



·效应、试验与评估·

飞机及分系统雷电效应标准及测试浅析*

陈功, 蒋东, 王奇福, 曾世超, 王凤

(中国电子科技集团公司第十研究所, 成都 610036)

摘要: 对国内外关军用及民用飞机平台、分系统及设备雷电标准进行分析, 针对雷电直接效应和雷电间接效应的所有测试项目, 详述每个测试项目的适用区域、波形要求、测试配置等。结合现有国内雷电设计验证标准及测试存在的不足, 提出提升测试设备与试验验证技术匹配性、扩展军用标准测试领域、统一同军种同一平台要求等建议。通过对军用机载平台、设备及分系统关于雷电设计验证标准及测试的分析, 为相关产品设计师及试验人员提供设计指标参考, 明确产品关于雷电防护的设计要求及验证要求, 做到有的放矢, 提高设计费效比。

关键词: 雷电直接效应; 雷电间接效应; 初始先导附着; 扫掠通道附着; 电弧引入

中图分类号: V21

文献标志码: A

doi: 10.11884/HPLPB202436.230384

Analysis of standards and test methods for aircraft and subsystem lightning effects

Chen Gong, Jiang Dong, Wang Qifu, Zeng Shichao, Wang Feng

(The 10th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chengdu 610036, China)

Abstract: An analysis of lightning standards is made for military and civil aircraft platforms, subsystems, and equipment both domestically and internationally, detailing the applicable areas, waveform requirements, and testing configurations for each test item for both direct and indirect lightning effects. Based on the existing domestic lightning design verification standards and shortcomings in testing, suggestions are proposed to improve the compatibility between testing equipment and testing verification technology, expand the field of military standard testing, and unify the requirements of the same service and platform. Through presenting the lightning design verification standards and testing for military airborne platforms, equipment, and subsystems, the analysis provides design index references for relevant product designers and testers to clarify the design requirements and verification requirements for lightning protection, thus to achieve targeted goals and improve design cost-effectiveness.

Key words: lighting direct effects, lighting indirect effects, initial leader attachment, swept channel attachment, arc entry

雷电效应试验是模拟自然界雷电放电, 其高电压特性、强电流冲击产生的高温、高热和强电磁力对材料及结构的效应^[1]。随着对雷电效应对产品功能性能、安全性损伤性认识的提高, 需对产品开展雷电效应防护设计, 并通过试验验证其雷电环境的适应性评估。关于雷电效应试验验证的要求, 对大多数产品设计师、测试人员而言比较陌生, 因此明确相应标准要求, 才可使设计及测试有的放矢。在关于雷电效应试验标准方面, 国内外相关机构均开展多个领域的研究并制定试验验证标准。民用方面, 美国及欧洲公布关于机载设备相关标准, 该系列标准用于开展雷电效应试验验证。国际电工协会(IEC)对民用设备开展雷电试验验证研究并发布相关测试标准。军用方面, 美国对海陆空天分系统、设备及分系统、航空航天器及部件等制定出雷电效应验证要求。我国在民用及军用方面也发布了相应的试验验证标准^[2-3]。但我国研究较晚, 与国外相比, 存在一定差距, 特别是军用方面的系统、设备及分系统雷电效应标准。由于雷电设计验证标准的滞后, 产品设计师对雷电防护的认识不足, 对标准中规定的试验验证要求理解参差不齐, 导致产品关于雷电防护方面也存在差异^[4-5]。通过国内、国外、国际关于雷电防护要求的

* 收稿日期: 2023-10-31; 修订日期: 2024-02-06
联系方式: 陈功, cheng_sc@163.com。

对比,重点论述机载平台、分系统及设备雷电直接效应测试项目及要求、雷电间接效应测试项目及要求,并对当前标准提出相应的建议,对于机载平台总体设计人员开展雷电防护总体设计、测试人员开展雷电防护试验有一定帮助。

1 飞机及分系统雷电防护相关标准

1.1 国外标准

民用标准。美国航空无线电技术委员会(RTCA)的 RTCA/DO-160G^[6] 中第 22 章及第 23 章对于机载平台的设备及分系统提出雷电直接效应及间接效应的试验要求、试验波形、试验方法。美国汽车工程师学会(SAE)通过 SAE ARP5412B^[7] 明确了飞机雷电直接效应及间接效应的环境、测试波形,通过 SAE ARP 5416A^[8] 明确雷电直接效应及间接效应测试方法,通过 SAE ARP5414B^[9] 明确飞机雷电分区。对于建筑物方面,IEC62305-4^[10] 提出雷电环境、防护及测试。对于风力发电机方面,IEC61400-24^[11] 明确雷电防护要求。欧盟方面,关于机载设备的雷电标准研究等效于美国 SAE,欧洲民用航空设备组织(EUROCAE)的 EUROCAE ED-14G^[12] 等同于 RTCA/DO-160G, EUROCAE ED-84^[13] 等同于 SAE ARP5412B, EUROCAE ED-105A^[14] 等同于 SAE ARP5416A, EUROCAE ED-91^[15] 等同于 SAE ARP5414B。民用标准方面主要基于民机适航,提出验证要求及方法,而其他方面的雷电防护,绝大多数基于设计要求,无详细的验证方法。

军用标准。美国在 MIL-STD-1757A^[16] 中,针对航天器防雷提出试验波形、测试方法;在 MIL-STD-464D^[17] 第 5.5 中,关于海、陆、空、舰船等平台,提出系统级雷电直接效应及间接效应,并给出相应的波形。而在 MIL-STD-461G^[18] 中 CS117,针对海、陆、空、舰船等设备及分系统提出雷电间接效应的试验波形、极限及方法等。军用标准方面 MIL-STD-461G 中 CS117 基于 RTCA/DO-160G 中第 22 章进行一定裁剪,仅对电缆束开展试验验证,细化单根线缆及线束的极限,试验波形与验证方法对应原标准的等级三至五。对于航天器、系统级标准,规定的试验方法验证操作性不强。

1.2 国内标准

民用标准。标准 HB6167.24^[19] 及 HB6167.25^[20] 对于机载平台的设备及分系统提出雷电直接效应及间接效应的试验要求、试验波形、试验方法。GB/T21714^[21] 等同于 IEC62305,而其他基于 IEC62305 制定的标准包括建筑物防雷设计 GB50057^[22]、建筑物电子信息系统防雷技术规范 GB50343^[23]。除此之外,还有依据 IEC62305 标准,基于行业设备设施和防护器件方面的标准,包括低压电浪涌保护器 GB18802.11^[24]、石油与石油设施雷电防护规范 GB15599^[25]、建筑物防雷规范 GB50601^[26]、GB/T21431^[27]、石油化工装置防雷设计规范 GB50650^[28]、电子设备雷击的 GB/T7450^[29] 等。国内民用机载平台标准等同于国外的 RTCA/DO-160G,试验验证操作性较强,明确产品设计要求及验证方法,对于试验人员及设计人员有一定的指导意义;其他民用标准主要基于设计措施,验证方法不清楚。

军用标准。针对军用飞机系统级、设备及分系统级的雷电试验标准 GJB3567A^[30],提出试验要求及方法、GJB2639^[31] 提出试验波形;对于地地导弹系统的 GJB8007^[32] 提出通用防护要求;地面电子设施防雷通用要求见 GJB6784^[33];而对于机动通信系统的标准 GJB7581^[34] 仅提出防护要求。涉及海、陆、空、天等平台设备及分系统级的雷电标准 GJB151C^[35] 中对电缆束提出试验要求及方法,基于 HB6167.24 电缆束试验进行裁剪。对于运载火箭编制有 GJB1804^[36] 标准。系统级方面还在 GJB1389B^[37] 中第 5 章提出雷电直接效应及间接效应的波形,在 GJB8848^[38] 提出针对机载平台、地面平台的雷电要求及相关试验方法,具体实施又按 HB6167.24 和 HB6167.25 开展相关验证。国内军用标准参照美军标,基本等同于国外标准,解决试验验证的使用问题以及设计条件的收入问题,基于国内硬件条件,对少部分标准进行适应性调整。

1.3 国内外标准差异

国外机载平台方面,国外公布的 SAE ARP 541X、RTCA/DO-160G^[6](EUROCAE ED14G^[12])中第 22 章、RTCA/DO-160G(EUROCAE ED14G)中第 23 章详细阐述民用机载平台雷电防护的试验等级选择、试验波形、试验方法等;RTCA/DO-160G(EUROCAE ED14G)中第 22 章、RTCA/DO-160G(EUROCAE ED14G)中第 23 章基于 SAE ARP 5416A^[8] 进行裁剪,裁剪后的内容等同于原来的相关部分内容。国外公布的 MIL-STD-461G,详细阐述军用海陆空天多平台的分系统及设备级雷电防护要求;MIL-STD-464D^[17] 详细阐述平台/系统级海陆空天多平台的雷电防护要求,其中 MIL-STD-461G^[18] 是对 RTCA/DO-160G(EUROCAE ED14G)中第 22 章进行裁剪,补充单根线缆的试验要求、方法、波形等;MIL-STD-464D 没有具体的试验方法。

国内标准基本对标国外,并对其进行适应性调整。HB6167.24^[19]、HB6167.25^[20]分别等同于 RTCA/DO-160G (EUROCAE ED14G)中第 22 章、RTCA/DO-160G(EUROCAE ED14G)中第 23 章。GJB3567A^[30]对 SAE ARP 5416A 进行裁剪,绝大部分要求、方法、波形等同于原标准;国内标准 GJB151C 中雷电防护内容等同于 MIL-STD-461G 中雷电防护内容。GJB1389B^[37]中雷电防护内容等同于 MIL-STD-464C^[35],但该标准具有相应的试验方法标准 GJB8848^[38],主要包括机载平台及地面平台。

国内外雷电防护关于军用方面涉及到平台范围更广,不仅包括机载平台,而且涵盖陆军、海军、设备设施及空间系统等。

2 试验要求及方法

2.1 试验波形

雷电效应试验包括直接效应和间接效应,直接效应试验包括高电压试验及大电流试验,间接效应包括引脚注入及耦合注入。雷电直接效应中的高电压试验包括四种波形,具体为电压波形 A、电压波形 B、电压波形 C、电压波形 D。大电流试验包括七种电流分量波形,具体为 A 分量、Ah 分量、A/5 分量、B 分量、C 分量、C*分量、D 分量、E 分量。

雷电间接效应试验包括七种波形,分别为电流波形 1、电压波形 2、电流/电压波形 3、电压波形 4、电流波形 5A、电流波形 5B、电流波形 6。其中电流波形五种,电压波形三种,波形 3 既是电流波形也是电压波形,电流波形 5 包括 5A、5B。

2.2 试验分类及试验项目

根据雷电效应的作用机理,雷电效应试验包括雷电直接效应试验和雷电间接效应试验。根据被试品的功能层级,雷电效应试验可分为平台/系统级、设备及分系统两类试验。平台/系统级试验项目包括航空器缩比模型雷电附着试验、整机脉冲电流试验、整机扫频电流试验。设备及分系统的试验项目包括初始先导附着试验、扫掠通道附着试验、电弧引入试验、非导电表面电流试验、传导电流试验、外部部件瞬态感应试验、引脚注入试验、电缆束试验、燃油系统油箱及部件的传导试验、燃油系统油箱及部件的直接雷击试验、高电压附着试验、小间隙电压击穿试验、高压电晕与流光试验。

2.3 试验项目的适用范围及试验配置

2.3.1 直接效应

2.3.1.1 高电压试验

高电压试验包括初始先导附着试验、扫掠通道附着试验、缩比模型雷电附着试验。各标准要求及方法见表 1。对于机载产品来说,一般先通过软件仿真或缩比模型雷电附着试验确定平台的分区,该分区结果作为其他两项试验的依据。作为产品设计师,根据该试验验证要求开展相关的设计,最后试验人员据此开展试验验证。

表 1 高电压测试项目及要求

Table 1 High voltage testing items and requirements

testing items	regions		numbers of test set-up		waveform	
	DO160G.23 (EUROCAE ED14G.23)、HB6167.25	SAE ARP 5416A、GJB3567A	DO160G.23 (EUROCAE ED14G.23)、HB6167.25	SAE ARP 5416A、GJB3567A	DO160G.23 (EUROCAE ED14G.23)、HB6167.25	SAE ARP 5416A、GJB3567A
initial leader attachment test	1A、1B	1A、1B	1	3	D	A、D
swept channel attachment test	1C、2A、2B、3N	1C、2A、2B	2	2	A	A
high voltage strike attachment test on models	/	/	/	2	/	C、D

初始先导附着试验适用于 1A、1B 区的部件,测试配置包括配置 A、配置 B 和配置 C 三种,配置 A 模拟自然的雷电,配置 B 模拟由飞机引发的雷击,配置 C 模拟分流条遭遇雷电的情况,配置 A 试验采用电压波形 D,配置 B 和配置 C 试验采用电压波形 A 或电压波形 D。

扫掠通道附着试验适用于 1C、2A、2B 区的部件,试验配置有一种,明确 0.25 m 量级或更大尺寸的被试品的需

要进行若干附着点,具体数量结合被试品材质确定,规定放电电极的尺寸,采用电压波形 A 开展试验。

缩比模型雷电附着试验包括两种配置,分别用于模拟自然的雷电先导和由飞机引发的雷击,采用电压波形 C 或 D 确定飞机的分区。该项试验作为开展其它雷电直接效应设计及试验的依据,通过其确定产品所处的分区,从而明确产品设计及试验波形、波形等级、试验配置等。

2.3.1.2 大电流试验

大电流试验包括电弧引入试验、非导电表面电流试验、传导电流试验、外部部件瞬态感应试验、燃油系统及部件传导试验。各标准要求及方法见表 2。对于机载产品来说,一般先通过软件仿真,结合缩比模型雷电附着试验确定平台的分区,该结果作为大电流试验的依据。作为产品设计师,根据该试验验证要求开展相关的设计,最后试验人员据此开展试验验证。

表 2 大电流测试项目及要

Table 2 High current testing items and requirements

testing items	regions		numbers of test set-up		waveform	
	DO160G.23 (EUROCAE ED14G.23)、 HB6167.25	SAE ARP 5416A、 GJB3567A	DO160G.23 (EUROCAE ED14G.23)、 HB6167.25	SAE ARP 5416A、 GJB3567A	DO160G.23 (EUROCAE ED14G.23)、 HB6167.25	SAE ARP 5416A、 GJB3567A
arc entry test	1A、1B、1C、 2A、2B、3N	1A、1B、1C、 2A、2B	1	1	component A、 Ah、A/5、B、C、 C*、D	component A、 Ah、B、C、C*、D
non-conductive surfaces test	/	1A、1C、2A	/	1	/	component A、 Ah or D
conducted current test	/	3	/	1	/	component A、B、 C、Ah or D
induced transients in external mounted hardware	1A、1B、1C、 2A、2B、3N	1A、1B、1C、 2A、2B	1	1	refer to arc entry test and conducted current test	refer to arc entry test and conducted current test
fuel system test	refer to arc entry test and conducted current test	refer to arc entry test and conducted current test	2	1	refer to arc entry test and conducted current test	refer to arc entry test and conducted current test

电弧引入试验适用于 1A、1B、1C、2A、2B 区的部件,该试验配置未明确放电电极的尺寸,采用 A 分量、Ah 分量、B 分量、C 分量、C*分量、D 分量开展试验。非导电表面电流试验适用于 1A、1C、2A 区的非导电表面,采用 A 分量、Ah 分量或 D 分量开展试验,如涉及到部件的热效应则采用 B 分量、C*分量。传导电流试验适用于 3 区的部件,采用 A 分量、B 分量、C 分量、Ah 分量或 D 分量开展试验。外部部件瞬态感应试验适用于 1A、1B、1C、2A、2B 区的部件,通常结合电弧引入试验和传导电流试验完成。燃油系统及部件传导试验包括五个大项,涉及两项电流试验和三项电压试验。电流试验参照传导电流试验及电弧引入试验,电压试验参照高压附着及燃油照相和可燃混合气体方法开展试验。

2.3.2 间接效应

间接试验包括整机脉冲电流、引脚注入试验、电缆束试验。各标准要求及方法见表 3。对于机载产品来说,一

表 3 间接效应测试项目及要

Table 3 Indirect effects testing items and requirements

testing items	test level		number of test set-ups		waveform	
	DO160G.22 (EUROCAE ED14G.22)、 HB6167.24	SAE ARP 5416A、 GJB3567A	DO160G.22 (EUROCAE ED14G.22)、 HB6167.24	SAE ARP 5416A、 GJB3567A	DO160G.22 (EUROCAE ED14G.22)、 HB6167.24	SAE ARP 5416A、 GJB3567A
pulse current aircraft test	/	1	/	1	/	component A、 Ah
pin injection test	5	5	2	3	3、4、5A	3、4、5A
wire bundle test	5	5	2	2	1~6	1~6

般先通过脉冲电流测试确定平台的各分系统及设备的感应电平,该结果作为引脚注入试验、电缆束试验的依据。作为产品设计师,根据该试验验证要求开展相关的设计,最后试验人员据此开展试验验证。

整机脉冲电流试验包括低电平脉冲电流和高电平脉冲电流试验,采用电流分量 A 和电流分量 Ah。整机扫频电流试验又叫连续波扫频试验,电流扫频的范围为 10 Hz~30 MHz。结合两个试验,确认飞机电子电气系统线缆的设计应防护瞬态电平和瞬态波形,同时可以确定电缆的屏蔽效能。

引脚注入试验包括两个类别,涉及雷电敏感度试验波形 3、波形 4、波形 5A,注入干扰波形等级分为五级。该试验项目考核被试品接口电路对雷电间接效应产生的电压、电流的抗毁能力。针对电源线试验项目包括直接注入、电缆束注入和对地注入,针对信号线仅有直接注入。

根据耦合机理和电缆状态,电缆束试验包括 10 个类别,涉及雷电间接效应试验波形 1~波形 6,注入干扰波形等级分为五级。该试验项目考核被试品在雷电环境中电磁效应对壳体及电缆束的耦合效应。试验项目包括电缆束感应和对地注入试验。

3 现有标准的思考及建议

国内雷电标准起步较晚,存在设计要求与试验验证、试验设备与试验验证的失配性。国内较早针对飞机平台的雷电试验标准,仅有雷电直接效应试验方法,无雷电间接效应试验方法。其他部分雷电标准中仅有雷电设计方面的要求(如 GJB1804),无具体的试验验证方法。这些标准同时体现在当时的国内雷电在试验测试设备、设计验证手段上存在困难。随着国内测试仪器及设备发展,建议后续可以完成相关的试验方法、研制专用测试系统,完善验证方法,提升测试技术,并修订相应标准。

国内雷电标准针对机载平台的标准较完备,而针对其他平台欠缺。GJB8848 针对军用机载平台、地面平台具备较完善的测试要求、布置及方法等,但舰船、航天、空间系统等其他平台的雷电试验标准欠缺。结合现有标准,建议针对舰船平台、航天平台、空间平台等制定各自雷电标准及试验方法,实现标准对所有平台的覆盖。

同一军种的同一平台,不同的军用标准对其要求差异较大。一个相同军种地面系统的雷电试验验证要求,不同军用标准采用的试验波形、试验要求、试验验证方法等不一致。一个军用标准参考 IEC 组织,结合避雷针考核的雷电浪涌冲击对连接器端口的易损性,未考核电缆、结构件等;另一个军用标准参考 SAE 组织,通过雷电直接效应及间接效应,考核连接器端口、电缆、结构件等。两个标准参考不一致,导致试验波形、试验等级、试验设备等不同,可能导致不同的试验结论,建议针对不同军种,明确各自统一相应的要求、方法等,实现同一平台同一军种关于雷电验证的一致性。

4 结论

结合国内外机载雷电标准的情况,军民系统、设备及分系统在雷电标准方面的研究,重点综述性分析现有机载系统、分系统及设备方面的雷电试验标准,简单对比国内外关于雷电直接效应及间接效应的试验波形、试验配置等。对于从事雷电效应产品雷电防护设计人员、测试人员,使其明确设计防护要求、考核的要求、试验关注点等,提高其设计费效比有一定指导意义。同时分析现有国内标准差异情况,建议对国内现有雷电标准的进行修编,更好适应于现有产品的设计验证需求。未对其他民用平台展开雷电要求及试验研究,如风电、太阳能、供电站等,后续可以进一步结合机载平台开展相关工作。

参考文献:

- [1] 陈功,蒋东,王奇福,等.关于机载雷电效应设计验证标准及测试浅析[C]//第五届全国复杂电磁环境技术及应用学术会议论文集. 2023: 2023-0060. (Chen Gong, Jiang Dong, Wang Qifu, et al. The analysis of verification standards and test methods for aircraft and subsystem lightning effects[C]//Mianyang, 2023: 2023-0060)
- [2] 张万里,史云雷,何勇,等.雷电电磁脉冲对典型机载 GPS 模块的损伤效应研究[J]. *强激光与粒子束*, 2021, 33: 033001. (Zhang Wanli, Shi Yunlei, He Yong, et al. Study on damage effects of lightning electromagnetic pulse on typical airborne GPS module[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2021, 33: 033001)
- [3] 刘贺楠,郭俊,伊同强,等.飞行器雷电直接效应与间接效应防护综述[J]. *宇航总体技术*, 2019, 3(4): 56-62. (Liu Henan, Guo Jun, Yi Tongqiang, et al. Protection of direct and indirect effects of lightning on aircraft[J]. *Astronautical Systems Engineering Technology*, 2019, 3(4): 56-62)
- [4] 黄立洋,陈晓宁,郭飞,等.直升机雷电间接效应数值仿真[J]. *强激光与粒子束*, 2015, 27: 083205. (Huang Liyang, Chen Xiaoning, Guo Fei, et al. Numerical simulation of lightning indirect effects on helicopter[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2015, 27: 083205)
- [5] 李鹏,郑毅,韩超,等.基于光电二极管探测器的闪电光辐射信号观测[J]. *强激光与粒子束*, 2011, 23(10): 2625-2629. (Li Peng, Zheng Yi, Han Chao, et al.

- Observation of lightning optical signals with photodiode detector[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2011, 23(10): 2625-2629)
- [6] RTCA/DO-160G, Environmental conditions and test procedures for airborne equipment[S].
- [7] ARP5412B, Aircraft lightning environment and related test waveforms[S].
- [8] ARP5416A, Aircraft lightning test methods[S].
- [9] ARP5414B, Aircraft lightning zone[S].
- [10] IEC 62305-4, Protection against lightning—Part 4: Electrical and electronic systems within structures[S].
- [11] IEC 61400-24, Wind energy generation systems—Part 24: Lightning protection[S].
- [12] EUROCAE ED-14G, Environmental conditions and test procedures for airborne equipment[S].
- [13] EUROCAE ED-84, Aircraft lightning environment and related test waveforms[S].
- [14] EUROCAE ED-105A, Aircraft lightning test methods[S].
- [15] EUROCAE ED-91, Aircraft lightning zoning[S].
- [16] MIL-STD-1757A, Lightning qualification test techniques for aerospace vehicles and hardware[S].
- [17] MIL-STD-464D, Electromagnetic environmental effects requirements for systems[S].
- [18] MIL-STD-461G, Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment[S].
- [19] HB 6167.24-2014, 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 24 部分: 雷电感应瞬态敏感度试验[S]. (HB 6167.24-2014, Environmental conditions and test procedures for airborne equipment of civil airplane—Part 24: Lightning induced transient susceptibility test[S])
- [20] HB 6167.25-2014, 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 25 部分: 雷电直接效应试验[S]. (HB 6167.25-2014, Environmental conditions and test procedures for airborne equipment of civil airplane—Part 25: Lightning direct effects test[S])
- [21] GB/T 21714, 雷电防护[S]. (GB/T 21714, Protection against lightning[S])
- [22] GB 50057, 建筑物防雷设计规范[S]. (GB 50057, Code for design protection of structures against lightning[S])
- [23] GB 50343-2012, 建筑物电子信息系统防雷技术规范[S]. (GB 50343-2012, Technical code for protection of building electronic information system against lightning[S])
- [24] GB/T 18802.1-2011, 低压电涌保护器 (SPD) 第 1 部分: 低压配电系统的电涌保护器 性能要求和试验方法[S]. (GB/T 18802.1-2011, Low-voltage surge protective devices—Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems—requirements and tests[S])
- [25] GB 15599, 石油与石油设施雷电安全规范[S]. (GB 15599, Safety rules of lightning with relation to petroleum and its facilities[S])
- [26] GB 50601-2010, 建筑物防雷工程施工与质量验收规范[S]. (GB 50601-2010, Code for construction and quality acceptance for lightning protection engineering of structures[S])
- [27] GB/T 21431, 建筑物防雷装置检测技术规范[S]. (GB/T 21431, Technical code for inspection of lightning protection system in building[S])
- [28] GB 50650-2011, 石油化工装置防雷设计规范[S]. (GB 50650-2011, Code for design protection of petrochemical plant against lightning[S])
- [29] GB/T 7450-1987, 电子设备雷击保护导则[S]. (GB/T 7450-1987, Guidance for lightning protection for electronic equipments[S])
- [30] GJB 3567A, 军用飞机雷电防护鉴定试验方法[S]. (GJB 3567A, Lightning protection qualification test techniques for military aircraft[S])
- [31] GJB 2639, 军用飞机雷电防护[S]. (GJB 2639, Lightning protection of military aircraft[S])
- [32] GJB 8007-2013, 地地导弹武器系统雷电防护通用要求[S]. (GJB 8007-2013, General requirements for lightning protection of ground-to-ground missile weapon system[S])
- [33] GJB 6784-2009, 军用地面电子设施防雷通用要求[S]. (GJB 6784-2009, Rules for the continental military electronic facilities against lightning[S])
- [34] GJB 7581-2012, 机动通信系统雷电防护要求[S]. (GJB 7581-2012, Lightning protection requirements for mobile communication systems[S])
- [35] GJB 151C, 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量[S]. (GJB 151C, Electromagnetic emission and susceptibility requirements and measurements for military equipment and subsystems[S])
- [36] GJB 1804-93, 运载火箭雷电防护[S]. (GJB 1804-93, Lightning protection of launch vehicle[S])
- [37] GJB 1389B-2022, 系统电磁环境效应要求[S]. (GJB 1389B-2022, Electromagnetic environmental effects requirements for systems[S])
- [38] GJB 8848-2016, 系统电磁环境效应试验方法[S]. (GJB 8848-2016, Electromagnetic environmental effects test methods for systems[S])