

中美军用飞机及武器装备部分底漆标准差异浅析

甘志宏, 王浩伟

(中国特种飞行器研究所, 湖北 荆门 448035)

摘要: 对比分析了我国军用飞机及武器装备用底漆标准与美军标存在的差异, 并提出具体的改进措施。综述了中美现有的军用飞机及武器装备用底漆的相关标准, 从标准体系和技术指标两方面入手分析了二者存在的差异。由于时间、经验不足等原因, 我国现行军用飞机及武器装备底漆标准体系尚不完善, 性能指标尤其是耐盐雾和丝状腐蚀性能与美军标有较大差距。提出了我国军用飞机及武器装备用底漆产品研发以及建立和健全我国军用飞机及武器装备底漆标准的建议, 有助于全面提升海洋环境下军机及武器装备腐蚀防护与控制水平。

关键词: 军用飞机; 武器装备; 底漆; 标准; 技术要求

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.05.014

中图分类号: TQ630.7 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)05-0069-06

A Brief Analysis of Military Specifications for Primer Coatings of Aircraft and Military Equipment between China and America

GAN Zhi-hong, WANG Hao-wei

(Special Vehicle Research Institute of China, Jingmen 448035, China)

ABSTRACT: To compare the differences of military specifications for primer coatings of aircraft and military equipment between China and America, and to propose detailed improvement measures. Some major military specifications for primer coatings of aircraft and military equipment in China and America were reviewed and compared. From the two aspects of specification system and technical requirement, the differences of military specifications for primer coatings of aircraft and military equipment were analyzed. Due to the lack of time and experiences, the existing military specifications system for primer coatings of aircraft and military equipment in China still requires to be improved. There is still a wide gap compared to American military specifications in salt-spray corrosion resistance and filiform corrosion resistance. Some suggestions were proposed on the development of primer coatings for aircraft and military equipment and the existing military specifications. They are helpful for the overall improvement of the level of corrosion prevention and control of aircraft and military equipment in marine environment.

KEY WORDS: military aircraft; military equipment; primer coating; specification; technical requirement

收稿日期: 2014-07-30; 修订日期: 2014-08-23

Received: 2014-07-30; Revised: 2014-08-23

作者简介: 甘志宏(1973—), 女, 江西宜春人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为飞机腐蚀防护与控制。

Biography: GAN Zhi-hong(1973—), Female, from Yichun, Jiangxi, Ph. D., Senior engineer, Research focus: corrosion prevention and control for aircraft.

与陆基飞机不同,海军航空装备的服役环境具有湿度大、紫外照射强、盐雾侵蚀等特点。随着我国海军战略的转型和航母的服役,海军航空装备使用环境日益恶劣,腐蚀损伤威胁日趋严重^[1]。海军航空装备腐蚀调查结果证实了这一分析,近年来我海军飞机随着服役年限的增长和海上活动范围及停留时间的增加,陆续出现了结构腐蚀问题^[2-3]。涂层技术是飞机和武器装备腐蚀控制最经济、最有效的方法之一。涂层防护体系对抵抗环境因素对飞机结构的腐蚀至关重要,是提高飞机结构抗腐蚀品质,保障飞机结构达到预期服役使用年限的决定性因素^[4-6]。因此,当前我国应不遗余力地开展高效防腐涂层体系的研发,满足航母和舰载飞机等军用飞机及武器装备的腐蚀防护要求。

涂层防护体系的耐蚀性能和附着力主要依靠底漆层^[7],因此发达国家均非常重视底漆的研发工作,研制了多种类型和用途的底漆,并制定了相应标准。由于美国国防部网站对中国读者的封锁,美军标收集不尽完善。美军标底漆标准矩阵中涉及军用飞机和武器装备用二十类底漆标准,基本涵盖了军用底漆产品品种和类型,详细规定了这些产品的基本组成、用途和技术指标等。与一般工业用底漆相比,军用飞机和武器装备使用的底漆在可靠性、安全性和有效性等方面有其特殊性和更高的要求,因而系统了解国外先进标准,对国内底漆产品的研发和应用具有重要的参考和借鉴价值。文中主要从标准体系和技术要求上对军用飞机及武器装备使用的底漆美军标及国军标进行综合对比,找出二者之间的差异,提出我国军用飞机及武器装备用底漆产品研发以及我国军用飞机及武器装备底漆标准体系构建的相关建议,为国内军用飞机及武器装备高效抗腐蚀防护体系涂层材料工程化及应用研究提供技术支持。

1 军用底漆标准体系的比较

1.1 美国军用标准矩阵

美国军用底漆有专用于铝合金、复合材料以及碳纤维表面的,有用于铆钉和接缝处以及与高柔韧性蒙皮面漆配套用的聚氨酯弹性底漆,还有水性漆、电泳漆、高固体份、无铬无铅、潮气固化型的、起落架上用的底漆等,都符合低 VOC 要求,专用性强,以满

足不同机型,不同使用环境的要求。美国军方根据底漆的组成、用途和施工方法对底漆进行详细分类,制定了门类齐全的底漆产品标准。部分美国军用底漆标准见表 1^[8]。

1.2 国内军用标准

国内军用底漆产品的基本品种与国外相比差别较大,在品种花色上与国外相比逊色不少,特别是专用性方面。国内目前仅有飞机蒙皮用底漆、复合材料用聚氨酯底漆、氟聚氨酯无光磁漆配套聚氨酯底漆、舰船富锌防锈底漆、环氧有机硅耐热底漆和铝粉沥青船等六类底漆产品及相应军用标准。国内现有的军用飞机和武器装备用底漆标准列于表 2 中。

1.3 军用底漆标准体系上的差异

由表 1、表 2 比较可见,国军标与美军标在标准体系上主要存在的差异主要包括两方面:一方面,相对美军标而言,国内军用底漆产品种类匮乏,专用性差,且缺乏相应的技术标准;另一方面,美军标严格规定了标准适用的军种,这是考虑到飞机和武器装备在各军种的服役环境不尽相同。因此防护产品必须经过相关军种腐蚀预防与控制主管部门的环境适应性验证与评估,满足使用环境要求后方可获准在该军种推广应用。我国尚未全面开展防护产品有针对性的环境适应性评估。

2 军用底漆标准技术要求综合对比分析

GJB 5591—2006《军用飞机氟聚氨酯涂料通用规范》中配套使用 TB 06-9 锌黄丙烯酸聚氨酯底漆,该材料于“九五”期间等效采用美军标 MIL-P-23377D-85《耐化学品和溶剂的环氧聚酰胺底漆标准》开展研制的,并在“十一五”期间推广应用到重要航空武器装备上,使我国战斗机外表面防护涂层材料达到当时国际先进水平。随着世界先进材料的发展和美军对底漆防腐性能认识和应用目的上的变化,美国研制了军用飞机和武器装备,尤其是舰载飞机,适用的新型高效防腐底漆,并修订 MIL-P-23377D-85,形成了 MIL-PRF-23377K-2012^[35] 标准。由于受型号研制周期、经费、技术储备以及对腐蚀认识上的局限,我国高效抗腐蚀涂层材料研究相对滞后,新研型号仍沿用 TB 06-9 锌黄丙烯酸聚氨酯底漆。

表 1 美国军用底漆标准矩阵

Table 1 Specifications and standards matrix of primer coatings for aircraft and military equipment in America

标准号	发布日期	标准名称	制定单位	标准状态	使用单位			
					陆军	空军	海军	海岸警卫队
SSPC-PAINT1 ^[9]	1995-04-11	油性底漆,红铅和蓖麻油	国防部总务管理局	有效			×	
SSPC-PAINT27 ^[10]	1989-08-30	碱性铬酸锌-乙烯丁缩醛水洗底漆	国防部总务管理局	有效	×		×	
A-A-1552 ^[11]	1999-01-11	底漆(铁氧化物,气溶胶型)	国防部总务管理局	有效				
A-A-50557 ^[12]	1996-05-15	金属用丙烯酸或改性丙烯酸水性底漆	国防部总务管理局	有效	×	×	×	
A-A-52465 ^[13]	1993-06-09	有机溶剂达标的合成底漆(刹车鼓用)	陆军	有效	×			
A-A-52474 ^[14]	1996-12-04	电泳底漆	陆军	有效	×			
DOD-P-15328 ^[15]	1992-03-21	金属预处理用水洗底漆(117 配方)	陆军	有效	×	×	×	×
DOD-PRF-24648 ^[16]	1991-03-05	钢外表面用锌粉底漆	海军	有效	×	×	×	
MIL-P-11414 ^[17]	1992-07-22	无铅、无铬醇酸快干防腐底漆	陆军	有效	×	×		
MIL-P-19602 ^[18]	1996-05-09	滚涂用烘干底漆	海军	无效	×		×	
MIL-P-53022 ^[19]	1988-06-01	无铅、无铬环氧底漆	陆军	有效	×		×	×
MIL-P-53030 ^[20]	1992-08-20	无铅、无铬潮气固化型环氧底漆	陆军	有效	×		×	
MIL-P-53084 ^[21]	1994-06-24	耐化学试剂的阴极电泳底漆	陆军	有效	×			
MIL-PRF-23377 ^[22]	2012-04-10	高固体份环氧底漆	海军	有效	×	×	×	×
MIL-PRF-26915 ^[23]	2006-10-20	钢用底漆	空军	有效		×	×	
MIL-PRF-85582 ^[24]	2002-05-09	环氧水性底漆	海军	有效	×	×	×	×
TT-P-645 ^[25]	2006-08	钼酸锌醇酸防腐底漆	海军	有效			×	
TT-P-650 ^[26]	1988-02-25	内部结构用白色乳胶漆(石膏墙板)	国防部总务管理局	有效			×	
TT-P-1757 ^[27]	1997-05-15	单组份醇酸底漆	海军	有效	×	×	×	×
TT-P-2760 ^[28]	1994-12-30	高固体份弹性聚氨酯底漆	海军	有效	×	×	×	

表 2 中国军用底漆标准

Table 2 Specifications and standards of primer coatings for aircraft and military equipment in China

标准号	发布日期	标准名称	标准状态
GJB 385A—1996 ^[29]	1996-06-04	飞机蒙皮用脂肪族聚氨酯磁漆及配套底漆规范	有效
GJB 461—1988 ^[30]	1988-03-23	I44-87 铝粉沥青船底漆	有效
GJB 1592—1993 ^[31]	1993-03-28	H61-83 航空用各色环氧有机硅耐热底漆规范	有效
GJB 4063—2000 ^[32]	2000-06-15	舰船富锌防锈底漆通用规范	有效
GJB 5452—2005 ^[33]	2005-12-12	直升机复合材料用聚氨酯底漆和面漆规范	有效
GJB 5591—2006 ^[34]	2006-05-17	军用飞机氟聚氨酯涂料通用规范	有效

注:GJB 5591—2006 规范适用于军用飞机氟聚氨酯无光磁漆及其配套聚氨酯底漆的研制、生产和交货。

下面通过对 GJB 5591 与 MIL-PRF-23377K 的性能指标分析,找出我国军用飞机底漆材料与国外材料的差距,有助于后续底漆产品的改进与研发。

性能指标逐一比对后可见,GJB 5591 与 MIL-PRF-23377K 的技术指标差异主要表现在 10 个项目上,具体差异见表 3。MIL-PRF-23377K 底漆具有优异的抗腐蚀性能,经 1000 h 丝状腐蚀后,划痕处丝

状腐蚀长度不超过 3.2 mm;破坏性试样耐盐雾 2000 h 后,划痕处不出现腐蚀问题。TB 06-9 锌黄丙烯酸聚氨酯底漆,目前其防腐蚀性能指标已经低于 MIL-PRE-23377K 相应指标要求,耐盐雾性能上有所欠缺,而耐丝状腐蚀性能尚未考虑。在高温高湿和高盐雾等恶劣的海洋大气环境中,丝状腐蚀极易发生,且相当严重^[36]。

表 3 GJB 5591—2006 聚氨酯底漆与 MIL-PRF-23377K 的主要技术指标差异
Table 3 Major performance differences between GJB 5591—2006 polyurethane primer and MIL-PRF-23377K

序号	项目	GJB 5591—2006	MIL-PRF-23377K	两者差异
1	固体含量	58% ~ 62%	65% ~ 70%	美军标高于国军标, 涂料更环保
2	干燥时间(室温)	表干≤0.5 h, 实干≤12 h	表干≤0.5 h, 实干≤8 h	美军标高于国军标
3	耐冲击性	50 cm 冲击漆膜不裂	漆膜冲击伸长率不小于 10%	检验方法不同, 美军标要求冲击柔韧性
4	附着力	固化 7 d, 漆膜无脱落	固化 14 d, 漆膜无脱落	国军标高于美军标
5	铅笔硬度	不小于 2 H	—	美军标无铅笔硬度要求
6	红外反射比	—	相对于硫酸钡, II 型漆膜在 700 ~ 2600 nm 波段的红外反射率不大于 10%	美军为实现目标伪装提出的性能
7	耐热性(200±2)℃, 8 h	漆膜不起泡, 不开裂, 允许变色	—	美军标无此项要求
8	耐盐雾 5% NaCl(40±1)℃, 2000 h	非破坏试样漆膜不起泡, 不脱落, 无腐蚀, 允许轻微变色,	破坏试样漆膜不起泡, 无生锈和脱落等缺陷, 划痕处无任何腐蚀	美军标高于国军标
9	耐丝状腐蚀(40±2)℃, (80±5)%	—	耐丝状腐蚀 1000 h 后, 划痕处腐蚀扩展不超出划痕 6.4 mm; 丝状腐蚀长度不超过 3.2 mm	美军标高于国军标
10	耐 RP-3 喷气燃料(23±2)℃, 72 h	漆膜不起泡、不起皱、不脱落、允许轻微变色, 铅笔硬度允许下降 1 级	—	美军标无此要求

3 我国军用底漆产品研发和标准体系构建的建议

为有效规范我军腐蚀防护工作, 促进高性能底漆产品的研制、开发与应用, 全面提升航空装备整体抗腐蚀防护能力, 保障飞机和武器装备的可靠性与安全性, 从底漆产品开发和标准体系构建两方面开展下列工作迫在眉睫。

3.1 我国军用底漆产品研发建议

1) 强化军用飞机和武器装备腐蚀防护涂层体系中关键骨干材料的抗腐蚀性能, 包括铝合金、结构钢、复合材料表面用的防护底漆, 全面提升舰载机的整体抗腐蚀防护能力。优化铝合金、结构钢表面用防护底漆的耐盐雾性能, 非破坏性试样 3000 h, 破坏性试样 2000 h; 借鉴美军标 MIL-PRE-23377K, 增加底漆耐丝状腐蚀 1000 h 性能要求。

2) 从专用性出发, 拓展国内军用底漆的品种花色。如增加用于铆钉和接缝处以及与高柔韧性蒙皮

面漆配套用的聚氨酯弹性底漆, 水性漆、电泳漆、潮气固化型等底漆品种, 满足不同机型、不同服役环境、不同施工方式的要求。

3) 优先开发综合性能优异、环境友好的底漆产品。今后航空涂料将向底漆无铬、无铅化, 底面漆体系高性能化, 高固体份、无溶剂和水性化方向发展。近期我国应重点发展无铅/无铬、高固体份、水性和弹性底漆产品的研制。

4) 长期以来, 面向我国重点行业和重大产业的中高档涂料涂层用原材料——树脂和颜填料等基本全部依赖进口, 使得占我国涂料价值 70% 左右的中高端市场基本为国外公司所垄断。迫切需要加强原材料合成、防腐机理等相关基础性研究工作, 解决纳米材料和纳米结构应用于树脂涂层中的关键和共性技术问题, 突破国外的中高端树脂及其涂料涂层专利技术壁垒和产品的长期垄断和封锁。

3.2 我国军用底漆规范与标准体系构建的建议

1) 参考、借鉴国外军用标准体系, 制定电泳底

漆、水洗底漆、无铅/无铬环氧底漆、高固体份环氧底漆、水性环氧底漆和高固体份弹性聚氨酯底漆等国家军用标准,建立全面、系统、规范的腐蚀防护底漆产品规范与标准体系。虽然上述新型底漆产品在国内尚处于研制阶段,但标准先行,有利于规范生产厂商的产品技术要求,稳定产品质量。

2) 制定技术指标科学合理,具有实用性、可操作性和先进性的底漆国家军用标准规范。相对涂膜的其他物理性能,丝状腐蚀试验方法是考察涂层抗腐蚀性能的一项更灵敏、更严格的方法,建议国军标增加此项技术要求,大力推动国内生产单位研制出防止丝状腐蚀扩展性能优异的底漆。

3) 涂料在国际上被列为仅次于汽车的第二大“空气污染源”,各国纷纷出台法律法规,限制挥发性有机物和重金属的使用。我国必须按照本国国情,分阶段分步骤地将强制性环保要求列入我国军用标准的技术要求。

4) 加强标准的宣贯,宣贯范围包括底漆的研制、生产、使用各方(如底漆生产企业、飞机制造厂、空军、海军、陆航、各飞机大修厂等),以加强标准的约束力,促进高性能、质量稳定的底漆产品的研制、开发与应用。

4 结语

标准日益成为国家发展的战略性资源和国际竞争力的核心要素,标准化已经与型号研制成败相依、密不可分,始终贯穿于武器装备采购与研制全寿命周期。从标准体系和技术指标对比分析中美军用飞机及武器装备用底漆存在的差异,提出我国军用飞机及武器装备底漆产品研发以及我国军用飞机及武器装备底漆标准体系构建的建议,有助于全面提升海洋环境下军机及武器装备腐蚀防护与控制水平。

参考文献:

[1] 杨晓华,金平. 飞机使用环境谱的编制[J]. 装备环境工程,2010,7(6): 99—102.
YANG Xiao-hua, JIN Ping. Compile of Aircraft Operation Environment Spectrum[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(6): 99—102.

[2] 穆志韬,谭晓明,刘志国. 海军现役飞机的腐蚀损伤失效分析及腐蚀防护[J]. 装备环境工程,2009,6(1):

43—48.

MU Zhi-tao, TAN Xiao-ming, LIU Zhi-guo. Corrosion Damage Failure Law Analysis and Corrosion Control for Naval Aircraft in Servicing[J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(1): 43—48.

- [3] 谭晓明,穆志韬,张丹峰,等. 海军飞机结构当量加速腐蚀试验研究[J]. 装备环境工程,2008,5(2): 9—11.
TAN Xiao-ming, MU Zhi-tao, ZHANG Dan-feng, et al. Equipment Accelerated Corrosion Test Study of Navy Aircraft Structure[J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(2): 9—11.
- [4] 王俊芳,杨晓然. 军用防腐涂料涂装的发展探讨[J]. 装备环境工程,2005,2(6): 45—49.
WANG Jun-fang, YANG Xiao-ran. Discussion on the Development of Military Corrosion Protective Coating Technology[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(6): 45—49.
- [5] 房振乾,陈群志,董兵,等. 飞机结构表面涂层体系改进研究[J]. 装备环境工程,2013,10(5): 102—107.
FANG Zhen-qian, CHEN Qun-zhi, DONG Bin, et al. Improvement of Aircraft Structure Surface Coating System[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(5): 102—107.
- [6] EVANS U R. The Corrosion and Oxidation of Metals[M]. London: Edward Arnold Ltd, 1960.
- [7] NGUYEN T N, HUBBARD J B, MCFADDEN G B. A Mathematical Model for the Cathodic Blistering of Organic on Steel Immersed in Electrolytes[J]. J Coat Tech, 1991, 794(63): 43—52.
- [8] Robert A. Herron. Corrosion Specifications and Standards-Developing A Standardized Qualification Process [EB/OL]. <http://www.dodcorrosionexchange.org>, 2005.
- [9] SSPC Paint1, Oil Primer, Red Lead and Rawlinseed[S].
- [10] SSPC Paint27, Basic Zinc Chromate-vinyl Butyral Wash Primer Paint Specification No. 27[S].
- [11] A-A-1552, Primer Coating(Ferric Oxide, Aerosol)[S].
- [12] A-A-50557, Primer, Water-Borne, Acrylic or Modified Acrylic, for Metal Surfaces[S].
- [13] A-A-52465, Primer Coating, Synthetic, VOC Complaint (for Brake Drums)[S].
- [14] A-A-52474, Electrocoating Primer[S].
- [15] DOD-P-15328, Primer (Wash), Pretreatment (Formula No. 117 for Metals) (Metric)[S].
- [16] DOD-PRF-24648, Primer Coating, Zinc Dust Pigmented for Exterior Steel Surfaces (Metric)[S].
- [17] MIL-P-11414, Primer, Alkyd, Fast Dry, Corrosion Inhibi-

- ting, Lead and Chromate Free, VOC Complaint[S].
- [18] MIL-P-19602, Primer, Size Coating, Baking, for Roller Coat Application[S].
- [19] MIL-P-53022, Primer, Epoxy Coating, Corrosion Inhibiting, Lead & Chromate Free[S].
- [20] MIL-P-53030, Primer Coating, Epoxy, Water Reducible, Lead & Chromate Free[S].
- [21] MIL-P-53084, Primer, Cathodic Electrodeposition, Chemical Agent Resistant[S].
- [22] MIL-PRF-23377, Primer Coatings: Epoxy, High-Solids[S].
- [23] MIL-PRF-26915, Primer Coating, for Steel Surfaces[S].
- [24] MIL-PRF-85582, Primers: Epoxy Waterborne[S].
- [25] TT-P-1757, Primer Coating, Alkyd Base, One Component[S].
- [26] TT-P-2760, Primer Coating, Polyurethane, Elastomeric, High-Solids[S].
- [27] TT-P-645, Primer, Paint, Zinc-Molybdate, Alkyd Type[S].
- [28] TT-P-650, Primer Coating, Latexbase, Interior, White (for Gyp Sum Wallboard) [S].
- [29] GJB 385A—1996, 飞机蒙皮用脂肪族聚氨酯磁漆及配套底漆规范[S].
- GJB 385A—1996, Specifications for Aliphatic Polyurethane Enamels and Compatible Primers for Aircraft Skin Application[S].
- [30] GJB 461—1988, L44-87 铝粉沥青船底漆[S].
- GJB 461—1988, Aluminum Bitumen Shipbottom Paint[S].
- [31] GJB 1592—1993, H 61—83 航空用各色环氧有机硅耐热底漆规范[S].
- GJB 1592—1993, H61—83 Heat-resistant Epoxy Organosilicone Primer Coating with Various Colours for Aircraft Use, Specifications for[S].
- [32] GJB 4063—2000, 舰船富锌防锈底漆通用规范[S].
- GJB 4063—2000, General Specifications for Zinc Rich Anticorrosive Primer for Naval Ship[S].
- [33] GJB 5452—2005, 直升机复合材料用聚氨酯底漆和面漆规范[S].
- GJB 5452—2005, Specification for Polyurethane Primer and Top Coat for Helicopter Composite Materials[S].
- [34] GJB 5591—2006, 军用飞机氟聚氨酯涂料通用规范[S].
- GJB 5591—2006, General Specifications for Fluorocarbon Polyurethane Coating for Military Aircraft[S].
- [35] MIL-PRF-23377K, Primer Coatings: Epoxy, High-solids[S].
- [36] MOL J M C, HINTON B R W, WEIJDE D H VAN, et al. A Filiform Corrosion and Potentiodynamic Polarisation Study of some Aluminum Alloys[J]. J Mater Sci, 2000, 35: 1629—1639.

(上接第 37 页)

- [15] 周美立. 相似系统工程[J]. 系统工程理论与实践, 1997(9): 37—43.
- ZHOU Mei-li. Similarity Systems Engineering[J]. Systems Engineering-theory & Practice, 1997(9): 37—43.
- [16] 周美立. 仿真系统建模的相似性与复杂性[J]. 系统仿真学报, 2004(12): 2664—2666.
- ZHOU Mei-li. Similarity and Complexity of Modeling for Simulation Systems[J]. Journal of System Simulation, 2004(12): 2664—2666.
- [17] 陈涛. 多指标综合评价方法的分析与研究[J]. 科技信息(学术研究), 2008(9): 350—352.
- CHEN Tao. Analysis and Research on Multi Objectives Synthetic Evaluation[J]. Scientific and Technical Information (Academic Research), 2008(9): 350—352.
- [18] 李博. 多指标综合评价方法应用中存在的问题与对策[J]. 沈阳工程学院学报(社会科学版), 2010(2): 200—202.
- LI Bo. Problems and Countermeasures of application in Multi Objectives Synthetic Evaluation[J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering (Social Sciences), 2010(2): 200—202.
- [19] 郭春明, 韩之俊. 基于 IDEF0 的产品生命周期过程建模[J]. 机械制造, 2005(10): 27—30.
- GUO Chun-ming, HAN Zhi-jun. Product Life Cycle Process Modeling Base on IDEF0[J]. Machine Building, 2005(10): 27—30.
- [20] 雷波, 荣立军, 廖钢, 等. IDEF_0 方法及其在复杂系统分析设计中的运用[J]. 计算机应用研究, 1999(4): 26—28.
- LEI Bo, RONG Li-jun, LIAO Gang, et al. Application of IDEF_0 in Analysis and Design of Complex Systems[J]. Application Research of Computers, 1999(4): 26—28.
- [21] 周美立. 相似性科学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- ZHOU Mei-li. Similarity Science[M]. Beijing: Science Press, 2004.