

出國報告（出國類別：進修 線上訓練課程）

參加德國鐵路學院「鐵道業管理系統」 線上課程報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職務：李苡星/運輸安全組助理研究員

袁世立/運輸安全組鐵道調查官

派赴國家：臺灣，中華民國（線上訓練課程）

線上訓練期間：民國 110 年 05 月 03 日至 05 月 06 日

報告日期：民國 111 年 02 月 08 日

公務出國報告提要 系統識別號

出國報告名稱：參加德國鐵路學院「鐵道業管理系統」線上課程報告

頁數：33 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：郭芷桢

電話：(02) 7727-6228

出國人員姓名：李苡星

服務機關：國家運輸安全調查委員會

單位：運輸安全組

職稱：助理研究員

電話：(02) 7727-6289

出國人員姓名：袁世立

服務機關：國家運輸安全調查委員會

單位：運輸安全組

職稱：鐵道調查官

電話：(02) 7727-6291

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 110 年 05 月 03 日至 05 月 06 日

出國地區：臺灣，中華民國（線上訓練課程）

報告日期：民國 111 年 02 月 08 日

分類號/目

關鍵詞：管理系統、人為因素、人因工程、風險管理

內容摘要：

本課程由德國鐵路學院舉辦，內容涵蓋鐵道管理系統、人為因素與人因工程、風險管理與人類可靠度，以及鐵道事故分析與組織管理法規。本報告依序說明各主題之重點及彼此關聯，從鐵道管理系統之運作開始，逐步瞭解此架構下影響鐵道從業人員作業表現之人為因素，以及如何透過風險管理與人類可靠度分析增進整體管理系統之可靠度與安全性，課程內容可作為本會未來在重大鐵道事故調查及鐵道運輸安全相關研究之參考。

目次

壹、	目的.....	1
貳、	過程.....	2
參、	課程摘要與心得.....	4
肆、	建議.....	31

壹、 目的

我國於 107 年 10 月 21 日發生臺鐵第 6432 次車新馬站重大鐵道事故，造成 18 人死亡、291 人輕重傷，政府因而決定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），調查業務從航空擴充至水路、鐵道及公路重大事故。本會自 108 年 8 月 1 日起開始運作，9 月 6 日第三次委員會決議，依「運輸事故調查法」第 3 及 6 條之調查權責，針對 6432 事故行政院調查報告（107 年 12 月 21 日公告）提供必要之補強調查。

本會於 109 年 10 月 19 日發布補強調查報告，共提出 7 項與可能肇因有關之調查發現，另有 27 項與風險及其他安全因素有關之調查發現。綜觀這些調查發現，人為錯誤（human errors）佔有相當比例，諸如司機員誤認列車自動防護系統（ATP）故障而隔離 ATP，又未依規定通報；ATP 隔離後至列車傾覆前，司機員有 62% 之時間在通聯，致使其分心未注意道旁速限標誌等。此外，提供司機員列車運轉及故障資訊之駕駛顯示器單元（DDU）存在許多人機互動設計之人因工程（ergonomics）議題，包括 DDU 畫面呈現未簡潔一致、同系統使用不同文字、重要失效無告警等，可能增加司機員在識別與解讀資訊時之認知負荷。

繼臺鐵第 6432 次車新馬站重大鐵道事故，我國陸續發生多起重大鐵道事故，包括列車行經平交道撞擊車輛、列車於進站時因未注意預告與出站號誌之顯示而冒進號誌，以及斷軌案等。雖然部分事故尚在調查，但從這些調查案卻一再揭示人為因素與組織管理對營運安全之重要性。本會運輸安全組負責人為因素與組織管理調查業務，配合本會改制亦須參與重大鐵道事故調查，故有必要派員參加鐵道模組人為因素或人因工程相關訓練，以儲備人員在鐵道人因相關領域之調查能量。

本次線上課程由德國鐵路學院舉辦（DB Rail Academy），內容涵蓋鐵道管理系統、人為因素與人因工程、風險管理與人類可靠度，以及鐵道事故分析與組織管理法規等四項主題，本會調查技術人員完訓後，應可增進對鐵道業經營管理方式之瞭解，並識別不同管理系統下所衍生之人為因素與人因工程相關議題；配合人員在鐵道事故調查累積之經驗，應能強化鐵道人因之調查知能。

貳、 過程

1. 課程

本次線上課程由德國鐵路學院舉辦，日期為民國 110 年 05 月 03 日至 05 月 06 日，共計 4 日，第一日介紹鐵道業管理系統運作，第二日介紹鐵道人為因素與人因工程，第三日介紹風險管理與人類可靠度分析，第四日介紹鐵道事故分析，以及國外鐵道業在組織管理相關法規，課程架構如圖 2-1 所示。

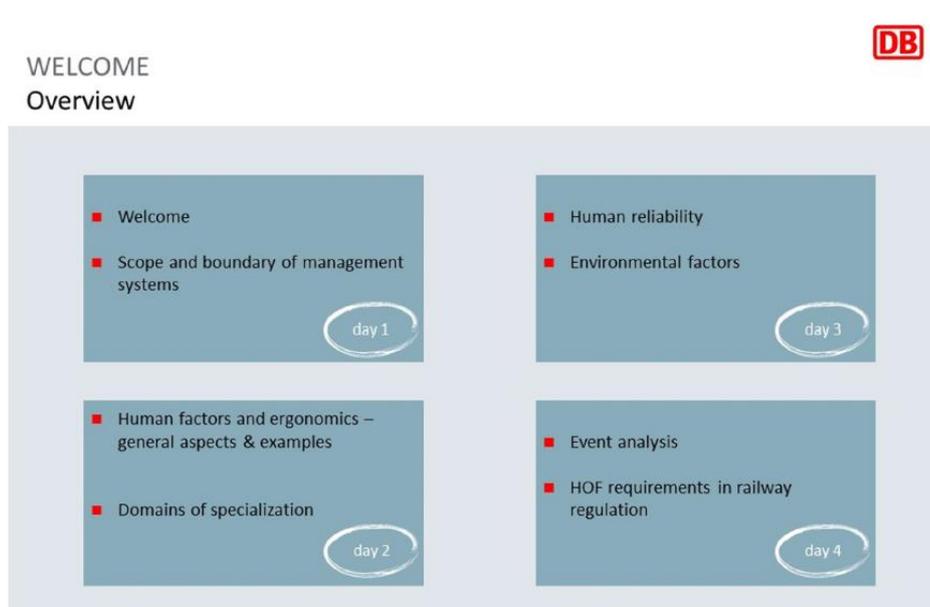


圖 2-1 課程架構圖

2. 參與人員及講師

本次線上課程參與學員共計 3 名，其中 2 名為本會調查技術人員，另 1 名為德國從事鐵道營運工作之專業人員。講師為一位獨立工作者，過去曾擔任德國鐵路學院資深顧問，其主要專長在風險管理與安全管理系統，過去亦曾協助德國鐵路機構推動安全管理系統；講師專業背景介紹如圖 2-2 所示。

The slide features a collage of seven photographs of Jürgen Halbekath in various professional and outdoor settings. To the right of the collage is a blue box with the heading 'KEY ASPECTS OF ACTIVITY' and a bulleted list of his expertise. The DB logo is in the top right corner. At the bottom left, there is a small number '7' and the text 'DB Rail Academy | Management Systems in Rail Organization2 | Sm16014 | 2020'. At the bottom right of the collage area, it says 'pictures: Juergen Halbekath'.

Welcome Jürgen Halbekath
your trainer

DB

KEY ASPECTS OF ACTIVITY

- Basic principles of management systems
- Rail safety management, risk management
- Quality management
- Process management
- European legislation for railway safety
- Training – Consulting - Coaching

7 DB Rail Academy | Management Systems in Rail Organization2 | Sm16014 | 2020

pictures: Juergen Halbekath

圖 2-2 課程講師專業背景

3. 授課方式

由於新冠肺炎（covid-19）疫情，本次課程採線上視訊會議方式進行，使用之授課平台為 webex training；課程講師透過此平台分享簡報並與學員互動問答。webex

training 可即時配合課程需要讓學員使用系統提供之按鍵快速表示意見，或對某主題發表文字看法。此外，上課過程如遇問題亦可隨時透過按鍵顯示舉起虛擬手（virtual hand）圖示讓講師知道，或使用麥克風對問題作出回應。再者，webex training 有提供線上白板功能，使學員進行問題討論時可將答案或意見撰寫於白板上，使小組討論過程能即時產出腦力激盪之產物；圖 2-3 為本次課程上課即時畫面一覽。

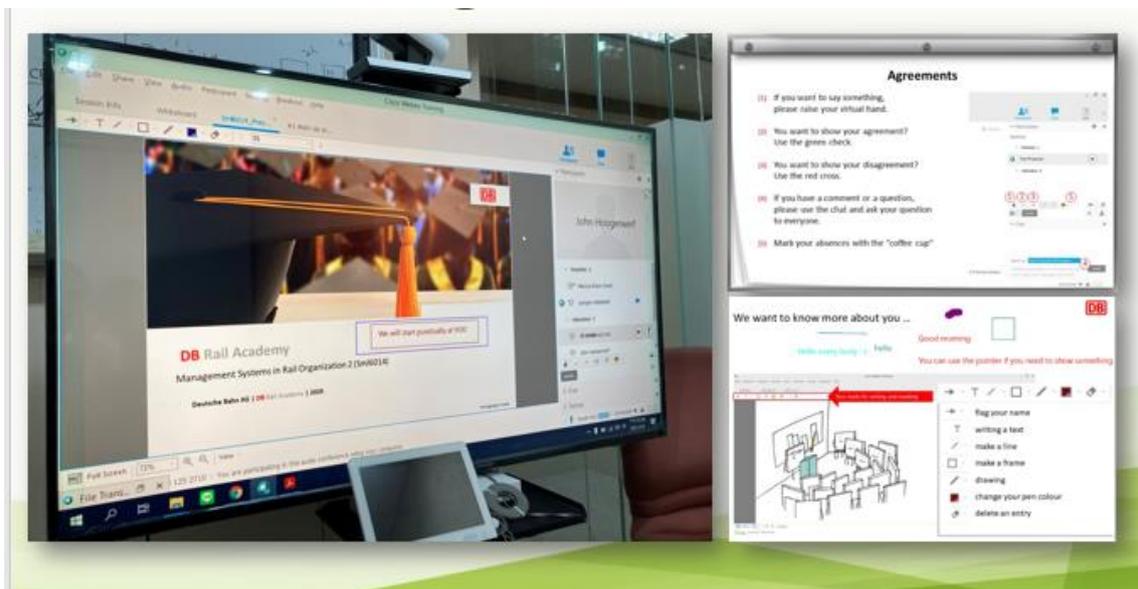


圖 2-3 課程上課實況

參、課程摘要與心得

1. 鐵道業管理系統（management system）

第一天課程內容係介紹鐵道業相關管理系統，並針對管理、系統定義開始說明。

定義

以 ISO9001:2015 為例：

- 管理 / management：指導與管制組織之協作作業 / coordinated activities to direct and control an organization
- 系統 / system：連動或互動要領之組合 / set of interrelated or interacting elements
- 管理系統 / management system：一套組織連動或互動要領，用以建立政策與目標，及達成該等目標的過程 / set of interrelated or interacting elements of an organization to establish policies and objectives and processes to achieve those objectives.

就定義而言，系統是指由相互作用、相互聯繫的元素所組成之架構，具有各個組成元素所沒有的新的性質和功能，並不斷與外部環境相互作用，對於一個系統而言，要素、組合、功能、活動過程、環境及之間的關聯性及相互作用是系統運作的重要條件。

管理系統則是指由管理者、管理項目等若干相互作用的要素和子系統，依照所設定的目標所構成的運作過程；管理系統是為達成組織的目標，連結相關的作業流程、工具、人員，有秩序、規則的運作，連結許多不同資訊來控制處理問題與達成目標。

管理系統的特性

- 聚焦於管理目標 / focus on objectives
- 高階主管支持 / leadership
- 全員參與 / engagement of people

- 流程導向 / process approach
- 實徵基礎的決策機制 / evidence-based decisions
- 持續改善 / improvement
- 關係管理 / relationship management



圖 3-1 管理系統特性

一般營運單位建置管理系統可達到下列目的：

- 管理政策與目標的基本定位
- 流程的有效性和效率

- 責任明確，透明度高
- 作業程序的改進更新及核決確認
- 注重市場需求及遵照監理單位規範要求
- 遵循標準作業程序相關文件所訂之作業程序

優秀的管理系統，應具備：管理流程清楚明瞭，權責範圍清楚且能不斷地改善各項內部作業流程；而管理者發揮職能，執行管理的工作。在管理的工作中能訂定正確的目標，發展可行計劃，組織合理的作業流程、人員與溝通工作的推定。過程中不斷地監督與檢討控制，並合理的運用會議等機制來確保問題解決與目標達成。

鐵道業相關管理系統

為實現管理目標，並滿足各項工作需求，鐵道業需要建置多項管理系統，通常業界建置使用的系統簡介如下：

- 品質管理系統：品質管理系統應為管理系統中最基本的管理系統之一，其中，最受世人普遍引用的標準應為 ISO 9001。
- 安全管理系統：歐盟（EU）於其相關規範中（Directive and Regulations），針對鐵道業需建置之安全管理系統，已有相關之規定，目前國內亦著手規劃中。
- 風險管理系統：風險管理與營運安全息息相關，鐵道業營運過程應建置風險管理系統，以辨識、管理營運所衍生之風險，進一步採取緩解措施，以求降低風險至可接受之程度。各項管理系統均先限定其涵蓋的範圍，如：品質管理系統係針對品質管理方面的範疇，上述管理系統間之需求差異如圖 3-2。

		management systems		
		Safety	Quality	risk
		EU Directive and Regulations	ISO 9001	ISO 31000
requirements	system and documentation	<ul style="list-style-type: none"> Establishing of an SMS Safety policy and targets Documentation of SMS 	<ul style="list-style-type: none"> Establishing of an QMS definition of quality policy and -targets Documentation of QMS 	<ul style="list-style-type: none"> Establishing of an RMS Reference to policy and targets of an organization Documentation RMS
	responsibility of top management	<ul style="list-style-type: none"> Definition of organizational roles, responsib., account., authorities Leadership and commitment Consultation of staff 	<ul style="list-style-type: none"> Responsibility of top management Definition of organizational roles, responsib., account., authorities 	<ul style="list-style-type: none"> Responsibility of top management Definition of organizational roles, responsib., account., authorities
	processes	<ul style="list-style-type: none"> SMS documentation: identification and description of the processes and activities related to safety of rail operation 	<ul style="list-style-type: none"> Process orientated approach Processes of product realization 	<ul style="list-style-type: none"> Integration of RM to processes
	monitoring and controlling	<ul style="list-style-type: none"> Internal auditing monitoring Management review 	<ul style="list-style-type: none"> Controlling Measurement Auditing 	<ul style="list-style-type: none"> Control of the system (audits)
	Continual improvement	<ul style="list-style-type: none"> Learning from accidents and incidents Continual improvement 	<ul style="list-style-type: none"> Communication Continual improvement 	<ul style="list-style-type: none"> Communication Continual improvement

圖 3-2 管理系統需求差異

鐵道業提供便捷、有效率、安全的運輸服務，相對地，要達到高度的顧客滿意度須滿足各方期待，包含：安全、準時、合理票價、高可靠度等，就鐵道營運管理者的角度，除了公司內部外，更需要考量外部環境的影響，也就是說組織(organization)、利害關係人(stakeholder)、市場(market)、全球環境(global environment)均需要將與組織運作有關聯的項目，列入日常管理的考量（詳如圖 3-3）。

Requirements to the company can be deduced from various fields



圖 3-3 組織內部、外部環境領域分析

2. 人為因素與人因工程 (human factors and ergonomics)

營運環境分析與人為因素關聯

第二日課程以人為因素與人因工程為主軸，不過講師在課程起始並未直接進入定義與概念之說明，而是以第 1 日課程提出之架構：「公司營運之各層次環境領域分析 (shell model) (圖 3-3)」為基礎，引導學員去思考每一層要素對公司政策、目標制定、標準作業程序執行產生之影響 (impact factors)，再從這些影響因素，識別和人為因素相關之影響因素。

舉例而言，以整體大環境 (global environment) 而言，作業環境改善 (progress of working environment) 或科技發展 (technology trends) 可能對於公司在列車運轉管理方面產生影響，諸如先進資訊傳輸等技術會帶致駕駛員 (employees) 在運具操作或資訊接收方式之改變；配合這些改變，公司之列車運轉部門必須修訂列車運轉

操作或處理程序，並施以駕駛員必要之教育訓練。以此例而言即有許多和人因相關之影響因素被識別，包括人機介面設計、駕駛員對自動化系統之依賴、作業程序之改變是否符合駕駛員心智負荷處理原則等議題。

人為因素與人因工程之定義

根據國際人因工程學協會（International Ergonomics Association, IEA）之定義，人因工程（ergonomics），或廣義稱人為因素（human factors），是一門探究人類與其他系統互動之跨領域學科，將心理學、認知科學、生理學、統計學、管理學等領域之理論、原則、資料及方法進行整合與應用，以提升人類福祉並促使整體系統表現優化。換言之，人為因素與人因工程主要目的在研究人類行為、能力與限制，並借用不同學科之原則與概念，應用至產品開發設計、製造過程，以及系統運作等方面，以使人員工作、使用設備或器具操作等更符合人之特性與需要，目標在降低人為錯誤、提升產能、增進安全與舒適感，特別在人員與其工作使用之工具間之適配性。

人為因素與人因工程之分類

人為因素與人因工程之基本精神在於「以人為本」，但依研究重點可進一步區分實體人因工程（physical factors）、認知人因工程（cognitive factors）與組織人因工程（organizational factors）等三面向（圖 3-4）。

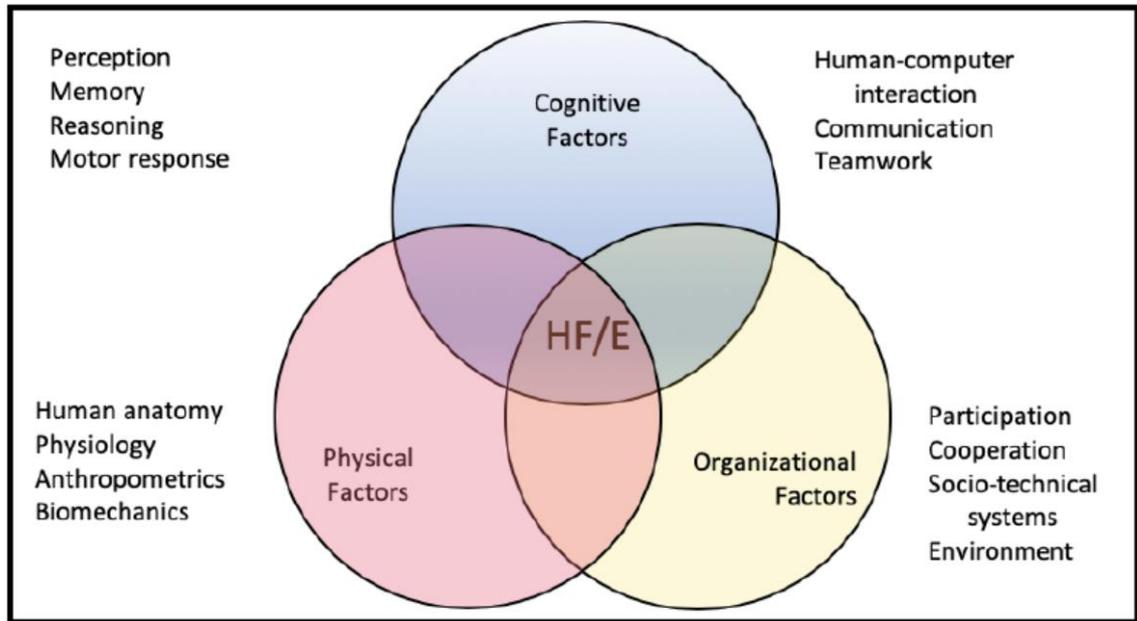


圖 3-4 人因工程研究領域

實體人因工程主要研究領域包括人體解剖、人體計測、生理學、生物力學等相關因素；認知人因工程則是從認知心理學角度探究影響人類作業表現之因素，故諸如人機互動、溝通、團隊等議題皆是其探討之範疇；組織人因工程重在瞭解組織中人與人之合作等團體互動，並擴及至整個社會-技術系統之組織議題。

以圖 3-5（左）為例，過去人員在工廠搬運油桶是靠人力，惟長期搬運重物會對人員身體結構造成不良影響，甚至產生職業傷害；如今透過外骨骼手臂設計技術，就可取代原有人工作業方式，降低人員身體長期承受過大之重力。外骨骼手臂之設計，即是實體人因工程之應用。圖 3-5（右）是有關辦公室桌與座椅之設計，藉由找出人員在作業過程之最佳視角，以利其進行螢幕資訊蒐集與處理，同時座椅設計也考量人體工學，使人員長時間辦公下減輕久坐、姿勢不良等酸痛問題。此例則同時結合實體人因工程與認知人因工程之應用。組織人因工程方面，諸如公司排班制度之

優化、修訂駕駛員工時休時制度，或重新評估公司人力資源，降低人員作業時之疲勞風險或心智負荷，皆是組織人因工程之應用。



DB Rail Academy | Management Systems in Rail Organization 2 | Sm16014 | 2020

圖 3-5 人因工程研究領域分類

課程中講師提到，其實人為因素與人因工程觸及範圍相當廣泛，課程中講師亦請不同背景之學員列舉人因相關議題(圖 3-6)，舉凡座艙環境、人員本身、人與人互動、人與機器互動、系統整合等皆可見人因工程之影子。

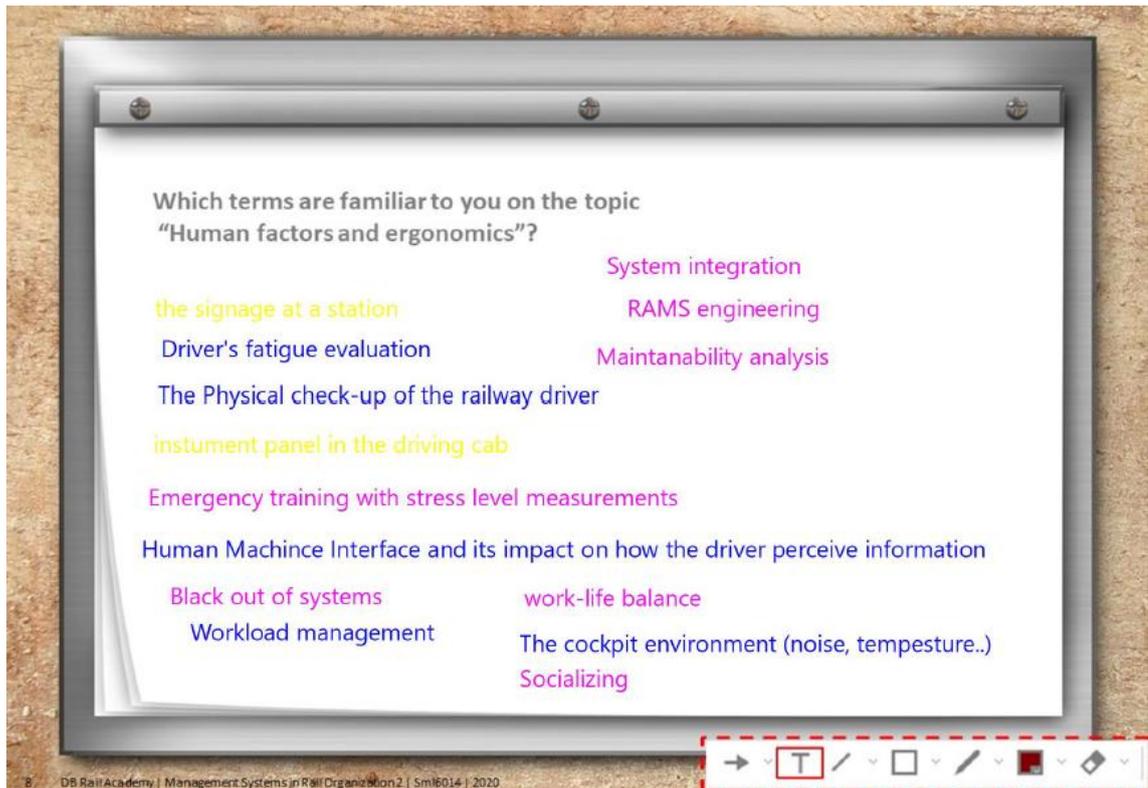


圖 3-6 人因工程應用範例之列舉

德國鐵道業特殊人因工程例子

以德國鐵道業作業環境特性而言（圖 3-7 左），工務或電務人員須於下雪等不良天候狀況下、在道旁步行一段距離至作業地點並暴露於不良天候狀況中執行勤務。因此，實體人因工程即可應用於人員衣著、裝備、道旁行走區域設計。另外像是作業本身特性，人員作業時如慣用某隻手或腳，長期可能使人在雙側肌肉強度產生不對稱或差異；對此，亦可透過實體人因工程設計，如機械輔助設備之導入，改善人員作業環境以及對人體產生之不利影響。圖 3-7（中）則是認知人因工程之應用：透過駕駛室或控制室介面顯示調整、顯示器分布配置、同一時間資訊呈現量評估等，皆可有效改善或避免人員在資訊接收、訊息處理超過心智負荷，進而改善作業表現。圖 3-7（右）是有關德國鐵路維修工作之特殊情況。一般而言，鐵道維修工作時間

安排於夜間、無正線列車運轉時進行；然而因作業需要，有時亦須在白天執行維修工作。由於白天無法長時間關閉軌道，維修人員作業期間每隔 3 至 5 分鐘就會因列車通過而中斷工作，致使作業過程對人員產生相當壓力與疲勞。欲改善此狀況，可從組織人因工程當中有關維修人員之作業方式與程序著手。



圖 3-7 德國鐵道業特殊層面之人因工程範例

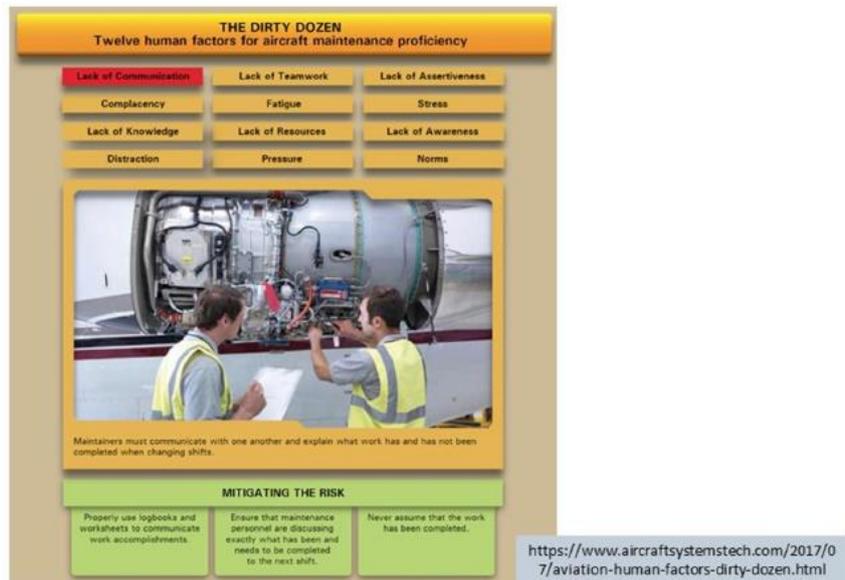
人為錯誤/疏失

課程進展至此，講師已帶領學員漸瞭解到諸多因素，小至公司本身條件，大至整體社會結構皆可能影響一家公司經營與管理；而這些因素，部分和人為因素或人因工程有關，且會進一步影響人員行為及作業表現，而當人員行為偏離常態或標準至一定程度，即變為人為錯誤/疏失（human errors/failures）。

講師介紹兩種人為疏失分類架構，一為航空業界廣為所知之 the dirty dozen (圖 3-8)，包括缺乏溝通、缺乏團隊運作、果斷不足、過於大意、疲勞、身心壓力、知識不足、缺乏資源、覺察不足、分心、時間壓力、社會常模等 12 項飛航事故常見之人為因素。講師提出，雖然用此架構分類事故之人為因素有其嚴謹性不足問題，惟以多年航空界累積之經驗，此分類架構在鐵道業界仍有一定參考價值。



The „Dirty Dozen“ of source for human failures is very well-known in the aviation industry



16 DB Rail Academy | Management Systems in Rail Organization 2 | Smi6014 | 2020

圖 3-8 人為錯誤分類法 1：The dirty dozen

第二種分類方式近似 Reasons model 及人為因素分析與歸類系統 (human factors analysis and classification system, HFACS) 階層 1 人為疏失分類架構。如圖 3-9，其將人為疏失分為錯誤 (mistakes) 與不遵循規定 (non-compliance) 等兩類。錯誤又包括人員執行中發生之錯誤，例如和注意力相關之 slip 與記憶力相關之 lapses，以及人員在認知思考處理歷程中發生之錯誤，如採用錯誤之作業或處置程序 (rule-based

mistakes)，或是提取、應用錯誤之知識等相關錯誤（knowledge-based mistakes）。在不遵循規定方面，則包含經常性（routine）、情境型（situational），及偶發之特殊性（exceptional）違規。相較錯誤為人員不經意（inadvertent）之作為/不作為，違規在屬性方面屬於人員故意之作為/不作為。

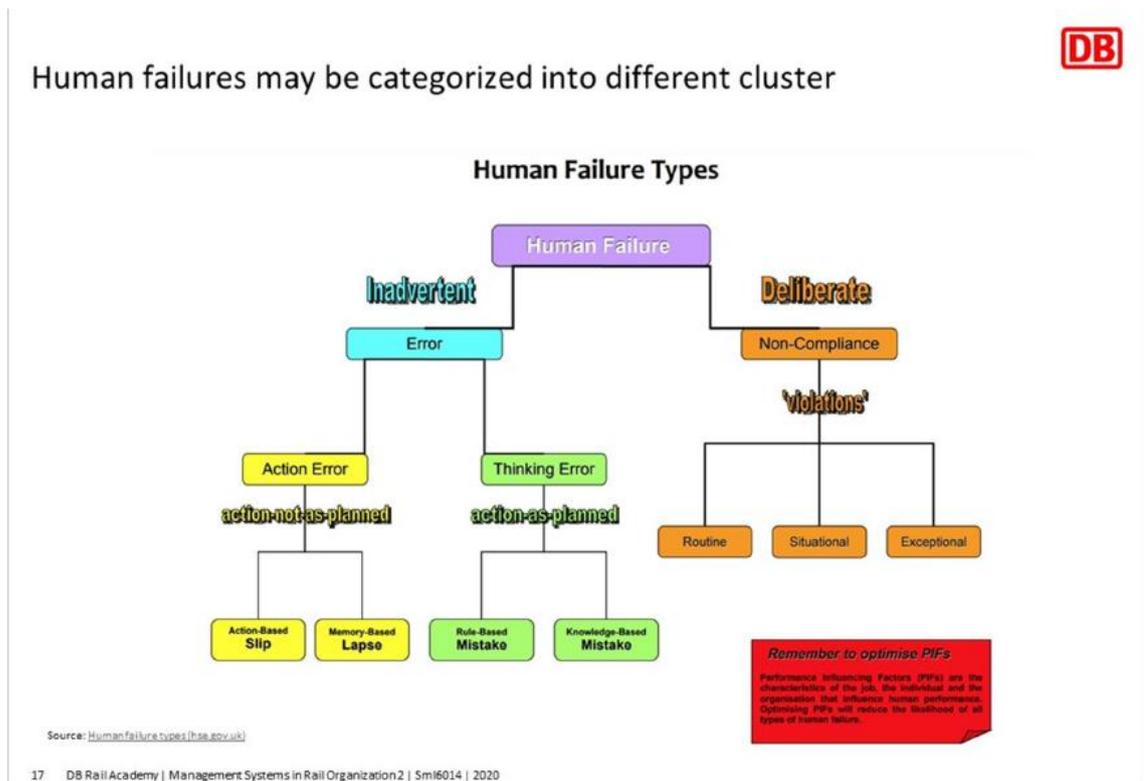


圖 3-9 人為錯誤分類法 2

講師在課程中附帶提醒學員，在檢視人為錯誤/疏失時，勿忘記這些錯誤是第一線人員之行為，然其背後通常有更深層、潛藏於組織、涉及安全文化之議題。講師以冰山理論解釋，一家公司中那些顯而易見之政策、制度、程序雖對員工行為有影響，但整體影響力僅佔 2 成，其他 8 成影響力則潛藏在公司中、看不見、不成文，但所有員工卻都知曉、也都循此潛規則行事或作業。講師提出，這些影響人員價值觀、行事原則、決策判斷與行為之部分，才是更須被關注並處理的！換言之，要真正改變員工行為，從組織層面來說，必須正視安全文化之議題。

3. 風險管理與人類可靠度 (risk management and human reliability)

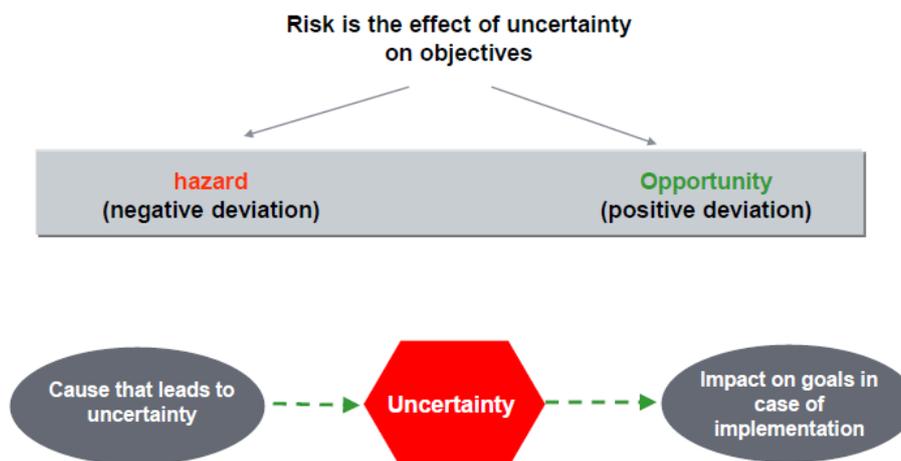
前兩日課程，講師介紹如何從一家公司之環境分析識別出影響其營運與管理因素，第三日則進一步引導學員思考這些被識別之影響因素是否對公司管理構成威脅並有必要採取適當管理措施，因此將第三日課程主題訂為風險管理與人類可靠度分析。

風險

在談及風險管理前，講師先導引學員思考風險之定義。對於本會調查技術同仁而言，當一談及風險，大家很快會浮現風險即是事故或異常事件發生之機會，以及事故產生之後果嚴重程度 (the frequency of occurrence of accidents and incidents resulting in harm and the degree of severity of that harm)；然而，講師在此引用 ISO 31000 相關內容，帶領學員先從一個較大格局認識風險。根據 ISO 31000，風險泛指一切公司經營目標上之不確定性 (an effect of uncertainty on objectives)，諸如社會經濟、科技、人口結構改變等，皆會對公司經營目標與策略帶來改變，再加入時間軸概念，這些變動對公司未來會產生何種變化，很難精準預測，因此這些對未來之不確定性皆可視為風險；然而風險依其發展方向可再進一步分類：為公司帶進發展機會，可視為正向風險，為公司帶進危害則是負向風險，而針對這些可能發生之負向危害，當其發生率或嚴重度達一定程度就有必要進行風險管理 (圖 3-10)。

What is the definition of „risk“?

Based on ISO 31000



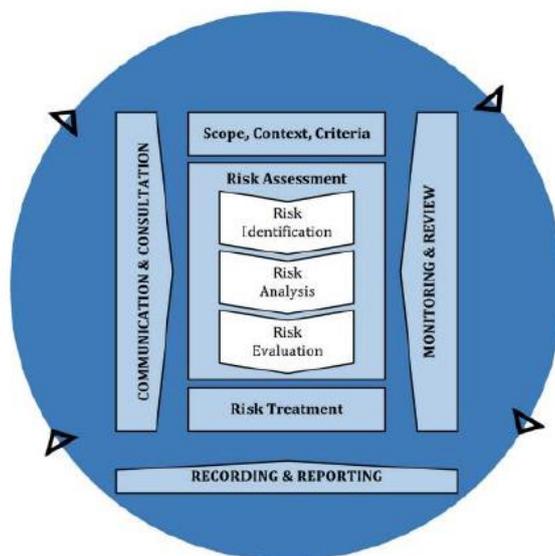
5 DB Rail Academy | Management Systems in Rail Organization 2 | Sml6014 | 2020

圖 3-10 風險概念介紹

風險管理

講師提醒學員，風險管理並非獨立於公司其他管理系統之運作，反而在執行風險管理過程應納入公司管理、甚至是決策歷程之一部分。換言之，風險管理須整合至公司整體架構、作業內容及相關作業程序當中。此外，在執行風險管理時，須考量每家公司員工之行為本質及公司文化等特殊性的。有關風險管理歷程，如圖 3-11 所示。

Excursus: risk management process



Source: ISO 31000 – Risk Management and Guidelines

圖 3-11 風險管理歷程

從流程圖可知，風險管理可分幾部分，分別是範疇（scope）、情境因素（context）與標準（criteria）界定、風險評估（risk assessment）、風險處置（risk treatment）及紀錄與報告（recording and reporting）。首先須劃定風險評估之範疇（scope），以瞭解此次風險管理主要範圍，例如評估之風險是公司較上位、策略性之政策或目標制定方面，抑或在實際作業層面或程序執行方面。此外尚須蒐集影響公司運作之情境因素（context）、分析彼此關聯，以及它們交互作用產生之影響。講師建議可透過第一日課程提到之環境領域分析（shell model）等方式瞭解影響公司運作之相關情境因素。在識別這些影響因素後，還須定義出風險標準（criteria），亦即界定發生率、嚴重性大於何種程度才應視為風險。

在風險衡鑑(risk assessment)階段，講師建議組成一跨專業團隊(subject matter experts, SMEs)，藉由腦力激盪、魚骨圖、5 x why 等方式、或從過去系統失效資料，如列車自動防護系統失效後產生之事故，以識別風險。在風險被辨識後，接著是進行分析。講師提到，分析方法很多，諸如事件樹、錯誤樹皆是常用方式，惟分析與評估之目的要找出哪些風險須進一步處置(treatment)。以列車自動防護系統失效為例，透過分析，找出此系統失效之機率、失效後產生之損失等。講師特別建議，公司平時應建立這些系統失效之資料庫以利風險分析時使用，其結果才具有實徵基礎(evidence based)。接著，將這些分析出之數據對照事先界定之標準，以評估是否為可接受之風險；若否，則須研擬緩解措施。最後，針對這些須不可接受之風險執行風險處置(risk treatment)，以降低風險，並建立一監控機制，以定期掌握這些風險變化。

講師於課中提到，雖然風險管理歷程看似線性，但實務上應為反覆循環之歷程；另流程圖左側之溝通與協商(communication and consultation)機制亦相當關鍵，因唯有透過夠多之溝通與協調，才能讓公司所有利益團體(stakeholders)，從高階主管至第一線員工皆瞭解公司運作或營運過程可能風險，並因建立認同感而在執行風險管理時而較能貫徹落實。

人類可靠度

人類可靠度(human reliability)，係指人員在一段特定時間、一個特定情境，對照一事先界定好、可接受之工作要求或品質之範圍時，其執行該項作業之實際表現之能力(the ability of a human being to perform a task in a given acceptance limit under predetermined conditions for a given time interval)。

人機系統

人類可靠度常用於探討人機系統 (man machine system, MMS) 之運作。MMS 將人類視為系統中之一項元件或元素，且獨立於機器運作之外一項元件，惟其運作和機器運作間擁有密切互動。如圖 3-12，人機系統有兩大要素，人與機器；圖之最左側有一項作業須被 MMS 系統執行，圖之最右側則為此項作業執行之最終結果，中間過程即為人機互動過程。在此互動過程中，外在環境為一項影響人機互動之因素，例如工作負荷量之增加。然而，由於不同人員本身所具備之能力、特質或技巧不同，因此即便外在工作負荷量增加，亦對個體產生不同程度之壓力源 (心智負荷量)，而使其展現不同程度之表現水準。另外，機器在運作過程亦可能出現諸如運作中斷或當機等異常事件，此時亦增加人員之作業負荷與壓力程度而致使表現水準下降。不過，講師提醒學員勿忽略人類具有所謂之心理強韌性 (resilience)，亦即在面對疏失或系統失效後，人員有一定能力去因應異常作業情境，以維持或貼近原有表現水準。在經過此一密切之人機互動後，MMS 系統會產出結果，並提供回饋訊息給人員，以讓其評估或判斷是否須調整作業方式或與機器互動方式，以維持或提升作業品質。

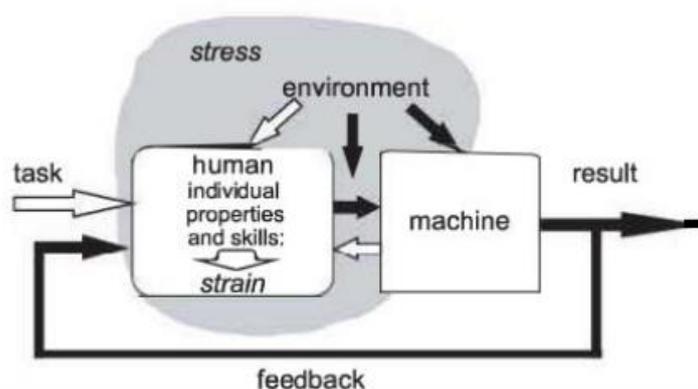


圖 3-12 人機系統互動圖

講師課中提到，過去業界在談及系統可靠度時，多著重在評估系統或機器本身可靠度。然而，從 MMS 架構圖可知，不論系統或機器運作，皆是靠人員設定或操作，

故其操作方式與本身狀態皆可能影響系統或機器之可靠度。因此，唯有將人機系統概念納入思考，而非僅著重於分析系統本身之可靠度與安全性，才是提升整體系統運作之安全與可靠的方式。

因此，進行人類可靠度分析，其目的在增進整個系統之可靠度與安全性，特別是人機系統之可靠度與安全性。講師提到，要達到此目標，必須整合前兩日課程談及之人因工程相關知識。換言之，公司是否能依據人員特性或作業需要，考量人員能力與限制，設計符合需要之工具與設備，以使人與系統、機器互動過程有最好的適配。另外，除考量人因工程，人員之教育訓練亦是一項增進人機系統可靠度與安全性之關鍵。

人類可靠度參數

如同系統可靠度，其分析是以數據呈現結果，人類可靠度分析亦將人員能力表現以量化指標呈現。如圖 3-13，人類可靠度參數（human reliability parameter, HRP），即是 1 減人為錯誤之機率（human error probability, HEP），其中 HEP 係指某行為或動作執行之總次數（N）中，實際被觀察之錯誤次數（n）。

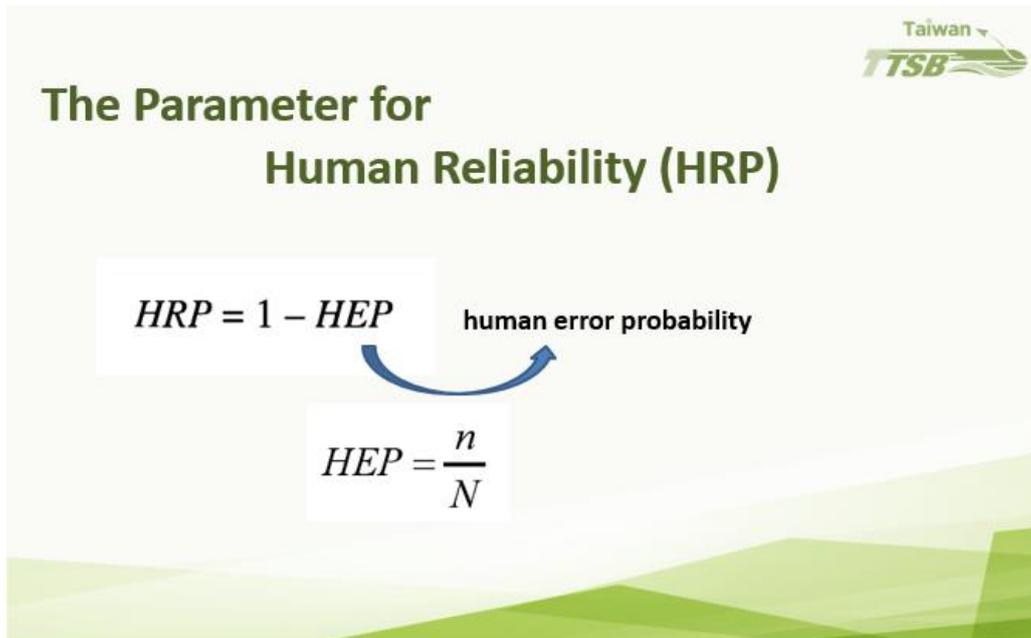


圖 3-13 人類可靠度計算公式

一般學理指出，當人員執行一項熟悉、簡單之作業，在沒有時間壓力或其他同時競爭作業等條件下，HEP 約為 10 之負 3 次方；當其他條件不變，但作業難度增加，且須動用較多認知資源執行以維持工作品質，則 HEP 將變為為 10 之負 2 次方；依此類推，當作業內容複雜、平時鮮少執行、且同時出現許多難以預期、讓人分心之事等影響、且系統未給予人員適當之反饋，或有時間壓力、同時作業競爭等，則 HEP 將變為 10 之 0 次方。

然而，講師提醒，雖然透過機率概估可將人為錯誤量化，但真實世界中之人類行為比系統或機器更為多變、複雜，故無法如系統可靠度分析所得數值那樣精準。因此，在進行人類可靠度分析時，須額外考量一些影響人為表現之塑造因素。

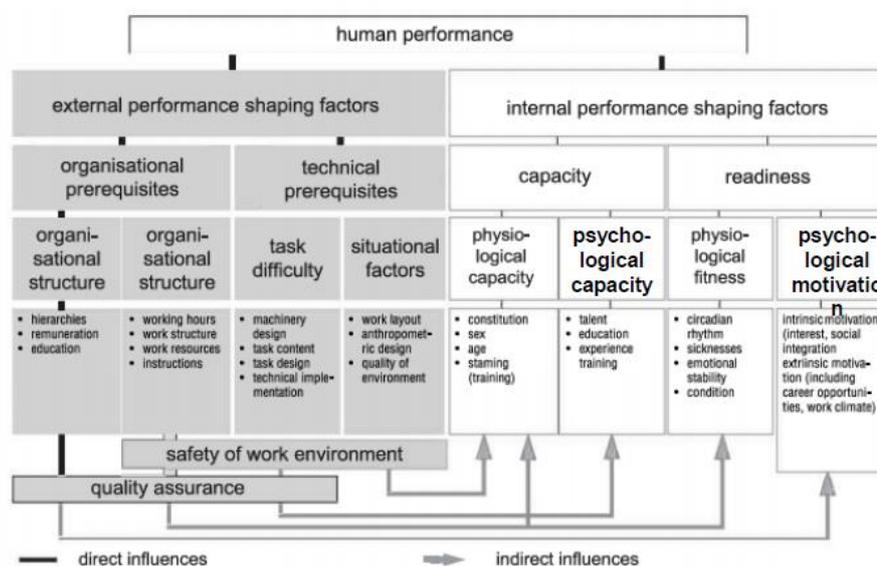
人為表現塑造因素

人為表現塑造因素（performance shaping factors, PSF）係指形塑或影響人員表現之複雜因素，在 MMS 系統架構下，PSF 對 HEP 有一定之貢獻，且進而影響整體系統之可靠度與安全性。

如圖 3-14，影響人員作業表現因素包括直接因素與間接因素，直接因素是一些直接會影響人為表現水準或提升/降低人員犯錯機會之因素，間接因素是指作業環境之安全性及品質保證機制；此兩因素雖獨立於 MMS 外，但在探討 PSF 時不容忽視，因其可能間接對人員作業表現造成影響。

直接因素又分成外部與內部兩大因素，其中外部因素又分為組織結構因素，以及實際作業情境相關因素。組織結構因素包括一家公司之組織架構設計、員工所得報酬、教育訓練計劃與執行、工時/休時型態、員工在相關資源與指引之獲得。作業情境因素則包括影響作業難度之因素，例如人員使用之設備介面設計、作業內容及方式，以及作業執行之情境等。內部因素則包括人員之能力與準備度。能力包括人員之生理及心理狀態，如性別、年齡、身體組成、過去經驗等，準備度則涉及人員之內、外在動機、情緒穩定性、生理節律等。

Human performance is influenced by internal and external factors – Performance Shaping Factors (PSF)



(source: human reliability – Ergonomic requirements and methods of assessment, VDI 4006:2015, Part I)

12 DB Rail Academy | Management Systems in Rail Organization 2 | Sml8014 | 2020

圖 3-14 人為表現塑造因素

人類可靠度分析歷程

人類可靠度分析（如圖 3-15）和風險管理歷程近似，首先要明確界定問題（**problem identification**），以識別人員作業內容與範疇。接著針對此項作業進行作業分析（**task analysis**），以深入瞭解此項作業之每個步驟與環節。如同風險管理歷程，講師建議此階段組成一個專家團隊（**subject matter experts, SMEs**），以便執行後續質性與量化分析。透過作業分析，不僅可識別各作業階段之人員動作或行為並訂出行為表現水準，亦可據此推論影響動作或行為之人為表現塑造因素。接著，將人員實際作業行為與行為表現水準比較，即可識別偏離常態或標準之行為，亦即人為/錯誤疏失（**error identification**）。此外，作業分析結果亦提供人為疏失/錯誤表徵（**representation**）以及人為錯誤與作業間之關聯性。再來，專家團隊便可針對這些人為錯誤於某個時

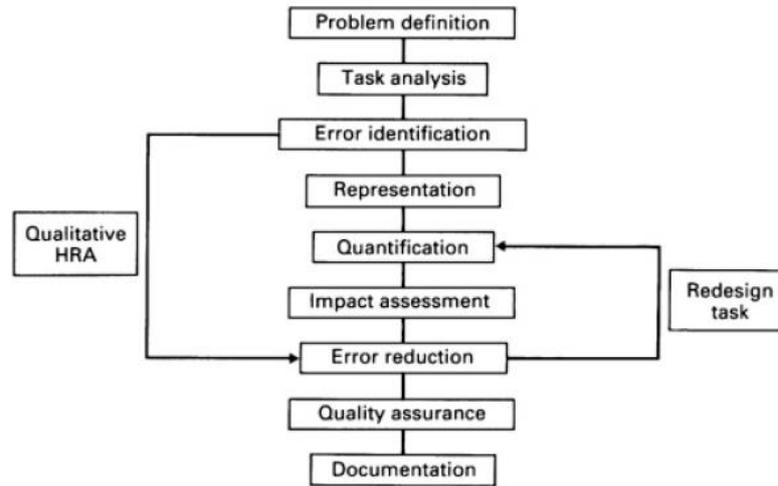
間區段計算錯誤出現機會 (quantification)，亦即 HEP，並對此評估其對作業結果產生之影響幅度 (impact assessment)；若風險超過可容許之範圍，則須找出削減此項人為錯誤之方式，若無法削減則須考慮重新設計作業內容或程序，以確保作業執行之品質 (quality assurance)。最後，專家團隊將整個分析歷程及結果文件化 (documentation)。

舉一國外鐵道研究案例¹，司機員未望見號誌，在不考慮人為表現塑造因素時之出現機率約為 0.000111；然而，當納入司機員知覺號誌顯示能力、對號誌設置位置之熟悉度等人為表現塑造因素後，司機員未望見號誌之出現機率則增加為 0.00159。據此，專家團隊即可大致掌握司機員未望見號誌顯示之人為錯誤出現機率，若組織內部一致認為此機率值過高，即可依此例被識別之人為表現塑造因素，設計相應之削減或改善措施，以降低因未望見號誌而導致冒進號誌之人為錯誤之機率。

人類可靠度除以量化分析，亦可執行質化分析 (qualitative HRA)，其步驟為人為疏失/錯誤被識別後，以認知心理學對人類訊息處理架構分析之，以找出該項人為疏失/錯誤之內、外在影響因素，如視知覺偏誤等。配合量化分析結果，評估對作業產生之影響，並研擬削減人為錯誤之相關配套措施。

¹ Kim, J., Jung, W., Jang, S. C., & Wang, J. B. (2006, October). A case study for the selection of a railway human reliability analysis method. In *International railway safety conference* (pp. 22-27).

The basic procedure of human reliability analysis is similar to the methodological approach of risk assessment



Source: Kirwan, 1994, cit: Human Reliability - an overview | ScienceDirect Topics

13 DB Rail Academy | Management Systems in Rail Organization 2 | Sml6014 | 2020

圖 3-15 人類可靠度分析步驟

4. 事件分析與人因組織管理於鐵道相關法規中要求 (event analysis & HOF requirements in railway regulation)

第四天課程內容係介紹事件分析、人因組織管理 (human-organization factor/HOF) 於鐵道相關法規中之要求：

事件分析

鐵道業當發生事故事件後，應先確認肇事原因 (root cause)，並擬定改善措施降低風險，以避免類似事故事件再發生。為了要找到肇事原因，需要有系統性的方法，一般業界所使用的方法包括事件樹分析法 (event tree analysis)、因果分析法 (causal

analytical method) 及事件分析法 (event analysis)，在事件分析法中，需要首先界定事件之範圍 (event frame)，然後針對事件範圍內進行資料蒐集 (event data acquisition)，資料蒐集時應包含正常運作狀況下之相關資訊，再將事故與正常狀況下的資訊交互分析比對，試著瞭解其中之差異 (deviation analysis)，並藉由差異分析的結果進行事件評估 (event assessment)，最後依據事件評估擬定改善措施及計畫，事件分析流程圖請參閱圖 3-16。

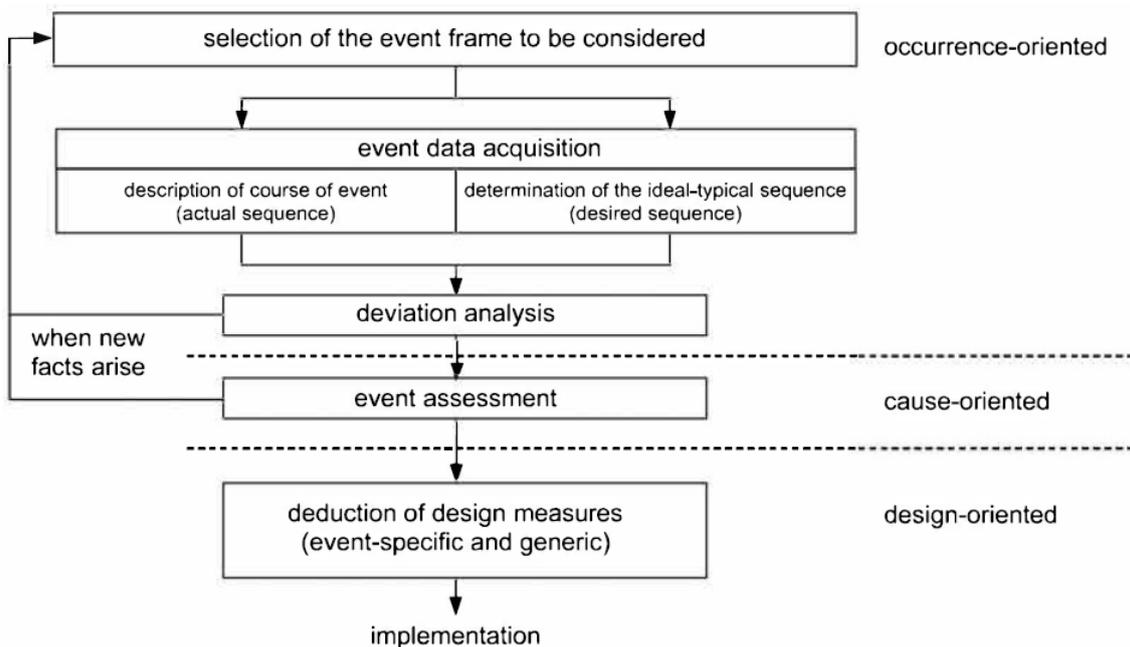


圖 3-16 事件分析流程圖

鐵道業事件事件通常牽涉的因素非常廣，包含人員 (列車駕駛、調度員、維修人員等)、設備 (列車、號誌系統、轉轍器等)、天氣因素...等，其中人機互動 (man-machine interaction) 有非常大的比例與人為因素有關，在課程進行過程中，講者藉由一張投影片說明人機互動與環境間之關聯性，詳細資料請參閱圖 3-17。

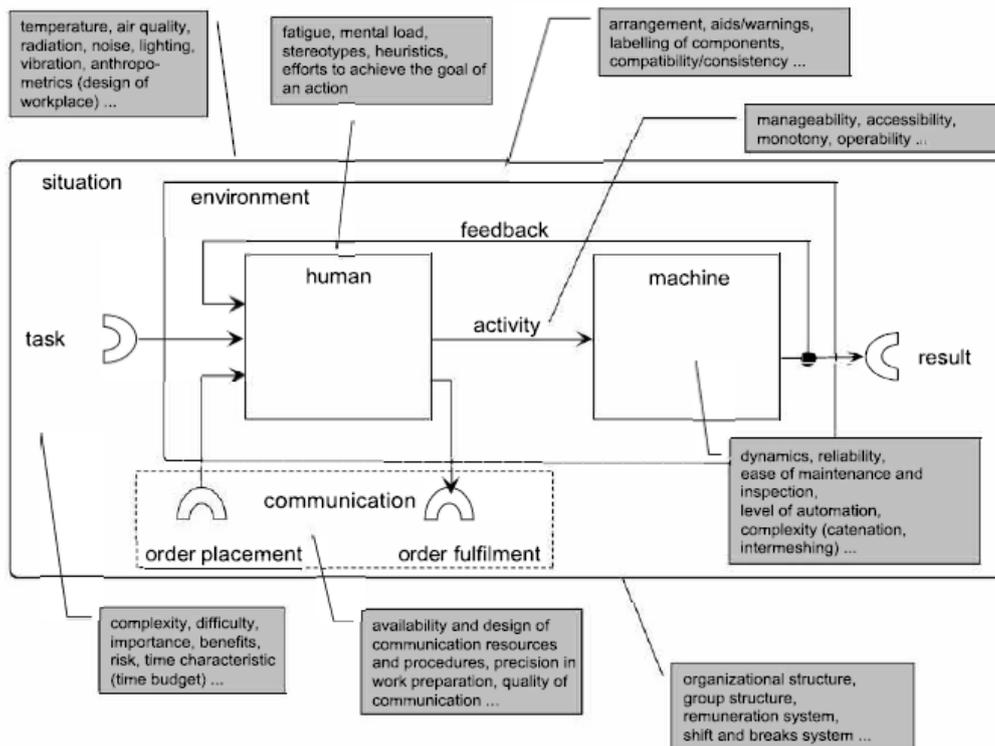


Figure 4. Possible explanatory factors with respect to the elements of the man-machine system

圖 3-17 人機互動關係圖

人機互動關係圖中顯示人員操作機械過程中，需要考量的因素繁複，其中還包含與其他人員的溝通聯繫，每一個環節若發生問題，有可能衍生重大的事故事件。

人因組織管理於鐵道相關法規中之要求

對一個長時間有高度安全營運績效組織來說，通常會向其同仁持續宣導安全及營運績效的優先順序與重要性、從虛驚事件（near miss）或事故事件中學習成長並進一步改善、從系統設備之備援方案以避免單一設備故障所造成的影響，並具備下列組織特性：

- 以審慎的態度面對任何故障、異常事件 / preoccupation with failure
- 避免過於簡化的作業流程 / reluctance to simply

- 以嚴謹的方式營運 / sensitive to operation

歐盟要求鐵道業需持續改善其安全文化，並具體寫入相關法規規範中，舉例如下：

- Leadership : Top management shall demonstrate leadership and commitment to the development, implementation, maintenance and continual improvement of the safety management system by promoting a positive safety culture. [CSM-SMS DA(EU)2016,762, annex I, 2.1.1.j]
- SMS : Through the safety managementsystem, infrastructure managers and railway undertakings shall promote a culture of mutual trust, confidence and learning in which staff are encouraged to contribute to the development of safety, while ensuring confidentiality. [Directive(EU) 2016,798, Article 9]
- Strategy : The organization shall provide a strategy to continually improve its safety culture, relying on the use of expertise and recognised methods to identify behavioural issues affecting the different parts of the safety management system and to put in place measures to address these. [CSM-SMS, annex I I, 7.2.3]

在歐盟指引（EU-Directive）Directive (EU) 2016/798 Art 9 中，安全管理系統相關章節，明確強調安全文化的內容，並具體提出營運機構應宣導、建立雙方互信、自信且學習的文化，且應鼓勵第一線同仁針對營運安全提出建議。另外，在 Directive (EU) 2016/798 中，亦強調人為因素與安全文化的關聯性與重要性，包括：人機介面設計、操作程序合宜性、生理限制與工作相關壓力、專業知識與行為表現等均應該被列入考量。

肆、 建議

- 配合改制運安會，本會調查業務擴展至鐵道、水路及公路模組，為精進調查同仁在航空模組之外人為因素與人因工程專業知能，建議日後多派員參加不同模組人因相關訓練課程。
- 建議派員參加鐵道安全管理系統相關課程，進一步瞭解鐵道營運安全管理系統，以培養鐵道營運安全的專業知識。
- 本課程談及人類可靠度分析，雖在業界多在系統可靠度分析上，但以過去國外與本會鐵道事故調查經驗可知，從人機互動系統之觀點，可讓調查員更瞭解個人作為、局部條件與運具效能之間的關聯，且藉由人類可靠度分析提供之人員犯錯機會之量化數值，應將更客觀、科學化提供調查員思考不同類型之人為錯誤與疏失對於風險之貢獻程度，進一步引導調查員思考後續相關改善建議之擬定。因此，建議未來可派員參加專題訓練並評估建置我國鐵道業人類可靠度數據之可行性，以提升本會鐵道人因調查之品質。

參加德國鐵路學院「鐵道業管理系統」線上課程報告

服 務 機 關：國家運輸安全調查委員會

出 國 人 職 稱：運輸安全組助理研究員

姓 名：李苡星

出 國 人 職 稱：運輸安全組鐵道調查官

姓 名：袁世立

出 國 地 區：臺灣，中華民國（線上訓練課程）

出 國 期 間：民國 110 年 05 月 03 日至 05 月 06 日

報 告 日 期：民國 111 年 02 月 08 日

建議事項：

	建議項目	處理
1	配合改制運安會，本會調查業務擴展至鐵道、水路及公路模組，為精進調查同仁在航空模組之外人為因素與人因工程專業知能，建議日後多派員參加不同模組人因相關訓練課程。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行
2	建議派員同仁參加國內外鐵道安全管理系統相關課程，進一步瞭解鐵道營運安全管理系統，以培養鐵道營運安全的專業知識。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行

3	建議日後可派員參加專題訓練並評估建置我國鐵道業人類可靠度數據之可行性，以提升本會鐵道人因調查之品質。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行
---	--	---