

## 第二章 文獻回顧

本研究主要是針對國內公路危險物品運輸路網與緊急應變路網進行研究，因此文獻回顧方面，首先回顧關於系統安全應用於危險物品運送的評估方法，包括初步危害分析 (PHA)、故障型式影響及嚴重度分析 (FMECA) 風險矩陣與危險性評估、等方法，並且對相關的理論基礎作一完整之回顧；第二部分則回顧公路危險物品運送路網選擇模式；第三部分則對國內、外危險物品運輸緊急應變計畫作檢討分析，並針對以上的文獻回顧綜合研析。

### 2.1 系統安全方法與理論基礎回顧

Kurt Fedra[33]的文章中提到，GIS 在危險物品運送的風險評估與風險管理上可以發揮很大的功用，透過 GIS 系統可以更簡單的瞭解到運送風險的資訊，並且對風險評估與管理的工具系統作一整合介紹。

B. Fabiano et al. [31]探討危險物品在路線選擇和政策決定，以構建一般路網為方向，考慮因素為對於實際頻率的評估必須考慮一些內在因素（例如：隧道、陸橋、彎曲半徑、斜率、周邊環境特性等），或者交通情形（像危險物品貨車等），資料收集範圍以 Highway 為主，透過風險評估、路線特性敏感度分析和曝光量降低風險分析中的不確定性。上述的問題可用下列方程式表示：

$$f_i = \gamma_i L_i n_i \quad (1)$$

$$\gamma_i = \gamma_0 \sum_{j=1}^6 h_j \quad (2)$$

$f_i$ ：道路事故發生之頻率

$\gamma_i$ ：道路延伸的期望機率 ( $km^{-1}/vehicle$ )

$L_i$ ：道路長度 ( $km$ )

$n_i$ ：車輛數 ( $vehicle$ )

$\gamma_0$ ：基本頻率

$h_j$ ：本地增加/減少的參數

依據 scenario S 在  $i$ th 的道路延伸上，意外發生的頻率為：

$$f_{i,s} = \gamma_i L_i n_i P_s P_I \quad (3)$$

$P_s$ ：發展成 scenario S 的機率

$P_I$ ：在意外事故發生時，會有可燃物質起火的機率

死亡事故的累積數目可由下列式子表示：

$$N_s = N_{s1} + N_{s2} \quad (4)$$

$$N_{s1} = \kappa(vA_{L,1}) \quad (5)$$

$$N_{s2} = D(A_{L,2}) \quad (6)$$

$N_s$ ：在 scenario S 中死亡事故的數目

$N_{s1}$ ：死亡數目

$N_{s2}$ ：路外死亡事故數目

$v$ ：道路面積上的車輛密度 ( $vehicle/m^2$ )

$\kappa$ ：平均車輛佔有率因素

$D$ ：人口密度 ( $人/km^2$ )

$A_{L,1}$ ：危險道路面積 ( $m^2$ )

$A_{L,2}$ ：危險面積 ( $km^2$ )

避免過度估計危險道路之總數， $A_{L,i} = A_y + A_j - [A_y \cap A_j]$

郭承瑋[15]建立台鐵站務系統安全管理檢核問卷，藉由專家問卷評估方法，進行安全檢核問卷內容之篩選與修正工作。接著進行安全檢核問卷進行風險評估工作，透過台鐵站務人員之調查，求得各危害因子量化指標，並利用風險矩陣評估與危險性綜合評估方式，評估各危害因子以及整體系統之危險程度。利用系統安全分析方法之 FMECA 方法，針對各危險因子進行事故失效模式、影響及嚴重

度分析。最後藉由焦點團體法與 FMECA 針對風險指數較高之危險因子進行事故發生原因定性分析，藉由定性分析繪製出五項事故之錯誤樹以及事件樹。

李元龍[14]依據事故主客體間的關係將台鐵之事故重新分為五大類：(一)列車出軌或翻覆(二)列車相撞(三)列車與汽機車碰撞(四)列車撞及人(五)個人事故。根據五大類事故樹狀圖擬定各類事故之改善策略並製作專家問卷，透過專家問卷獲得大部分改善策略之成本與效益。在重新估計部分效益及修正時間基礎後，即進行成本效益之計算，並可將各項改善策略以 B/C 之高低排序。然後考量四種不同的安全風險標準之訂定準則，計算出四個不同的台鐵安全風險標準值，納入台鐵現況風險值後可繪出台鐵安全風險評估三角形。

張應輝[16]就安全風險概念及其在台鐵營運安全管理方面之運用作分析，針對台鐵營運安全之特性，將「風險」定義為「台鐵事故發生機率與事故發生後之後果（嚴重程度）的乘積」。另依列車事故 F-N 曲線，對「大型事故」即多死傷事故，進行「社會安全風險指標」之評估。



## 2.2 公路危險物品運送路網選擇之回顧

在過去的文獻中，即有許多針對運輸問題來做探討，例如最短路徑問題、最小擴張樹、中國郵差問題等。截至1970 年代為止，運輸問題多是著重在單目標問題的處理上，此類問題之目標不外乎求總距離最短、總旅行時間最短或建設總成本最少等；直至1970 年開始，紛紛有學者開始將運輸問題以多目標的觀點的探討，如De Neufville and Keeney (1973)、Moore et al.(1978)、Current (1981)以及Current et al.(1982)等。Current 等人於1985 年即開始著手處理一個具有兩個目標的運輸問題，包括針對已知起迄點之路網，求運送之總距離最短，以及對於各個路線，希望滿足最大的總需求，這是兩個相互衝突的目標。因此，其先利用權重法將此二目標

式合而為一來求其權衡曲線，而後再採用定限分枝法來求得整數型的非劣解。

與本研究相關者，主要是在運送過程當中會對一般民眾產生困擾的物品運送，過去的研究著重在有毒性之危險物運送。Jacques F.J. van Steen 在 1987 年便提出一個以決策分析為基礎的方法論，來協助有毒物的運送決策，首先先由過去的經驗加入利潤收益的考量，來定義風險接受準則及可接受風險，而後應用一方法論來協助做路線的選擇決策，此方法論包含四個部分：

(1)判別可行方案：包含確認道路型態、人口數、路況結構以及各種毒物之裝載情形。

(2)計算以得到主要結果：首先計算傷亡數及財物之經濟損失規模，而後再以此來求各可行路線當事故發生時，風險成本之期望值。

(3)分析決策問題：先判別欲決定之問題類型、確認在各種問題中各風險成本值之關係，如此便可求知不同類型的毒物，在運送的過程當中會有何影響。

(4)進行敏感度分析：檢查當風險成本之期望值有所變動，或毒物之分佈、人口密度、意外發生率等投入因素改變時，對最終的結果會有何影響。主要是用來檢視最後做的決定之是否完善。

在這個程序當中，假設事故發生時僅會造成傷亡以及財物上的損失，因此只針對此二項做預測；而此項預測亦僅止於對隧道運送以及一般路線運送做比較，而非求個別之絕對數值。

Wijeratne et al.之三位學者在1993 年時提出，由於不同的關心群體對於相同的路線選擇問題，會因其有不同的價值與準則而有不同的觀點，因

此在作分析及決策之時，就必須要加入各個不同群體的考量。其亦認為在運送的過程中，路段的某些屬性具有一定程度的不確定性，如因毒物外溢而造成意外的機率及運行成本等。因此，對於各可行路線，其採用二階段相互比較的方式，來尋求合適的運送路線。

在台灣地區，洪政煌君[24]亦探討有關低放射性核能廢料運送路線選擇之問題，此問題可以依不同的關心群體追求的目標來找出路線選擇之原則。就託運者與承運者之觀點希望降低運輸成本；就一般社會大眾、運送路線沿線相關居民之觀點，則是希望儘量避免或降低此類廢料的運送，而就政府管制單位之觀點則是考慮運送之安全，意即降低運送風險。

而後再以多目標規劃法求其非劣解並輔以多準則評估模式找出最適之運送路線。由過去的研究中可以發現，運送路線之選擇問題已不再是單純的單目標問題，在選擇路線的過程當中，加入各種不同目標的相互影響才會更符合現實之狀況。

P. Leonelli et al. [35]的研究主要是介紹在危險物品運輸路網選擇時，關於風險評估的一種新方法，為了達到最佳化的效果，必須考慮到路網的節點（node）與節線(arc)，而且每一條節線都要指派其車輛旅行成本和車輛容量限制，節線容量是被拿來在危險物品運送的社會與個人風險量測上做比較，然後定義節線成本必須包括運輸成本與風險相關成本。其最佳化問題主要是考慮起點-終點以最小成本（minimum cost flow problem）。

Erhan Erkut et al. [30]提出三種在危險物品運送路線不同災難的避免模式。第一個模式為，藉由最小化最大的人口曝光量來達到災難避免的目標；第二個模式為，路線結果的變數是被合併到曝光量；第三個模式為，一個清晰明確的函數是被使用。每一個模式都避開運輸網路的高人口地區，而且三個模式都還原成一個標準的最短路徑問題（standard shortest path problem）。

曹至宏[11]認為合理的模式應包含故障樹分析、風險估計與風險評估三程序。故障樹分析主要係對危險物品運輸問題作適當之分類與濃縮問題之規模；風險估計主要在量測或估計各項影響因子而將風險具體化。至於風險評估，乃就風險估計結果再加上決策者之感受與認知，引進決策理論而達成評估之目的。最後，有鑑於問題之非結構化特性，因此評估風險時，考慮事故發生可能性、曝光時間、事故發生後車輛碰撞損失以及事故發生對周遭環境之衝擊程度等因素。

李壬亮[12]主要分為三個部份，第一部份為評估限制危險物品在特定路線的替選策略。研究中提出三項選擇卡車路線的策略，分別題最小行車成本。最小可能肇事率與最小肇事嚴重性。每一種控制策略是反映在安全原則不同的觀點下，所支持的運送型式。第二部分為評估在改變路網上環境影響因子下，每一控制策略的成本與效益，並做敏感度分析。第三部分為並且評估不同的環境影響因子下，每一控制策略的成本與效益，並做敏感度分析。應用其研究所建立的路線選擇模式，可以獲得主要運送路線和安全運送路線。

賴士揚[13]利用模糊理論、AHP 法等為理論基礎以建立評估模式，衡量公路之路段可否運送危險物品，而在構建評估模式時，分別利用隸屬函數的方法，於準則之中提出門檻值的觀念，以建立運送路段可行性等級。而且，亦算出路段可行性之綜合績效指標，作為篩選運送路段之用。最後，並應用於例證以驗證本模式之適用性。研究結果顯示，所求出模式中的每一評估準則對應於路段可行性等級之門檻值後，得以解決公路危險物品運送可行路段判定的問題。

Jianjun Zhang et al. [34]為了設計更安全的網路，減少運輸潛在的負面衝擊利用 GIS 系統進而整合設計一套危險物品風險評估系統。必須估計在路網中每一個路段的潛在風險值以做為路線設計與風險評估之標準，利用高斯擴散模式評估空運危險物在經過人口密集處之風險。應用期望值藉以估計危險物在影響人口危險的處理。從地理資訊系統(GIS)，可以得到路網中在任何節點 (point) 與節線(link)上人口分佈地區的危險估計。

## 2.3 危險物品運輸緊急應變計畫之回顧

Konstantinos G. Zografos et al. [32]利用數學方法發展危險物品緊急應變的決策支援系統 (DSS) 之架構。文中藉由 HAZMATS 的幾項特性點中重點：(1) 多重的利益關係人；(2) 在對於所有緊急應變資源的統一方法，監視與控制中缺乏正式的組織架構；(3) 在參與者間的責任問題缺少清楚的區分和分隔；(4) 動態及時決定。

連振盛[19]利用系統分析法、文獻收集評析法依循危機管理理論及六點理論基礎與五點功能需求，建立出交通管制措施實施之時間區隔設計，與空間區隔設計，再分人、車、路三要素討論所需的交通系統配合防救災工作之各階段主要任務，及其對應之緊急應變管制方案與事前規劃項目；並說明設立交通緊急應變中心之必要性。

張得桂[20]考量核一、二、三廠附近複雜地形效應，建立了一套大氣擴散及劑量評估決策支援系統，配合運用最新之資訊科技，依不同緊急應變情況，整合所需之資料庫，進行大氣擴散及劑量評估展示，提供多層次之即時決策支援與風險分析。而其系統之主要目的為「模擬評估核電廠緊急事故對周圍民眾的影響，並透過 GIS 來協助決策者立即應變適當的民眾輻射防護行動」。主要包含四套子系統：廠周界劑量評估子系統、局部性劑量診斷子系統、區域性劑量預報子系統、及緊急應變查詢子系統。

林玉青[21]結合層級分析法與地理資訊系統，利用其對於決策分析、資訊管理、圖形展示的功能建立一套化學災害應變能力指標，可做為評估救災資源各項設施負荷潛勢之依據。係利用層級分析法構建化學災害應變能力指標之層級架構，並計算出各工廠之化學災害應變能力指標 (Emergency Response Index for the Chemical Accidents, 簡稱 ERI)，並將之分為 A、B、C、D 四個等級，分別顯示不同程度之應變能力，並應用地理資訊系統建立一套化學災害應變資料庫。

Jianguo Sang et al. [36]在複雜地形上為一個核事故的緊急事件回應制定了一個數學模型系統。以香港大亞灣核電廠 (Daya Bay Nuclear Power Plant, NPP) 為分析實例，評價和校準實驗模型一系列並且進行了箱罐實驗。與由那些實驗方面的模型類比和觀察的流動與集中的領域比較。最後討論系統的優點和局限性。

## 2.4 小節

從過去的相關文獻可以發現，過去在危險物品運送的過程或相關法令規章，大多研究都集中在危險物品運送過程的運送風險，對於緊急應變發生的應變措施鮮少描述，而且法令規定對於緊急應變事故處理辦法及準則，都還未有一完善規定，這使的當災害發生時，搶救行動無法做最有效且實際的發揮。在考慮危險運送路網的同時，也必須將災害發生時的緊急應變路網一併規劃，再回顧許多探討公路危險物品運送與緊急應變路網的有關文獻後，發現以往在規劃運送路網時，較少同時考慮兩路網之整合，所以本研究將以整合公路危險物品運送路網與緊急應變路網作為研究主題，並且探討其整合的方法程序，並評估之，且以數例驗證其可行性。