

出國報告（出國類別：實習）

機場維護課程報告

服務機關：交通部民用航空局

姓名職稱：邱炤勳 技士

派赴國家：新加坡

出國期間：民國 100 年 9 月 11 日至 10 月 1 日

報告日期：民國 100 年 12 月 6 日

目 錄

一、目的.....	2
二、行程、課程表及師資.....	2
三、課程內容重點摘錄.....	6
四、心得及建議.....	25

一、目的

本次赴新加坡民航學院參加機場維護課程，上課期間自 100 年 9 月 12 日至 100 年 9 月 30 日，共 3 週，主要目的係為學習機場設施維護之專業知識、樟宜機場集團維護管理之經驗，及參觀新加坡樟宜機場維護情形，以應用於機場維護管理工作上，及提高機場維護作業之品質。

新加坡民航學院就機場工程，與南洋理工學院合作開辦三階段課程，第一階段為機場計畫、第二階段為機場設計與施工及第三階段為機場維護，本次係參加第三階段機場維護課程。機場維護課程的講師主來來自新加坡樟宜機場集團及新加坡南洋理工大學，課程內容包含鋪面管理維護、建築物管理維護及機電系統管理維護，另亦安排景觀美化、機場保安、停機坪管理、防火安全等課程，俾利學員對機場營運管理有整體了解。上課方式為演講、案例研究、問題討論、機場參觀及專題分組討論報告，屬於相當實務的課程。

二、行程、課程表及師資

(一)行程表：

日期	行程	重點說明
100 年 9 月 11 日 (星期日)	台北－新加坡	啓程
100 年 9 月 12 日 (星期一) 100 年 9 月 30 日 (星期五)	新加坡	於新加坡民航學院 (Singapore Aviation Academy) 參加機場維護課程
100 年 10 月 1 日 (星期六)	新加坡－台北	回程

(二)課程表：

Airport Maintenance Schedule						
	0900-1000	1015-1115	1115-1215	1315-1415	1415-1515	1530-1630
12 SEP	Registration	Overview of Maintenance Management		Maintenance of M&E System-B baggage Handling System	Maintenance of M&E System-PLB	Study Period
13 SEP	Pavement Management System			Overview of Energy Efficiency for Buildings		
14 SEP	Resource Allocation				Resource Allocation Workshop	
15 SEP	Facilities Life Cycle Costing					
16 SEP	Rigid Pavement Maintenance			Flexible Pavement Maintenance		Evaluation of Pavement Strength
19 SEP	Maintenance of Airport Civil Facilities				Runway Resurfacing	
20 SEP	Maintenance Contract and Budget	Maintenance of M&E System-AC,Lifts;HT/L T Networks		Fire Safety Management in Airport Buildings		Study Period
21 SEP	Landscaping& Maintenance	Visit to Nursery	Visit to Airport Maintenance	Study Period		
22 SEP	M&E Maintenance Airport Security System&Equipment	Apron Management	Airport Security	Visit : Rehabilitation of Parking Stands and Recycling Plant		
23 SEP	Study Period					
26 SEP	Structural Defects in Building&its Causes; Structural Concrete Failure and its Rectifications			Building Defects and Rectification		Study Period
27 SEP	Study Period					
28 SEP	Airport Maintenance Case Study &Group Presentation			Fire Safety Management in Airport Buildings		
29 SEP	Study Period					
30 SEP	Examination					

(三)授課師資：

Nanyang Technological University

Assoc Prof Lum Kit Meng	Senior Lecturer School of Civil and Environmental Engineering
Assoc Pro Wong Yew Wah	Senior Research Fellow School of Mechanical & Aerospace Engineering
Dr Cheah Yuen Jen	School of Civil and Environmental Engineering

Changi Airport Group (Singapore) Pte Ltd

Mr Koh Ming Sue	Senior Vice President Engineering and Master Planning Division
Mr Lim Yi	Senior Manager,Baggage Handling System Engineering and Master Planning Division
Mr Au Lye Quee	Manager,Passenger Transportation Systems Engineering & Master Planning Division
Mr Clarence Low	Manager, Civil Engineering & Master Planning Division
Mr Darren Leow	Manager,Seletar Engineering Systems Engineering & Master Planning Division
Ms Koh Sim Yi	Senior Manager,Projects and Contracts Division
Mr How Choon Onn	Vice President, Project & Contract Projects and Contracts Division
Mr Saravanan Kanagasabai	Superintendent, Fire Safety Airport Emergency Service Division
Mr Khaja Nazimuddin	Senior Manager(Horticulture) Airport Operations Division
Ms Rose Chia	Associate Airport Operations Division
Ms Esther Ang	Manager,Control&Communications Systems Engineering & Master Planning Division

Mr Andy Chin	Manager,Control & Communications Systems Engineering & Master Planning Division
Mr Elvin Tan	Assistant Airside Manager Airport Operations Division
Mr Gobinath Thangaveloo	Senior Manager,AVSEC Aviation Security Unit
Mr Goh Lian Boon	Senior Associate, Civil Engineering & Master Planning Division

CPG Consultants Pte Ltd

Mr Yeo Wee Kian	CPG Facilities Management
-----------------	---------------------------

三、課程內容重點摘錄

1. 機場維護管理之概述

1.1 新加坡樟宜機場發展概況

樟宜機場於 1981 年時，設有 1 座航廈、1 條跑道及貨運中心等，總面積為 1300 平方公尺；於 1981 至 2009 間擴建第 2、3 航廈、廉價成本航廈及第 2 條跑道等；至 2009 年時，樟宜機場客運量達 3720 萬人次、貨運量 163 萬噸、航班 240,360 架次。

樟宜機場最大客運量約為 7300 萬人次、最大貨運量約 300 萬噸、2 條跑道可容納 75(架次/小時)。

1.2 機場設施項目

- 土木設施：機場道面、車行道路、建物結構、草坪、排水及圍籬等。
- 航廈機電(M&E)服務：
電源及發電機、空調系統、機械通風、電梯、電扶梯、電動走道、消防系統、擴音系統、給水及污水處理系統等。
- 機場特殊設備：
行李輸送系統、手提行李檢查系統、空橋、飛機停靠引導系統、空側照明控制系統、安全設備(X光機，中央監控器)。
- 故障管理中心：智慧型大樓自動化和系統。

1.3 機場設施設計考量

簡單設計、性能可靠、可維修性、零備品充足、後續擴充性、具經濟性、重要系統妥善性、具成本效益。

1.4 機場設施維護組織

- 組織之設置應考慮資源面、管理面及計畫面，如下：
 - 資源面包含人力(不同經歷的成員)、設備工具、備品及經費等。
 - 管理面包含各層級負責程度。
 - 計畫面包含各類設施之目標及作業程序。

1.5 維護理念

1.5.1 維護目標：在設施可用性與維護資源間取得最佳平衡。

1.5.2 維護考量

維護程度、維護零件備品是否充足、維護工作量(含計畫性及緊急性維護量)、選擇可靠零備件、維護廠商後續支援、維護預算及人力資源。

1.5.3 故障主要原因：不良材料、不良設計、不當安裝及自然磨損等。

1.5.4 維護作法

- 妥善的設計

於工程規劃階段時，即考慮後續操作維修成本，並擇生命週期成本較低的方案。另於設計階段時，應考量設備發生故障中斷服務時，

能迅速修復恢復運作。

- 定期維護
定期辦理預防性檢查，以確保設備維持在最佳狀態，對於有老化現象或故障設備均能迅速的更換及修復。
- 友善的客服
接受客戶批評，以客戶為本，對於任何建議應迅速確實處理。
- 人員訓練
不斷訓練公司內部人員，以維持及提升其專業能力。

1.6 維護廠商之管理

- 關鍵執行指標(Key Performance Indicators(KPIs))
於維護合約明訂執行指標(如容許修復時間等)，維護廠商應定期提出執行報告，機構內部團隊據以管理維護廠商落實辦理維護工作。
- 依合約獎懲
應將維護廠商義務納入合約內，當維護廠商未達執行目標時，將依契約規定懲罰；反之，當維護廠商於超前完成時，則給予適當獎勵。
- 密切監督
機構內部團隊應與維護廠商密切合作，且應確實監督維護廠商執行關鍵項目，以獲得最佳服務品質。同時機構內部團隊應同時提升本身專業技術及能力，以避免過於倚賴外部維修廠商，而失去專業能力。
- 使用者意見回饋維護作業
應提供使用者意見反應平台，並要求維修廠商將使用者意見回饋於後續維護工作上。
- 作業程序及施工規定
機構內部團隊應明訂作業程序及施工規定，以利維護廠商遵循。作業程序及施工規範應隨維護經驗檢討修正。

1.7 採購策略

- 選擇適合維護廠商
應選擇可依招標文件需求提供服務的廠商。選擇廠商可參考廠商歷年經歷及相關證明文件、廠商提供人力資源及財務狀況、廠商過去訴訟及索賠情形、廠商提出期程表及附加提議等資料。
- 提高採購規模
為使維護採購案具競爭性，可將工作範圍擴大至相當規模，以吸引財務健全且較具技術的大型廠商參與投標。
- 明訂合約需求
維護合約需求應明確，但不過度限制規格技術，以利廠商引進新技術達成目標任務，及節省成本。惟仍定訂基本要求，以確保系統正常運作及突發故障時得立即處置。另於合約內應訂優先處理故障情形，如下：

- 第一優先處理事件(緊急)—立即回應和修理。
- 第二序位處理事件—24 小時內處理及修理。
- 第三序位處理事件(非關鍵)—不屬應即時修理項目或需大修項目。
- 選擇全包或非全包合約
 - 全包合約為承包商提供故障修理及老舊汰換零備件及服務，此種合約總價較高。非全包合約由業主控管零備件，承包商提供服務，但業主需有額外人力購料和管控存料。
- 採購預算和剩餘價值評估
 - 採購新設備或維修前，應以全生命週期成本分析評估設備剩餘價值，以確定最省成本之處理方案。

1.8 成本管控

維護方式包含預防性維護、故障維護及計畫性改善工作，前述各維護方式之成本管控，應就生命週期成本(包含建設費及維護費)考量及管控。

1.9 提供優質客服

- 機場客服人員應和善禮貌答覆旅客之抱怨意見。
- 對於旅客抱怨意見應妥善處理，並請維護廠商於期限內完成處理。
- 重視旅客滿意度。

2. 機場土木設施維護

2.1 土木設施項目

鋪面(包含跑道、滑行道、停機坪)、車行道路、排水系統、供水系統、消防系統、安全圍籬、草坪及建築物。

2.2 維護方式：

- 預防性維護：依維護計畫時間表進行例行性檢查。
- 故障維護：依據檢查紀錄，針對故障設施維修。
- 計畫性改善維護：為提升設備等級(如辦理跑道及滑行道重鋪等)，依逐年編列預算辦理。

2.3 樟宜機場土木設施維護之委外合約項目

包含鋪面維護、清潔(含空側和陸側)、建築物維護、防治害蟲、消防設備維護、污水管道清潔、草坪維護及供水系統維修。

2.4 樟宜機場鋪面維護情形

2.4.1 道面現況

- 4000m x 60m 跑道 2 條
- 滑行道總長度 43,000 公尺。
- 停機位 144 處，面積 800,000 平方公尺。

2.4.2 預防性維護

- 目測檢查
 - 空側：跑道每日檢查 5 次、滑行道每日檢查 2 次及停機坪每日檢查

2 次。檢查重點為外來異物(FOD)、鋪面、照明、標線油漆(包含著陸區、跑道中心線、邊線,滑行道、停機坪標線)、道面摩擦係數(每週檢查)、胎屑(胎屑清除使用化學溶劑、化學溶劑和高壓水的結合、機械磨除及高壓水)、排水、安全圍籬。

- 陸側：建築物(大樓清潔、垃圾清運、害蟲防制、防火設備、供水管及污水管清理)、供水(檢查飲用水、再生水、工業用水水壓及漏水)。
- 非破壞性試驗：測量(Surveying)、騎乘品質評估(Ride quality evaluation)、落錘撓度儀(Falling weight deflectometer)。
- 破壞性試驗：鑽心取樣送實驗室辦理試驗。

2.4.3 柔性鋪面常見損壞

反射裂縫 (Reflective cracks)、鱷紋裂縫 (Alligator cracks)、滑動裂縫(Slippage cracks)、車轍(Rutting)、橫向裂縫(Transverse cracking)、縱向裂縫(Longitudinal cracking)、瓦解或崩解(Ravelling or stripping)。

2.4.4 跑道表面摩擦特性的評估

- 依據國際民用航空組織附錄 14 規定，辦理跑道摩擦特性評估，以確保摩擦維持在可接受的範圍。
- 樟宜機場使用 SAAB 摩擦檢測車進行跑道表面摩擦測試。
- 檢測方法為將跑道分成三段(A/B/C)，以速度 96KM/HR 測量 2 回，每回為距中心間單側 3、6、9、15 公尺處。
- 摩擦係數標準，用於設計之標準為 0.74，用於維修之標準為 0.47 及最小摩擦係數之標準為 0.34。

2.4.5 空側清掃標準

- 依據國際民用航空組織附錄 14 規定，停機坪每天至少清掃一次。
- 每 10,000 平方公尺不超過 100 克外來異物(FOD)。

3. 鋪面強度之評估

3.1 評估目的

- 評估受不同型式航空器之鋪面承載能力。
- 評估鋪面是否需辦理維護改善。

3.2 影響鋪面強度因子

鋪面壽命、氣候狀況、航空器荷重、交通運量、鋪面材料(如柔性或剛性鋪面)種類。

3.3 評估時機：機場擴建時、停降新型航空器時或鋪面壽命將盡時。

3.4 評估方法

- 檢視歷史資料

檢視原始設計參數、假設條件、竣工圖、維修紀錄、天候記錄及交通運量。

- 目視檢查
現地檢查後，以鋪面表面評估及評等系統 PASER(Pavement Surface Evaluation and Rating)評估鋪面狀況。
- 破壞性試驗(DT)
 - 剛性鋪面
鑽心取樣後進行強度破碎試驗，以推算其等值抗彎強度(equivalent flexural strength)。
 - 柔性鋪面
進行自由共振圓柱實驗室測試(free-free resonant column lab test)，以推算出瀝青混凝土模數(Asphalt concrete modulus)。
- 非破壞性檢測(NDT)
檢測設備容易搬運且操作容易，對機場營運衝擊低。常用的檢測設備有落錘撓度儀(Falling-Weight Deflectometer(FWD))、透地雷達(Ground Penetrating Radar(GPR))及紅外線感應器(Infrared Thermography(IR))。
- 調查現況與設計參數比對評估
 - 剛性鋪面
調查鋪面各層厚度、板載重試驗及混凝土抗彎強度試驗，並與設計參數比對，以評估鋪面狀況。
 - 柔性鋪面
調查鋪面各層厚度、加州承載比試驗(California Bearing Ratio(CBR))，並與設計參數比對，以評估鋪面狀況。
- ACN/PCN 評估
檢測鋪面 PCN 值及調查起降航機 ACN 值，並分析評估鋪面承載情況。

4. 剛性鋪面之維護

4.1 剛性鋪面組成

由上層至下層分由混凝土板塊(Portland cement concrete slab)、基底層(subbase course)及路基(subgrade)組成。

4.2 預防性維護

以目視檢查後，再參照 FAA Advisory Circular 150/5320-17 dated 7 December 2004 - Part 2(Appendix 2)所列之鋪面表面評估及評等(Pavement Surface Evaluation and Rating(PASER))評估鋪面等級。PASER 依鋪面鋪設目視損壞程度分為 5 級，第 5 級的狀況最好，逐降級狀況愈差，各級損壞情況及處理方式如下表。

Rating system		
Surface rating	Visible distress*	General condition/ treatment measures
5 Excellent	None.	New pavement or recent major concrete rehabilitation. Like-new condition. Less than 5 years old. No maintenance required.
4 Good	Hairline or sealed cracks 1/8" wide or less. Map cracking. Pop-outs.	Concrete over 5 years old. Signs of wear. Minor spot repair of cracks or joint sealant.
3 Fair	Several slabs broken into two pieces by slab cracks. Corner cracking on several slabs, 1/4" wide with no spalling. Joint sealant mostly in good condition, less than 10% needing replacement. Several patches in fair to good condition. Map cracking or scaling on 10% or less of the surface area. Slight faulting, less than 1/4", in several locations.	First sign of significant slab cracking, corner cracking, scaling, or faulting. Several patches. Joint sealant repair required. Isolated repair of joint or patch.
2 Poor	Many slab cracks, some breaking the slab into three or more pieces. Cracks open 1/8" or cracks with spalling. D-cracks at several joints. Sealant failure over 10% of joints. Several patches in fair to poor condition with cracks in patch and uneven surface. Faulting 1/4" to 1/2" in several locations. Severe or extensive scaling.	Needs sealant replacement on more than 10% of cracks or joints. Partial depth or full depth joint repairs or patch replacement. Repair faulted joints. Replace or overlay slabs with severe scaling. Bonded or unbonded concrete overlay.
1 Failed	Many wide cracks with failed sealant and grass. Extensive crack and joint spalling. Slabs extensively cracked or shattered. Many corner breaks with spalling. D-cracks with spalling. Patches in poor condition with spalling. Numerous faults over 1/2".	Extensive full depth joint repairs or slab replacements. Extensive patching and complete overlay. Complete reconstruction.

* A given pavement segment may not have all of the types of distress listed for a particular rating. It may have only one or two types.

資料來源：FAA Advisory Circular 150/5320-17(Appendix 2)

4.3 剛性鋪面損壞類型—

4.3.1 表面缺陷(surface defects)

- 磨光(Polishing)
鋪面表面粒料磨損，以瀝青加鋪或打毛混凝土表面，以恢復其抗磨能力。
- 網狀裂縫(Map cracking)
因鋪面不當修補或含鹼骨材導致網裂，以瀝青填封或局部深度修補處理。
- 凍裂(Pop-outs)
因鋪面含膨脹性粒料，於受凍融作用引起凍裂，以填封或更換板塊處理。
- 鱗裂(Scaling)
因鋪面不當修復或受凍融作用引起鱗裂，以局部深度修補或板塊更換處理。
- 碎裂(Spalling)
鋪面因凍裂或含不良材料導致碎裂，依嚴重程度，分以局部修補、全深度修補或更換板塊處理。

4.3.2 接縫(Joints)

損壞類型有縱向接縫 (Longitudinal joints) 及橫向接縫

(Transverse joints)。一般接縫為狹窄且以填縫膠填充密合，當鋪面老化或惡化時，鋪面接縫間隙將變寬損壞；另鋪面沈陷及路基流失時，亦可能造成此類損壞。處理方法以全深度修補處理。

4.3.3 鋪面裂縫(Pavement cracks)：

- 板塊裂縫(Slab crack)
因受熱漲裂、過度負載或基底層夯實不足所造引致，長寬比大於1.25的板塊，易產生該類裂縫，處理方式為將裂縫填封，或更換板塊。
- D型裂縫 (Durability crack)
因凍融作用所引致，處理方式為將裂縫填封，或更換板塊。
- 角隅裂縫 (Corner cracks)
因路基承載力不足或鋪面受集中應力所引致。處理方法以部分或全深度混凝土修補，或更換板塊。
- 曲折裂縫 (Meander cracks)
因路床不穩定沈陷所導致，處理方法是將裂縫封填、部分修補、全深度修補或更換板塊。

4.3.4 鋪面變形(Pavement distortion)

- 沈陷或隆起(Settlement or heave)
因路基承載力喪失、冰凍隆起、負載傳遞樁損毀或鋪面含膨脹土所致。處理方法依嚴重程度，分以局部修補、全深度修補或板塊更換。
- 爆開(Blow-ups)
因不可壓縮材料（如沙、碎塊等等）滲滿接縫縫隙，當混凝土板塊膨脹無法釋壓時，接縫所臨的板塊將發生爆開現象，處理方法為全深度修補。
- 斷層(Faulting)
因路基土壤流失所致，處理方法為表面磨平、填封孔隙、局部修補、全深度修補或板塊更換。
- 修補效應(Utility repairs)、補釘(Patches)及坑洞(Potholes)

4.4 故障維護：依據 FAA advisory circular 150/5380-6B (Chapter 6)。

4.5 功能檢查

落錘撓度儀(Falling Weight Deflectometer)、強度分析(Analysis of Existing Strength)、平板載重試驗 (Plate Bearing Test)

4.6 汰換計畫

應收集鋪面 PASER 評估情形、過去故障維護資料、功能檢查記錄、鋪面情況、使用需求、使用年限、預算需求、招標方式等，再據以研擬汰換計畫。

4.7 再生混凝土粒料

- 為永續發展，降低碳排放，使用再生混凝土粒料(Recycled Concrete Aggregate (RCA))
- RCA 製程：將廢棄混凝土破碎、去除其中鋼筋等雜質及篩選分類。
- 樟宜機場計畫於粒料內摻入 20%的再生料，並試用於 8 座停機坪整建上，其計畫時程自 2010 年 7 月至 2011 年 10 月。

5. 柔性鋪面之維護

5.1 柔性鋪面組成

由上層至下層分由面層(Hot-Max Asphalt Surface)、基底層(Base Course)、基層(Subbase)及路基(subgrade)組成。

5.2 預防性維護

以目視檢查後，再參照 FAA Advisory Circular 150/5320-17 dated 7 December 2004 – Part 2(Appendix 1)所列之鋪面表面評估及評等(Pavement Surface Evaluation and Rating(PASER))評估鋪面等級。PASER 依鋪面鋪設目視損壞程度分為 5 級，第 5 級的狀況最好，逐降級狀況愈差，各級損壞情況及處理方式如下表。

Rating system		
Surface rating	Visible distress*	General condition/ treatment measures
5 Excellent	None, or initial thermal cracks, all narrow (less than 1/8")	New pavement less than 5 years old. No maintenance or isolated crack sealing required.
4 Good	Additional thermal cracking. Cracks generally spaced more than 50' apart. Less than 10% of cracks and joints need sealing. Minimal or slight raveling. No distortion. Patches in good condition.	Recent sealcoat or pavement over 5 years old. Seal open cracks or joints and replace sealant where needed.
3 Fair	Moderate raveling. Thermal cracks and joints generally spaced less than 50' apart. Crack sealing or repair of sealant needed on 10%-25% of cracks or joints. Edge cracks along 10% or less of pavement edges. Block crack pattern with cracks 6'-10' apart. Isolated alligator cracking and poor patches. Minor distortion or crack settlement less than 1".	Seal open cracks and joints. Replace failed sealant. Apply new surface treatment or thin overlay. Minor patching and joint repair.
2 Poor	Frequent thermal cracks. Wide cracks and joints with raveling in cracks. Deterioration along more than 25% of cracks. Edge cracks on up to 25% of pavement edges. Block cracks spaced 5' apart or less. Alligator cracking or poor patches cover up to 20% of surface area. Distortion or settlement 1"-2".	Needs significant crack sealing plus patching and repair on up to 25% of pavement surface. Overlay entire area with structural overlay.
1 Failed	Widespread, severe cracking with raveling and deterioration. Alligator cracking and potholes over 20% of the area. Distortion over 2".	Condition may be limiting service. Needs reconstruction.

* A given pavement segment may only have one or two types of distress rather than all of the types listed for a particular rating.

資料來源：FAA Advisory Circular 150/5320-17(Appendix 1)

5.3 柔性鋪面損壞類型

5.3.1 裂縫(Cracking)

- 橫向裂縫(Transverse cracking)
因瀝青料氧化硬固，使熱拌瀝青混凝土(HMA)面層收縮(Shrinkage)，或面層受熱收縮(Contraction)，所形成之裂縫。處理方法依嚴重性有裂縫修補、局部深度修補、全深度修補或重鋪。
- 縱向裂縫(Longitudinal cracking)
因橫向支撐的損失或管溝回填不良導致發生縱向裂縫，處理方法為增加側向支撐力、裂縫填補或重鋪。
- 鱷紋或疲勞裂縫(Alligator or Fatigue Cracking)
在疲乏老化層面上或軟弱路基本上，受反覆載重，使層面上過度變位所產生之裂縫，處理方法以挖除損壞區域，再回鋪夯實。
- 滑移裂縫(Slippage Cracking)
在軟弱面層或鋪面黏結力不足處，因飛機降落、煞車或轉彎產生之水平力，造成鋪面發生初月形裂縫，處理方法以挖除損壞區域，再回鋪夯實。
- 塊狀裂縫(Block Cracking)
成因為鋪面受溫差產生之收縮，所發生的裂縫。發生處與交通量無關，其塊狀大小約為0.3M至3M間，處理方法裂縫修補、局部深度修補、全深度修補或重鋪。
- 反射裂縫(Reflection Cracking)
因溫度溼度變化或交通負荷，使底下的舊有鋪面，產生垂直或水平移動，引發上層鋪面產生裂縫，處理方法同縱向裂縫。

5.3.2 分離(Disintegration)

- 瓦解(Raveling)
因鋪面結合料老化硬化致黏性不足，發生瀝青粒料分離，該瓦解後之碎料會成為外來異物危害(Foreign Object Debris/Damage(FOD))，處理方法為挖除回鋪或重鋪，臨時處理方法以填封料修補。
- 坑洞(Pot Holes)
發生原因為鋪面老化，使水可滲入鋪面造成損壞，處理方法為挖除損壞區域，再回鋪夯實。

5.3.3 變形 (Distortion)：

- 車轍(Rutting)
因鋪面夯實不足，或鋪面所受負載長期超過設計容量所致，處理方法以挖除損壞區域，再回鋪夯實。
- 皺折及推擠(Corrugation and Shoving)
因鋪面瀝青含量過高或鋪面層結合不佳，當車輛在該處起動及剎停時，會發生擠壓變形，處理方法以挖除損壞區域，再回鋪夯實。

- 壓低(Depressing)
因路基含有壓縮性土壤受壓沈陷或鋪面所受負載長期超過設計容量所致，處理方法以挖除損壞區域，再回鋪夯實。
 - 腫脹(Swelling)、起伏(Undulation)、蓄成池(Ponding)
- 5.3.4 抗滑損失(Loss of Skid Resistance)
- 滲液(Bleeding)
混合料含過量粘液，因受壓導致粘液滲出表層，處理方法以熱砂吸乾滲出粘液，或挖除及回鋪夯實。
 - 燃料洩漏(Fuel Spillage or Oil Spill)
可能因意外事故所產生的漏油或從他處漫延來的油污，臨時性修復為使用非侵蝕性化學藥劑清洗，永久性修復為挖除及回鋪夯實。
 - 粒料磨損(Polished Aggregate)、污染物(Contaminants)
- 5.4 汰換計畫—應收集鋪面 PASER 評估情形、過去故障維護資料、功能檢查記錄、鋪面情況、使用需求、使用年限、預算需求、招標方式等，再據以研擬汰換計畫。

6. 跑道重鋪

6.1 重鋪時機

當鋪面使用壽命將盡、鋪面毀損率增加、騎乘品質不良或未達國際民用航空組織(Annex 14)建議(即表面紋理平均深度應該不少於 1.0mm)。

6.2 新加坡樟宜機場跑道重鋪簡述

6.2.1 背景

因跑道鋪面已使用超過 25 年，且因近年運量增加，及為停降更大型航空器(如 A380 和波音 777)需求，故辦理道面重鋪。

6.2.2 說明

採用石化乳膠瀝青(SMA)及密級配熱拌瀝青(HMA)重鋪，並以溼度試驗(Moisture sensitivity test)、輪跡試驗(Wheel-tracking test)、磨補測試(Sand patch test)、英國鍾擺測試(Britich pendulum test)、油浸損失測試(Kerosene immersion test)等 5 種試驗，驗證鋪面品質，驗證結論顯示 SMA 對車轍抵抗表現較好，可用於跑道磨耗層，HMA 較耐潮和耐煤油表現較好，適合跑道結合層或滑行道的結合層及磨耗層。另 SMA 價格較傳統 HMA 高 20-40%，SMA 使用年限較傳統 HMA 長 30-50%。

6.2.3 施工

刨除舊有瀝青鋪面層後，分 3 層重鋪瀝青，第 1、2 層均鋪築 HMA，第 3 層鋪築 SMA，每層溫度需冷卻至攝氏 80 度始得鋪築下一層，鋪築完成後溫度需低於攝氏 60 度時再重新開放使用。

7. 建築物損壞維護

機場建築物有航廈、停車場、貨物站、消防站、備勤室、停機庫及塔台。建築材料有磚、混凝土、鋼、鋁、玻璃及木材等，其常見的損壞有混凝土鹼骨材反應、鋼鏽蝕、玻璃破裂及木材發霉等。自然環境影響因素有氣候、太陽輻射、溫度、水、生物、氣體及土壤等。建築物常見的損壞缺陷有地板破損、外牆剝落、受潮、屋頂積水、天花板漏水及圍幕牆滲水等。

7.1 維修考量

- 成本效益評估：應考量臨時性修復或徹底修復，及可延長壽命等。
- 修補材料選擇：應考量材料特性，如膨脹係數、彈性模數、滲透性、物理化學性質。
- 分析損壞原因：建築物發生龜裂時，應分析是否為結構性裂縫，或非結構性裂縫，再擇擇當處理方式。
- 維修外觀應搭配週邊景觀。

7.2 檢測方式

破壞性試驗(DT)為鑽心取樣試驗 (Core test)；非破壞性試驗(NDT)為反彈錘 (Rebound hammer)、超音波檢測(Ultrasonic pulse velocity)、溫澤探查 (Windsor probe)。

8. 景觀美化與維護

8.1 景觀設計原則

符合機場景觀主計畫、符合機場發展目標、考量後續維護性、考量旅客接受性及機場安全性。

8.2 樟宜機場戶外園藝考量

- 應能長時間暴露在陽光及降雨等天然環境下。
- 應考慮避免吸引鳥和動物聚集，以確保飛安。
- 應考量其灌溉需求性。
- 樟宜機場第 1 航廈戶外植栽景觀為淡紫色系(圖 8.1)、第 2 航廈為黃色系及第 3 航廈為紅色系(圖 8.2)，故在栽植上應儘量選擇該色系植物。

8.3 樟宜機場室內園藝(圖 8.3)考量

- 應考量對光、水和排水需求。
- 植栽類型有可採用樹、灌木、葉飾或攀緣植物。
- 考量可長時間在室內生長的植物。
- 應可搭配各類主題花園(如仙人掌園、蕨類園、蘭花園、蝴蝶園、芳香園)及角落圖示展示的植物。
- 選擇具特色的植物。

8.4 機場苗圃

機場苗圃佔地寬廣約 12 公頃，該苗圃設有室內及室外植物栽培區(圖 8.4)，培育各類大、中、小、水生及土生植物，其目的係為調適植物能

適應樟宜機場戶外及室內新環境。



圖 8.1 第 1 航廈紫色系植栽景觀



圖 8.2 第 3 航廈紅色系植栽景觀



圖 8.3 航廈室內景觀美化情形



圖 8.4 苗圃栽培情形

9. 機電維護

機電維護目的係為恢復原設計功能、達到法定要求、兼顧節能省電及增加安全可靠度。其項目有供電系統(含緊急發電機)、電梯和電扶梯、衛生設備、空氣過濾系統、空調系統和機械通風及消防系統等。

9.1 維護項目及內容

- 電氣系統：每年停機徹底檢查、發電機組每周或每月一次試運轉檢查、例行性以熱掃描檢查。
- 電梯及電扶梯：每年定期檢查，檢查項目包含基本保養、安全測試、潤滑、清潔及負載試驗。
- 衛生設備：檢查項目為水箱水質、加壓幫浦、廢氣排氣系統。
- 空調系統：檢查項目為冷卻系統、風扇、電動機、冷卻線圈、空氣過濾器、控制閥、電動擋板。
- 冷凍系統：檢查項目為冷凍水溫、冷凝器水溫、油量、油壓、壓縮機電流、壓縮機容許溫度、馬達線圈溫度。
- 消防系統：檢查項目為灑水器油箱、幫浦、火警報、消防管線、滅火器。

9.2 檢查量測儀器

包含皮帶張力量測計、振動量測計、紅外線溫度計、熱掃描影像器(Thermal Imager)、空氣流動量測計、瓦斯偵測計、轉速計、音頻計、相對溼度及溫度計、空氣品質測量計。前述熱掃描影像器，除可掃描設備外，亦可掃描天花板漏水及牆壁裂縫等。

9.3 維護作業

- 預防性維護：進行目視檢查、檢修、調整、測試、潤滑及清潔等工作
- 預測性維護：進行狀況監控，如監控主要馬達及幫浦等設備之溫度、監控主要 AHU 及幫浦等設備之振動情形。

9.4 緊急發電機：

9.4.1 使用備用電力之關鍵設備

- 為維持機場運作需要之關鍵電腦系統及電子設備，如：航班顯示系統、行李分類電腦系統等。
- 為維持飛機導航需要之關鍵電腦系統及電子設備，如：航空控制中心、儀降系統、照明系統、監控系統等。
- 機場關鍵照明，如：逃生和緊急照明燈。
- 引導疏散用之電梯。

9.4.1 緊急發電機重要之檢測維修項目

- 不斷電系統之發電機，每周一次或每兩周一次進行負荷測試。
- 發電機燃油存量平時應達 3/4 桶，另備用油箱應予裝滿(以提供至少 18 小時連續操作所需燃料)。
- 針對航空控制中心及 3 座航廈，每年進行 2 次停電演練。

- 燃料緊急輸送標準，為 3 輛 10000 公升輸送車，於 1.5 小時內將燃料分配予機場內部。

10.行李輸送系統(Baggage Handling System)維護

行李輸送系統由輸送機、馬達、電腦及網路系統等項目組成。各項項目規格及數量均應列表登記，以利後續管理維護及準備相關零件備品之用。管理單位亦應明訂各項目維護時間，並落實執行，例行性維護週期為 3 個月以內，關鍵項目則可縮短維護週期。下列整理例行性及非例行性維護，及零件備品管理重點。

10.1 例行性維護

- 維護工作係委託維護廠商辦理，機場管理者以管理指標監督維護廠商落實維護工作。
- 檢查項目有輸送帶、馬達油漏及是否有不正常異音等。
- 管理指標有非預定停機次數、預定維護次數及實際完成次數。

10.2 非例行性維護

開關面板維護(1年)、輸送裝置刻度核正(1年)、儀器熱掃描檢查(半年)。

10.3 行李輸送系統之零件備品管理方式：

- 備品零件由機場管理單位先行採購後自行收存管理，本方式適用於需耗時採購之關鍵次系統或零件。
- 需用備品零件時，再向零件商訂購，本方式適用於非關鍵性次系統零件，且該零件市場充足可立即購得。
- 由維護承包廠商供應全部材料，本方式適用於專利零件。

11.空橋(Passenger Loading Bridge(PLB))及航空器停靠導引系統(Aircraft Docking Guidance System(ADGS))設計與管理維護

11.1 空橋設計考量

- 空橋連接飛機後，其坡度小於 10%。
- 空橋任何部位距離航空器中心線至少 5 公尺。
- 空橋任何部位距離航空器機翼引擎至少 3 公尺。
- 空橋停放位置在±1 公尺內。

11.2 國際民航組織附錄 14 對航空器停靠導引系統要求

- 應提供下列引導資訊
 - 緊急停止指示。
 - 航空器機型。
 - 顯示航空器距離停機位中心線之側向距離。
 - 指示需修正之方位角。
 - 顯示離停止位置的距離。
 - 顯示航空器已到正確停止位置。

- 警示航空器超出適當位置。
- 離停止位置 15 公尺內，應提供連續接近距離及接近速度。
- 建議
 - 接近距離應以數字顯示，以公尺為單位，距停止位置至少 3 公尺時，應顯示至小數 1 位
 - 當需立即停靠操作區時，STOP 應顯示紅字

11.3 空橋及航空器導引系統維護

樟宜機場空橋及航空器導引系統目前由 2 家承包商維護，辦理每日檢查、預防性維護、故障性維護(所有故障應在 5 分鐘內傳達，並儘快回復運作)及校正維護(完成所有潛在缺失改正，以預防任何設備非必要故障)。督導維護廠商之維護關鍵執行指標(Maintenance Key Performance Indicator(KPI))如下。

- 航廈空橋發生故障情形(旅客需使用移動式樓梯上下飛機或使航班延遲)，每月不超過 1 座。
- 空橋維護承包商須於發生故障 5 分鐘內回應。
- 維護作業應依安全標準程序辦理。
- 隨機檢查空橋零件備品。

11.4 空橋及航空器導引系統操作所面臨挑戰及採行措施

- 挑戰
 - 空橋操作者維持閘門高度的困難
 - 空橋操作者未察覺自動校平儀故障
 - 航空器停錯機位，導致空橋自動停靠錯誤位置
 - 操作者不當操作，如空橋轉向過度
 - 空橋相撞
- 採行措施
 - 增加高度指示以引導操作
 - 增加警示燈以警示空橋操作者
 - 使用具 ADGS 的空橋，以重新設定停靠的航空器
 - 空橋只允許具證照操作者操作
 - 空橋裝設防撞感應器

12. 建築物節能

建築物內用電設備中，空調系統耗電佔 50%，故節能作法為提高減少熱源產生及使用高效能設備，以降低電量之使用。外部熱源為太陽熱能透過窗戶、天窗、牆等傳導至屋內，而內部熱源發自人體體溫散熱及日光照明等電器設備散熱。樟宜機場建築物節能採取措施如下：

- 日光照明系統(Day Light System)

樟宜機場第三航廈裝有可調式天窗，可依天候日照情形調整天窗角度，

將適量光線引入航廈內，增加航廈亮度，以減少室內燈光使用(圖 12.1、12.2、12.3)。

- 遮陽板(Sunshades)
遮陽板裝設於航廈面西的玻璃牆外，可達到遮蔽強光及隔熱效果(圖 12.4)。
- 照明採用高強度放電式燈(High Intensity Discharge(HID)) (圖 12.5)。



圖 12.1 航廈屋頂裝設日光照明系統

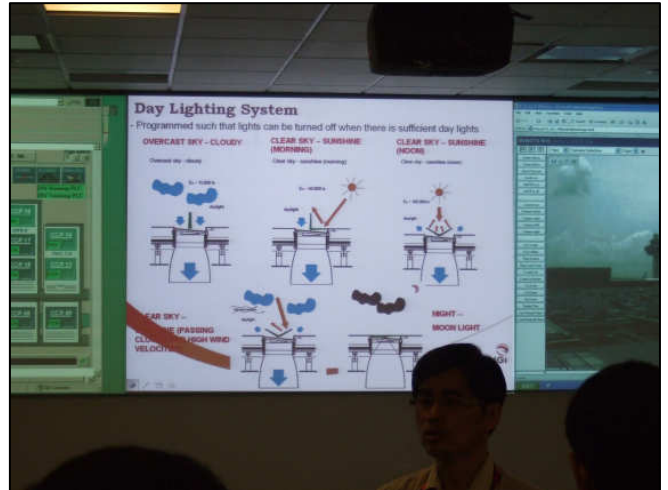


圖 12.2 日光照明系統運作解說

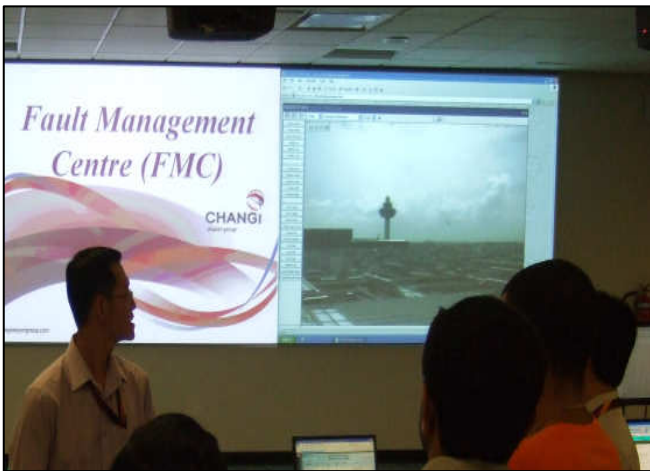


圖 12.3 於故障管理中心監控日光照明系統運作情形

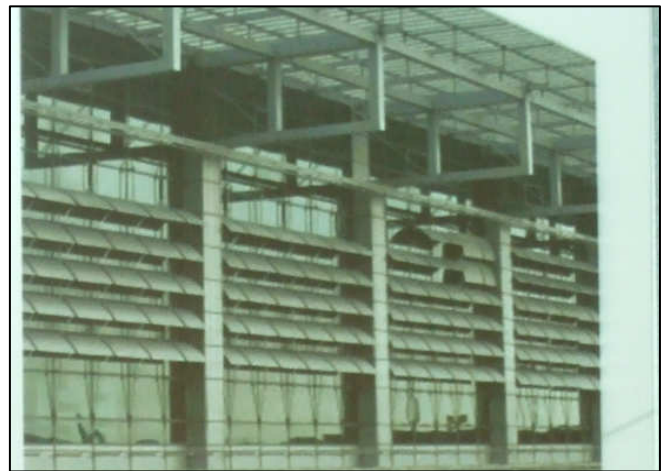


圖 12.4 航廈遮陽板



圖 12.5 航廈裝設 HID 燈

13. 民航安全管理

13.1 新加坡民航安全組織架構

- 國際標準：Chicago Convention & Annexes
- 國家法規：Air Navigation Act; Air Navigation(Aviation Security) Order
- 國家計畫：
Nation Civil Aviation Security Programme(NCASP)，本計畫內容有航空安全委員會 (AVSEC) 建立、AVSEC 關鍵計畫建立、AVSEC 品質管理、AVSEC 訓練和 AVSEC 程序。本計畫為機場安全計畫、營運安全計畫、國家民用航空安全品質管理計畫及國家民用航空安全訓練計畫之上位計畫。

13.2 新加坡樟宜機場的保安措施

13.2.1 行李安檢(Hold Baggage Screening(HBS))

- 過去登機報到時，旅客行李以 X 光機(如：MVT/EDS)掃描檢查，為縮減檢查時間，新加坡保安當局自 2005 年起改以 HBS，預計 2012 年底全面實施。
- HBS 分為 5 層次，第 1 層為採用先進技術(Advanced Technology(AT))及多層次 X 光掃描(Multi-View Technology(MVT))，不合格時再接受第 2 層由檢查者檢視行李影像，不合格時再接受第 3A 層以爆炸偵查系統(Explosive Detection System)掃描行李，不合格時再接受第 3B 層檢查行李影像，第 4 層以以爆炸追蹤偵測器(Explosive Trace Detection equipment)檢查行李，第 5 層由爆炸物處理隊(Explosive Ordnance Disposal (EOD) Team)處理。

13.2.2 機場保安分區

機場保安分為 4 區，分別為公共區、管制區(轉乘)、管制區(空側)、登機門後，針對不同區域，訂有不同等級安全要求。

13.2.3 機場通關安全設備升級：辨識系統(如指紋)、旋轉式閘門。

13.2.4 強化機場周圍圍籬

圍籬每處照明增設至 2 座桿燈，其相鄰間隔為 3 公尺，以增加量度。另加粗刺絲網(採用 0.4m)。

13.2.5 智慧型中央監控系統

採用影像物品分析(Video Content Analysis(VCA))，以降低人為監控之疲勞，提高監控安全。

13.3 安檢設備及系統改善之考量因素

新加坡樟宜機場隨著旅客量及航班漸增，機場安檢速度應隨之加速，因此安檢設備及系統亦應逐步加強，下列為安檢設備及系統改善之考量因素：

- 平衡安檢效率和乘客便利性。

- 安檢作業效率上達到旅客期望。
- 購置安檢設備之預算。
- 使用新科技之安檢設備。
- 經由政府與業界合作，加速新科技之安檢設備成熟，以利後續引入機場使用。
- 應考量新安檢設備之人員操作熟練度。

14. 停機坪管理

停機坪為提供乘客上下飛機、送信或送貨、加油、停機或維修的飛機停靠處。管理停機坪目的係為確保空側地勤車輛安全迅速移動及調節停機坪活動。空側管理單位負責項目如下：

- 運作管理
 - 登機門與停機位分配(管理重點為登機門就近分給臨近航機、起降時間相鄰的航班應分開停靠(相鄰航機至少應間隔 10 分鐘起航))、地勤運作監督、事件與事故證據收集與保存、空側運作實施和核准。
- 人員訓練
 - 訓練項目包含事故調查、空側運作安全監管、野生動物驅離。
- 安全管理
 - 飛安宣導活動、飛安事件統計分析、擬訂 ADGS/PLB 標準作業程序。
- 空側發展
 - 空側升級計畫、空側資源研究、進場空側車輛及人員考試及批准、緊急事件內外部單位聯繫。

15. 機場防火安全

15.1 防火安全策略

- 預防：以控管動火作業和燃料供應，預防火災發生。
- 通訊：火災發生時，能透過通訊裝置立即通知管理者及消防隊。
- 逃生：火災漫延前，將旅客引導至安全區域。
- 封閉：能將火和煙控制在對生命和財產危害至最小的區域。
- 滅火：能於大樓發生火災時，立即以灑水器或氣體擴散系統滅火。

15.2 防火安全作為

- 逃生：確保旅客逃生動線順暢，及逃生安全門樓梯足夠。
- 建築防火結構：採用不易燃材料，以減緩火災漫延。
- 外部救火：建築物鄰近道路應夠寬，以利消防車駛入救火；另消防栓應符合規定。
- 電源供應：應有備用電力供應火警警報系統、安全門之緊急照明、灑水系統、機械通風/排煙系統、緊急廣播系統等。且備用電力系統應具備更高的防火等級。

- 防火系統：包含攜帶式滅火器、消防管、火警警報系統及灑水器等均要符合法規規定。
- 應具有排煙系統、逃生指標及廣播引導設備。

15.3 火災發生主因

不合法增建改建、防火措施未妥善維護、逃離路線受阻礙、防火裝置未設置於適當位置、受鄰房火災延燒、救火通道受阻。

15.4 樟宜機場防火安全實施

- 宣導及教育：對機場工作者宣導用火安全、演練火災逃生及每季發佈防火安全電子報。
- 工程檢查：
 - 每年測試偵測系統(如排煙報警器)，其他系統每隔 5 年測試。
 - 檢查火警警報系統與灑水系統。
 - 檢查火警警報系統是否連接機場消防隊。
 - 檢查廚房的燃氣系統是否依規定裝置偵測及阻斷設施。
- 管理：嚴格管控機場動火作業。

15.5 空側區域之防火安全檢查重點

檢查飛機加油作業、空側場內車輛、空側動火作業管控(現場應有合格管理者、應依核准動火時間作業、臨近飛機 75 公尺內不准有動火行爲)、巡查是否有不安全行爲。

三、心得及建議

1. 落實機場設施維護工作，確保設施維持在最佳狀況—

新加坡樟宜機場集團對於機場設施維護作業，採預防性維護、故障維護及計畫性整修辦理，預防性維護係定期對各項設施檢查，透過目視檢查、非破壞性檢測及破壞性檢測方式檢查，對於老化設施，辦理預防性汰換，以避免其於運作時臨時發生突發性損壞或故障。

以道面鋪面而言，將鋪面依損壞情形分級，並經目視檢查後，依損壞之嚴重程度採裂縫修補、局部深度修補或全深度修補等方式處理，非破壞性方式透過落錘撓度儀、透地雷達及紅外線感應器，檢查鋪面強度及鋪面底層洶空孔隙情況，必要時再以破壞性鑽心取樣送驗，以推算鋪面強度，再採適當維修方式。

另就機電設備而言，定期辦理調整、測試、潤滑及清潔等例行性保養作業，並透過熱掃描影像器、皮帶張力量測計、轉速計等各式檢查量測器，確認設備老化情形，隨時將老化零件汰換，以保持設備處於最佳狀態。

總之，如能落實預防性巡查及維護工作，在設施輕微損壞跡象時，即辦理整修，以避免衍生發生突發性更嚴重的損壞。我國機場管理者亦應秉持該觀念維護機場。

2. 美化機場環境—

新加坡樟宜機場集團重視機場環境綠美化，每年均編列相當預算辦理例行性維護管理，航廈內設有多處不同種類之植栽主題區，另亦時常配合節慶更換不同造景裝飾及特展，令過往旅客對樟宜機場留下深刻的印象。機場雖以提供飛航服務為主，但適當的美化環境，提升國際觀感，亦屬於提升服務品質一環，我國機場管理者亦應秉持該觀念維護機場環境。

3. 吸取科技新知，以提升機場服務品質—

隨著工程建築技術進步，新加坡樟宜機場集團於機場建設上亦不斷引進新作法及新設施，例如將石化乳膠瀝青(SMA)應用於瀝青鋪面上；將廢棄混凝土塊再生使用；於第三航廈屋頂設置日光照明系統，引進日光照明，以節省用電。均見新加坡機場管理者於機場建設求新求變的用心。我國在機場建設上，亦應吸取新知，採用合宜之新設施及作法，以提升機場服務品質。