

· 综述 ·

国外机载红外诱饵技术的发展

淦元柳¹, 蒋冲², 刘玉杰², 赵非玉²

(1.空军驻锦州地区军事代表室, 辽宁 锦州 121000; 2.东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:机载红外诱饵弹在现代空战中发挥着越来越重要的作用。介绍了国外几种空-空红外制导导弹的抗干扰技术, 重点探讨了国外新型机载红外诱饵技术的发展现状及装备情况, 指出了在现代空战中机载红外诱饵的重要性, 并针对红外制导导弹的抗干扰技术阐述了机载红外诱饵的设计原则, 同时对未来红外诱饵技术的发展提出了几点展望。

关键词:抗干扰技术; 红外诱饵; 红外对抗

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-06-0013-05

Development of Foreign Airborne IR Decoy Technology

GAN Yuan-liu¹, JIANG Chong², LIU Yu-jie², ZHAO Fei-yu²

(1. Resident Military Representative Office of Air Force in Jinzhou, Jinzhou 121000, China; 2. Northeast Research Institute of Electronic Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: Airborne IR decoy plays an important role in modern air war. Anti-jamming technologies of air-to-air IR guided missile are introduced. The development and equipment of new foreign airborne IR decoy technology are discussed. The importance of airborne IR decoy in modern air war is indicated. According to the anti-jamming technology of IR guided missile, the design principle of airborne IR decoy is introduced. And the development of IR decoy technology in future is forecasted.

Key words: anti-jamming technology; IR decoy; IR countermeasure

随着科技发展,新的红外技术在制导武器上取得了成功应用。红外制导技术已由单一的制导手段不断向更为先进的复合制导方式发展。红外制导导弹的改进与提高使其在现代空战中显示出日益巨大的威力,军用飞机所面临的威胁也越来越严重。因此,如何保护军用飞机免遭红外导弹攻击,始终是各国军方所面临的重大课题。目前,利用红外诱饵产生假目标将来袭导弹诱离飞机,仍是应用最广泛、效费比最高的对抗手段。随着复合制导、成像制导技术的日益进步,红外制导导弹抗干扰能力得到不断提高,红外诱饵技术也在随之改进和创新,各种新型红外诱饵相继诞生。经过多年发展,机载红外诱饵技术取得了多项重大突破。

机载红外诱饵在现代空战中具有重要作用,对

红外制导技术进行了简要介绍,并对国外先进的机载红外诱饵的发展现状和装备情况进行了分析,同时对未来红外诱饵的发展进行了展望。

1 红外导引头抗干扰技术

1.1 双色识别技术

红外双色制导系统采用两个红外探测器:一个敏感中红外波段能量;另一个敏感近红外波段能量。如多元双色红外导引头,可根据典型目标和干扰物双色比的范围以及四个臂上的目标成像关系,对检测出的相对两臂上的所有对应的脉冲信号进行双色比计算,根据脉冲对的双色比值对所有脉冲进

行标识。在滤除背景脉冲后,按照设定的双色比波门,根据当前的跟踪策略挑选所需的脉冲对^[1]。红外双色抗干扰技术处理过程如图1所示。

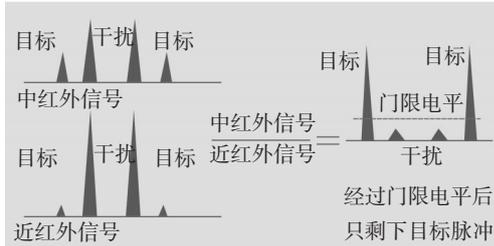


图1 红外双色抗干扰技术处理过程

1.2 能量检测抗干扰技术

能量检测包括幅值检测和上升速率检测。幅值检测是检测导引头视场内辐射体的辐射能量大小,部分导引头采用弱目标驱动会将能量强的辐射体视为诱饵而跟踪能量较弱的目标。上升速率检测是检测导引头视场内辐射体辐射能量上升速率。在某一时间范围内,若探测器接收能量急剧上升,表明在导引头视场中出现了诱饵弹,这时导引头进入抗干扰模式,一般情况将转入预测跟踪,经过预定时间,导引头重新搜索、跟踪目标。辐射能量检测抗干扰原理示意图如图2所示。

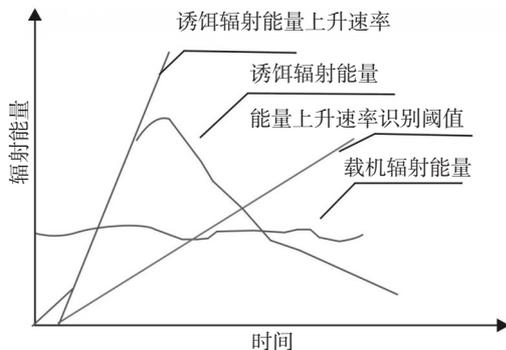


图2 辐射能量检测抗干扰原理示意图

1.3 轨迹识别抗干扰技术

红外导引头对运动点目标进行跟踪时,识别目标和诱饵的运动特性是红外空空导弹实现抗干扰的一种重要方法。传统红外诱饵由于没有相应的气动措施,当其从目标发射后会由于阻力和重力的作用迅速与飞机分离,并可能由于翻滚而具有较快的气动减速,很快滞后于目标,真正的目标则继续水平直

线飞行或进行规避机动。因此导弹可以通过对目标运动特性的判断来识别出真目标,从而使诱饵失效。

1.4 光谱鉴别

传统红外诱饵与典型目标的辐射波段分布特性明显不同,诱饵辐射能量在大气窗口波段内,近红外区比中红外区的能量大两倍以上;目标的辐射特性基本集中在中红外波段及远红外波段。双色成像导引头的跟踪模块包含单色成像探测系统的目标形状、运动等目标特征提取功能,同时增加光谱特征作为对抗诱饵等干扰的有效参数,光谱特征在抗干扰决策时选取较大的权重。系统波段的选择要依据目标特性和系统的探测能力,通常针对空中目标的空空导弹则多采用短波、中波两个波段。在对抗诱饵干扰时,利用目标与诱饵干扰光谱特性的差异来提取真实目标,实现抗干扰的目的。

1.5 轮廓识别抗干扰技术

第一代红外成像制导导弹采用多元线列探测器和旋转光机扫描器相结合的方法,实现探测器对空间二维图像的扫描,采用并扫或串并扫描体制,可以将目标轮廓从背景中分离出,具有目标轮廓识别的能力。第二代红外成像制导导弹采用扫描或凝视红外焦平面器件,采用了复杂背景下目标识别技术,能分辨目标形态结构上的微小差异。

2 国外新型红外诱饵

红外制导武器抗干扰技术的发展对诱饵技术提出了更高的要求:具有与载机平台相似的光谱特性;具有一定的伴飞能力,投放后不至于快速下落;干扰弹的辐射能量不应高出目标太多,且上升速率不应太大;具有一定的持续时间,分离速度适中,使诱饵能始终处于导引头视场;具有一定的辐射面积,能部分或全部遮蔽载机,破坏载机红外图像轮廓或通过投放控制使红外诱饵形成与载机相似的红外轮廓^[2]。

基于红外制导武器采取的抗干扰措施以及在此情形下对红外诱饵提出的要求,国外研究、开发了多种机载红外诱饵。

2.1 光谱诱饵

光谱型诱饵是国外研究较多的一种红外诱饵。

美国专利公开了多种光谱型诱饵的配方^[3]。通过调整组分比例可在一定范围内调整红外辐射双色比。烟火对抗^[4-5]专题详述了一系列可用于红外双色诱饵配方的组分,给出了各组分对平衡光谱所起的作用。一种典型光谱诱饵的辐射光谱如图3所示。

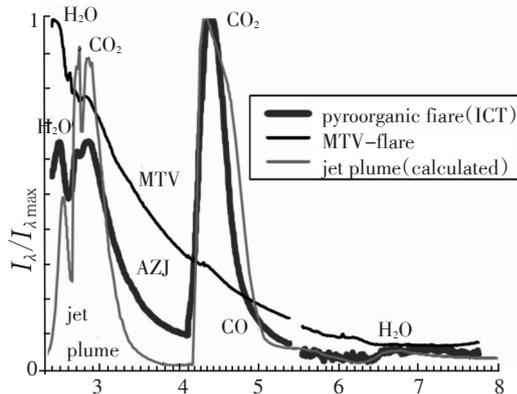


图3 一种典型光谱诱饵的辐射光谱

目前,国外装备了多款光谱型诱饵,主要有:英国马可尼宇航公司为美国空军司令部研制的AD-7多光谱红外诱饵弹,可针对特定的威胁而在选定的光谱区燃烧。1997~1998年期间,AD-7在美军C-17飞机上进行了一系列飞行试验;英国合金表面公司研制的“先进红外对抗弹”(AIRCMM)中的特殊材料XM-221诱饵弹和Thilkol XM-211气动多光谱诱饵弹。KC 002G新型燃烧诱饵弹可以产生多光谱燃烧焰,其辐射能量可以覆盖红外光谱的多个波段;DM69 A2是德国BUCK公司为直升机运输机等低速运动飞机的防护而研制的多光谱诱饵,具有能量上升时间短、辐射能量强等特点。发射后形成具有一定面积的漂浮红外云,可对抗SAM/AAM系列双色导弹以及近距离小视场的SAM导弹。DM69 A2使用效果见图4所示。



图4 DM69 A2使用效果图

其他装备的红外光谱诱饵还有:Esterline公司的ARM-010、ARM-012、MJU-59/B、DSTL 02/22/23/24、HS2S Mk.1、HS6S (36S)。Rheinmetall公司Birdie 118和218双色诱饵,DM69 A2的替代产品Cirrus 118等。

2.2 运动型红外诱饵

运动型红外诱饵是一种国外研究较多的诱饵,主要包括空气动力学诱饵、自推进诱饵和拖曳诱饵^[6]。空气动力学诱饵是具有动力学外形,本身不带推力装置,投放后靠存速飞行,美国专利 US Patents 5400712^[7]介绍的一种诱饵便属此类;自推进诱饵是本身带有推力,发射后靠药剂燃烧产生的气体推动诱饵前进,美国专利^[8-9]介绍的红外伴飞诱饵属此类;拖曳诱饵是由连接在发射装置的线缆拖曳诱饵飞行,美国专利^[10-11]报道的几种运动型诱饵属此类。

目前,国外装备的典型运动型红外诱饵主要有MJU-47/B、MJU-71B、ARM-024、ARM-031、K7、ALE-50(V)拖曳式红外诱饵等。

MJU-71B是Esterline公司开发的一种自推进式红外诱饵弹,它采用改进的MAGTEF颗粒(镁与特氟隆的混合物)作为烟火材料。这种烟火材料既产生诱使敌方导弹远离飞机的红外能量,同时也起推进剂的作用,能产生足够的推力,使诱饵弹跟随飞机飞行而不会迅速下落。MJU-71B的尺寸为25mm×25mm×206mm,可从美国空军的标准投放系统上投放,MJU-71B外形如图5所示。



图5 MJU-71B自推进式红外诱饵

由美国洛勒尔公司研制Loralei运动型诱饵弹主要用在下一代战术飞机上。它用火箭作动力,由标准的干扰投放器弹射,引诱红外制导导弹跟随它离开被保护的飞机。其作用过程是:刚发射时,Loralei贴近飞机飞行,其运动轨迹和红外辐射特征与作战飞机很相似;到适当时间以后,引开来袭导弹。该诱饵弹是模仿F-16飞机的红外特征而设计的,但也可调整诱饵弹的特性,使其能模仿任何一种飞机的运动和红外特征。

ALE-50(V)是由美国雷声公司、西南宇航公司和英国合金表面公司联合研制的一次使用的拖曳式

灵巧红外诱饵。由雷声公司负责设计,西南航空公司负责空中拖曳系统,合金表面公司生产载荷及其装置。ALE-50(V)可以仿真被保护目标的运动特征。具有按照用户要求由拖缆实时投放的能力。其有效载荷厚度为1.5 mm的自燃箔片,它们与投放器和步进马达共同组成该诱饵。发射时,步进马达转动,电子活塞将自燃箔片挤压出,形成一定面积的红外辐射。由于不同高度大气环境不同,诱饵的辐射能力也不同。ALE-50(V)通过MIL-STD-1553B数据总线实时提供高度和运动参数,根据高度和运动参数信息调节有效载荷推出的速率控制红外能量的输出强度。该诱饵的另一特点是可输出强弱相间的调整红外信号,这种特性使其可以有效地对抗采用辐射强度识别抗干扰技术的红外制导武器。

2.3 面源诱饵

面源诱饵技术最关键的是诱饵材料的制备。目前使用的主要有自燃液体材料、低温燃烧烟火材料、自燃箔片。

自燃液体红外诱饵(liquid pyrophoric)采用羟基铝作为诱饵材料,一旦暴露在空气中就会产生一种可控的双波段红外信号。这种新型诱饵弹发射后,推动装置将弹体从投放器中推出,弹壳及固定电缆留在发射器内。弹体脱离发射器时,推动摩擦导线点燃气体发生器,打碎隔板,推动活塞,使羟基铝从喷嘴喷出,喷出的材料在气流中瞬间点燃并产生红外辐射。火焰可长达几米,与喷气式飞机羽烟的实际尺寸更接近。具有代表性产品有加拿大防御公司生产的MJU-5188和MJU-5130B红外诱饵,前者为战斗机研制,后者为运输机研制,均为 $\Phi 36\text{ mm} \times 158\text{ mm}$,燃烧时间为1.5 s。自燃液体诱饵的作用过程如图6所示,MJU-5130B诱饵如图7所示。

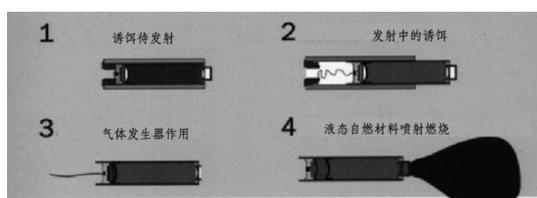


图6 自燃液体诱饵的作用过程

低温燃烧烟火材料类面源红外诱饵主要是采用低温燃烧的烟火药剂配方,通过装药结构设计使载荷抛出后分散,形成一定面积的红外辐射。由于燃烧温度较低,其辐射光谱与载体较接近。这类诱饵

主要是BUCK公司生产的DM69 A2以及其替代产品Cirrus 118。



图7 MJU-5130B自燃液体红外诱饵

自燃箔片红外诱饵采用的干扰源是一种新材料—表面多孔合金材料(SMD),当暴露在空气中后,能在1 s内温度达到 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。在放热反应中,加入金属(如B、Al、Zr、Ti)或加入金属氧化物能升高或降低热效应,这种自燃材料通过氧化而不是通过燃烧产生红外辐射。由于合金材料燃烧时能够逼真模拟载机的羽烟温度和辐射光谱,可以很好的改善点源MTV诱饵在辐射光谱、辐射强度、空间形状与载体存在的明显差异,有效对抗红外成像制导导弹。自燃箔片是一种表面多孔合金材料,采用铁铝合金脱铝法制备。美国专利^[12-14]详细介绍了这种制备工艺,其表面特征如图8所示。

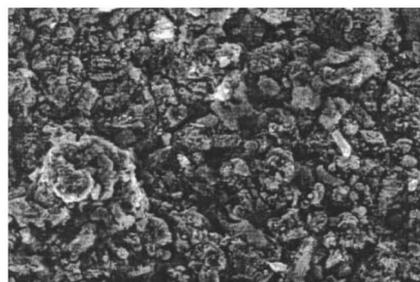


图8 自燃箔片表面形貌($\times 3\ 000, 5\ \mu\text{m}$)

具有代表性产品有合金表面公司生产的MJU-50/B和MJU-51/B红外诱饵。MJU-50/B是为运输机、战斗机和直升机应用而研制的。它采用SMD材料,在发射甚至点火前完全密封,当箔片从弹筒中弹出后与空气接触迅速氧化并辐射热量。在有效持续时间上,MJU-50/B与标准MTV诱饵相差无几,但不会产生可见光。该弹尺寸为 $25\text{ mm} \times 25\text{ mm} \times 206\text{ mm}$,可与美国空军的标准投放系统配用。MJU-51/B是专为战斗机应用而研制的,也采用SMD材料,产生的红外辐射特征可很好地覆盖载体发动机红外频谱区,其尺寸为 $25\text{ mm} \times 52\text{ mm} \times 206\text{ mm}$ 。

MJU-52B BOL-IR 诱饵由瑞典萨伯公司和合金表面公司联合研制的新一代红外诱饵系统。装备于 F-14、F-15、EF-2000 等多款机型。约 60 片发火片密封于 58 mm×53 mm×4.9 mm 大小的磁盘状盒子里,随伞包装入塑料模块夹形成一个模块盒,伞包与拆封带相连。一个投放系统最多可装填 160 盒。发射时,伞包打开,在空气作用下迅速减速,带动拆封带将发火片释放出去。发火箔片遇空气氧化放热形成一定面积的辐射,释放过程如图 9 所示。

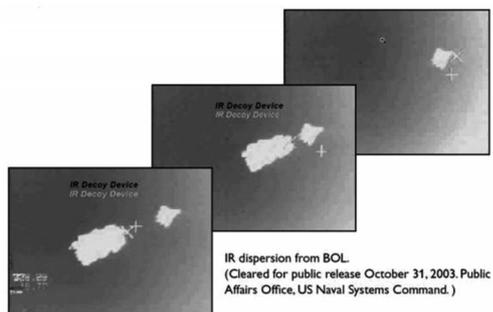


图9 BOL 投放器施放的红外诱饵

COMET 是美国雷声公司和合金表面公司联合为攻击机、大型运输机等研制的先进红外对抗装备。吊舱内装填有自燃箔片,为了加强其欺骗能力,在威胁武器发射之前的截获阶段 COMET 就开始实施诱骗。为 A-10、C-130 和指定的战术空军作战飞机研制的 COMET 旨在能够提供具有先发制人特点、持续时间长的投放能力,因此无需导弹告警器。它能施放一种特殊材料,施放时间可长达 30 min。COMET 吊舱如图 10 所示。



图10 COMET 吊舱

2.4 空射诱饵

空射诱饵是当前外军普遍装备和使用的一种先进的、低成本的、高效能的电子对抗武器。它是以模拟载机红外、雷达信号特性、对敌方地空防御武器系统中的探测系统实施欺骗干扰和压制干扰的电子战

武器,是保护作战飞机安全的重要手段之一。空射诱饵通过发动机尾焰模拟己方作战飞机的红外辐射特性,引诱和欺骗敌方探测设备,使其难以发现和识别真实目标,诱骗敌方进攻武器偏离目标;或采用电子干扰等手段,对敌方探测系统进行干扰和压制,达到保护真实目标的目的。

空射诱饵按照作战任务特点可以分为诱骗型和干扰型。诱骗型空射诱饵通过发动机及蒙皮逼真模拟作战飞机红外、雷达特性在敌方地空防御系统上显示“真实”飞机信号,制造虚假空情;干扰型空射诱饵通过实施逼近式压制干扰,对敌方地空防御系统进行压制。

微型空射诱饵(MALD)是 DARPA 先进概念技术演示提出的由雷声公司研制的一种可编程空射巡航器。具有与载机相似的红外和雷达特征。微型空射诱饵的技术特点是:(1)低成本、一次性使用、可以发射后不管、能在现役、发展中及盟国作战飞机上使用;(2)机身采用流线型设计,空气阻力小;采用新型复合材料,质量轻,对飞机载重影响较小;(3)飞行高度为 914~10 668 m,飞行速度马赫数为 0.9 左右,基本型飞行距离达 805 km,干扰型飞行距离达 905 km,在 914 m 高度飞行时间约 20 min,在 10 668 m 高度飞行时间约 30 min;(4)采用 GPS 和惯性制导,飞机控制更加精确。(5)有效载荷空间较大,并可替代;(6)信号复制载荷能够通过编程来实施工作,有效载荷具有模块化、可替换等特点。

微型空射诱饵(MALD)使用 TJ-50 微型发动机,质量小于 300 磅,航程约 500 海里。单发成本可控制在 30 000 美元。主要以冲淡、迷惑的方式干扰敌防空系统用于掩护友军战机,以使友军获得空中优势。MALD 可从 F16 发射,发射后不需要与载机通信。MALD 空射诱饵如图 11 所示。



图11 MALD 空射诱饵

(下转第 39 页)

- [2] 薛慧. 红外搜索与跟踪系统中光学系统的设计[J]. 光学学报, 2010, 0253-2239(2010)08-2 383-04.
- [3] 陈津津, 赵劲松. 一种紧凑型折射式红外搜索/跟踪光学系统设计[J]. 红外技术, 2008, 30(5): 279-282.
- [4] 刘峰. 折/衍射混合红外目标搜索/跟踪光学系统设计[J]. 光学学报, 2010, 0253-2239 (2010)07-2084-05.
- [5] 史光辉. 含有三个非球面的卡塞格林系统光学设计[J]. 光学学报, 1998, 18(2): 238-241.
- [6] 潘君骅. 光学非球面的设计、加工与检验[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2004.
- [7] 潘君骅. 大口径红外成像系统的光学设计[J]. 光学学报, 2003, 23(12): 1475-1478.
- [8] 樊学武, 马臻, 陈荣利. 红外双波段卡塞格林光学系统设计[J]. 光子学报, 2003, 32(4): 463-465.
- [9] Warren J Smith. Modern Optical Engineering [M]. The McGraw-Hill Companies, Inc, 1996.
- [10] 王海涛, 耿安兵. 一体化红外双波段成像光学系统[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(3): 489-492.

(上接第17页)

3 结束语

综上所述, 为了有效地对抗愈发先进的红外制导导弹, 未来要求红外诱饵弹能更加逼真地模拟目标特性。因此红外诱饵技术的发展及战术使用趋势是从单一体制→“cocktail”→多种体制复合的发展及使用模式。同时未来红外诱饵在组分和结构的设计方面将变得更加复杂, 对红外诱饵的发展提出三点展望: (1) 工作波段多光谱化。多光谱探测技术、多波段制导技术的广泛应用极大提高了武器系统的作战性能和抗干扰能力, 因此必须提高红外诱饵的多光谱信息融合; (2) 投放装备的小型化、功能操作简单化。从美军装备来看, 其对体积要求较为苛刻, 因此必须突出投放装备小型化, 以适应各种复杂的战场环境; (3) 对抗功能多层次化。随着光电技术发展, 全方位的侦测技术已逐步形成, 因此对抗手段的多层次、多手段化也成为发展的趋势。

参考文献

- [1] 贾明永, 董德新, 陈勇. 多元双色红外导引头抗干扰技术研究[J]. 航空兵器, 2006(3): 19-22.
- [2] 赵非玉, 卢山, 蒋冲. 面源红外诱饵仿真建模方法研究[J]. 光电技术应用, 2012, 27(2): 66-69.
- [3] Spectrum balanced infrared flares pyrotechnic composition [P]. U.S. Patents, 5472533. 1995.
- [4] Infrared decoy flare composition [P]. U.S. Patents, 20070251 617. 2007.
- [5] Koch E C. Pyrotechnic countermeasures: Advanced aerial infrared countermeasures [J]. Propellants Explosives Pyrotechnics, 2006, 31(1): 3-19.
- [6] 赵非玉, 马春孝, 卢山. 机载红外诱饵技术的发展 [J]. 舰船电子工程, 2012(3): 20-22.
- [7] Decoy flare [P]. U.S. Patents, 5400712. 1999.
- [8] Propelled pyrotechnic decoy [P]. U.S. Patents, 5561260. 1996.
- [9] Nozzles for pyrophoric IR decoy [P]. U.S. Patents, 5866840. 1999.
- [10] Towed decoy system [P]. U.S. Patents, 4718320. 1988.
- [11] Electronically configurable towed decoy for dispensing infrared emitting flares [P]. U.S. Patents, 6055909. 2000.
- [12] Exothermically formed aluminide coating [P]. U.S. Patents, 5866840. 1999. 5102700. 1992.
- [13] Aqueous masking solution for metal treatment [P]. U.S. Patent 5262466. 1995.
- [14] Pyrophoric materials and method for making the same [P]. U.S. Patent 5464699. 1995.

(上接第30页)

- [19] GB4599—2007 汽车前照灯配光性能[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [20] 朱骞, 朱向冰. 采用小功率LED的汽车前照灯光学设计[J]. 光学技术, 2012(4): 427-430.
- [21] Aleksandra Cvetkovic, Oliver Dross, Julio Chaves, et al. Etendue-preserving mixing and projection optics for high-luminance LEDs, applied to automotive headlamps [J]. Opt. Express, 2006, 14: 13014-13020.
- [22] Hung CC, Fang YC, Huang MS, et al. Optical design of automotive headlight system incorporating digital micromirror device [J]. Applied Optics, 2010, 49(22): 4182-4187.
- [23] 俞培锋. 世界汽车灯具及灯光技术研究[J]. 汽车工程师, 2012(6): 22-26+51.
- [24] 方英兰, 朱向冰. 自适应前照灯的功能及实现[J]. 中国照明电器, 2010(7): 11-16.
- [25] 武汉, 朱向冰, 朱骞, 等. 王程. 基于数字微镜元件的自适应前照灯光学设计[J]. 红外与激光工程, 2013(4).