

公路幾何設計之 設計控制與視距

Introduction

■ 公路幾何設計(Geometric Design)

- ❖ 指公路可見部分之設計或分配
- ❖ 如平面線形、縱斷線型、橫斷面、交叉路口、淨空
- ❖ 目的在提供安全、經濟、有效的公路系統

■ 公路之設計控制

- ❖ 具體影響公路設計之因素（接下來談）

■ 視距 (Sight Distance)

- ❖ 駕駛人沿著公路前方所能見到之距離
- ❖ 長短對公路行車之安全與效用影響甚鉅
- ❖ 分為停車視距與超車視距

設計控制與標準

- 設計控制與標準(Design Controls and Criteria)
 - ❖ 地形、人為環境 ← 上一章
 - ❖ 交通特性、速率
 - ❖ 用路人特性
 - ❖ 公路容量、服務水準
 - ❖ 設計車型
 - ❖ 建設成本、可用資金、安全考量與環境考量等

交通特性

- 影響公路設計之主要交通因素包括
 - ❖ 平均每日交通量
 - ❖ 尖峰小時交通量
 - ❖ 方向分佈
 - ❖ 交通組成
- 交通特性直接影響公路之寬度、線形及坡度等之設計

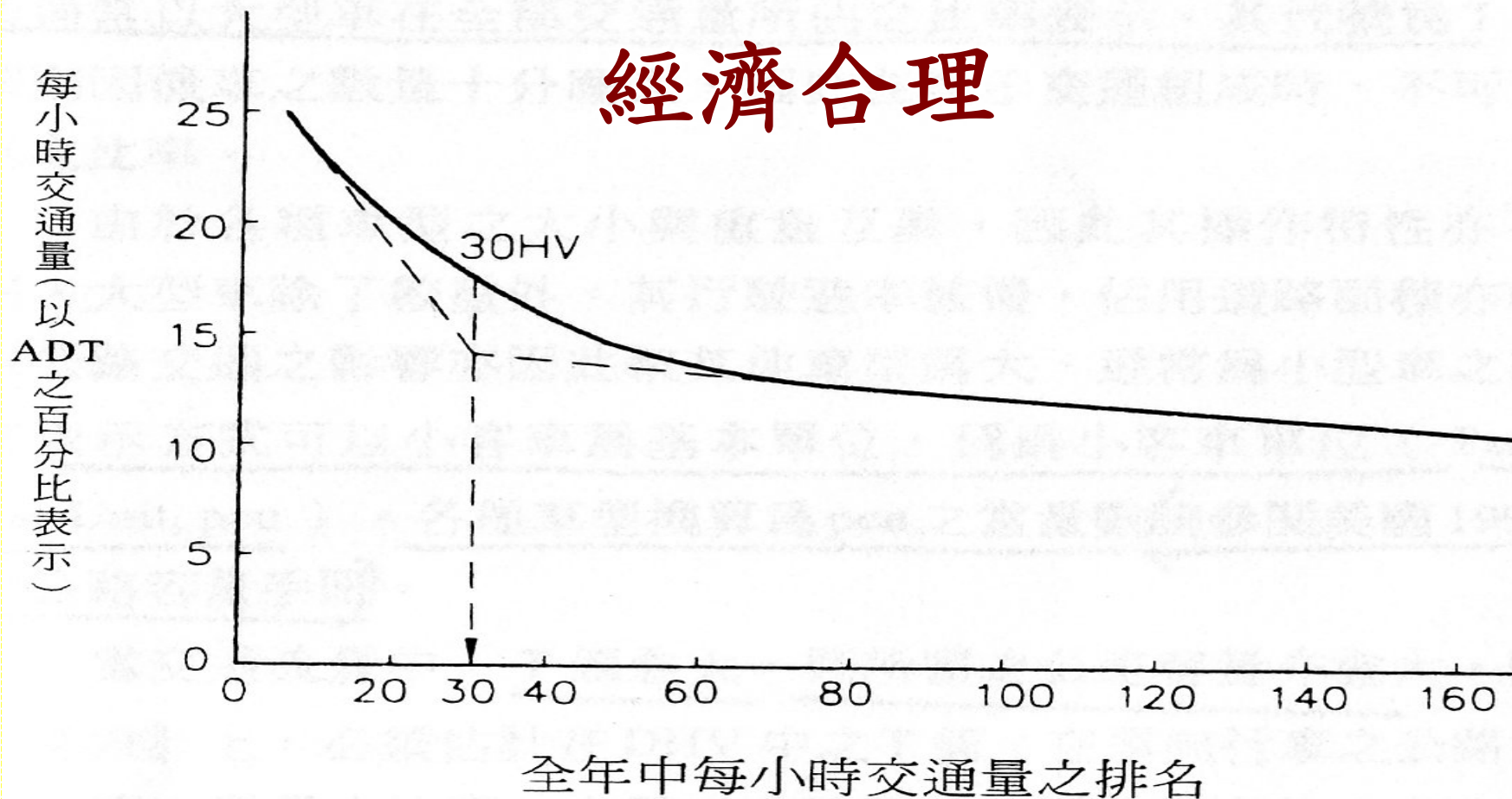
平均每日交通量 (Average Daily Traffic, ADT)

- 全年之總交通量除以365所得之值
- 可用以估算公路每年之使用交通量，以決定其投資之經濟效益
- 不適宜作為公路幾何設計之依據

尖峰小時交通量 (Peak-Hour Traffic)

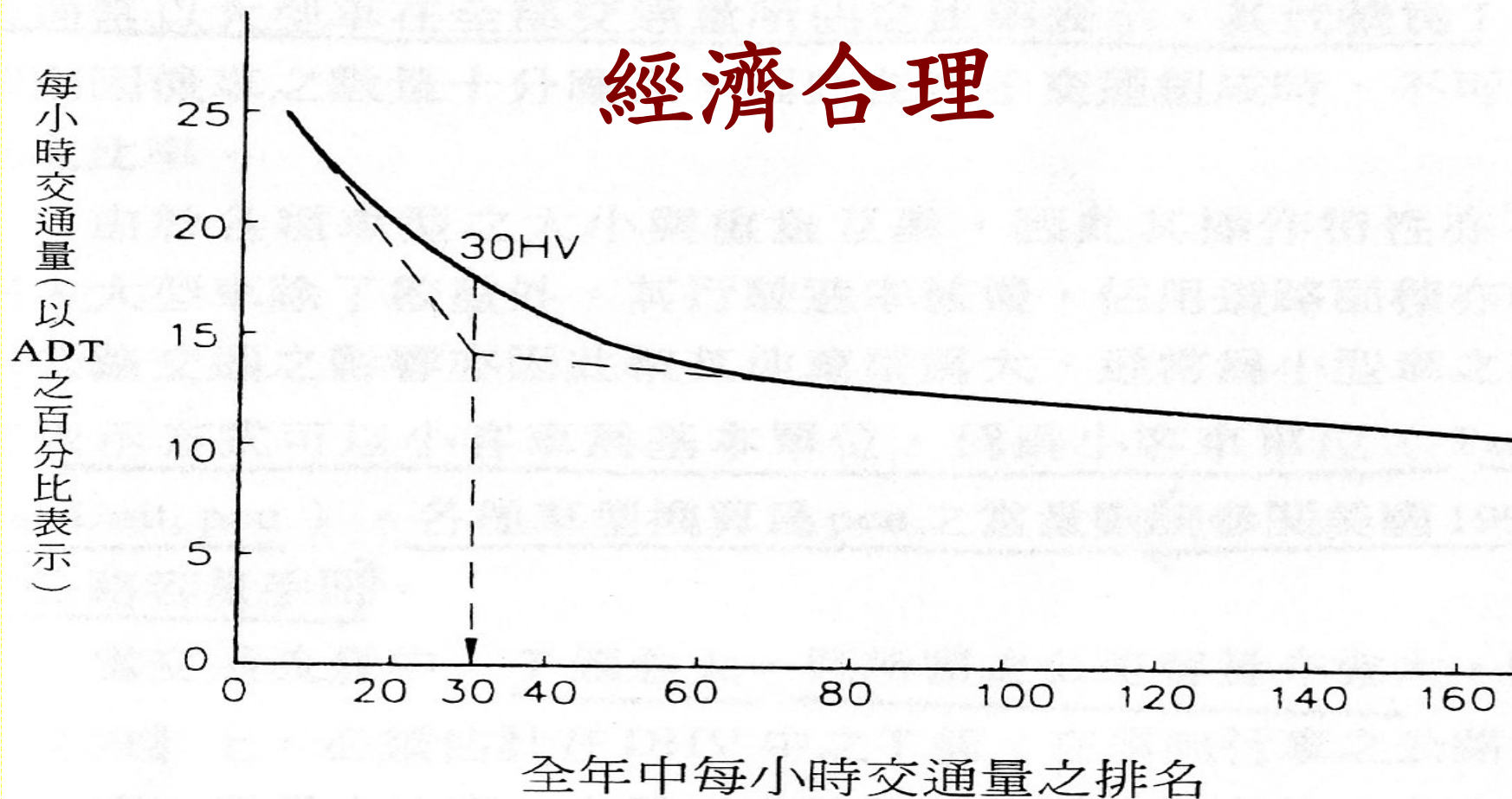
- 為了能服務公路上大部分時間之交通需求，設計交通量應以經常重複出現之交通尖峰期間之數量為依據
- 尖峰期間則以1小時為適當且符合實際作業的單位
- 設計小時交通量 (Design Hourly Volume, DHV)
 - ❖ 原則: 太高→全年中僅有極少的時間可使公路作充分使用
太低→公路上經常出現交通擁擠
 - ❖ AASHTO 建議公路之設計交通量以全年中第30最高小時交通量(30HV)最為適宜，其理由為經濟合理、易於估算

經濟合理



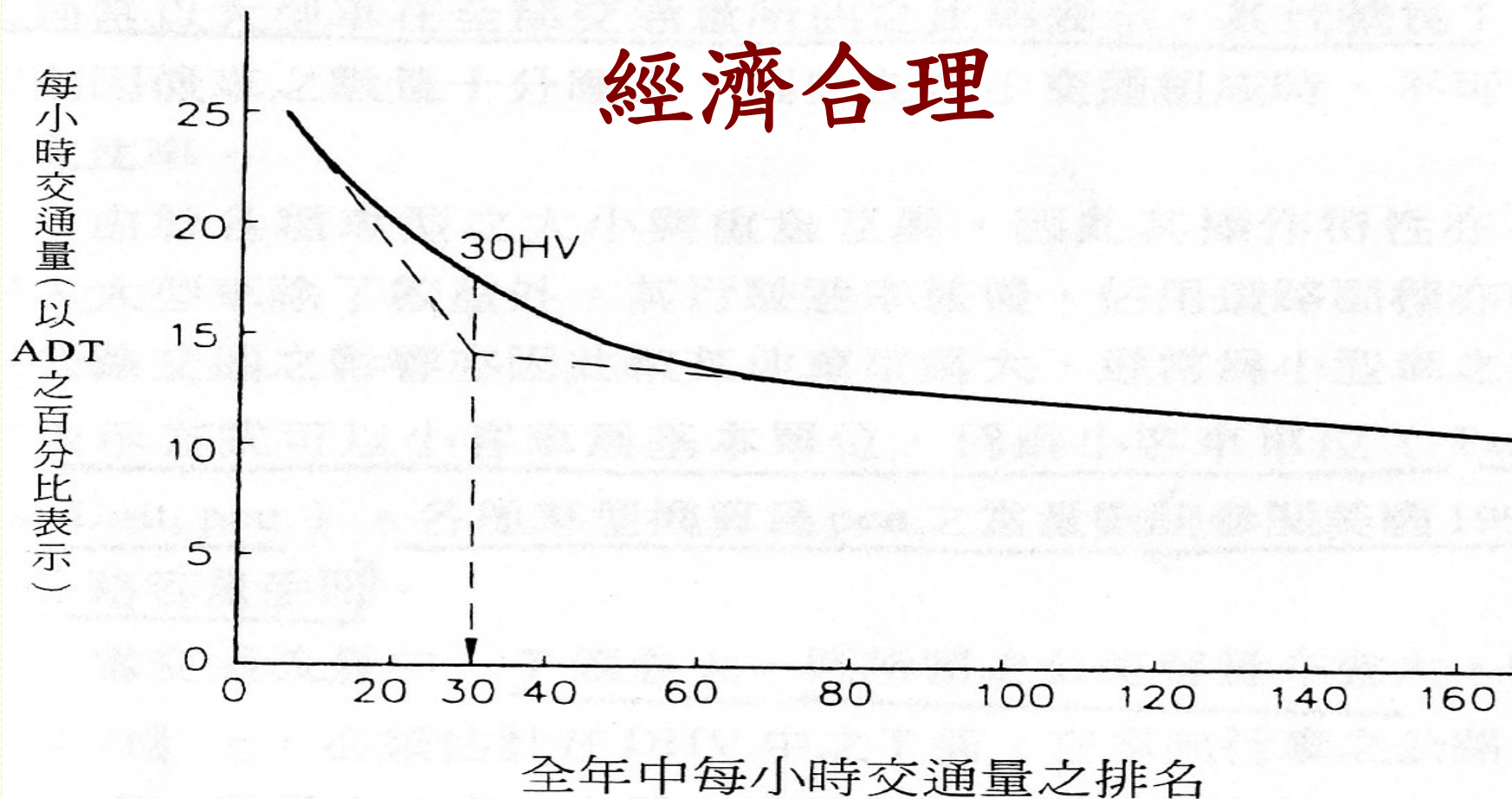
- 若設計交通量往左移動
 - ❖ 所能再紓解的尖峰時數有限
 - ❖ 但交通量卻提高甚多 → 建設經費大幅增加

經濟合理



- 若設計交通量往右移動
 - ❖ 交通量的降低有限
 - ❖ 但相對產生甚多時間的交通擁擠問題

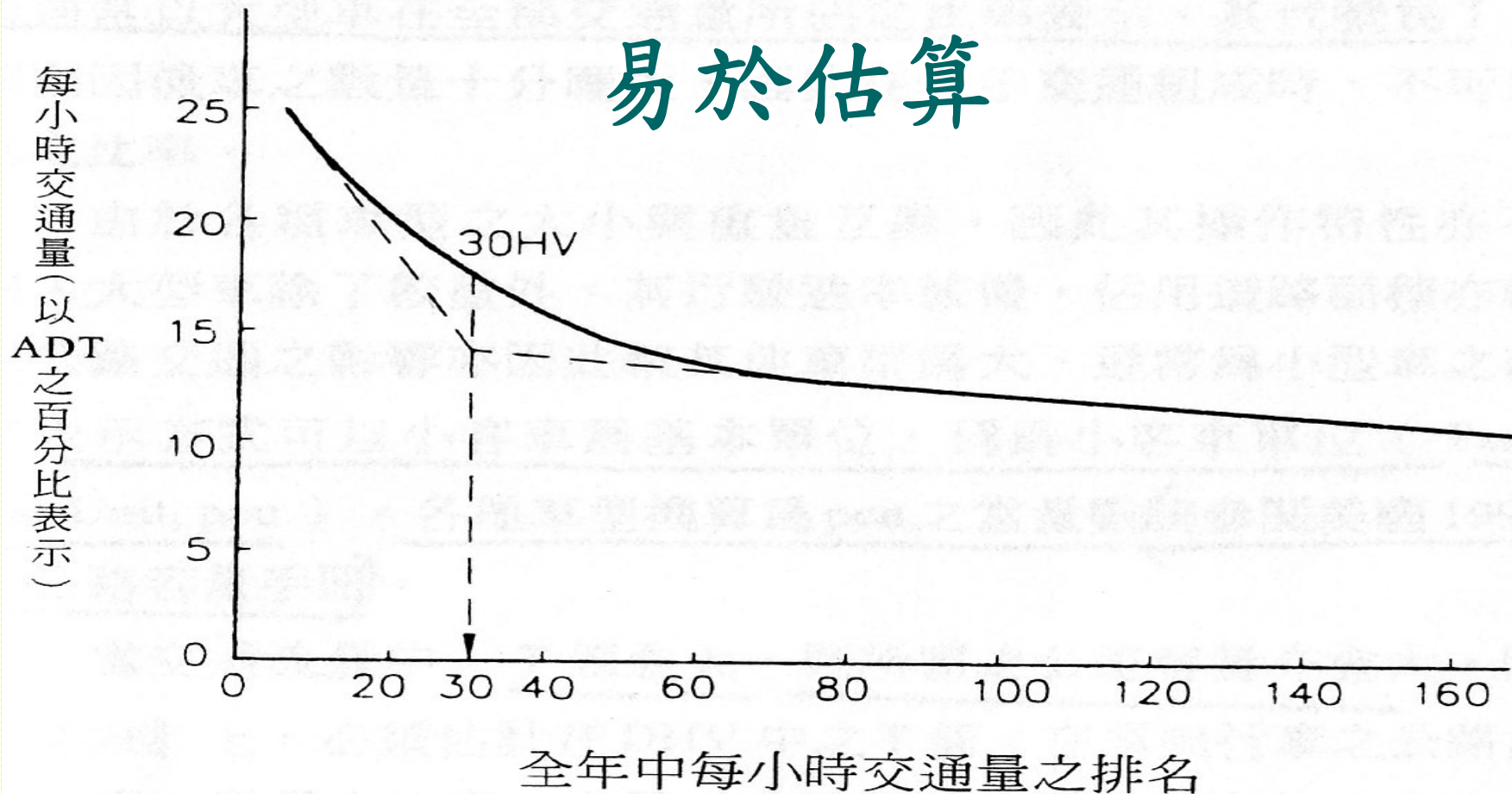
經濟合理



■ 在此設計交通量下

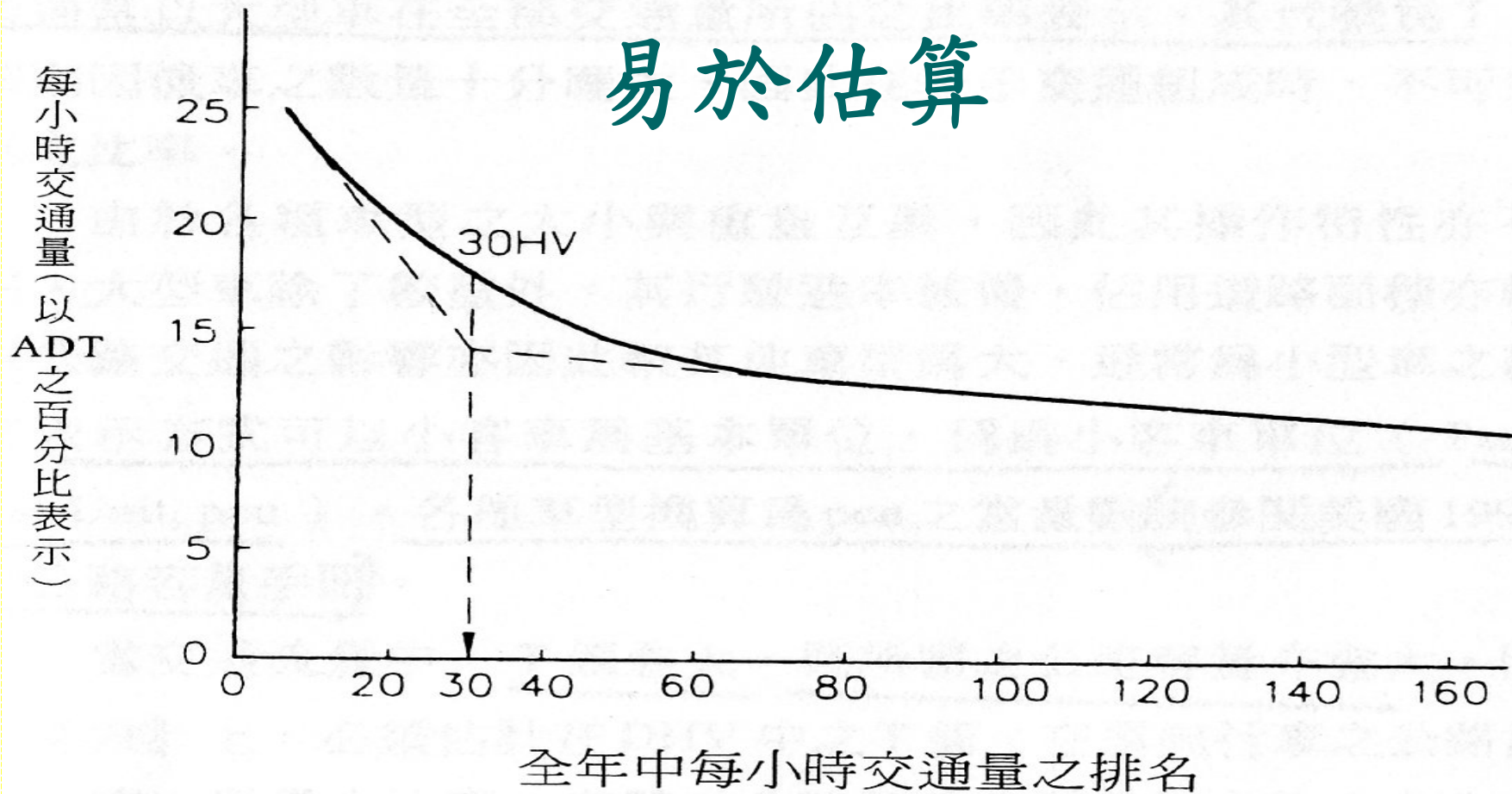
- ❖ 每年公路上所產生交通擁擠的時間為**29個小時**
- ❖ 約佔全年時間之**0.33%**

易於估算



- 同一地區的類似公路，30HV與ADT之比值(稱為K值)幾乎每年固定不變
 - ❖ 可利用運輸規劃結果所得之ADT，乘以目前的K值而得

易於估算



■ 美國的統計資料

- ❖ 鄉間道路K值約為12~18%
- ❖ 郊區道路為10~15%
- ❖ 市區街道則為8~12%

設計小時交通量 (Design Hourly Volume, DHV)

- 若為具有季節性交通量變化的觀光遊憩公路
 - ❖ 全年可能有很多個小時超出30HV甚多→曲線較陡
 - ❖ 若其擁擠程度不能為駕駛人所忍受，則必須進行實地交通量調查與分析，以決定一適宜的DHV
- 都市
 - ❖ 每個平常日的上、下午皆各有一次重複性的交通尖峰流量產生，因此全年的第30最高小時交通量與第200最高小時交通量並無明顯的差距
 - ❖ 都市之DHV值可設定為全年中每週下午尖峰小時的交通量的平均值

方向分佈

(Directional Distribution, D)

- 在雙向行車的公路上
 - ❖ 交通量較大的方向佔兩方向總交通量之比率
- D值用以決定公路上兩方向車道數之分配
 - ❖ 某一公路之DHV為5,000 vph(輛/小時)，D為70%
 - ❖ 又設公路之設計標準採每車道1,000vph
 - ❖ 則在交通量為3,500vph的方向應有4車道，另一方向則為2車道
 - ❖ 若此一公路之D值在上、下午尖峰之不同方向皆為70%，則每一方向均應有4車道

交通組成(Traffic Composition, T)

- 交通組成通常以大型車在全部交通量所佔之比率表示，其代號為T
- 小客車單位(Passenger Car Unit, pcu)
- T值愈大，則所需之公路容量亦愈大

速率

■ 可運行速率(Operating Speed)

- ❖ 係指當氣候良好時，在一般的交通狀況下，駕駛人在公路上可行駛之最高速率，惟此最高速並未超過每一段公路之安全速率(即設計速率)

■ 設計速率(Design Speed)

- ❖ 公路上情況良好時，車輛所能維持之最大安全速率，此一速率應配合自然地形、兩旁土地使用即公路型式而決定

■ 行車速率(Running Speed)

- ❖ 車輛在公路某一特定路段之實際速率，可由行車距離除以行車時間得之，其值為公路服務水準的主要評估因子之一

設計速率 (Design Speed)

- 公路的各部份均應以設計速率為依據設計
 - ❖ 例如曲線之曲率、彎道路面外側之超高、視距、路面與路肩之寬度、淨空之大小等之設計均與設計速率直接相關
 - ❖ 設計速率之選擇應與駕駛人的期望速率一致
 - ❖ 設計速率之選用範圍，由高而低大體在120kph至30kph之間(AASHTO則訂為70~20mph)
 - ❖ 全線採用同一設計速率則最為理想

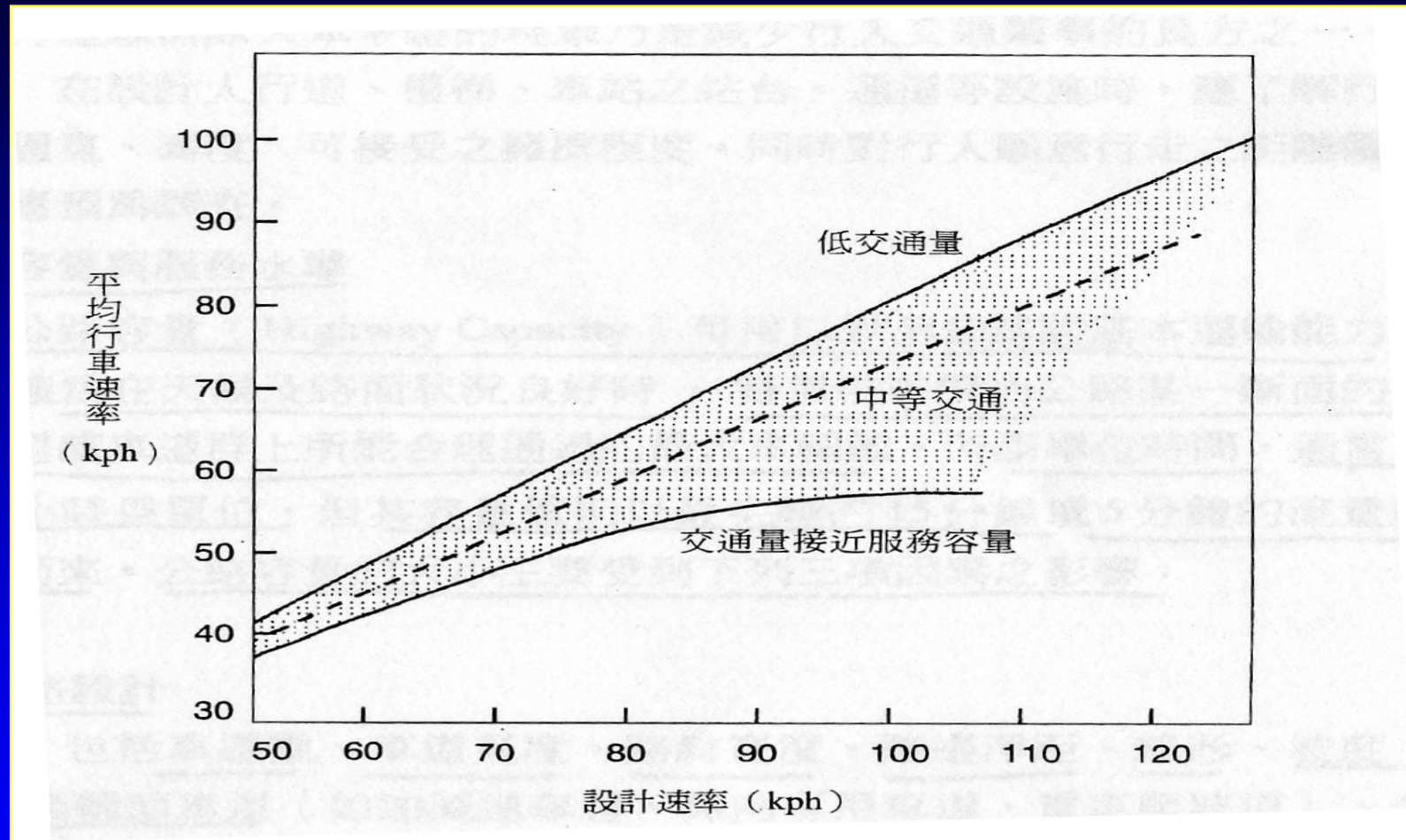


圖1平均行車速率與設計速率、交通量之關係曲線圖

用路人特性

■ 車輛駕駛人

- ❖ 在公路幾何設計、交通控制設施之設計與裝置，均應特別考慮駕駛人的**認識與煞車反應時間**
- ❖ **認識時間(Perception Time)**：駕駛人自看見前方路上出現狀況，認知其有害行車並決定採取因應行動之時間過程
- ❖ **煞車反應時間(Brake Reaction Time)**：自駕駛人決定煞車，採取實際行動，至煞車器(Brake)生效之時間
- ❖ **認識時間**，其平均值在50kph之速率時約為**2sec**，在110kph時為**1sec**；**煞車時間**之平均值為**0.5sec**

用路人特性

■ 行人

- ❖ 行人交通設施亦為公路設計的一部分
- ❖ 人行道
- ❖ 交叉口人行穿越道
- ❖ 交通控制設施
- ❖ 車站之站台
- ❖ 通道等之設計
- ❖ 均應考慮行人之體能及行為特性

公路容量(Highway Capacity)

- 表示公路的基本運輸能力，為在天候及路面狀況良好時，每單位時間內公路某一斷面的每一車道或車道群上所能合理通過的最大車輛數
- 單位時間：通常以1小時為單位，容量值為最尖峰的15分鐘或5分鐘的流量所放大而來
- 主要受到下列三項因素之影響
 - ❖ 公路設計：車道數、車道寬度、路肩寬度、路邊淨距、線形、坡度、有無輔助車道、公路所在的地區
 - ❖ 交通特性：交通組成、車流在各車道分佈、流量變化、車流干擾(交叉口、路邊停車)
 - ❖ 交通控制措施：標線、標誌、號誌

服務水準 (Level of Service, LOS)

- 美國的HCM將公路的LOS由高而低依序分為A至F共六個等級
 - ❖ A級：自由車流。個別車輛不受其他車輛之影響，可自由地選擇其速率及駕駛方式。本級對駕駛人最舒適和方便
 - ❖ B級：穩定車流。個別車輛開始受到其他車輛影響，其選擇速率及駕駛方式的自由程度較A級稍差，已開始逐漸喪失自主性
 - ❖ C級：穩定車流。個別車輛明顯受到其他車輛影響，必須小心謹慎地選擇速率及駕駛方式，舒適及方便性已顯著下降

- **D級：高密度且穩定的車流。** 速率及駕駛方式受其他車輛限制，駕駛人感受到不舒適及不方便。交通量的少量增加，就會產生操作運行上的困難。
- **E級：為接近容量之流量。** 速率降至某一較低的均勻值，駕駛方式受車隊控制，幾乎無法變換車道，無舒適性及方便性可言，駕駛人有高度的挫折感。此時車流存有高度的不穩定性，少量的車流增量將會造成整個車流的癱瘓。
- **F級：強迫性車流。** 流量的需求大於公路容量，等候車隊出現在此區之前，車隊可能在合理速率下前進百餘公尺後突然停止。本級已無舒適性及方便性可言，駕駛人有不安及焦躁的情緒出現。

表 1 (a) 服務水準主要評估項目表

交通設施名稱	衡量項目
高速公路 基本路段 匝道 交織區段	密度 流率 平均行駛速率
一般郊區公路 多車道郊區公路 雙車道郊區公路	密度 延滯時間百分比、 平均行駛速率
市區街道 號誌化交叉路口 非號誌化交叉路口 市區幹道 公車設施 行人交通設施	平均每車延滯 容量 平均行駛速率 承載因子 空間

表 1 (b) 高速公路基本路斷服務水準評估表

服務水準等級	平均行駛速率 (kph)	密度 (pcu/km/ln)	V/C	最大服務流率 (pcu/hr/ln)
A	$\mu > 85$	$k < 10$	~ 0.35	850
B	$85 \geq \mu > 72$	$10 \leq k < 18$	$0.35 \sim 0.54$	1,300
C	$72 \geq \mu > 60$	$18 \leq k < 31$	$0.54 \sim 0.77$	1,850
D	$60 \geq \mu > 51$	$31 \leq k < 43$	$0.77 \sim 0.93$	2,200
E	$51 \geq \mu > 46$	$43 \leq k < 52$	$0.93 \sim 1.00$	2,400
F	$\mu \leq 46$	$k \geq 52$	—	—

(資料來源：[3])

設計車型 (Design Vehicle)

- 各車型之比率亦為公路幾何設計之主要控制
- 設計車型係被選作公路設計依據之車型，其重量、尺寸、輪距、軸距、最小轉彎半徑 (Minimum Turning Radius) 等應較絕大多數同類型車輛為大，以符合實際需要
- 表 8-3 為 **AASHTO** 所訂定之主要設計車型的尺寸表，其中最大尺寸的車型乃用於設計高速公路

Static Characteristics

- **AASHTO provided 10 different vehicle classifications for design purpose**
 - ❖ Passenger car, P (小型車)
 - ❖ Single-unit truck, SU (單輛貨車)
 - ❖ Single-unit bus, BUS (單輛公車)
 - ❖ **Articulated bus, A-BUS (雙節公車)**
 - ❖ Intermediate semitrailer, WB-40 (半拖車)
 - ❖ Large semitrailer, WB-50 (大型半拖車)
 - ❖ Double-bottom semitrailer-full trailer, WB-60 (全拖車)
 - ❖ **Motor home, MH**
 - ❖ **Car and camper trailer, P/T**
 - ❖ **Car and boat trailer, P/B**

設計車型	小型車	單輛貨車	單輛公車
代號	P	SU	BUS
長度	5.8 m (19')	9.1 m (30')	12.2 m (40')
寬度	2.1 m (7')	2.6 m (8.5')	2.6 m (8.5')
高度	1.3 m (4.25')	4.1 m (13.5')	4.1 m (13.5')
前端懸伸	0.9 m (3')	1.2 m (4')	2.1 m (7')
後端懸伸	1.5 m (5')	1.8 m (6')	2.4 m (8')
軸距	3.4 m (11')	6.1 m (20')	7.6 m (25')
外前輪最小轉彎半徑(r1)	7.3 m	12.8 m	12.8 m
內後輪最小轉彎半徑(r2)	4.7 m	8.7 m	7.1 m

設計車型	半拖車	大型半拖車	全拖車
代號	WB-40	WB-50	WB-60
長度	15.2 m (50')	16.8 m (55')	19.8 m (65')
寬度	2.6 m (8.5')	2.6 m (8.5')	2.6 m (8.5')
高度	4.1 m (13.5')	4.1 m (13.5')	4.1 m (13.5')
前端懸伸	1.2 m (4')	0.9 m (3')	0.6 m (2')
後端懸伸	1.8 m (6')	0.6 m (2')	0.9 m (3')
軸距	(4.0+8.2) m (13+27)'	(6.1+9.1) m (20+30)'	(3.0+6.1+6.4)m (9.7+20+20.9)'
r1	12.2 m	13.7 m	13.7 m
r2	6.1 m	6.0 m	6.9 m

Static Characteristics

- **Based on the size of “design vehicle” to determine**
 - ❖ Lane width
 - ❖ Shoulder width
 - ❖ Length and width of parking bays
 - ❖ Lengths of vertical curves
- **The axle weights of “design vehicle” will influence**
 - ❖ Pavement depth
 - ❖ Maximum grades

表 3 各類設計車型之尺寸表

表 8-3 各類設計車型之尺寸表

(單位：m)

設計車型	代號	長度	寬度	高度	前端懸伸	後端懸伸	軸距
小客車	P	5.8	2.1	1.3	0.9	1.5	3.4
貨車	SU	9.1	2.6	4.1	1.2	1.8	6.1
大客車	BUS	12.2	2.6	4.1	2.1	2.4	7.6
雙節公車	A-BUS	18.3	2.6	3.2	2.6	2.9	5.5
半聯結車	WB-12	15.2	2.6	4.1	1.2	1.8	4.0
大型半聯結車	WB-15	16.8	2.6	4.1	0.9	0.6	6.1+8.2
全聯結車	WB-18	19.8	2.6	4.1	0.6	0.9	3.0+9.1

(資料來源：[14])

設計車型(Design Vehicle)

- 車輛長度與公路設計並無直接關係，而是形成長度之**軸距(Wheelbase)**與**懸伸長度(Overhang)**兩項影響公路設計
- 車輛的軸距不同，所需之**轉彎半徑**亦不同，其內後輪在低速轉向時之**離軌(Offtracking)**距離亦互異；懸伸長度為車體懸出軸外之長度，亦與**轉彎時車輛所佔面積**有關
- 表8-4為**AASHTO**所訂定各類設計車型之轉彎半徑表，圖8-3至8-5則為P、SU及WB-12三種設計車型之轉向路徑圖

表 4 各類設計車型之轉彎半徑表

表 8-4 各類設計車型之轉彎半徑表

(單位：m)

設計車型	代 號	外前輪最小 轉彎半徑	內後輪最小 轉彎半徑
小 客 車	P	7.3	4.7
貨 車	SU	12.8	8.7
大 客 車	BUS	12.8	7.1
雙節公車	A-BUS	11.6	6.4
半聯結車	WB-12	12.2	6.1
大型半聯結車	WB-15	13.7	6.0
全聯結車	WB-18	13.7	6.9

(資料來源：[14])

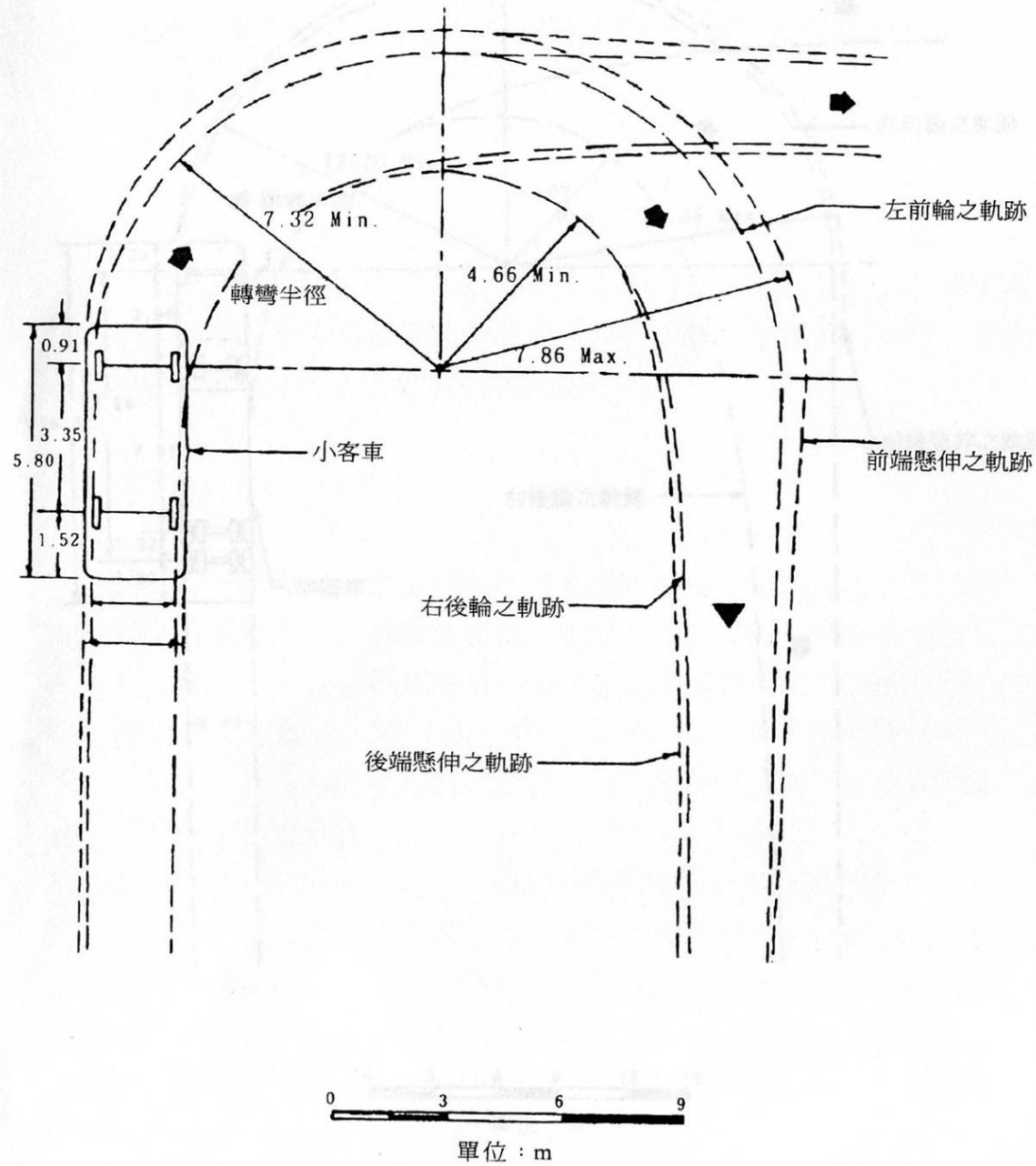


圖 3 P型車輛之轉彎路徑圖

- **AASHTO**規定，凡是多車道公路或設計速率較高之雙向雙車道公路，其車道寬度以**3.65m(12ft)**為標準；若為設計速率與交通量均低之雙向雙車道公路，其路面總寬度最小為**6.1m**。
- **淨距(Clearance)**
 - ❖ 橋樑、隧道保持至少**0.5 m**以上淨距

7.安全考量

- 根據研究資料，交通肇事的主要原因為人為疏忽及車輛保養不良居多，但與公路的設計仍有密切的關聯。
 - ❖ 中央分向島
 - ❖ 曲線或坡道上
 - ❖ 路肩的寬度

8.環境考量

環境系統包括人類、動物、植物以及所有對此三者發生影響之成份，亦即涵蓋自然的、人為的、以及社會的變數。

設計要件

- 各項控制中，並非完全彼此獨立
- 當設計速率確定，則公路的各部分即須配合設計車型及用路人特性而設計
- 綜括而言，影響公路設計之主要控制為
 - ❖ 交通量
 - ❖ 設計速率
 - ❖ 設計車型之特性
 - ❖ 各型車輛之比率

視距

- 視距(**Sight Distance**)為車輛駕駛人沿著公路前方所能看見的距離，其長短影響公路行車安全及運作效率極大
- 目的：
 - ❖ 避免撞及公路上突然出現的障礙物
 - ❖ 供車輛利用對向車道進行超車
- **停車視距(Stopping Sight Distance, SSD)**
- **超車視距(Passing Sight Distance, PSD)**

停車視距(Stopping Sight Distance)

- 公路全線的每一點均應使駕駛人能有足夠的視距，使其由設計速率的行駛狀態中，安全地煞停於路線的障礙物之前，此一距離稱為最短停車視距(Minimum Stopping sight Distance)
 - 如果條件許可，則視距愈長愈佳
- 停車視距為兩段距離之和
 - ❖ 自駕駛人望見障礙物、判斷應煞車、至煞車器生效之過程所行駛之距離
 - ❖ 自煞車器生效置車輛完全停止之距離

1. 自望見障礙物至煞車器生效之距離

認識與煞車反應時間(Perception and Break Reaction Time)乘行車速率，可稱為認識與煞車反應距離。AASHTO建議在設計時，認識與煞車反應時間設定為2.5sec。

- $d_p = vt = 0.278Vt$
- 式中， d_p 為認識與煞車反應距離，m
t 為認識與煞車反應時間，sec
v 為行駛速率，m/sec
V 為行駛速率，kph

- 2.煞車距離

- 煞車距離可依能量不變定律求得。

$$\frac{1}{2} \frac{Wv^2}{g} = Wf \times d_b \quad (2)$$

$$\therefore d_b = \frac{v^2}{2gf} = \frac{V^2}{254f} \quad (3)$$

- 式中，W為車輛重量

v 為車輛開始煞車時之初速率，m/sec

V 為車輛開始煞車時之初速率，Km/hour

g 為重力加速率，g=9.81m/sec²

d_b 為煞車距離，m

f 為輪胎與與路面之摩擦係數

- 為了安全考慮，摩擦係數之值不可採用平均值，而應能涵蓋各種條件不佳之狀況，依據AASHTO之建議，採用潮濕路面之摩擦係數即可達到此目的，其數值列於表5中。

■ 表5 各設計速率下之停車視距表(平坡、潮濕路面)

設計速率 (kph)	假設行車 速率 (kph)	認識與煞車反應		摩擦係數 f	煞車距離 (m)	停 車 距 離	
		時間 (sec)	距 離 (m)			計算值 (m)	設計值 (m)
30	30	2.5	20.8	0.40	8.9	29.7	40
40	38~ 40	2.5	26.4~27.8	0.38	15.0~ 16.6	41.4~ 44.4	45
50	45~ 50	2.5	31.3~34.7	0.36	22.2~ 27.3	53.5~ 62.0	55~ 65
60	52~ 60	2.5	36.1~41.7	0.34	31.3~ 41.9	67.4~ 83.6	70~ 85
70	56~ 70	2.5	38.9~48.6	0.31	39.8~ 62.2	78.7~110.8	80~115
80	70~ 80	2.5	48.6~55.9	0.30	62.2~ 84.7	110.8~140.6	115~145
100	84~100	2.5	58.6~69.5	0.29	95.8~135.8	154.4~205.3	160~210
120	94~120	2.5	65.3~83.4	0.28	124.2~202.5	189.5~285.9	190~290

- 可得停車視距(D)之公式如下：

$$\begin{aligned} D &= d_p + d_b \\ &= 0.278Vt + \frac{V^2}{254f} \end{aligned} \quad (4)$$

- 若在坡道上，則其煞車距離可依下式計算：

$$d_b = \frac{V^2}{254(f \pm G)} \quad (5)$$

式中，**G**為坡度，以百分比表示，上坡取正號，下坡取負號。其餘符號之定義同(3式)

Stopping Sight Distance

- **Example:** Determine the minimum stopping sight distance on a -3.5% grade at a design speed of 110 km/h

$$SSD = d_p + d_b$$

$$d_p = 76.39 \text{ m}$$

$$d_b = 194.44 \text{ m}$$

$$SSD = 270.89 \text{ m}$$

超車視距(Passing Sight Distance)

基於大多數駕駛人的行為而設定以下假設：

1. 被超車輛均以一速率行駛。
2. 將進入超車路段時，超車車輛之速率與被超車輛相同，並尾隨其後。
3. 駕駛人須有一短暫時間以認清前方超車路段，並決定要進行超車。

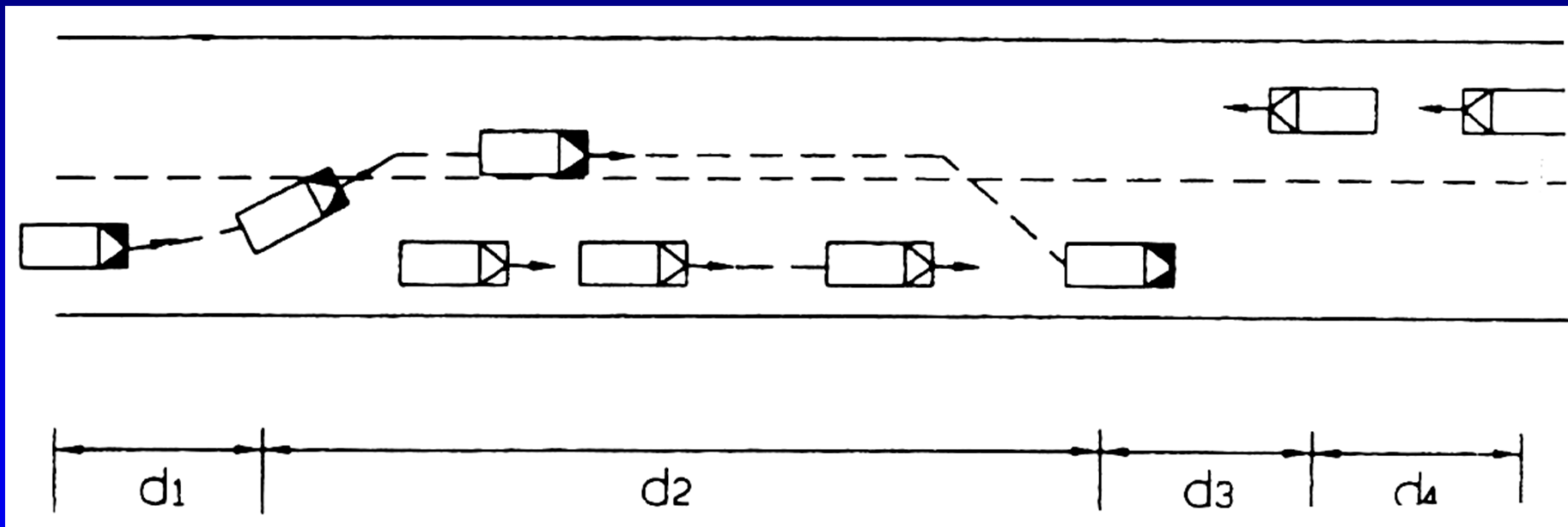
4. 超車過程之起始為延滯開始(Delayed Start)，然後加速，由左車道超越，而在面臨對面來車下急速返回右車道。其佔用左車道之平均速率比被超車輛大16.1kph(10mph)。
5. 當超車車輛返回右車道時，其與對向來車之間仍維持適當的淨距。

- 圖6為整個超車的示意圖。由圖中顯示，最短超車視距共包含 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 四段長度，各段之意義及計算方法如下：
- d_1 ：為初步行動之距離

$$d_1 = 0.278t_1 \left(V - \Delta V + \frac{at_1}{2} \right)$$

- 式中， t_1 為初步行動之時間，**sec**
 V 為超車車輛在左車道之平均速率，**kph**
 ΔV 為被超車輛與超車車輛之速率差，
 $\Delta V=16.1\text{kph}(10\text{mph})$
 a 為平均加速度，**kph/sec**
 t_1 之值約在3.6~4.5之間

圖6 超車視距之說明圖



- d_2 ：超車車輛佔用左車道所行駛之距離
 $d_2=0.278Vt_2$
- 式中， V 為超車車輛佔用左車道之平均速率，kph
 t_2 為超車車輛佔用左車道之時間，其值約在9.3~10.4sec之間
- d_3 ：超車動作剛完成時超車車輛與對向來車之淨距，其值隨速率而異。速率在48~64kph時， d_3 為33m；速率為96~112kph時， d_3 為90m。

- d_4 ：本應為超車期間對向來車所行駛之距離， d_4 約等於 $(2/3)d_2$
- 在各不同設計速率下雙車道公路所需之最短超車視距如表8-6所示。
- 若路線設計受道縱斷線形之限制或/及平面線型之限制，而使視距小於最短超車視距，則須以禁止超車標線及標誌予以明確標示，以防範交通事故。

表6 雙車道公路所需之最短超車視距

設計速率 (kph)	假設被超 車輛速率 (kph)	假設超車 車輛速率 (kph)	最短超車視距 (m)
30	30	46	230
40	35	51	280
50	43	59	350
60	50	66	420
70	57	73	480
80	66	82	540
100	77	93	670
120	92	108	810