

# 浅析飞机结构防排水设计方法

刘振兴 白增 闫书峰

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

**【摘要】**：飞机结构防排水设计是飞机腐蚀防护设计的重要组成部分，是影响飞机飞行安全、检修费用和使用寿命的关键因素。飞机结构的防排水设计不好会导致潮湿空气或雨水渗入飞机内部。若不能及时排出机体，长时间积聚在飞机内部，会对飞机机体结构带来严重危害。本文对飞机结构防排水设计方法开展设计研究，通过采取有效措施防止或减少雨水从缝隙进入飞机内部，达到降低机载设备故障发生率，减少飞机结构腐蚀，提高飞机使用安全性和寿命的目的。

**【关键词】**：飞机结构；防水；排水；试验验证

## Analysis on Design Method of Waterproof and Drainage of Aircraft Structure

Zhenxing Liu, Zeng Bai, Shufeng Yan

AVIC Xi'an Aircraft Industry Group Co., Ltd. Shaanxi Xi'an 710089

**Abstract:** The aircraft structure waterproof and drainage design is an important part of the aircraft corrosion protection design, and is a key factor affecting the flight safety, maintenance cost and service life of the aircraft. The poor waterproof and drainage design of the aircraft structure will lead to the infiltration of humid air or rain into the aircraft interior. If it cannot be discharged in time, it will accumulate inside the aircraft for a long time, which will cause serious damage to the aircraft body structure. In this paper, the design method of waterproof and drainage of aircraft structure is studied. By taking effective measures to prevent or reduce the rain from entering the aircraft from the gap, the purpose of reducing the failure rate of airborne equipment, reducing the corrosion of aircraft structure, and improving the safety and life of aircraft is achieved.

**Keywords:** Aircraft structure; Waterproof; Drainage; Test verification

### 研究背景

飞机结构防排水设计是飞机腐蚀防护设计的重要组成部分，是影响飞机飞行安全、检修费用和使用寿命的关键因素。飞机结构的防排水设计不好会导致潮湿空气或雨水渗入飞机内部。若不能及时排出机体，长时间积聚在飞机内部，会对飞机机体结构带来严重危害。主要表现在两方面：（1）容易引起各类机载设备故障，影响设备正常使用，严重的还会导致飞行事故；（2）容易引起结构发生腐蚀，使维护时间和维护成本大幅增加，导致使用寿命缩短，安全隐患增加。由此可见，飞机结构的防排水设计工作显得尤为重要，而且飞机结构的防排水设计要求，应始终贯彻在飞机研制的全过程。本文对飞机结构防排水设计方法开展设计研究，通过采取有效措施防止或减少雨水从缝隙进入飞机内部，达到降低机载设备故障发生率，减少飞机结构腐蚀，提高飞机使用安全性和寿命的目的。

## 1 飞机上水的来源及容易漏水积水的部位

### 1.1 飞机上水的来源

飞机机体上的水主要有三种来源：

（a）自然水：溅落在飞机表面的大气降水、飞机结构内部积聚的冷凝水、通入的冷却气夹带的水汽；（b）生活用水：乘员带入飞机的水、生活用水；（c）飞机使用维护过程中产生的水：机上物品的渗液、冲洗飞机残留的清洁液。

### 1.2 容易漏水积水的部位

（a）飞机机体上表面口盖边缘、舱门门槛；（b）紧固件及紧固孔周围；（c）机身与机翼、尾翼等连接区域；（d）存在结构缝隙的部位；（e）外部的活动连接结构。（f）机身底部的结构部位；（g）地板及周边部位。

## 2 飞机结构防排水设计要求

在进行飞机结构防排水设计时，首先应避免液体浸入飞机结构，对于无法避免的要采取排水和通风的措施，具体要求如下：

（a）气动布局应保证机体上部外形尽量光滑，以免水分积聚，同时采取合理有效的密封措施，尽可能地防止或减少雨水从结构缝隙进入飞机内部；（b）尽量选用具有较好的耐水、耐油和耐老化性能，且耐久性、可靠性高的密封性材料；（c）限制积水在机体内跨区域流动，易于积水的部位应合理布置排水设施，并保持排水通道畅通，将积水排出机外；（d）电子设备应布置在飞机结构内部干燥处，在潮湿水气易于积聚的区域，尽可能布置合适的通风设施，以防止水气的汇集和凝结。

## 3 飞机结构防排水设计的常规方法

### 3.1 密封防水

使用腻子或密封胶来消除飞机上的结构间隙，形成密闭的飞机结构，防止雨水或湿气的侵入；铆接时，保证铆接质量；

螺接时，保证螺母拧紧；蒙皮尽可能采用搭接，如采用对接，对缝间隙涂密封胶；口盖与口框连接间隙应均匀，并涂防水性较好的密封胶或粘贴橡胶密封带，以避免雨水从口盖与口框连接间隙渗入。

### 3.2 通风排水

在机身底部蒙皮处，应合理布置足够数量的排水孔，并在排水孔周边的结构件边缘涂密封胶，以避免积水从排水孔周边渗入，保证积水顺利排出机体；口框、门框和窗框边缘不仅要有良好的防水性能，同时还要有利于排水，不至于形成积水死角；易渗漏和积水部位要布置合适的通风口，尽可能使内部结构形成良好的通风状态，以防止湿气的汇集和凝结；定期打开口盖、通风窗和舱门，进行通风。

## 4 典型结构的防排水设计方法

不同结构形式有不同的防排水设计方法，按结构特点可以分为3类，分别是：机体结构防水设计、口盖（舱门）防水设计、排水设计。

### 4.1 机体结构防水设计

常规机体结构的防水设计方法如下：

(a) 结构设计时，应尽量避免采用水平的平面，并避免形成凹坑、沟槽；如无法避免时，应用密封剂填补；

(b) 飞机机体结构最大轮廓线以上部位的外蒙皮铆接应采用密封铆接；

(c) 在符合外形公差要求的条件下，机身、机翼及平尾的上表面蒙皮对缝和垂尾的蒙皮对缝，采用涂胶密封等方法进行密封；

(d) 可卸壁板、对接带板与蒙皮间，应用胶膜密封，连接紧固件湿装配；并在胶膜与蒙皮之间涂隔离剂，以方便拆卸；

(e) 复合材料结构(包括蜂窝结构)四周(包括自由边、端边和对缝)，应全部用密封胶密封；

活动构件部位密封防水的最大技术难度就是既要有优良的密封防水性能，同时又要保障活动构件能正常活动。常规结构的防水设计方法无法解决这一技术难题。目前常见的处理方法是在机构下方增加集水盘和排水管，收集雨水后由排水管排出机体。

### 4.2 口盖（舱门）防水设计

口盖（舱门）作为飞机主要的装配通道及维护通道，是飞机机体不可或缺的重要部件。然而，口盖（舱门）也是飞机防水最关键和最难的部位，一旦口盖（舱门）密封性不好，雨水会通过口盖边缘流入机体内部，对飞机的飞行安全造成隐患。而且口盖（舱门）需实现拆卸或开闭的功能，因此无法通过缝外密封等牢靠形式进行密封。根据口盖（舱门）结构特点，可以归纳出口盖（舱门）防水设计方法有以下几点：

(a) 口盖与口框间隙是导致口盖进水的主要原因，需要选用密封性能良好的密封介质来填充口盖与口框的间隙来实现防水目的；

(b) 增强口盖和周边结构刚度，减小口盖变形造成的密封性能降低，可通过口盖结构加强或增加连接件数量来实现；

(c) 选用具有防水性能的快卸锁和托板螺母，有合页的口盖应采取防水措施使合页达到防水要求。

#### 4.2.1 密封介质的选用

(a) 密封胶。密封胶涂敷在口盖与口框搭接区域，填充口盖与口框间隙实现涂胶密封，但密封胶固化后硬度较高，口盖与胶层间压缩量小，且胶料表面形成不规则凹凸，无法与口盖完全贴合，密封效果差，很难做到完全防水。

(b) 密封件。口盖密封件主要采用橡胶材料，密封形式为压缩密封。材料应具有良好压缩回弹性，选用较软的橡胶材料会使回弹力不足，对口盖无法提供足够的支撑力，容易产生间隙，达不到密封效果。而选用过硬的橡胶材料，将影响口盖关闭，可能会产生阶差。

密封件还可以通过选用合理的截面形状（空心管型、锯齿型等，见图1）来保证压缩变形后的间隙密封要求。合理的截面形状可以使密封件有足够的回弹力，易于压缩，又能满足口盖关闭时的阶差要求，从而可以满足口盖防水密封的功能性要求。

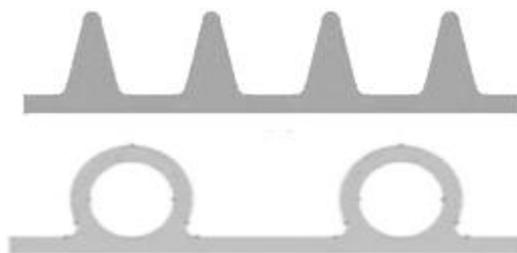


图1 橡胶密封件截面形式

涂胶密封后的口盖，密封胶固化后无压缩量，口盖长期使用产生变形后与胶层无法紧密贴合，防水效果差。针对此类问题还可以采取密封补偿设计，在胶层与分离面间粘贴膨胀聚四氟乙烯密封带，聚四氟乙烯密封带较薄，且具有多齿结构可压缩，既能补偿密封胶固化后的间隙，保证口盖的防水性能，也能防止密封胶粘连，提高维护性。

口盖的密封件粘接在口盖边缘，密封件还应具有良好的抗撕裂性能。

#### 4.2.2 口盖结构设计

针对口盖刚度不足的问题，通常采取增加连接件数量来实现刚度增强。但是增加连接件会降低维护性，因此对于常用的口盖可以采取结构加强的方法来提升刚度，例如在口盖内部增

加内蒙皮鼓包、机加口盖蒙皮采用多厚度设计、加强口盖骨架等形式，见图2。

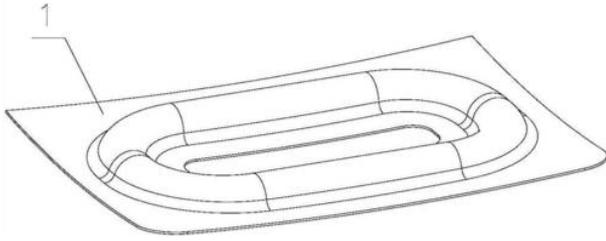


图2 鼓包结构口盖

#### 4.2.3 连接件防水设计

飞机外形最大截面以上部位的口盖应尽可能选用防水快卸锁和密封托板螺母；尽量避免使用合页，若使用合页，需在口框上做出下陷，使合页缝隙位于口框下陷防水槽内，阻挡雨水通过合页间隙向口盖内渗入来保证合页的防水。

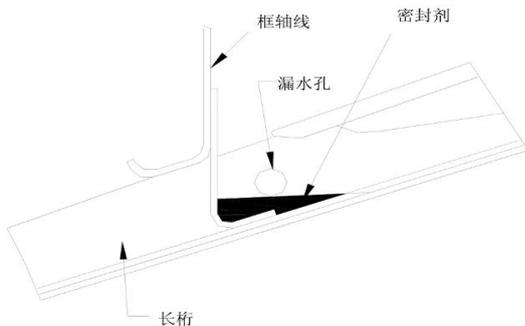
侧面口盖（舱门）还可以在上方加设挡雨流水槽，防止雨水流入机身。

#### 4.3 排水设计

机体积水主要通过排水孔、排水管（槽）、排水活门等结构或装置排出机体。

机身下部蒙皮上应开有足够的排水孔，其直径应不小于8mm。积水区结构边缘、排水孔边缘，应采取密封措施，防止水浸入多层结构造成腐蚀，见图3。气密区所用的排水活门应能有效地排水。

无法钻制排水孔的部位，通过排水槽、排水管等形式将积水排出机体，排水管不宜采用橡胶管，橡胶管在使用过程中易发生粘黏、脆化断裂等问题，且不易疏通清理。应采用金属排水管，避免因材料失效导致排水不畅。



#### 参考文献：

- [1] 王宝忠.结构设计.飞机设计手册第10册.北京:航空工业出版社,2000.10
- [2] 王仕虎,马丽莎,林振华.教练机防水设计.教练机,2011年03期
- [3] 张立飞.水陆两栖飞机结构密封防水与排水设计.装备环境工程,2015.12

图3 排水孔区域密封设计

## 5 试验验证

为了验证飞机结构的防水性和排水性，需进行全机淋雨试验。

试验前检查飞机外部结构完整应满足设计要求，机体结构外部除前起落架舱门、主起落架舱门打开外，其余各舱门、通风窗、口盖应处于关闭状态；所有排水活门工作正常，所有排水孔和排水管应保持畅通。

试验时用模拟降大雨的喷水系统对飞机进行淋雨试验。

试验后对容易漏水积水的部位进行详细检查，检查机体结构是否存在漏水部位；检查设备、设备的电连接器上是否存在水滴或水渍；检查结构低洼处是否存在积水，60min自然通风排水后，积水是否能排掉。

对于漏水部位和排水不畅出现积水死区的部位，分析原因并制定解决措施，由于制造原因引起的漏水和积水，经排故后重新进行局部淋雨试验，由于设计不当引起的漏水和积水，要进行分析并采取补救措施后重新进行局部淋雨试验。

通过“验-防-排-验”的思路方法，首先分析漏水和积水原因，优先采用防水处理，无法实现防水处理的，采用增加排水孔和排水管的措施，进行排水处理，再通过局部淋雨试验，验证改进后的漏水积水情况，直至满足飞机结构防排水设计要求。

## 6 结束语

现代飞机结构要求其使用寿命长，又要考虑其经济性、维修性，飞机结构防排水设计是防腐设计的首要环节，应始终贯彻在飞机研制的全过程。本文所叙述的防排水设计方法已在许多型号应用，效果良好，极大地提升了飞机的防排水性能，显著缩短了飞机的维护时间和维护成本，增强了飞机的可靠性和安全性，保证了飞机的使用寿命。

防排水设计涉及多个专业多个学科，综合性较强。可结合多个专业进行拓展，如材料设计、防腐设计等，而且活动构件的密封防水仍是一大技术难题。常规密封方法无法有效解决漏水问题，后续还需开展飞机结构的密封防水新技术研发及实际应用研究。