

## 航空載具捕捉鉤系統結構靜力分析

陳涵鏞<sup>1</sup>, 柯著成<sup>2</sup>, 余秉憲<sup>3</sup>  
國家中山科學研究院航空研究所

### 摘要

本文主要介紹航空載具捕捉鉤系統之結構靜力分析，捕捉鉤系統係由鉤頭(Hook)、鉤桿(Shank)、接頭(Yoke)、曲柄(Crank)、致動器(Actuator)與阻尼器(Damper)組成。整體系統主要以 300M 高強度鋼作為設計選材，鉤頭部分則是選用 D6AC 耐磨高強度鋼，致動器與阻尼器則有部分零件採用 7075 鋁合金材料。藉由飛機最大落地重量與捕捉速度，計算結構最大設計限制負載(D.L.L)為 20kip，發生在鉤頭相對於機身中心線±20 度角之負載條件上。將系統最大設計負載乘 1.5 倍安全係數後為結構設計極限負載(D.U.L.)；結構設計準則為：於設計限制負載下結構不發生永久變形，及設計極限負載下，結構不破壞。本文利用 Abaqus 有限元素分析軟體進行計算，材料機械特性係以 MIL-HDBK-5H 為依據。分析結果顯示在三組臨界負載下其結構安全裕度(M.S.)最低為曲柄零件 0.08，由結果顯示捕捉鉤系統在各種臨界負載條件下，均能滿足設計準則所需。

**關鍵字：**捕捉鉤系統、Abaqus 結構靜力分析、300M 高強度鋼

### ABSTRACT

This paper presents a static stress analysis of the airplane arresting hook system. The primary structural components of the system are: Hook, Shank, Yoke, Crank, Actuator, and Damper. System weight was optimized by utilizing high strength 300M steel for the design of the above listed components with the exception to the hook which is D6AC steel. Also, some components of the actuator and damper use 7075 aluminum alloy. The maximum hook load of the system was mainly controlled by a 20 kip design limit load (D.L.L.) with a lateral swing of ±20 degrees from the airplane centerline by considering the maximum landing weight and hook engaged velocity of the airplane. A safety factor of 1.5 was considered to be design ultimate load (D.U.L.). All margins of safety must satisfy the design criteria of limit loads without permanent deformation and ultimate loads without failure. The method of analysis used in this paper is Abaqus Finite Element software. Material mechanical properties are obtained from MIL-HDBK-5H unless otherwise specified. A minimum safety margin of 0.08 was found in the crank component to verify the structural design meet the design requirements.

**Keywords:** Arresting Hook System、Abaqus Static Stress Analysis、300M High Strength Steel

## 一、緒論

本所研製捕捉鉤系統主要係由 6 大構件組成，如圖 1 所示，分別為 Actuator(致動器)、Crank(曲柄)、Yoke(接頭)、Damper(阻尼器)、Shank(鉤桿)與 Hook(鉤頭)。整體系統主要以 300M 高強度鋼作為設計選材，鉤頭部分則是選用 D6AC 耐磨高強度鋼，致動器與阻尼器則有部分零件採用 7075 鋁合金材料。

結構分析將探討捕捉鉤系統在三組臨界負載條件下之結構靜態應力分析。臨界三組負載條件係模擬飛機降落鉤繩行為[1,2]，分別為：Condition-1: 模擬捕捉鉤以正確姿態鉤住繩索、Condition-2: 模擬捕捉鉤以偏心姿態鉤住繩索、Condition-3: 模擬捕捉鉤偏心姿態鉤住繩索。依據機體最大落地重量與捕捉速度可得捕捉鉤系統設計限制負載(D.L.L.)為 20 kip。將系統設計限制負載乘 1.5 倍安全係數(Safety Factor)後即為結構極限負載(D.U.L.)。結構設計準則為：於設計限制負載下，結構不發生永久變形(塑性)，與於設計極限負載下，結構不發生破壞。

結構分析係採用 Abaqus[3]有限元素分析軟體進行計算，材料機械特性係以 MIL-HDBK-5H [4]為依據。

另外，由於 Actuator 與 Damper 其內部結構油氣系統受力複雜，分析過程將簡化 Actuator 與 Damper 之內部模型。

## 二、結構幾何、材料與負載

### 2.1 幾何結構

捕捉鉤系統近似平面機構，共分為三個姿態，分別為上鎖、釋放與鉤繩，如圖 2 所示。在釋放過程中，致動器將活塞推出，其他零件沿 Crank 支點做剛體旋轉運動，致動器到達下鎖位置後內部單向油路設計能保持行程鎖定不動。鉤繩過程中，因致動器已鎖定，故 Damper 會因 Yoke 的角度變化而被壓縮，Yoke、Shank 與 Hook 則因力平衡而呈現接近水平位置。

### 2.2 結構材料

捕捉鉤結構承受負載高，且為單一力流結構型態(Single Load Path)，對機體而言，結構功能重要。參考現有高強度材料以及國內金屬材料製造能力，選用 300M 高強度鋼為主，鉤頭部分因鉤繩時會有磨耗與韌性考量，故選擇 D6AC 耐磨高強度鋼，致動器與阻尼器則有部分零件採用 7075 鋁合金材料，材料機性如表 1. 與表 2. 所示，材料機性係依據 MIL-HDBK-5H。

### 2.3 負載條件

捕捉鉤系統設計負載係依據飛機放棄起飛(Aborted Takeoff)或緊急降落(Emergency Landing)後，捕捉鉤鉤繩造成之負載。藉由飛機最大落地重量與捕捉速度，三組臨界負載條件[1,2]敘述如下：

Condition-1: 施加極限負載 30 kip 於 Hook 上，施力負載通過 Shank 的中心線，如圖 3. 所示，模擬捕捉鉤系統以正確姿態鉤於繩索上。

Condition-2: 施加極限負載 30 kip 於 Hook 上，

施力負載 offset(側向偏移) 1.38in 平行於 Shank 的中心線，如圖 4 所示，模擬捕捉鉤系統偏心姿態鉤於繩索上。

Condition-3: 以 Yoke Hinge Point 當旋轉中心，與 Yoke 中心線偏擺 20 度，施加極限負載 30 kip 於 Hook 上，施力負載通過 Shank 中心線，如圖 5. 所示。模擬捕捉鉤系統過度偏擺受力。

## 三、結構分析

捕捉鉤系統結構分析係以 Catia 建構幾何，再以 Abaqus 做結構靜態應力分析，整體有限元素模型包括 71513 節點與 259119 實體元素(Solid Elements)。

### 3.1 分析設定

- 整體搭接的 Hinge 部分以 Couple 指令指定孔洞的力傳行為為 Structural distributing，並以剛體 Wire 指令做串接至兩零件，以簡化模型數量，整體搭接示意如圖 6. 所示。
- Damper 內部氣體壓力以參考長度 255.222mm 與彈簧 K 值 134.78N/mm 替代氣體彈簧之預力設定。
- 鉤頭負載設定係將鉤頭與繩索接觸部位以 Couple 指令連接至繩索斷面中心上，如圖 7.，再於參考點上施以極限負載 30 kip。
- 捕捉鉤系統零件之間接觸面不考慮摩擦，故均設定為 Frictionless contact。

### 3.2 分析結果

Condition-1: 由分析結果得知，Hook 之材料 D6AC 強度略低於 300M，故於此條件負載下之安全裕度最低 M.S.=0.26，如圖 8. 所示。

Condition-2: 由分析結果得知，Hook 與 Shank 因受一偏心力，故在兩零件上會產生一彎矩，如圖 9. 與圖 10. 所示，分析結果顯示 Hook (M.S.=0.12) 與 Shank(M.S.=0.21)，安全裕度較低。

Condition-3: 由分析結果得知，因偏擺受力條件，造成 Crank 受一彎矩力，如圖 11. 所示，分析結果顯示：Crank(M.S.=0.08)，安全裕度較低。

綜合以上三組分析結果顯示(如表 3.): 捕捉鉤系統各部零件安全裕度皆為正值，結構構型設計與材料選用滿足強度設計需求。

## 四、結論

本文分析評估捕捉鉤系統在三組臨界負載條件下，其結構安全裕度(M.S.)最低為 0.08，發生於曲柄零件，整體捕捉鉤各零件結構安全裕度滿足設計需求，未來將會輔以結構靜力測試驗證進行比較評估。

## 五、參考文獻

- [1] MIL-A-83136A (USAF) Military Specification, Arresting Hook Installation, Runway Arresting System, Aircraft, Emergency, Apr. 1990.
- [2] MIL-A-8869C (A.S.) Military Specification, Airplane Strength and Rigidity, Ground Loads for Navy Acquired Airplanes, Jul. 1993.
- [3] Abaqus Analysis User's Manual, Mar. 2012

[4]MIL-HDBK-5H,Oct. 2001.

六、表格

零件名稱	主要使用材料
Actuator	Al-7075
Damper	Al-7075
Crank	300M
Shank	300M
Hook	D6AC
Yoke	300M

表 1 捕捉鉤系統各零件材料選用表

Material Properties	300M	D6AC
Young's Modulus	29000ksi	29000ksi
Poisson's Ratio	0.32	0.32
Ultimate strength	280ksi	220ksi
Yield strength	230ksi	190ksi

表 2 材料特性表

表 3 各零件在不同受力條件下之裕度

Material Property (ksi)				
Part	Crank	Shank	Hook	Yoke
Material	300M	300M	D6AC	300M
Ultimate Stress	280	280	220	280
Yielding Stress	230	230	190	230
Condition-1_30000lb U.L.分析結果				
U.L.Max.Stress	208	210	175.1	118.6
L.L.Max.Stress	138.7	139.7	116.7	79
U.L.Failure M.S.	0.35	0.34	0.26	1.36
L.L.Yield M.S.	0.66	0.65	0.63	1.91
Condition-2_30000lb U.L.分析結果				
U.L.Max.Stress	208	231.6	196.7	118.6
L.L.Max.Stress	138.7	154.4	131.1	79.1
U.L.Failure M.S.	0.35	0.21	0.12	1.36
L.L.Yield M.S.	0.66	0.49	0.45	1.91
Condition-3_30000lb U.L.分析結果				
U.L.Max.Stress	258.6	211.9	175.9	114.9
L.L.Max.Stress	172.4	141.3	117.3	76.6
U.L.Failure M.S.	0.08	0.32	0.25	1.44
L.L.Yield M.S.	0.33	0.63	0.62	2.00

七、圖片

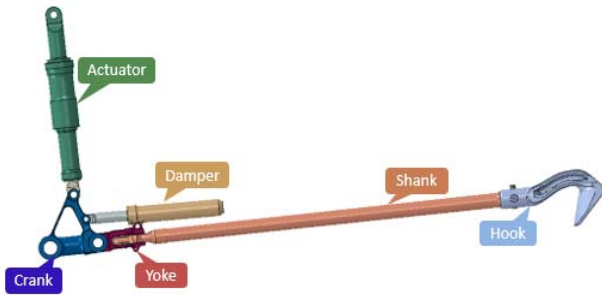
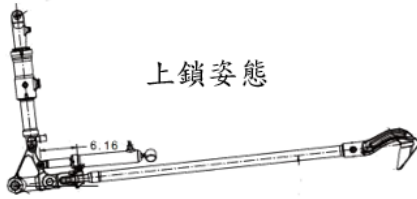
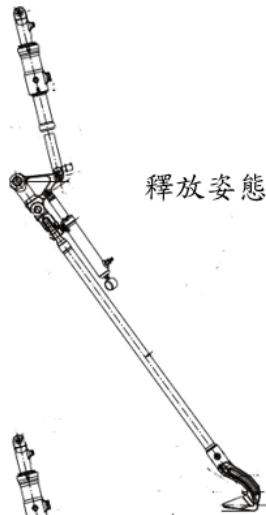


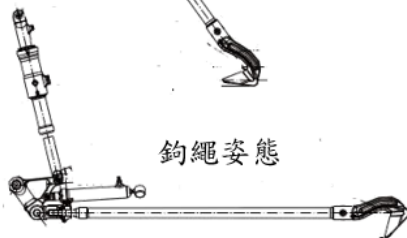
圖 1 捕捉鉤系統各零件示意圖



上鎖姿態



釋放姿態



鉤繩姿態

圖 2.捕捉鉤系統各姿態示意



圖 3.Condition-1 負載施力示意圖



圖 4.Condition-2 負載施力示意圖

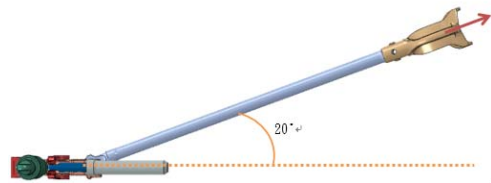


圖 5.Condition-3 負載施力示意圖

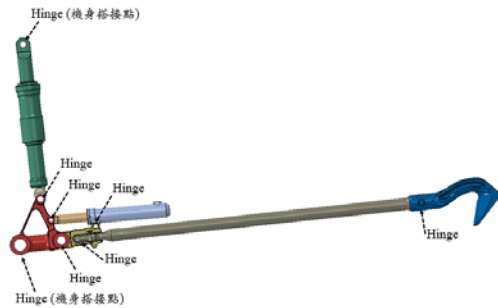


圖 6.捕捉鉤系統搭接行為示意圖

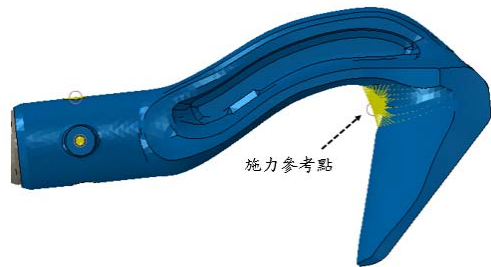


圖 7.鉤頭施力設定示意圖

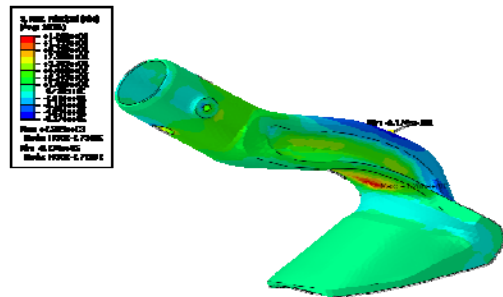


圖 8.Condition-1\_Hook 主應力分布圖

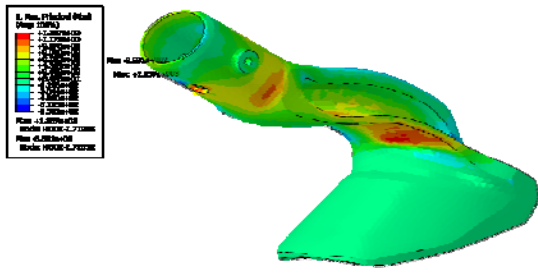


圖 9.Condition-2\_Hook 主應力分布圖

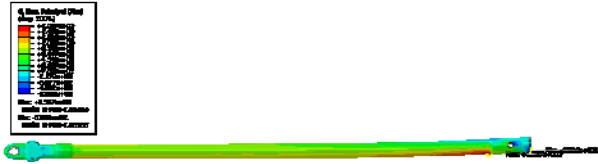


圖 10.Condition-2\_Shank 主應力分布圖

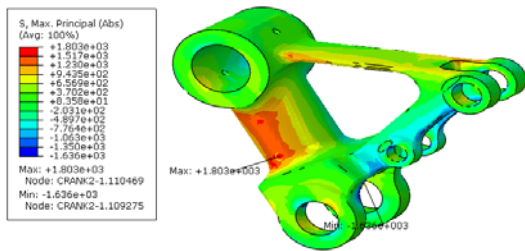


圖 11.Condition-3\_Crank 主應力分布圖