

98%成功率的傳奇—— 從K-36DM-2到K-36D-5彈射椅

軍事作家 楊政衛

提 要

「彈射」是飛行員最不願意遇到的事，其原因不需多言。有沒有可能有一種彈射椅，成熟到讓「彈射」變得像門診微創手術一樣呢？很幸運的，真的是有，就是俄羅斯「星辰科學生產企業」(NPP Zvezda)的K-36D系列彈射椅。K-36D系列是世界公認最安全的，整個系列服役40餘年期間救生成功率達98%。1990年代美方還出資開發改良型K-36D-3.5，計畫用在美國戰機上，這證明K-36D系列的優點是普世公認。Su-35S、Su-57所用的最新款稱為K-36D-5，更進一步拓展安全救生範圍，而且還考慮全球氣候、全球地形之彈射條件，即使與美國2000年代展示的新一代彈射椅的技術參數相比都不遜色，無疑是彈射椅科技的標竿。

對彈射椅這種攸關性命的基礎系統而言，成熟穩健比大破大立更重要。最新一代產品的性能絕對是從第一代開始逐漸優化而成的。因此有必要從家族的始祖K-36D談起。

關鍵詞：彈射椅

基本設計哲學

彈射椅平常是飛行員的工作位置，而在逃生時要將飛行員安全的帶離飛機並且安全降落。在這個層面上所有廠牌的彈射椅都如此，但俄國NPP Zvezda設計局與西方彈射椅廠商在價值觀上有很大的落差，導致彈射椅設計哲學有根本不同。對西方廠商而言，考慮的是用合理的價格在絕大多數彈射情況拯救飛行員，而NPP Zvezda的考量是「人命關天、飛行員難求」，所以要求所有高度速度條件都要能安全彈射，並且讓飛行員在彈射

後還能回到飛行行列。

一、救生成功率的差異

就性能諸元來看，K-36D系列的安全彈射指示速度是低空1,300km/hr(搭配KKO-15飛行員防護設備，用於一般戰鬥機)或1,400km/hr(搭配KKO-5飛行員防護裝，用於MiG-31等特殊飛機)，高空2.5~3馬赫(同上，視飛行員防護裝而定)。而同時代西方彈射椅如ACES-2只有1,100km/hr。乍看之下是1,100km/hr與1,300km/hr的差距，然而事實上，歐美彈射椅的1,100km/hr是「可以彈射的最大空速」，已不保證安全性，

實際上安全速度上限不超過800km/hr，其中在550km/hr以上彈射時有43%飛行員非死即傷；在長達20年的統計資料中，美國戰機彈射有30%以死亡收場¹。而K-36D的1,300~1,400km/hr還是安全彈射速度，累積至2000年代的統計顯示，K-36D系列實際使用的安全救生率高達98%，當中包括1,300~1,400km/hr範圍內彈射。因此K-36DM與西方ACES-2、Mk-14的差距不只是「1,300對1,100」而是「1,300對550」！

根據美國的研究，ACES-2彈射椅只有在540km/hr以下才有80~90%安全逃生機率，540km/hr以上的安全逃生機率降到70%以下，其中900km/hr以上成功機率只有約20%²。在和平時期大部分彈射速度都在350~600km/hr，這樣的救生成功率尚可，但對於經常會在700km/hr以上彈射的實戰條件，ACES-2就顯著不足。正是基於這一認知，美國在1980年代末至1990年代初展開研發計畫，要提升彈射椅的安全彈射速度，甚至與俄國NPP Zvezda合作開發了K-36D-3.5A，本來要引進用於F-22等戰機，後來因美俄政府各自的政治考量使進度拖延，最終為求保險還是用了自己的ACES-2。

二、設計哲學的差異

換言之，ACES-2彈射椅的最大救生成功率甚至比K-36D的總平均成功率還低，性能差距實在是非常大。但這並不是說俄國有

什麼「黑科技」可以輾壓西方，而是設計哲學使然。西方彈射椅的設計值是依據科學統計制定的，據統計，99.4%的彈射發生在1,110km/hr以下，而550km/hr以上彈射的機率只有不到2%。依據這樣的統計資料，西方將速度上限設定在1,100km/hr，而且不打算在550km/hr以上這種發生率不到2%的情況投入太多成本。而對此K-36D系列的始祖，NPP Zvezda前總設計師蓋·謝維林(Gai Severin)院士反問西方專家「如果那2%是你的孩子呢？」他認為，飛機能怎麼飛，彈射椅就要怎麼救，而這也成為NPP Zvezda的設計哲學傳承至今。

除此之外，蓋·謝維林對K-36D立下的另一個設計宗旨是「救人還不夠，還要讓飛行員可以繼續他的飛行生涯。」西方飛行員彈射後就算生還，很多都伴隨脊椎等傷害而無法再飛行，而Gai Severin院士認為，培養合格飛行員很貴，所以不只要不計代價拯救他們，還要讓他們可以重返飛行行列。最直接的證據就是1990年代以後俄製MiG-29、Su-30MKI在國際航展低空表演中失事，飛行員彈射後仍然繼續從事特技飛行與繁重的試飛工作。根據統計，K-36D系列彈射椅服役以來彈射成功率約98%，彈射生還的飛行員中又有97%可以重返飛行行列³。這裡也看得出NPP Zvezda與西方廠商對於「成本」的認知也有差異，西方彈射椅廠商所看的成本

1 А.Морозов, "Катапультные кресла боевых самолётов", Зарубежное военное обозрение, 9\2001, p.32~38

2 А.Морозов, "Катапультные кресла боевых самолётов", Зарубежное военное обозрение, 9\2001, p.32~38

3 " Катапульты – спасительный выстрел", Журнал ВКС, 3\4(88\89), DEC.2016, <http://www.vesvks.ru/vks/article/katapulta--spasitelnyy-vystrel-16173>

是彈射椅與飛機的硬體成本，而NPP Zvezda是把飛行員培訓成本也算進去。由於飛行員成本極為昂貴，因此將之納入成本計算的話，K-36D反而更具經濟性。

謝維林院士曾說「坐在我們的座椅上，飛行員很舒適，而且他知道這個座椅在必要時可以保護他，所以他跟飛機是一體的，從而發揮真正的戰鬥力，因此我們做的不只是救生設備，而是提升戰鬥力的設備。」

了解了俄國彈射椅與西方在基本哲學上的差異，以下再具體的看看基本款K-36DM-2到K-36D-3.5再到K-36D-5的技術演進。

本款：K-36DM-2彈射椅

在1950年代以前，俄國飛機彈射椅是飛機設計局各自設計的，不具通用性。隨著飛機性能逐漸提高，逃生條件越來越嚴苛，這種各自為政的方式除了浪費資源外，也很難做出好東西，因此就催生出統一規格彈射椅的想法。蘇聯遂於1952年成立「星辰」(Zvezda)工廠，專責研製彈射椅與緊急救生設施⁴，其第一個產品是用於M-50戰略轟炸機的K-24彈射椅，並漸漸地成為唯一的俄國飛機與太空船彈射椅與救生設備供應商，現在稱為「星辰科學生產企業」NPP Zvezda。

1960年代，蘇霍伊設計局的Su-24的低空極速達到1,400km/hr，而蘇霍伊自己的KS-4彈射椅無法滿足要求，於是便要求Zvezda研發彈射椅，結果就是用了Gai

Severin提出的全新設計的K-36D，該彈射椅最終於1972年開始量產⁵，並且衍生出一整個家族，成為之後絕大多數俄國戰機通用的彈射椅。

K-36D開發不久設計局就為Yak-38垂直起降戰機研製K-36VM，並在K-36VM的基礎上累積一些救生失敗的案例(包括落水後無法供氧的問題)，發展出K-36DM series2，成為大規模生產的K-36D家族的真正基礎。其中「D」表示「Deflector」，意指高速時飛行員胯下會升起擋板，「M」表示「改良」，「2」表示第二系列，主要在配件上有所改良，基本設計與性能則大致是在基本型K-36D傳承至今。

就全球世代劃分論，K-36屬於第三代彈射椅。有別於第二代彈射椅的彈射程序(如開傘時機、各個子程序的時間間隔等)是訂死的，第三代的彈射程序會依據高度、速度等條件的不同而改變。

K-36D在數據上與西方彈射椅的直接差異是彈射時的速度與高度範圍。西方彈射椅低空不超過1,100km/hr，而K-36在搭配戰鬥機飛行員用的KKO-15飛行員護具時，低空速度1,300km/hr、高空2.5馬赫、高度0~20km；搭配KKO-5護具組時，速度是低空1,400km/hr、高空3馬赫，高度0~25km。不難發現，K-36彈射椅的高度與速度範圍涵蓋飛機的極速與最大升限，也就是在極速或最大升限當下出事情都可以彈射。實際上飛機在極速或升限條件下飛行的機會很少，而

4 Д. Наймов, <https://forums.eagle.ru/attachment.php?attachmentid=36633>

5 Д. Наймов, <https://forums.eagle.ru/attachment.php?attachmentid=36633>

且也不是每次飛到極速或升限就要彈射，因此K-36的彈射範圍比實際需求多很多。把彈射範圍作的那麼極端，一方面是總設計師Gai Severin的「人命關天、飛行員難求」、「把飛行員當自己孩子」的基本哲學使然，一方面則是藉由過度設計來保證正常情況下的性能。NPP Zvezda首席理論計算專家Aleksandr Livshits就表示，「在研發之初就決定要把彈射速度上限做到1,400km/hr(筆者註：低空)，因為如果彈射椅在1,400km/hr可以拯救飛行員，那麼在800km/hr就會輕而易舉」⁶。

而在東西方第三代彈射椅數十年的使用經驗中，K-36是紮紮實實的能發揮數據表上的性能。這除了是發生在俄軍的彈射成功案例外，1990年代初美國出資與NPP Zvezda合作過程中也親自驗收了這種「誇張的」彈射範圍。關於這個合作案稍後詳述。

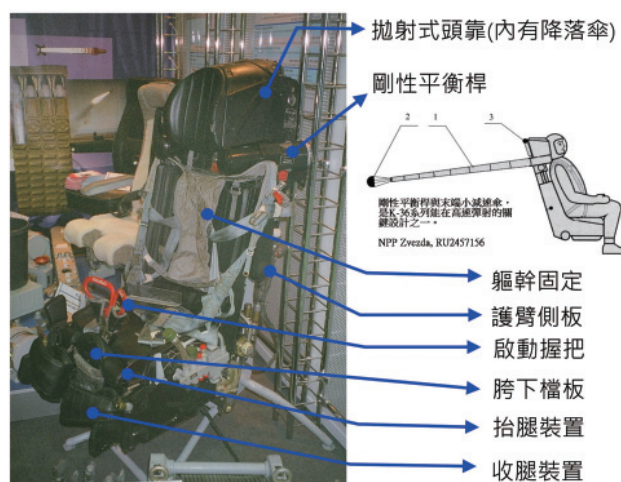
根據陸續公開的資料，K-36如此強大的奧秘，大致可歸納為「飛行員固定與防護」、「座椅平衡與降落傘」、「脊椎防護」、「彈射過程控制」等大項。(圖一、二)

一、最周到的飛行員固定

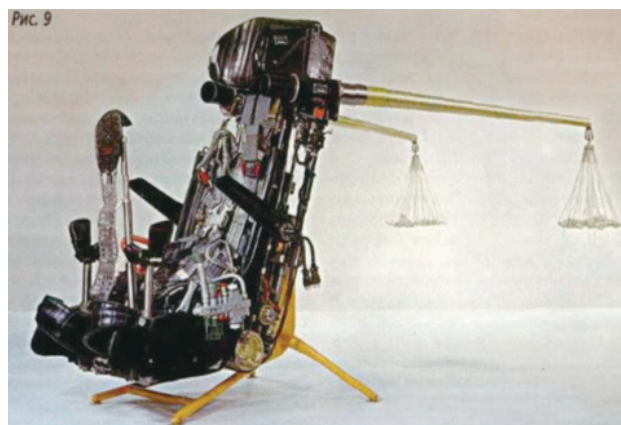
彈射椅的推進力以及離開座艙後高速氣流的作用力都會對飛行員造成很大的負荷，例如彈射過程最大瞬間G力可達16~18(有資料說20G)，可能傷害脊椎，而高速氣流也可能讓手腳「亂飄」而與座椅撞上而受傷。正是這些傷害讓西方戰機飛行員彈射後常常無

法再飛行，因此有效的飛行員固定機制極為重要。為此在彈射初期，會用火藥驅動裝置將飛行員牢牢固定在座椅上，但各家設計細節卻又不同。

所有的彈射椅都會用肩帶等構造抓緊飛行員，也都會有小腿束帶將小腿收至緊靠座椅的位置，防止彈射時腿部撞到座艙結構。然而K-36進一步有軀幹固定裝置、抬腿裝置



圖一：K-36D基本特徵。作者攝



圖二：K-36D基本特徵。護臂側板、平衡桿、抬腿裝置、胯下檔板均已展開。NPP Zvezda

⁶ " Катапульта – спасительный выстрел", Журнал ВКС, 3\4(88\89), DEC.2016, <http://www.vesvks.ru/vks/article/katapulta--spasitelnyy-vystrel-16173>

置、手臂側護板、以及胯下擋板。其中抬腿裝置是將大腿往上升，這可以讓腿部收得更緊密；手臂護板能確保雙手位在座椅扶手處，不至於「飄出去」而承受劇烈風壓；而胯下擋板在800~900km/hr以上時升起⁷，防止高速氣流直衝頭部與胸部，這確保了3馬赫內的安全性⁸。

這一系列固定機制除了防止高速氣流作用力的傷害外，也保護飛行員的脊椎。

二、更可靠的座椅平衡與降落傘

彈射椅離開座艙後，就要在適當的高度、速度下打開降落傘。但如果座椅因複雜姿態彈射(如滾轉中)或因氣流作用而翻滾，或是在倒飛等姿態下彈射以至於「頭朝下」等，就可能呈現不利於開傘的姿態，開傘就不一定成功。因此座椅彈出後必須盡快呈現利於開傘的姿態與降到安全速度，也就是「頭上腳下、面朝前」這種正常姿態，並且維持穩定。這種姿態也有利於防止高速氣流的傷害。

此外，在過高的速度開傘會產生過大的氣動負荷，因此要等速度降到特定值以下才可以開傘，而減速需要時間，就會損失高度，所以盡可能在短時間減速也很重要。

為此，彈射椅在彈出座艙後會伸出平衡

機構，一方面維持姿態，二方面減速。西方彈射椅用的是減速傘的構造：通常是兩個減速傘，以軟繩與椅背連結。但任何一種減速傘的使用速度上限都不到1,100km/hr，單單這點，西方彈射椅就無法在1,100km/hr以上彈射⁹。K-36的平衡機構收納在頭靠兩側的小圓桶內，彈射時在炸藥作用下以30~40m/s速度伸出，成為很長的剛性平衡桿，末尾則是面積0.06平方公尺的SP-36小型減速傘。整個平衡機構會在1秒內展開，到速度1,400km/hr也能使用¹⁰。這種設計藉由剛性平衡桿來延長力臂，讓小面積減速傘也能發揮足夠的平衡作用。這種設計除了維持航向與縱向的平衡外，由於安裝在頭靠附近，因此也能維持滾轉方向的平衡。

K-36DM-2的降落傘型號是PSU-36 series2。最大開傘速度650km/hr，最大開傘高度5,000~6,000m，傘面積60平方米，開傘時產生的負荷16G，降落速度6m/s¹¹。

開傘速度也是K-36的一大優勢。西方彈射椅的開傘速度上限是520km/hr，K-36是650km/hr。這意味著K-36可以更早開傘，或是說開傘前損失較少高度，這在低空彈射時相當重要。根據統計，80%的彈射發生在低空、700km/hr以下¹²，低空彈射案例中90%

7 "Средства аварийного покидания самолёта МиГ-29", Издательство СГАУ, 2010

8 " Катапульта – спасительный выстрел", Журнал ВКС, 3\4(88\89), DEC.2016, <http://www.vesvks.ru/vks/article/katapulta--spasitelnyy-vystrel-16173>

9 " Катапульта – спасительный выстрел", Журнал ВКС, 3\4(88\89), DEC.2016, <http://www.vesvks.ru/vks/article/katapulta--spasitelnyy-vystrel-16173>

10 Д. Наумов, <https://forums.eagle.ru/attachment.php?attachmentid=36633>

11 Д. Наумов, <https://forums.eagle.ru/attachment.php?attachmentid=36633>

12 " Катапульта – спасительный выстрел", Журнал ВКС, 3\4(88\89), DEC.2016, <http://www.vesvks.ru/vks/article/katapulta--spasitelnyy-vystrel-16173>

發生在650km/hr以下¹³。因此即使在西方彈射椅的安全彈射條件內，K-36的性能仍然比較好。

這裡要特別說明一下，平衡傘與降落傘在功用上是有關連的。小面積平衡傘的優勢是在飛行員體能負荷下可以用在更高的速度，但面積越小氣動力也越小，所以在西方平衡傘也可以運作的速度下，K-36的平衡傘的氣動力比較小。但如前所述，藉由剛性平衡桿來延長力臂以及安裝在適當的位置，能讓他發揮更好的平衡能力。而減速力道比較小的問題，則由開傘速度較高的降落傘來補償，結果就是兼顧高速與低速逃生性能。

三、脊椎防護

K-36在設計上很重視脊椎防護，這是讓飛行員彈射後還能重返飛行的重要條件。

第一個防護措施是彈射機制。他的彈射機構稱為KSMU-36，有兩級彈射動力，能降低彈射時的負荷。第一級炸藥在0.2秒內讓彈射椅達到13.6m/s速度，確保彈射椅離開座艙，第二級是火箭發動機，讓彈射椅遠離飛機，作用時間0.35~0.4秒，推力可達3,300kg以上¹⁴。彈射過程最大G值是16~18G¹⁵或20G¹⁶，最大G力持續時間0.12~0.15秒¹⁷。

兩級彈射機制應該不是保護脊椎的最主要因素，因為K-36彈射時的最大G力，並沒有比西方彈射椅小，因此他還有其他防護脊椎的機制，例如出力的方向等。在2002年「航太學報」的NPP Zvezda 50週年紀念專輯上提到，保護脊椎的關鍵就在前述的飛行員固定機制¹⁸。另外根據2016年12月刊出的NPP Zvezda時任總設計師Sergei Podznyakov專訪，同樣提到保護脊椎的關鍵在於確保飛行員能緊貼著椅背與坐墊。而K-36的椅背與坐墊設計得很貼身，能減輕大G條件下的負擔，這在高G空戰時也有利¹⁹。

四、彈射過程控制對高度與速度連續優化

彈射椅飛出後，釋放減速傘與降落傘的時機非常重要。速度太高時不宜開降落傘、高度太高時也不宜。例如以K-36DM-2而言，在「0高度0速度」彈射時，彈射椅在快要到達最高軌跡時就釋放降落傘；在5,000~6,000m以下彈射時，彈射椅在飛過垂尾並開始降下時釋放降落傘；而在高空彈射時，彈射椅等降到5,000~6,000m才開傘²⁰。

每個第三代彈射椅都會這麼做，但具體的開傘時機的控制就是各家的差異所在。根據Gai Severin的專利內容的描述，美國麥

13 RU2310585

14 Д. Наумов, <https://forums.eagle.ru/attachment.php?attachmentid=36633>

15 Д. Наумов, <https://forums.eagle.ru/attachment.php?attachmentid=36633>

16 "Средства аварийного покидания самолёта МиГ-29", Издательство СГАУ, 2010

17 "Средства аварийного покидания самолёта МиГ-29", Издательство СГАУ, 2010

18 Вестник Авиации и Космонавтики, 5.2002 (NPP Zvezda 50週年紀念專輯)

19 "Катапульта – спасительный выстрел", Журнал ВКС, 3\4(88\89), DEC.2016, <http://www.vesvks.ru/vks/article/katapulta--spasitelnyy-vystrel-16173>

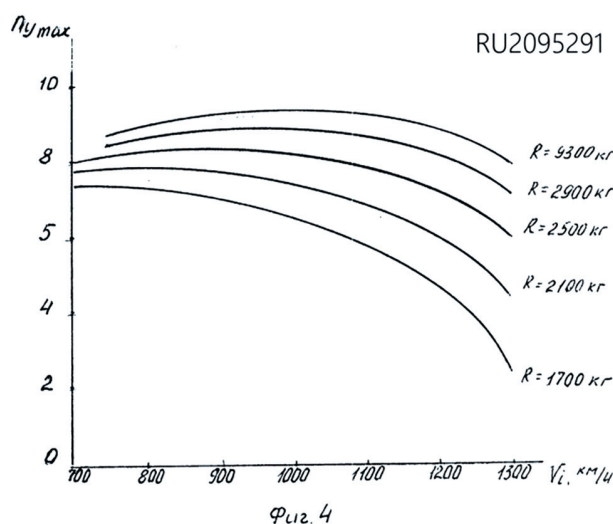
20 "Средства аварийного покидания самолёта МиГ-29", Издательство СГАУ, 2010

道ACE-2彈射椅採用「分段優化」的設計，也就是對預設的若干高度、速度範圍設計出最佳的控制程序，彈射時，看當下的高度、速度比較接近哪個預設範圍，就套用該高度速度範圍的程序去開傘。這種設計的問題在於，如果實際彈射條件與設計點差異很大，彈射過程就可能不利於當下環境。例如，如果彈射的高度速度剛好在兩個預設區間的交界，就表示兩個區間的控制方式通常都不會最佳。而K-36DM-2就已經採用「無段控制」，其開傘時機是依據任意的高度速度值去決定的²¹。

五、全G值範圍

我們已經知道K-36D可以在飛機所能及的所有高度與速度內彈射，但高機動戰機除了高度與速度外，重力負荷(G值)也是重要的飛行條件。如果要符合「能怎麼飛就怎麼救」的大原則，K-36D應該要能在高G機動下彈射。雖然在型錄等數據上並沒有提到怎樣的G值可以安全彈射，不過從多方數據可以佐證出來。在格洛莫夫試飛院的一個專利文獻中就提到，高G狀態下彈射的關卡在於，要能安全的避開垂尾，具體的說，彈射椅後退到垂尾所在的橫截面時，必須保證高於垂尾，為此助推火箭必須有足夠的推力。根據該專利文獻的計算圖表，當K-36D的推力達到3,300kg時，在0~1,300km/hr彈射時允許的最大G值都在8G以上，其中

在約900~1,100km/hr範圍內甚至可達9G²²。而K-36D的第二級彈射火箭正好就能加到3,300kg以上的推力²³。(圖三)



對K-36D而言，不同的火箭推力R在不同速度(V_i , 橫坐標下)，可以安全彈射的始G值上限(縱坐標)。從中可見，當R=3,300kg時，在全速度範圍內可在8G以上的機動狀態中彈射。

圖三

順著以上脈絡，可以知道K-36D系列彈射椅不論是先天哲學還是後天技術措施都大大勝過西方彈射椅。或許有人會說，根據統計數據，絕大多數彈射都發生在西方彈射椅的安全範圍內，K-36D的設計只是在多出來的個位數百分比案例中有優勢。事實上，不管是現代彈射椅還是現代高機動戰機，問世後都沒有發生大規模空戰，因此所謂的「全球統計數據」自然就是以和平時期的訓練、

21 Г.И. Северин, "Катапультное кресло", RUS patent, RU 2116938C1

22 И.Г. Кривицкий, Система катапультирования кресла с регулируемой тягой реактивного двигателя, RUS patent, RU2095291C1

23 Д. Наумов, <https://forums.eagle.ru/attachment.php?attachmentid=36633>

巡邏為主。但是戰爭時，敵人不會等到戰機降到安全彈射範圍才開火。因此K-36D在戰時的優勢才會更加凸顯。

六、拋射式頭靠

在K-36D彈射椅的介紹中，除了剛性平衡桿外，也常常強調其有「可拋射的頭靠」。其原理是，降落傘收納在頭靠內，要開傘時先將頭靠射出，由於頭靠有一定重量且沒有什麼氣動面，因此拋射路徑幾乎不受氣流(也就是當下的飛行速度)影響，待拋到最遠行程時，連接繩索拉直達到足夠張力，頭靠在慣性作用下脫落，此時降落傘才在氣動作用下撐開。這樣就能讓降落傘的張開位置、施力方向在任何速度下都幾乎保持在設計值。這就類似甩釣竿時要在誘餌處掛個鉛塊一般。這個設計在現在看來是天經地義，但這在K-36D問世的時代是重要的創舉。

當然，K-36D也不是無敵的，到K-36DM-2為止，他的彈射過程只針對高度與速度最佳化，要在複雜姿態彈射，有時就會有條件限制(例如最小高度限制)，這也是新一代改良型的改良重點。K-36D付諸量產後，持續進行小改直到1980年代末(那時展開新一代彈射椅研製工作)，例如減重、改善腿部固定機制、改善彈射彈道、改善座椅舒適性、改善降落傘與救生包、提升使用年限。後期生產的K-36D系列最大壽命25年，第一次大修週期12年²⁴。

美國投資的K-36D-3.5系列彈射椅

1984年，Zvezda工廠為因應「90年代戰機座艙」的研究案，開始新一代彈射技術的研發，稱為「可變幾何彈射椅」(俄文簡稱KIG)，簡單的說就是座椅角度會隨G值而改變，提升抗G能力。新的KIG彈射椅的技術需求是抗G能力更好、更低的安全逃生高度、新的控制系統、椅及彈射椅內建氣壓感測器等。

可變角度座椅的優勢不難理解。高G的很多生理負擔都起因於血液遠離大腦或衝向大腦。如果脊椎走向(也就差不多是大血管的走向)與G值方向夾越大的角度，血液流動就越不受G值影響，那麼抗G能力就提高了。最極端的例子就是太空船發射時，G值可達15G，但太空人脊椎方向與G值方向幾乎垂直，所以反而容易承受。在戰鬥機上，F-16著名的設計之一就是將座椅後傾30度來提升抗G能力。然而後傾角越大，在非高G情況就不見得舒適，這就是可變傾角的價值所在。(圖四~七)



圖四：在俄國An-12實驗機上測試的K-36D-3點5A。
NPP Zvezda

24 Вестник Авиации и Космонавтики, 5.2002 (NPP Zvezda 50週年紀念專輯)



圖五：在俄國MiG-25試驗機上測試的K-36D-3點5A。NPP Zvezda



圖六：在俄國RD-2500軌道試驗的K-36D-3點5，滾轉角速度約200度/秒，啟用了側向火箭。NPP Zvezda



圖七：在美國霍洛曼基地F-16模型試驗的K-36D，側滑角20度。NPP Zvezda

除了變傾角座椅計畫外，在1988年又平行展開另一個採用傳統佈局(沒有可變角度)的新一代彈射椅研製案，稱為K-90。1994年，在累積了KIG與K-90的經驗後，開始研製K-36D-3.5彈射椅，總設計師與K-90一樣是V.I. Kisekev。K-36D-3.5採用微電腦控制系統、更輕、更小、最小安全逃生高度更低、進一步減少脊椎傷害之可能、並且要降低造價與使用費用²⁵。

1994年時蘇聯已經解體，哪來的經費研製新的彈射椅？這就要說到美國在1993年開始資助K-36D的研究工作，並計畫發展美國版本供美國戰機使用的往事。

1980年代，美國空軍主力戰機的彈射椅是麥道的AECS-2，海軍則是英國馬丁貝克的Mk-14，當時美國已經發現這些彈射椅的不足，這些不足一方面是設計指標不夠好，例如低空速度上限1,100km/hr比飛機可能的速度還小，另一方面是實際性能也沒有達到設計值，例如安全彈射速度其實只有最大值的一半。為此展開若干性能提升計畫，包括空軍的ACES-2 CIP以及海軍的NACES PPPIP計畫。這些改良方案中包括擴張飛行員體重範圍，因為調查發現許多失敗案例是因為飛行員體重不在彈射椅的設計範圍內。另外也包括將低空最大速度提升到1,300km/hr。

就在美國還在努力的從事相關的改良工作時，情報顯示俄國K-36D彈射椅已經有在1350km/hr彈射成功的案例。再加上1989年巴黎航展中，一架MiG-29低空高攻角表演時，

吸入小鳥導致一個引擎故障，由於速度只有180km/hr，單發動機無法維持可控，飛行員將飛機開往安全方向後，在墜毀前2.5秒彈射生還。這位試飛員就是著名的Anatoly Kvochur，之後還繼續從事試飛，成為格洛莫夫試飛院的試飛主任。在1989年的事故後，美國研究人員就開始與俄方接洽，想研究K-36D彈射椅。最終促成了在1993~1997年的合作案，包括研究K-36D的特性，以及研製K-36D-3.5A彈射椅。

這個合作案對於研究世界彈射椅發展史來說相當重要。根據統計，西方戰機彈射的死亡率高達30%，而俄國K-36D系列是98%成功率。但另一方面，有統計資料指出到2000年K-36D成功拯救超過1,000名飛行員的性命，而美國研究的彈射案例卻達5,000~6,000次。因此單純從統計來看，到底是俄國彈射椅真的那麼好？還是只是因為參考樣本比較少的關係？而在這個美俄合作案的前半段，就是在美俄專家都在場的情況下，在俄國與美國的測試場驗證K-36D的性能，得到的結果自然可以排除主觀因素。

第一階段合作是在1993~1996年，分別在俄國以及美國驗證K-36D的性能。在俄國是用RD-2500地面試驗平台以及MiG-25LL飛行試驗機，進行11次，速度範圍0~1,400km/hr，最大馬赫數2.4，高度0~17,000m。在

美國是在霍洛曼空軍基地的地面平台，以F-16機首模型進行，共計6次，速度範圍0~1,300km/hr，其中包括達30度仰角以及20度側滑角的情況²⁶。這17次試驗全都成功，美方參與人員給K-36D非常高的評價，甚至在1998年的Combat Edge雜誌上評價稱「K-36D搭配KKO-15飛行員防護裝擁有世界最好的性能」²⁷。

在確認了K-36D的優越性後，美俄於1996年開始了新的合作階段：在研製中的新一代K-36D-3.5(1994年開始研發²⁸)基礎上發展美國版本，稱為K-36D-3.5A。其中「3.5」表示介於第三代與第四代之間的3.5代，「A」表示美國。這種彈射椅要與美國的飛行員裝備、供氧系統搭配，並且預計要採用美國製的火藥驅動器、電源、以及自動控制系統²⁹。

俄國首先在本國的地面試驗軌道以及MiG-25LL和An-12(從機尾的特殊改裝艙上彈射)上測試K-36D-3.5A，其中包括在每秒200度的滾轉動態下彈射。俄國自己完成試驗後移到美國霍洛曼空軍基地，用F-16的機首模型與美國假人進行彈射試驗，其中假人的噸位有壯漢也有女性。這批美國的試驗共計6次，速度0~1,300km/hr，其中1次有60度的坡度(滾轉角)，1次有20度側滑角³⁰。有了K-36D-3.5A的成功經驗，NPP Zvezda參與了

26 <http://podelise.ru/docs/index-24935466-7.html>

27 <http://podelise.ru/docs/index-24935466-7.html>

28 Вестник Авиации и Космонавтики, 5.2002 (NPP Zvezda 50週年紀念專輯)

29 <http://podelise.ru/docs/index-24935466-7.html>

30 <http://podelise.ru/docs/index-24935466-7.html>

美國新一代彈射椅JESP的競標案，預定用於T-38教練機與JSF³¹。

然而，這個研製進度一切正常，性能全都達標的合作案最終告吹。美國最終使用麥道的ACES-2用於F-22，以及用馬丁貝克的MK16系列US16E於F-35。原因是雙方面的。在俄國方面，根據Severin院士的回憶，俄國政府一直顧慮出口K-36D給美國會危害國家安全，拖到最後美國人改用歐美自己的產品。但另一面，這個案子在美國也同樣卡關，美國政府直到2000年才許可在美國生產俄國彈射椅³²。可見，在1990年代，要兩個昨天還是可能彼此毀滅的國家真的邁向合作，在政治與心理上都有困難。但無論如何，K-36D畢竟是軍品，美俄在軍品上展開合作，仍可說是一段佳話。

至於俄國自己則繼續發展K-36D-3.5彈射椅，用在後續生產的飛機上取代K-36DM-2。如用於Su-30MK的K-36D-3.5、MiG-29M/K/KUB的K-36D-3.5M、Su-30MKI/MKI(A)/MKM以及Su-30MK2的K-36D-3.5E³³，還有輕量化(再減少約20kg)的K-36L-3.5Ya用於Yak-130教練機³⁴。(圖八)

相較於K-36DM-2，K-36D-3.5系列的特點主要有三大項：(1)控制系統用微電腦，總重更輕；(2)適用於很廣的體重範圍的飛行員；(3)可在更廣的機動範圍下安全彈射。

以K-36D-3.5E為例，不含救生包重80kg，含救生包重103kg³⁵，採用KKO-15供氧與飛行員保護系統時操作高度0~20,000m，速度範圍海平面0~1,300km/hr，高空2.57馬赫；使用KKO-5供氧與保護系統時操作高度增為25,000m，速度範圍增為海平面0~1,400km/hr，高空3馬赫；以空速278km/hr倒飛時安全彈射高度由95m降至46m。先進的電子系統讓反應更快，彈射更安全舒適，可根據飛行員重量、飛機G值(850km/hr以上時)調整火箭出力以增加舒適性、安全性與提高低空低速彈射成功率等等。



圖八：K-36D-3.5E。圖中可見頭靠比基本型K-36DM-2還小。作者攝

31 <http://podelise.ru/docs/index-24935466-7.html>

32 <http://podelise.ru/docs/index-24935466-7.html>

33 Катапультное кресло K-36Д-3,5 (K-36Д-3,5М), <http://www.zvezda-npp.ru/ru/node/119>

34 Катапультное кресло K-36Л-3,5Я, <http://www.zvezda-npp.ru/ru/node/120>

35 Катапультное кресло K-36Д-3,5 (K-36Д-3,5М), <http://www.zvezda-npp.ru/ru/node/119>

根據專利文獻，可以具體得知K-36D-3.5採用以下措施來達到上述改進目的：

一、更先進的控制系統

K-36D彈射時從飛機得知當下的高度與速度，並只依據高度與速度求出彈射程序。而K-36D-3.5的控制系統以微電腦為核心並有自己的電源，讓他有兩種控制迴路。正常情況下，微電腦由飛機數位資訊系統取得高度、速度、滾轉角、滾轉角速度、垂直速度、垂直加速(G值)，另外由飛機類比通道知道飛機是在抬頭還是俯衝狀態，以及起落架施放狀態，並且由彈射椅自帶的行程感測器、高度計、減速方向加速計(測量彈射椅器減速時的G力)掌握彈射動態，據此得到優化的彈射過程。其作用是減少開傘前的高度損失(降低最小安全高度)、在許可情況下盡可能減少彈射G力以增加舒適度與減少傷害³⁶。

例如當飛機有顯著坡度(滾轉角)或滾轉角速度時，彈射椅離開座艙後不會馬上釋放平衡桿也不會馬上啟動火箭發動機，而是用位於頭靠的側向火箭迅速調整姿態或抑制滾轉，讓座椅迅速調整成「頭上腳下面朝前」的正常穩定姿態後，才釋放平衡桿與啟動主火箭。這讓他在複雜姿態下彈射時在開傘前可以減少高度損失，也就是降低最小安全高度。例如倒飛時最小高度就由95m降到46m。

而當彈射椅與機上資訊系統失聯時，彈射椅就用自己的電源與電腦進行全自主彈射。根據1999年版的K-36D-3.5操作手冊^{37,38}，全自主彈射模式是類似第二代彈射椅，以事先訂好的不可調的時間差來啟動每一個子程序(如釋放胯下檔板、釋放平衡桿、釋放降落傘等)。這個預設的條件是極端情況，包括最重的飛行員、允許彈射的最大高度與速度、熱空氣(即最稀薄的情況)、以及90度俯衝姿態³⁹。這種條件下彈射椅要達到安全開傘高度與速度需時最久。實際上當飛行員比預設的輕、空氣密度比較大時，減速就會比較快；另外如果彈射時速度比預設的小，也會比較容易達到安全速度。因此依據極端情況求出的子程序時間差會大於或等於實際情況，也就是損失高度較多，這導致最低安全高度會比較大。

K-36D-3.5有自己的電腦與感測器，在正常模式下(可以取得機上資訊時)他就是用自己的感測器與電腦來判斷是否達到可安全開傘的高度與速度，照理說自主模式時應該不必做那麼死板。在K-36D-5上保持一樣的控制架構，只是多了第二個壓力感測器，就能在自主模式時自己求出速度等參數，更靈活的決定開傘時機，那為什麼K-36D-3.5不這麼做？要注意到，這個「笨模式」是記載

36 " Катапультиное кресло", RUS patent, RU2116938, <http://www.findpatent.ru/patent/211/2116938.html>

37 способ выработки команды на ввод парашюта катапультиного кресла, RUS patent, RU2280592, 2004, <http://www.freepatent.ru/patents/2280592>

38 Руководство по технической эксплуатации 903-9200-1000.0-02РЭ-ЛУ, Издание ОАО "НИИ Звезда" 1999 г

39 способ выработки команды на ввод парашюта катапультиного кресла, RUS patent, RU2280592, 2004, <http://www.freepatent.ru/patents/2280592>

在1999年版的K-36D-3.5操作手冊的^{40,41}，因此可能K-36D-3.5只是先具有硬體，但軟體尚未到位，畢竟自主模式只是多出來的備份模式，在發展K-36D-3.5時有很多新性能要解決，不見得放太多心力在備份模式上。但也不排除後續的K-36D-3.5系列有所改進，畢竟之後還有K-36D-3.5M與K-36D-3.5E型。

二、姿態調整

K-36D-3.5的主火箭安裝角度可以旋轉，藉此調整出力方向，使產生俯仰力矩。這在飛機抬頭或俯衝狀態彈射時，讓彈射椅比單純靠平衡桿更快進入零俯仰姿態。

在滾轉方向的平衡方面，K-36D的平衡桿與平衡減速傘在滾轉方向的力臂小，平衡能力有限，會犧牲比較多高度來達到正常姿態。為此K-36D-3.5在頭靠後方裝有側向火箭，用以調整滾轉方向的動態。例如在有坡度或倒飛彈射時，離開座艙後先用側向火箭調成正常「頭上腳下」姿態再啟用主火箭。在雙座機上，可以用側向火箭讓兩個飛行員分別往左右兩邊彈射，這樣就可以做到同時彈射，爭取時間。

側向火箭另一個在滾轉方向的重要作用是抵銷滾轉角速度。因為當滾轉角速度過大時，有可能影響俯仰與偏航方向的平衡。由於K-36D-3.5的飛行員體重等級差距很大，

使得座椅與飛行員的整體重心範圍比基本款K-36D更大，就更容易出現這種失穩現象。藉由側向推力讓滾轉率降到0，就有助維持穩定。俄國在與美國合作K-36D-3.5A期間就已驗證滾轉率200度/秒時的彈射。而根據一個2011年申請的專利，已經可以抵銷約286度/秒的滾轉率，確保初始滾轉率高達515度/秒也可以最終回到平衡⁴²。這個能抵銷286度/秒的專利是2011年申請的，至少可以確定用在K-36D-5，但所用的構造就是K-36D-3.5也有的側向火箭，因此有可能是刻意延後申請，又或者是後來才優化出來。

三、彈射力道調整

新一代彈射椅的要求是從纖弱女性到壯漢都要能用，體重範圍由45~111kg(新數據，舊數據是55~125kg)。這麼廣的體重範圍第一個遇到的問題是彈射推力的拿捏。針對輕量飛行員設計的推力，用在較重的飛行員上，可能會延緩逃生速度，而針對重量級飛行員的推力，對輕量飛行員可能造成G力負荷過大。

K-36D-3.5將飛行員分成輕、中、重三個量級，飛行員上飛機時自己將座椅上的噸位選擇器撥弄至符合自己體重的範圍。彈射時，控制系統會依據設定的噸位，調整彈射力道(讓彈射椅彈出滑軌)以及火箭總推力(讓彈射椅從滑軌末端飛出)。

40 способ выработки команды на ввод парашюта катапультного кресла, RUS patent, RU2280592, 2004, <http://www.freepatent.ru/patents/2280592>

41 Руководство по технической эксплуатации 903-9200-1000.0-02РЭ-ЛУ, Издание ОАО "НИИ Звезда" 1999 г

42 способ и система высотной стабилизации катапультного кресла, RUS patent, RU2457156, <http://www.freepatent.ru/patents/2457156>

彈射器的部分，是引爆炸藥後，產生高壓氣體，該高壓氣體用來驅動彈射椅的飛行員固定束帶等機構以外，也讓坐椅延滑軌彈出。此一階段的軌跡由滑軌決定，且是用高壓氣體推動，所以容易調整，對於輕量飛行員只要讓高壓氣體有地方宣洩，就可以減少彈射力道⁴³。

而在座椅快要離開滑軌時，會啟動火箭發動機讓座椅飛離。K-36D-3.5E的設計是讓火箭發動機有兩個外撇的噴嘴(安裝在座椅下方兩側)，兩者的水平分力會抵消，留下垂直合力用於彈射椅的飛行。對於輕量飛行員，只要讓噴嘴更大程度的外撇，其就會有更多推力浪費在水平分力上並兩兩相消，合力就因而減小，而對重量級飛行員，就減少外撇程度，就會有較大的合力⁴⁴。這樣一來，就能用一樣的發動機，構成不同的合力，作用在不同噸位的飛行員上就形成差不多的加速度，這意味著不同噸位的飛行員的彈射程序就可以維持不變了。

這個方法也可以在許可的情況下減少彈射力道，增加舒適性並進一步減少脊椎傷害之可能。例如當飛行速度較低、且高度足夠安全開傘時，就可以用輕噸位飛行員模式，以較小G力來彈射。

四、考慮到重心位置對安全性的影響

飛行員體重範圍很廣的另一個問題是「飛行員+彈射椅」的重心位置變化較大。在高滾轉率下彈射時，如果重心位置偏離最

佳設計點太多，可能造成難以平衡的問題，這個部分K-36D-3.5已用側向火箭解決，如前述。

另一個問題是，彈射推力不一定通過重心，會產生俯仰力矩。

在1997年申請的專利中已可知道K-36D-3.5已開始考慮到重心位置對彈射安全的影響。其兩個噴嘴的合力方向幾乎通過中等噸位飛行員乘坐時的系統重心位置，這樣一來對中等噸位飛行員，彈射時就幾乎不會造成俯仰，而對輕量與重量級飛行員，俯仰力矩也能盡可能減小⁴⁵。

然而上述設計中，火箭發動機合力方向是固定的，其只對中量級飛行員優化，而對輕量與重量級飛行員，仍會造成俯仰力矩。在2003年申請專利的設計中，讓噴嘴的轉軸有特定方向，這樣一來在改變噴嘴的外撇程度以改變合力大小時，也會改變合力方向⁴⁶。這樣一來，對於三種噸位的飛行員，都能讓俯仰力矩最小化。這樣的設計於2003年提出，必然用於K-36D-5。是否提早用於K-36D-3.5有待查證：就構造論，這個新設計需要變更噴嘴安裝構造，並非簡單改軟體就能達成；但就時間順序而言，2003年時K-36D-3.5剛投產不久，這時申請的專利仍可能是K-36D-3.5的，例如傾斜椅背的設計也是2003年申請專利，但已用於K-36D-3.5。

這裡所提到的重心對彈射安全的影響的

43 RU2119878

44 RU2119878

45 RU2119878

46 RU2238222

問題，在近年因F-35浮現的危安因素而鬧得沸沸揚揚。F-35所用的英國馬丁貝克MK16系列的US16E彈射椅在2014年被發現在彈射時可能對輕量級飛行員的頸椎造成損傷。2015年8月在進行了一系列假人試驗後證實這點。因此美軍在2015年10月初禁止體重小於136磅(約61kg)的飛行員駕駛F-35直到問題解決為止。^{47,48,49,50}。

F-35的原始設計是要允許體重103~245磅(約47~111kg)的飛行員乘坐，其中分成103~136磅、136~165磅、以及165~245磅三個量級。假人測試發現，在某些情況，特別是低速條件下，136磅以下的飛行員的頸椎有1/50,000機率會在彈射過程或開傘過程受傷，136~165磅級飛行員受傷機率較低，為1/200,000⁵¹，或每100,000飛行小時發生一次⁵²。

當時研究結果將原因指向飛行員-彈射椅整體重心位置、以及頭盔重量所造成。美國第33戰鬥機聯隊前隊長Canterbury(擔任聯隊長至2015年6月，駕駛過1B，2A，3i與2B軟體版本的F-35)認為，60kg以下飛行員在開傘時的重心位置可能不是最佳的，使得頸椎可能在開傘時受傷⁵³。2015年夏天的試驗中發現，輕量級飛行員在低速彈射時，因重心與彈射椅推力的相對位置關係，會向後仰，而呈現不利於承受開傘力道的姿態，以至於在開傘時頸椎可能受到致命傷害⁵⁴。2015年9月的進一步研究指出，對136磅以下的飛行員而言，在160knots航速(起降速度)下彈射時，有98%的致命危機⁵⁵。

除了重心問題外，頭盔重量也是可能原因之一，報導指出問題是在使用第三代頭盔(較前一代為重)時發現的⁵⁶。五角大廈消息

47 "Now The F-35 Has An Ejection Seat Problem", 04.OCT.2015, <http://foxtrotalpha.jalopnik.com/now-the-f-35-has-an-ejection-seat-problem-1734594615>

48 "F-35 deathtrap: Pentagon jet's ejection seat could snap pilot's neck ", 06.OCT.2015, <https://www.rt.com/news/317758-f35-ejection-seat-neck/>

49 "Lighter weight pilots banned from F-35 over faulty ejection seat", UPI, 19.OCT.2015, http://www.upi.com/Business_News/Security-Industry/2015/10/19/Lighter-weight-pilots-banned-from-F-35-over-faulty-ejection-seat/9411445280046/

50 "F-35 helmet's weight to be reduced to improve safety", IHS Jane's 360, 21.OCT.2015, <http://www.janes.com/article/55452/f-35-helmet-s-weight-to-be-reduced-to-improve-safety>

51 "F-35 helmet's weight to be reduced to improve safety", IHS Jane's 360, 21.OCT.2015, <http://www.janes.com/article/55452/f-35-helmet-s-weight-to-be-reduced-to-improve-safety>

52 "Lighter weight pilots banned from F-35 over faulty ejection seat", UPI, 19.OCT.2015, http://www.upi.com/Business_News/Security-Industry/2015/10/19/Lighter-weight-pilots-banned-from-F-35-over-faulty-ejection-seat/9411445280046/

53 "F-35 deathtrap: Pentagon jet's ejection seat could snap pilot's neck ", 06.OCT.2015, <https://www.rt.com/news/317758-f35-ejection-seat-neck/>

54 Roll call.com, 16.OCT.2015

55 Roll call.com, 16.OCT.2015

56 "Now The F-35 Has An Ejection Seat Problem", 04.OCT.2015, <http://foxtrotalpha.jalopnik.com/now-the-f-35-has-an-ejection-seat-problem-1734594615>

來源指出，現有頭盔5.4磅(約2.44kg)過重是原因之一，體重136磅以下的飛行員的頸椎無法承受4.8磅(約2.18kg)以上的頭盔，已要求減重6盎司，減重計畫預計進行一年⁵⁷。

美國在1997年俄國完成K-36D-3.5A的研發後終止合作，使用麥道的ACE II用於F-22，以及用馬丁貝克的MK16系列US16E於F-35。終止合作前美方應該有得到某些技術，但最多就是K-36D-3.5至1997年為止的設計，當時或許仍沒有讓三個噸位的俯仰力矩最小化的設計。此外英國馬丁貝克是否間接受惠吾人也不得而知。如果出現顧慮的US16E用了俄國人1997年的設計，那麼表示K-36D-3.5也會有類似問題，而如果沒有，表示K-36D-3.5不見得有這問題。但至少可以確定K-36D-5沒這種問題(因為推力方向分別對三個噸位最佳化)。另一方面俄國頭盔總重量小於2kg甚至比美國的2.18kg目標還輕，從這些資訊可以判定，這些已公開的F-35隱含的致命危機在Su-35、Su-57甚至4+代俄國戰機上並不會發生。

五、更好的人體工學設計

基本款K-36D在人體工學上的著墨在於服貼的坐墊和椅背以確保支撐，以及調整坐

墊高度。K-36D-3.5除了上述措施外，頭靠明顯比K-36DM-2小很多，改善飛行員側後方視野。另一方面，K-36DM的頭靠與椅背設計是確保頭與背部幾乎在共平面以保證彈射時的安全，但這個坐姿在平時使用時不夠方便，例如飛行員在空戰中不方便向後看。K-36D-3.5開始，椅背可以視飛行員喜好向前調，這樣在飛行員背部與頭靠之間便多出空間而方便飛行員頭部的活動。在彈射時，椅背會自動後縮，避免飛行員頭部因高速氣流的吹拂而撞上頭靠⁵⁸。關於這個椅背的設計，官方是在K-36D-5才開始宣傳，有關專利也是在2003年左右出現，然而在早期K-36D-3.5的廣告影片中其實已可見到這種可調椅背的設計。

第五代戰機的K-36D-5彈射椅

Su-35與Su-57用的彈射椅稱為K-36D-5。整體而言他的救生範圍比K-36D-3.5更好、適合的氣候條件更廣、有抗電磁干擾能力等。從技術特徵與時間差距看來，他是在K-36D-3.5的基礎上優化而來，得益於新材料的使用，K-36D-5比舊型號輕20%⁵⁹，含救生包總重<100kg⁶⁰，壽命達到30年⁶¹。其研

57 "F-35 helmet's weight to be reduced to improve safety", IHS Jane's 360, 21.OCT.2015, <http://www.janes.com/article/55452/f-35-helmet-s-weight-to-be-reduced-to-improve-safety>

58 MAKS2011訪問資料

59 "Завершены испытания снаряжения и средств спасения летчиков самолета Т-50", ИТАР-ТАСС, 02.JUN.2015, http://vpk.name/news/133124_zavershenyi_ispytaniya_snaryazheniya_i_sredstv_spaseniya_letchikov_samoleta_t50.html

60 "Катапультное кресло К-36Д-5", НПП Звезда, <http://www.zvezda-npp.ru/ru/node/118>

61 "Завершены испытания снаряжения и средств спасения летчиков самолета Т-50", ИТАР-ТАСС, 02.JUN.2015, http://vpk.name/news/133124_zavershenyi_ispytaniya_snaryazheniya_i_sredstv_spaseniya_letchikov_samoleta_t50.html

製過程與T-50平行，原定於2010年底完成試驗⁶²。實際於2014年完成國家級試驗⁶³。(圖九)



圖九：K-36D-5彈射椅與飛行員裝具。彈射椅背下方末端可見到火箭噴嘴，下方白色槓桿則是椅背調整機構。作者攝

結合官方新聞與專利文獻的探索，可窺知K-36D-5比K-36D-3.5進一步具有以下的技术特徵：

一、優化自主彈射模式，自主彈射的安全高度更低

K-36D-5與K-36D-3.5一樣，在正常模式

時，由機上資訊系統取得飛行狀態參數，解算出具體彈射過程，並用自己的感測器掌握彈射動態，判定開傘時機。而在無法取得機上資訊時，就只靠自己的控制系統與感測器進行自主彈射模式。至少在1999年的K-36D-3.5上，自主彈射機制是死板的，他依據最不利於減速的條件算出彈射子程序的時間差，這可以確保開傘時一定在安全開傘速度以下，但損失的高度較多，因此最低安全高度較高(詳見前面K-36D-3.5介紹)。

2004年NPP Zvezda為一個新設計申請專利⁶⁴，讓彈射椅可以完全靠自己的電腦與感測器算出更精確的速度，以決定開傘時機。在這裡計算的依據當然沒有機上資訊齊全，但已考慮飛行員噸位、高度、並估算出實際速度。由於彈射過程比1999年版的K-36D-3.5進一步優化，比較沒有「延遲過頭才開傘」的問題，因而降低最小安全高度。

K-36D-3.5與K-36D-5的控制系統內有彈射行程感測器、飛行方向G力感測器、壓力計。其中G力感測器用來測量沿著坐椅面向的加速度(也就是前進方向)，在有初速的情況下可以解算出每個時候的具體速度，壓力計可以知道彈射椅是在6,000m以上或以下。新的設計是要在連初始速度與高度都不明的

62 «На ПАК ФА установили катапультное кресло пятого поколения», Lenta.ru, 23,May,2010

63 "Завершены испытания снаряжения и средств спасения летчиков самолета Т-50", ИТАР-ТАСС, 02.JUN.2015, http://vpk.name/news/133124_zavershenyi_ispytaniya_snaryazheniya_i_sredstv_spaseniya_letchikov_samoleta_t50.html

64 способ выработки команды на ввод парашюта катапультного кресла, RUS patent, RU2280592, NOV.2004, <http://www.freepatent.ru/patents/2280592>

情況下，自己間接量測高度與速度，據此判斷開傘時機。為達這個目的，K-36D-5多加了一個壓力計，可以知道高度是在2,000m以上或以下，這樣就能將高度範圍分成2,000m以下、2,000~6,000m、6,000m以上三個區間。其餘感測器種類與K-36D-3.5相同，並在電腦內添加相應的演算法。他有兩個平行運作的演算法，都可以判斷開傘時機，兩者互為備份。

第一個迴路是「臨界參考值法」：事先依據「輕、中、重」三種重量，以及6,000m與2,000m高度的大氣密度，求出安全開傘速度(650km/hr)時氣動力造成的減速G值。由於相同重量下，高度越高空氣越稀薄，相同速度造成的減速G值會越小，因此高度H以下的減速G值一定比高度H時還大。這樣一來高度H時的減速G值就可以當作臨界參考值，當在高度H量到臨界G值時表示速度剛好是安全速度，若低於高度H量到臨界G值時，表示速度一定低於安全速度。

因此，三個量級的飛行員在2,000m與6,000m的減速G值，就等同於三個量級的飛行員在0~2,000m高度與2,000~6,000m高度的臨界(最小)減速G值(共6組臨界G值)。當量測到的G值比所屬高度範圍的臨界值小時就表示一定小於安全速度。飛行員一坐上座椅時，會先依據自己的體重設定「輕、中、重」噸位，另外由兩個壓力計可以判斷高度是在2,000m以下、2,000~6,000m還是6,000m以上。這樣控制電腦只要依據壓力計知道高度範圍，就可以知道當下的臨界G值，然後只要實際量出的G值比臨界值小，就可以發

出開傘命令。

為什麼要2,000m與6,000m？因為在一樣的重量與一樣的速度下，6,000m時的空氣比較稀薄，減速G力比較小。如果依據6,000m的臨界G值去決定低空開傘時機，則開傘速度會比安全速度低很多，這樣就會「等過頭」而損失較多高度，那就不能太低空彈射；而如果依據2,000m的臨界G值去決定2,000m以上的開傘時機，就會超過安全速度。因此加上2,000m的壓力計，可以優化低空時的自主彈射，降低最小安全高度。

第二個迴路是藉由連續量測一小段時間(0.1~0.15秒)的減速G力，計算出當下速度的近似值。當從壓力計得知在安全高度以下，又算出已達安全速度，就可以發出彈射命令。

不難發現第二種迴路更為「聰明」，而第一種迴路雖然較死板，但所需的運算很少，迴路的可靠性非常高。根據專利內容的描述，實際使用時兩者是互為備份的。另外必須注意到，專利內容會因申請時的研發進度以及保密等需求，不會完整揭露技術細節，而是以「精神闡述」為重。從以上專利內容至少可以看出，K-36D-5的自主彈射模式是在「呆版」的「臨界參考值法」為後盾的條件下，加上更精準的決策模式。仍不能排除有進一步感測器或演算法來強化自主彈射模式的可能。

二、更可靠的火藥制動器

2017年9月1日Zvezda總經理Podznyakov強調，K-36D-5很大的改進，是其火藥驅動裝置被設計在更廣的溫度條件下運作，這對

Su-35S以及Su-57要推向外銷市場很有利⁶⁵。因為他可以輕易適應全球氣候。

這裡說的火藥制動系統是由Tekhmash研製的PK-5。該公司也為K-36D-3.5E提供PK-3.5、以及為Yak-130提供PK-3.5Ya驅動系統。PK-5包含七具火藥制動機構，用於三種用途：一些用於將頭靠射出並與座椅分離，一些用於拋出減速傘，另一些用於穩定座椅。此外還有固定機構，能收住肩膀、腹部、以及腿部⁶⁶。用到的是固體火藥，因此能在極端軍用條件下使用，適用溫度範圍攝氏-60~+74度。2017年上半年俄國防部已接收20套PK-5，預計9月與2018年3月再分別接收新的批次。

三、提升電磁防護性

在K-36D-5的宣傳上官方特別強調「彈射系統電磁防護性更好」⁶⁷。為什麼彈射椅會跟電磁防護性扯上邊呢？K-36D-3.5與K-36D-5都用微電腦控制系統，而且火藥制動系統要用電子方式啟動，包括電子點火以及控制動作間隔，所以必須考慮外界電磁環境的影響與抗干擾措施。

四、姿態調整

如同K-36D-3.5一般，藉由彈射火箭安裝角度的調整(不是噴嘴調整)來調整俯仰姿

態，並用位於頭靠的側向火箭進行滾轉姿態的調整(詳見前面K-36D-3.5介紹)。根據專利文獻的記載，至少確定K-36D-5可以抵銷達286度/秒的滾轉角速度，這使得即初始滾轉率高達515度/秒也可以最終回到平衡⁶⁸。這帶來的具體好處可以從兩個方向看：

首先，根據K-36D-3.5在1996年的實際測試，他至少可以抵消200度/秒的滾轉率。那麼他是否也能達到K-36D-5的286度/秒？如果不行，表示K-36D-5的滾轉姿態調整更快，大滾轉角彈射(例如倒飛彈射)安全高度就可以進一步降低。

再者，美國1999~2000年進行展示試驗的新一代彈射椅需求之一是滾轉率360度/秒時也要安全彈射，對四代戰機來說這是很大的滾轉率，Su-27與F-15的最大滾轉率不超過300度/秒，單發戰機才可能超過360度/秒。而K-36D-5可以允許達515度/秒的滾轉率，這已經超過當初美國訂的需求，而可以進一步支持超機動狀態(例如用差動向量推力增加滾轉率)。

五、對不同體重飛行員的適應性

K-36D-3.5用彈射引擎噴嘴的外撇程度，來調整彈射力道，使彈射推力針對輕、中、重三個量級的飛行員優化(兼顧彈射加

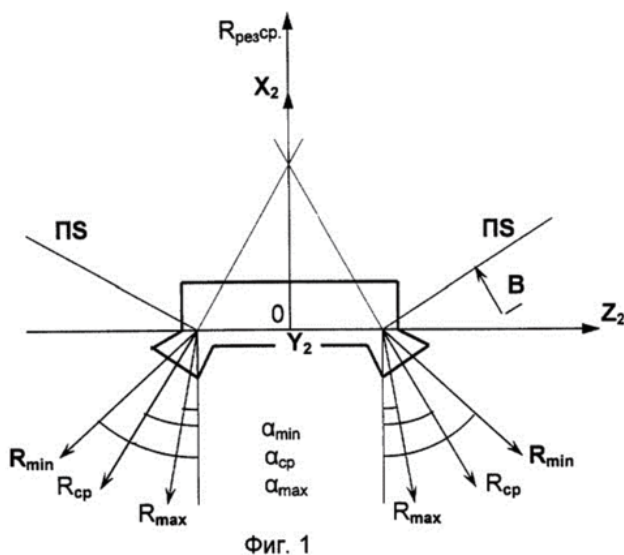
65 " Разработчик рассказал о катапультном кресле для истребителя 5-го поколения Су-57", www.aviationunion.ru, 01.SEP.2017, http://www.aviationunion.ru/news_second.php?new=11408

66 "«Техмаш» передал Минобороны партию пироконплектов", Ростех, 10.AUG.2017, <http://rostec.ru/news/4520839>

67 "Поставки противоперегрузочного костюма для пилотов Су-57 начнутся не раньше 2019 года", ТАСС, 28.MAR.2018, <http://tass.ru/armiya-i-opk/5075026>

68 способ и система высотной стабилизации катапультного кресла, RUS patent, RU2457156, <http://www.freepatent.ru/patents/2457156>

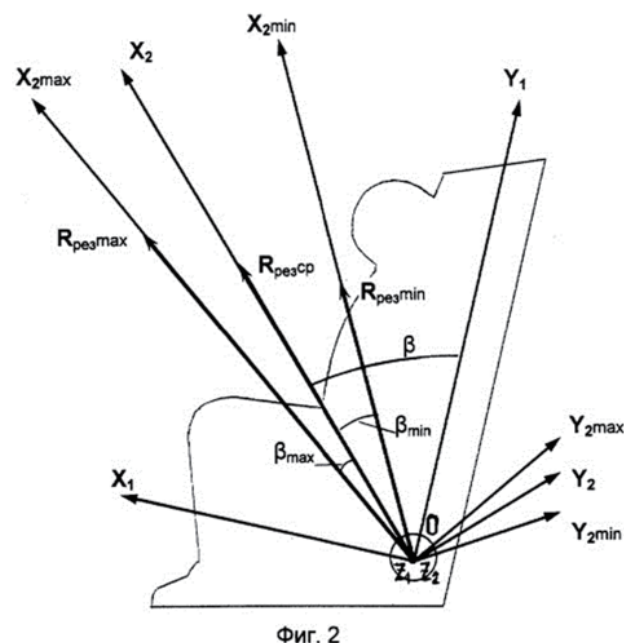
速需要與降低脊椎負荷)。在最初的設計中，彈射合力方向通過中等噸位飛行員與彈射椅的整體重心，這樣對中等噸位飛行員就是最佳化，而對輕量、重量級飛行員也可盡可能減少彈射推力造成的俯仰力矩(詳見前面K-36D-3.5介紹)。K-36D-5一樣是用彈射引擎噴嘴角度的調整來調整彈射推力，並確定在調整推力大小的同時，也調整合力方向，這樣對輕、中、重三種量級的飛行員的推力大小與方向都是最佳化。(圖十、十一)



圖十：改變噴嘴外撇的角度，一部分推力會兩兩相消，這樣就能用一樣的定推力火箭調整出不同的推力。RU2238222

六、此外，從NPP Zvezda在2000年代中期開始申請的專利可以看出，K-36D-5回過頭來優化不是最極端彈射條件時的性能，具體的說，是降低中低速彈射時的最小安全高度。此外，也考慮了高原部署的問題。這並不是說K-36D的中低速彈射性能不好，因為在1990年代美國對K-36D的測試中，就包括驗證K-36D在美國彈射椅擅長的速度範圍是

否能發揮一樣的功效，結果也是正面的。因此K-36D-5是更極端的擴展安全彈射範圍。



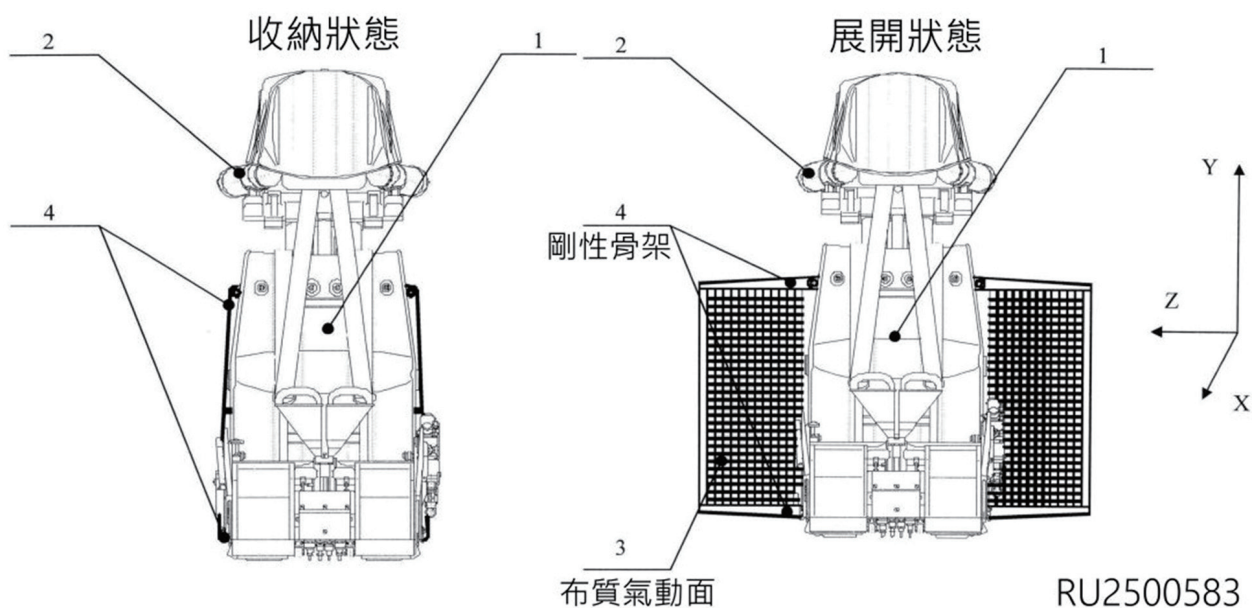
圖十一：在與美國合作的版本中，推力方向總是針對中等體型優化，也就是圖中X2軸向，這對於輕或重量級飛行員可能造成不必要的滾轉。在新設計中，藉由特殊角度的噴嘴轉軸，使噴嘴轉動後，除了調整推力大小外，也改變推力方向，即圖中的X2min與X2max軸。RU2238222

例如原來的平衡桿與減速傘可以用到1,400km/hr，這表示他的阻力係數偏小，在中低速時減速能力就還有提升空間。新的設計是增加一對布質氣動面，平常用骨架收納在座椅背面側邊，幾乎不影響座椅尺寸與重量。這個附加氣動面在小於1,100km/hr時向兩側展開，與平衡桿一起減速(圖十二)。這樣阻力是原來的1.5倍，可以較快降到開傘速度，也就是降低最小安全高度。除了加強減速之外，也加強座椅的橫向(偏航方向)穩定性，這在複雜姿態彈射時可以更快達到安

全姿態，其效果同樣是減少最小高度。實驗數據顯示，在30度俯衝、1,100km/hr彈射的最小高度由約190m降到約150m，900km/hr時由約150m降到125m，700km/hr時由90m降到80m。⁶⁹。

降落傘也有改進。K-36D-5採用雙模式降落傘⁷⁰，最大開傘速度一樣是650km/hr。但在400km/hr以下彈射時，會先讓降落傘在張開一部分時就達到足夠張力，藉以提升減速力道(圖十三)，之後再全開。這種做法可

以充分運用飛行員的抗G能力，減少400km/hr以下低速彈射時的高度損失⁷¹。以下舉若干數據：在最大飛行員重量下，100km/hr開傘時，本來要2.5秒才會達到350kg的最大減速力道，用了雙模式降落傘時可以提前在1.9秒達到最大力道；在200km/hr開傘時，本來要1.9秒達到700kg的最大力道，改善後提前在1.2秒達到950kg力道；在300km/hr開傘時，本來是1.2秒達到1,300kg，提前在0.9秒達到1,900kg⁷²。



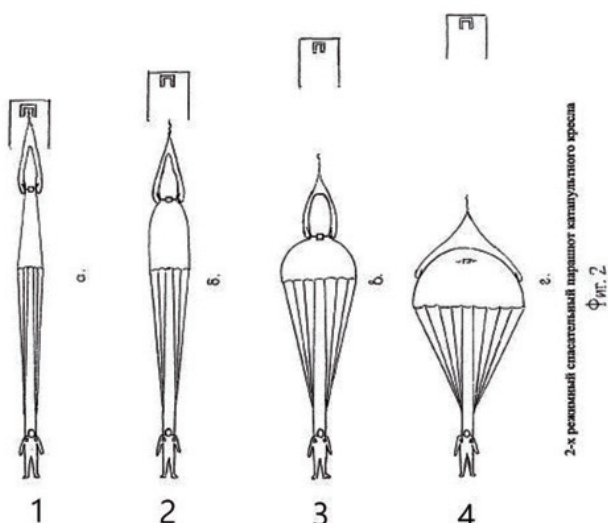
圖十二：收納布質氣動面。RU2500583

69 RU 2500583

70 RU2310585

71 RU2310585

72 Способ и система интенсификации наполнения купола парашюта катапультного кресла, RU2569445



兩段式降落傘工作原理示意：

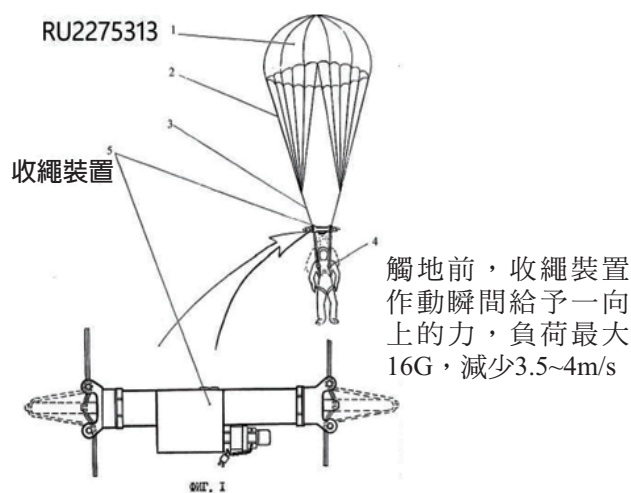
- 1~3：以限制機構，讓傘開到一半時已經「撐飽」，而提早具有減速效果。
4：最終限制器仍滑開，降落傘完全撐開，發揮原定的最大減速效果。

圖十三

RU2310585

另外K-36D-5也考慮到高原部署問題。技術需求是必須讓所有體重的飛行員降落在4,000m高的高原或山地還能夠安全。在一樣的降落傘設計下，越重的飛行員降落速度越快，而在高海拔地區空氣稀薄，減速能力也會變差。經分析，安全著陸速度最多6~6.5m/s，但K-36D-5可能搭載的最重飛行員是111kg，降落在海拔4,000m處時，著陸速度會達到9.5m/s⁷³。為此必須有額外的「觸地前減速措施」。根據NPP Zvezda的專利文獻，至少發現兩種設計。

第一種是在降落傘與飛行員的連接處下手，上面有一個用火藥驅動的收繩裝置。在快要著陸時，由飛行員手動或是控制系統依據高度計發出命令，啟動收繩裝置，短時間內產生最大16G的向上拉力，減少3.5~4m/s的著陸速度⁷⁴（圖十四）。這一設計可見於2004年申請的專利，因此甚至可能用在K-36D-3.5。另一種設計是在座椅下安裝額外的火箭發動機，並且高度感測器在開傘後會切換成量測高度與垂直速度的模式，控制系統依據飛行員重量解算出要在什麼高度與垂直速度時啟動發動機⁷⁵。這一設計出現在2013年申請的專利，應該用於K-36D-5。雖然不知道K-36D-5只用了第二種措施還是兩種都用，總之可以知道在設計上考慮了最重飛行員在最高海拔時也要安全降落。



圖十四

73 RU2275313

74 RU2275313

75 Способ снижения вертикальной скорости приземления летчика после катапультирования и система для его реализации, RU2544076

因此，考慮了海拔4,000m的部署，新的PK-5火藥驅動系統又能耐受更廣的溫度條件，這就讓K-36D-5可以在所有地理位置使用。

七、其他人因工程的改進

除了擁有更精進的救生能力外，K-36D-5還配有按摩與電熱等相當人性化的功能⁷⁶。

部分資料(包括俄文維基百科)指出新一代彈射椅採用可調傾斜角設計，筆者於MAKS2011向副總師求證，他表示，蘇聯時代的確有這研究，後來解體後沒經費，這研究便沒再繼續，K-36D-5上是沒有這種設計的。又根據俄國「航太學報」的NPP Zvezda 50週年紀念專輯，蘇聯在1980年代平行發展兩種未來彈射椅，一個是「可變幾何彈射椅」(KIG)，另一個是傳統佈局彈射椅K-90，並在後者的基礎上發展K-36D-3.5⁷⁷。K-36D-5傳承自K-36D-3.5，所以應該是沒有可變角度設計。然而2015年關於K-36D-5完成試驗的報導又指出：座椅有更好的調整系統，能讓各種著裝狀態的飛行員都能更舒適，其中為了減緩脊椎的負擔，飛行時座椅

的角度會改變⁷⁸。從文獻與訪問資料研判，K-36D-5應該是沒有可隨G力調整傾斜角的設計，相關的報導可能是誤植舊聞，並且將K-36D-3.5就有的可向前調的椅背設計誤解成KIG方案的「可隨G力改變傾角」。

此外，K-36D-5仍是需要飛行員自己啟動的。一些資料指出K-36D-5可以自動彈射，例如2017年Tekhnodinamika(科技動力)集團總裁Igor Nasenkov公開表示「Su-57的彈射椅將可以自動決定彈射時機」，以及「相關研究工作在持續中」⁷⁹，也因此這個功能成為俄國媒體不斷追問、研發者不斷澄清的一點。NPP Zvezda總設計師Sergei Podznyakov在2018年接受TASS訪問時就指出，「如果要做到全自動彈射，可以恢復並繼續20年前的全自動彈射研究⁸⁰」。另外在2019年莫斯科航展期間，Podznyakov再一次澄清，現階段NPP Zvezda並沒有做自動彈射的工作，並強調現階段對Su-57而言沒有這個必要性。他並進一步解釋，自動彈射功能對艦載機或垂直起降戰機才有必要性，如果有訂單，NPP Zvezda可以進行相關研發⁸¹。

整體來說，K-36D-5繼承了K-36D「全

76 MAKS2007看板資料

77 Вестник Авиации и Космонавтики, 5.2002 (NPP Zvezda 50週年紀念專輯)

78 "Завершены испытания снаряжения и средств спасения летчиков самолета Т-50", ИТАР-ТАСС, 02.JUN.2015, http://vpk.name/news/133124_zavershenyi_ishpyitaniya_snaryazheniya_i_sredstv_spaseniya_letchikov_samoleta_t50.html

79 "Для Су-57 разработали умное кресло-катапульту", Интерфвкс-ИБН, 29.AUG.2019, https://vpk.name/news/319063_dlya_su57_razrabotali_umnoe_kreslokatapultu.html

80 "Поставки противоперегрузочного костюма для пилотов Су-57 начнутся не раньше 2019 года", ТАСС, 28.MAR.2018, <http://tass.ru/armiya-i-opk/5075026>

81 "Для Су-57 разработали умное кресло-катапульту", Интерфвкс-ИБН, 29.AUG.2019, https://vpk.name/news/319063_dlya_su57_razrabotali_umnoe_kreslokatapultu.html

高度、全速度，全G值」安全彈射的特點，並進一步拓展到複雜姿態，包括「全滾轉率」、「全地理位置」(已考慮全球溫度範圍以及海拔4,000m部署)，研判已包括超機動模式。而且各種條件(包括各種姿態、資訊不全情況下自主彈射模式)的最小彈射高度都有所降低。在人因工程方面，進一步考慮平時使用的舒適性，彈射時的舒適度與脊椎防護做得更好。

為了便於想像這種「全範圍安全彈射」的彈射椅的優勢，不妨想像以下情境：戰機在超音速巡航時，或是劇烈空戰過程中被飛彈命中而要彈射逃生。這些條件通常都在K-36D-5的安全範圍內，因此Su-35與Su-57的飛行員有很高的機率生還，而F-22的飛行員就凶多吉少。對飛行員而言，這多少加強了「心理戰鬥力」，就如K-36系列彈射椅創始人G. Severin所說的：「我們研發的不只是救生設備，而是讓飛行員在戰鬥中獲勝的裝備…因為用了我們的裝備，飛行員感到舒適且有安全感，從而與飛機融為一體…⁸²」

與西方新型彈射椅比一比

「美國終止了K-36D-3.5A合作案，改用美製ACE-II與英國US16彈射椅」一事，是「買不到、不敢買，所以將就著用次等貨」，還是美國與英國的彈射椅在改良後已經達到K-36D-3.5A的性能了呢？答案基本上確定是前者。例如在F-35所用的US16的彈射測試照片中，可以看到其平衡暨減速傘

仍是傳統的大面積傘，且以軟繩固定在椅背。如前文介紹的，這種大面積傘就無法像K-36D系列一樣在1,300~1,400km/hr使用，通常只能在1,100km/hr以下使用。此外，有別於K-36D系列的平衡桿固定在頭靠附近，US16的平衡傘纜繩固定點靠近座椅重心，這表示他能提供偏航方向穩定，但在俯仰與滾轉方向的穩定能力較差。此外這種以軟繩固定的減速傘在複雜姿態時能否安全展開也有疑問。因此僅從平衡機制來看，馬丁貝克最新的US16甚至還不如用了幾十年的K-36DM-2。

美軍當然不是不知道歐美彈射椅的弱點，所以其實也有新一代彈射椅的計畫。美國在1999~2000年進行一種新世代彈射椅的展示性試驗，並在2001~2002開始正式發展。這個彈射椅是在美國自己的眾多性能提升方案以及K-36D-3.5A合作案之後的，可能是個集大成之作。在K-36D-3.5A合作案的分析報告中就有提到，雖然肯定俄方的技術實力，但不表示美國自己做不到。因此這款新世代彈射椅應該是在保險的K-36D-3.5A確定無法取得，在役的ACES-2、Mk-16又不滿足需要的情況下，不得不走的路。

這種新型彈射椅的技術指標非常強大：高度0~21,500m、低空速度0~1,500km/hr、在複雜姿態如倒飛、滾轉率360度/秒、仰角變化率72度/秒、航向變化率36度/秒、垂直方向-5~+9G、橫向2G、縱向(前後向)-3.5~+2G等情況要能安全彈射。

82Г. Северин, «Мы создали уникальный комплекс жизнеобеспечения и спасения лётчика в небе», Аэрокосмическое обозрение, №3, 2005, ст.30-33

雖然K-36D-5公開資訊沒有那麼齊全，以致無法直接比較知道是否全面達到上述需求，但至少在有公開的數據方面，可以知道K-36D-5甚至有過之。唯一帳面上輸掉的是最大速度，K-36D-5低空最大還是1,400km/hr，比美國訂的1,500km/hr還小，但這個部分必須考慮到，俄係戰機的低空極速都限制在1,400km/hr，因此是用不到1,500km/hr的，美國這麼訂或許是美國戰機低空極速有放寬限制，或是想藉由過度設計來提升正常範圍的安全性。

在其他指標方面，在使用高空補償服時，K-36D系列的最大高度都可以到25,000m。而滾轉率方面，K-36D-5甚至考慮到515度/秒，倒飛彈射也是早就可以辦到，這些都超過美國新彈射椅的指標，而且大部分是K-36D-3.5就達到的。

雖然不清楚K-36D-5在怎樣的橫向G值與偏航率下可以安全彈射，但橫向G力的平衡可以靠側向火箭，這與平衡掉滾轉率是一樣的。由於K-36D-5允許的滾轉率比美國訂的360度/秒還大得多，因此彈射時允許的橫向G力範圍應該比較大。在使用完整的第五代配置，也就是PPK-7抗荷服搭配K-36D-5的情況下，抗荷能力為垂直方向-4~+9G，前後方向+-6G，橫向+-4G⁸³，該側向G力範圍確實是比美國訂的+-2G還大，就NPP Zvezda的設計哲學，應該是能涵蓋進安全彈射範圍，在有側推力以及剛性平衡桿的情況下這也應不難達成。當然，在這裡最基礎的要求還是早在K-36D就在強調的：飛行員固定。

83 MAKS-2011廠商型錄

如果飛行員不能牢牢固定在座椅上，不管其他措施做得再好，飛行員都很容易受傷，就變得本末倒置了，在這方面，美國最新的計劃做到什麼程度不清楚，但K-36D系列則早已行之有年。

結語

「彈射」是飛行員最不願遇到的狀況，因為那表示飛機救不回來了，而且又是生死交關之時。沉重的心理壓力不說，彈射過程的力學負荷絕對也不好受。現代歐美彈射椅的失敗率又不低，而即使成功，飛行員又可能伴隨永久生理傷害而無法繼續飛行。用日常生活的例子，用現代歐美彈射椅彈射就好像醫療不發達的年代的生小孩，所謂「生得過麻油香，生不過兩塊板」。而俄國K-36D彈射椅的安全性，就讓彈射變得像現代門診微創手術或拔智齒一樣，沒有人想試，但真的遇到了，至少可以平常心以待，不用求神問卜拜天拜地。K-36D-3.5到K-36D-5的境界則像是「不只要效果，還講求舒適」的高級自費療程一般。用這個看醫生的例子來比喻的話，K-36D系列彷彿領先西方好幾代。這實乃在出發點就有重大分歧的發展思想，以及幾十年的經驗累積所致，除非飛機上不再需要彈射椅了，否則K-36D絕對是值得學習參考的標竿。

作者簡介

楊政衛，國立成功大學物理系學士，俄羅斯聖彼得堡大學物理系碩士。自2003年起於期刊上發表俄系戰機研究與展覽報導等文章。



「飛操系統失效！」

王立楨

提 要

本文是摘自「飛行員的故事」第一集，該書係王立楨先生走訪多位飛行員之後，於民國94年出版，書中故事並不是講述軍中高階長官，而是一般飛行員在執行任務時所遇到的狀況。王立楨先生是覺得那些故事如果不記載下來的話，多年之後就沒有人知道那些人曾經為國人做了一些什麼，所以他到目前已經出版了四本「飛行員的故事」，記載了五十餘位飛行員的故事，本文就是其中的一篇。

當太陽的第一道曙光投擲在清泉崗基地的停機坪時，四架擔任拂曉巡邏的星式戰鬥機已經依序進入跑道，等待塔台的指示預備起飛了，擔任預備機的張明仁少校將飛機停在跑道的45度邊準備隨時進入跑道替代任何一架無法起飛的飛機，但是那天所有的飛機沒有任何狀況，全數正常起飛，所以張明仁在巡邏機群與戰管報到後就將飛機滑回機堡，那天是1986年的8月7日。

當時張明仁是11大隊41中隊的分隊長，因為11大隊正在換裝F-104星式戰鬥機，再加上新竹基地的跑道也正在翻修，所以整個大隊都暫時駐在清泉崗基地。

任務繁忙

雖然11大隊當時正在緊鑼密鼓的執行換裝任務，但是整個大隊的戰備並未解除，所以在執行換裝訓練的同時也必須兼顧原有的戰鬥任務。在這種情形下那些已經完成換裝的人員就必須擔負著一些比平時更多的任

務。由張明仁少校一直保存到今天的那本已經微微發黃的記事本上，可以看出當時每天的任務與行程都是安排的非常緊湊，那本記事本上所記載的最後一天就是1986年的8月7日，那天的日程班表是這樣的：

0500：擔任拂曉巡邏預備機。

0900：飛交4420到屏東去做IRAN(Inspect and Repair as Necessary)維修。

1400：替換裝學員講授星式戰鬥機操縱系統的課程。

1930：帶領換裝學員作一批夜航訓練。

如果不是因為一架飛機的水平安定面控制系統內部嚴重故障的話，那本記事本一定會記下更多的任務及行程，然而命運的驅使，那套故障的控制系統不但將他那年的繁忙飛行生涯劃下了句點，更使另一位優秀的飛行軍官喪失了寶貴的生命！

當天上午九點那批飛交4420的任務，是由他及前一晚才剛飛完一批夜航任務而留駐基地的42隊輔導長任克剛少校共同執行。根



據任務派遣單那個任務是由任克剛將那架單座的4420飛往屏東，而張明仁則飛另一架雙座的4187伴隨前往，等任克剛將飛機交給屏東的一區部後，再搭乘張明仁的那架雙座機返回清泉崗。

陣前換機

那天任務的雙座機本來安排的是4187，但是當張明仁在做起飛前的360度檢查時，卻發現那架飛機左主輪的胎紋已不合起飛標準了，他立即要求機務室更換那隻輪胎，然而如果要更換輪胎的話勢必要延誤原訂九點鐘的起飛時間及後序任務之執行，於是機務室建議他換另一架雙座機4183前往，那架飛機是當天的妥善機之一，原訂在當天下午進駐台東輪訓，在這種情況下張明仁向作戰科報備之後就將飛機換成4183了。

以F-104的速度來說，台中到屏東只是二十分鐘左右的路程，所以張明仁與任克剛的兩架飛機在起飛十五分鐘之後就與屏東塔台聯絡，要求落地指示。屏東塔台在報出落地相關資料的同時，也提醒他們機場附近空域有官校基本飛行組的初級教練機在練習飛行。這使張明仁想起了自己在官校學飛時也曾在屏北練習過起落，那時坐在時速只有一百多哩的T-28座艙裡，經常幻想著有一天能駕著F-104遨遊長空，因為F-104是全空軍中最快速的戰鬥機，而速度正是每一個戰鬥機飛行員所追求的！如今畢業九年之後，雖然如願的在F-104部隊任職，可是年齡與經驗的成長，卻讓他瞭解到速度並不能代表一架飛機的全部，F-104至今雖然仍是世界

上少數能飛到兩倍音速的戰鬥機，但是不可否認的那已是一種非常老舊的飛機，在大毛病不多，小毛病不斷的情況下，飛行時所能享受的樂趣竟是相當的有限了。當然，做為一個軍人是不能以享受的觀點來評斷一種飛機的，不過看著那群在機場附近的初級教練機，張明仁倒是真心的希望那群小老弟們在畢業之後能夠飛到較新型的戰鬥機，F-104在中國空軍服役的歲月已經夠久了！

兩架飛機安全落地之後，任克剛按規定程序將飛機交給一區部的相關單位。一些在屏東空運隊的老同學們本想留他倆吃完中飯再回台中，但是考慮到後序任務的執行，兩人婉謝了同學們的盛情，在十點半就開始做返航的準備。

準備回航

張明仁及任克剛兩人拿著卡片完成飛前的360度檢查之後。由於任克剛具有F-104後座教官資格，於是在機外檢查完成後任克剛就跨進了那架雙座機的後座。

在張明仁的手勢下，地勤機械士將氣源車的高壓氣流注入了那架雙座機的J79發動機，渦輪在高壓氣流的衝激下開始轉動，張明仁在座艙裡注視著儀表版上的發動機轉速表，在轉速達到8%的時候，他按下啟動電門並將油門推到慢車位置，剎那間一股F-104特有的狼嚎似的吼聲由機尾傳來，儀表板上所有的儀表開始向順時鐘方向轉動。張明仁很快的將所有發動儀表檢查了一遍，發現一切都在正常範圍內，他向機外的機械士打出OK的手勢，示意可以將氣源車插頭拔下。

飛操系統燈未亮

發動機順利發動之後，下一步就是操作系統的檢查，就在這時張明仁及任克剛發現起飛配平位置指示不正常，當張明仁將操縱桿上的調整片電門調到起飛位置時，儀表上的指示綠燈並沒有亮，他回頭看了一下機尾上方的升降舵，發現它會隨著電門的控制上下搖動，但是當他試著將升降舵定到起飛位置，燈仍然沒有亮。

他們兩人與地勤機械士很快的討論了一下：推動調整片電門時可以看到升降舵在上下移動，唯一沒有反應的是儀表版上的指示燈。在這種情況下極可能是指示燈線路故障而不是操縱系統的問題。任克剛決定利用機外的指示來將升降舵定到起飛的位置，線路的問題等回到清泉崗之後再請維修單位檢查。

任克剛用拇指將調整片的電門向後扣下，升降舵隨著電門的控制開始移動，當水平安定面前緣指到起飛的位置時，機械士右手做出OK的手勢，任克剛隨即將拇指放鬆，讓水平安定面停留在那個位置。

張明仁在前座看到機械士做出OK手勢後，也回頭目視確認水平安定面是在起飛的位置上，他放心的向後座的任克剛點了點頭，然後開始繼續做其它的系統檢查，待一切正常後，他通知機械士將輪檔移開，這架飛機準備滑出返航了。

在飛機滑向跑道的時候，任克剛及張明仁再度的將操縱桿前後推動，同時回頭看水平安定面的反應，尾翅很規律的隨著駕駛

桿的動作上下移動，這證明操作系統一切正常。由於屏東機場跑道不長，所以在滑向跑道的時候任克剛在後座也提示著張明仁萬一飛機在起飛時發生任何狀況時，如何放棄起飛的程序。

準備起飛

飛機在進入跑道之前，張明仁看到跑道旁邊站著一群穿著橘紅色飛行衣的官校飛行生們在向他敬禮，他隔著座艙罩向他們回了個禮，同時想著那些飛行生們一定非常羨慕這架極端流線的星式戰鬥機，等一下起飛時他決定要做一個最大性能爬升，讓那些飛行生們開開眼界……

飛機進入跑道之後很快的就得到塔台所發出的起飛許可，張明仁左手緩緩的將油門推桿向前推去，同時放鬆了煞車，那架F-104頓時像是一頭脫韁的野馬似的在跑道上開始狂奔，儀表版上的空速表也開始飛快的向順時鐘方向轉動，很快的指針已經指到175浬，他抓著駕駛桿的右手開始向後帶桿，正常情況下那架飛機該很快的隨著帶桿的動作昂首衝向藍天，然而那架飛機卻沒有任何反應，張明仁只覺得駕駛桿空蕩蕩的，一點壓力的感覺都沒有，剎時一個單純而直接的念頭閃入他的腦海：「操縱系統失效！」多年的經驗告訴他飛機的操縱系統已發生嚴重故障，他必須儘快的設法將飛機在跑道上停下。

飛操系統失效

「Abort! Abort!」他向塔台報出放棄起飛的決定的同時，左手已很自然的將油門推



桿拉回，阻力傘釋放手柄拉出，捕捉鉤電門按下，同時也將煞車踏板猛力踏下，這幾個緊急動作做完之後飛機並沒有慢下來，由後視鏡中看到阻力傘因為不敵風速已經被強風吹脫，屏東基地的跑道不長，在超過每小時三百公里的時速下，七千呎的跑道已所剩無幾，然而張明仁那時雖然緊張但是並沒有太擔心，因為跑道盡頭尚有兩道保險裝置—BAK-12攔截鋼纜及跑道盡頭的攔截網—TO（技令）上清楚的記載著BAK-12攔截鋼纜可以將全馬力的飛機攔下，即使捕捉鉤沒有抓住鋼纜，最後一道的攔截網也可以將飛機攔住，所以他在座艙中除了繼續緊踏著煞車之外，還挺直了身子預備接受那飛機被攔住時的減速壓力。

油門雖已收回，但是噴射引擎的特有性能卻沒讓引擎的推力立刻消失，在飛機即將到達跑道盡頭時，張明仁瞄了一下空速表發現時速已經達到190浬(352公里)，他正想承受攔截鋼纜將飛機攔住時的巨大拉力時，卻發現飛機已經全速的衝過了攔截鋼纜，並正以驚人的速度衝向跑道盡頭的攔截網。

「教官！注意要撞網了！」張明仁按下油門上的話鈕警告後座的任克剛，然而還等不到任克剛有任何反應，飛機就已撞上了攔截網，並在瞬間將網繩撞飛開了。剎那間張明仁只覺得眼前突然甚麼都看不見了，沒有跑道，沒有攔截網，更沒有跑道盡頭的那個土丘，只有一片耀眼的藍天！在他還沒弄清楚是怎麼一回事的時候，機頭又突然一低，擋風玻璃前盡是一片綠色的甘蔗田，原來飛機在衝出跑道之後，巨大的餘速讓飛機順著

跑道盡頭的土丘衝進藍天，但在發動機已經減速的情況下，又很快的失速跌向地面！

衝出跑道

「轟通！」一聲飛機重重的摔在高屏溪旁的甘蔗田中，就在那一剎那，張明仁覺得一股巨大的壓力由尾椎處向上擠壓同時一陣椎心劇痛由腰部傳來，然後突然間他就覺得由腰部以下一點感覺都沒有了！頓時間他就知道他的腰已經斷了！

飛機繼續的以高速在甘蔗田中衝刺著，剃刀似的機翼前緣將那一大片甘蔗很整齊的削成只有兩呎左右的高度，被砍斷的甘蔗飛脫時打在機身上的乒乓響聲，加上飛機在田地中顛簸前進時的所造成的響聲讓張明仁覺得整個世界渾沌沌的，他坐在座艙中緊張著抓著駕駛桿及油門推桿，非常無助的看著飛機在甘蔗叢中高速前進。

幾秒鐘的時間有如世紀般的長久，甘蔗枝的韌性成了飛機減速的最佳工具，在甘蔗田中衝刺了近七百公尺後，那架滿身瘡痕的4183終於在甘蔗田中停了下來，雖然飛機經過那一連串的摔、撞之後已是千瘡百孔，溢漏出來的JP-4燃油也將機腹下的田地都滲濕了，而且飛機尾管中還有餘煙冒出，但是奇蹟似的那架飛機並沒有起火。

機毀人安？！

「我還活著！」張明仁在飛機停下來之後第一個想到的就是經過了這場浩劫之後他竟仍然活著！然後他就想起了後座的任克剛，當時因為他自己由腰部以下已經完全失

去知覺，所以無法由座艙中站起來看看後座的情形，他試著按下油門上的通話電鈕，然而耳機中卻一點反應都沒有，他摘下頭盔轉身對著後座叫著：「教官！教官！你沒事吧？」

回應他的是一片寂靜，他想既然自己的腰都斷了，後座的任克剛一定傷得不輕，他只有希望救護人員儘快來到，將他倆趕緊送醫，然而送醫又怎樣呢，他似乎已經看到自己日後坐在輪椅上的樣子！那對於一個以飛行為業的人來說不啻是一個最殘酷的結局！他由後望鏡中看著尾管中冉冉冒出的白煙，再嗅著滿地的JP-4味道，心中突然有著非常無奈的感覺，救難人員不知何時能到，但是這架飛機卻是分分鐘都有爆炸起火的可能，自己坐在座艙中卻是連逃避的能力都沒有，這真是俗語所說的「坐以待斃」啊！雖然自己在從軍時就有以身許國的宏願，但是絕沒想到會是在這種情形下「報國」。

屏東塔台上的人員看著飛機衝出跑道後就按下了緊急事件按鈕，救護車及救火車在三分鐘內就都到了跑道頭，看著幾百公尺外趴在田裡冒煙的那架飛機，大家卻無法將救援車輛直接開到現場，因為車輛無法直接跨過跑道外的水溝，救護車上的急救人員只好抓了擔架及急救包就衝下車，跳過水溝，直接衝向現場。

本來在甘蔗田中行動是相當不變的，但是這次因為飛機衝過地方的甘蔗全都被飛機的機翼削斷，所以無形中像是替救難人員開了一條路似的，救難人員順著那條「路」很快的就到了飛機失事現場。

後座彈射殉職

當救護人員抵達現場時，所看到的景象真是令他們怵目驚心，整架飛機趴在田裡，機身各處還不時傳出一陣一陣的怪聲，尾管附近也可以感覺到發動機所傳出來的那陣熱流，機腹下源源不斷的漏油更讓他們不敢掉以輕心。當他們發現張明仁還在座艙中坐著的時候，他們馬上就想將他由座艙中抱出來，但是張明仁卻讓他們先們先去搶救後座的任克剛，因為他想任克剛既然在後面沒有聲音那麼他的傷勢一定不輕。出乎意料之外的，救難人員卻說後座沒有人！不但沒有人，連座椅都沒有！張明仁這才感覺到前座的座艙罩也不知在甚麼時候飛掉了，那麼任克剛一定是啟動了彈射座椅，彈射出去了，因為彈射的程序是後座的座艙罩先彈掉，然後是後座的彈射座椅啟動，再來是前座的座艙罩，最後才是前座的座椅啟動，既然任克剛不在後座，而前座的座艙罩也飛掉了，唯一的解釋就是任克剛在飛機衝出跑道之後為了逃生而啟動了彈射座椅，只是張明仁不明白既然前座的座艙罩都飛掉了，為什麼他的座椅沒有跟著彈射出去，而且他竟然一點都不知道任克剛是在甚麼時候彈射出去的，再說，在這種情形下彈射出去，他實在不敢想成功逃生的機會能有多少？

既然後座沒人，救難人員接著就想將張明仁拖出座艙，就在這個時候張明仁卻做了一個影響他後半生的重要決定。

「我想我的腰已經斷了，請你們照我目前的姿勢將我抬出座艙，千萬要注意不要過



飛行員的故事

度搬動我的腰部！」他在救護人員動手之前先提示了他們這個非常重要的關鍵，因為他才在前不久讀過一篇醫學報導，文中就是強調在搶救脊椎受傷的人時最重要的就是不要亂動傷者，免得造成更大的傷害。

那群救護人員本來就是受過急救醫護訓練的，在經過張明仁的提醒之後，小心翼翼的將他由飛機中抬出，然後在避免任何大動作的前提下，盡快的將他抬到救護車上，然後火速前往醫院。

就在張明仁前往醫院的途中，另一夥搜救人員在甘蔗田中找到了後座的任克剛少校，只是因為彈射時高度太低，傘還沒開他就又摔回到地上，巨大的撞擊力量竟讓他當場殞命！

專機護送台北

十一大隊大隊長陳盛文上校在得知那架飛機出事，飛行員一死一重傷後，馬上用電話和屏東基地聯絡，並要求立即將重傷的飛行員送到台北三軍總醫院治療，所以屏東的醫官在將張明仁的脊椎及腰部用夾板暫時固定住後，馬上就將他送上一架C-119專機。

飛機在台北落地之後，三軍總醫院的救護車已經等在停機坪了，只是在將張明仁送上救護車之後，有一個總部飛安組的軍官也擠進了救護車的後艙，並馬上開始詢問他飛機失事的情況，同時告訴他後座的任克剛少校已經不幸殉職了，張明仁躺在擔架上聽到這個消息時，一時驚訝的竟說不出一句話來，雖然官校畢業十年來經歷過不少同僚的殉國，但這是第一次讓他覺得死亡竟離他是

這麼的近，真可說是「擦身而過」，而僅僅在一個多鐘頭之前還和他一同討論水平安定面問題的任克剛現在竟已天人永隔，人生之無常真是莫過於此！

當張明仁將失事的情況向飛安組報告之後，那位軍官的第一個反應就是飛機怎麼會帶不起來？是不是張明仁操縱錯誤？再說攔截鋼纜怎麼會攔不住飛機？是不是張明仁忘記或是太晚釋放捕捉鉤？張明仁在聽到這樣質疑的詢問後，很瞭解那人為什麼會有如此的反應，因為他很瞭解任何失事調查最簡單同時也最沒有爭議的結論就是「飛行員操縱錯誤！」看來那天飛安組已有先入為主的觀念想將那次的失事也規劃成「飛行員操縱錯誤。」只是，張明仁自己很明白他及時的做了所有該做的事，但是飛機還是衝出了跑道，任克剛還是以身殉國了！

三軍總醫院的醫師們在為張明仁進行緊急開刀手術清除碎骨及移植骨膜之後，將他的腰部用鋼架固定住，然後告訴他神經系統能否痊癒要等到三個月或半年之後才能知道，如果半年之後他的下半身還是沒有知覺的話，那麼他極可能將一輩子都要靠輪椅代步了。

那時的三總病房中並沒有電視，張明仁就每天對著灰暗的天花板躺著，因為全身被鋼架固定住，所以除了雙手之外整個軀體都是動彈不得，這對好動他來說真是一段生不如死的日子！

失事調查

這其間他也曾仔細的將那天的情況反覆

回憶，同時也詢問部隊中來探望他的每一個人有關失事調查的結果，就是想知道那天到底是哪裡出了差錯。結果同隊的另一位分隊長在不久之後就帶來了失事報告的消息；飛安組是在一開始就認定整個失事的原因是因為張明仁操縱不當，BAK-12未能將飛機攔下的原因也是因為張明仁沒有及時放下捕捉鉤，但是那位分隊長卻認為事情絕對不是那麼簡單，對一個飛行超過一千小時的成熟飛行員來說，在跑道上因為「操縱錯誤」而帶不起機頭的情況是絕不可能發生的事情！因為整個操縱程序就是「帶桿」沒有其他任何竅門，而事後檢查那架飛機上的調整片電門位置，也證明是定在起飛(機頭向上)的位置，所以那位分隊長堅持將那架飛機的水平安定面的控制器拆下送檢，那時台灣沒有對那種控制器的修護能力，以往都是將整個零件拆下送交美國原廠作維修的工作，這次飛機出事之後所有液壓系統的管路及連桿都經檢查無誤，水平尾翅的控制器外觀上也無任何損傷，所以剛開始並沒有將那個控制器送回原廠檢查的計畫，但在那位分隊長的據理力爭下，調查小組終於同意將那個零件送回原廠檢查。

至於BAK-12攔截鋼繩為何沒能將飛機攔下，那位分隊長也有解釋，他在飛機出事的當天下午就被大隊長陳盛文上校派往屏東，一方面協助辦理任克剛的後事另一方面也去瞭解一下飛機衝出跑道的的原因。他在到達屏東的當天就曾到跑道頭去實地觀看BAK-12鋼繩，結果發現了那條跑道盡頭的BAK-12鋼繩並未達到TO所要求的標準，因為TO上規定鋼

繩每隔4呎就要有一個輪形的支撐點，這樣那條鋼繩才可以固定在離地3吋的高度，但是那位分隊長卻發現當地的輪形支撐點卻因使用日久而沒有定期更換，而造成材料疲勞導致支撐點傾向一邊，所以鋼繩實際的離地距離只有1吋左右，這極可能是捕捉鉤沒有抓住鋼繩的主要原因！

重回藍天

在張明仁住院休養的三個月後的一天，他突然覺得兩條腿有如針刺般的痛苦，當他將這個感覺告訴醫官時，醫官喜形於色的表情是他這一輩子都忘不了的，醫官興奮的告訴他手術成功了，再過一段期間他將可以下床重新學習走路了！

剛開始張明仁並不瞭解「重新學習」的意義，他一直以為等恢復知覺之後就可以下床走路，但是等到真正下床那天他才知道他是得真的重新開始「學習」走路，由扶著牆壁抓著扶手一點一點的開始使自己重新站起來，重新開始走路，雖然經常跌倒，但是他知道那是他重上飛行線的第一步，他盼望著不但要像正常人一樣的走路，更要重新飛上藍天，因為那是他自兒時就有的願望。

後來，經過長時間的復健之後，張明仁不但可以像正常人一樣的走路，更通過了嚴格的空勤體檢。在他失事兩年之後的一個晴朗的清晨，他又跨上了一架F-104的座艙前座，那天是復飛訓練的第一課，當他在新竹的05跑道上鬆開煞車，讓飛機全速前進時，他抓住駕駛桿的雙手稍微的遲疑了一下，然後在飛機達到175哩時，他沈穩的將桿帶回，



這回飛機很聽話的抬起機頭，衝向蔚藍的天空，抗G衣在飛機急遽爬高時充氣的感覺讓他真正的感覺到他又回到了熟悉的天空！

後 記

那個水平尾翅的控制器在經過美國原廠檢查後發現其中一個液壓管道活門故障，導致飛機在超過150哩的速度時無法正常控制水平安定面，這使失事調查小組清除了張明仁少校在那一次失事中的任何責任。

至於當天任克剛到底是自己啟動彈射跳傘程序，或是飛機在劇烈震動下導致彈射座椅的電門啟動，失事調查小組始終無法得到結論，但是他們卻找到了張明仁的座椅沒有

彈射出去的原因，那是因為在劇烈的震動下導致張明仁的座椅向上移動了約1/4吋，這使彈射座椅的火箭擊發電門異位而無法啟動！

張明仁少校不但通過了復飛訓練，並在恢復空勤兩年後率領十一大隊的飛行員們參加全軍戰技比賽時得到冠軍的殊榮。

作者簡介

王立楨先生，紐約市college of Aeronautics 航空系畢業，康乃迪克州University of Hartford電機系畢業，加州Santa Clara University企業管理碩士。曾任職於洛克希德馬丁公司太空部門，擔任流程總工程師。



ET-K空中預警機(照片提供：舒孝煌)