

第五章 大眾運輸系統之容量與績效評估

(資料來源：張有恆，「都市大眾運輸系統與技術」)

第一節 定量性運輸績效之評估

第五章 大眾運輸系統之容量與績效評估

(資料來源：張有恆，「都市大眾運輸系統與技術」)

大眾運輸系統之績效 (Transit System Performance) 是由一群與屬性 (Attributes)、衡量單位 (Measures) 或指標 (Indicators) 等有關之定量 (Quantitative) 和定性 (Qualitative) 的要素所組成。本章所分析的定義的名詞以定量之屬性為主，並介紹一些新觀念和新指標來評估大眾運輸的營運績效。這些名詞在定義上的基本觀念和物理學、工程學或經濟學的定義一致，但有時必須經過適當的修正才能適用於大眾運輸系統之營運和服務績效之評估。

本章大部份篇幅所討論的內容 (第二節至第五節) 都和大眾運輸工具的容量有關——包括路線容量 (Line Capacity) 和生產容量 (Productive Capacity)；而最後才探討其他運輸績效指標：如大眾運輸之運量 (Volume of Transportation)、功 (Work)、生產力 (Productivity)、效率 (Efficiency)、消耗率 (Consumption Rate) 和使用率 (Utilization)，這些指標經常被應用於評估大眾運輸系之服務績效。

第一節 定量性運輸績效之評估

(資料來源：張有恆，「都市大眾運輸系統與技術」)

一、基本屬性 (Basic Attributes)

通常「運輸」可以定義為一組客體 (Objects, u) 在一特定時段內 (Time, t)，移動一個固定距離 (Distance, s) 的過程。而此一客體可為人、物、車輛容量單位 (如座位數或噸數)、車輛數、或數個車廂所組成的列車。富有客體 (Object) 在一路徑或路線被運送時，可以上述三個基本要素 (u, s, t) 來定義運輸服務的基本屬性，其屬性間的關係如下：

$$\text{速度 (Speed)} : v = \frac{\text{距離}(s)}{\text{時間}(t)} ; \quad (8-1a)$$

$$\text{緩慢度 (Slowness)} : v^{-1} = \frac{\text{時間}(t)}{\text{距離}(s)} \quad (8-1b)$$

$$\text{密度 (Density)} : k = \frac{\text{客體}(u)}{\text{距離}(s)} ; \quad (8-2a)$$

$$\text{間距 (Spacing) : } s_s = \frac{\text{距離}(s)}{\text{客體}(u)} \quad (8-2b)$$

$$\text{班次 (Frequency) : } f = \frac{\text{客體}(u)}{\text{時間}(t)} ; \quad (8-3a)$$

$$\text{班距 (Headway) : } h = \frac{\text{時間}(t)}{\text{客體}(u)} \quad (8-3b)$$

上述大部份屬性經常被廣泛地使用於描述大眾運輸系統和其服務方式。例如，以數種不同的速度，像行駛速度 (Running Speed)、營運速度 (Operating Speed) 或商業速度 (Commercial Speed) 等，應用於大眾運輸之排班營運或車輛設計；緩慢度代表通過某一單位距離所需要的時間，但較不常使用；車輛密度經常被用於分析公路交通流量；而旅客之「靜態密度」 (Static Density) 能夠被應用於車輛容量分析 (見第二節之二) 上；間距對分析車輛流量或避免車輛相撞的安全性方面 (如剎車、停車距離) 扮演一個重要的角色；班次及其倒數 (稱為班距)，是排班設計中，最基本的影響因素，此二者同時也是決定車輛容量之重要屬性之一，亦為本章討論的重點。

一般而言，容量 (Capacity) 代表運輸系統在一路線上以最大服務班次所能運送的最多客體數；而在大眾運輸的客體可以為人 (旅客)、旅客總位數 (包括站位和立位)、車輛數、列車數等等。每一單位可生產不同定義的容量 (見第二節)。而通常我們所說的“容量” (Capacity) 為“供給容量” (Offered Capacity)，亦即運輸系統在一小時內通過一路線上某一固定點所能運載的最大旅客數。

二、運輸系統的功和生產力

運輸所作的功 (Transportation Work, w) 是物體移動若干距離的衡量單位。其計算方法為：運輸客體(u)乘以所運送的距離(s)，公式如下：

$$w = u \cdot s \quad (8-4)$$

功是運輸系統產出中最基本衡量單位之一。與容量一樣，運輸系統之功可用數種不同的單位來表示，如延人公里、座位公里、延車或列車公里等。

而每一單位時間所做的功即為生產力 (Productivity)。在描述運輸系統之績效和效率時經常以數種不同觀念的生產力來表示。這些生產力指標，經常被使用於

分析和評估不同運具的績效，分別說明如下：

車輛生產力 (Vehicle Productivity, P_v)：為在運輸工具之服務時段，每一單位時間一部車輛所做的功謂之。一般最常使用的運送客體單位為總位數 (Spaces)，有時亦以旅客數為單位，其計算公式如下：

$$P_v = C_v \cdot V_c$$

P_v	C_v	V_c	(8-5)
總位·公里/車·小時	總位數/車	公里/小時	

其中 V_c 為商業速度 (Commercial speed) 或車輛平均旅行速度，包括在車站或終點站之停留時間 (Standing time)。

路線生產力 (Line Productivity, P_L)：為在一運輸服務路線上所有營運車輛(N)與車輛生產力之乘積謂之。

$$P_L = NP_v = NC_v \cdot V_c$$

P_L	P_v	C_v	V_c	(8-6)
總位·公里/小時	總位·公里/車·小時	總位/車	公里/小時	

生產容量 (Productive Capacity, P_c)：為一大眾運輸路線的容量(C)與營運速度 (V_c) (從一站至另一站之平均旅行速度) 之乘積謂之。

$$P_c = C \cdot V_c$$

P_c	C	V_c	(8-7)
總位·公里/小時	總位/小時	公里/小時	

因為單獨路線容量，並沒有考慮到速度的因素，如此在評定績效時經常會造成不正確的結果，所以生產容量的觀念是非常重要的：因為其加入了路線容量 (為大眾營運者所關心之產品數量) 和速度 (旅客所關心的服務品質)。

到目前為止，吾人所定義的大眾運輸績效指標和觀念，如圖 8- 1 所示，六個基本屬性以橢圓形表示，至於和生產力的指標，示於長方形方塊中，而車輛和路線生產力並不分開表示，因為有相同的基本單位。

三、運輸系統之效率和生產力

運輸過程之效率 (efficiency) 可由許多不同運輸產出數量對在生產過程中資源投入數量之比率來表示，即：

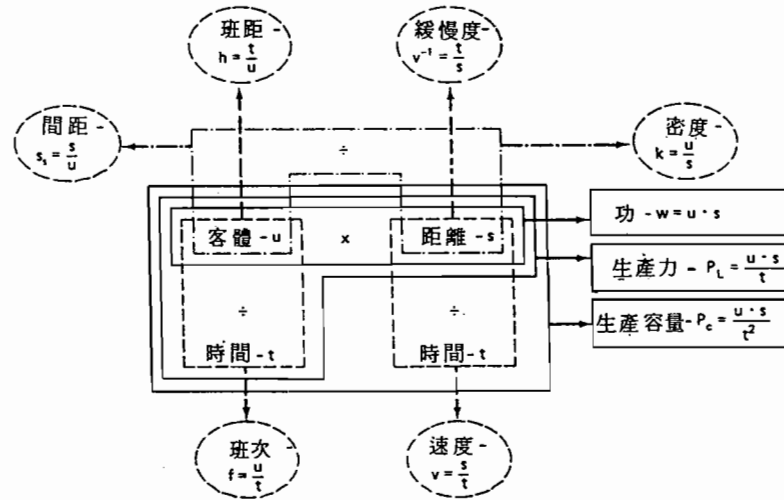


圖 8-1 基本運輸系統績效屬性及指標的相互關係 (資料來源：〔10〕)

$$\text{效率比} = \frac{\text{產出之數量}}{\text{資源投入之數量}}$$

因為大眾運輸系統的產出有許多不同的單位 (如延車 - 公里, 延人 - 公里) 且亦有許多不同的資源投入 (如金錢、勞工人數、能源等投入), 因此就有許多不同的效率指標。事實上, 假如廣義而言, 時間亦可視為一種基本資源, 所以一切以時間來衡量的服務績效都為一種生產比率 (Rates of production) 或效率 (Efficiencies)。例如, 速度可定義為客體移動的時間效率 (Time Efficiency of Movement); 容量可以定義為生產過程的時間效率, (Time Efficiency of "Processing"); 生產力更複雜的觀念亦可以作功的時間效率 (Time Efficiencies of Work output) 來表示。

然而, 最常用的效率指標常與下述之投入資源有關, 例如: 成本、人力、能源、路權寬度和大眾運輸基本設施所佔用的面積等。在這些資源中, 生產力這個名詞經常被廣泛使用, 因為其和效率有時可以通用; 而這二名詞定義上最常重疊的部份, 在於以人力投入資源有關的名詞定義。運輸產出單位如: 每日旅客數、旅客公里數或延車公里數相對於勞工人數或工作延人小時數所得的比率值, 常被定義為勞工生產力。但廣義而言, 可視為勞工效率。但相對於其他資源, 例如能量或所

佔都市面積所生產的比值，就被定義為效率，而不被定義為生產力。因為上述名詞定義混淆使用的現象，所以吾人在使用這些名詞時，必須予以明確定義。

四、消耗率和使用率之定義

消耗率 (Consumption rate) 是在生產過程中所使用特定資源的數量，對所生產的產品數量之比率；消耗率為效率的倒數，即

$$\text{消耗率} = \frac{\text{所使用資源數量}}{\text{所生產產品總數}} = \frac{1}{\text{效率}}$$

例如，緩慢度 (代表物體在移動過程中時間的消耗率) 是速度 (移動的時間效率) 的倒數。消耗率在大眾運輸中經常用來計算資源使用的效率，尤其是用在不同種類之成本、勞工和能源消耗上。

使用率 (utilization) 與效率 (efficiency) 非常相似，均為運輸過程中產出對投入之比值，然而使用率為相同或相似產出單位的比值。因之，使用率通常為無名數 (dimensionless) (如：百分比，係數 ≤ 1) 或很相近的單位。例如，使用總位數 / 總供給位數可以百分比或係數來表達 (即，如使用率為 75% 或乘載率為 0.75 等)，而相似單位的比率值，如所乘載旅客數 / 所提供總位數，其單位為人數 / 位數。

而一些基本資源和產出衡量單位及使用率、消耗率和使用率指標可見表 8-1，而詳細說明見第六節。

表 8-1 常見的大眾運輸系統產出、資源和績效之衡量單位^a

產出之衡量單位	資源衡量單位	效率(生產力)指標	消耗率	使用率指標
<u>客體或單位</u>	<u>成本</u>	總位-公里/小時	呎小時/車-公里	車-小時/車/天
人數	\$ _i -投資成本	車-公里/車/年	營運人員/車-公里	營運車輛/總車輛數
座位數	\$ _o -營運成本	人/車-公里	\$ _o /人	人/總位
總位數	<u>人力(員工數)</u>	人/車/年	\$ _o /人-公里	人-公里/位-公里
車輛數	營運人員	位-公里/路線公里/年	\$ _o /位-公里	營運人員/總員工數
列車數	管理人員	人-公里/車/年	\$ _o /車-公里	
	維修人員	車-公里/員工/年	車/路網長度	
<u>功</u>	<u>時間</u>	車-公里/呎小時	位-公里/人-公里	
延人-公里	小時	位-公里/呎小時	路權寬度/位/小時	
總位-公里	天	人-公里/呎小時		
延車-公里	年	位-公里/天/\$ _i		
<u>容量</u>	<u>空間</u>	人-公里/\$ _o		
人/小時	車輛長度	人/車輛面積		
總位數/小時	車輛面積	位/小時/路權寬度		
車輛/小時	路權寬度	\$ _i /人		
	車輛所佔面積	\$ _i /車-公里		
<u>生產力</u>	<u>設備</u>			
延人-公里/年	車隊容量			
延位-公里/年	車隊大小			
延車-公里/年	路線數量			
	網路長度			
<u>生產效率</u>	<u>能源</u>			
總位-公里/小時 ²	呎小時數(車輛推進)			
	呎小時數(整個系統)			

(註) a: \$_i = 投資成本, \$_o = 營運成本; \$_r = 收入。