

基于标准分析军用飞机实验室淋雨试验参数设计

张昭, 唐虎, 张亚娟

(中航工业飞机强度研究所, 西安 700165)

摘要: 目的 对军用飞机淋雨试验进行降雨参数设计, 为军用飞机实验室淋雨试验参数设计提供参考。方法 采用逐一分析, 横向对比的方法, 对国军标中部分与淋雨试验相关的六个标准, 以及国外的三个标准, 在降雨强度、雨滴直径及降雨方向等的参数设置进行分析。结果 总结降雨强度设计的规律以及各标准在实验室淋雨试验设计时的作用, 给出飞机水密性淋雨试验和除雨性能淋雨试验的部分降雨参数设计。结论 给出的降雨强度参数符合各标准的要求, 所总结的规律建立在深层理解各个标准的基础上, 为军用飞机实验室淋雨试验参数设计提供了参考。

关键词: 军用飞机; 淋雨试验; 降雨强度; 雨滴直径

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.09.009

中图分类号: TJ07; V216

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)09-0043-05

Analysis of Parameters Setting in Military Aircraft Laboratory Rain Test Based on Standards

ZHANG Zhao, TANG Hu, ZHANG Ya-juan

(AVIC Aircraft Strength Research Institute, Xi'an 710065, China)

ABSTRACT: Objective To design rainfall parameters for rain test of military aircraft rain test, and finally provide reference for parameters setting for laboratory rain test of military aircraft. **Methods** The six GJB standards and other three foreign standards were analyzed individually, and compared in parameters including rainfall rate, droplet size, duration time, rain angle, etc. **Results** The rules on design rainfall intensity and roles of each standard in designing laboratory rain test were summarized. Some rainfall parameters for rain test for water tightness and rain removal performance of aircraft were given. **Conclusion** The given value on rainfall intensity meets the requirements of all the standards. The rules summarized are established based on in-depth understanding of each standard. All these provide reference for parameters setting for laboratory rain test of military aircraft.

KEY WORDS: military aircraft; rain test; rainfall rate; droplet size

淋雨可能导致飞机发生一些功能性的损害, 例如雨水渗入导致电子设备故障、大雨导致飞机在起飞进场时能见度受影响等^[1]。早期, 降雨对飞机的影响被认为是轻微的。1977年, FAA对1964年到1976年的25起与低空风切变有关的飞机事故进行了研究, 发现25起事故中飞机都遭遇了降雨或者降雪天气, 其中有17起事故与大雨有关, 从此降雨对飞机的危

害被重视起来^[2]。

为了验证飞机在淋雨气候环境中仍然能够实现设计性能, 需要进行淋雨试验^[3]。国外, 如美国从20世纪40年代开始对飞机进行包括淋雨试验在内的实验室气候环境试验^[4-5]。目前, 国内尚不具备在实验室进行淋雨试验的条件, 现代军用飞机必须具备全天候作战和跨区域作战的能力^[6], 国内军用飞机的实验

室气候试验势在必行。淋雨试验参数设计是对淋雨试验的试验条件进行具体规定,包括降雨强度、雨滴直径及叠加风速等。目前,关于军用飞机的实验室淋雨试验,有多项国军标进行相关规定。由于标准提出单位、出发点以及类型不尽相同,存在对同一过程规定不一致的地方,并且部分标准由过去的引用标准发展为剪裁标准。这一变化对飞机淋雨试验设计人员提出了更高的要求,设计人员需要根据飞机的部署、使用环境特点,充分理解现有标准的规定,对试验参数、程序以及顺序进行剪裁设计。

文中从不同角度,深入分析国内和飞机淋雨试验相关的数个标准,并结合国外标准,对淋雨试验参数进行了对比分析。理清飞机淋雨试验参数的内在联系,得出能够覆盖大部分标准要求的淋雨参数,为将来国内军用飞机淋雨试验设计提供参考。

1 相关国军标

现行涉及军用飞机淋雨试验的标准较多,表 1 为部分与淋雨试验相关的国军标(起草单位只列出前三名)。内容包括气候极值、防水排水设计要求、实验室试验方法、风挡除雨系统规范等。这些标准

出台的背景、目的及考察部位不尽相同,标准提出方以及起草单位也不相同,导致对同一考察目的出现的降雨参数,比如降雨强度、雨滴直径、风速等多种多样。另外,一些问题几个标准都没有明确给出确定的参数。比如,GJB 150.8A 中指出,该标准不适用于进行飞机风挡除雨装置评定,而 GJB 5190 中虽然规定了飞机风挡除雨系统的设计工作强度以及雨情分类,但是在试验验证部分没有和其联系起来,也没有给出具体的降雨参数。另外,针对飞机防水性能考核试验,GJB 150.8A,GJB 5431 以及 GJB 2417 都对试验提出了要求,但是降雨强度、降雨方向等参数都不一致。

在这些标准中,部分标准直接提供了淋雨试验的参数及过程,如 GJB 150.8A,是专门针对军用设备淋雨试验的军用标准。GJB 2417 是军方提出的飞机防水性试验要求,GJB 5431 在设计要求的试验验证部分描述了淋雨试验过程及参数,见表 2。其他标准通过提出风挡除雨系统的设计强度、飞机进场保证能见度的降雨强度、军用设备降雨极值等参数,间接体现了对淋雨试验的参数要求。表 2 中,GJB 150.8A 雨滴直径 0.5~4.5 mm 是标准中对程序 I 和程序 II 的规定,其程序 III 的雨滴直径另有专门规定。

表 1 部分与飞机淋雨试验相关的国军标(后文中标准号省去版本号)

标准号	标准名称	提出单位	起草单位
GJB 150.8A—2009	军用装备实验室环境试验方法淋雨试验	中国人民解放军总装备部电子信息基础部	704所、301所、31基地
GJB 5431—2005	飞机结构防水排水设计要求	中航工业集团公司	603所、301所
GJB 5190—2003	飞机风挡除雨系统通用规范	中航工业集团公司	603所、301所
GJB 2417—95	飞机防水性试验要求	空军	空军工程学院、301所、603所
GJB 2537—95	固定翼飞机风挡系统通用规范	空军	空军工程学院、611所、301所
GJB 1172.5—91	军用设备气候极值	总参谋部气象局	总参谋部大气环境研究所

表 2 部分标准规定的淋雨试验相关参数

标准	类型	降雨强度/(mm·h ⁻¹)	持续时间	雨滴直径/mm
GJB 150.8A	降雨和吹雨	102	至少30 min	0.5~4.5
GJB 2417	地面防水性试验	127~288	至少20 min	未规定
	雨浸防水性试验	25~50	4~8 h	
GJB 5431	淋雨	130~230	至少20 min	0.5~4.5
	浸雨	25~50	至少4 h	0.5~4.5

飞机淋雨试验的主要目的有三个,一是考察飞机在淋雨环境中水密性(即防水排水性能),及发现由此导致的渗水部位及积水部位;二是考察飞机除雨系统性能,比如飞机在淋雨环境下进场时飞机风挡在除雨系统的帮助下能否提供必需的能见度;三是考

察飞机在暴风雨环境下露天停放时是否会产生机械损伤。这三个主要考察目的中,又以以前两个最为关键。由于对降雨强度要求都比较高,暴风雨下机械损伤的试验可以叠加到水密性试验一并进行。下面以水密性试验和除雨性能试验为主,分析相关标准的规定并进

行相关淋雨参数设计。

2 参数设计

2.1 水密性淋雨试验参数

GJB 150.8A 是一个军用设备淋雨试验的剪裁标准,是我国实验室淋雨试验的基本规范。标准的考核目的比较全面,主要涵盖设备的防水密封性、装备淋雨后的性能、淋雨过程中的物理损坏、及除雨装置的有效性(标准注明不适用于评定飞机风挡除雨装置)。标准推荐的降雨参数也比较全面,除了基本的降雨强度、雨滴直径及持续时间外,还有风速、接触角、水温与设备温差等。其中风速的加入是为了制造雨流的倾角,以便增加设备的暴露面。标准指出,对于设备的侧面,使雨水具有水平方向到 45°的变化,其次对除雨设备性能的考核也需要叠加风速影响,同时也考察了设备在暴风雨中物理损害的可能性。标准规定,试验开始前,设备温度高于水温 10°左右,雨水与设备温差的加入主要是为了增加设备内部的负压,以充分考核设备的防水密封性能^[7],其他国军标中针对防水性试验没有提出该要求。

GJB 5431 在飞机防水排水系统设计过程中的验证环节,提出了试验的降雨参数,规定了降雨强度、雨滴直径及持续时间等主要降雨参数,对降雨方向的要求为垂直向下^[8]。该试验的目的比较明确,是考核防水排水系统的性能。

GJB 2417 同 GJB 5431 类似,试验目的是考核飞机的防水性能,它的特别之处在于标准由空军提出,标准中的规定更直接代表了订购方的要求。对于雨流方向,标准具体要求为未被机翼挡住的部位雨流方向为 90°,维护口盖处为 45°,被机翼遮挡的部位为水平方向^[9]。此部分规定较为具体,操作性强,在淋雨试验方案制定过程中可以作为参考。另外该标准中规定的最大降雨强度是文中提及的标准中降雨强度最大的。

上文提到的三个标准,都适用于对飞机水密性能的试验验证,但是三个标准对于具体降雨参数的规定并不一致。其中,GJB 150.8A 给出了程序 I 降雨和吹雨的推荐降雨强度(102 mm/h),对于程序 II 加强(水密性)并没有给出推荐的降雨强度,只给出了喷嘴压力,其降雨强度值将在下文讨论。这样来看,与其他两个标准并不冲突,其他两个标准给出的降雨强度值可以作为 GJB 150.8A 的剪裁参考值。对于另外两个标准来说,同样是对飞机防水性能的考察,GJB 2417 的规定要比 GJB 5431 更加苛刻。前者最大降雨强度为 288 mm/h,后者为 230 mm/h。从标准的提出方来看,前者由采购方提出,后者由设计方提出。另外,GJB 150.8A 在试验程序选择部分提到:选择程序时,

应选择能代表预期最严酷的暴露程序。该原则对于参数选择同样适用,具体进行试验降雨强度选择时,应该根据该原则和委托方的要求进行综合考虑。

关于降雨方向的规定,三个标准互不相同,GJB 150.8A 对于设备侧面,要求降雨方向为水平到 45°,GJB 5431 要求垂直降雨,GJB 2417 进行了分类规定。三个标准中,GJB 2417 的规定最具针对性,也最为具体。在试验设计时,降雨方向的设计,应尽可能地参考 GJB 2417 的规定。

2.2 飞机除雨性能试验降雨参数

GJB 5190《飞机风挡除雨系统通用规范》没有明确规定淋雨试验的参数,但给出了风挡除雨系统的设计参数:工作降雨强度为 48 mm/h,设计降雨强度为 39 mm/h,其中前者为除雨系统工作的最大降雨强度,后者为除雨系统设计的指标值^[10]。除此之外,该标准还对雨情进行分类,见表 3。

表 3 雨情分类

雨情	降雨强度/(mm·h ⁻¹)	雨滴直径/mm
小雨	1	0.45
中雨	4	1.0
大雨	15	1.5
暴雨	40	2.1
霖雨	100	4.0

GJB 150.8A 中注明,其对除雨装置的考核不适用于飞机风挡装置,GJB 5190 内容中试验考核部分可以作为对 GJB 150.8A 在飞机风挡这一点的补充。标准中给出的雨情分类表,将降雨强度和雨滴直径联系起来,这是其他标准中没有的,只是在雨滴直径的数值上,与其他标准的值有细微差异。值得注意的是,标准给出了飞机风挡除雨系统的设计和工作降雨强度,以及雨情分类,但是在验证试验部分,并没有给出具体的降雨参数。在 GJB 2537—95 中规定,风挡排雨系统“保证在 100 mm/h 降雨量条件下进场着陆能见度”^[11]。这一规定表明,对飞机风挡系统的性能验证试验,降雨量应不小于 100 mm/h。同时,考虑到飞机进场这一要求,在试验时需要叠加一定的风速。综上所述,试验设计过程中,参考这三个标准给出的这些参数及试验程序,结合飞机风挡排雨系统的实际设计指标,对不同的飞机的风挡除雨装置进行针对性的性能验证试验设计。

2.3 结合气候极值分析相关降雨参数

以上标准是对淋雨试验或者除雨系统设计要求提出的降雨强度等参数要求,还有 GJB 1172.5《军用设备气候极值地面降水强度》,标准给出的全国小时降雨量记录极值为 252.8 mm。表 4 截取了标准中军用设备

环境条件 1 h 地面降水面积风险率承受极值^[12]。

表 4 普通降水 1 h 降水历时的降水量面积风险率承受极值
mm

面积风险率	预计暴露时间/a			
	2	5	10	25
0.005	91	94	103	113
0.01	87	90	96	102
0.05	82	87	92	100

GJB 1172 中给出的最小面积风险率（即最大级别降水）的小时降雨量为 113 mm/h。综合上文提到的几个标准，可以看出，GJB 150.8A 中推荐的降雨强度 102 mm/h，GJB 5190 中霪雨的降雨强度 100 mm/h 与 GJB 1172.5 的 10 年小时降雨量相同或接近。其他几个标准中提出的最大降雨强度 230, 288 mm/h 与 GJB 1172.5 中的记录极值 252.8 mm 接近。GJB 1172.5 中的数据是综合根据全国各地的降雨情况以及长时间的降雨记录数据综合得到的，具备实际意

义和应用价值，是飞机淋雨试验设计重要的参考源，不过该标准的制定时间距今已有一段时间，需要关注新标准的颁布。

对于飞机水密性试验，GJB 150.8A 和 GJB 5431 对雨滴直径的规定是 0.5~4.5 mm，而 GJB 2417 未做要求。从这些要求来看，得不到降雨强度与雨滴直径的具体对应关系。GJB 5190 对雨情的规定则对此进行了补充，因此对飞机水密性试验进行设计时可以参考此对应关系进行雨滴直径设计。

3 国外相关标准对比与分析

在此有代表性地选取美国、英国及北约现行相关标准进行分析。这些标准与 GJB 150A 类似，是针对军用设备的通用规范。对应于美军标，GJB 150.8A 和 MIL-STD-810F 对于降雨参数的规定基本相同，英军标 DEF STAN 0035 和北约标准 AECTP-300 与 GJB 150.8A 相比参数相差较多，表 5 给出了这三个标准的部分参数。

表 5 三个国外标准的部分参数设置

标准	类型	降雨强度/(mm·h ⁻¹)	持续时间/min	雨滴直径/mm
MIL-STD-810F	降雨和吹雨	102	>30	0.5~4.5
DEF STAN 00-35	欧洲部署	100±20	60	0.5~4.5
	全球部署	200±50		
AECTP-300	一般	102	120	0.5~4.5
	加强	240	25	
	超强	840	5	

除了 DEF STAN 00-35，其他标准，包括 MIL-STD-810F，AECTP-300 和 GJB 150.8A 给出了三个剪裁试验程序。这三个程序分类大致相同，其中程序 I 为淋雨和吹雨，程序 II 为加强（水密性），程序 III 为滴水。文中列出了程序 I 的降雨强度，GJB 150.8A，MIL-STD-810F 对程序 II 的降雨强度没有具体给出，只规定了喷嘴压力，均为 276 kPa。AECTP-300 对程序 II 降雨强度规定为 2400 mm/h，喷嘴压力为 377 kPa^[13-15]。由此可见，GJB150.8A 中程序 II 水密性试验的实际降雨强度也比较高，与上文提到的其他两个针对水密性试验的国军标相比，对降雨强度的规定并不矛盾。

从降雨强度来看，DEF STAN 00-35 和 AECTP-300 的要求更加苛刻。DEF STAN 00-35 在降雨强度上，区分了欧洲部署和全球部署，进行了针对性设置，并且没有区分程序 I 和程序 II，因此降雨强度要求较高。另外该标准在雨滴直径规定部分指出，雨滴直径小于 0.5 mm 时，视为雾或毛毛雨。AECTP 不同于其他标准，给出了程序 II 建议降雨强度，并且两个程序

的降雨强度要求都要比其他标准高。

综上所述，国外标准在降雨参数的规定上与 GJB 150.8A 基本相同。在降雨强度的规定上，除了美军标外，其他两个标准均比 GJB 150.8A 要求更高一点，原因之一是它们考虑了全球部署的因素。

4 结论

1) 对于飞机防水性试验，根据“选择能代表预期最严酷的暴露程序”这一原则，结合委托方需求，最大降雨强度在 230~288 mm/h 范围内选择，降雨方向根据 GJB 2417 进行设计，飞机温度高于降水温度 10℃左右。

2) 对于飞机除雨性能考核试验，由 GJB 5190 提供的雨情分类，最大工作雨情为 100 mm/h，并且 GJB 2537 提出“保证在 100 mm/h 降雨量条件下的进场着陆能见度”，因此试验降雨强度应不小于 100 mm/h，推荐值为 100 mm/h，并根据飞机实际情况，对应飞机风挡的方向叠加适当的风速。

3) 在进行飞机淋雨试验设计时, 以 GJB 150.8A 为主, 以其他国军标为辅作为试验剪裁参考。GJB 150.8A 规定最为具体, 提供了不同试验参数、程序、顺序等的剪裁参考, 包括了其他标准没有提到的细节。GJB 5431 和 GJB 5190, GJB 2417 等作为针对飞机风挡排水系统的针对性补充, 后者体现了军方的要求, GJB 1172.5 对淋雨试验参数设计提供数据支撑。

4) 纵观国内外关于飞机淋雨试验的降雨参数, 这些参数与飞机的实际应用环境, 部署位置等关系密切。在淋雨试验设计时, 要充分考虑每一架飞机的具体情况, 结合相关标准, 进行有针对性的剪裁。

参考文献:

- [1] BARNES W. Flight in an Adverse Environment[M]. Quebec: Canada Communication Group, 1994
- [2] LUERS J, HAINES P. Heavy Rain Influence on Airplane Accidents[J]. J Aircraft, 1983, 20(2): 187-191
- [3] 唐虎, 李喜明. 飞机气候试验[J]. 装备环境工程, 2012, 9(1): 60-65
- [4] 文邦伟. 美、日武器装备环境试验设施[J]. 装备环境工程, 2005, 2(1): 89-92
- [5] HENDRICKSON C L. Flight Test under Extreme Climatic Condition[R]. AD/A201710, 1988.
- [6] 陈新能. 从空中优势到信息战优势的转变——21 世纪美空军装备发展战略走向分析[J]. 国际航空, 2001(7): 52-55
- [7] GJB 150.8A—2009, 军用装备实验室环境试验方法第 8 部分: 淋雨试验[S].
- [8] GJB 5431—2005, 飞机结构防水和排水设计要求[S].
- [9] GJB 2417—95, 飞机防水性试验要求[S].
- [10] GJB 5190—2003, 飞机风挡除雨系统通用规范[S].
- [11] GJB 2537—95, 固定翼飞机风挡系统通用规范[S].
- [12] GJB 1172.5—91, 军用设备气候极值地面降水强度[S].
- [13] MIL-STD-810F, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [14] DEF STAN 00-35, Environment Handbook for Defence Materiel[S].
- [15] AECTP-300, Climatic Environmental Test[S].