

出國報告(出國類別：實習)

「機場設計與施工」訓練課程
出國報告

服務機關：交通部民用航空局

姓名職稱：羅文惠 科長

派赴國家：新加坡

出國期間：104年8月23日至9月12日

報告日期：104年11月26日

目 錄

一、目的	1
二、行程與課程安排	2
三、課程內容	7
3.1 施工之管理與契約.....	8
3.2 機場空側設施及作業.....	16
3.3 跑道鋪面設計與施工.....	36
3.4 機場排水.....	45
3.5 機場電力系統.....	47
3.6 行李輸送系統.....	50
3.7 參訪.....	55
四、心得與建議	65

一、目的

新加坡民航學院與美國柏克萊大學運輸學系(Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, US)合作開設機場工程(Airport Engineering Program)課程，是專門為工程師獲得國際認可的專業資格，同時具備機場工程學術與實用知識的一個方案。課程進行方式包含課堂講授、專題研討和實地考察新加坡樟宜機場與其他設施。該課程共包含三個階段，分別為「機場系統和規劃」(Airport System and Planning)、「機場設計與施工」(Airport Design and Construction)及「機場維護」(Airport Maintenance)，本次參加為第二階段「機場設計與施工」課程。

本次參加機場設計與施工課程，主要係考量近年來亞太空運市場之成長，帶動兩岸與國際航線客運量之成長，加以我國自開放兩岸直航之後，桃園、高雄、松山及台中等國際機場之客運量逐年增加，為因應運量之發展，我國持續投入機場建設，爰擬藉由參加本次訓練課程，有系統地學習機場之設計與施工之最新觀念與趨勢，並與來自各國之學員互相交流瞭解各國之實際作法與經驗，作為未來我國辦理機場設與施工之參考及學習。

二、行程與課程安排

2.1 行程

本次出國行程共計 21 天，第 1 天及最後 1 天係路程，其餘為課程時間，詳如表 2.1。

表 2.1 出國行程表

日期	行程	說明
104 年 8 月 23 日 (星期日)	臺北 -> 新加坡	啟程
102 年 8 月 24 日 (星期一) 102 年 9 月 11 日 (星期五)	新加坡	機場設計與施工課程
103 年 9 月 12 日 (星期六)	新加坡 -> 臺北	回程

2.2 課程安排

本次課程共三週，內容相當豐富，學員需參與所有的課程、完成專題研討，並通過最後測驗，始完成學習，取得證書。詳細課程內容、講師與學員介紹如下：

表 2.2 訓練課程表

UC BERKELEY, ITS-SAA AIRPORT DESIGN & CONSTRUCTION PROGRAMME
24 AUGUST - 11 SEPTEMBER 2015

WEEK 1		AIRPORT DESIGN AND CONSTRUCTION				
DAY/DATE	MONDAY 24 AUG 2015	TUESDAY 25 AUG 2015	WEDNESDAY 26 AUG 2015	THURSDAY 27 AUG 2015	FRIDAY 28 AUG 2015	
TIME						
0900-1000	REGISTRATION AND OPENING CEREMONY			Baggage Handling Systems <i>Elanggo Kannaiyan (CAG)</i>		
1015 - 1115	Construction Management and Contract <i>A/P Wong Wai Fan</i>	Geometric Design of Runway System <i>Prof Fwa Tien Fang</i>	Geotechnical Engineering <i>A/P Anthony Goh</i>	Airfield Lighting <i>Andy Chin (CAG)</i>	Asphalt Concrete Theory & Design <i>A/P Lum Kit Meng</i>	
1115-1215				Electrical Services (1115-1245) <i>Lee Ngai Hung (CPG)</i>		
1315 - 1415	Geometric Design of Taxiway, Holding Bays and Apron <i>Ong Chew Sze (CAG)</i>	Airside Management - Infrastructure, Installations & Systems - Safety Clearance Markings <i>Mary Tan (Consultant)</i>	Geotechnical Engineering (Continue) <i>A/P Anthony Goh</i>	Site Preparation <i>Kueh Lip Kuang (CPG)</i>	Asphalt Concrete Theory & Design <i>A/P Lum Kit Meng</i>	
1415 - 1515						
1530 - 1630						

Module 2

UC BERKELEY, ITS-SAA AIRPORT DESIGN & CONSTRUCTION PROGRAMME
24 AUGUST - 11 SEPTEMBER 2015

WEEK 1		AIRPORT DESIGN AND CONSTRUCTION				
DAY/DATE	MONDAY 31 AUG 2015	TUESDAY 1 SEP 2015	WEDNESDAY 2 SEP 2015	THURSDAY 3 SEP 2015	FRIDAY 4 SEP 2015	
TIME						
0900-1000	Rigid Pavement Design <i>Prof Fwa Tian Fang</i>	Rigid Pavement Design and Workshop <i>Prof Fwa Tian Fang</i>	Flexible Pavement Design <i>Prof Fwa Tian Fang</i>	Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number (ACN-PCN) of Airport Pavements <i>Prof Fwa Tian Fang</i>	Flexible Pavement Construction <i>A/P Lum Kit Meng</i>	
1015-1115						
1115-1215						
1315 - 1415	Rigid Pavement Design (Continue) <i>Prof Fwa Tian Fang</i>	Rigid Pavement Construction <i>Prof Fwa Tian Fang</i>	Flexible Pavement Design (Continue) <i>Prof Fwa Tian Fang</i>	Visit: Changi Airport's Pavement Rehabilitation and Resurfacing Projects <i>Alex Lam (CAG)</i>	Study Period	
1415 - 1515						
1530 - 1630						

Module 2

UC BERKELEY, ITS-SAA AIRPORT DESIGN & CONSTRUCTION PROGRAMME
24 AUGUST - 11 SEPTEMBER 2015

WEEK 3		AIRPORT DESIGN AND CONSTRUCTION				
DAY/DATE	MONDAY 7 SEP 2015	TUESDAY 8 SEP 2015	WEDNESDAY 9 SEP 2015	THURSDAY 10 SEP 2015	FRIDAY 11 SEP 2015	
TIME						
0900-1000	M & E Systems Airconditioning and Mechanical Ventilation Systems <i>Khin Maung Lin (CPG)</i>	Drainage Design <i>Kueh Lip Kuang (CPG)</i>	Drainage Design Workshop <i>Kueh Lip Kuang (CPG)</i>	Study Period	Examination 1.5 hours (0930-1100 hours)	
1015 - 1115						
1115-1215						
1315 - 1415	Design of M & E Systems Passenger Loading Bridges (1115-1245 hours) <i>Au Lye Quee (CAG)</i>	Visit: Drainage Design (Continue) <i>Kueh Lip Kuang (CPG)</i>	Visit: Asphalt Plant (1430-1630 hours) <i>Jovina Tan (Sammwoh)</i>			
1415 - 1515						
1530 - 1630						
	Visit: Seletar Aerospace Park (1400-1600 hours) <i>Sharon Ang (CAG)</i>					

Module 2

2.3 講師簡介

授課講師來自新加坡國立大學、新加坡南洋科技大學及新加坡樟宜機場集團，詳細資料如下：

UC BERKELEY, ITS-SAA AIRPORT DESIGN AND CONSTRUCTION

24 AUGUST – 11 SEPTEMBER 2015

LECTURERS

National University of Singapore

Professor Fwa Tien Fang Lecturer
Civil and Environmental Engineering

Nanyang Technological University, Singapore

A/P Wong Wai Fan Lecturer
Civil and Environmental Engineering

A/P Anthony Goh Lecturer
Civil and Environmental Engineering

A/P Lum Kit Meng Lecturer
Civil and Environmental Engineering

Changi Airport Group (Singapore) Pte Ltd

Ms Ong Chew Sze Senior Manager, Master Planning
Changi East Planning Division

Mr Au Lye Quee Manager, Passenger Transportation Systems
Engineering & Master Planning Division

Mr Andy Chin Manager, Controls & Communications Systems
Specialised System Division

Mr Elanggo Kannaiyan Senior Manager, Baggage Handling System
Specialised System Division

2.4 學員介紹

學員來自世界各地，有新加坡、泰國、阿曼、肯亞、沙烏地阿拉伯、孟加拉、象牙海岸、海地及我國等 9 個國家共 23 名學員。專業背景大多為土木工程，亦有來自政府部門(民航局)及機場公司。



三、課程內容

本課程為機場工程(Airport Engineering Program)課程之第二單元，機場設計與施工，謹將三週之課程其歸納如下：包含

- (一) 施工之管理與契約(Construction Management and Contract)，包含專案管理之理論與契約之執行等。
- (二) 國際民航公約第十四號附約(Annex14)中關於機場空側設施如跑道、滑行道、停機坪之幾何設計、燈光及標誌、標線等內容。(Geometric Design of Runway System, Taxiway, Holding Bays and Apron. Airfield Lighting, Inside Management-Infrastructure, Installations & Systems, Safety Clearance Markings)
- (三) 大地工程、瀝青混凝土理論與設計(Geotechnical Engineering, Asphalt Concrete Theory&Design)
- (四) 跑道道面設計與施工(Pavement Design&Construction)
- (五) 機場排水、電力、空調、通風等系統(Drainage Design, Electrical Services, M&E Systems Airconditioning and Mechanical Ventilation System)

其中「跑道道面」與「機場排水」等課程，講師並於課程中納入專案研討，讓學員進行個案研析：在不同的航機組成及運量預測下，運用美國FAA之COMFAA軟體，計算跑道的PCN值；另在不同的假設下，計算所需之排水管徑大小。藉由個案研析除將課程所學予以應用，加深學員之學習印象外，並藉由研討的過程促進學員間相互合作，使得彼此更加熟悉。

課程資料豐富，實難全數敘述，另考量國內對於大地工程、瀝青混凝土理論與設計之研究亦有許多，爰本次報告將謹就施工之管理與契約、國際民航公約第十四號附約中關於空側設施、跑道道面設計與施工及機場排水、

電力及行李輸送系統等主題之內容，及相較於平日作業方式不同或有較深感受之議題等摘述於后，其餘上課資料，以光碟方式存放一份置於本組供有興趣之同仁參考。

3.1 施工之管理與契約(Construction Management and Contract)

機場建設相較於一般的土木工程為相對大型之專案建設工程，因此，在進入本次機場設計與建設課程之開端，即安排了專案建設管理與專案合約之課程，包含專案建設管理概述與工程合約。

3.1.1 專案管理(Project management)

所謂專案，是指為了完成一獨特性的任務，而提供一系列相互關聯的一次性活動。專案的內容包羅萬象，規模大小也不一，小至免稅店新形象揭幕、大至新航廈或新跑道的興建等等，都是一個專案。

而專案管理則是為了達成目標，所進行計劃、排程以及控制等行為。

3.1.1.1 專案的特性

- 產出的獨特性
- 有時間性：有明確的開始和結束時間
- 預算的有限性
- 專案的開始決定成敗

3.1.1.2 專案三要素

專案三要素，包含時間、預算和品質/效果，如圖3.1所示。

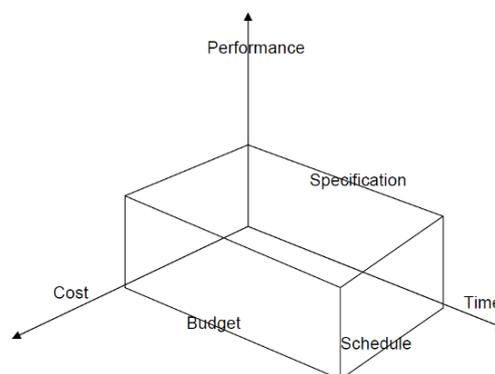


圖3.1 專案三要素

無論專案的內容為何，規模大小，對於專案的成員來說，皆必須在既定的時間、預算內，以一定的品質或效果，完成產出。專案一旦啟動，費用就開始產生，而專案管理者的任務，就是在預定的期限內，以預定的預算、一定的品質，完成預定的產出。

以圖3.1之專案三要素來解釋上述之關係，在這三維空間中，每一個向度，各代表者著專案管理的限制，分別是預算、時間和品質，三者息息相關，無論其中哪一個項度變動，都會對專案的產出結果甚至成效造成極大的影響。

有些理論認為，時間、預算和品質之間，三者只能選擇其二，例如，如果專案預算有限、時間又趕，則品質就無法要求；如果希望產出之品質要好，預算有限，就無法要求在短時間內完成，如果要專案做得又快又有品質，那預算就無法節省了。圖如3.2所示。

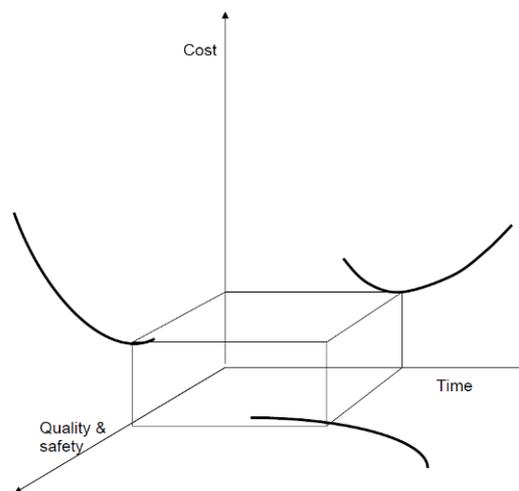


圖 3.2 品質、成本與時間之關係圖

然而，一個成功的專案管理，就是希望透過事前仔細的評估，規劃專案管理的各個階段，將專案做得又快又好又便宜。

3.1.2 營建業的特性 (Characteristics of Construction Industry)

經過規劃後，接續進行施工之各項工程建設，包含機場工程，需要依

靠營建產業來完成，因此在進行工程相關之專案管理前，需要瞭解營建產業的特性，才能針對其產業特性，進行完善之專案管理。一般而言，營建業具有以下特性：

- 勞力密集(labor intensive)

不同於金融業的知識密集、建築業的資金密集，營建業屬於勞力密集產業。

- 工作範疇大但是分散性(Large but fragmented)

從設計、施工而至後續維護，一般係由不同工作團隊負責執行，很難形成一貫作業方式。

- 高度分工的、包含各種學科的(Multi-disciplinary)

一個專案的完成，需要各種不同學科專長的人才組成，而每一個專案所需要的人才和專才亦因案而異。

- 複雜的(Complex)

- 具專案獨性(Project specific)

每個專案都有其獨特性，不管在外在環境或內在的特性，由於每個專案的獨特性，造成過去的經驗對往後的工作未必具有太大的相關性幫助。

由以上特性觀之，有關營造業之管理，應以管理「變動」為主，加以營造工程屬於勞力密集，因此人員素質與穩定，是管理的關鍵因素。

3.1.3 管理的四個主要功能

- 組織的功能(Organizing)

確認必須完成的工作項目、工作人員的選派、責任的劃分，並帶領成員達成目標。

- 計劃與掌控的功能(Controlling)

訂定目標、建立策略，並發展有系統的計畫來整合協調各項工作目標。

監督與評估組織績效，在工作進行偏離目標時，將方向導回正軌

- 報告(回報)的功能(Reporting)

適時將專案的進度回報上層及客戶

- 決策功能(Deciding)

在必要的時機點做出決策，給予指示，以利專案能持續進行。

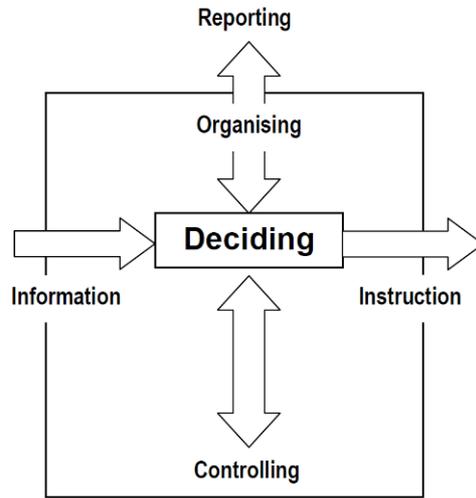


圖3.3 管理的四個主要功能關係圖

3.1.4 專案的生命週期與成本及影響的關係

(project life-cycle and cost implications)

在專案初期，剛開始規劃和設計，所耗費的成本非常低；到了專案的中期，開始施工階段，成本上升的非常快；而在專案結束前，專案所產生的成本也是逐漸減少。

相反地，在專案初期，相關的規劃和決策方向，對專案的影響相當地大，有些專案甚至在開始時的決策就決定了專案的成敗，隨著時間的推移，就專案的影響反而逐漸減少。

上述關係詳如圖3.4所示。

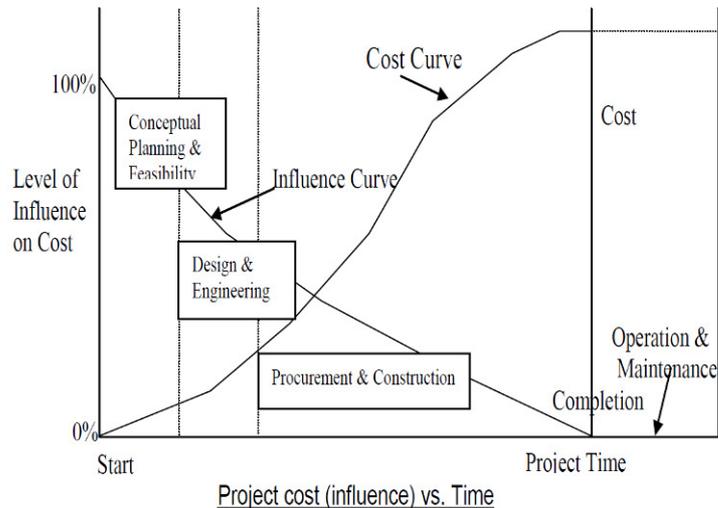


圖 3.4 專案的生命週期與成本及影響的關係圖

3.1.5 合約的種類 - 價格為基礎 / 成本為基礎 (price-based vs. cost-based contracts)

一個建設專案，可以視為一個投入 (input) - 產出 (output) 的過程，如圖 3.5 所示。



圖 3.5 建設專案投入與產出過程

一般而言，將專案合約分為兩類，分別為以價格為基礎的合約及以成本為基礎的合約。在以價格為基礎的合約，業主支付廠商的產出 (output)；在以成本為基礎的合約，業主支付廠商的投入 (input)。以價格為基礎的合約的例子是總包價合約，工程量清單合約；以成本為基礎的合約例子是，如成本加安排和費用合約或成本加固定費用合約。

在一般情況下，對於以成本為基礎的合約，業主將支付廠商的投入成本，但如果對輸入裝置和它的效率沒有控制，業者將不得不吸收施工效率低下的風險。為此，當廠商的工作效率極低時，業主將不得不付出很多的不必要支出。

而在以價格為基礎的合約情況下，業主支付完成工作的價值給廠商，因此基本上廠商將不得不承擔建設效率低下的風險。如果廠商的工作沒有效率，這將花費廠商更多投入，以產生相同的工作量，但廠商將仍然只收到基於工作完成量的款項。

3.1.6 工程現金流量與成本控制

機場工程由於規模較大，施工期程也長，施工期程長，對於工程的完成有其一定的影響；另外由於工期較長，有關現金流量與成本控制等財務規劃也相對重要，如果工程不如預期順利而造成延誤，除了增加完工的風險外，在財務上增加資金的利息負擔，嚴重的話，也可能影響施工廠商的財務狀況。因此，在工程現金流量與成本控制，也是工程契約管理中重要一環。

3.1.6.1 現金流量(cash flow)

現金流量，是指在工程進行中的某個時間點，工程專案的現金支出與現金收入。

其中工程成本包含原物料成本、勞工成本、機器設備成本、下包商成本等直接成本；以及工作站相關支出等間接成本。將上述工程支出依工程進行之時間進行累計，所得之曲線即為工程累計支出曲線，由工程累計支出曲線可以看出隨著時間的推移之工程現金支出之情形。因這條曲線大多呈現S形，因此又稱為S曲線。

現金收入，指的是工程進行中所收到之工程收入，一般合約大都於完成某一階段工程，業者支付某一百分比之工程款。因此，此一時間與收入之曲線一般呈現階梯形。

現金收入與現金支出之差額，即為該工程案所需之現金需求。詳如圖3.6示。

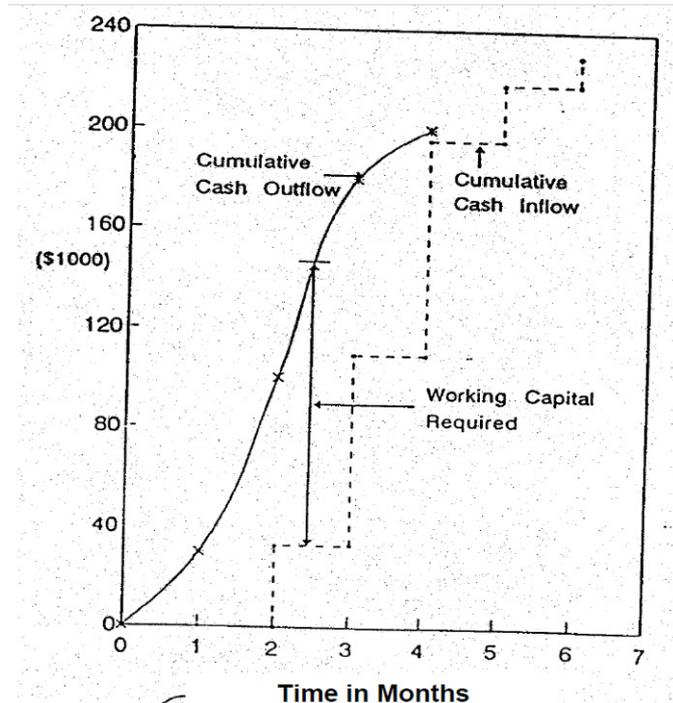


圖3.6 工程現金流量圖

3.1.6.2 實現價值與成本控制的觀念 (concept of earned value and cost control)

成本控制的方法有很多，其中之一是利用實現價值(Earned Value)的觀念，發展衡量工程進度之績效指標，並利用此一績效指標進行專案之成本控制。實現價值績效衡量法，包含下列變數：

- 計劃預算成本(Budgeted Cost Work Scheduled, BCWS)
 - ◆ 到目前為止有多少工作預劃要完成，該等工作量其累積預算成本與時間的關係。
- 實現預算成本(Budgeted Cost of Work Performed, BCWP)
 - ◆ 到目前為止實際完成之工作，該等工作量其累積之實現預算成本與時間之關係。
- 實際成本 (Actual Cost of Work Performed, ACWP)
 - ◆ 已完成的工作實際花費的成本

檢討上述幾項變數，包含實際進度與計畫進度間之差異，即可產生以下之變異，作為衡量專案進度與成本之依據。詳如圖3.7

➤ 成本變異(Cost Variance)

◆ $\text{Budgeted Cost} - \text{Actual Cost} = \text{BCWP} - \text{ACWP}$

即到目前為止實際完成之工作，該等工作量其累積之實現預算成本與實際花費成本之比較。

➤ 計劃變異(Schedule Variance)

◆ $\text{BCWP} - \text{BCWS}$

到目前為止實際完成之工作與預劃要完成工作之預算成本比較。

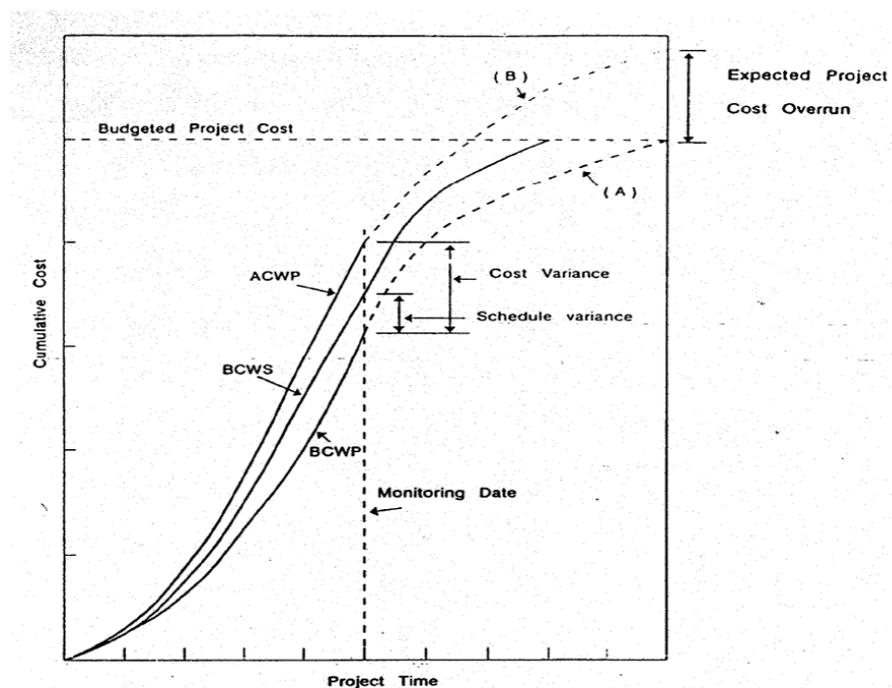


圖3.7 成本控制圖

3.2 機場空側設施幾何設計(geometric design)

國際民航組織(ICAO)之國際民航公約(Convention on International Civil Aviation)第15條規定，各締約國對於其所管轄供大眾使用之機場，必須為其他締約國旗下航空器提供一致之飛航環境；第28條及37條則要求各締約國之機場、導航設施及相關服務應符合ICAO所訂定之標準與建議措施(Standards and Recommended Practices, SARPs)。

為確保各國機場之設施及作業均能達到國際民航組織(ICAO)所要求之一致性與標準化，ICAO在1951年通過了機場之標準和建議措施，並指定其作為第14號附約，到了1990年，ICAO再將第14號附約分為2卷，第1卷機場(Aerodrome)及第2卷直昇機場(Heliports)。在第1卷內詳細訂定有關機場設計及運作(Aerodrome Design & Operations)之規範。每一機場之經營者均有義務循此規範從事機場建設並進行各項作業，以使航空器可於機場內安全、有序且有效率地運作。

我國有關機場設施與作業之文件 — 「民用機場設計暨運作規範」，亦係參照ICAO Annex 14 Volume 1所訂定。

以下針對本次課程中所列相關空側設施與作業內容摘述如下列各節。

3.2.1 空側幾何設計(Airfield Geometric Design)

空側場面之面積佔了整個機場面積之80~95%，主要組成包含跑道、滑行道及停機坪(位)。影響機場空側幾何設計的決定因素包含有：

- 尺寸標準（包含設計機型的大小，機場營運的類型）
- 可用土地的大小和形狀
- 因為相鄰的土地利用和社會發展所產生的限制因素
- 聯外運輸需求
- 機場設計容量
- 跑道的數量和方位

3.2.2 跑道幾何設計(Geometric Design of Runway Systems)

跑道的設計是為了提供航機起飛降落服務所需，因此機場所設定要服務之航機的特性為跑道設計之關鍵性因素之一。

3.2.2.1 航機的特性與分類

➤航機特性

機場各類設施，必須配合其所設定要服務之航機特性而規劃設計，下列航機的特性，將影響機場不同單元或元素之規劃設計，因此在做機場規劃設計時，除了考量目標年的預估旅客需求與尖峰小時航機起降數量外，也要記得檢視相關航機特性要素，以確保機場裡的每一個單元(element)或元素之設計能符合目標年的需求，將相關影響關係整理如表3.1。

表3.1 航機特性影響機場規劃關係表

要素(Factor)	受影響的元素(element affected)
航機大小	停機坪大小、登機門設施、航廈配置、空側場面幾何設計
航機重量	跑道鋪面的結構、跑道長度
轉彎半徑	停坪機的大小、航廈配置、空側場面幾何設計
座位數	航廈配置與大小設計、設施容量

➤航機分類

航機分類，FAA和ICAO對於航機有不同的分類方式，但都用2個代號來分類。FAA以航機之「進場速度」與「翼展」進行分類，ICAO以航機之「所需參考跑道長度」與「翼展及主起落架外輪外緣間距」(Main Gear Wheel span)分類。詳如表3.2~3.3 所示。

表3.2 FAA航機分類表

Part 1		Part 2	
Approach Speed		Wingspan	
A	< 91 knots	I	< 49 ft (15 m)
B	91 - 121 knots	II	49 - 79 ft (15-24 m)
C	121 - 141 knots	III	79 - 118 ft (24-36 m)
D	141 - 166 knots	IV	118 - 171 ft (36-52 m)
E	> 166 knots	V	171 - 214 ft (52-65 m)
		VI	214 - 262 ft (65-80 m)

表3.3 ICAO航機分類表

Part 1		Part 2	
Field Length		Wingspan	Main Gear Wheel Span
1	up to 800 m	A up to 15 m	Up to 4.5 m
2	800 - 1200 m	B 15 - 24 m	4.5 - 6 m
3	1200 - 1800 m	C 24 - 36 m	6 - 9 m
4	> 1800 m	D 36 - 52 m	9 - 14 m
		E 52 - 65 m	9 - 14 m
		F 65 - 80 m	14 - 16 m

3.2.2.2 跑道的幾何要素(Geometric Elements of Runway)

進行跑道幾何設計時，須考量下列要素：

1. 跑道道面：承載航機重量之鋪面。
2. 跑道道肩(Shoulder)：銜接跑道道面之鋪面區域，以備航機越出道面時，作為鋪設道面與鄰接地面之緩衝，以防航機受損，同時防止引擎噴射氣流侵蝕鄰近整地面，並供地勤裝備緊急救難或維護時活動之用。
3. 跑道地帶(Runway Strip)：包含跑道、道肩及經整地排水良好的之矩形平坦地帶，用以減輕航機衝出跑道道面時之損害，並避免妨礙或干擾助

導航設施波訊之傳遞。

4. 噴氣防護坪(Runway Blast Pad)：跑道端外之鋪面區域，用以降低航機噴射或螺旋氣流對地表之毀損及沖刷。
5. 跑道端安全區(Runway End Safety Area, RESA)：為減輕航機超越跑道端或提早著陸時之人機損傷，在跑道地帶二端外設置的平坦區域。
6. 清除區(Clearway)：為自跑道端外延伸之一矩形區域，供航機起飛滾行達到爬升之決定速度後，航機一具引擎故障，仍必須繼續起飛情況下，保障其起飛安全之用。
7. 緩衝區(Stopway, SWY)：由跑道端向外延伸與跑道同寬之鋪面或整地區域，供飛機起飛失敗時延長其加速停止距離之用。

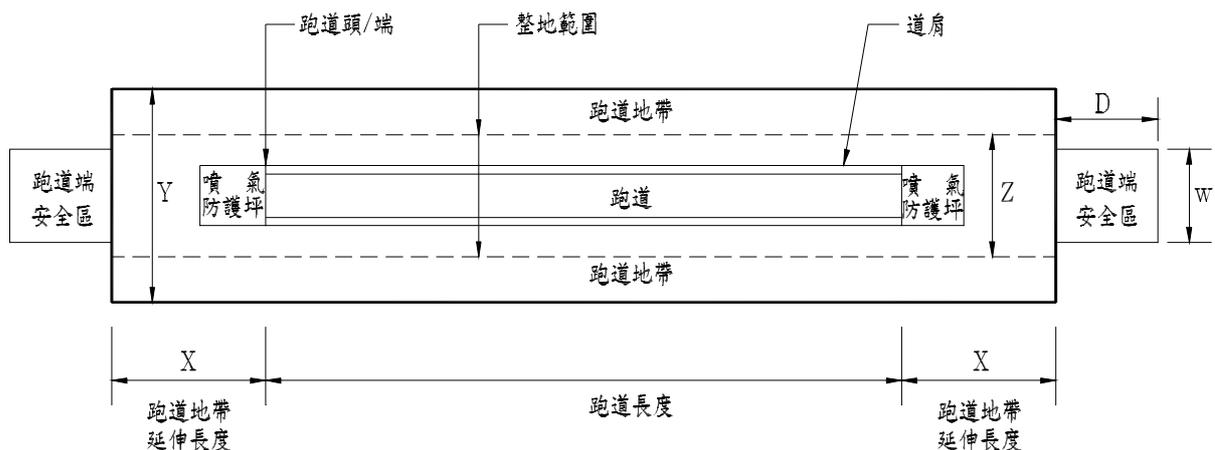


圖3.8 跑道設計幾何要素平面示意圖

除上列要素外，跑道設計要考慮下列面向，包含：

1. 營運的類型

依有或無助導航設施，區分為非儀器跑道(Non-instrument)及儀器跑道(Instrument Runway)。

- 非儀器跑道即所謂目視跑道，跑道沒有配備電子設備，航機只透過目視降落輔助設備(如機場標線(marking)和燈光)服務，並使用目視進場程

序起降。

- 儀器跑道則依助導航設施，再細分為非精確跑道(Non-precision Approach)及精確跑道(Precision Approach)。

2. 跑道的數目

機場所需要的跑道數目，需考量：機場的設計容量、每一條跑道的容量、每一條跑道的風向涵蓋率。

3. 跑道的位置和方位

- 場址的地形：障礙物限制面考量
- 場址的發展：場址周邊目前及未來的發展規劃
- 營運類型：目視/儀器、全天營運/白天營運…。
- 氣候：盛行風的特性、低能見度的頻率等。
 - 跑道方位須至少能涵蓋95%以上的風向。(蒐集3~5年，年、日、小時的資料)
 - 側風大小(以ICAO的設計標準criteria)

側風大小是跑道設計時很大的挑戰，因為航機的大小影響可承受的側風大小，然而通常一個機場的主跑道要服務各式大小機種的航機，其所能承受的側風大小不一，是考量跑道方位時一大考量。

<u>Runway Length</u>	<u>Design Crosswind Value</u>
<1200meters	10 knots
1200~1500meters	13 knots
>1500meters	20 knots

4. 跑道的長度：取決於航機性能和氣候。
5. 跑道的寬度：取決於航機的翼展
6. 其它幾何需求：如坡度、鋪面厚度等。

3.2.2.3 跑道長度

3.2.2.3.1 參考跑道長度

1. 航機以其設計最大起飛重量或按航程核算之最大起飛重量、跑道縱坡度為零、標準大氣狀況、海拔高程、靜風等條件下，所需最低需求跑道長度，稱參考跑道長度。
2. 航機所需之參考跑道長度又分為起飛跑道長度及降落跑道長度，一般起飛長度較降落長度為長。一般航機所需之參考跑道長度為飛機出廠時，製造商依據不同引擎等條件於航機飛航手冊中提供。

3.2.2.3.2 跑道長度的校正

跑道長度的校正，係依據設計機型之參考跑道長度，配合機場與跑道所在環境與條件等進行校正。校正因子包含：機場高程、跑道縱坡度、機場溫度、機場溼度等。例如：溼的表面狀況比乾的表面狀況要增加15%的降落長度。

起飛跑道長度校正因子包含機場高程、跑道縱坡度與溫度；降落跑道長度則僅需進行高程校正，說明如下：

1. 高程：機場高程自海平面起，每增加300m，修正值增加7%。

$$L_e = L_0 + L_0 * (E/300) * 7\%$$

2. 溫度：機場參考溫度(T)每大於標準大氣狀態下溫度 (T_a) 1 °C時，跑道長度增加1%。

$$L_{et} = L_e + L_e * (T - 15) * 1\%$$

3. 跑道縱坡度：當基本跑道長度≥900m時，跑道有效縱坡度每增加1%，跑道長度需增加10%。

$$L_{ets} = L_{et} + L_{et} * S * 10\%$$

3.2.2.3.3 跑道公佈距離

於飛航指南AIP中，為提供駕駛員有關跑道各項長度資訊，以利其於航機起降操作時之判斷依據，包含以下四項，如圖3.9。

1. 可用之起飛滾行距離(Take-off Run Available, TORA)：宣布可用於航機起飛時於地面滾行之跑道長度。
2. 可用之起飛距離(Take-off Distance Available, TODA)：可用之起飛滾行距離(TORA)+清除區長度(如有提供清除區的話)。
3. 可用之加速停止距離(Accelerate-Stop Distance Available, ASDA)：可用之起飛滾行距離(TORA)+緩衝區長度(如果有提供緩衝區的話)。
4. 可用之降落距離(Landing Distance Available, LDA)：宣布可用於航機落地滾行之跑道長度。

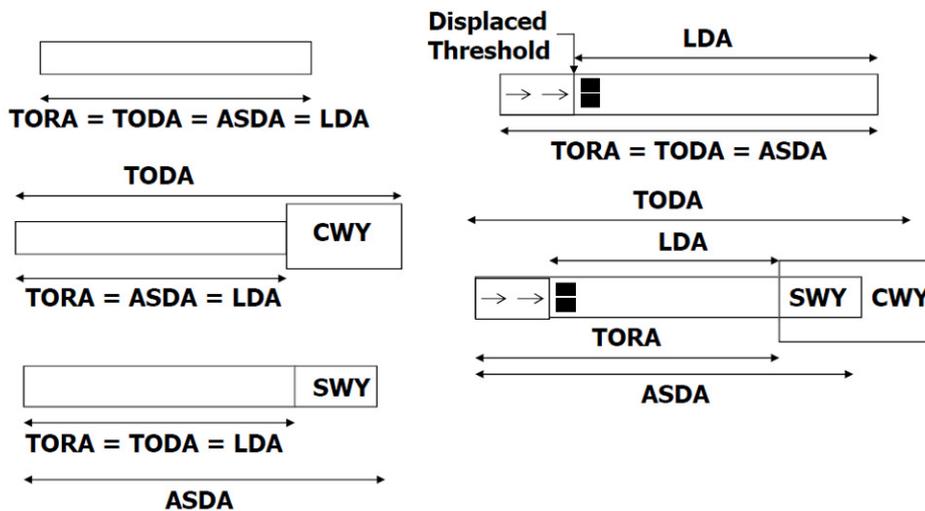


圖3.9 跑道公佈距離示意圖

3.2.2.4 跑道寬度

ICAO有關跑道寬度建議，應不小於下表所規定之尺寸，其中跑道參考長度分類為1或2之精確跑道其寬度應不小於30公尺。

表3.4 ICAO跑道寬度建議表

Wingspan Code	Field Length Code			
	1	2	3	4
A	18 m*	23 m*	30 m	--
B	18 m*	23 m*	30 m	--
C	23 m*	30 m	30 m	45 m
D	--	--	45 m	45 m
E	--	--	--	45 m
F	--	--	--	60 m

3.2.2.4.1 跑道道肩(Runway shoulders)

供飛機大小分類為D或E使用且寬度小於60m之跑道建議應具備跑道道肩。

供飛機大小分類為F使用之跑道建議應具備跑道道肩。

3.2.2.4.2 跑道道肩寬度、坡度及強度

跑道道肩建議應自跑道之兩側對稱地向外延伸，使跑道及其道肩之總寬度不小於 1) 60m: 供飛機大小分類為D、E使用之跑道；2) 75m: 供飛機大小分類為F使用之跑道。

道肩與跑道相接處應與跑道道面齊平，其橫坡度應不大於2.5%。

跑道道肩應整備使其於飛機滑出跑道時仍能夠支承該飛機，並能支承於道肩上運作車輛之荷重。

3.2.2.5 跑道坡度

3.2.2.5.1 跑道縱坡度(Longitudinal Gradients)

跑道任何部分之縱坡度應不大於

1) 1.25%，跑道參考長度分類為4之跑道。惟跑道兩端各1/4長度之縱坡度應不大於0.8%。

2) 1.5%，跑道參考長度分類為3之跑道。惟第II、III類精確進場跑道兩端各1/4長度之縱坡度應不大於0.8%。

3) 2%，跑道參考長度分類為1或2之跑道。

3.2.2.5.2 跑道橫坡度(Cross-Slope)

為加速排水，跑道道面原則上採用雙向坡，除非坡度由高到低之方向與降雨時最常發生之風向相符，且能保證迅速排水時，方採用單向坡，其橫坡度應為

1) 1.5%：飛機大小分類為C、D、E或F之跑道。

2) 2%：飛機大小分類為A或B之跑道。

表3.5 ICAO 跑道、道肩坡度建議表

Longitudinal Gradients & Cross-Slope :

Element	ICAO Field Length code			
	1	2	3	4
Pavement Max Gradient	2.0%	2.0%	1.5%*	1.25%*
Pavement Max X-slope	2.0% (A, B); 1.5% (C to F)			
Shoulder Gradient	Surface flush with runway			
Shoulder Max X-slope	2.5%			

*Not exceeding 0.8% for 1st and last quarter of runway

3.2.2.6 跑道地帶(Runway strips)

跑道地區應涵蓋跑道及任何與之相銜接之緩衝區，ICAO有關跑道地帶之長度、寬度及坡度標準或建議，係依據跑道參考長度及是否為儀器跑道而有不同，整理如表3.6所示。

表3.6 ICAO 有關跑道地帶之幾何尺寸標準

Geometric Dimensions of Runway				
ICAO Standards on Runway Strip				
<i>Must be prepared or constructed with adequate load bearing to minimize hazard to aircraft running off runway</i>				
Dimension	Code 1	Code 2	Code 3	Code 4
Length (beyond runway & stopway)	30 m* 60 m ⁺	60 m	60 m	60 m
Width each side from runway centreline	30 m* 75 m ⁺	40 m* 75 m ⁺	75 m* 150 m ⁺	75 m* 150 m ⁺
Max Longitudinal slope#	2%	2%	1.75%	1.5%
Max Transverse slope	3%	3%	2.5%	2.5%

*Notes: * Non-instrument runway + Instrument runway*
#Rate of change ≤ 2% per 30 m

3.2.2.7 跑道端安全區(Runway end safety areas)

跑道參考長度分類為3或4之跑道及跑道參考長度分類為1或2之儀器跑道，在跑道地兩端應提供跑道端安全區。其相關幾何尺寸如表3.7。

表3.7 ICAO 有關跑道端安全區之幾何尺寸標準

Dimension	Requirement
Length from end of runway strip	≥ 90 m
Width = n x (Runway width)	n ≥ 2
Max longitudinal downward slope	5%
Max transverse + or - slope	5%

3.2.3 滑行道、停機坪及等待區之幾何設計(Geometric design of taxiways, aprons and holding bays)

3.2.3.1 滑行道

依ICAO之定義，滑行道指在陸地機場內用來供航空器滑行及提供機場各部分間連結之特定路徑。

3.2.3.1.1滑行道分類

1. 停機位滑行路徑(aircraft stand taxilane)：屬於停機坪之一部分，指定用作滑行道並只供作停機位出入通道使用。
2. 停機坪滑行道(apron taxiway)：為滑行道系統中位於停機坪之部分，供航空器穿越停機坪之滑行道。
3. 快速出口滑行道。
4. 入、出口滑行道。

3.2.3.1.2滑行道系統設計準則

1. 每一條跑道至少設置一平行滑行道。
2. 應儘可能直捷、簡單。
3. 提供旁越的功能，或進入跑道的多重路徑。
4. 應避免穿越跑道及其它滑行道。
5. 提供足夠的曲線及圓角半徑。
6. 提供塔台視線
7. 避免交通瓶頸。
8. 預留擴充可能性。

3.2.3.1.3 滑行道寬度與滑行道道肩(Taxiways width and shoulders)

ICAO 有關滑行道直線部分之寬度與滑行道道肩建議如表 3.8

表 3.8 飛機大小分類之滑行道寬度

Description	Code Letter					
	F	E	D	C	B	A
Taxiway width	25m	23 m	23 m ^{a)} 18 m ^{b)}	18 m ^{c)} 15 m ^{d)}	10.5 m	7.5 m
Overall width of taxiway and shoulders	60m	44 m	38 m	25 m	-	-

- a) For aircraft with an outer main gear wheel span equal to or greater than 9 m.
- b) For aircraft with an outer main gear wheel span less than 9 m.
- c) For aircraft with a wheel base equal to or greater than 18 m.
- d) For aircraft with a wheel base less than 18 m.

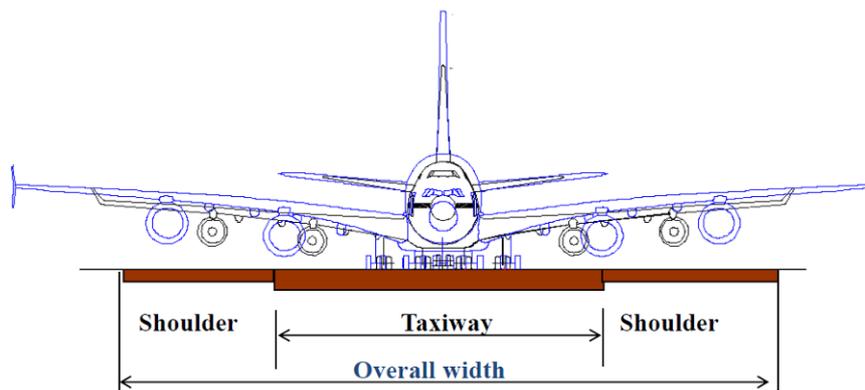


圖3.10 航機於滑行道及滑行道道肩位置示意圖

3.2.3.1.4 滑行道邊緣與飛機外側主輪之淨距

滑行道之設計，應使飛機之駕駛艙保持在該滑行道中心線標上時，飛機外側主輪與滑行道邊緣間之淨距，不小於表3.9所列。

此一淨距原為建議措施，於2008年11月20日變更為標準，於2008年11月20日後啟用之新建滑行道應符合該表之規定。

表3.9滑行道邊緣與飛機外側主輪之淨距

Description	Code Letter				
	F & E	D	C	B	A
Wheel Clearance	4.5m	4.5m	4.5m ^{a)} 3.0m ^{b)}	2.25m	1.5m

- a) The taxiway is intended to be used by aircraft with a wheel base equal to or greater than 18 m.
- b) The taxiway is intended to be used by aircraft with a wheel base less than 18 m.

3.2.3.1.5 滑行道曲線、連接處及交叉處(Taxiway curves, junctions and intersections)

滑行道方向之變化應儘可能地少，彎道半徑合於使用該滑行道飛機操作能力，並符合於滑行道上預期之正常速率滑行。曲線之設計應使飛機之駕駛艙保持在該滑行道中心線標上時，飛機外側主輪與滑行道邊緣間之淨距，不小於表3.9所列。

為便於飛機之行進，在滑行道與跑道、停機坪及其他滑行道之連接處或交叉處，應提供加寬鋪面(fillets)。加寬鋪面之設計應保證飛機在通過連接處時，能保持表3.9所列之最小淨距。

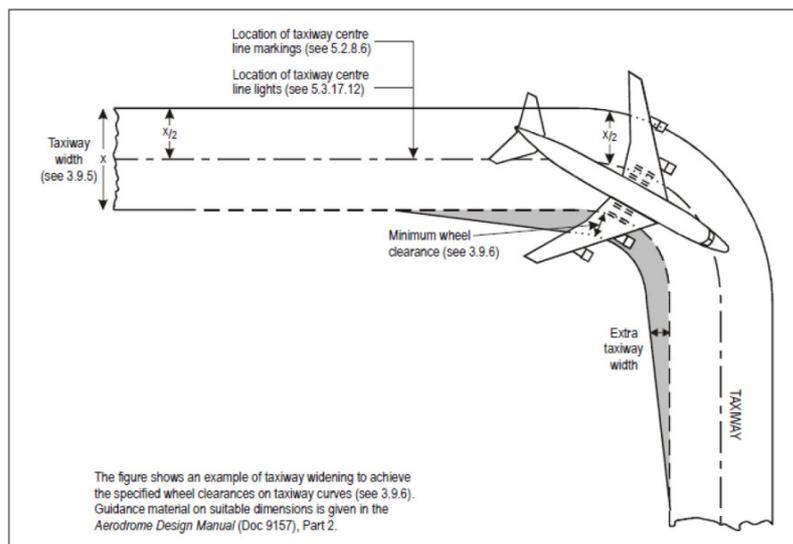


圖3.11 滑行道加寬以達到規定輪距之實例圖

3.2.3.1.5 滑行道地帶(Taxiway strips)

滑行道地帶之設置目的在於保障在滑行道上運作之航空器，以減少其意外衝出滑行道時可能遭致之損壞。除因導航需要，滑行道地帶內不得有裝備或裝置存在。

3.2.3.1.6 滑行道間距

滑行道之規劃及運作須將以下有關滑行道之最小間距納入考量，建議值如表3.10示。

1. 滑行道中心線與跑道中心線間之距離
2. 滑行道中心線與滑行道中心線間之距離
3. 除了停機位滑行路徑外之滑行道中心線到物體間之距離
4. 停機位滑行路徑中心線到物體間之距離

表3.10滑行道最小隔離間距

Code letter	Distance between taxiway centre line and runway centre line (metres)								Taxiway centre line to taxiway centre line (metres)	Taxiway, other than aircraft stand taxilane, centre line to object (metres)	Aircraft stand taxilane centre line to object (metres)
	Instrument runways				Non-instrument runways						
	Code number				Code number						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
A	82.5	82.5	–	–	37.5	47.5	–	–	23.75	16.25	12
B	87	87	–	–	42	52	–	–	33.5	21.5	16.5
C	–	–	168	–	–	–	93	–	44	26	24.5
D	–	–	176	176	–	–	101	101	66.5	40.5	36
E	–	–	–	182.5	–	–	–	107.5	80	47.5	42.5
F	–	–	–	190	–	–	–	115	97.5	57.5	50.5

Note 1.— The separation distances shown in columns (2) to (9) represent ordinary combinations of runways and taxiways. The basis for development of these distances is given in the Aerodrome Design Manual (Doc 9157), Part 2.

Note 2.— The distances in columns (2) to (9) do not guarantee sufficient clearance behind a holding aeroplane to permit the passing of another aeroplane on a parallel taxiway. See the Aerodrome Design Manual (Doc 9157), Part 2.

* Note: Ongoing review by ICAO on Aerodrome Design Working Group's proposed reduced taxiway clearances.

24

Source: ICAO

3.2.3.2 停機坪

停機坪係指陸地機場內供航空器上下乘客、裝卸郵件或貨物、加油、停機或維修等目的而劃設之區域；而停機坪上供航空器停放之指定區域則稱之為停機位。

停機坪應設於需要上下旅客、裝卸貨物或郵件以及執行航空器勤務且不影響機場交通之地方。

3.2.3.2.1 停機坪種類

依服務對象不同，分為

1. 航廈停機坪
2. 貨運停機坪
3. 遠端停機坪
4. 維修停機坪
5. 普通航空業停機坪

3.2.3.2.2 停機坪規劃準則

1. 停機坪的大小

- (1) 考量航機的大小和操作性能：如尺寸、轉彎半徑等
- (2) 預測運量：如尖峰小時的停機位需求，以及航機組成

2. 停機位的淨距

停機位之設置應使停駐之航空器與任何鄰近之建築物、停駐在另一停機位之航空器與其他物體間保持最小淨距。依據航機大小所需淨距，詳如表 3.11 所示。

當飛機大小分類為 D、E 或 F 且為機鼻向內之停機位，在特殊情況下，機鼻與航站(包括固定式空橋)之淨距及有目視停靠導引系統提供方向導引之停機位上之一點與其他物體之淨距可以減小。

表 3.11 停機位淨距

Code Letter	Clearance
A	3m
B	3m
C	4.5m
D	7.5m
E	7.5m
F	7.5m

3. 停機位的出入口

航機停放配置主要分為自力迴轉與直線進出，自力迴轉又依航機特性、外部尺寸或其他限制，採平行航站或登機廊廳或 30、45 或 60°。

如圖 3.12。

- a) angled nose-in,
- b) angled nose-out
- c) parallel
- d) Taxi in-push out

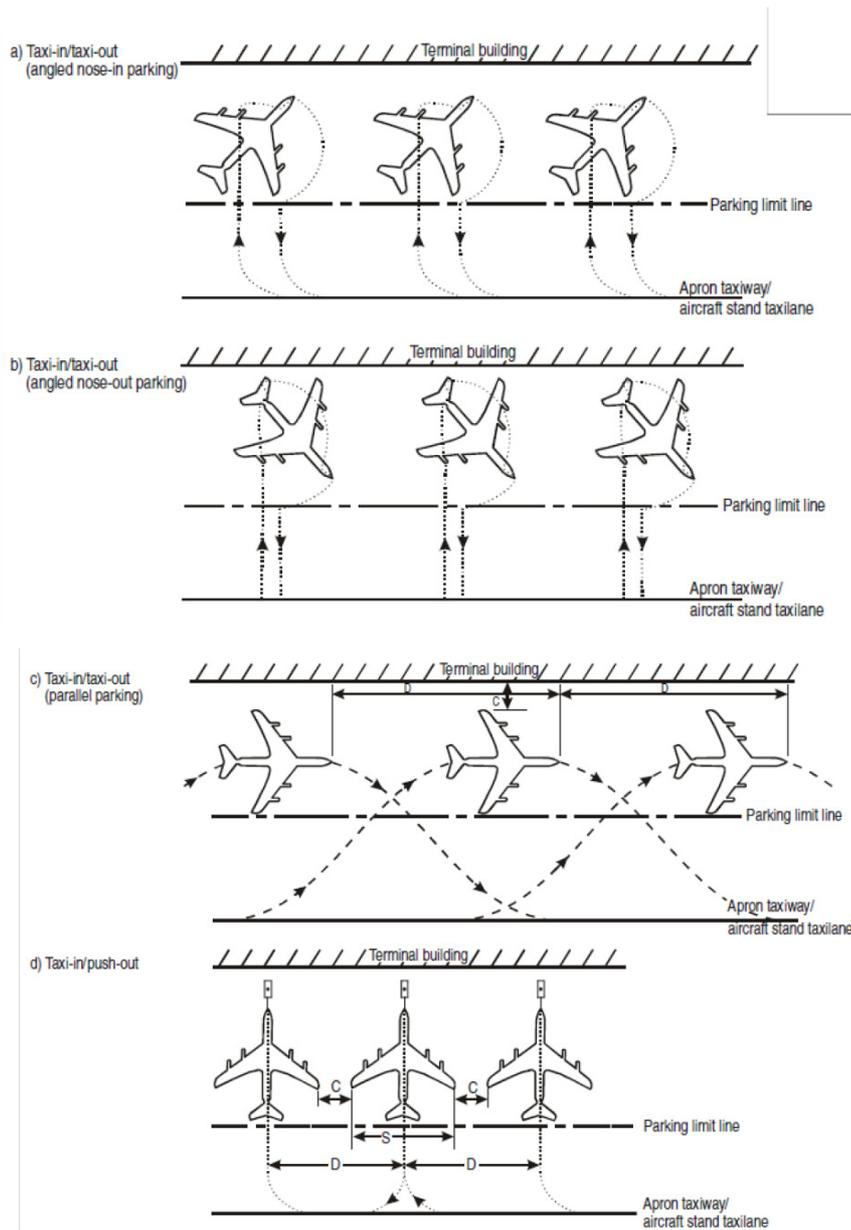


圖 3.12 停機位停放方式示意圖

4. 航廈的配置

5. 滑行道與勤務道路的配置

需考量航機噴流(jet blast)的影響

6. 航機所需地面服務需求

- a) 消防栓加油點 hydrant fuelling points
- b) 接地棒 ground rods
- c) 電力插座 electric power outlets
- d) 預空調送風 pre-conditioned air supply
- e) 氣動電源 pneumatic air supply
- f) 飲用水供應 potable water supply
- g) 空橋 pax boarding bridges
- h) 機坪雷雨示警指 apron floodlighting

7. 地勤服務設備停放/儲存空間

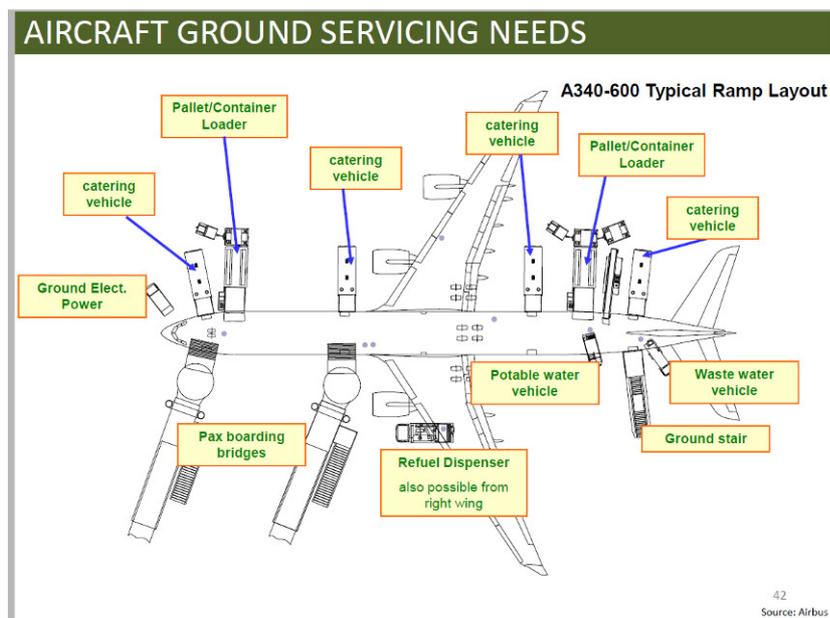


圖3.13 航機所需地面服務平面示意圖

3.2.3.2.3 多重航機停放系統MARS(Multiple Aircraft Receiving Stand)

利用此系統，可以讓一個原本只為停放一架寬體機設計的停機位，可變

成同時停放兩架窄體機。提供了靈活性，以適應機隊結構的未來變化，提高了停機位的利用率。如圖 3.14 所示。

新加坡樟宜機場即使用此一系統，並採用單一停機位多重導引（Single Stand - Multi Docking），讓原本只供大型航機停靠的停機位，可視航機組成彈性調整為同時容納更多數量小型航機停靠的停機位，提高停機位調度的靈活性，並可增加停機位使用率。

惟必須考慮地面處理設備的配合和操作程序。另外地面的標線，有可能讓另一次使用此系統的駕駛員感到困惑，這些因素，在設計 MARS 系統時，都必須加以考量。

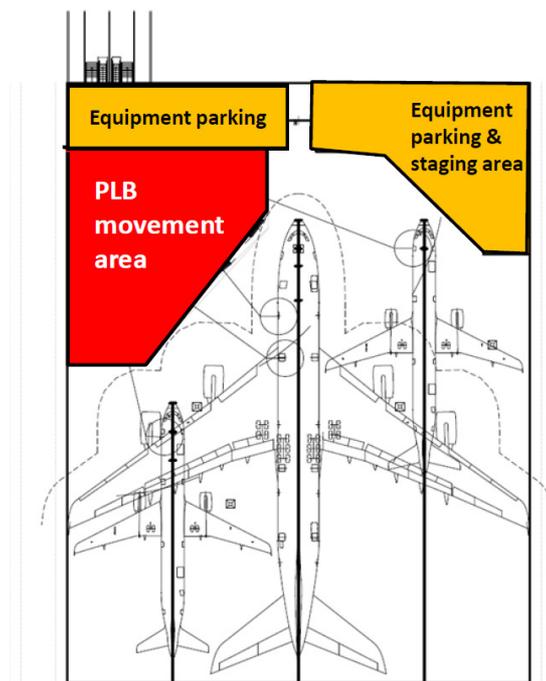


圖 3.14 MARS 多重航機停放機位示意圖

3.2.3.2.4 受隔離航空器停放位置(Isolated aircraft parking position)

已知或被認為是遭受非法干擾之航空器，或由於其他原因需要與正常之機場活動互相隔離之航空器，應指定一個隔離的停放位置，或是將停放該航空器之位置通知機場之管制塔台。

受隔離飛機之停放位置應儘可能遠離(不小於 100m)其他停機位、建築物或公共區域，同時應確定無任何地下公共管線，如天然氣管道及航空燃油管道；如果可能，亦應避開地下電力或通信電纜。

3.2.3.3 等待區(Holding bays)

等待區係一個可提供飛機等待或旁越(bypass)的區域，用來使機場運作更有效率。因此，在運量為中或高度時，應視機場運作需要提供等待區。

跑道等待位置(runway-holding positions)，應設於a)滑行道與跑道之交叉處之滑行道上；b)兩跑道交叉時，設於作為標準滑行路徑之一部分之跑道上。

跑道中心線至等待區、滑行道/跑道交叉處之跑道等待位置或道路等待位置三者之距離，應符合表3.12之規定；如為精確進場跑道，則應使等待之航空器或車輛不致干擾無線電助導航設施之運作。

表3.12 跑道中心線至等待區、滑行道/跑道交叉處之跑道等待位置或道路等待位置三者之最小距離

Type of Runway	Code Letter			
	1	2	3	4
Non-instrument	30m	40m	75m	75m
Non-precision approach	40m	40m	75m	75m
Precision approach category I	60m (b)	60m (b)	90m (a), (b)	90m ^{a), b), c)}
Precision approach categories II and III	-	-	90m (a), (b)	90m ^{a), b), c)}
Take-off runway	30m	40m	75m	75m

- a) If a holding bay or taxi-holding position is at a lower elevation compared to the threshold the distance may be decreased 5m for every metre the bay or holding position is lower than the threshold, **contingent upon not infringing the inner transitional surface.**
- b) This distance may need **to be increased to avoid interference with radio aids.**
- c) Where the Code letter is F, this distance should be 107.5m.

58

3.2.4 燈光

3.2.4.1 可能危及航空器安全之燈光

機場附近可能危及航空器安全之非航空地面燈，應予以熄滅，遮蔽或改裝，以消除危險之來源。

3.2.4.2 可能危及航空器安全之雷射散射

為保護航空器的安全，避免因雷射散射造成有害的影響，於機場附近應建立保護空域。

3.2.4.3 緊急燈光(Emergency lighting)

在跑道設有跑道燈而沒有備用電源時，應備有足夠之緊急燈光，以便在燈光系統失效之情況下，能夠方便地將緊急燈光安裝在主跑道上。

3.2.4.4 機場燈光

機場燈光可分為障礙燈光、機場標誌燈、進場燈光、跑道燈光及滑行道燈光系統。各項燈光之顏色如下：

- a) 障礙燈：白色或紅色
- b) 進場燈：白色
- c) 精確進場滑降指示燈 (Precision Approach Path Indicator, PAPI)：白/紅色
- d) 跑道邊燈、跑道中心線燈、著陸區燈：白色
- e) 跑道頭燈：綠色。
- f) 跑道末端燈：紅色。
- g) 跑道警戒燈：黃色
- h) 停止線燈：紅色
- i) 滑行道邊燈：藍色
- j) 滑行道中心線燈：綠色



圖 3.15 機場進場燈光示意圖

3.2.4.4 精確進場滑降指示燈 (PAPI)

PAPI，是為協助駕駛員於進場下，掌握於降落時之下滑的角度是否侷於正確之 3 度。PAPI 是由 4 個等距設置之燈光組成，設置於進場方向跑道之左側。有紅色和白色兩種光。駕駛員因航機下滑角度不同，會看到紅色或白色的燈光，有下列情形：

- a) 4 個紅燈：航機下滑角度太低，應趕快抬高機鼻。
- b) 4 個白燈：航機下滑角度太高，可能無法於跑道端點完全降落，應再下降機頭高度。
- c) 左 2 白，右 2 紅：下滑角度剛剛好。
- d) 左 1 白，右 3 紅，航機下滑角度略低，應稍後抬高機鼻。

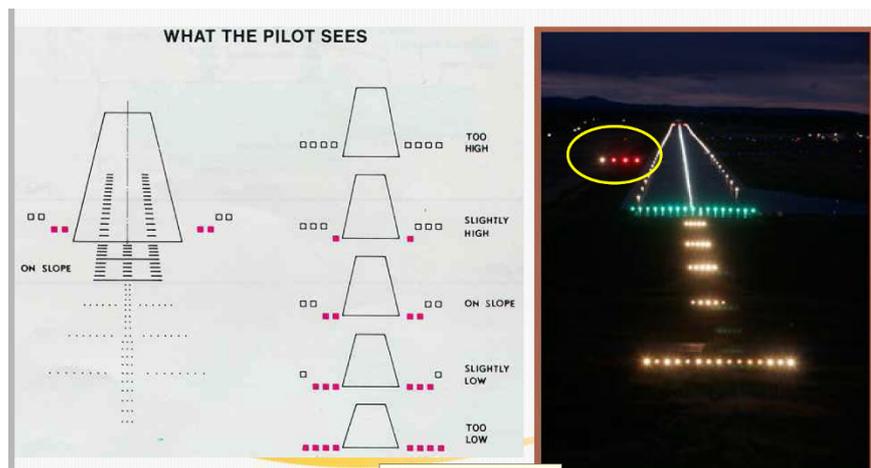


圖 3.15 PAPI 燈光系統示意圖

3.3 跑道道面設計與施工(Pavement Design&Construction)

Why we need pavement ? 這是進入道面課程時，授課講師請我們思考的問題。在運具使用初期皆行駛於土壤/岩石/砂石路面，而後逐漸發展出道面系統，最主要的原因有二：一是為了速度，二是為了能在各種天氣狀況下都能使用。而跑道道面設計，由於航機的重量相較其它運具更重，以及考量其操作特性，因此更為複雜。

道面指在路基(subgrade)為基礎而構成的結構體系，由表面到底層包含面層(surface course)，基層(base course)和底基層(subbase course)和路基，用來支撐流量的負載以保護土壤。路基的組成是填充材料或原始自然土壤，經由壓實或處理，形成路基以接收覆蓋於其上的路面層。路基上面的三層是特別挑選的材料，並依不同的設計厚度來達到將流量負載分配到路基的目的。

道面的性能的好壞，指可以提供航機舒適、安全並順利起飛、降落和滑

行的能力。道面的性能不完全等於道的的結構狀況：不佳的道面結構狀況，道面的性能一定不好；好的道面結構，道面的性能不一定就好。

道面設計時主要的考量因素如下：

1. 土壤分類相關相互關係、鋪面路基的特性
2. 鋪面種類的選擇

分為瀝青混凝土(asphalt)、混凝土(concrete)、複合式(composite)、段鋪裝(segmental)，依據EAPA(European Asphalt Pavement Association)於2003年的調查，機場使用瀝青混凝土鋪面的比例較多，如表3.13所示。

表3.13 各機場使用鋪面種類調查結果

	Pavement Type			Total Number
	Asphalt	Concrete	Others	
All airports	226	70	66	362
Airports with Runway>3000m	126	58	37	31

3.幾何設計

跑道與滑行道、滑行道與滑行道交叉彎道設計

4.決定設計機型及年起降架次

5.結構、厚度設計

➤ Most critical area for pavement are，(下列區域的設計強度要較跑道更強)

- Parking bay：雖然航機的重量在停機坪和在跑道起飛時一樣的重量，但在停機坪時另有一些服務、支援輔助設施的車輛和設備的重量。

- Take off pad
- Taxiway：因為在滑行道時，航機的速度較慢，道面所承受的壓力較大。

➤ 航機的承載特性

- 以航空器最大起飛重量為設計基礎，航空器總重量95%由主輪承受、5%由鼻輪承受。
- 輪距
- 軸距
- 主輪型式：單輪、雙輪、雙複輪、複合式

6. 排水和安全的設計

7. 平順(smoothness)/粗糙(roughness)的需求

3.3.1 柔性道面

柔性道面指建材是瀝青混合物(bituminous mixtures)、依靠足夠的厚度為負載分配，以保持路基的壓力在安全範圍內。柔性道面為多層結構，厚度的設計與路基的強度之間敏感度高。柔性道面依據承載原理作應力分析，距離載重位置愈近，則應力愈大；反之則較小。

柔性道面厚度的設計的方法如下：

1. 加州承載比率法(CBR)
 - a) CBR 設計曲線提供在各路基上需要支承指定航空器重量的柔性道面(面層、道基、與道床)的總厚度。曲線顯示所需的面層厚度。
 - b) CBR%，指路基土壤或路面粒料與標準優良級配碎石承載力之百分比。
 - c) ESWL，等價單輪載重(Equivalent Single Wheel Load, ESWL)，根據各機型之輪軸型態計算主降落輪單輪重。
 - d) 依據路基強度(CBR%)、航機的重量(換算成等價單輪載重ESWL)、年離場量，求得所需的鋪面厚度。如下圖3.16所示

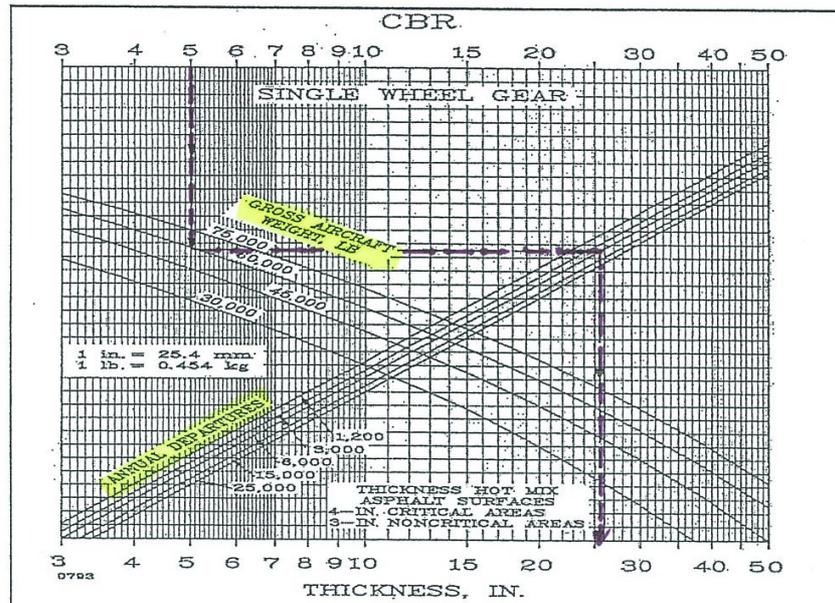


圖3.16 柔性鋪面厚度設計CBR法，流程圖

2. FAA 法

採用 CBR 法的概念-即每一個上層都利用 shear failure 來防止下一層被承載的重量破境，採用 ESWL，等價單輪載重(Equivalent Single Wheel Load, ESWL)概念，假設飛機 95%的總起飛重量(gross takeoff weight)由主輪(main landing gears)承載，5%由鼻輪(nose gear)承載，假設設計年限是 20 年。

設計步驟如下：

- a) 決定目標年之營運機型組成與各機型之年離場量
- b) 利用 CBR 法，得出每一個機型所需要的鋪面厚度，所需厚度最大的機型，即為設計機型。
- c) 依其他機型之主輪型式，以轉換係數，得出其他機型相對於設計機型之修正年起飛量
- d) 以設計機型的重量為基準，將其他機型之修正年起飛量作修正計算，得出等量年起飛量(Equivalent Annual Departures)，並將其加總，得總設計年起飛量
- e) 輸入路基(Subgrade)、基層(Subbase)的 CBR 值；設計機型的總起飛重

量；總年起飛量。

- f) 利用查表，得到總鋪面厚度，以及需要的基層厚度；再求得最小的瀝青表層厚度，並檢視是否大於最小所需厚度。

3.3.2 剛性道面

剛性道面指建材是混凝土板(concrete slab)、依靠足夠大小區域的混凝土板為負載分配，以保持路基的壓力在安全範圍內。剛性道面直接鋪在路基(subgrade)上，中間不一定需要基層和底基層，厚度的設計與路基的強度之間敏感度不高。依據板承載原理作應力分析，板分散外載重，在有效半徑內的應力及應變力大致相同。

剛性道面設計曲線以Westergaard的邊緣載重分析為準。FAA假設道面的應力在接縫邊緣處較板塊內部為高。起落架可以是相切的縱向銜接，或垂直於橫向銜接，取其產生較大的應力。亦假設飛機95%的總起飛重量(gross takeoff weight)由主輪(main landing gears)承載，並亦引用設計機型的概念。

剛性道面厚度的設計的方法與柔性道面程序大致相同，最大不同點為，僅考慮路基的強度，並以K值表示，程序如下：

- a) 決定目標年之營運機型組成與各機型之年離場量。
- b) 利用機型、年起飛量、總重量及主輪型式，查表得出每一個機型所需要的鋪面厚度，所需厚度最大的機型，即為設計機型。
- c) 依其他機型之主輪型式，以轉換係數，得出其他機型相對於設計機型之修正年起飛量
- d) 以設計機型的重量為基準，將其他機型之修正年起飛量作修正計算，得出等量年起飛量(Equivalent Annual Departures)，並將其加總，得總設計年起飛量
- e) 輸入路基(Subgrade)的K值；設計機型的總起飛重量；總年起飛量。

f) 利用查表，得到混凝土鋪面的厚度。

3.3.3 FAA新版道面厚度設計(AC 150-5320-6e 2009)

考量舊版的道面設計程式已使用近30年，沒有辦法準確地評估航機大型化後，由B777和A380複雜的輪胎型式負荷所造成的路面損壞。因此，FAA在2009年依據AC 150-5320-6e文件，出版新的道面厚度設計方法及軟體程式FAARFIELD，取代了上述3.3.1~3.3.2節所述於2006年設計之舊版道面厚度設計程式。新版程式採用分層彈性(Layered Elastic)分析與3D有限元素法(3-dimensional Finite Element)設計新的或舊有加鋪之柔性與剛性道面，以及考量航機自中心線橫向總偏移量之影響。

柔性道面厚度設計，採用層彈性理論取代舊版CBR厚度設計方法，以「道基土壤頂部垂直應變及瀝或混凝土面層底部水平應變」推估道面結構壽命，並且在特定「路基土壤強度」及「航機交通量組合」情況下，計算滿足設計年限需求之道面各層所需之厚度。

剛性道面設計，則是使用「混凝土板邊緣底部最大水平應力(裂縫因子)」推估道面結構壽命，設計時使用之最大水平應力，取決於板塊邊緣荷重之狀況，並由程式依據特定「路基/基層土壤強度」及「航機交通量組合」計算滿足設計年限需求之混凝土板厚度。此外，FAARFIELD除修正剛性道面疲勞破壞模式，以符合現行航機之輪胎組成方式及荷重型式外，另採用3D有限元素法直接計算板塊邊緣應力，更符合板塊之臨界應力。

3.3.4 ACN(航機分類指數) / PCN(道面分類指數)

國際民航組織(ICAO)在1983年公布 ACN / PCN 方法，作為機場道面承載力之通報標準。為了安全與營運，凡ICAO之會員國都必須依據ICAO之方法，公布機場跑道之PCN值。ACN用以表示航機對鋪面的影響；PCN用以表示道面乘載能力。透過這一套ACN / PCN系統的架構，使得具有一特定PCN值的鋪面，可以不受航機重量的限制，在一定胎壓下、其ACN值小於或等於PCN

值的情形下支撐此一航機。而這一套評估系統能運作的原因是，ACN / PCN 使用相同的技術基準進行評估。

ACN(Aircraft Classification Number)：根據不同鋪面類型及路基土壤，在不需指定鋪面厚度下，以此數值來表示其單獨對鋪面之影響。意即在特定路基強度下，一個用以表示航機對鋪面相對影響之數字。

PCN(Aircraft Classification Number)：在不指定任一特殊機型下，以此數值來表示鋪面承載荷重能力，亦即不須任何起降限制條件下，機場鋪面所能提供之承載強度。依據 ICAO Doc9157, Aerodrome Design Manual Part3 Pavement所定義，PCN值係為跑道鋪面狀況所能夠承受1.25 MPa 標準胎壓之單輪荷重值之五百分之一（以公斤為單位）。

ACN-PCN系統僅可供機場管理者用以評估及確認航機運作及起降，不可用於或取代鋪面設計或鋪面評估；鋪面設計與評估為一複雜之過程，無法簡化為單一之數值。

3.3.4.1 ACN的計算

$$ACN = \text{等價單輪載重(kg)} * 2 / 1000$$

ACN計算時採等價單輪載重(Equivalent Single Wheel Load, ESWL)概念計算航機主輪軸與鋪面之相互作用。根據所採用之機場跑道鋪面設計方法計算航機在特定情況下所需厚度，此厚度即為參考厚度(reference thickness)。再利用參考厚度作為計算航機主輪軸等價單輪載重之媒介。為使所有航機能在同一標準下進行比較，計算ACN時，將標準胎壓固定為1.25Mpa。

每一架航機都有8個ACN值，包含2種不同的鋪面型式(剛性、柔性)，搭配4種路基強度分類(High strength, Medium strength, Low strength, Ultra low strength)。

剛性鋪面，以波特蘭水泥(PCA)法，利用Westergaard 程式，假設營運

頻率10,000coverages, 工作應力399psi(2.75MPa), 標準胎壓固定為181psi(1.25Mpa); 不同強度路基的K值分別如下: 554pci—High., 296pci—Med., 148pci—Low., 74pci—Ultra low。

柔性鋪面, 以CBR機場鋪面設計法, 利用Boussinesq程式, 假設營運頻率10,000coverages, 標準胎壓固定為181psi(1.25Mpa); 不同強度路基的CBR值分別如下: 15%—High., 10%—Med., 6%—Low., 3%—Ultra low。

除了飛機製造商外, 一般人較少進行ACN值的計算。飛機製造商公佈之航機ACN值如下表3.14範例。

表3.14航機ACN值

Aircraft	Max/Min Wt (kN)	Tire P (MPa)	ACN (Flex.)				ACN (Rigid)			
			A	B	C	D	A	B	C	D
A340-500,600	3590 1750	1.42	70	76	90	121	60	70	83	97
A300B, B2	1353 840	1.16	29	31	34	42	29	28	32	37
A320-200	725 402	1.03	21	23	27	36	19	22	26	31
B747-300	3720 1760	1.31	37	39	44	50	40	43	45	48
B757-200	1134 570	1.24	19	19	21	25	20	21	23	24
B767-300	1566 860	1.38	55	62	76	98	50	60	71	82
			22	23	26	34	19	22	25	30
			34	38	47	60	32	39	45	52
			14	15	17	23	13	15	18	20
			44	49	59	79	40	48	57	65
			21	22	25	33	19	22	25	29

3.3.4.2 PCN值說明

PCN值由5個部分組成: PCN數值、道面型式、道基強度、胎壓、評估方法。如: 80/R/B/W/T。各組成的代表參數如表3.15所示。

表3.15 PCN值代表參數彙整表

Pavement Type	Subgrade Category	Tyre Pressure	Evaluation Method
R = Rigid F = Flexible	A = High Strength B = Medium Str. C = Low Strength D = Ultra Low Str.	W = High X = Medium Y = Low Z = V. Low	T = Technical U = Using aircraft

影響PCN之因素包含有: 使用經驗或技術評估法、PCN評估方法、評估時所採用的鋪面設計方法、鋪面服務壽年、起降機型組成與交通量、道面結構強度回算方式、道面厚度計算方式與相關參數。

不同計算方式所得之PCN值差異可達200%以上。PCN並無一標準參考值，不同的設計方式所計算出的PCN值並無絕對優劣。

PCN是相對數值的概念，PCN數值的高低與營運機型息息相關，因此當航班組成有重大改變時，機場當局應重新審視PCN值，包含關鍵機型改變、起降架次改變等。

有關PCN值的發佈，一般以道面強度最弱區域之PCN值為發佈值，但如果最弱區域非使用頻繁之區域，則可以選擇其他適宜區域之PCN為代表值。

一般而言，ACN值應小於PCN值，但當航機ACN大於跑道PCN時，基本上跑道不會一次性或劇烈的損壞，但會縮短鋪面的使用年限，因此非常態性少量的超載是被允許的，以ICAO規範，超載航班之數量不可超過所有航班年離場架次的5%；FAA建議以500 coverages規範超載航班之數量。當道面有明顯破壞產生，或路基因泡水而弱化時，則不可容許超載，當有超載開始後，機場當局應定期檢視道面狀況，以維安全。

3.3.4.3 FAA之COMFAA軟體之應用

COMFAA以ICAO Airport Pavement Design Manual之14號附約內容為基礎，可用於進行剛性或柔性鋪面之設計厚度、計算各型航機於剛性或柔性鋪面之CAN(可協助使用者計算在不同情況下之航機ACN值，但正式(官方)ACN則由航機製造商提供)，本身的資料庫內已包含大部分的商業與軍用航機之資料，使用者也可自行依需要在資料庫內建立新的航機資訊。

軟體內包含CDF(累積損傷因子)概念，作為機型間交通量轉換之方式。COMFAA 3.0軟體內除航機組成與鋪面資訊需使用者自行輸入外，其餘程序全部自動化。

3.3.4.4 運用COMFAA計算PCN

➤ 柔性鋪面

- 輸入道面的性能，並將道面結構轉換為標準柔性道面的結構。(由表面依序如下：P-401, P-209, P-154, Subgrade)
- 輸入航機起降頻率與特性。
- 輸入路基的CBR值。
- 應用COMFAA分析，產生ACN的列表，並決定PCN值。(決定PCN的流程：依序將每一種機型視為關鍵機型，並將所有交通組合轉換成關鍵機型的交通量；計算關鍵機型的ACN，選取最大的ACN作為鋪面的PCN。)

➤剛性鋪面

- 輸入航機起降頻率與特性。
- 決定路基K值。
- 應用COMFAA分析，產生ACN的列表，並決定PCN值。

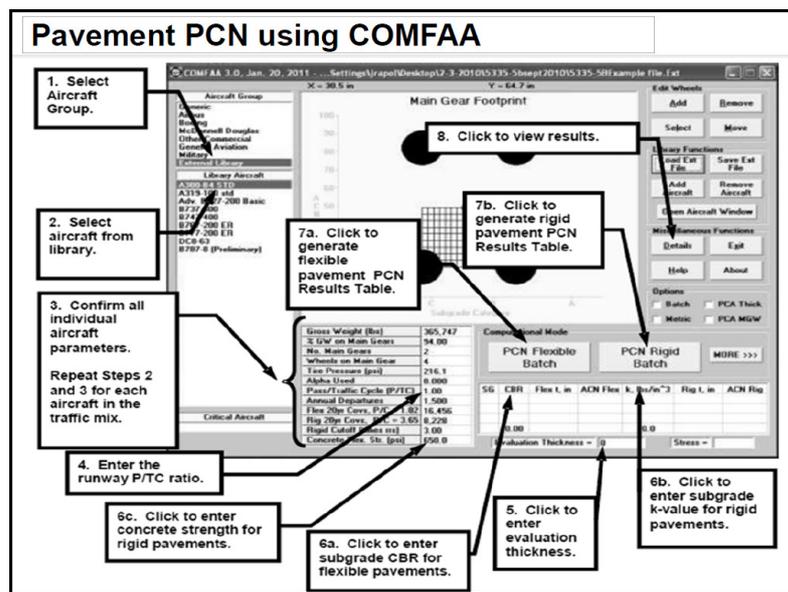


圖3.17 COMFAA畫面

3.4 機場排水(Airport Drainage Design)

機場排水系統相較於機場之航廈、跑道、燈光等系統來說，似乎較不受重視，尤其一般談論機場排名或機場服務品質評比時，機場排水設施幾乎不占權重，也較不為旅客所享受，但其實機場排水系統對於機場營運安全和效

率來說卻是基本需求。不良的排水設計或忽略排水設計，輕則排水不良，重則嚴重的話導致跑滑道等系統之損壞，進而使得機場被迫關閉。

3.4.1 機場排水的目的

1. 維護航機運作的安全與效率。
2. 將場面上的地表水排出。
3. 將多餘的地下水排出。
4. 降低地下水位
5. 避免坡度被侵蝕

3.4.2 機場排水考量因素

1. 氣象水文資料蒐集
2. 逕流量推估
3. 排水計畫與機場整地配合
4. 地面水收集與排除
5. 地下水收集與排除
6. 滯洪調節及抽水設備規劃

3.4.3 地表水逕流量推估相關變數

1. 水流集中時間 T_c (Time of Concentration)

區域內最遠的水流到排水系統的時間

$$T_c = T_o + T_d$$

T_o 為地表逕流時間

T_d 水於為排水系統內之流動時間

2. 降雨強度 I (Rainfall Intensity)

與降雨的持續時間有關，每個國家地區的降雨型態、持續時間均有其獨特的特性。I 值一般由各國公部門之降雨統計資料查表可得

3. 逕流係數 C (Coefficient of Runoff)

與地表坡度、土壤性質、植被情形有關

4. 某特定頻率降雨之尖峰逕流量 Q_r (m^3/sec)

$$Q_r = C * I * A / 360$$

C：逕流係數

I：降雨延時等於集流時間時，該特定頻率之平均降雨強度(m m /hr)

A：集水面積(hectares, ha)(1ha=10,000m²)

3.4.4 機場排水的設計

1. 將機場內土地依地表及地理特性適當的分區
2. 依各分區土壤之地表性質，查表或依經驗值得出一合理的 C 值
3. 依排水佈設之位置，算出 T_c
4. 由降雨頻率及 T_c，查表得出 I 值
5. 最後由曼寧公式(Manning formula)算出所需的設計管徑

$$Q_c = A * R^{2/3} * S^{1/2} / n$$

Q_c=drain discharge capacity(m³/sec)(通水流量)

A=flow area(m²) (水流斷面積)

R=A/P=hydraulic radius(m)(水力半徑)

P= wetted perimeter(m)(溼周長)

S=bed gradient (坡度)

N=roughness coefficient (曼寧粗糙度，查表)

3.5 機場電力系統(Electical Services System)

3.5.1. 高壓配電網路 (High voltage (HV) power distribution network)

高壓電通常在輸電配電系統中使用。配電系統用高壓電的原因包含：

1. 高功率承載能力
2. 在長距離的配送中可以有較小的電壓降低和損失
3. 較小的載流導體
4. 相同分配功率下所需成本較低

5. 更高水準的可靠性
6. 操作和擴建的靈活性

高壓配電網路設計主要考慮因素

1. 環狀設計，每一個迴路採單獨環狀設計，並分別與變電站互連。
2. 高可靠度，互相備援，其中一個故障時，可由另一個取代，繼續提供電力。
3. 保留未來擴充或加強的彈性。
4. 大容量，保留未來擴充所需。
5. 可維護性。

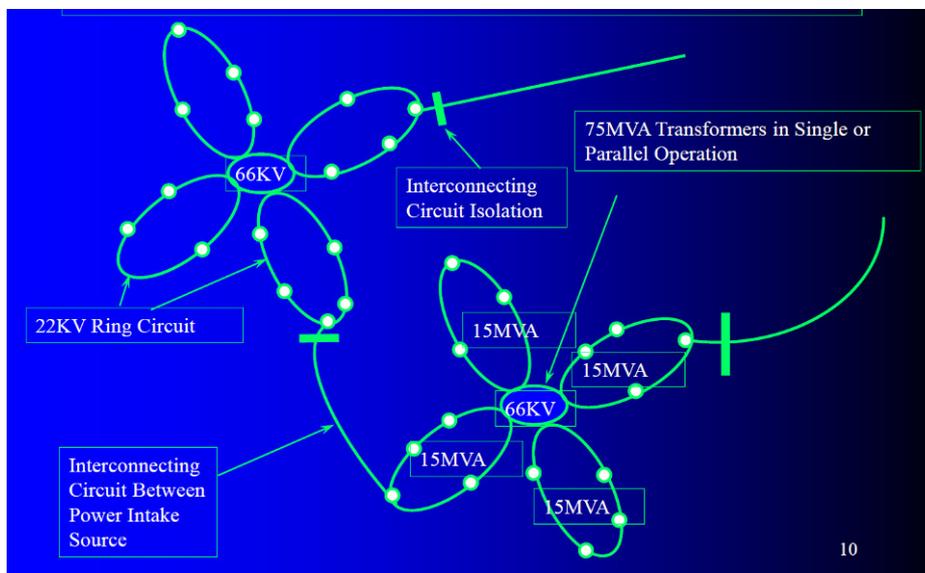


圖 3.18 高壓配電網路環狀設計圖

3.5.2 低壓配電 (Low voltage(LV) power distribution)

低壓配電，使用於大多數的建築設備和機場系統，分為必要的、非必要的，以及緊急電源。由發電機或不間斷電源系統，供應必要的和緊急電源。如圖3.19

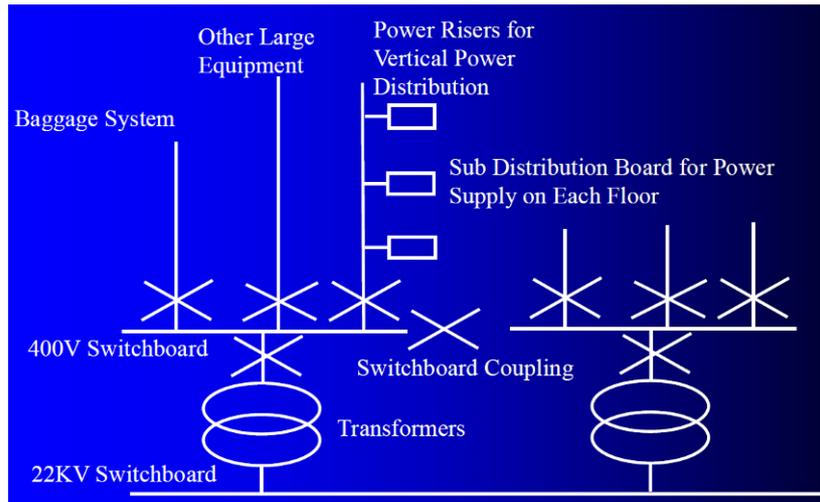


圖3.19 低壓配電於航廈建築內之設計示意圖

3.5.3 緊急電源供應 (emergency power supply)

緊急電源供應，可採下列三種方式：

1. 備用發電機(Standby generators)
2. 不間斷電源系統(Uninterruptible power supply system, UPS)
3. 直流系統(Direct current system)

直流系統是一個獨立的電源，不受發電機用電及系統運行方式的影響，並在外部交流電中斷的情況下，保證由備援電源—蓄電池繼續提供直流電源的重要設備。

3.5.3.1 備用發電機用於下列設備

1. 依法規所必須設置
 - a) 消防/檢測
 - b) 防/排煙系統
 - c) 緊急照明(10%~20%)
 - d) 公共廣播系統
 - e) 緊急語音通信
 - f) 消防員之升降機
 - g) 機械通氣出口
2. 機場之必要服務(essential services)
 - a) 助航燈光及系統 100%

- b)塔臺設備 100%
- c)關鍵的通訊及計算系統 100%
- d)保安系統及設備 100%
- e)空橋設備及引導系統 100%
- f)行李處理系統 100%
- g)機場其他系統，如 CUTE, DCS, AODB, FIDS 100%
- h)一般燈光及電力 50%
- I)水泵，沖廁 100%
- J)空調 50%

3.6 行李處理系統(Baggage handling system)

行李處理系統是一個後端的操作，但它卻是機場系統中非常關鍵的一環。行李處理系統故障，對機場營運是一個大災難。

行李處理系統之設計應考量自陸側至空側整個過程操作之流暢性，以及提供足夠空間供航空公司處理行李，只有登機旅客及其已通過安全檢查的行李才可以運送至航機。

3.6.1 出境行李處理

依據旅客報到的流程，出境行李處理系統依序摘要如下：

1. 報到輸送帶(Check-in Conveyor)

將乘客 check-in 的行李輸送到收集輸送帶 (collector conveyor)



圖 3.20 報到輸送帶

2. 收集輸送帶(Collector's Conveyor)

也稱為 takeaway 輸送帶，因為它將行李 takeaway 到行李儲存處。

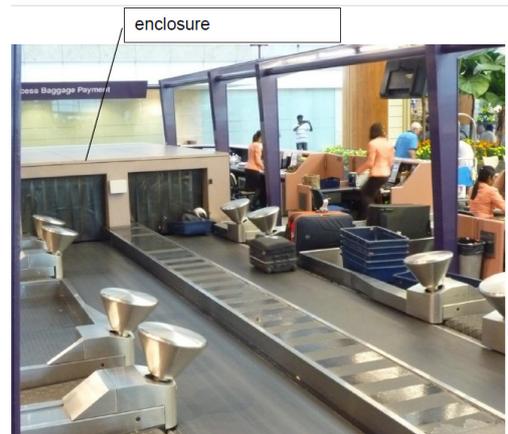
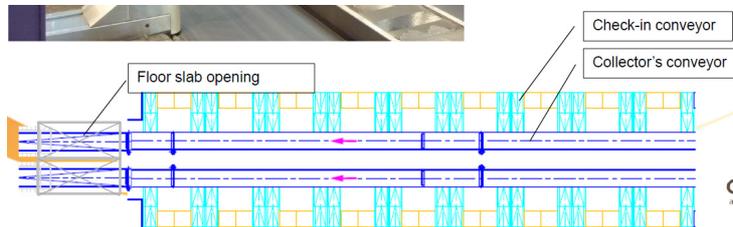


圖 3.21 收集輸送帶

3. 傾斜/下降輸送帶(incline/decline conveyor)

輸送或分類行李的輸送帶，傾斜/下降坡度不可大於 12 度~18 度，避免行李在輸送過程中滾出指定的位置。



圖 3.22 傾斜輸送帶

4. 轉向輸送帶(Divert Conveyor)

將行李從一個輸送帶，以 45 度的角度轉移到另一輸送帶。



圖 3.23 轉向輸送帶

5. 裝運轉盤

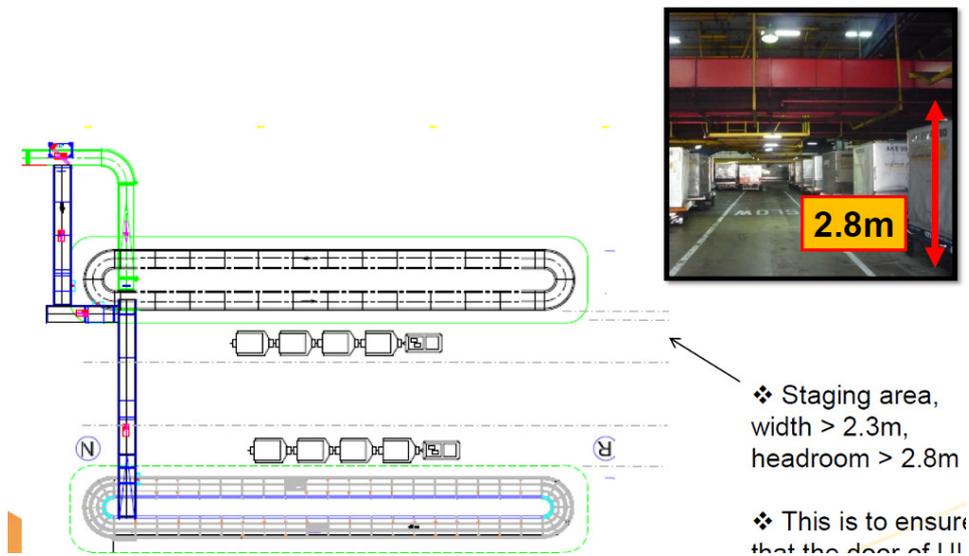
地勤人員，在行李從裝運轉盤卸下，再裝載至貨櫃(container)中。

典型轉彎半徑設計是 1500mm，供地勤人員工作走道空間寬度設計為 1 公尺，不宜太寬，工作人員無法轉身就將行李置於貨櫃中。

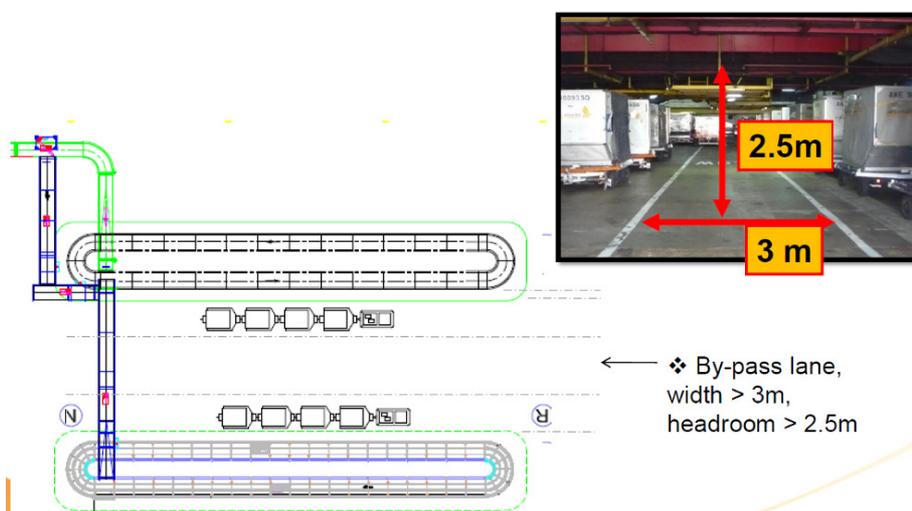


圖 3.24 裝運轉盤

儲存區域的寬度須大於 2.3m，淨高 2.8m，以確保 ULD 的門可行通暢打開。



儲存區通道的高度至少2.5m，寬3m



3.6.2行李安全檢查

行李安全檢查共分為5級

Level 1 使用AT(Advanced Technology)或MVT(Multi-View Technology)的X-ray機器檢查。

Level 2 使用螢幕分辨(On Screen Resolution)

將“可疑”行李的圖像，送到中央安全機構進行更嚴格的審查，在此同時行李還在運作的輸送帶上。一般設計的決策時間為20秒。

Level 3 使用電腦斷層CT(Computer Topography)的X-ray機器檢查

可以進行360度的檢查，但每個小時能處理的行李數量較少，約600個。一般設計的決策時間為60~90秒。

Level 4 使用爆炸物追蹤探測器ETD(Explosive Trace Detector)

安檢室將行李的表面採樣和掃描(swipe)，並放入ETD中分析

Level 5 使用威脅安全殼TCV(Threat Containment Vessel)

將可能之爆炸物置入防爆炸容器中檢查

每一等級檢查所能驗出不合格行李的比例如圖3.25所示。

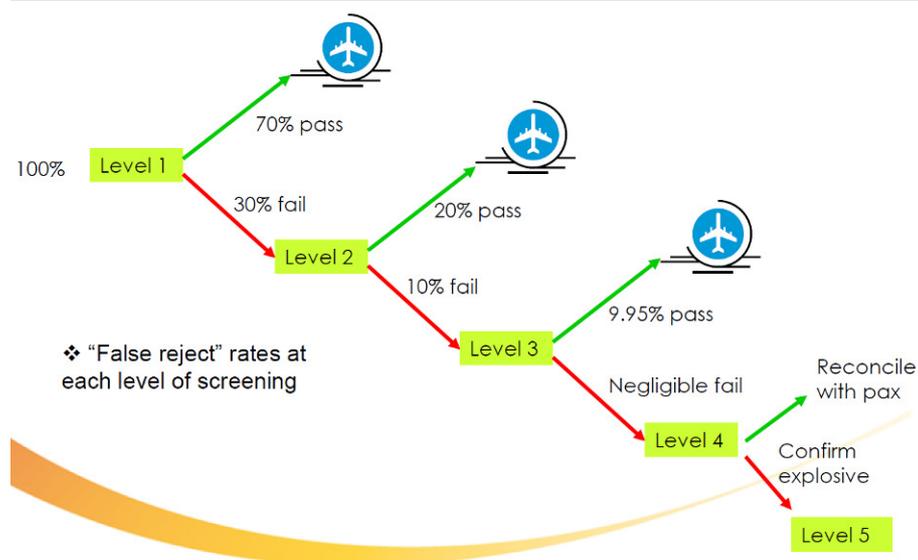


圖3.25 行李檢查通過率

3.6.3 入境行李處理

設計時需考量行李卸載區、輸送帶與行李轉盤。

行李轉盤一般分為平面式與傾斜式兩種。

3.6.4 自動行李處理系統

1. 有了自動行李處理系統可以共同辦理報到手續，這意味著乘客可以在報到大廳任何一個櫃檯辦理報到手續。
2. 當有愈來愈多中轉行李時，就需要自動行李處理系統。
3. 因為自動分揀增加了複雜性，因此電腦計算系統是必須的。
4. 行李上必須標記 IATA 標準的 10 位數字標碼。

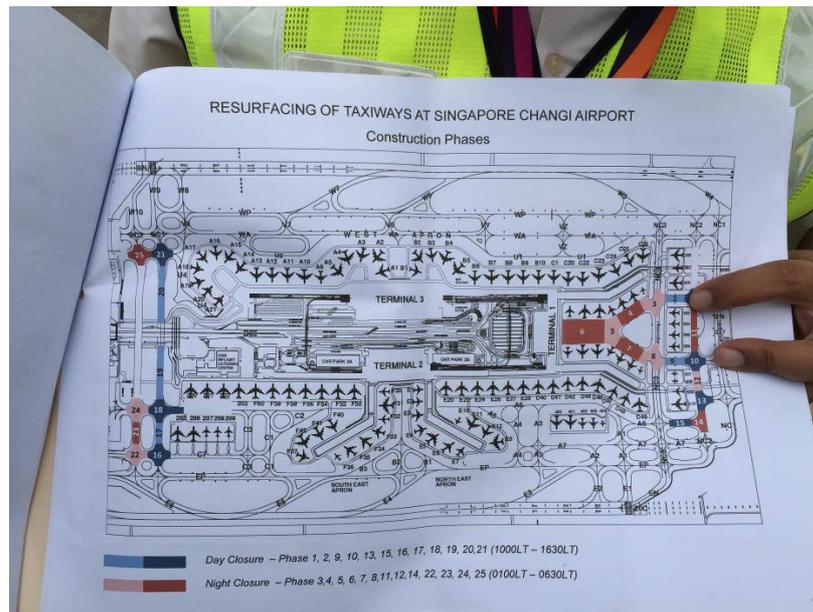
3.7 參訪

本次課程著重大地工程、瀝青混凝土理論與設計、跑道鋪面設計與施工，亦安排了相關的參訪行程包含空側場面施工與混凝土實驗室。

3.7.1 空側場面施工參訪

包含滑行道柔性道面施工與停機坪之剛性道面施工

滑行道柔性道面重鋪



施工計畫表





將瀝青混凝土鋪上道面，並壓平



以光輪壓路機來回滾壓，並校正高度，不足處再補足及滾壓。



將鋪設完成的工區周邊瀝青刮平、保持工區的整齊

停機坪剛性鋪面重鋪

本次參訪停機坪鋪面重鋪共3處，其中一處剛開始進行舊停機坪鋪面的挖除，並加以回收，新鋪面的材料中有50%以上，採用舊鋪面(挖除後經過篩選後)的材料；另一處則是已經完成混凝土澆置，正在進行養護；最後一處是完成施工剛開放營運。



正在將舊鋪面挖除，再將所挖下來的材料送進篩選室，留下可再利用的材料，新的鋪面材料中有50%是利用回收的材料。



為避免挖除工程的煙灰瀰漫，在挖除的同時會利用灑水機器灑水。



為避免挖除工程的煙灰瀰漫，在挖除的同時會利用灑水機器灑水。



混凝土澆置完成後立即掃紋(防滑)及養護，以防風吹日曬而乾縮龜裂



混凝土澆置完成後立即掃紋(防滑)及養護，以防風吹日曬而乾縮龜裂



剛完成施工並開放營運之新停機坪鋪面





工區的四周皆用顯著的紅色護欄區隔，工區保持相當整潔，並設有遮陽/雨棚，供工作人員休息與集會處所

3.7.2 混凝土實驗室參訪

三和(SAMWOH)有限公司是在1975年在新加坡註冊成立的運輸和物流公司，之後該公司投資了一家瀝青攪拌站，並擴展了它的瀝青預混料供應和鋪設服務。

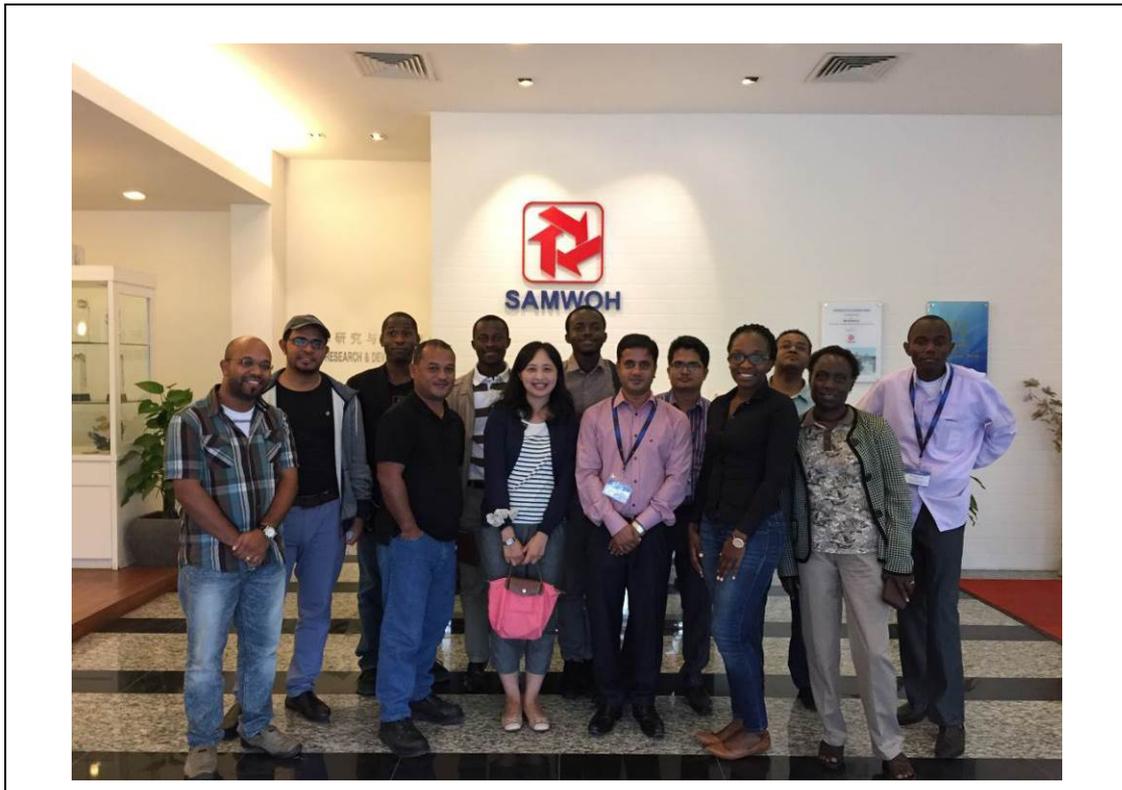
近年來，三和公司響應新加坡政府的政策，持續參與工業廢棄物的回收利用、減少、再利用和循環利用廢棄物。不斷尋求新的合資企業，持續推動技術和創新的成為建築商品和服務的一站式供應商。

本次參觀三和公司之零耗能實驗室，該實驗室從事各類建築材料的研究，其實驗室之建築本身則是100%係利用建築廢料轉化為再生建築材料的建築物。





實驗室正在進行利用輪胎屑當成鋪面材料的實驗，據介紹人員說明，目前成果相當不錯，在硬度上有一定的水準，未來車輛的運行上，也可以降低噪音值。他們正試著增加輪胎屑在整個材料上的比率。



四、心得與建議

本次參加訓練課程之相關心得與建議如下：

4.1 心得

1. 知其然亦須知其所以然。

本次課程對於跑道的幾何設計，授課講師依據 ICAO 第 14 號附約之標準和建議，非常詳細而有系統的說明，儘管在上課前已對 Annex14 有所瞭解，但多僅在查閱相關之數字，意即停留在知其然但不知其所以然之階段，透過本次課程，經過授課講師系統性講授，瞭解其背後的規範用意，以及數字代表的意義，收獲頗多。

2. 預留因應調整與擴建空間的重要性

機場建設期程較長，且非常耗費土地資源的，另運輸需求是衍生性需求，

需配合經濟活動的成長適時檢討，因此，在規劃時除考量發展與營運目標，整體評估最佳投資方案外，亦需針對未來運輸政策、觀光發展、產業乃至國土發展政策調整等，預留因應與調整之空間與彈性。

3. ACN 及 PCN 值觀念的釐清

參加本次課程前，一直對於 ACN 及 PCN 值之觀念有誤解，誤以為一架航機只有一個 ACN 值，也誤以為在一定鋪面厚度及材料情況下跑道之 PCN 值是固定的。上完本次課程，才瞭解 PCN 是相對數值的概念，PCN 數值的高低與營運機型及設計壽年息息相關，因此當航班組成有重大改變時，機場當局應重新審視 PCN 值，包含關鍵機型改變、起降架次改變等。

而每一架航機都有 8 個 ACN 值，包含 2 種不同的鋪面型式(剛性、柔性)，搭配 4 種路基強度分類(High strength, Medium strength, Low strength, Ultra low strength)。

雖然，一般而言，ACN 值應小於 PCN 值，但當航機 ACN 值大於跑道 PCN 值時，基本上跑道不會一次性或劇烈的損壞，但會縮短鋪面的使用年限，因此非常態性少量的超載是被允許的，以 ICAO 規範，超載航班之數量不可超過所有航班年離場架次的 5%

4. 專案的開始決定成敗

在專案初期，所耗費的成本非常低，到了專案的中期，開始施工階段，成本上升的非常快，而在專案結束前，專案所產生的成本也是逐漸減少。然而，在專案初期，相關的規劃和決策方向，對專案的影響相當大，有些專案甚至在開始時的決策就決定了專案的成敗，隨著時間的推移，對專案的影響反而逐漸減少。因此，在專案進行初期，確認要解決的問題，以及要達成的目標，這樣的步驟一定不能少，經詳細的規劃、討論，才能在既定的時間、預算內，以一定的品質或效果，完成產出。

5. 機場空側作業環境的安全和健康的強調

不管在課堂上、以及在實地參訪時，授課講師對於空側作業環境的安全性的強調，以及人性化的空間的重視，讓我印象深刻：在實地參訪時，看到施工工地周邊立有非常明顯的安全區隔與警示護欄，工區整齊清潔、甚至規劃了供施工人員休息與集會的場所；在空側作業管理與空側設施/設備系統講授時，講師特別強調停機坪的 safe envelope 區域，提醒規劃人員對於這個區域的重視，因為會影響空側作業人員的安全；另外也非常重視空側作業人員的健康和合理的工作環境，包含進入管制區的動線規劃、管制區內的工作人員休息室、流動食品亭(mobile food Kiosk)、升降機(dumbwaiter)等設備等等，都非常值得我國學習。

6. 對於資源的回收與再利用的重視

新加坡與我國一樣屬於島國，天然資源缺乏，因此對於資源的回收與再利用相當重視，無論在課堂上，或是實地參訪，均強調資源的回收與再利用，據新加坡同學表示，根據新加坡環保局的統計數據顯示，新加坡廢棄物的總體資源回收率達 60%左右，其中建築廢料的回收率甚至高達 99%，機場建設亦多採用回收建築廢料；更投入非常多的心力在相關的實驗上，尋求替代能源與天然資源的可能性，這些都值得我國參考。

4.2 建議

1. 課程內容應該更多元化

本次課程名稱為機場設計與施工，但承辦單位對課程內容規劃，偏向空側跑道鋪面的設計與施工，以及空側的排水設計，對於陸側航廈的設計與施工幾乎沒有討論，整個課程的安排似有不足，因此在上課第一天即向承辦單位提出建議，承辦單位回應，考量機場空側部分於 ICAO 有詳細規範，因此課程較為注重，惟亦認為筆者提出之建議非常好，將會把意見提供給學院於未來規劃課程參考，增加陸側相關設施的設計與施工等內容。

2. 持續派員參加機場工程相關課程

新加坡自 2013 年起與美國柏克萊大學運輸學系(Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, US)合作開設機場工程(Airport Engineering Program)課程，是專門為工程師獲得國際認可的專業資格，同時具備機場工程學術與實用知識的一個方案；加以參與課程的同學，來自不同地區和國家，有些國家平常接觸機會甚少，專業背景也各不相同，包含有土木工程建築、機場規劃等，來自政府部門(民航局)及機場公司，除了課堂上討論外，課後的交流也能分享與學習彼此的工作經驗與甘苦，除可進一步瞭解各國機場發展情形外，我也充分利用機會介紹臺灣的機場發展以及臺灣的風俗民情，借機行銷臺灣，增加我國的國際能見度。

建議能持續派員參加本課程，除了吸收完整機場系統知識外，亦可汲取國外成功案例，也增進國際交流，相信對於我國後續機場工程與規劃有正面助益。