/km 的道路上,汽车的速度因舒适性要求也很难行驶到 40 km/h 以上的速度。图 1 为车速与油耗的关系图,图 2 为道路不平整度与车速的关系图。

因此,建立油耗与道路不平整度之间的关系时,车辆行驶速度是不可缺少的因素。

2.3 汽车油耗与道路不平整度指数间关系的推导

2.3.1 汽车油耗与车速的关系

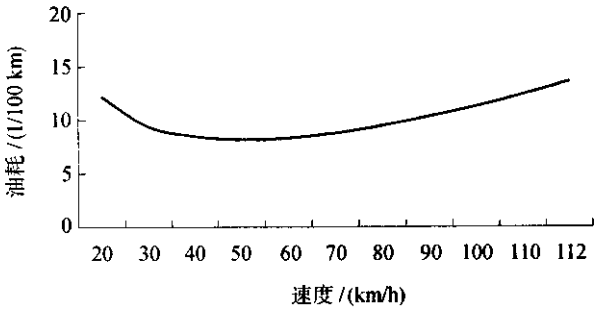


图 1 速度与油耗关系(中型轻便车)

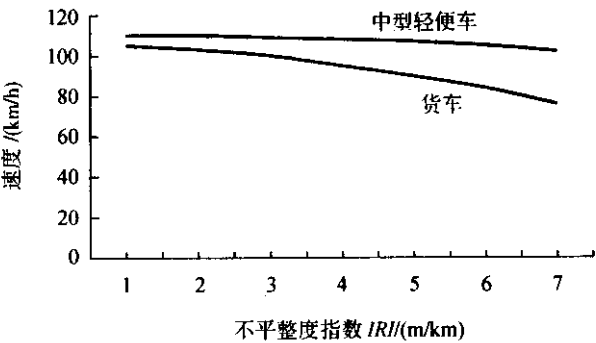


图 2 不平整度指数 *IRI* 与速度关系

参照参考文献,得到表 3 所列的汽车油耗与车速的关系,同时得到表 4 的基础数据,根据表 4 的数据,来推导汽车油耗与车速、路面不平整度指数的关系。

2.3.2 汽车油耗与车速、路面不平整度指数的关系

表 4 中汽车油耗变化的原因是路况的变化,在消除路线纵坡的影响后,路况的变化可以用不平整

表 3 汽车油耗与车速的关系

车型	道路	油耗范围 L/100 km	油耗均值 L/100 km	车速范围 km/h	车速均值 km/h	油耗与车速关系模型	相关系数 R^2
小轿车	高速	8.8~9.6	9.2	117~126	121	$y=0.086\ 9x-1.296\ 9$	0.895
	辅道	7.4~10.1	8.6	55~76	67	$y=0.001\ 8x^2-0.33x+22.34$	0.881\ 5
大客车	高速	33.8~36.6	35.3	69~91	78	$y=0.173\ 2x+21.887$	0.933\ 6
	辅道	29.6~32.8	28.5	45~58	49	$y=0.065\ 2x^2-6.77x+205.04$	0.699\ 3
重型货车	高速	33.5~36.1	35.2	66~71	67	$y=0.472\ 3x+2.621\ 4$	0.924\ 1
	辅道	30.1~32.9	31.2	41~57	49	$y=0.032\ 4x^2-3.12x+105.53$	0.863\ 6
轻型货车	高速	17.5~19.2	18.2	85~92	88	$y=0.196\ 4x+0.975\ 8$	0.929\ 1
	辅道	14.9~15.8	15.2	49~66	59	$y=0.005\ 7x^2-0.69x+35.78$	0.832
中型货车	高速	29.3~31.3	30.2	76~84	79	$y=0.241\ 8x+11.284$	0.934\ 9
	辅道	26.1~27.4	26.6	49~62	58	$y=0.02x^2-2.22x+87.85$	0.815\ 2

表 4 各种车型在 2 种道路上以给定速度行驶的油耗对比
(通过数据修正,消除路线纵坡的影响)

L/100 km

车速 km/h	大客		中客		小客		大货		中货		小货	
	高速	国道	高速	国道	高速	国道	高速	国道	高速	国道	高速	国道
20	38.9	41.4	18.8	20.4	10.2	11.3	41.1	45.4	27	29.9	16.6	19.9
30	32.9	34.8	16.2	17.2	8.84	9.6	32.7	35.3	23.2	24.4	13.4	15.8
40	28.3	29.7	14.1	14.8	7.71	8.23	26.7	28.5	20.3	20.6	10.8	12.7
50	25.2	26.5	12.6	13.2	6.79	7.19	23.3	24.9	18.2	18.3	8.98	10.4
60	23.5	25.3	11.7	12.3	6.06	6.46	22.3	24.5	16.8	17.7	7.81	9.11
70	23.3	26	11.3	12.2	5.53	6.06	23.9	27.4	16.4	18.8	7.31	8.72
80	24.5	28.6	11.5	12.9	5.22	5.97	28	33.6	16.7	21.5	7.49	9.25
90	27.3	33.2	12.2	14.3	5.09	6.21	34.7	42.9	17.8	25.8	8.36	10.7
100	31.4	39.7	13.5	16.4	5.17	6.76	43.8	55.5	19.8	31.8	9.9	13.1
110	37.1	48.2	15.4	19.4	5.44	7.64	55	71.4	22.6	39.4	12.1	16.4
120	44.1	58.6	17.8	23	5.92	8.83	69.7	90.5	26.2	48.6	15.6	20.1

度指数的变化来表征。通过对表 4 中数据的分析,推导出汽车油耗与车速、道路不平整度指数之间的关系式。

(1)大客。

$$F=-1.072\ 75\times V+0.008\ 453\ 4\times V^2+1.121\ 21\times IRI+53.005\ 15$$
$$R^2=0.942\ 9$$

(1)

(2)中客。

$$F=-0.453\ 41\times V+0.003\ 298\ 4\times V^2+0.424\ 24\times IRI+25.315\ 78$$
$$R^2=0.947\ 0$$

(2)

(3)小客。

$$F=-0.216\ 37\times V+0.001\ 305\ 5\times V^2+0.248\ 08\times IRI+13.365\ 80$$
$$R^2=0.948\ 6$$

(3)

(4)大货。

$$F=-1.647\ 06\times V+0.014\ 388\times V^2+1.589\ 90\times IRI+62.902\ 53$$
$$R^2=0.969\ 9$$

(4)

(5)中货。

$$F=-0.770\ 07\times V+0.006\ 140\ 4\times V^2+1.450\ 51\times IRI+34.504\ 65$$
$$R^2=0.789\ 9$$

(5)

(6)小货。

$$F=-0.566\ 12\times V+0.004\ 014\ 1\times V^2+0.562\ 22\times IRI+298\ 72$$
$$R^2=0.979\ 4$$

(6)

式中: F 为百公里油耗,L/100 km; V 为车辆行驶速度,km/h。

相关系数很高,证明了在分析汽车油耗时,不平整度指数可以在一定程度上综合表征路况的变化。根据相关分析公式可知,当不平整度指数增加 1 个单位(1 m/km)时,货车系列的油耗相应增加 4%~7%,客车系列的油耗相应增加 3%~4.5%。

根据我国《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ 073.2—2001)的规定,路面行驶质量的评价标准是根据行驶质量指数 RQI ($RQI=11.5-0.75\times IRI$) 的大小划分的, RQI 数值范围为 0~10。如果出现负值, RQI 取 0;如果计算结果大于 10, RQI 取值为 10。路面行驶质量标准与相应路面不平整度指数值见表 5。

表 5 路面行驶质量的评价标准

等级评价指标	优	良	中	次	差
RQI	≥ 8.5	[7.0,8.5)	[5.5,7.0)	[4.0,5.5)	<4.0
$\frac{IRI}{\text{m/km}}$	≤ 4.0	(4.0,6.0]	(6.0,8.0]	(8.0,10.0]	>10.0

要使路面行驶质量保证在中等水平以上,则要求行驶质量指数 $RQI\geq 5.5$,对应的不平整度指数 $IRI\leq 8.0$ m/km。因此,研究汽车油耗时,为能保证路面行驶质量在中等以上,则不平整度指数 $IRI\leq 8.0$ 较为符合实际。

2.4 路面表面构造对汽车油耗的影响

路面表面构造主要是通过影响汽车轮胎滚动摩

擦阻力而影响汽车油耗的,欧洲、南非、新西兰等国家和地区对这方面均有研究。

2.4.1 欧洲的研究

也许是因为欧洲自己的主干线公路网路面表面特性的缘故,当英、美等国家在致力于路面不平整度与汽车油耗关系研究的同时,欧洲一些国家把研究的重点放在路面表面的宏观构造、巨型构造对汽车油耗的影响上。以下是欧洲研究的主要结论:

(1) 路面宏观构造、巨型构造影响滚动摩擦阻力,进而影响汽车油耗;

(2) 当汽车在路表面上行驶时,由于路面表面特性的影响使轮胎产生跳跃,引起汽车悬挂系统的反应,通过对该反应模式的检测与研究后发现,在车速降到中等车速行驶时,巨型构造会引起汽车悬挂系统中额外能量的损耗;

(3) 较长波长的宏观构造及巨型构造(波长大约在 20~300 mm)对轮胎影响及能量的损耗特别明显;

(4) 在合理的道路状况下,宏观构造、巨型构造对客车的滚动摩擦阻力的影响与路面不平整度对其影响的原理是一样的;

(5) 不同的路面类型有着不同水平的宏观、巨型构造,即使是不平整度指数相同,但仍然会有不同的滚动摩擦阻力;

(6) 表面构造对滚动摩擦阻力的影响程度随着汽车轮胎半径的增加及轮压的增加而减少,因此,表面构造对大卡车滚动摩擦阻力的影响较其对小汽车滚动摩擦阻力的影响要小些;

(7) 波长短的不平整度、宏观构造及巨型构造都是相关联的,因此,一些滚动摩擦阻力的变化先前归因于不平整度,实际上应该归因于路面表面构造。

2.4.2 南非的试验

南非的试验目的是为了建立汽车油耗模型。他们是采用 3 种车型在多个能代表南非路面表面特性的试验段组成的滑道上进行试验。关于构造深度对卡车滚动摩擦阻力的影响没有统计数据。以下是客车的滚动摩擦阻力的相关公式:

$$CR = 0.19 - 0.00132TT + 1.27 \times 10^{-4}TT \times IRI + 8.61 \times 10^{-5}TT \times TD \quad (7)$$

式中: CR 为滚动摩擦阻力, N; TT 为轮胎温度, $^{\circ}\text{C}$; IRI 为不平整度指数, m/km ; TD 为构造深度, mm 。

当典型轮胎温度 $TT = 35^{\circ}\text{C}$, 上式变为:

$$CR = 0.1438 + 4.445 \times 10^{-3}IRI + 3.014 \times 10^{-3}TD \quad (8)$$

当路面不平整度指数 $IRI = 2 \text{ m/km}$ 时, 由式 (8) 可知, 构造深度每增加 1 mm, 滚动摩擦阻力增加 2%, 客车油耗相应地增加 0.4%。

2.4.3 新西兰的试验

新西兰的试验是通过客车在 13 段道路路面(含 11 段碎屑封层、2 段沥青混凝土面层)上进行的, 道路表面沥青层级配几乎包含了新西兰所有实际采用的封层粒径范围。采用的是较滑道试验高级的稳定扭矩法测滚动摩擦阻力。其滚动摩擦阻力的表达式, 既包括静态的摩擦部分(不依靠速度)又包含一小部分动态的摩擦阻力(依靠速度), 最终结论只包括静态部分。表达式如下:

$$CR_0 = 0.0124 + 0.00043IRI \times TD^2 \quad (9)$$

式(9)中的 CR_0 为静态滚动摩擦系数。由上式可得, 构造深度在较小(0.5 mm)时每增加 1 mm, 滚动摩擦阻力增加 7%; 构造深度较大(3 mm)时, 每增加 1 mm, 滚动摩擦阻力增加 30%。对于客车而言, 构造深度每增加 1 mm, 相应的油耗增加 1.4%~6%。

2.4.4 各种研究比较

不同国家和地区研究的结论差别较大, 主要是由研究方法及其试验条件的差别造成的。欧洲的研究结果与新西兰的结论相似, 但是欧洲的结论在油耗和宏观构造间只有一个变量, 其宏观构造对汽车油耗影响的研究结论与新西兰研究结论相比, 影响的程度较小。

新西兰的研究结果表明, 宏观构造对油耗的影响是欧洲研究结论的 2 倍, 而且它的研究目的是建立构造深度和油耗的关系式, 因此它的不平整度指数变化范围很狭窄($IRI = 1.4 \sim 2.2 \text{ m/km}$)。可以认为, 基本上为宏观构造对油耗的影响。但毕竟其结论与欧洲研究结论相差较大, 因此, 在结论推广使用前, 尚需做进一步的研究。

相对于其他研究结论, 南非的结论认为构造深度对油耗影响最低。南非的试验主要目的是为了建立汽车油耗与不平整度指数的关系, 构造深度是第二变量。试验路面为沥青混凝土路面、沥青细粒封层路面及砂砾石路面, 不平整度指数 $IRI = 1 \sim 15 \text{ m/km}$, 其中有些界于波长短的不平整度和宏观构造间的构造被忽略了, 因而造成构造对油耗的影响较小。

研究指出, 对于沥青混凝土路面 0.6 mm 的构

造深度,对于沥青细粒封层路面 1.7 mm 的构造深度,通常被认为是研究构造深度与汽车油耗的下限和上限值。表6 给出的是2 种表面的滚动摩擦阻力及油耗的关系。由表6 可知,客车在沥青细粒封层上行驶较在沥青混凝土路面上行驶多耗油 1.5%~3.0%。而对于水泥混凝土路面而言,主要依赖于路面的构造深度。

表6 客车在沥青混凝土和细粒封层路面上的滚动摩擦阻力和油耗相对差

路面类型	构造深度 mm	相对差/%	
		滚动摩擦阻力	汽车油耗
沥青混凝土(AC)	0.5	—	
细粒封层(Chip Seal)	1.7	7~14	1.4~2.8

2.5 路面变形对油耗的影响

反映路面强度的表面弯沉,对载重汽车的滚动摩擦阻力也有影响。水泥混凝土路面的倡导者常常比喻行驶在柔性路面的汽车是不断地从弯沉盆中爬出,进而引起汽车油耗增大。由基本的机械原理可知,汽车实际上不会爬弯沉盆,也不会因此损失能量。但是可以推测由于路面变形,阻尼作用会使汽车损失一部分能量。

新西兰的初步研究表明,在汽车行驶中轮胎作用于路面,因路面变形的阻尼作用,滚动摩擦阻力增加,汽车油耗会增加。通过试验测量车在4 种拥有相似表面特性而表面弯沉值不同的路面进行试验,得出下列表达式:

$$C_0=0.011+0.003\ 3D-0.000\ 44M\qquad(10)$$

式中: C_0 为滚动摩擦的静态系数; D 为贝克曼梁测得的弯沉值,mm; M 为卡车的重量,t。

对不同路面的典型弯沉,按式(10)计算的结果见表7。这在预测汽车油耗方面,比起道路工程协会通常所认为的结果,明显要大很多。这一结论在美国早期的研究结果(Zaniewski 等人,1982)中得到了支持。Zaniewski 等人研究发现,对不同的路面类型,货车油耗会产生20%的差别。

另外,有些权威研究表明,在沥青混凝土路面和水泥混凝土路面间,滚动摩擦阻力差值在5%~8%之间,而引起的汽车油耗差在1%~1.5%之间。表7显示不同路面间货车的滚动摩擦阻力差别较大,同时不同的研究结论差别也较大。因此,还有进一步研究的必要。如果新西兰的研究结论是正确的,那么路

表7 不同路面类型变形引起的滚动摩擦系数及油耗比较

路面类型	典型弯沉 mm	C_0	与水泥混凝土路面相对差/%	
			C_0	油耗
水泥混凝土路面	0.1	0.053	—	—
全厚的沥青混凝土路面	0.5	0.067	26	5
沥青路面面层	1.0	0.083	57	11
强粒料路面	0.8	0.076	43	9
弱粒料路面	1.5	0.100	89	18

面类型或路面强度将是影响汽车油耗的主要因素,而不是通常认为的路面不平整度。

3 结论

3.1 路面不平整度

路面不平整度对滚动摩擦阻力的影响,主要是通过波长短的不平整度,引起汽车悬挂系统能量的损失。对小汽车研究的大多数结论是:不平整度指数 IRI 每增加 1 m/km,滚动摩擦阻力增加 3%~6%,当以固定的速度行驶时,所增加的滚动摩擦阻力将增加 0.6%~1.2%的油耗。如果不平整度指数超过养护过的路面(不平整度指数大约在 5 m/km)实际值,相应的滚动摩擦阻力增加15%~30%,而引起的油耗增加 3%~6%。

对于不限速的道路,增加不平整度将会因为行驶的舒适性要求而降低行驶速度。此时增加不平整度引起的油耗增加与车速降低而减少空气阻力引起的油耗减少相互抵消。不平整度指数 $IRI=5$ m/km 对于小汽车和不平整度指数 $IRI=4$ m/km 对于大货车来讲,不平整度增加引起的滚动摩擦阻力的增加和车速减小引起空气阻力减少的效果基本上被抵消。但是现有模型没有考虑因为路面坑槽、洞穴而引起的汽车反复加速、减速的变化所增加的油耗。

除了因舒适性要求而控制驾驶速度的因素外,减少不平整度仍将会减少油耗量。

3.2 路面表面构造

小汽车的滚动摩擦阻力随着宏观构造和巨型构造深度的增加而增大,通过轮胎而丧失的能量就增加,波长在 20~300 mm 的构造影响尤为突出。

当路面构造深度每增 1 mm,滚动摩擦阻力增加 7.5%~15%,在同样的速度下相应的油耗增加 1.5%~3%。研究显示,一定范围的宏观构造和不平整度对滚动摩擦阻力的影响是一样的(3%~6%),由于宏观构造不能抵消速度的影响,其对油耗的影

响可能比不平整度影响还要大。

3.3 路面强度

研究表明,因为路面本身强度的原因会造成能量损耗的差异,强度较弱的路面在重荷载的作用下产生较大的变形,从而引起滚动摩擦阻力的增加,进而引起汽车油耗增加。新西兰的初步研究表明,路面强度对油耗的影响较先前建议的要大得多。在澳大利亚服役的大多数路面,因路面强度产生的油耗差异高达 18%。路面强度对货车油耗的影响尚需做进一步的研究。

3.4 节能型路面表面特性

关于如何减少滚动摩擦阻力而又不降低滑动摩擦力、安全性的问题,最大的可能在于使巨型构造和波长短(波长小于 3 m)的不平整度最小化,这两者与滚动摩擦阻力大小密切相关。因此,改变路面表面形态将是最有效的。研究表明,具有下列表面特性的路面能使汽车因路面的原因引起的油耗较小:路面不平整度指数 $IRI \leq 4$ m/km;路面构造深度在 0.55~1.5 mm 之间;无论是在晴天干燥还是雨天潮湿情况下,路面抗滑摩擦系数均变化不大,使之维持在

0.7~0.9 之间,既保证了足够的行车安全性,又使得汽车油耗值较小;路面表面弯沉值不大于 0.4 mm。

最新趋势是使用较小粒径集料碎屑封层来减少滚动摩擦阻力。这种小粒径集料封层既可以减少平均的构造深度(小于 1.5 mm),同时为了保证行车安全,又能提供潮湿天气下路面抗滑性能所要求的足够的构造深度(0.6 mm),减少车道范围内那些对滚动摩擦阻力有较大影响的路面构造所占比例。

参考文献:

- [1] 张登良. 沥青路面[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [2] 黄仰贤(美). 路面分析与设计[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [3] 张卫华,等. 京石高速公路及其辅道汽车油耗比较分析[J]. 公路交通科技,2003,20(3).
- [4] 贾洪飞,等. 高速公路后评价油耗指标的确定与对比[J]. 吉林大学学报(工学版),2004,34(2).
- [5] 章后忠,等. 建立四种代表车型的理論油耗模型[J]. 华东公路,2002,(2).
- [6] Research Report ARR 314. ARRB Transport Research Ltd.

Research on Relation Between of Surface Characteristics and Fuel Consumption

ZHOU Yu-feng, ZHANG Hao-ran

(China Highway Planning and Design Institute(HPDI)Consultants,INC., Beijing 100010,China)

Abstract: With analyzing the relation between surface characteristics of highway and fuel consumption, and considering energy saving and sustainable development of highway cause, a series requirements for surface characteristics are brought forward. Achievements in this field are valuable reference for highway design, research and maintenance.

Key word: pavement; surface characteristics; fuel consumption

云南五条高速公路同时开建

总投资近 200 亿元的云南罗村口至富宁、蒙自至新街、小勐养至磨憨、永仁至元谋、元谋至武定五条高速公路 2004 年 12 月 16 日同时宣布开始建设。五条公路将于 2007 年年底建成。届时,云南通往两广的出海通道、滇越国际大通道、昆曼国际大通道、出滇入川通道将基本实现高等级化。

五条高速公路同时开建,这在云南省公路建设史上尚属首次。今年以来,云南省已经开建 10 条高等级以上公路,全年公路建设投资有望完成 160 亿元目标。