

环境及其效应

高原环境对军用越野汽车的影响及对策研究

许翔, 李玉兰, 刘刚, 周广猛, 董素荣, 刘瑞林

(军事交通学院, 天津 300161)

摘要:目的 研究高原环境对军用越野汽车性能的影响, 提出提高军用越野汽车高原环境适应性的技术措施。方法 简要介绍高原地区的气候和地理环境条件特点, 通过高原实地试验分析高原环境条件对军用越野汽车动力性能、经济性能、起动性能、热平衡和制动等性能的影响规律和影响机理。结果 针对军用越野汽车的动力系统、底盘系统和驾驶室人-机环境等, 提出了采用高压共轨燃油喷射、可调高增压、低气压低温起动、热平衡控制、四轮转向、悬架增强、辅助制动、轮胎中央充放气以及驾驶室高原人-机工程等提高军用越野汽车高原环境适应性的技术对策和建议。结论 为提高军用越野汽车高原环境适应性提供了指导。

关键词: 军用越野汽车; 高原环境; 环境适应性; 道路试验; 性能提升

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.09.017

中图分类号: TJ810.1; U469.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2017)09-0085-05

Influences of Plateau Environment on Military Off-road Vehicle and Countermeasures

XU Xiang, LI Yu-lan, LIU Gang, ZHOU Guang-meng, DONG Su-rong, LIU Rui-lin
(Military Transportation Institute, Tianjin 300161, China)

ABSTRACT: The paper aims to study influences of plateau environment on military off-road vehicles and put forward countermeasures for improving plateau environmental worthiness of military off-road vehicles. The climate and geography environmental characteristics of plateau area were summarized. Influences of plateau environment on military off-road vehicle performance, such as power, economy, cold starting, thermal balance and braking performance were tested and analyzed in plateau. According to the power system, vehicle chassis system and vehicle cab, some measures were put forward to improve military off-road vehicle performance at plateau, such as high pressure common rail fuel injection technology, regulated turbocharging technology, cold start at low pressure and temperature, thermal balance control, four wheels steering, suspension enhancement technology, auxiliary braking technology, central tire inflation deflation system, human-machine engineering. It provides reference for improving plateau environmental worthiness of military off-road vehicle.

KEY WORDS: military off-road vehicle; plateau environment; environment adaptability; road test; performance improvement

军用越野汽车是部队机动作战和后勤保障的基础平台和移动载体。军用越野汽车以良好的野战机动能力, 在作战、训练和保障行动中扮演着非常重要的角色。由于训练及作战任务的特殊需要, 军用越野汽车经常在高原、高寒、高温、湿热淋雨、戈壁沙漠等

不同地域使用, 使军用越野汽车面临各种恶劣的气候和地理环境条件的考验。军用越野汽车在环境条件极其恶劣的高原地区使用时, 由于受到低气压、低温、风沙、紫外线等环境条件的影响和长期作用, 普遍存在动力下降明显、油耗显著增加、冷起动困难、发动

收稿日期: 2017-05-09; 修订日期: 2017-06-12

作者简介: 许翔(1978—), 男, 甘肃榆中人, 博士, 主要研究方向为动力机械高原环境适应性试验与评价。

机“开锅”、零部件磨损严重、人-机环境差等突出问题，导致车辆的机动能力变差，可靠性降低，故障率升高，进而严重影响部队的作战和保障^[1]。

文中通过军用越野汽车高原实地试验分析了高原环境对车辆动力性、经济性、起动性、热平衡性、制动等性能的影响规律和影响机理，提出了提高军用越野汽车高原环境适应性的技术措施，对指导高原型越野汽车论证、设计、研制具有一定的指导意义。

1 高原对军用越野汽车性能的影响

1.1 高原环境条件特点

1.1.1 高原气候环境条件

高原地区的气候环境条件复杂，随海拔变化大，概括起来主要为“三低两强”，即“气压低、气温低、空气含氧量低、紫外线强、风沙强”。海拔每升高 1000 m，大气压力和空气密度下降约 10%~6%，含氧量下降约 10%，海拔 5000 m 空气中的含氧量仅为海平面的 53%。青藏高原年平均温度为 7~10 ℃，海拔 4000 m 以上的地区，年平均气温在 -4 ℃ 以下，极端最低气温为 -27~-46 ℃。高原的紫外线辐射强度是平原同纬度地区的 3 倍，海拔每上升 1000 m 约增加 10%。高原降水量少，气候干燥，大风天气多，空气含尘率高达 1000~3000 mg/m³，每年平均 6 级以上大风天气有 120 多天，其中 8 级以上的占 60%，年平均风速达 17 m/s，最大风速可达 28 m/s 以上^[2]。

1.1.2 高原道路环境条件

高原地形以山地为主，山高谷深、海拔落差大、路况条件极差。高原地区的道路具有海拔高、路面狭窄、坡度大、弯道多、转弯半径小、道路承载能力小、通行能力差等特点，对军用越野汽车的机动性能和行车安全造成了严重的影响。以青藏高原为例，除了青藏、川藏、新藏和滇藏等 4 条国道和一些省道外，大部分道路是没有铺装的低等级砂石路面，且经常出现路面严重损毁现象，地震、滑坡、塌方、泥石流、雪崩等自然灾害频发。

1.2 高原环境对越野汽车动力性能的影响

高原地区海拔高、气压低、空气稀薄、空气含氧量低，使发动机的进气量减少、燃烧不充分，导致发动机的动力性能随着海拔升高而明显下降。根据发动机高原性能模拟试验数据，相对于平原，海拔 5000 m 发动机的额定功率下降约 3.6%~38.9%，最大转矩下降约 5.5%~37.8%^[3]。发动机输出功率和转矩的下降直接导致军用越野汽车的加速性能、最高车速、牵引性能及爬坡能力等降低。图 1 和图 2 分别为低海拔(50 m)、中海拔(2840 m)和高海拔(4450 m)三种不

同海拔下，轻型和重型越野汽车 0~80 km/h 起步加速时间和加速距离的对比。相对于平原，中海拔条件下车辆起步加速性能下降 5%~10%，高海拔条件下车辆起步加速性能下降 30%~45%。与轻型越野车相比，重型越野车高海拔地区加速性能下降较大。由于重型越野车自身质量大，加速性能更容易受到路面条件的影响，特别是变速器在高挡位时，由于输出扭矩较小，容易造成加速缓慢的现象。

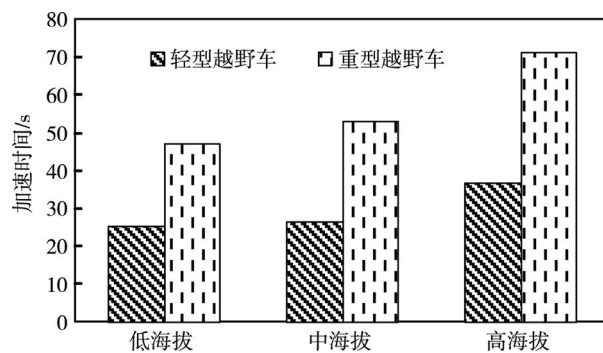


图 1 不同海拔下越野汽车加速时间对比

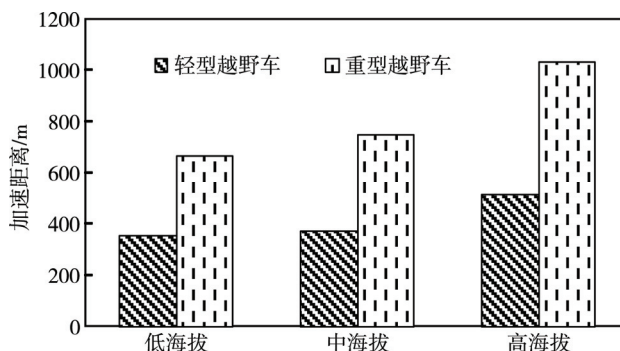


图 2 不同海拔下越野汽车加速距离对比

图 3 为低海拔(50 m)、中海拔(2840 m)和高海拔(4450 m)三种不同海拔下，轻型和重型越野汽车最大牵引力对比。相对于平原，中海拔条件下车辆最大牵引力下降 6%~12%，高海拔条件下车辆最大牵引力下降 20%~35%。最大牵引力代表了越野车辆在高海拔地区的最大爬坡能力。越野车辆的最大牵引力随着海拔升高明显下降，主要原因是发动机的输出功率和转矩随海拔升高显著下降。

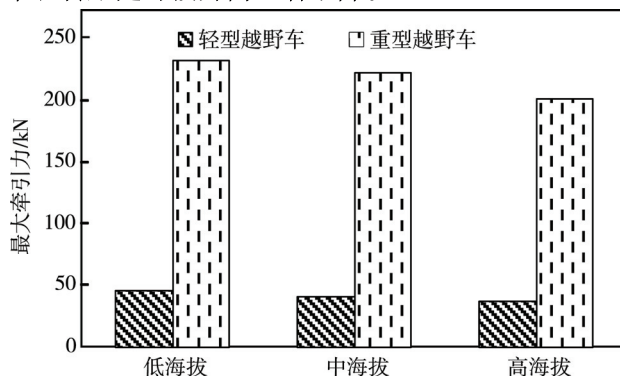


图 3 不同海拔下越野汽车最大牵引力对比

1.3 高原环境对越野汽车经济性的影响

高原环境对越野汽车燃油经济性的影响可以通过等速行驶和多工况行驶燃油消耗量试验反映。图4为某轻型越野汽车等速行驶和多工况行驶燃油消耗量随海拔的变化。随着海拔的升高,由于发动机进气量减少、燃烧过程变差,使发动机的有效热效率降低,导致发动机的燃油消耗量增加。相对于平原,中海拔等速行驶和多工况行驶燃油消耗量平均增加7.4%和7.0%,高海拔等速行驶和多工况行驶燃油消耗量平均增加14.1%和23.3%。

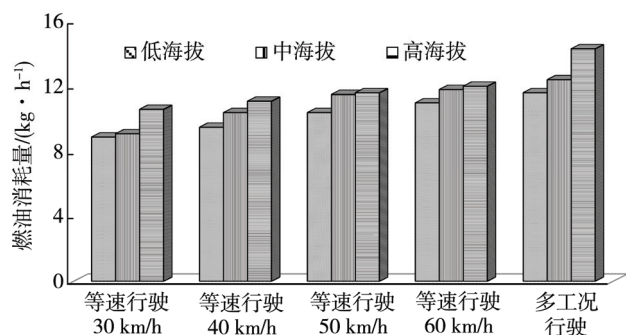


图4 轻型越野汽车燃油消耗量随海拔的变化

1.4 高原环境对越野汽车起动性能的影响

顺利起动是军用越野汽车正常使用的前提,起动性能是评价军用越野汽车高原环境适应性的重要性能之一。高原调研及实地试验表明,随着海拔的升高和环境温度的降低,越野汽车的起动成功率逐渐下降、起动次数增多、起动与暖机时间延长。75%左右的越野汽车在海拔3000 m以上、环境温度低于-20℃的环境条件下不能顺利起动。当海拔超过4500 m、环境温度低于-15℃时,越野汽车依靠自带的冷起动辅助装置均难以可靠起动^[4]。

影响越野汽车高原起动性能的主要环境因素是低气压和低温。在低气压和低温双重因素影响下,柴油机起动阻力矩增大,蓄电池的输出功率减小使起动转速降低,缸内压缩终点的温度和压力过低以及混合气过浓使柴油机着火性能下降,这些因素共同作用导致柴油机无法起动或不能可靠地起动。此外,冷起动辅助装置也是影响军用越野汽车高原起动性能的关键。不同的冷起动辅助装置(如PTC陶瓷进气预热装置、火焰进气预热装置、燃烧室预热塞、燃油加热器等)对越野汽车的高原起动性能有很大的影响。

1.5 高原环境对越野汽车热平衡的影响

在高原地区,军用越野汽车普遍存在发动机及各总成零部件热负荷过大的问题,尤其是车辆在高原长时间爬坡行驶时,容易出现发动机“开锅”、排气管烧损、拉缸等故障,严重影响车辆在高原的正常使用。

表1为某型越野汽车高原热平衡能力道路试验结果。车辆在最大扭矩、最大功率和爬坡三种试验工况中均存在过热现象,发动机油底壳及进出水温度高于厂家提供的许用最高温度,出现“开锅”现象,变速器在最大功率点试验中存在过热现象。

表1 越野汽车高原热平衡能力道路试验结果

测点	许用最高温度/℃	热平衡温度/℃		
		最大扭矩	最大功率	爬坡
油底壳	120	115.9	140.1	130.6
出水	90	98.2	112.2	106.5
进水	70	92.2	104.9	99.1
变速器	120	107.9	129.5	112.2

在高原地区,军用越野汽车出现热平衡问题的主要原因是,燃烧恶化导致发动机热负荷明显增大,空气密度下降导致车辆冷却系统的散热能力显著下降。由于高原气压低、空气密度小、空气含氧量低,使发动机的进气量减少、混合气浓度增大,导致燃烧不充分、后燃现象严重,最终使发动机受热零部件、冷却水和排气温度等升高^[5]。由于高原空气密度降低导致散热器的传热系数和冷却空气的质量流量均减小,使车辆冷却系统的散热能力明显下降,最终导致车辆在高原工作时热负荷增大,过热现象频发。高原山路具有坡度大、弯道多、坡道长等特点,越野车辆爬坡行驶时发动机一般在低速、大负荷工况运转,此时由于风扇转速和车速都较低,冷却空气流量小无法满足车辆冷却散热需要,极易出现发动机“开锅”现象。

1.6 高原环境对越野汽车制动性能的影响

制动性能是军用越野汽车的主要性能之一,直接关系到车辆和驾乘人员的行驶安全。越野汽车的制动性能极易受到高原气候和地理环境的影响。高原地区道路条件差,坡道长而陡、弯道多而急,对越野汽车制动性能要求较高。车辆在高原下长坡行驶时,由于车辆自重沿坡道产生一个向下的分力,使车辆加速行驶,坡度和坡长越大,行驶速度增加越快。为了保证车辆行驶安全,需要长时间地连续制动,以维持稳定的车速。由于长时间的连续制动,使摩擦片和制动鼓经常处于发热状态,导致制动蹄摩擦片温度迅速升高^[6]。此时,摩擦片的摩擦系数急剧下降,造成越野车辆的制动性能下降,严重时可能出现制动失效。此外,由于高原空气密度下降造成的制动器散热能力下降,极易导致制动蹄和制动鼓失效损坏。

2 军用越野汽车高原适应性关键技术

高原地区气候复杂多变、海拔落差大、地形复杂,军用越野汽车必须具备变海拔自适应能力,才能满足

不同海拔环境条件下的动力性、经济性、冷启动、冷却散热、行车安全性等需求。目前,由于高原型越野汽车的研发成本高、研制周期长、市场需求量少等原因,国内外关于高原型越野汽车的研究和报道非常少。因此,亟待开展越野汽车高原适应性技术研究。文中依据高原环境对军用越野汽车性能的影响规律和影响机理研究,针对军用越野汽车动力系统、底盘系统和驾驶室等的高原适应性技术要求,论证提出了提高军用越野汽车高原环境适应性的关键技术。

2.1 动力系统高原适应性技术

动力系统是军用越野汽车的“心脏”,良好的动力性是保证军用越野汽车在高原地区进行快速机动的重要前提。军用越野汽车必须匹配高功率密度的柴油机,柴油机采用电控燃油喷射技术,改善柴油机高原燃烧性能,提高动力性和燃油经济性。采用高增压技术,保证车辆的高原动力性能与平原相比下降幅度不超过正常使用要求;采用低气压低温启动技术,保证柴油机在高原极端低温(5500 m、-41℃)环境下能顺利启动;采用高原热平衡控制技术,使冷却系统具备变海拔热平衡控制能力,保证柴油机高原不“开锅”。

2.1.1 高压共轨燃油喷射技术

该技术是建立在直喷技术、预喷射技术和电控技术基础上的一种全新概念的喷油系统,能够根据环境条件(大气压力、环境温度)及柴油机运行工况,对喷油系统参数(喷油压力、喷油提前角、喷油量等)进行调节控制,进而改善柴油机的高原燃烧特性,提高柴油机的高原动力性、经济性和排放等性能。

2.1.2 可调高增压技术

传统的单级涡轮增压无法满足不同海拔下柴油机全工况对进气量的需求。柴油机采用可变截面涡轮增压、二级可调增压以及多级可调增压等可调高增压技术^[7],一方面能提高柴油机的进气压缩比,进而提高柴油机的高原充气密度和空燃比,优化和改善柴油机的高原燃烧特性;另一方面可调高增压技术的应用有利于实现柴油机变海拔、全工况匹配,从而提升柴油机变海拔、全工况的动力性和经济性。

2.1.3 低气压低温启动技术

超级电容、高能蓄电池等新型电源具有良好的低温特性、快速充放电特性和使用寿命长等优点,代替传统的铅酸蓄电池作为启动电源,有利于提高柴油机启动转速和启动功率。此外,采用燃油加热器作为冷启动辅助装置,在柴油机启动之前利用燃油加热器工作产生的热量加热冷却液和机油,进而使整机温度升高、启动阻力矩降低,最终可实现柴油机在“热机”

状态下的启动。试验表明,采用高能蓄电池+燃油加热器组合式冷启动辅助装置,可以保证柴油机在海拔5500 m、-41℃的极端环境条件下顺利启动^[4]。

2.1.4 热平衡控制技术

柴油机冷却系统采用基于电控水泵、电控风扇和电子节温器的高原热平衡控制技术,根据海拔高度(大气压力)和环境温度以及柴油机的运行工况等,实时调节冷却水泵的转速和流量、风扇的转速和流量以及节温器的开启温度和开启角度等调节参数^[8]。可以实现基于柴油机冷却液温度变化的冷却强度变海拔、全工况自适应控制,降低柴油机的热负荷,提高柴油机的热效率和燃油经济性,彻底解决柴油机的高原“开锅”问题。

2.2 底盘系统高原适应性技术

为了提高军用越野汽车在高原复杂路面的通过性、平顺性、舒适性、制动等性能,军用越野汽车的底盘应采用四轮转向、悬架增强、辅助缓速制动、轮胎中央充放气等技术。兼顾公路高速机动和越野路面通过能力的要求,使越野车辆具备良好的地面通过性能和地形通过性能、良好的弯道行驶和转向安全性能、良好的抗振和抗冲击性能、良好的高原山地行驶制动性能。

2.2.1 四轮转向技术

高原地区道路通行条件差,弯多路陡、道路狭窄,如果减小越野车辆的最小转向半径,可以显著提高车辆的狭窄弯道通过能力。目前,四轮转向技术可使越野车辆在低速行驶时,前、后轮逆向偏转,改善车辆的操纵稳定性,获得较小的转向半径。采用四轮转向技术的车辆,在低速转向行驶时,后轮相对于前轮反向偏转,并且偏转角度应随转向盘转角增大而在一定范围内增大。如车辆急转弯、掉头行驶、避障行驶或进出车库时,使车辆转向半径减小,机动性能提高。相反,车辆在高速转向行驶时,后轮不偏转。四轮转向有三种类型:机械式、液压式和电子-液压式,可以根据越野汽车的功能、用途及底盘结构选用相应的形式^[9]。

2.2.2 悬架增强技术

高原地区道路质量差,越野车辆需要长时间在各种简易公路或越野路面行驶。凹凸不平、起伏较大的路面产生的冲击使越野车辆发生剧烈的振动,极易损坏车辆器件,甚至导致交通事故发生。目前,在各种先进的悬架技术中,油气悬架是一种技术成熟、性能先进的悬架技术。油气悬架采用油气弹簧作为弹性阻尼元件,以油液传递压力,以气体作为弹性介质的一种悬架装置,其中油缸除传递压力外,还具有调节车

身高度及调节车身前后、左右倾角等功能;作为弹性介质的气体能缓冲地面对车辆装备的冲击、并吸收振动能量^[10]。此外,油气悬架技术可根据越野车辆载重的变化,自动改变悬架特性,提高越野车辆的行驶平顺性和操纵稳定性。

2.2.3 辅助缓速制动技术

越野车辆在下长坡行驶长时间持续制动时,车轮制动器可能因过热导致制动效能下降(热衰退),严重时甚至失效,严重影响到车辆的行驶安全性。辅助缓速制动技术可以有效解决越野车辆下山持续制动引发的制动器热衰退等问题。采用辅助缓速制动技术,可以起到平路减速和坡道控制车速的作用,在保持车速和制动安全的同时,降低制动器的使用频率,减少制动器磨损,提高制动器的使用寿命。根据工作原理的不同,辅助缓速制动装置可分为发动机缓速装置、液力缓速器、电涡流缓速器、电机缓速装置和空气动力缓速装置等^[11]。这些辅助缓速制动技术各有优缺点,安置位置灵活,比传统的车辆制动有明显的优势,可以显著提高越野车辆在高原的制动安全性。

2.2.4 轮胎中央充放气技术

高原海拔高,大气压力低,使轮胎气压相对增高。当车辆轮胎充气压力一定的情况下,绝对压强等于大气压力和轮胎气压之和,环境大气压力下降多少,轮胎气压就增加多少。由于高原轮胎压力明显升高,以及紫外线及道路上的瓦砾和石子对轮胎的老化和磨损影响,越野车辆在高原行驶时极易发生爆胎。轮胎中央充放气技术能够使车辆在行驶中或停顿时检测和调节轮胎的气压,可以显著提高越野车辆的通过性和越野机动性,使其能在更多的不利道路条件下安全行驶^[12]。此外,轮胎中央充放气技术还可以大大减少甚至避免车辆对野外维修的需求,减轻道路的损坏。

2.3 驾驶室高原人-机工程

高原地区气温低、氧含量低、风沙尘大、光照和紫外线强,复杂的路面条件对驾驶室产生很大的冲击载荷,这些不利因素都会对军用越野汽车驾乘人员的舒适性和安全造成严重的威胁。为了提高高原地区驾驶员及乘员的舒适性和安全性,军用越野汽车驾驶室应进行高原人-机工程设计,改善驾驶室的高原环境适应性。具体措施包括:安装增氧装置,提高驾驶室內的氧气浓度;安装防紫外线的玻璃,避免紫外线对眼睛和皮肤的灼伤;提高驾驶室的密封、通风及隔热性能,降低风沙尘、雨雪和低温环境条件对驾乘人员的

不利影响,提高驾驶室内热舒适性;采用降噪与减振技术,提高驾驶室的隔声和减振能力以及坐姿舒适性。

3 结语

由于高原地区的气候和地理环境条件复杂、恶劣,深入研究高原环境对军用越野汽车各项性能的影响规律和影响机理还有很多工作要做。针对军用越野汽车高原地区使用中存在的诸多问题,研制高原型军用越野汽车是提高军用越野汽车高原环境适应性的必经之路。目前,高原型军用越野汽车还需要突破许多关键技术,需要解决相关技术集成与技术验证等问题。由于越野汽车属于军民通用技术领域,因此,军用越野汽车设计者们应紧跟国内外汽车新技术的发展,开展军民融合促进军用越野汽车的创新,加快军用越野汽车的技术升级,早日实现军用越野汽车全地域使用需求。

参考文献:

- [1] 高阳,胡杰,胡连桃.高原环境对航空保障装备的影响分析及对策[J].环境技术,2015,33(1):62-65.
- [2] 刘瑞林.柴油机高原环境适应性研究[M].北京:北京理工大学出版社,2013.
- [3] 许翔,刘瑞林,董素荣,等.车用柴油机高原性能模拟试验及性能提升策略[J].中国机械工程,2013,24(17):2403-2407.
- [4] 刘瑞林.高原、寒区车辆装备冷起动辅助措施评价研究[R].天津:军事交通学院,2009.
- [5] 许翔,刘瑞林,刘刚,等.大气压力对柴油机冷却系统热平衡影响的研究[J].汽车工程,2012,34(7):592-595.
- [6] 程源,高玉振,卢生林,等.高原高寒环境对汽车制动性能的影响[J].汽车工程师,2013(3):41-43.
- [7] 董素荣,熊春友,刘瑞林,等.高原环境下柴油机增压技术研究与应用[J].军事交通学院学报,2015,17(5):44-48.
- [8] 许翔,凤蕴,董素荣,等.车辆热管理技术及其应用[J].军事交通学院学报,2013,15(1):43-47.
- [9] 屈求真,刘延柱.四轮转向汽车的动力学控制现状及展望[J].中国机械工程,1999,10(8):946-949.
- [10] 刘刚,陈思忠,王文竹,等.越野车油气悬架的建模与试验研究[J].汽车工程,2015,37(8):936-940.
- [11] 刘成晔.汽车辅助制动装置发展综述[J].中国安全科学学报,2008,18(1):105-111.
- [12] 张占理.中央轮胎充放气系统及在轮式车辆上的应用[J].车辆与动力技术,2001(1):1-7.