

出國報告（出國類別：進修）

參加「人為表現調查訓練課程」 出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會
姓名職務：蔡華生/運輸安全組副調查官
派赴國家：英國貝德福特郡克蘭菲爾德大學
出國期間：民國 109 年 02 月 22 日至 03 月 01 日
報告日期：民國 109 年 05 月 15 日

公務出國報告提要 系統識別號

出國報告名稱：參加「人為表現調查訓練課程」出國報告

頁數：26 頁 含附件：否

出國計畫主辦機關：國家運輸安全調查委員會

聯絡人：汪怡伶

電話：(02) 7727-6228

出國人員姓名：蔡華生

服務機關：國家運輸安全調查委員會

單位：運輸安全組

職稱：副調查官

電話：(02) 7727-6287

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 視察 6 訪問 7 開會 8 談判 9
其他

出國期間：民國 109 年 02 月 22 日至 03 月 01 日

出國地區：英國貝德福特郡克蘭菲爾德大學

報告日期：民國 109 年 05 月 15 日

分類號/目

關鍵詞：人為表現、事故調查

內容摘要：

國家運輸安全調查委員會，延續前身飛航安全調查委員會之基礎，派員至國外相關機構研習事故調查知識與技術。本次運輸安全組派員前往英國克蘭菲爾德大學，參加為期 5 日之人為表現調查訓練課程。人為因素範圍較廣泛具有多方面性質，研習學員將課程內容整理後，摘要人為因素相關知識如 SHELL Model 與 Safety-I/II，並選取可能適合本會應用的分析工具如 AcciMap 與 STAMP，以及疲勞調查方法架構進行介紹說明。最後建議持續派員出國研習，於精進運輸事故調查能力之外，還可與其它國家事故調查單位人員經驗交流。

目次

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、課程摘要與心得.....	5
肆、建議.....	25

壹、目的

我國於 107 年發生普悠瑪列車出軌事故造成嚴重傷亡，因此政府決議由飛航安全調查委員會改制成立「國家運輸安全調查委員會（以下簡稱本會）」，調查範圍從航空擴大至水路、鐵道與公路重大事故，並於 108 年 8 月 1 日起開始運作。配合機關改制增加聘用人員，本會延續飛航安全調查委員會時期之基礎，派員至國外相關機構進行事故調查研習。運輸安全組負責人為與組織因素調查工作，指派人員至英國學習人為表現專業知識，儲備運輸事故人為因素調查能量。

研習地點英國克蘭菲爾德大學（Cranfield University），是一所小型但專注於航空等領域的教學研究機構，只提供碩博士學位與專業短期課程。完成人為表現調查訓練後，將能夠掌握調查事故人為表現方面須考慮的部分；確保以適當的技術，蒐集與人為表現有關的證據；評估人為因素證據蒐集與分析的有效性。

貳、過程

1. 行程

本次訓練課程於英國克蘭菲爾德大學舉辦，日期為民國 109 年 02 月 24 日至 02 月 28 日，行程共計 9 日，詳如下表所示。

日期	起訖地點	行程紀要
02/22	台北－倫敦	起程
02/24 - 02/28	克蘭菲爾德大學	訓練
02/29 - 03/01	倫敦－台北	返程

2. 參與人員

本次參與短期課程之學員共 20 人，大部分為英國籍人士，其餘來自科索沃、匈牙利、南非、賽席爾、紐西蘭、美國及我國，學員大多來自事故調查單位，包含英國航空事故調查局 (AAIB)、海洋事故調查局 (MAIB)、國防事故調查局 (DAIB)，以及匈牙利、科索沃、賽席爾之事故調查單位。也包括航空公司、船運公司、保險公司及研究生等，學員合照如圖 2-1。



圖 2-1 學員合照

3. 課程

本次課程為期 5 日，由運輸事故調查人員與人為表現領域資深人員帶領討論，以及大學教師講授。課程目的在幫助可能參與事故調查的人員，更好地了解心理和生理因素如何產生影響，使人違反規定或犯錯。課程涵蓋的領域包括認知與訊息處理、醫學因素、疲勞評估、人因工程學、人為因素調查方法與工具，以及組織文化因素等。課程表如圖 2-2。

Investigating Human Performance 24-28 February 2020
Lecture Room 3, Martell House

Monday 24 Feb		Tuesday 25 Feb		Wednesday 26 Feb		Thursday 27 Feb		Friday 28 Feb	
0900	Registrations	0900	Fatigue Investigations and exercise Dr Camille Burban	0900	Situational Awareness / DSA Dave Bentley	0900	Taxonomies and Checklists Critique and discussion Andrew Blackie	0900	STAMP Simon Whitely
0930	Introductions Andrew Blackie Yani Asmayawati			1000	<i>Break</i>	1000	<i>Break</i>	1000	<i>Break</i>
1000	<i>Break</i>		<i>Break as required</i>	1015	Continued	1015	Rasmussen Richard Clewley	1015	Continued
1015	Investigating Human Performance Andrew Blackie	1100	Rail + HF Systems Dr Mark Young	1115	<i>Break</i>	1115	<i>Break</i>	1115	<i>Break</i>
1115	<i>Break</i>			1130	Attentional Limitations Prof Polly Dalton	1130	Rasmussen exercise Andrew Blackie	1130	Continued
1130	Continued	1230	<i>Lunch</i>	1230	<i>Lunch</i>	1230	<i>Lunch</i>	1230	Working Lunch
1230	Lunch – Group Photo	1330	Continued	1330	Selective Attention and Vigilance Prof Polly Dalton	1330	Decision Making Andrew Blackie	1330	Putting it all together
1330	Continued			1430	<i>Break</i>	1430	<i>Break</i>		Feedback and Close Andrew Blackie
1430	<i>Break</i>	1445	<i>Break</i>	1445	Healthcare (LV Exercise) Jenny O'Donnell	1445	Analysis Tools: Accimap Andrew Blackie	1400	Session ends
1445	Continued	1500	Investigator Bias Jenny O'Donnell	1545	<i>Break</i>	1545	<i>Break</i>		
1545	<i>Break</i>		Miss Diagnosis Jenny O'Donnell	1600	Maternity Analysis exercise Jenny O'Donnell Andrew Blackie	1600	Continued		
1600	Human Factors in Cyber-physical Systems Prof Chris Johnson		<i>Break as required</i>	1700	Session Ends	1700	Session Ends		
1715	Session ends	1700	Session ends						

圖 2-2 課程表

參、課程摘要與心得

1. 人為因素相關知識

課程開始時，校方統籌者說明希望各位學員遵守查塔姆原則（Chatham House Rule），即與會者可自由使用在會議中獲得的訊息，但不透露演講者及其他與會者的身份。本會有時邀請其他單位人員共同參與會議，依會議性質或許也可以採用此原則，承諾不會引述出席者言論以利自由討論。

人為因素

依照國際人因工程協會的定義，人因工程學（或人為因素）是一門學科，涉及對人與系統其他元素之間相互作用的理解，以及應用理論原理、數據和方法進行設計，以促進人類福祉與整體系統表現的專業。另外英國職業健康與安全管理局對人為因素簡明定義為：影響行為的環境、組織、工作因素、人、以及個人的特徵。Shorrock 將人為因素再區分為「人的因素」與「影響人的因素」，人的因素包含認知功能、表現型式、身體素質、學習行為和情緒狀態等。影響人的因素包含組織文化、自然環境、工作設計、利害相關事物等。作為一門跨領域系統性學科，人為因素的研究和應用範圍非常廣泛，以心理學與工程學的交集為核心，也與認知科學、統計學、管理學、工業設計有所關連，如圖 3-1。

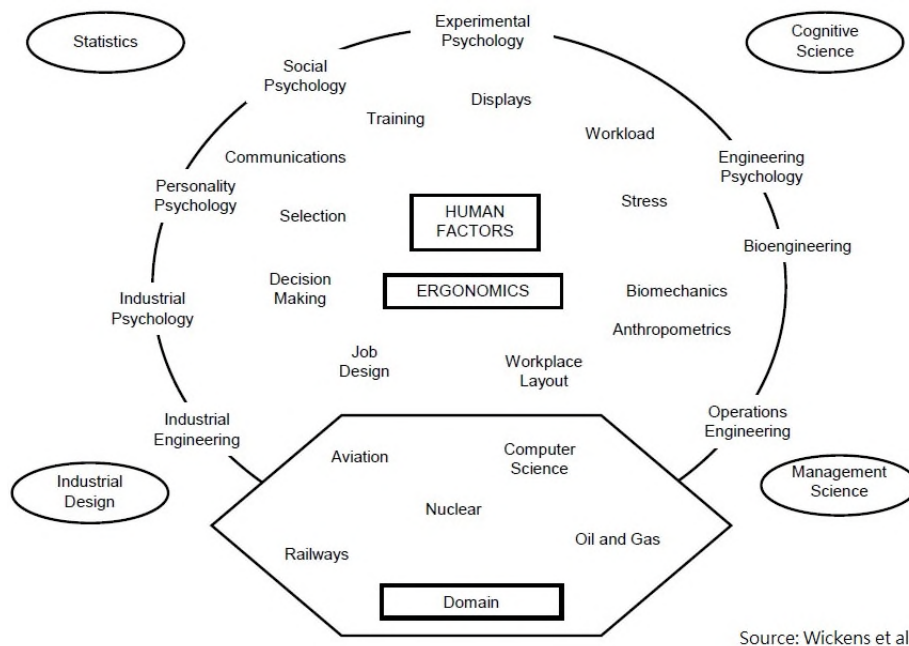


圖 3-1 人為因素範圍

SHELL Model

SHELL 模型是人為因素的概念模型，說明人為因素的範圍，並用於分析各個系統組成成分之間的相互作用。SHELL 各個字母代表模型中的 4 個組件，分別是軟體（software）、硬體（hardware）、環境（environment）與工作場所中的人（liveware），共同形成了組織文化，如圖 3-2。

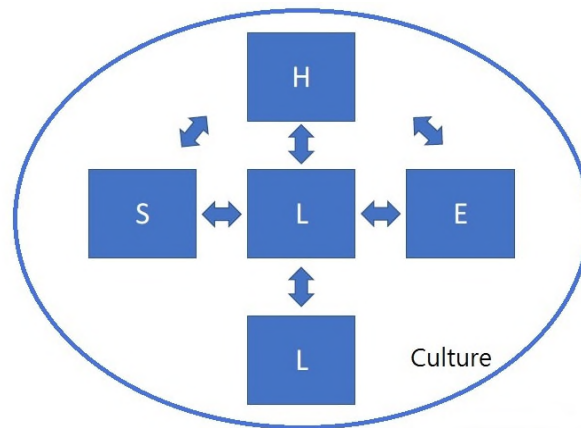


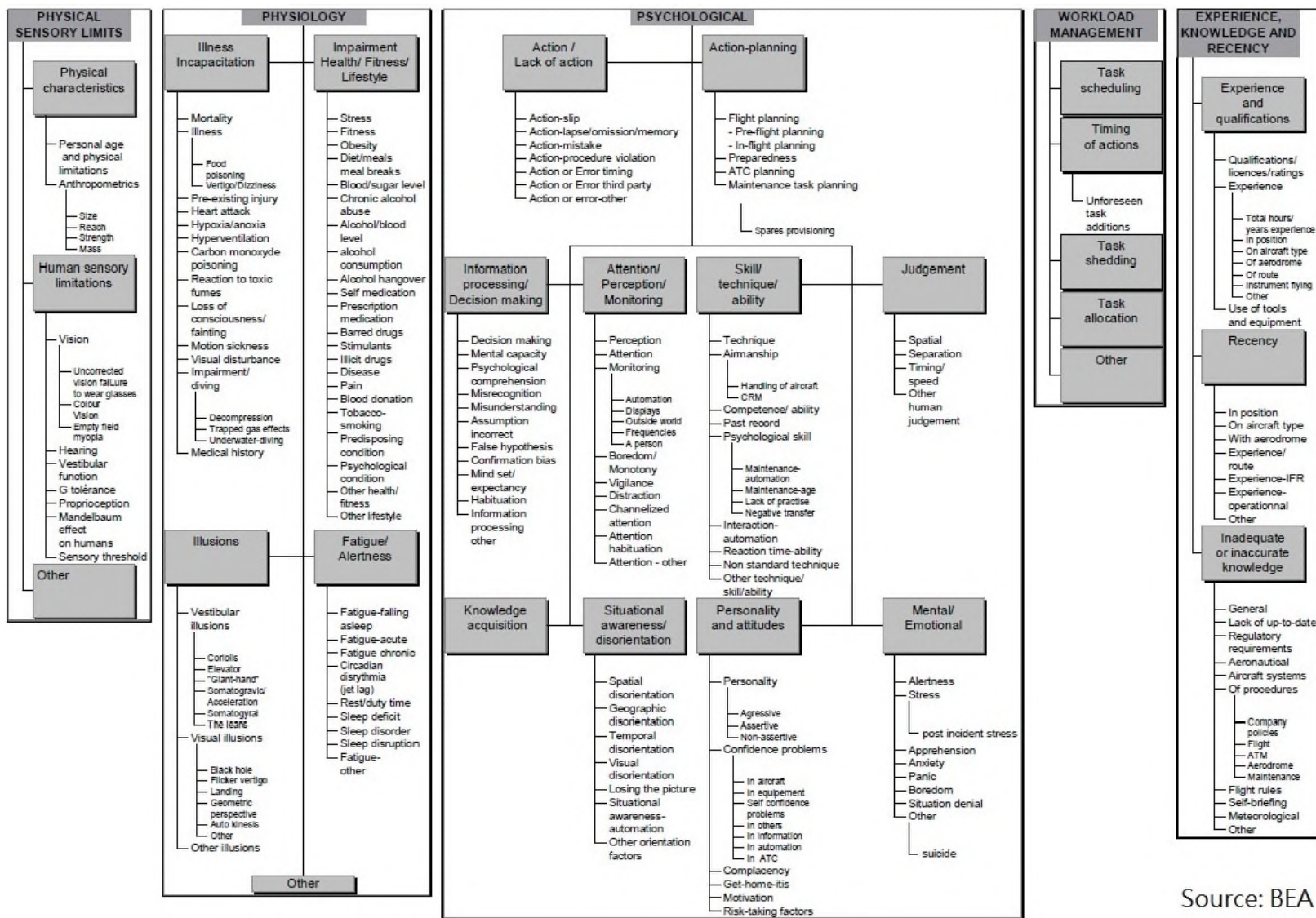
圖 3-2 SHELL 模型

軟體屬於系統中無形的非物質方面，控制系統的運行以及訊息的組織方式。軟體可以是控制電腦硬體操作的程式，也包括法規、政策、標準作業程序、慣例及主管命令等。軟體也可能包含在文件中，例如圖表、地圖、緊急操作手冊及程序的內容。硬體包括系統內的實物設備，例如工具、材料、建築物及車輛等。環境可分為系統資源（軟體、硬體、人員）運行的環境，會受到經濟、法規、政治和社會等方面變數所影響。另外有內部工作環境，包括溫濕度、氣壓、噪音振動和照明，以及外部環境，如天候的可見度或亂流、地形，還有機場、港口等基礎設施。工作場所中的人包括操作人員、管理人員和行政人員，需考慮人員的能力表現與本身的侷限性。

依據 SHELL 模型，人與其他四個組件之間不相配會導致人為失誤，因此必須在系統運行中評估和考慮這些相互作用。在人與人之間的相互作用，須關注領導、團隊合作和個性互動，包括機組員資源管理（CRM），及飛航管制（ATC）適用的團隊資源管理（TRM）等計畫方案。人與軟體之間的相互作用，重要的是要確保軟體能夠有效執行實現安全，操作介面不要過於複雜令人困惑，或採用容易出錯的系統概念設計。人與硬體之間的相互作用，或稱作人機系統是最常被考慮的部分。

可以設計適合人體姿勢的座椅、容易讀取資訊的顯示設備、在各種情況下都能操作的控制開關等。人與溫度、天氣等物理環境之間的相互作用，可能無法直接對其進行控制。這方面的發展許多是以設計保護人或設備的方式，開發應對光線、噪音或輻射的保護系統。適當地相配人與環境涉及環境研究、生理學、心理學到工程學的各種不同學科。法國民航安全調查分析局（BEA）已製作 SHELL 模型分析軟體，可當作檢查表使用，並被編入歐洲事故報告系統協調中心（ECCAIRS）規範，協助進行事故分析。位於中央有關人的因素，分為身體感官限制、生理、心理、工作管理，與經驗知識的新近程度 5 大類，各分類下共有大約 200 個細項，如圖 3-3。

在人為失誤方面，舊的觀念認為複雜的系統基本上是安全的，人的表現可能不穩定可靠，強調防禦和規定進行人員訓練，通過更嚴格的程序如自動化監督來使系統更安全。新觀點則認為複雜的系統基本上不安全，人們必須經由在組織各個層面實踐來創造安全。複雜的系統是如同安全性和效率之間難以調和目標的權衡，而人為失誤是系統內部有更深層問題的徵兆。



Source: BEA

圖 3-3 BEA 人為因素細項

從 Safety-I 到 Safety-II

從 Safety-I 到 Safety-II 是丹麥 Erik Hollnagel 教授於 2014 年提出的觀點，Safety-I 是指傳統安全思想，Safety-II 是演化出的新概念，主張我們不應該只關注如何阻止事情出錯，而是強調盡可能做對的事情。傳統觀念希望事物運行盡可能少出錯，在發生某些事件或不能接受的風險時做出反應，且將人視為責任或危害。事故是由失效和故障引起的，調查的目的是找出原因及其促成因素。新觀念則認為對的事情做越多越好，行為積極主動，持續嘗試預先考慮事態發展，將人視為使系統靈活有彈性所需的資源。而不管結果如何，事情基本上都以相同的方式發生，調查的目的是了解事物通常如何正確運行，並以此作為解釋偶爾發生錯誤的基礎。在風險評估方面，會了解在哪些情形下，性能或表現的變化可能難以監測或無法控制。須注意的是，新概念並不是要取代舊有的工作，而是用來補充目前的方法。許多現有作法可以繼續使用，兩者只是側重不同的方面，從「出了什麼問題」轉移到「做對了那些事」，彼此缺一不可。

調查員的偏見

理想的調查員，在評估調查的方向與結果時，應該保持中立客觀不帶有偏見，然而調查員可能會被幾種認知偏見影響，分別說明如下：相似偏見（similarity bias）簡單地說就是「跟我一樣的比別人更好」，偏好具有相同想法的人。雖然相似性是一項重要指標，但不是唯一的一個。我們需要從不同的視角，甚至有衝突的觀點相互辯證，為決定提供更有力的支持。頻率偏見（frequency bias）或稱為頻率錯覺，是一旦發現某事物，便會注意到該事物的每個實例，從而導致人們相信它的發生頻率很高，屬於一種選擇偏見。確認偏見（confirmation bias）是以確認個人先入立場的方式，選擇性地搜尋、詮釋、關注或記憶資訊。可能會因期待的結果，偏好某項錯誤假設的資訊，人們還傾向於將模稜兩可的證據解釋為支持其立場。結果偏見（outcome bias）是在已知結果時評估決策品質所犯的錯誤，即以結果論斷過程。Baron and Hershey（1998）實驗使人們對外科醫師進行高風險手術的決定進行評分，已知手術的成功率，結果可能是生存或垂死。如果手術結果不佳，人們對醫師決策的評價也比較差。事後偏見（hindsight bias）也稱為萬事通現象，指人們在事故發生之後，認為在事故發生之前已經能預測，甚至高度確定知道事故的結果，即過度簡化因果關係和高估結果的可能性。調查員管理並減少各種偏見的方

法，是嘗試依據事故相關者的背景，回顧事故發生時的數據資料。包含視覺與聽覺方面的重建與模擬、查看心理和生理上的侷限性、分析潛在的工作負荷，以及採取例行測試和替代測試等。

狀況警覺

狀況警覺 (situation awareness) 在心理學又被稱為情境覺察，Endsley 將它定義為「在時間和空間上對環境中要素的感知與理解，以及在不久的將來對其狀態的預測」。Endsley 的心理模型包含 3 層，第 1 層先感知當前狀況的環境要素，然後到第 2 層理解當前狀況，再進入第 3 層預測未來狀態，之後產生決策執行行動，也有可能因為回饋形成循環。影響狀況警覺的因素包含：系統設計，好的人因工程設計使人容易獲取所需的訊息；壓力和工作量，如果處於高度壓力或工作量下，人們將無法處理更多訊息；自動化，它可以減少人的精神負擔，但仍須要主動監控自動化系統；生理因素，疾病和藥物等可能會對訊息處理產生巨大影響；先入為主的成見，通常我們對事情有先入為主的觀念時，會嘗試將訊息與該想法相配，這可能導致採取錯誤的措施；訓練，如果已經針對某種情況進行演練，那在發生這種情況時更可能執行正確的應變動作。各類型運具的駕駛或相關操作人員，應該要熟悉所使用的系統，確保積極收集所需的訊息，並提高知識水準與更新技能，以在執勤時保持良好的狀況警覺，應對各種可能發生的狀況。

2. 事故調查分析工具

本會已建置 Bowtie 分析與其它根本原因分析方法，仍有其它事故調查工具如 AcciMap 與 STAMP。本會可評估方法的操作性與適合程度，應用於運輸事故調查。

AcciMap

AcciMap (事故地圖) 方法最初是丹麥 Jens Rasmussen 教授開發的主動風險管理策略，之後作為基於系統的事故分析工具來應用，專門用於分析複雜的社會技術系統 (sociotechnical system)，即在個人、工作與組織中發生事故的原因。依據 Rasmussen 的研究，每個系統級別都通過法律或規定，進行安全管理控制可能的危害。為了使系統安全運行，高層應該頒布制定的決策，並在較低層級的決策和行動中呈現出來。同樣地，系統狀態中較低層級部分，例如員工或設備的訊息需要向上反映，使高層級者能訂定決策與行動，如圖 3-4。

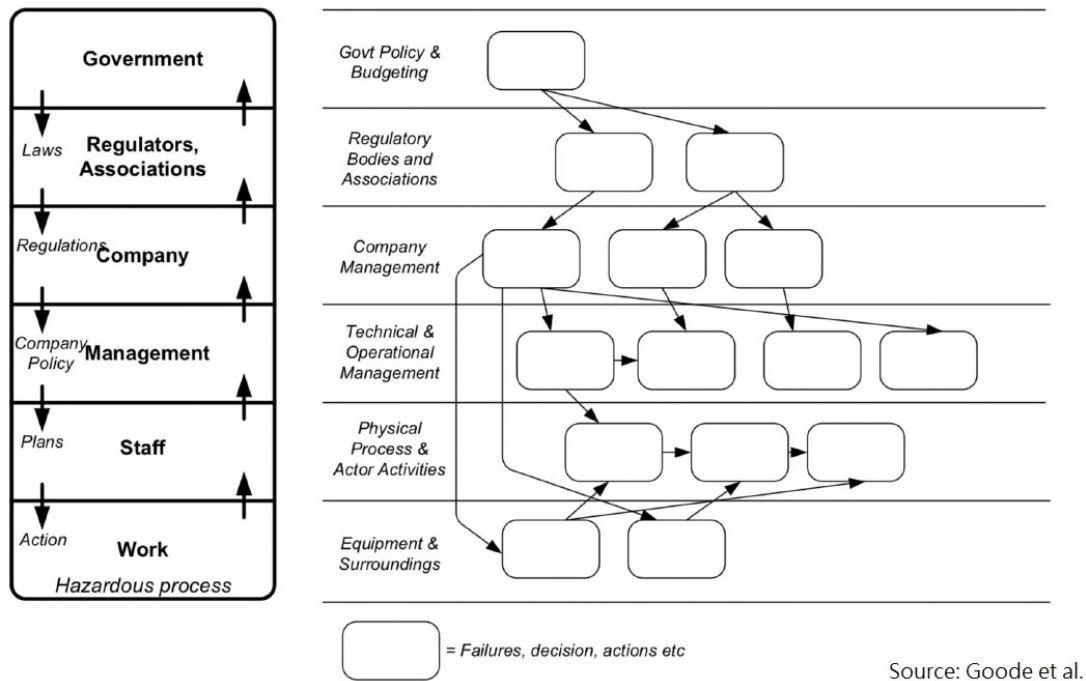


圖 3-4 AcciMap 架構

最上方政府層級制定法律，下一層監管機構將法律轉變為規範控制危害並監督管理。再往下公司將法規整合到政策規定和程序中管理員工，對員工行動進行指導和監督，最後人員展開控制相關隱患或危害的行動。Branford 將 AcciMap 結構簡化為外部環境、組織、參與者或過程狀況，與最後結果，如圖 3-5。不論原始版本或簡化後的 AcciMap，圖表中的每項因素都與相關的因素聯繫在一起，以說明該因素如何影響其他因素，以及其對最後結果的作用。這使分析人員能夠彙整訊息，提供系統性分析事故原因，並協助制定安全建議。

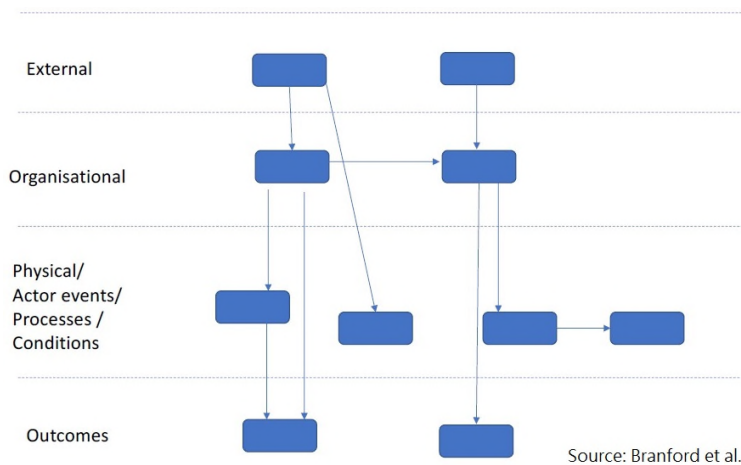


圖 3-5 簡化的 AcciMap 架構

目前有軟體可製作 AcciMap，也可以使用便利貼在白板上模擬方便移動。重點是先區分級別和關注的問題，在添加項目時，保持標題簡短有意義。順序從左到右排列，確保放置在正確的位置。潛在連結確定後再檢視重組，以使有關項目保持相互聯繫。另外可用不同顏色或形狀來區分安全因素、環境或不確定性。依據真實事件製作的 AcciMap 如圖 3-6。

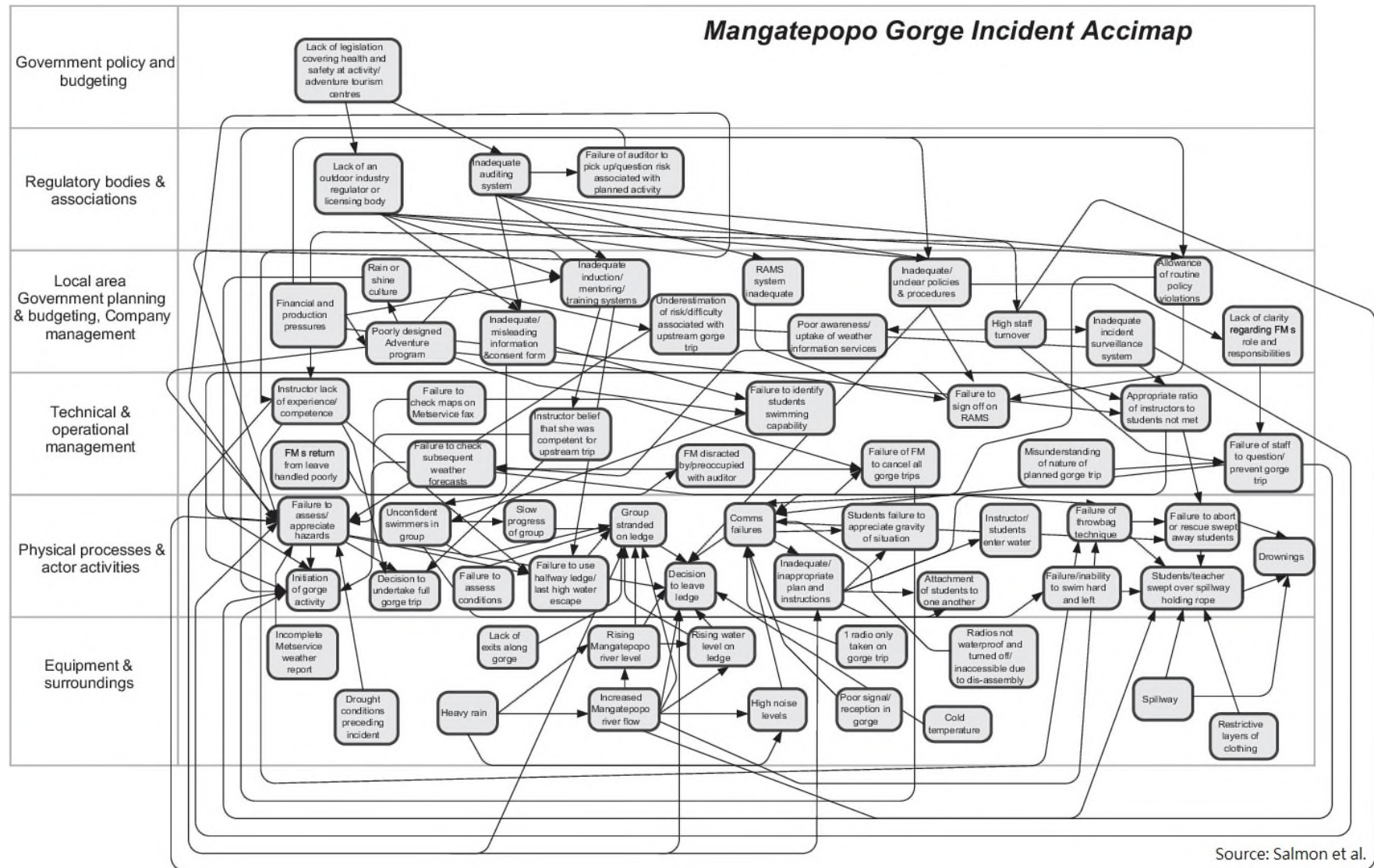


圖 3-6 AcciMap 應用實例

STAMP

STAMP (systems theoretic accident model and processes) 是系統理論事故模型及過程的縮寫，源自美國麻省理工學院 Nancy Leveson 教授在《Engineering a Safer World》(2011) 一書中的描述討論。它是一種事故因果關係模型，再加上基於該模型的分析 and 設計過程。傳統觀點認為事故是直接相關事件的連結，並且將安全定義為對失效的管理，只涵蓋直接的因果關係。原則上如果管理失效問題，並減少發生的可能性，那麼應該是安全的，然而並非總是如此。STAMP 的觀點認為事故涉及複雜的動態過程，並將安全定義為動態地控制失效問題，同時包含直接與間接因果關係，這是建立 STAMP 並擴大安全評估和安全管理重點。

事故是由於控制不當所造成，整個控制系統是以按層次結構組織的控制迴路 (圖 3-7) 組成，控制系統會執行安全制限防止發生事故。控制迴路底部有受控過程，由上方控制者負責。控制者通過某些致動器 (actuator) 對控制過程進行作用，並通過某些感應器 (sensor) 從受控過程接收回饋。控制者本身由演算法與受控過程模式組成，演算法定義控制行為以及與控制過程的交互作用方式，因此可以表示該控制過程的行為及其狀態。某一控制迴路又受到其上方控制者以間接方式控制，如此形成分層控制結構，如圖 3-8。

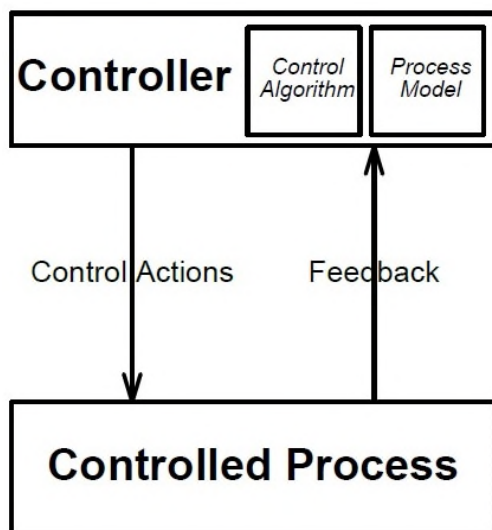


圖 3-7 STAMP 模型控制迴路

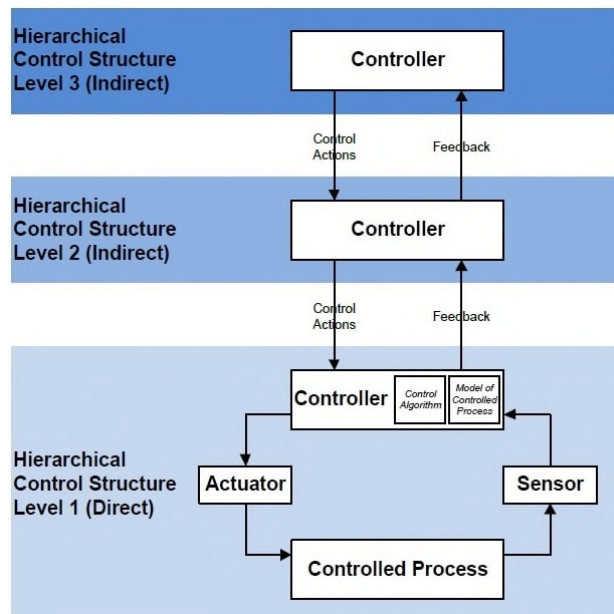


圖 3-8 分層控制結構

目前有 4 種基於 STAMP 事故因果模型的分析應用。分別是 STPA (systems theoretic

process analysis) 系統理論過程分析，屬於危害分析。CAST (causal analysis based on STAMP) 是基於 STAMP 的因果分析，屬於事故分析。STECA (systems theoretic early concept analysis) 代表系統理論早期概念分析，是安全性指導設計和危害識別方法。另外還有 STPA-Sec (Systems Theoretic Process Analysis- Security) 是 STPA 的網路安全版本。

與傳統的安全分析方法相比，STAMP 提供很大的靈活性，可以在任何適用的地方應用。利用 STAMP 可以早期發現安全問題，並以較低的成本與安全風險幫助解決這些問題。除了系統理論基礎之外，STAMP 的流程具有共同的核心。首先要建置分層控制結構進行系統建模，然後分析該模型，了解是否需要管理不安全狀況的控制措施。最後確定導致控制動作發生的因果情境，基本上是創建事件序。這並不專屬基於 STAMP 方法的評估，也是正常事故調查過程的一部分。以實際跑道入侵案例進行 STAMP 分析，如圖 3-9。STAMP 方法屬於較新穎的觀念，需要進一步學習訓練才能熟悉使用。另外據說可以運用 STAMP 模型增強 Bowtie 分析方法，本會目前已經採用 Bowtie 方法進行運輸事故分析，未來有機會將探究兩者的結合與應用。

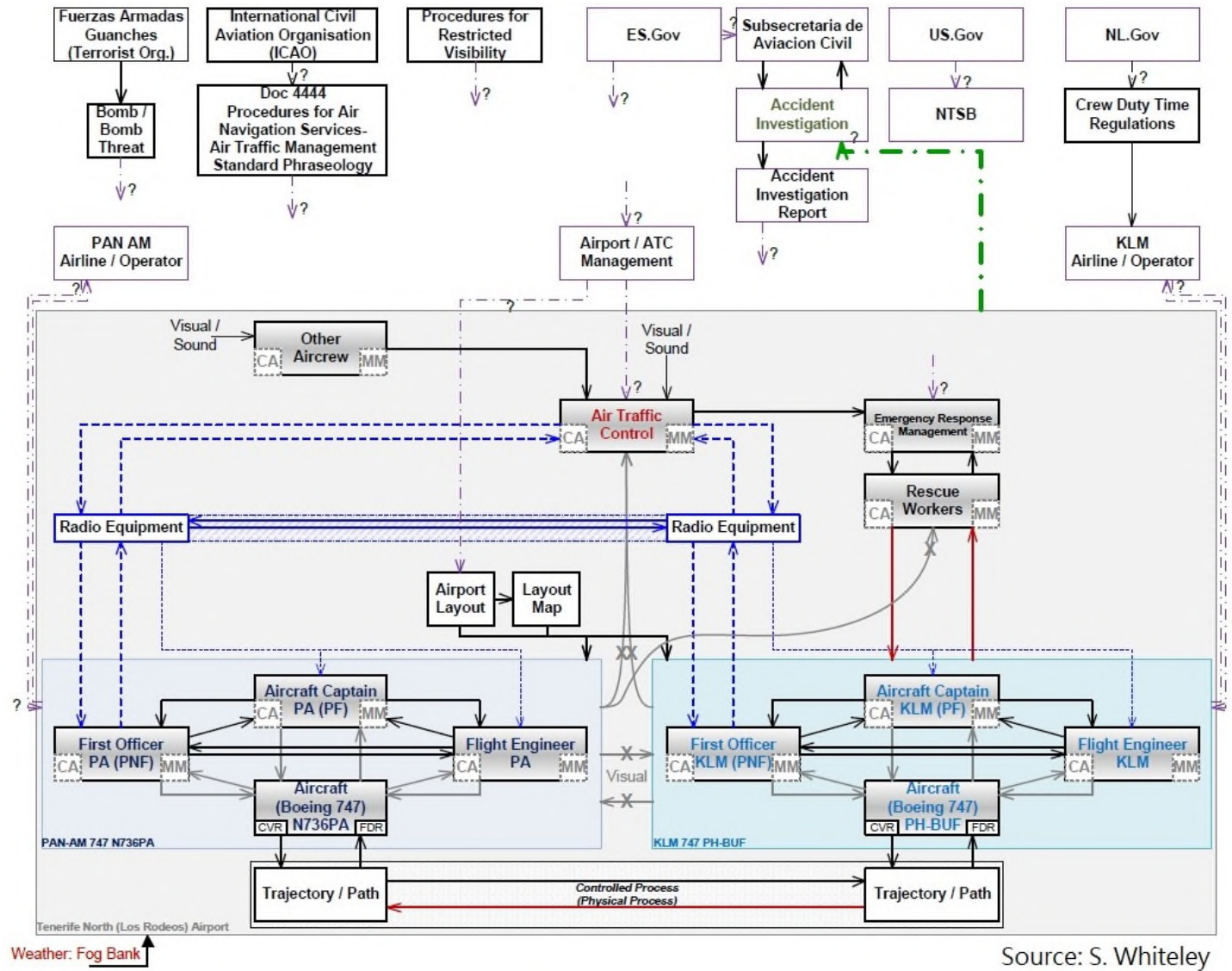


圖 3-9 應用 STAMP 分析跑道入侵事故

3. 睡眠研究與疲勞調查

睡眠研究

人體調節精神保持警覺的要素，在於睡眠與清醒的時間、晝夜節律(circadian rhythm)與睡眠惰性(sleep inertia)。睡眠與清醒是人體的平衡機制，睡眠的需求須考慮最近的睡眠量，和自上一次睡眠之後的清醒時間。當獲得足夠睡眠時精神良好，但機敏性會隨著時間的流逝而逐漸降低。如果睡眠不足、受到限制，或長時間保持清醒會降低機敏性(alertness)，因此充足的睡眠量與好的睡眠品質對於恢復機敏性很重要。一次睡眠包括數個睡眠週期，而一個睡眠週期大約持續 90 分鐘，在此期間經歷了不同的睡眠階段，從清醒到輕度睡眠、深度睡眠，然後是快速動眼(rapid-eye-movement, REM)期，如圖 3-10。

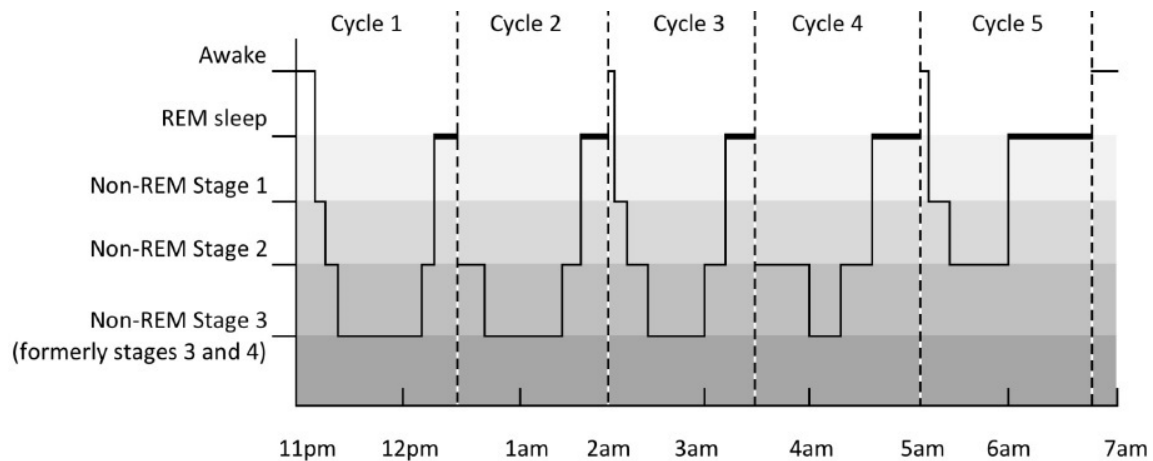


圖 3-10 睡眠週期

每個人需要多少睡眠取決於個體，一般人每晚需要 7 到 9 個小時睡眠才有最佳表現。而整個成年時期，對睡眠的需求保持不變。即使是輕微的失眠如 40 分鐘也會降低表現，累積性的睡眠不足將持續降低反應速度，而且睡眠越少損害越大，如圖 3-11，這是輪班工作者須要考慮的層面。17 到 19 個小時不睡覺之後，專注力表現與人體保有 0.05% 血液酒精濃度(BAC)水平相當或更差。更長時間不睡覺，表現將達到相當於 0.1%BAC 的水平。警覺性是保持專注的能力，由大腦中央區域視丘(thalamus)調節。一旦睡眠不足，會導致進入大腦的葡萄糖減少，使得負責溝通、情感、記憶、感覺處理的大腦區域受到影響開始變慢，這也是為什麼我們在疲勞時會很想吃東西的原因。

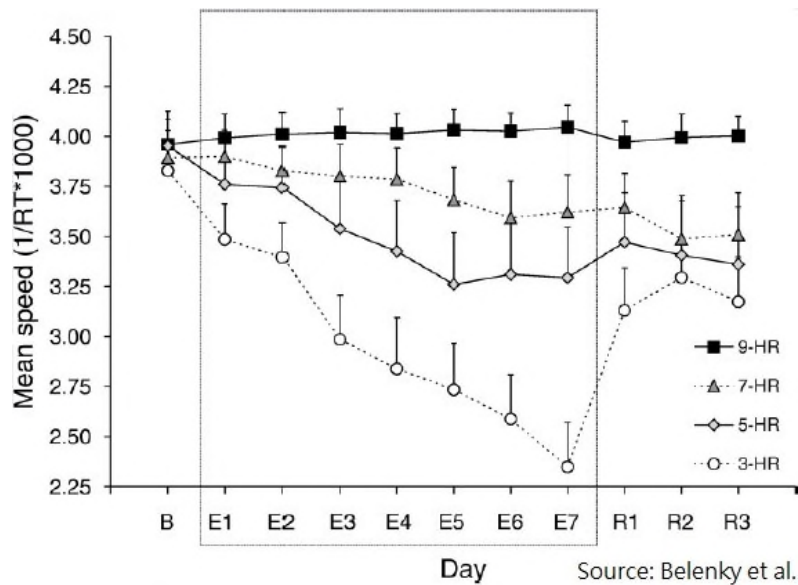


圖 3-11 睡眠時間受限反應下降模式

晝夜節律有如人體內 24 小時的時鐘，指示何時該開始活動以及何時該進入睡眠。0200 時至 0600 時是晝夜節律低下期間（window of circadian low, WOCL），而 0700 時至 1100 時是高警覺期間。生理時鐘受光線等外部提示的影響，穿越多個時區時，生理時鐘與目的地的白天和黑夜時間不同步，人體需要幾天的時間才能適應新的時區，同時會受到時差的干擾，例如頭痛、失眠、食慾不佳等。一般來說向西方的跨時區旅行影響比較輕微，因為延遲睡眠比提早就寢容易。睡眠惰性指剛醒來後立即出現暫時的不適感，以前 5 分鐘最嚴重，影響可持續超過 30 分鐘。大腦從睡眠狀態轉到清醒是循序漸進的過程，醒來後腦幹覺醒中樞即被啟動，但大腦的皮層區域，尤其是前額葉皮層卻需要更多的時間才能緩慢啟動。我們的記憶、反應速度、運算能力、警覺性和注意力會比較弱，可能會影響反應時間和決策能力，如果是從深度睡眠中醒來睡眠惰性會更嚴重。

疲勞調查

國際民航組織（ICAO）將疲勞定義為「由於睡眠不足、長時間清醒、晝夜節律或工作量（心理或生理活動）而導致精神或身體機能下降的生理狀態，會損害人的機敏性與執行安全相關操作職責的能力」。

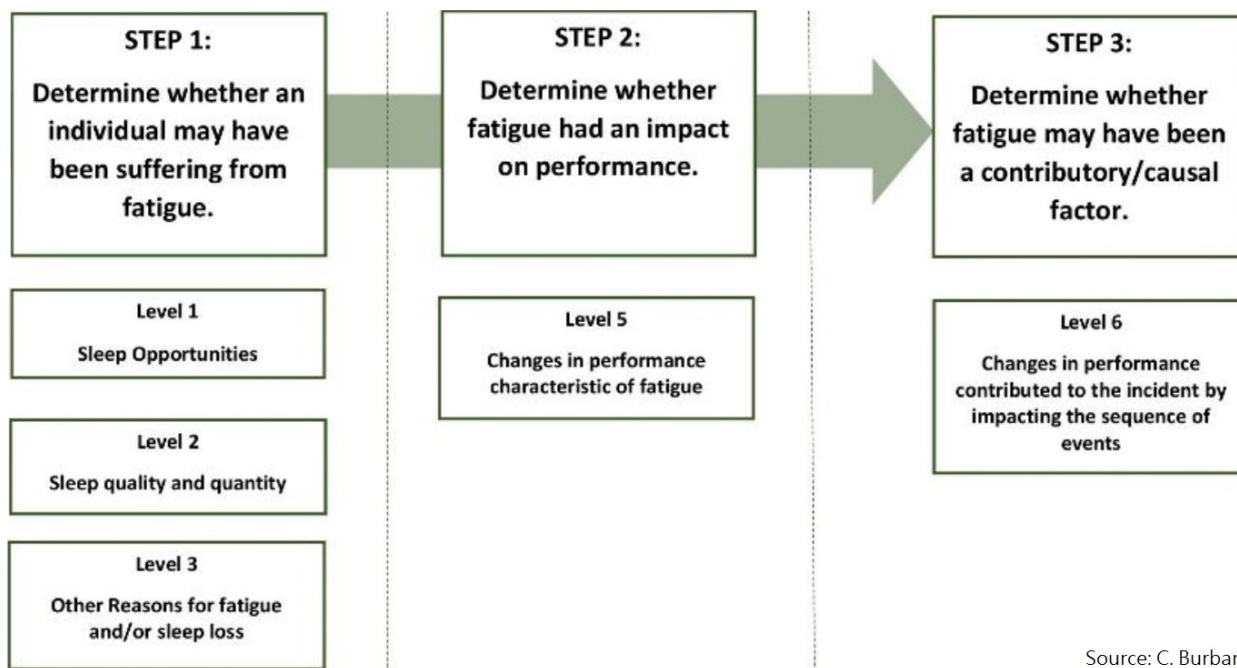
疲勞被視為航空和其它運輸業最大的安全危害之一。學界和業界都需要了解疲勞及造成疲勞的因素，並制定使經營者遵守的法規積極地管理疲勞。即使已經開發

出能夠識別操作人員疲勞的工具和方法，但是確定疲勞是否導致事故仍然是一個挑戰。因為測量疲勞程度涉及主觀因素，無法像使用酒精測試儀一樣，直接呼氣測量就得到數值。疲勞調查大致分為兩種類型，一種是進行與疲勞有關的事故調查，另一種是調查機組員提出的疲勞報告。事故調查人員應該了解疲勞調查的過程，並有效地利用資源進行充分調查。

每個人都可能在某個時間發生疲勞情形，我們也對自己的疲勞狀況缺乏判斷力。疲勞的產生不限於排班輪調等工作相關因素，也涉及睡眠環境與家庭等個人因素。由於很難提供證據證明某人在特定時間產生疲勞並導致事故，所以從未將疲勞列為事故主要且唯一的原因，但它已被列為許多事故的可能促成因素。2011年1月14日加拿大航空878號班機，副駕駛操作出現俯仰偏移與上下400英尺的高度偏差，造成機組員和乘客受傷。加拿大運輸安全委員會（TSB）查明的原因就包括睡眠惰性、疲勞管理訓練不足、睡眠中斷及晝夜節律等方面。

為了調查機組員操作時的疲勞程度，在事故發生後第一步要獲得機組員睡眠資料，包含事故發生前幾天的睡眠紀錄，以及個人平常睡眠需求，以便調查人員確認機組員是否有睡眠不足。此外其它資料還包括對家屬的訪談，以及使用座艙語音紀錄器（CVR）和飛航管制（ATC）錄音調查機組員操作時的疲勞跡象。

過去數十年有關睡眠和疲勞的研究，已經對疲勞在操作表現和機敏性的影響有所瞭解，並開發了可用於調查過程的工具。Dawson 與 McCulloch（2005）的疲勞風險失誤軌跡架構（fatigue-risk error trajectory framework）基於與運營方合作的經驗，提供疲勞調查的6級架構，協助安全調查人員按照順序逐步進行調查，如圖3-12。



Source: C. Burban

圖 3-12 疲勞調查架構

- 第 1 步 確定事件發生時，個人是否可能已經感到疲勞。第 1 步包含：
 - 第 1 級 睡眠機會
 - 第 2 級 睡眠質與量
 - 第 3 級 疲勞或失眠的其它原因
 - 第 4 級 身體疲勞跡象
- 第 2 步 確定疲勞是否對人員的表現產生影響。第 2 步包含：
 - 第 5 級 與疲勞有關的操作表現變化
- 第 3 步 確定疲勞是否是導致事故的因素。第 3 步包含：
 - 第 6 級 確定人為表現的改變對事故事件序的影響

第 1 步包含前 4 個級別，確認人員的疲勞程度。第 2 步包含第 5 級，確認人員由於疲勞而導致操作表現變化。最後的第 6 級使調查人員能夠得出有關事故中疲勞的結論。每一層級都包含識別疲勞風險的重點，組織可以透過對這些層級的內容進行控管，達成疲勞管理並減輕風險。

Dawson 與 McCulloch 的原始模型架構基於「當事故涉及疲勞的人員時，並不一定意味疲勞導致事故」。疲勞要成為事件的誘因，必須滿足以下兩個條件：

1. 事故發生時人員感到疲勞。這從第 1 級到第 4 級確定。
2. 與疲勞有關的操作表現變化，影響事件序導致事故。由第 5 級與第 6 級確定。

疲勞調查的 6 個層級

第 1 級探討是否提供了充足睡眠機會。對於機組員來說，睡眠時間很大程度取決於監管飛行和值勤限制。因此要分析機組員班表、檢查值班模式、過夜時間及飛行與休息時間，還有班表穩定性等因素。此級別主要考慮組織因素如政策和實施情形，強調公司為員工提供充足睡眠機會的責任。

第 2 級考慮在睡眠期間實際獲得了多少睡眠。此級別的重點是個人責任，即利用睡眠機會盡可能獲得充足睡眠。睡眠時間受一些因素影響，最重要的是在一天中的時段與睡眠環境的品質，還應該考慮午休。調查人員可以訪談操作者及其家屬，以獲得操作者事故發生前 48 小時的睡眠時間和質量。

大多數成年人需要 7 至 9 個小時的睡眠才能保持清醒，任何的中斷或失眠都應該記錄。不良狀況發生的時間很重要，特別是在個人的晝夜節律低下期間內，WOCL 指機組人員所適應時區 0200 時至 0600 時之間的時段。需要考慮的因素包括有新生兒、連續早起上早班或過長的通勤時間。還應考慮影響睡眠質量的環境因素，如是否黑暗、安靜與涼爽，以及事故發生前幾天內跨越的時區數量。

第 3 級涉及確定疲勞的其它原因，包括工作量（連續工作、加班、在休息日工作）以及健康因素。應該考慮攝取咖啡因、飲酒、使用處方藥與非處方藥、違禁藥物，與未被診斷的睡眠障礙、壓力、可能影響睡眠的疾病等。

第 4 級評估人員是否顯示出身體或認知疲勞跡象。高強度的疲勞身體徵狀例如難以睜開眼睛與點頭（屬短暫、無法控制的微睡眠）。其它疲勞跡象包括頻繁眨眼與打哈欠。疲勞會影響認知表現，包括溝通和情緒控制方面，個性可能變得孤僻或易怒，無法控制自己的情緒。這些資訊可以透過與親友及同事的訪談獲得。

第 5 級調查與疲勞相關的操作表現變化。疲勞會降低機敏性，增加反應時間，並減弱表現導致錯誤。如果操作人員的狀況警覺（situation awareness）或短期記憶受到影響，有可能是由疲勞導致。其它的疲勞跡象包括決策或解決問題能力受損、無法進行適當的風險評估、容忍較高風險、溝通效率低下、採用捷徑與接受較低標準等。操作者可能顯示出邏輯思考缺陷，或者對外部刺激沒有適當的反應。

第 6 級是由調查人員確認，是否操作表現的變化影響事故的事件序，以便確定疲勞是事故的原因或促成因素。如果第 1 級到第 5 級可以識別出操作者顯示疲勞跡象、出現了錯誤並且影響了事件發生的順序，則很可能疲勞是該事件的原因或促成因素。

使用疲勞調查架構的好處是考慮了個人與組織因素，能夠識別各個層級，對其內容進行適當管控，並可以適用在不同的行業。此外系統性的過程指示，如果在步驟 1 中沒有疲勞的證據則無需繼續下去，疲勞就不太可能是事故的因素。

生物數學模型

生物數學模型（Bio-mathematical model）是一類軟體，可使調查人員依據工時長短與休假天數、工作質量來評估人員的疲勞程度。即使生物數學模型是有價值的工具，但要知道所有模型都有侷限性，它們需要一個門檻值作為評估標準。模型是基於普通人情況作疲勞預測，沒有考慮個人差異或攝取咖啡因、接受光照等因素的影響，所以不應該單獨使用生物數學模型。多數模型具有根據職責與個人晝夜節律自動預測可能睡眠的功能，但這終究是預測，因此不應作為調查過程的內容。進行調查時應套用真實的工作模式與工作環境，以及睡眠時間和質量以盡可能準確。即使如此，在風險管理系統中運用適當的生物數學模型仍是可參考的依據，可以通過機組人員的班表、睡眠機會與晝夜節律來識別疲勞風險。

Pruchnicki 等人(2011)使用 SAFTE-FAST 生物數學模型來分析實際事故，使用 NSTB 報告中的睡眠數據，計算事故期間值勤 ATC 人員的狀況。以 77% 門檻值分析，發現事故發生時 ATC 人員的預期效率為 71%，表示疲勞水平可能升高。選擇 77% 的閾值是因為已確定在此水平下，個人行為將與血液酒精濃度（BAC）為 0.05%（每 100 毫升血液中含 50mg 酒精）的人的行為相似，這是在歐洲大多數國家或地區開

車的法定限量。ATC 人員的表現將類似連續清醒超過 20 小時的人，他們的反應時間會降低 40%以上。由於事故發生時的疲勞情形，ATC 人員的表現可能會受到損害。Pruchnicki 等還分析並確定了 ATC 人員顯示出許多與疲勞相關的錯誤和行為，例如任務固定（task-fixation），即工作人員注意力只放在他們正在執行的勤務上。這證明了在獲得真實睡眠數據時此類工具的實用性。通過將 Pruchnicki 的發現和結論帶入疲勞調查過程，調查人員可能會認為 ATC 的疲勞已對該事故的事件序產生了影響，他們可以得出結論，疲勞可能是造成這種情況的因素。

有些軟體如 SAFE model 依照 Samn-Perelli 7 分制疲勞量表製作，該量表可能的得分從 1（完全警覺清醒）到 7（疲憊不堪無法有效工作）。Samn-Perelli 將分數 5 與 6 定義為第 2 級疲勞，允許飛行但不建議。若分數達到 7 即被認定第 1 級疲勞，是最嚴重的疲勞情形，人為表現絕對受損，將危害安全不建議飛行。另外有一種較簡易的先前睡眠-清醒（prior sleep-wake model, PSWM）生物數學模型，可以讓調查人員簡單快速地確定個人在事故發生前 24 小時和 48 小時內是否獲得足夠的睡眠。PSWM 模型基於 3 個標準：

- 前 24 小時內小於 5 小時睡眠
- 前 48 小時內小於 12 小時睡眠
- 目前清醒的時間超過了先前 48 小時的睡眠量。

當滿足這些標準時，就假定個人在不安全的疲勞水準下工作。PSWM 模型所需的數據只有事故發生前 24 小時的總睡眠時間、事故發生前 48 小時的總睡眠時間，與事故發生時的總清醒時間。須注意 PSWM 生物數學模型可用於研究但仍存在侷限性，不應獨立使用。

調查疲勞報告

疲勞調查過程的另一個部分是對疲勞報告中的數據進行分析。作為疲勞管理，需要鼓勵機組員使用自願報告系統來通報他們所經歷的疲勞危險情況。疲勞報告是機組員在上班前、中、後自我報告任何疲勞隱患或風險，應該使機組員知道，如

果認為自己太疲勞而無法工作，則報告不適合執勤。當他們認為自己遇到疲勞相關的操作表現問題時也要提出報告。

為了促進誠實與公開的報告，組織需要建立一種公正文化。Reason（1997）提出公正文化是「一種信任氣氛，鼓勵人們甚至提供獎勵，以提供與安全有關的基本訊息。但在這種氣氛中，他們也清楚在可接受和不可接受的行為之間有清楚界線」。因此公正文化是運作有效疲勞報告系統的先決條件，提出疲勞報告的機組員不必擔心由於提出報告而有不當的後果。這將鼓勵工作人員提供真實準確的訊息進而有利於分析。清晰的報告程序和分析過程，包括及時的回饋意見也應該落實，並將這些資訊傳達給員工。若不告知收到員工疲勞報告，肯定會阻止員工未來提交其他疲勞報告。

疲勞報告不需要進行系統性全面調查，因此要將疲勞報告分析與發生疲勞的事故調查區分開來。作為分析過程的一部分，應從各個疲勞報告中收集數據，計算評量各項指標，並進行定期檢查和分析。某些情況疲勞報告分析可能會促使進行全面調查，可以對疲勞報告分析結果進行風險評估來識別風險。如果風險評估確定了安全隱患，則應進行全面調查，採取減輕這些風險的對策。另一方面，如果風險評估未識別出高度風險，則應將疲勞報告分析的數據記錄到資料庫進行趨勢分析。

肆、建議

本次參與人為因素調查短期課程，內容充實獲益良多。克蘭菲爾德大學亦有提供基礎運輸事故調查員及航空、水路或鐵道進階事故調查員課程。基礎與進階事故調查員訓練課程均為期三週，以兩天一項主題進行。建議本會持續派員參加克蘭菲爾德大學提供之訓練課程，並可與各國相關單位人士進行經驗交流。

參加「人為表現調查訓練課程」出國報告

服 務 機 關：國家運輸安全調查委員會

出 國 人 職 稱：運輸安全組副調查官

姓 名：蔡華生

出 國 地 區：英國貝德福特郡克蘭菲爾德大學

出 國 期 間：民國 109 年 02 月 22 日至 03 月 01 日

報 告 日 期：民國 109 年 05 月 15 日

建議事項：

	建議項目	處理
1	建議本會派員參加克蘭菲爾德大學舉辦之其它訓練課程，持續精進事故調查知識技能，並與各國事故調查人員經驗交流。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行

