2005 (Vol. 27) No. 5

2005139

典型城市车辆行驶工况构成的研究*

李孟良¹,朱西产¹,张建伟¹,张富兴²,艾国和² (1.中国汽车技术研究中心,天津 300162; 2.武汉理工大学,武汉 430070)

[摘要] 通过把记录的车速曲线在连续的停顿处分割成运动学片段的方法来研究交通状况特征。用主成份分析法和聚类技术提炼这些运动学片段的特征。根据统计分析的概率随机选择并重组实际运动学片段,构造了一系列行驶工况。

关键词:行驶工况,运动学片段,主成份分析,聚类分析

A Study on the Construction of Driving Cycle for Typical Cities in China

Li Mengliang¹, Zhu Xichan¹, Zhang Jianwei¹, Zhang Fuxing² & Ai Guohe²

1. China Automotive Technology and Research Center, Tianjin 300162; 2. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070

[Abstract] The speed-time curve is divided into kinematics sequences, which are used to analysis the traffic features. Principal component analysis and cluster analysis are performed to refine the features of these sequences. By randomly selecting and combining these sequences according to statistical probability, a series of driving cycles are constructed.

Keywords: Driving cycle, Kinematics sequence, Principal component analysis, Cluster analysis

1 前言

近两年来,国内对汽车测试用行驶工况进行了很多研究开发,提出了多种构成方法,这些方法都是把全行驶状态作为连续事实和现象用统计的方法来解析,在构建行驶工况之前根据试验区域人为地划分工况等级^[1-3],并人为地合成。而从道路交通状况入手,通过对构成全行驶的各个运动学片段进行研究、归类从而构建工况的例子只有在国外最新的研究中见到^[4,5]。

车辆从起步出发至目的地停车,受道路交通状况影响,其间可能经过多次起步、停车操作。将车辆从一个怠速开始到下一个怠速开始的运动定义为运动学片段(以下简称片段)。图1中行程就可以视为各种各样的片段组合。其中某些片段反映的交通状况可能是一致的。不同的时间、不同的地理位置和公路类型会出现相同的片段,有时候繁忙的高速公

路上的片段可能和拥挤的城市中的片段完全一致。 将这些片段类型和交通状况联系起来,针对性地分 析符合低速、中速和高速运动形态,并在此基础上构 建工况,是完全合理的。

把车速曲线当作时间的函数来分析,这一曲线的特征参数即可作为交通状况的函数。从原始数据中连续地分割运动学片段,并对这些片段的特征参数如持续时间、片段长度和速度等进行主成份分析;在此基础上采用聚类技术对片段进行分类,获得与交通状况相对应的类集合;最后利用概率构造出适合应用的、时间序列较短的代表工况来。此方法的核心就是运动学片段研究。以我国某典型城市的行驶工况开发为例,对工况的构成进行了深入研究。

2 运动学片段的描述

前面定义了运动学片段并用图 1 显示了其速度 - 时间曲线的本质,并用一系列特征参数描述。要

^{*} 国家科技部 863 项目(2003AA501993)资助。

完整描述这个过程,片段(行驶工况)显然不能仅仅 是速度或加速度或行程等单一参数的集合,其它的 一些参数如速度的大小、加减速次数,持续时间和怠 速时间的长短等都应作为描述行驶工况的参数,片 段被这些参数来描述才算得上完整。在此引入了 15 个特征参数。

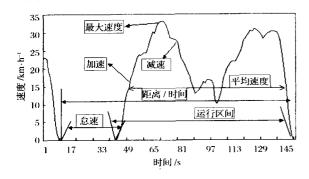


图 1 运动学片段定义

- (1)描述片段大小的参数 持续时间 T、行驶 距离 S、急速时间 T_i 、加速时间 T_a 和减速时间 T_d 、 匀速行驶时间 T_c ;
- (2)描述行驶速度的参数 最大速度 v_{max} 、平均速度 v_m 、平均运行速度 v_m 和标准偏差 V_s ;
- (3)描述加速度的参数 最大加速度 a_{\max} 、平均加速度 a_{\max} 、最大减速度 d_{\max} 、平均减速度 d_{\max} 和标准偏差 A_{∞} 。

经过处理后,试验数据可以生成一个以片段为样本、样本数量(行)×特征参数(列)的矩阵,样本数量取决于原始数据量的大小和调查时的交通状况;相同时间内,交通拥挤时车辆运动片段数量要多于交通顺畅时的片段。同时进一步地将速度和加速度按一定的间隔(10km/h 和 0.15m/s²)分成若干等份,分别计算它们在各自片段中所占的比例,构成一

个工况分布特征矩阵,这个矩阵将在工况构造中使用。

3 运动学片段的分析

3.1 主成分分析及特征参数之间的相关性

从图 1 知道, 片段的特征参数越多, 车辆运动过 程信息表达越清楚,但这也给合理分析和解释它们 带来了困难。因为虽然每个参数都代表了一定的信 息,但有些参数之间有一定的相关性,也就是参数之 间并不相互独立,从而使得这些参数所提供的信息 在一定程度上有所重叠。例如,持续时间、行驶距离 和平均速度这3个特征参数一定是强烈相关的。必 须在这些参数之中找出相互独立的元素,因而引入 多元分析法中的主成分分析[6]来解决这个问题。 主成分分析即构造原变量(参数)的一系列线性组 合,使各线性组合在彼此不相关的前提下,尽可能多 地反映原变量的信息(即使其方差最大,方差必须超 过80%)。通过这种方法可以确定出几个变量(主 要成份)描述片段并加以完整的统计性描述。为了 科学、客观地开发车辆行驶工况,作者开发了专用解 析的软件 DCAS。

表 1 是应用专用软件计算出的 15 个主成分(分别用 Mi, $i=1\sim15$ 表示)各自的贡献率及其累积率。由表 1 可知,前 8 个主成分几乎包含了 15 个特征参数的所有信息,其中前 3 个主成分进行的累积率为 87.2%,前 4 个主成分的累积率达 90.7%。从理论上讲,进行主成分分析时选取累积率超过 80%的前几个主成分即可。在本案例研究过程中发现,取前 3 个主成分或前 4 个主成分进行下面的聚类分析时,结果几乎相同。

| | | | | 7 C | 1 H. | 工队刀 | 产/研火 | " | 医叉虫 | | | | | | |
|-------|------|------|------|------------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | M1 | M2 | М3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 | M11 | M12 | M13 | M14 | M15 |
| 方差 | 6.71 | 3.75 | 2.62 | 0.53 | 0.43 | 0.24 | 0.22 | 0.17 | 0.12 | 0.10 | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 贡献率/% | 44.7 | 25.0 | 17.5 | 3.5 | 2.9 | 1.6 | 1.5 | 1.1 | 0.8 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 累积率/% | 44.7 | 69.7 | 87.2 | 90.7 | 93.6 | 95.2 | 96.7 | 97.8 | 98.6 | 99.3 | 99.7 | 99.8 | 99.9 | 99.9 | 100.0 |

表 1 各主成分贡献率及累积贡献率

前 4 个主成分与 15 个片段特征参数的相关系数如表 2。对表 2 进行分析,从相关系数大小发现:

- (1)第1主成分主要反映持续时间、加速时间、 减速时间、巡航时间、行驶距离、最大加速度、平均速 度、运行速度和速度标准偏差;
- (2)第2主成分主要反映最大加速度、平均加速度、最大减速度、平均减速度和加速度标准偏差;
 - (3)第3主成分主要反映持续时间、怠速时间;

(4)第4主成分基本与各参数无主要相关。

前3个主成分基本代表了片段15个特征参数信息,这也表明用前3个主成分进行分析是合理的。

对总体样本矩阵进行主成分分析,获取了代表90%以上的总体样本方差的、仅含有前4个主成分的一个新总体样本——主成分得分矩阵,这个过程达到了排除特征参数相互关联、降低片段维数并尽量少地丧失原始信息的目的。这个主成分得分矩阵

| 表っ | 前 4 | 个士成 | 分与特别 | F参数的 | 相关系数 |
|--------------|------|-----|-----------|-------------|------|
| ⊼ ₹ ∠ | 83 4 | 一工双 | D - H H U | 工 多 女 以 口) | 化大余蚁 |

| | T/s | T_a/s | T_d/s | T_c/s | T_i/s | S/km | $v_{ m max}$ | v_m | v_{mr} | V_s | $a_{ m max}$ | a mea | d_{\max} | $d_{ m mea}$ | Α, |
|------------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------------|--------|----------|--------|--------------|-------|------------|--------------|-------|
| M1 | -0.812 | -0.920 | -0.891 | -0.817 | -0.114 | -0.933 | -0.845 | -0.792 | -0.799 | -0.755 | 0.087 | 0.420 | 0.110 | -0.234 | 0.122 |
| M 2 | 0.170 | 0.008 | 0.042 | 0.196 | 0.246 | -0.003 | -0.343 | -0.278 | -0.274 | -0.336 | -0.792 | 0.761 | 0.867 | 0.870 | 0.956 |
| M3 | 0.204 | -0.182 | -0.218 | -0.251 | 0.846 | -0.133 | 0.175 | -0.054 | 0.199 | 0.229 | -0.026 | 0.009 | 0.038 | -0.146 | 0.131 |
| M4 | -0.018 | -0.060 | 0.017 | -0.042 | 0.022 | -0.031 | 0.029 | 0.044 | 0.054 | 0.041 | 0.446 | 0.065 | 0.213 | 0.290 | 0.023 |

注:表中 $v_{\text{max}}, v_{\text{m}}, v_{\text{mr}}$ 的单位为 km/h; $a_{\text{max}}, a_{\text{mea}}, d_{\text{mea}}, d_{\text{mea}}$ 的单位为 m/s^2

将用于聚类分析,对片段总体样本进行分类。

3.2 聚类分析及片段分类

车辆的设计和开发不能简单地满足一种平均的工况,需要针对不同交通状况的多种水平层次的工况来设计。依据城市区域特征可以人为地划分工况等级,而聚类技术^[6]可以根据片段规律自动地将数据分成不同的类,这些类与类之间的车辆运动学水平差异明显、分割清晰,且自成体系。根据道路交通规律,一般来说可以确定 3~4 个类别,这几个类别分别与低速(加减速频繁、片段短)、中速(加减速正常、片段适中)和高速状态等相对应。聚类技术采用动态聚类法,聚类的对象是样本的主成分得分。图

2 是主成份聚类结果,表 3 是聚类后各类片段特征 参数的平均描述其中 P_a 、 P_d 、 P_c 、 P_i 分别是加速、减速、匀速和急速的时间比例。

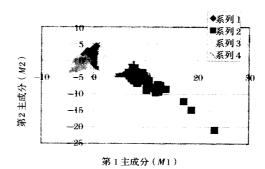


图 2 主成份聚类结果

图 2 土成份乘尖结:

表 3 聚成 4 类时各类片段特征参数的平均描述

| | | 片段数目 | T/s | S/m | $P_a/\%$ | P_d /% | P./% | P_i /% | $v_{ m max}$ | v_m | v_{mr} | 长度/m | 历时/min |
|-----|---|------|-------|--------|----------|----------|-------|----------|--------------|-------|----------|--------|--------|
| 第 1 | 类 | 719 | 13.52 | 120.93 | 24.26 | 26.58 | 16.70 | 32.46 | 48.00 | 12.44 | 16.85 | 168.2 | 1.13 |
| 第 2 | 类 | 84 | 15.40 | 525.81 | 33.43 | 34.18 | 28.32 | 4.07 | 94.00 | 39.15 | 43.65 | 6259.6 | 11.00 |
| 第 3 | 类 | 616 | 30.52 | 691.89 | 31.33 | 33.09 | 20.39 | 15.18 | 84.00 | 23.67 | 26.92 | 1123.2 | 2.97 |
| 第 4 | 类 | 865 | 6.39 | 10.77 | 14.76 | 14.74 | 14.66 | 55.85 | 21.90 | 2.68 | 3.35 | 12.5 | 0.44 |
| | | | | | | • | | | • | | | | |

注: 表中 v_{max}、v_m、v_{mr} 的单位为 km/h

第1类表示拥挤状态的市内交通状况,包含了相对较短的片段(平均为168.2m),速度较低(12.44km/h)。此时车流被交通流所限制,怠速比例比较高。

第2类对应于市郊或市外交通。该类平均用时 11min,平均速度 39.15km/h。然而,这类中包含的 片段长度和时间变化相当大(长度在 3~62km 之间 变化),最大速度也最高。

第3类表示的更符合自由交通流,可以自由加速,必要时减速,加减速比例都较高,而怠速比例较低,在较少的平均时间(2.97min)内行驶了较长的平均长度(1123.2m)。

第4类反映的则是堵塞交通状态, 怠速比例很高, 达到55.85%, 平均速度只有2.68km/h。

在繁忙的高速公路上可能会得到与拥挤的城市 交通状况一致的车辆运动记录,都将包含在第1类 中,而不是在第2类里。这种分类的特征并不完全 依赖片段发生处的地理位置和公路类型,反映的是 真实的交通流中车辆的运行状况。 因为类别的不同属性,不同类别之间的片段对整个行程的总贡献有相当大的差异。市内的片段(属类1或类4)包含着总片段数量的69.4%,但其片段行程长度只占总行驶长度的9.76%,其行驶时间占总的32.5%。同样比较,只有3.7%的片段归类到高速公路(第2类),但是它们的行驶长度则占总行驶里程的38.97%。

3.3 行驶工况的构造

统计的最终目的是构建出在台架上长度适宜于应用的工况。类别中的运动学片段数量很多,需要参照实际交通状况的特征,然后利用统计数据在每一个片段组中建立有代表性的行驶工况。具体规则如下:

构建工况的基本原则是概率相近原则,即构造后的工况与原始数据在速度和加速度区间分布概率在一个限值内相似。对于选定的某一个类,在这一类片段中随机挑选 n 个片段组成一个工况,由一个一个的片段连续产生,直到这些连接起来的片段的历经时间和行驶长度达到预期的工况要求。如果这

一工况的速度和加速度区间分布概率与该类片段的速度和加速度区间分布概率的平均值误差在 10%以内,并且总运行时间在 1200s 左右(主要取决于台架气袋排放的容积),那么构建的这一工况就能代表该类。否则重新随机选择,再判断,直到满足上述条件为止。工况构建中片段个数 n 的确定方法,则用 1200s 除以这一类片段的平均运行时间,然后取整。从研究的结果来看,完全体现了主成分的前 3 个信息——尺寸信息(持续时间和怠速时间,通过片段的个数来体现)、速度信息和加速度信息。图 3 是构造的综合类结果。

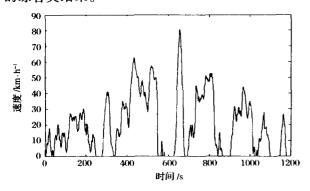


图 3 综合类行驶工况

4 与其它工况的比较

在平均速度 v_m 、最大加速度 a_{max} 、时间、距离基础上,特别引入了最大特定功率 K_{max} ,其中特定功率定义为 2va(v) 为车辆速度) [7]。将几种主要的工况特征对比分析的结果列在表 4 中。

表 4 几种主要工况特征值

| 工况 | 时间 | 距离 | v _m / | a _{max} / | K max/ |
|----------------|------|-------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | /s | /km | km•h ⁻¹ | m·s ⁻² | $(m^2 \cdot s^{-3})$ |
| FTP72(美国/标准) | 2475 | 17.69 | 25.82 | 1.48 | 40.15 |
| SC03(美国/附加开空调) | 601 | 5.73 | 34.56 | 2.28 | 47.06 |
| HWFET(高速经济性) | 766 | 16.41 | 77.66 | 1.43 | 31.29 |
| US06(美国/附加高速) | 601 | 12.81 | 77.31 | 3.75 | 97.69 |
| NEDC(新欧洲) | 1180 | 10.87 | 32.12 | 1.06 | 18.51 |
| ECE(欧洲/市区) | 196 | 0.99 | 18.35 | 1.06 | 14.65 |
| EUDC(欧洲/高速) | 400 | 6.95 | 62.58 | 0.83 | 18.51 |
| J10.15(日本) | 673 | 4.3 | 22.71 | 0.79 | 8.81 |
| NYCC(美国/纽约) | 599 | 1.89 | 11.43 | 2.68 | 38.76 |
| BEIJING-堵塞 | 1261 | 3.07 | 3.038 | 1.78 | 20.81 |
| BEIJING-正常 | 1070 | 9.46 | 18.48 | 2.06 | 52.76 |
| BEIJING-畅通 | 1106 | 10.68 | 31.84 | 1.65 | 78.49 |
| BEIJING-综合 | 1180 | 7.69 | 20.39 | 1.92 | 49.34 |

从表 4 的参数可以看出: 当 K 值较低而平均车 速较高时,工况比较理想,车辆运行处于一种比较理 想的状态,畅通的道路如高速或市郊等路上车辆的 运行就是如此,如 EUDC、HWEFT; v_m 、 a_{max} 和 K_{max} 值均较低,工况是最适度的,如 FTP72、NEDC 等。若加速度 a_{max} 和 K_{max} 值都较高,则该种工况相对来说力度大得多,如 US06、BEIJING-畅通等。其中当 v_m < 20km/h 时,最能代表市内驾驶,如 NYCC、E-BIJING-正常等。从表 4 中还可以看出,US06 是最有力度的循环,其各项参数几乎都是 FTP 值的 2.5 倍。从单纯的特定功率 K_{max} 来看,美国的行驶工况由于采用了瞬态工况,包括了加速度和负荷的多种瞬态变化,该值比欧洲和日本工况(模态工况)要大许多。这就是瞬态的长处,其在识别车辆的性能优劣方面会更有效果。

应用这种方法构建的北京工况(作为初步的研究结果,按表4命名)的特征和实际情况是比较吻合的。市区(堵塞)与纽约中心相当;综合与欧美认证工况相当;畅通和正常的工况代表了比较有力度的车辆运行,功率均较大。

5 结束语

以我国某主要城市的乘用车实际运行数据为例,描述了研究过程。以速度时间曲线所定义的行驶运动学片段代表交通状况和车辆操作状况,并用一些特征参数对其进行完整描述。通过主成分分析对这些特征参数进行降维处理、简化为几个相互独立的主成分,并在此基础上应用聚类技术进行分类。从实践来看,这种方法是可行的;从理论上讲,采用了2种高级数据处理技术(主成份分析和聚类技术);从与其它工况的对比分析研究结果看,按照这种方法开发出来的行驶工况更能真实地再现城市中车辆的实际操作状态。

参考文献

- 1 中国环境科学研究院,中国城市汽车行驶工况和污染物排放系数测定研究,国家环保总局科技发展计划项目研究报告 96309. 1999
- 2 杨延相,蔡晓林 等. 天津市道路汽车行驶工况的研究. 汽车工程,2002,24(2)
- 3 李孟良,李洧 等.道路车辆实际行驶工况解析方法研究.武汉理 工大学学报(交通工程版),2003,(2)
- 4 Peter de Haan, Mario Keller. Real-world Driving Cycles for Emission Measurements: SRTEMIS and Swiss cycles. Swiss Agency for Environment, Forests and Landscape (SAEFL) B7014b2-04 Final Report
- 5 Dembski N, Guezennec Y, et al. Analysis and Experimental Refinement of Real-World Driving Cycles. SAE Paper 2002-01-0069
- 6 范金城,梅长林.数据分析.北京:科学出版社,2002
- 7 GB18352.1-2001 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(I)