

出國報告（出國類別：考察）

參訪新加坡樟宜機場 出國報告

服務機關：交通部

桃園國際機場股份有限公司

姓名職稱：孫副總經理宏彬

簡工程師(三)大淵

徐工程師(三)智楓

林工程師(四)曾瑞

林管理師(四)仁德

劉專員愷薇

王專員鎬璿

派赴國家：新加坡

出國期間：111年10月31日至11月3日

報告日期：112年2月6日

公務出國報告提要表

出國目的	參訪新加坡樟宜機場
服務機關	桃園國際機場股份有限公司
出國人員	孫宏彬、簡大淵、徐智楓、林曾瑞、林仁德、劉愷薇、王鎬璿
人員職稱	副總經理、工程師(三)、工程師(三)、工程師(四)、管理師(四)、專員、專員
出國類別	<input type="checkbox"/> 實習(訓練) <input type="checkbox"/> 其他(<input type="checkbox"/> 研討會 <input type="checkbox"/> 會議 <input checked="" type="checkbox"/> 考察、觀摩、參訪 <input type="checkbox"/> 進修)
出國地區	新加坡
出國期間	111.10.31~111.11.3
報告日期	112.2.6
關鍵詞	SMS 安全管理系統，樟宜機場主計畫，自動化巡檢
報告書頁數	48 頁
報告內容摘要	<p>參訪考察標竿機場跑、滑行道及航空地面燈光維護管理機制及相關技術，藉由與標竿機場互相交流學習，精進臺灣桃園國際機場空側維護品質與管理作為。</p> <p>參訪考察航廈興建工程安全衛生防護措施，了解標竿機場職業安全衛生推動實行方式與防災減災相關計畫，藉由交流討論方式，精進桃園國際機場職業安全衛生管理作為。</p> <p>參訪考察 SMS(安全管理系統)之執行情形，了解標竿機場設置之安全委員會及各分組作業程序與內部查核程序，藉由互相交流學習，精進桃園國際機場安全管理系統之推動作為。</p>

目錄

<u>出國報告審核表</u>	1
壹、 目的	4
貳、 過程	5
一、 樟宜機場主計畫及空側設施	6
二、 SMS 安全管理系統	14
三、 道面維護工程	20
四、 航空地面燈光設施維護工程	27
五、 職業安全衛生管理系統	42
參、 心得及建議	47

壹、 目的

本公司近年於機場園區內多處進行大型公共工程之施作，除第三航廈規劃及工程、第三跑道規劃及工程、空側道面及燈光維護工程等工作項目逐步進行中，除藉各項工程培養公司人員之現場施工經驗外，汲取世界各機場工程整建及維護經驗，及觀摩 SMS 安全管理系統，職業安全衛生管理系統，使利於各項規劃及工程順遂推動；考量新加坡樟宜機場為世界標竿機場，累積相當之道面燈光維護經驗，且新加坡樟宜機場近期完成三跑道系統及正進行 T5 航廈之規劃，是桃園機場學習的對象。故安排參訪新加坡樟宜機場。

	
辦公區梯廳	櫃台接待處
	
辦公室梯廳	辦公空間

↑ 本次參訪簡報地點:樟宜國際機場辦公區

貳、 過程

日期	時間	行程
(10/31) 第二天	上午	去程：(8:20 出發-13:05 抵達) 搭乘華航 CI753 班機前往新加坡樟宜機場
	下午	交流討論： SMS 安全管理系統
(11/1) 第二天	上午	交流討論： 新加坡樟宜機場簡介和總體規劃
	下午	交流討論： 航廈亮點參訪
(11/2) 第三天	上午	實地參訪： 樟宜機場空側設施 (跑道、滑行道、停機坪、助導航設施)
	下午	交流討論及實地參訪： 職業安全衛生管理討論
(11/3) 第四天	上午	回程：(14:15 出發-18:55 抵達) 搭乘長榮 CI754 班機返回臺灣桃園國際機場

一、 樟宜機場主計畫及空側設施

(一) 簡介

本次參訪接洽單位是新加坡樟宜機場管理投資有限公司(CAI, Changi airports international)，為新加坡樟宜機場集團(CAG, Changi airport group)的全資子公司，透過投資、管理和諮詢，向其他國家和機場輸出樟宜集團的管理經驗；而與桃園國際機場股份有限公司屬於交通部轄下的國營事業不同，樟宜機場集團屬於新加坡財政部轄下，同時受新加坡交通部轄下的新加坡民航局所監督。



圖 1.1 樟宜組織架構圖

(二) 主計畫發展情形

樟宜機場於 1981 年建設初期，總發展面積約 1,300 公頃，機場西南方高速公路為單一進出交通要道，同時已發展包含核心設施第一航廈、塔台、第一跑道、及倉庫維護與後勤設施、貨運中心、機庫、燃油庫與其他基礎設施等，其中第一航廈候機廊廳建設初期是採「工」字形方式興建；1990-2007 年間，樟宜機場開始二期建設與擴建，除 1990 年建設第二航廈及第二跑道，第二航廈位於第一航廈南側，其候

機廊廳採「 \angle 」字延伸，同時延續第二航廈的設計理念，於 1994 年翻新與擴建第一航廈，並將候機廊廳由原本的工字形向滑行道區域延伸，以有效增加停機位，並擴充貨運中心等基礎設施、同時設置機場物流園區，於 2004 年掌握低成本航空發展趨勢，於機場西南角新建低成本航空航廈。

樟宜機場於 2008 年開始三期建設，興建第三航廈，同時汲取第二航廈候機廊廳經驗，縮短候機廊廳延伸長度，使滑行道運作不受機坪後推航機影響，故從航廈候機廊廳之差異，可了解其設計理念演變歷程，如何在空間有限下有效增加停機位的同時，亦確保降低機坪後推航機與滑行道運作之相互干擾，是值得桃園機場思考學習的重要課題。

緊接著樟宜機場開始四期建設，於 2013 年開始將原有之低成本航空航廈拆除，同一位置興建第四航廈，在空間縱深不足的情況下，採取與其他航廈分散安檢不同的集中安檢形式(桃園機場採用集中安檢)，除可減少必要之安檢人力外，亦引進各項自助設備，追求暢快通行(FAST, Fast and Seamless Travel)的旅客體驗；同時於 2014 年開始星耀樟宜計畫，將第一航廈旁的停車場改建為以自然為主題的娛樂、零售綜合設施，逐步建立起機場生活圈，讓旅客到機場不僅是出國，更能貼近生活。

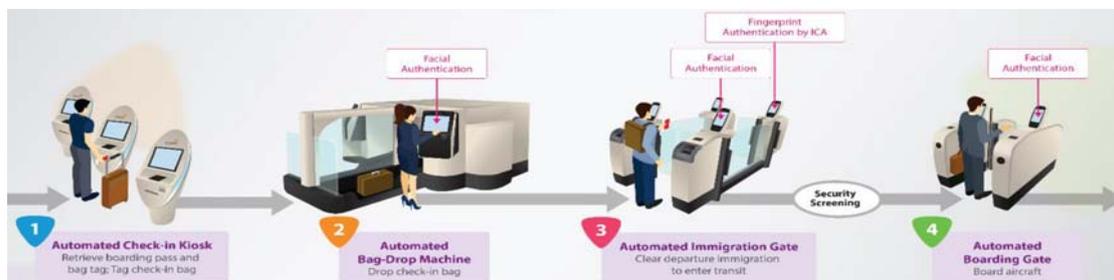


圖 1.2 FAST 暢快通行

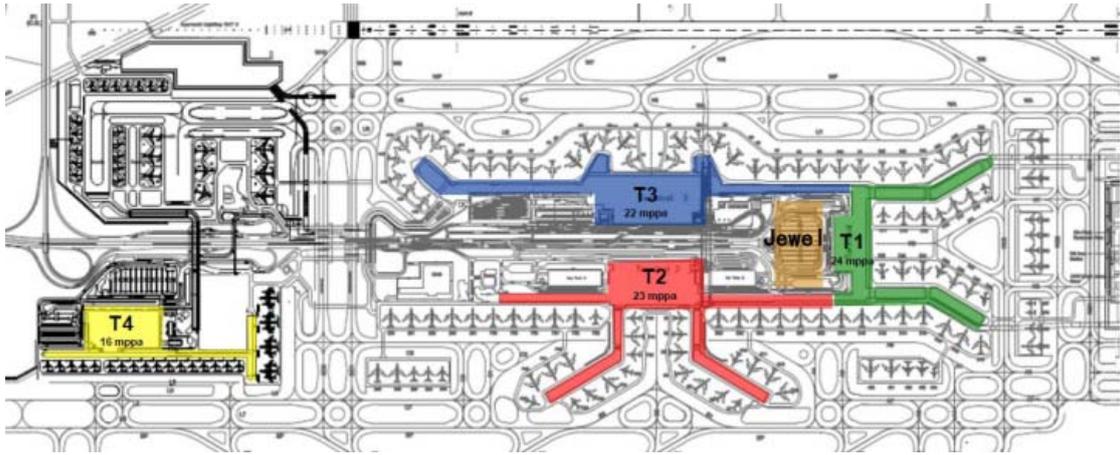


圖 1.3 樟宜機場四期建設示意圖

(三) T5 計畫

在樟宜機場四期建設發展後，主計畫只差臨門一腳，即目前推動施工中的 T5 計畫，又稱樟宜東開發計畫(Changi East Development)；本計畫開發範圍位於核心區之東側，開發項目主要包含第三跑道、第五航廈、第二塔台、衛星廊廳、陸側開發區及貨運及工業區，完成後共可增加 7,000 萬旅客容量，其中第三跑道及與連接至第三跑道的北側端繞滑行道於 2020 年完成施工後啟用，接續並關閉第二跑道施工，目前施工主要為穿越第二跑道下方之旅客運輸系統、行李輸送系統及相鄰連接滑行道施工，而樟宜機場目前維持雙跑道運作，其中第三跑道目前主要作為離場航機使用，本次參訪回國時，航機滑行即是從第三航廈機坪後推，並沿新完工之北側端繞滑行道一路滑行至第三跑道起飛。

若熟悉目前桃園機場規劃設計中之第三跑道計畫(R3)，會發現樟宜機場的 T5 計畫與 R3 計畫十分類似，例如施工順序皆是完成端繞滑行道、第三跑道後，關閉中間之第二跑道(未來桃園機場則是關閉北跑道)，並施作穿越既有跑道下方之基礎設施。且 R3 範圍一樣會新增第二塔台，並有規劃新建衛星廊廳，較不同的是樟宜機場於 T5 計畫會

新建有完整 CIQS 的第五航廈，而桃園機場目前規劃則是不含 CIQS 的衛星廊廳(CIQS 建置於目前興建中的第三航廈)。而在這兩年疫情襲擊下，新加坡政府於 2020 年 6 月宣布 T5 計畫暫緩至少兩年，隨著新加坡逐步開放防疫措施，解除相關旅遊禁令，其旅運量恢復迅速，故新加坡政府於今(2022)年 5 月 17 日宣布重啟 T5 計畫，同時因應後疫情時代之變化，更將優化調整目前既有之設計。未來不管是開發案的規劃面、施工順序工法、現有空側運作、航管配合甚至到航廈建築等等項目，都值得桃園機場進一步借鏡學習。

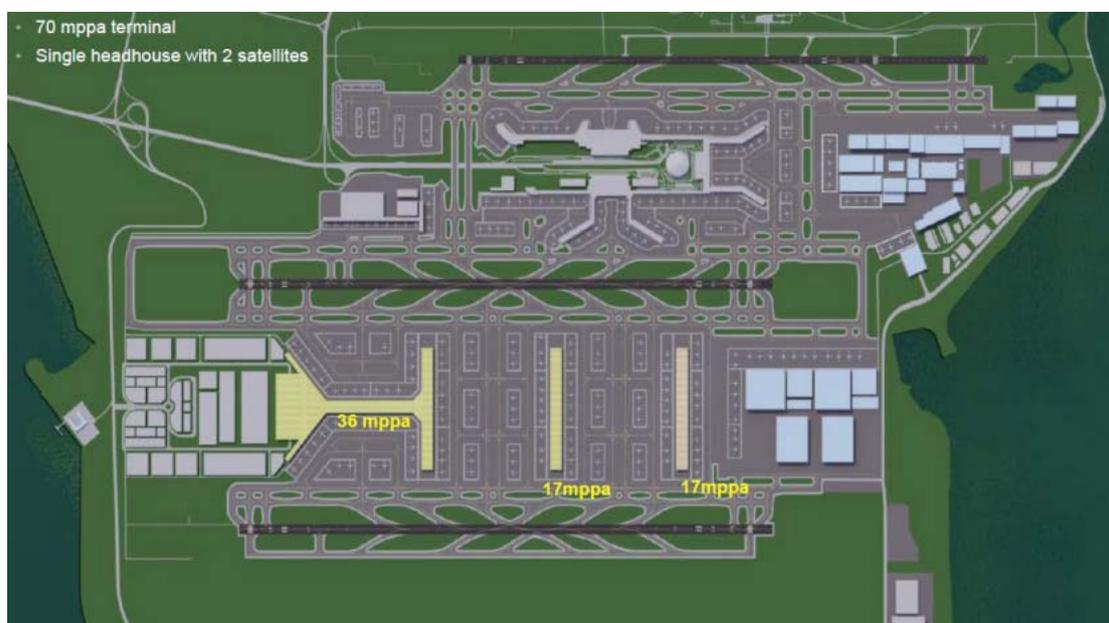


圖 1.4 樟宜東開發計畫

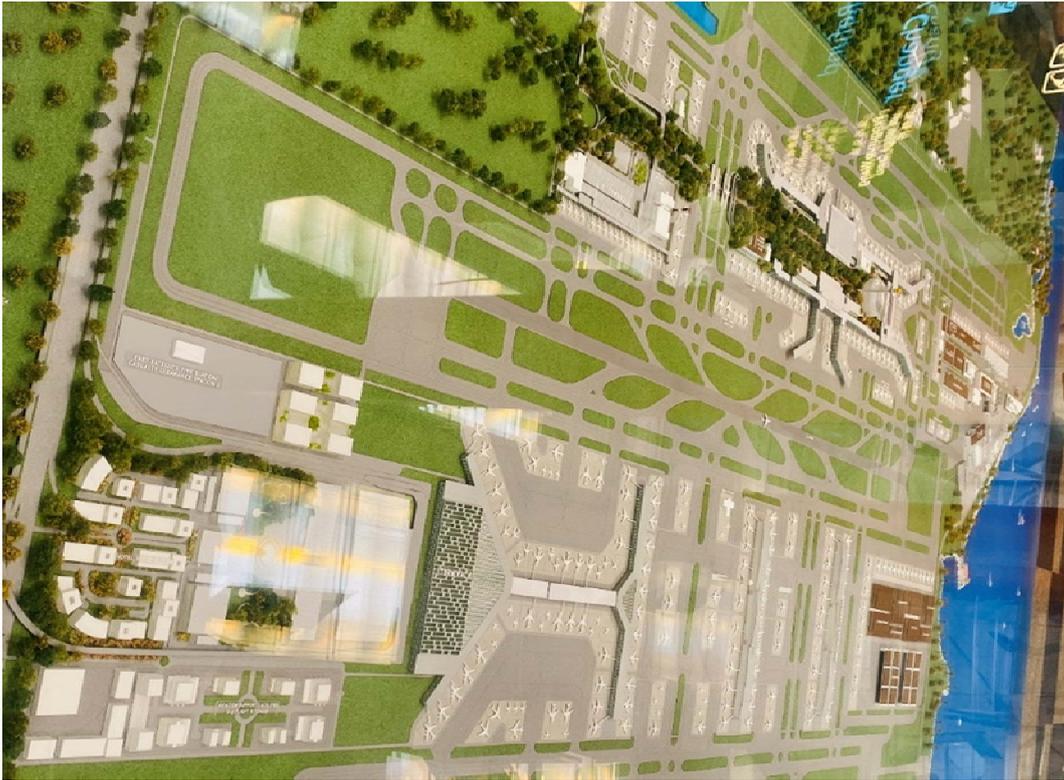


圖 1.5 第三航廈中的 T5 計畫模型



圖 1.6 封閉施工中的第二跑道

(四) 空側設施

本次參訪樟宜機場空側機坪、滑行道等實地勘查，樟宜機場在停機坪前勤務道路之道面材質使用上，採柔性及剛性道面並用，主要是許多重要管線多位於機坪前方與航廈建築間，在地質有差異沉陷且沒有設置管線共同管道情況下，管線區域上方採用柔性道面，若有維護需求，則僅需要刨除上方柔性道面即可，相較敲除上方之剛性道面，其施工便利性及影響時間皆能大幅度改進，此部分與桃園機場有明顯不同。另外在固定空橋區域，可看到空橋基座落墩區域，皆有施作加

高的工作平台，機坪前投光燈亦有加高基座，除了可增加人員於機坪作業之安全性外，可確保部分設施不會受地表逕流水影響。



圖 1.7 機坪前方勤務道路



圖 1.8 加高基座

在滑行道周邊綠帶區域，可看出無論綠帶區域大小，皆有設置明溝排水系統，設置位置約距離滑行道中心線 51m 以外，且沒有加蓋，甚至有資訊指示牌直接設置在明溝上方，與桃園機場綠帶設置之明溝採用加蓋形式有明顯不同，對於溝渠清淤等作業便利性較大，較易於觀察整體排水系統狀況；於跑道綠帶區域易有設置防鳥網設施，與桃園機場設置形式不同，採架高方式設置，於防護性上效果降低，但可提升溝渠清淤便利性。



圖 1.9 綠帶排水設施



圖 1.10 防鳥網設施

接著在滑行道面上，因仍在航機滑行操作區中，本次參訪無法直接下車觀察滑行道，僅能在工程車輛觀察，途中行經區域多為柔性道面，可看到與桃園機場柔性道面相同之車轍、裂縫、坑洞、滑溜等破壞情形，同時可看到小面積局部修補、較大面積的區域修補等補丁，修補位置也與桃園機場經驗相同，以停等、慢速滑行、轉彎區域為主。另外，在樟宜機場維護作業上，是以工程單位為主，航管營運單

位為輔的形式執行各項維護作業，與桃園機場航管營運為主的情況顛倒，因此，在滑行道封閉施工作業上，較不會遇到因為營運考量導致無法進行維護施工之情形。惟目前樟宜機場第一線施工同仁表示，未來將調整導向以航管營運為主的情形，由工程單位與航管營運單位共同承擔維護施工責任。

本次參訪離開操作區後，前往樟宜機場航務組辦公區域參觀，位於空側的辦公區域仍維持樟宜機場的特性，建置具有舒適、活力的工作環境及公共空間，其中對作業人員宣導 FOD 的裝置藝術令人印象深刻，更能有效提升作業人員的安全意識。



圖 1.11 滑行道狀況



圖 1.12 滑行道狀況



圖 1.13 航務組辦公空間

(五) 小結

本次參訪除了看到航廈設施外，也實際觀察了空側核心區域，樟宜機場的跑、滑行道區域使用情形其實與桃園機場非常類似，如柔性道面所遇到的破壞形式、區域等，對於道面材質使用心得也類似，第一線人員也表示樟宜機場對柔性道面的使用比較熟悉，但對剛性道面的使用就必須要向我們請益，因此期待未來能有更深入的交流探討。

二、 SMS 安全管理系統

(一) 樟宜機場組織配置

1. SMS 建置與規劃

CAG(新加坡樟宜機場集團)2009 年配合 CAAS(新加坡民航局)執行 SMS，後續於 2013 年 ICAO 發布 Annex 19 後依其執行 CAG 的 SMS；後續亦參考 Annex19 及 Doc9859 及 CAAS 機場標準手冊。

2. CAG 安全管理組織

安全管理組織，分為內部(工作小組機場計畫、工程、維護)，其開會委員為 CAG 各部門主管(包含人事、財務…)1 個月 1 次針對涉及安全機場專案共同評估，外部為包含各外部營運單位，開會次數較機

動，只要有議題時均會隨時開會共同討論。

(二) 風險管理

1. 風險識別-整體機場風險識別由 CAAS 監督，並於機場標準

手冊條列應執行風險識別項目包含以下事項：

- (1) 主要機場活動，例如影響機場代碼、新跑道或新空側系統。
- (2) 重大機場活動:影響機場手冊(例如跑道檢查次數改變)
- (3) 內部改變: 空側新建設施或建置基礎設施
- (4) 外部改變: 新承包商或環境改變。
- (5) CAG 在任何變動時，承辦人均需填寫風險評估表，明確填寫安全風險指數及降低策略，並經各有關部門審核，最後經 Safety Manger 核決(依其風險高低有不同的核決權限)，如此一來可以確保機場危害因子及風險控管更有效及實質上有助益機場安全。

(三) 風險與關鍵績效指標：

經由 CAG 分享簡報，樟宜機場主要風險為跑道入侵、衝出跑道、FOD 於航機路線上、野生動物於航機路線上、車輛與航機於滑行道距離不足，新增之 SPIs 尚有跑道燈光的可用性及拖車或後推時錯誤作業。

(四) 安全文件保存

樟宜機場建置 NEXUS 系統避免因文件更新時一線單位無法即時取得致引用錯誤，其內容包含機場安全、部門營運、職安文件、航管文件、CAAS、IATA、ICAO、其他參考文件；且進一步加強文件管理，將相關電子文件將相互關聯使文件保持一致性。

(五) 安全保證

1. **外部查核**：本項查核由 CAAS 依查核頻率執行查核，包括機場認證及 SMS 評估查核。
2. **內部查核**：於 CAAS 執行機場認證查核前會聘請外部顧問先行進行查核評估、內部的安全查核及檢查、2 年 1 次地勤作業查核、定期對 CAS 承包商、地勤代理商查核及檢查。

(六) 機場員工教育訓練

樟宜機場為使機場同仁接受之訓練與其負責之業務能相當，依角色接受訓練，包含以下五項：CAG 員工、空側作業人員、CAG 承包商、服務提供者和承包商對員工之訓練、對新訓同仁之安全簡介(強制性)；其對於 CAG 員工又分別依其於 SMS 角色排定不同專業科目。

(七) 安全文化

1. CAG 將安全文化比喻成最後能變成身體肌肉的過程，其安全領導者為廚師，食材包含學習文化、報告文化及遵守文化，其中遵守文化更極力推廣每個人除必要遵守項目外在無人監看下也能做對的事。
2. CAG 安全文化執行問卷評估，CAG 說明安全文化不是靜態的，作為安全推動之方向。
3. 安全氛圍調查，CAG 每 5 年會對整體機場進行調查(超過 1000 受訪者)，也針對受訪者意見精進安全文化推廣。

4. 辦理年度機場安全獎，樟宜機場於辦理提升安全文化分為個人獎與團體獎，透過當日活動也展示機場設備與機場夥伴，其參賽者為機場各個單位只要有有助益機場安全經過評選後就可以獲得殊榮，其透過獎勵第一線員工，使單位感到榮譽感進而提升組織安全文化。



圖 2.1 年度機場安全獎



圖 2.2 年度機場安全獎活動

(八) 空側安全設施觀察：

1. 空側 FOD 桶使用明亮的顏色，使工作人員易於找到 FOD 桶，也對空側作業人員有相當的提醒作用。



圖 2.3 空側 FOD 桶

2. 空側作業區上三角錐、輪檔、滅火器專用區域皆劃有專用區域供作業同仁分門別類放置。



圖 2.4 空側作業區劃設擺放標線

3. 於行李處理場之地上塗有明顯之限速提醒使空側作業人員依規定行駛。

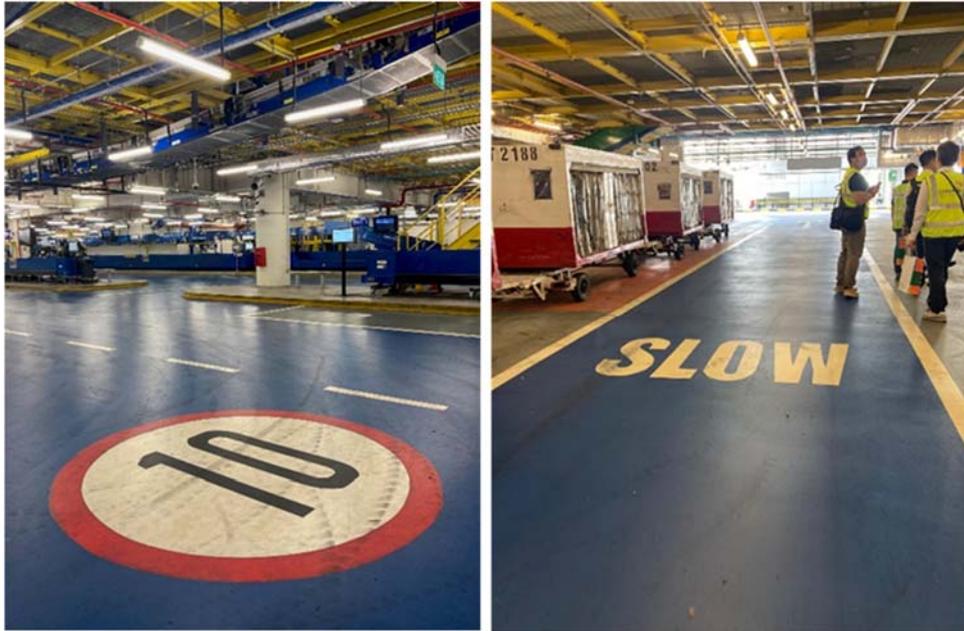


圖 2.5 速限標誌及警語

4. 於空側安檢崗哨區域張貼 SWEET 及 ALWAYS REPORT 有助於提升整體報告文化之海報。



圖 2.6 提升安全文化宣導海報

5. 於空側辦公室區域，設有放置常見 FOD 專區，以提醒空側人員空側人員勿留置相關作業用品造成 FOD，提示效果卓越。



圖 2.7 FOD 宣導專區

三、 道面維護工程

(一) 簡介

樟宜機場道面維護工程之項目主要透過日常鋪面巡檢及鋪面維護，另樟宜機場三條跑道皆為柔性道面，與桃園機場南、北跑道相同，樟宜機場同桃園機場亦屬相當繁忙之機場，其道面維護方式可做為桃園機場之參考與學習效法之對象。

(二) 樟宜機場與桃園機場鋪面檢視及維護方式比較

經本次訪問樟宜機場工程師，歸納其道面檢視及維護頻率；再與桃園機場各設施之檢查及維護頻率進行比較分析如下：

項目	任務	樟宜機場檢查頻率	桃園機場檢查頻率
1	目視檢查		
	跑道	每天五次	每天四次
	滑行道與 停機坪	每天二次	每天一次
	聯合巡場	每周一次 (塔台、空側操作人員、 E&D 辦公室人員)，檢 查跑道、滑行道、停機 坪和其他機場設施。	每天二次 航務處與工程處共同執 行。 上午聯合巡場： 檢視南 跑道 下午聯合巡場： 檢視北跑道
2	跑道維修		
	緊急修補	依工程需求進行	依工程需求進行
	刨鋪	每周一次(於施工前兩周 先安排)	制定維護機制 1. 每日 3-6 小時區塊 修補 2. 每月 6-12 小時，小 區域刨鋪 3. 每年 2-6 天，大範 圍刨鋪。 4. 每 3-5 年，全區刨 鋪。
3	標線作業	跑道例行關閉期間進行	跑道例行關閉期間進行
4	割草作業	21 天一個循環	50 天一個循環

樟宜機場標線施工照	樟宜機場割草照
	
樟宜機場道面坑洞修補照	樟宜機場刨鋪照
	

(三) 樟宜機場鋪面管理系統

樟宜機場鋪面管理系統(PMS)主要操作為應用 APP 記錄，其內容包含現場巡查填報、位置定位、損壞拍照、上傳記錄，另其 APP 之主要內容架構及功能整理如下：

項目功能	備註
跑道巡檢/維護記錄	記錄跑道檢查結果，提報及列管道面缺失。
跑道緊急維護記錄	記錄跑道緊急維護記錄，提報及列管道面缺失。
滑行道巡檢/維護記錄	記錄滑行道檢查結果，提報及列管道面缺失。
FOD 危害記錄功能	提報場面 FOD 缺失及處理記錄
機場圖檢視功能	
下載並查看文檔功能	

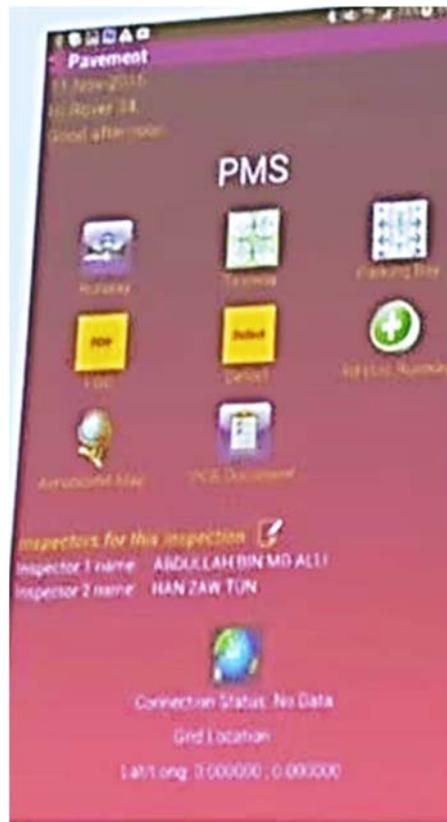


圖 3.1 樟宜機場鋪面管理系統 APP

(四) 樟宜機場道面鋸槽

道面鋸槽之優點如：易於建造、改善路面摩擦、更好的地表水徑流。樟宜機場跑道使用特殊鋸槽形式(為有斜度形式)，其優點較傳統之 FAA 鋸槽形式，有更好地抵抗橡膠污染，更好的抗碎裂和封閉性，更耐用，更易於維護（即去除橡膠）。

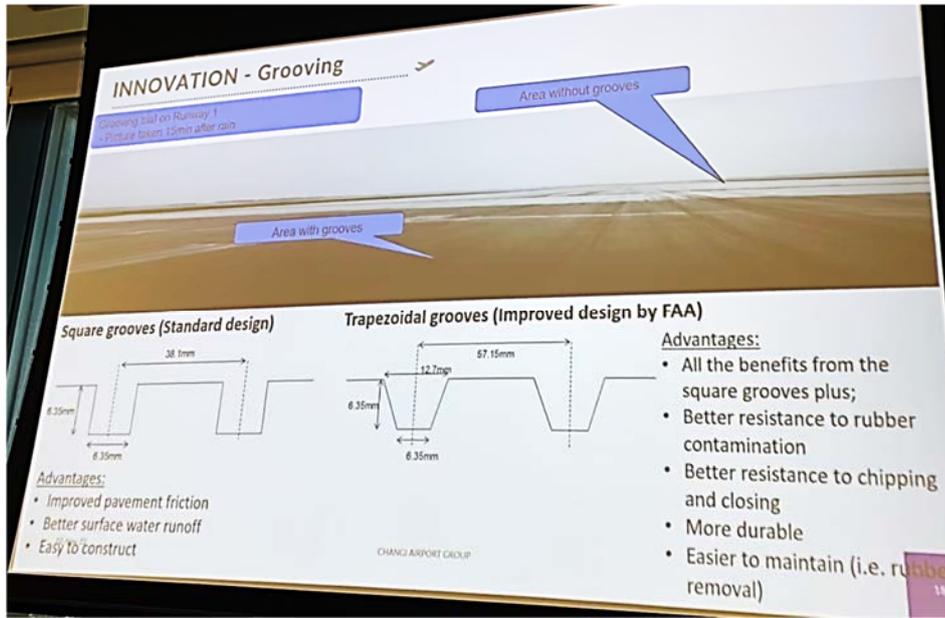


圖 3.2 樟宜機場與 FAA 鋸槽形式比較

(五) 創新的瀝青配比提高抗車轍性

使用 PG82 等級瀝青，較傳統之 PG76 等級之瀝青，能提高抗車轍性能，並能提升 25%強度，且延長 2.5 年鋪面發生車轍損壞時間。

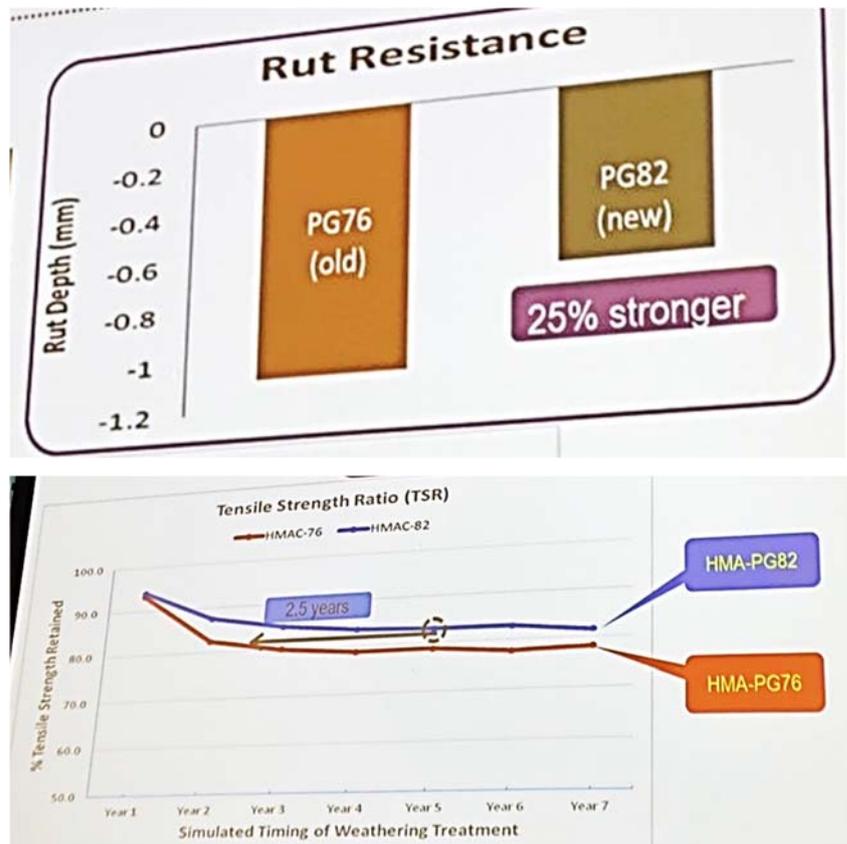


圖 3.3 樟宜機場瀝青膠泥等級示意

(六) 樟宜機場跑道 FOD 自動化檢測系統

本次參訪樟宜機場使用之 FOD 自動化檢測系統設備為 iFerret2.0 系統，該系統能夠：實時、自動化的 FOD 檢測識別和精確定位 FOD 地點，記錄和事後分析，全面視覺評估，ATC/地面操作控制。

該項目由美國聯邦航空管理局 (FAA) 機場安全技術研究與開發小組和伊利諾伊大學機場技術卓越中心 (CEAT) 共同承擔，作為改善機場整體道面安全重要一環。

FOD 偵測對於全球機場的安全至關重要。與雷達技術不同，iFerret2.0 革命性的夜視和卓越的高清圖像，將對於驗證和識別地面上的任何 FOD 威脅至關重要。

iFerret2.0 以其對 FOD 的實時檢測、跟踪和顯示能力著稱，自 2012 年獲得美國聯邦航空局 (FAA) 認證以來，已獲得各大國際機場的認可。其客戶包括新加坡樟宜機場、迪拜國際機場、香港國際機場和邁阿密國際機場。



圖 3.4 iFerret2.0 系統架構圖

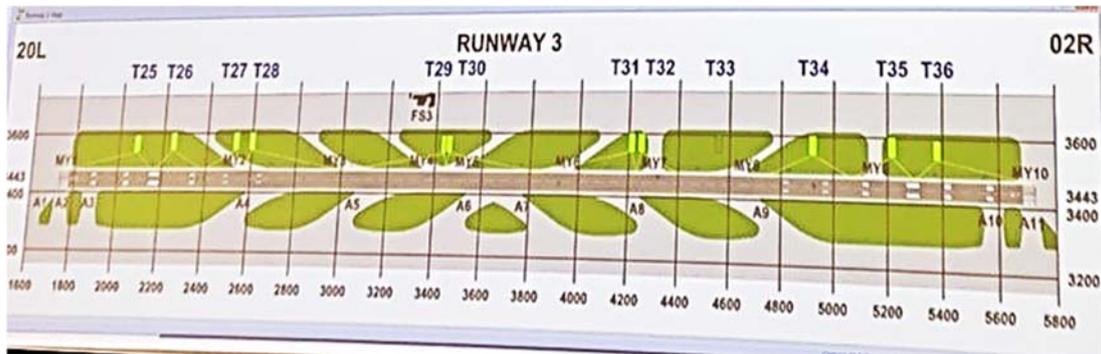


圖 3.5 iFerret2.0 系統架構

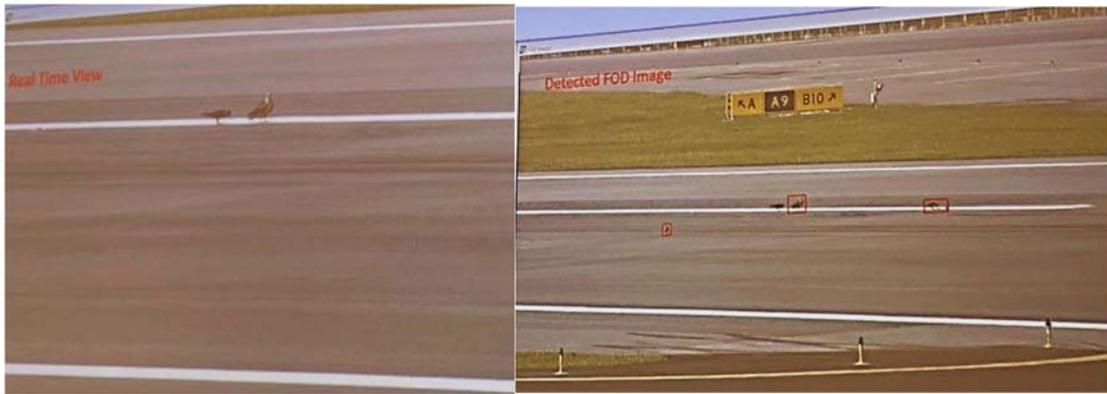


圖 3.6 iFerret2.0 偵測 FOD 影像

(七) 小結

樟宜機場道面維護方面，除採專業人員目視檢測外，亦搭配自動化 FOD 偵測設備輔助，進行刨鋪皆須有經過縝密之數據量測評估(事先 2 周提出申請)，以及完整的施工規劃安排，另使用高等級 PG82 之瀝青提升道面品質；道面特殊鋸槽形式有助於胎屑堆積清理，該等作法，為確保道面維護效率及服務品質之關鍵。



圖 3.7 與樟宜機場管理局同仁討論道面維護工程

四、 航空地面燈光設施維護工程

(一) 簡述：

樟宜機場為軍民合用機場，一直躋身全球最繁忙機場之列，於 2019 年度，機場再次刷新紀錄，客運量增加至 6,830 萬人次，飛機起降量至 38.2 萬架次，貨運總量則達 201 萬公噸。樟宜機場共有三條跑道，第一跑道 02L/20R、第二跑道 02C/20C(目前整修中)及第三跑道 02R/20L 三條跑道的長度均為 4,000 米，寬度均為 60 米，依儀器降落系統精確進場類別，跑道 20R/02C 屬第 I 類，02L/20C/02R/20L 屬第 II 類，可供飛行員在跑道視程 Runway visual range (RVR) 只有 300 米以上的情況下著陸。燈具總數量約 12,000 盞，滑行道均設置邊燈及中心線燈，其中，並非所有燈具皆具備可單燈定址監控功能，具備可單燈定址監控功能的燈具約 3,000 盞，其設置於跑道地帶內，亦即，從停止線燈或禁止進入排燈往跑道方向，包括進場燈系統與跑道內燈具，

其餘滑行道燈具均不具備可單燈定址監控功能，其與香港機場類似，符合樟宜機場建置設施要素之一易於維護的目標。考量先進場面導引控制系統(A-SMGCS; Advanced-Surface Movement Guidance Control Systems)之 Follow the green 功能，樟宜機場滑行道燈具雖不具備可單燈定址監控功能，但為 Follow the green 控制功能所需，係將滑行道燈具電力迴路配置採較細分段方式，以電力輸出之 ON/OFF 方式達成，惟目前並未使用此功能來引導航機。



圖 4.1 簡報交流討論

(二) 供電系統：

機場運作與穩定供電品質息息相關，完整的電力供應系統包括一迴路或多迴路市電、一部或多部的自備發電設備及包含變壓器及開關設備之配電網路，配電網路應考量每年須停電檢查需求，規劃配電分區可相互備援機制，實體及空間均分開，增強電網的韌性，並於規劃機場供電系統時必須將其他許多機場設施之電力需求納入考量，第 II/III 精確進場或起飛跑道之目視輔助設施如進場燈系統等應符合 1 秒最大允許燈光切

換時間，故航空地面燈光之供電系統之穩定性攸關飛航安全甚重。

目前新加坡絕大部分電力來自於配備高效率燃氣輪機聯合循環發電機組的發電廠，樟宜機場電力上游是從新加坡發電廠提供的，主要採用進口馬來西亞天然氣燃料來發電，供電尚屬穩定，亦持續尋求其他天然氣燃料進口管道。

樟宜機場航空地面燈光供電架構系統，高壓系統由 22~25kV 經過電力變壓器，轉換成 380~415V 低壓系統，高壓輸配電設備(包括電力變壓器)由機場航廈電力廠商負責維護，低壓配電設備則由航空地面燈光維護廠商負責維護，低壓配電盤的各關鍵點，例如：匯流排或電纜頭等，增設溫度感知裝置，並可在地及遠端監測溫度或告警，可即時偵測熱源，避免事故發生。



圖 4.2 低壓配電設備關鍵點溫度監測裝置

樟宜機場航空地面燈光低壓供電系統可分為市電(City Power)供電、發電機(固定式或移動式)供電，跑道燈具配備不斷電系統，滑行道燈具則無配備不斷電系統，當天候轉變時，進行第 II 類儀器降落精確進場運作

前，固定式發電機即提前啟動運轉輸出供電，之所以在 CAT II 儀錶著陸系統運作時使用市電及發電機作為主要電源，是為了在市電停電之緊急情況下，可以立即由固定式發電機接管供電。

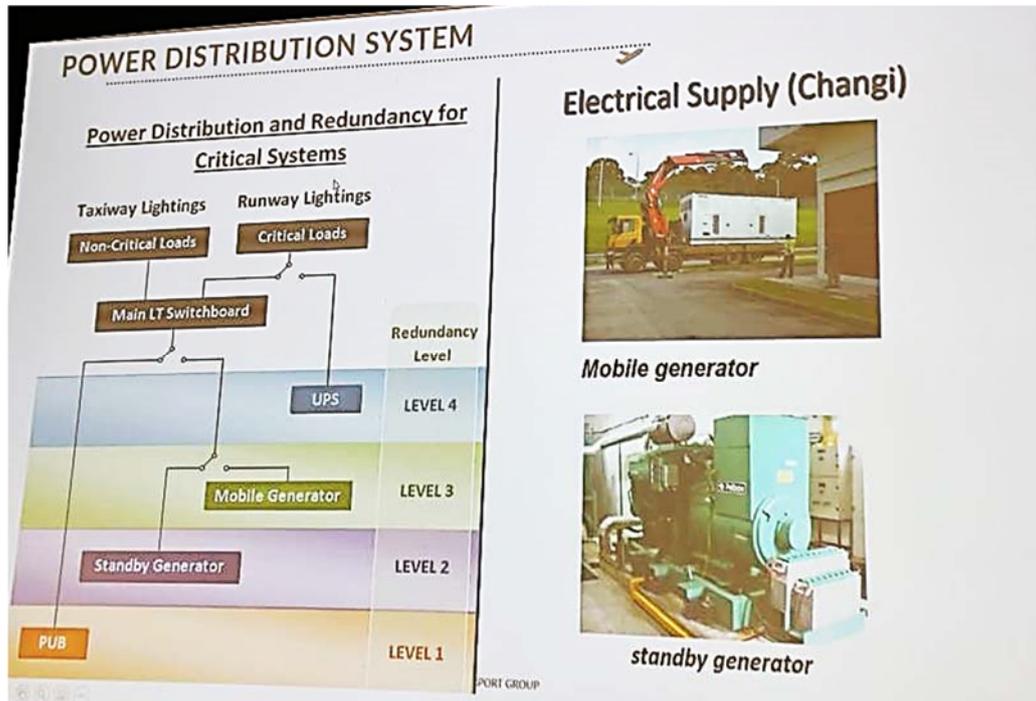


圖 4.3 樟宜機場航空地面燈光供電系統架構

因滑行道燈具未配備不斷電系統，緊急情況下需要等待約 15 秒啟動發電機供電，不符合國際民航組織 ICAO 的要求，故需發電機即提前啟動運轉且先同步投入供電，因交流電源需具備電壓、頻率(50Hz)及相位，偵測皆須相同方可投入，故另須具備同步偵測及投入裝置，控制相關的電力開關，此時市電跟發電機同時一起供電，這個方法可以降低不斷電系統設備數量或容量，但是增加發電機燃料成本，和需要常時確保發電機的可靠性，亦即，發電機可靠性的要求較高，而移動式發電機則為備援發電機，當固定式發電機無法啟動時，切換成移動式發電機。

靜態不斷電系統共有兩套，可區分 1 套為跑道燈具電力所需(滑行道無)，另 1 套為監控系統設備所需，其電池與靜態不斷電系統控制盤均為獨立且實體分開配置，因考量市電停電及配電網路應每年須停電檢查需

求，為避免監控系統設備因停電可能導致設備參數或軟體需重置，監控系統設備靜態不斷電系統具備 6 小時電力備援。另，靜態不斷電系統因電池數量過多，為電池維護便利性，每顆電池均具備即時 On line 監測，持續診斷電池健康性，可作預防性維護更換之判斷參考。



圖 4.4 靜態不斷電系統 On line 監測



圖 4.5 靜態不斷電系統(ALCS)

本機場除每條跑道有 4 台 625KVA 發電機外，另具備主流使用 4 台

500KVA 動態不斷電系統(旋轉式除能裝置，非電池式)，發電機只在市電中斷時自動切換供電，運轉時數較少，故障風險低，而且定期進行啟動運轉空載測試，及每月啟動運轉自動切換加載測試，確保於市電停電之緊急情況下，發電機可自動啟動運轉後投入供電。

本機場航空地面燈光供電系統已規劃增設另 1 套電池式靜態不斷電系統，作為旋轉式動態不斷電系統之備援，因電池須串聯且數量過多，未來工程備標階段，建議可參考樟宜機場靜態不斷電系統每顆電池即時 On line 監測，持續診斷電池健康性電池監測裝置，強化電池維護之便利性。

(三) 恆流變壓器 Constant Current Regulator (以下簡稱 CCR)

CCR 為航空地面燈光系統運轉之心臟，其特點在採用固定電流輸出方式，因此只要在不超出設備容量之前提下，同一迴路上所有工作正常之燈具燈泡顯現之亮度均可達到一致。此外燈光迴路上所連結之航空地面燈光燈具亮度之調節、負載是否過載、迴路是否斷路或是接地狀況等，皆可藉由恆流變壓器本體偵測所達成，以方便維護人員執行預防維護及故障檢修。

樟宜機場約有 800 台 CCR(採用 ADB Safegate 併購之 IDM8000 廠牌)，本機場約 110 個 7 倍(均採用 ADB 廠牌)，共有 6 座燈光變電站，每座燈光變電站約有 100 多台 CCR(約本機場的 4 至 5 倍)，空側場面跑道燈光迴路為 1 台 CCR 對應 1 條迴路，滑行道 CCR 則具備迴路選擇器，1 台 CCR 對應 4 至 5 迴路，場面迴路數多代表相同面積可細分多個小區，迴路故障影響而關閉範圍縮小，場面查修故障排除時間可縮短，且監控系統故障時可以手動控制的彈性大(如低能見度作業時配合航管作業使用的停止線燈 Stop Bar)，但迴路數多場面管線複雜增加建置及維護成本。

目前本機場第三跑道航空地面燈光系統設計，建議考量此類設計優

勢，跑道 CCR 對應單 1 迴路且降低串聯燈具數量以降低營運風險，另燈光變電站 CCR 室空間亦需同步考量加大，以利設備配置及維護作業。



圖 4.6 配電盤及恆流變壓器 CCR

(四) 監控系統(ALCS；Airfield Ground Light Control & Monitoring System)：

塔台管制員依據天候狀況、能見度 RVR、風向、機師需求等條件進行透過 ALCS 進行場面燈光分布及亮度等控制，以達到順利導引航機起降及至停機坪之目的，樟宜機場停機坪具備停機位操作引導燈，依規範需有 On/Off 表示停機位正被使用/未被使用，其由塔台控制。

樟宜機場航空地面燈光監控系統廠牌為 Honeywell，其可區分為第一跑道、第二跑道、第三跑道、東滑行道及西滑行道共五個完全獨立運作

的控制子系統(如遇系統故障將僅影響單一子系統)，每個子系統有獨立的伺服器(1 運作 1 備援)、網路交換器及實體網路，當子系統失效時，僅影響該系統負責區域，不會影響整個機場的航空地面燈光系統，系統網路已分散風險，除塔台 ALCS 工作站外，其他 ALCS 工作站設置於航廈的 FMC(Fault Management Center;故障管理中心)，FMC 值班人員(屬其他標)會將故障報修燈光維護人員(監控系統維護標或是電力及燈具維護標)。

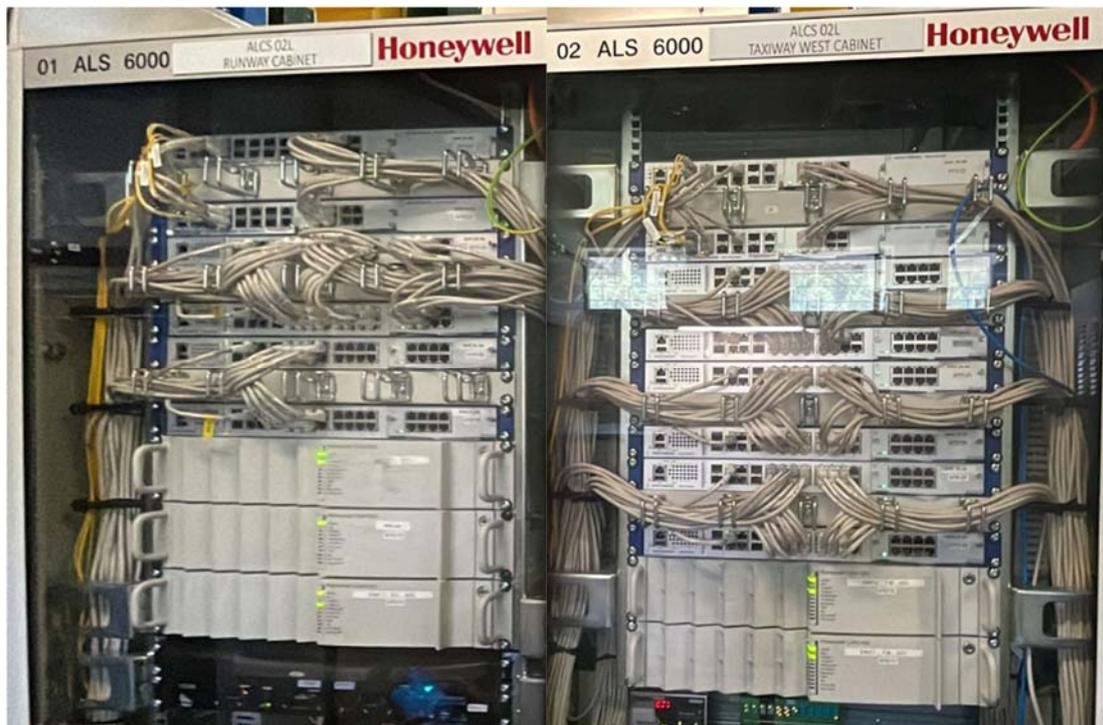


圖 4.7 燈光監控系統

本機場南、北跑道及所有滑行道均為同一燈光控制系統，控制伺服器(1 運作 1 備援)、告警伺服器(1 運作 1 備援)、單燈監控伺服器(1 運作 1 備援)、網路交換器及實體網路(光纖分兩個環路)，此架構無法分散風險。另南、北跑道同時規劃分開整建，使用於同一網路迴路，同 1 條光纖，僅使用不同芯數作 2 環路，實體光纖無法分散風險，目前經監控設備更新案提升後，將實體光纖為雙迴路，已分散此光纖故障風險；建議新建第三跑道燈光控制系統可區分跑道及滑行道不同子系統，可於系統

作業層面風險管理。

樟宜機場的 ALCS 使用 Honeywell 系統，跑道燈、跑道入口停止線燈、跑道入口燈和快速出口滑行道燈使用單燈監控系統，相當本機場的單燈 AGLAS(Airfield Ground Lighting Automatic System)的電力數據機 (Master)和遠端定址器(Remote)，但在 Honeywell 系統中，他們將其稱為電力數據機頂盒單元(Master Top Box)和遠端定址器 ASD(Addressable Switching Device)，滑行道燈由 CCR 搭配分段控制的電路選擇器(Circuit Selector)達成簡易開燈/關燈及亮度段數控制。

有關定址器部分，樟宜機場使用單燈監控僅針對跑道停止線燈、跑道內滑行道燈、跑道燈及進場燈等(定址器 ASD 總數約 3000 顆)，可即時查覺燈光故障，因場面僅跑道地帶內為單燈監控，所以定址器數量少相對較為穩定且於維護，滑行道部分因無法單燈監控，無法即時查覺燈光故障，僅靠人員及設備巡檢，於終昏開燈後，每天大約晚上 7 點進行 1 次滑行道巡場，夜間凌晨大約 4 點進行 1 次跑道巡場，ALCS 每天會產出 2 次故障報表，分別在夜間大約 1 時及 7 時。

AGLCMS Reports

CHANGI
airport singapore

Fault Information

Report Generated On (local time):

Report Generated By:

Faults:

GENERATED DATE	RTN DATE	EQUIPMENT ID	DESCRIPTION	EQUIPMENT TYPE
00:46:32		20L-RE1-085A	ASD-Unit failure	ASD
00:46:32		20L-RE1-006B	ASD-Unit failure	ASD
18:56:25		20L-RE1-025A	ASD-Unit failure	ASD
18:56:25		20L-RE1-014A	ASD-Unit failure	ASD

圖 4.8 ALCS 故障報表

本機場採用 ADB 原廠系統(遠端定址器 Remote；總數約 6100 顆)，設計建置為場面上全部單燈監控，俾與先進場面導引控制系統連接，監控系統與定址器目前無國內廠商共同開發，因定址器數量多相對設備可靠度要求較高，監控系統可即時查詢燈光單燈狀態，惟部分滑行道尚未整建區域，該區滑行道燈光仍無搭配定址器。

樟宜機場 ALCS 與 CCR 介面點對點並行概念，使用多線 24V 訊號準位接線，每個 CCR 連接了多線黑色電纜，所有多線電纜都將端接到編組集線機櫃內 ALCS 和 CCR 之間的接線端子，來自 CCR 的所有控制和監控信號都傳輸到 ALCS 集線機櫃，方便維護人員檢修介面區分。

(五) 航空地面燈光檢測車：

ICAO ANNEX14 10.5.5 應針對第 II 或 III 類精確性進場跑道之進場與跑道燈光系統之燈光強度、光束範圍及照射方向，以足夠精確之移動式測量裝備進行量測並分析每個燈具之特性。

2.ICAO ANNEX14 10.5.5 對第 II 或 III 類精確性進場跑道之燈光測試的頻率或次數，應依據交通密度、當地污染程度、燈光裝備之可靠性、連續場面檢測報告之評估結果等因素來決定，然在任何情況下，嵌入式燈具每年至少應執行兩次檢查，其他燈具每年至少應執行一次檢查。

樟宜機場與本機場均具備燈光檢測車，並於夜間關場時，根據 ICAO 規範要求內容及頻率進行檢測驗證，以達更好的服務水平。

(六) 燈具及基礎設施：

樟宜機場正在推進使用 LED 技術來滿足政府制定的節能和綠色標誌要求，與鹵素燈相比，LED 的使用壽命更長。目前維護計劃依燈光設施、監控系統和高壓設備分成三類，其中，燈光設施維護契約非獨立發包(監控除外之電力為主，包括 CCR 及燈具等)，其與空側土木維護併案

發包，以前由土木維護為主包，現在由燈光維護為主包，因為工項不同各有優劣，履約階段則分開管理，ALCS 監控系統維護契約每 5 年和 10 年簽訂一次，高壓設備則不屬於燈光廠商維護範疇，由航廈電力維護商負責。

1. 樟宜機場對於燈光預防性維護部分，摘要如下：
 - (1) 每月對跑道嵌燈進行緊固和清潔。
 - (2) 每 2 個月對跑道地帶內指示牌進行預防性維護。
 - (3) 每 6 個月進行 1 次的包括：對跑道燈光燈光亮度檢測、CCR 檢測、跑道高架燈進行緊固和清潔、滑行道燈進行緊固和清潔、滑行道指示牌進行預防性維護、檢查一次側電路絕緣。
 - (4) 將以上檢查數據製成表格並進行討論，以採取積極措施。
2. 樟宜機場對於燈光設備更換計劃。
 - (1) 每 7 年更換靜態 UPS 電池。
 - (2) 每 14 年更新靜態 UPS 系統。
 - (3) 每 10 年更新一次燈具。
 - (4) 每 10 至 15 年啟動更新(取決於跑道刨鋪關閉情況)CCR 和進場燈系統。
 - (5) 每 5 年更換 ALCS 監控系統電腦資通訊設備。
3. 樟宜機場的新燈具都會提供一個序列號以進行跟踪，燈具經維修後，在暗房設施中進行了光度測試，並且序列號也被記錄為翻新燈以進行跟踪，序列號記錄在 Microsoft Excel 數據庫中，該數據庫連接到維護團隊電腦。
4. 樟宜機場航空地面燈光變電站具完整排水設施、變電站門禁、CCTV 監視器及低汙染自動滅火系統等，充分考量無人化變電站安全管制及消防相關設施。



圖 4.9 第一跑道進場燈



圖 4.10 場面燈具及指示牌



圖 4.11 停機位操作引導燈



圖 4.12 第一跑道燈光變電站

5. 桃園機場航空地面燈光維護預防保養依照維護計畫實施每週、月、季、半年及年度計畫執行，每 6 個月進行 1 次微波感應器及停止線燈系統模組檢驗、恆流變壓器系統模組檢驗及順序閃光燈系統模組檢驗，每 12 個月進行 1 次單燈監控系統模組檢驗，此外，監控系統伺服器、網路交換器、工作站電腦、CCR Master 主機、電力監控(Power SCADA)及旋轉式動態不斷電系統(RUPS)監控工作站電腦等，依燈光設備重啟排程表進

行定期重啟作業，每月進行不同設備模擬故障演練及研討。

6. 桃園機場航空地面燈光預防性汰換作業，包括精確進場滑降指示燈(PAPI)燈訂於每年 3、6、9 及 12 月進行維護，進場燈每半年及霧季前，進行維護預防性汰換作業(預計每年 8 月及隔年 2 月)，並定期對場面跑道燈光手孔整理清潔。

(七) 小結：

1. 樟宜機場無地震無颱風，屬熱帶型氣候，非常著重規劃設計易於維護概念，有專門負責未來發展作可行性規劃設計部門，關於維護策略，設施設備或特殊系統維護部分，則不分空側或陸側均為同一部門，均為委外維護但依屬性獨立分開管理，同一級單位下，資源互通較能支援互補。
2. 樟宜機場非常重視在新建工程執行前的工程可行性評估作業，本身人員及設備之專業作業能量，並多方參考世界上各國際機場經驗，確認可行才執行後續發包作業，除可避免發包過程相關問題外，也可確保後續實際工程執行之順利。
3. 樟宜機場空側維護土木跟燈光為同一標案，燈光另發包原廠監控系統維護每 5 年長期標案，鑑以預防性維護為主，故障矯正性維護為輔，各項檢測指標數據分析研判，以採取積極措施，預測性積極管理，降低營運風險，相較於香港機場，亦採用各類自動化監測智能維護裝置。
4. 樟宜機場在設備的選擇理念上，均是以高飛航風險設備簡單化、高度可靠度的考量建設，並考量風險管理，分層備援甚至是 N+1 備援機制。
5. 燈光監控系統部分除分為 5 個完全獨立運作的控制子系統，系統故障僅影響該系統負責區域控制功能，場面燈光保持恆亮 Fail to Safe On(塔台依程序管制航機)，不會影響整個機場的航空地面燈光系統，系統面已分散風險，定址器部分也僅控制跑道停止線燈以內之跑道燈具，香港機場作法類似；

6. 樟宜機場已完成第三跑道建設，目前進行 T5 航廈建設及第二跑道之整建，並新增跑道頭兩端端繞滑行道，俾三條跑道航機滑行順暢相互運作，有計畫的規劃工程進行。
7. 桃園機場目前以故障矯正性維護為主，預防性維護為輔，利用每日定期或機動巡場時段，檢查跑道及滑行道場面助航燈光，發現故障時進行檢修；此外，電力及監控設備維護預防保養依每週、月、半年及年度計畫執行。2018 年引進燈光檢測車，每半年使用儀器檢查跑道燈光色度。
8. 桃園機場 2019 年開始建置維護管理系統，將原廠國外現行系統客製化移植至本機場，並將現有相關紙本巡檢表格電子化及中文化，以強化空側助導航燈光設施的管理，包含維護管理標準作業程序、設施履歷、預防維護排程、RFID 助航燈光設施 GPS 路線巡檢紀錄、故障維修紀錄、物料及庫存管理、統計查詢、報表管理等內容，另建置教育訓練中心，可進行相關教育訓練。
9. 桃園機場考量先進場面導引控制系統(A-SMGCS)之 Follow the green 功能，所以具備約 6,000 顆大量的定址器，設計已達到全場單燈控制功能，大幅增加燈光控制系統複雜度，因多涉軟體程式、資料庫網路等資訊安全技術，強烈建議燈光團隊應再增加具備相關資訊工程人員人力以確保技術傳承及營運安全無虞。土木道面與燈光系統互為界面無法完全切開，維護策略應整體一併考量，善用自動化設備提高效率，為精進維護飛航安全及樽節維護預算費用，針對重要性關鍵設備，建議逐步提升預防性及智能維護佔比，與土木界面應強化空側整體維護協調，未來配合維護管理系統建置專案執行，增進核心自主維護能量。有關維護策略擬定，應整體考量朝減少施工界面方式辦理，俾提升跑滑道運作效能。
11. 桃園機場未來維護方略應轉型以落實預防性維護為主，智能維護及故障矯正性維護為輔，依各類設備生命週期，確實執行所訂定期更新汰換計畫，考量未來第三跑滑道系統加入後，燈具設備數量將倍增，應逐步朝

向資產系統化管理及空側維護效能整合目標邁進。

五、 職業安全衛生管理系統

(一) 雙方職安衛法規之異同：

我國職業安全衛生法規自民國 63 年立法以來，歷經近 50 年的精修，法規共計 72 部，而新加坡(下稱星國)工作場所安全衛生法規(WSH)「數量」雖不及我國，所涵蓋之範圍卻與我國相當。

綜觀兩國職安法規，其立法精神同樣皆為著重「各行業工作者」之職業災害預防，且職安各類準則、指引等，皆是詳細列舉各種工作場所之潛在危害之預防對策及規定。由此可知，兩國職安法規體系完備程度相近。雙方較大的差異在於，星國對於違反職安法規之罪責、刑度顯較我國為重(犯法者罰金差 2 倍之多)，故可預期嚇阻犯法效果比我國高。

(二) 樟宜機場之職安衛企業文化介紹：

樟宜機場作為機場營運之標竿，除了令人驚嘆的硬體設計規劃外，也有著不同於我國的安全意識及文化素養，就本次參訪會談之觀察，濃縮及整理如下：

1. 有效的異常回報工具：樟宜機場公司建置內部專用手機 App，供機場園區工作人員使用，透過 APP 回報功能及配合傳統通訊軟體，能及時回報安全議題，有助於相關人員第一時間查看及處理。



圖 6.1 手機 APP 示意

2. 重榮譽的激勵活動：星國法治以嚴刑峻罰著稱，職安法規體系亦是如此，但樟宜機場在獎賞及激勵方面，也是不遺餘力。樟宜機場舉辦大型頒獎活動(Airport Safety Awards)，邀請機場園區人員，共同見證當年度對於安全具有傑出貢獻的人員。



圖 6.2 樟宜機場安全表揚活動

3. 頻繁的認知強化作為：樟宜機場蒐集事故或虛驚(Near miss)資料，並製作警示資訊，透過張貼或推送訊息的方式，於第一時間讓同仁知曉，並在每個月的安全協議會議上，邀請當事人進行事件報告，正向的探討錯誤發生的原因，以及解決且避免再犯的方法。



圖 6.3 安全認知強化宣導

(三) 承攬商安全衛生管理模式

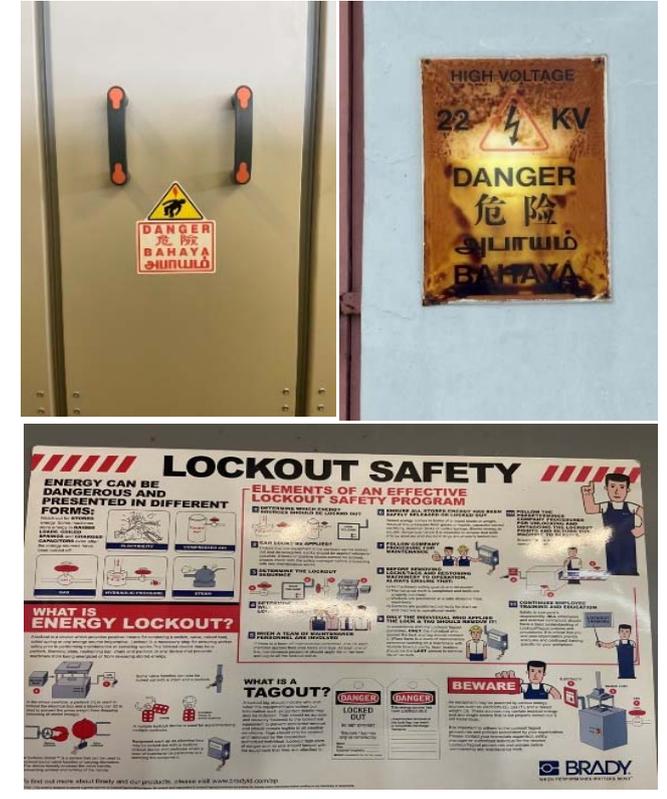
本公司與樟宜機場的共通點在於大量的承攬管理以及量體相當的在建工程(T5 興建及各式航廈整修)，因此在職安衛上面對著相同的挑戰。樟宜機場與本公司同樣設有作業許可制度，並連結作業風險評估，要求承包商在開工前提出申請，以確保業主及承包商在作業風險的認知相同。

在建工程方面，樟宜機場針對工程投標廠商之安全衛生管理效能設有資格條件(國家認證 bizSAFE 等級 3 以上)，此措施對於篩選出優良廠商確實有所幫助，可供本公司參考或學習。

(四) 職安相關設施或措施(空側)

本次參訪樟宜機場之空側停留點為一處訊息中繼中心，為 1 層樓建物，並且鄰近一座 iFERRET 塔(FOD 監視系統)。

此訊號中心建物內並無明顯高風險作業區域，但仍可藉由部分安全警示標誌瞭解相關作業及其危害類型。

照片	內容
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 門後設有柴油發電機作為備援。 2. 柴油輸送口(紅圈處)確實上鎖管制。
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建築物內存放備援電池，為預防化學噴濺，備有護目鏡及警語。 2. 備有圖像化的安全防護具穿戴範例。
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感電警語皆有不同語言，以確保作業人員能清楚閱讀。 2. 以上鎖管制消除感電及誤操作之風險。

照片	內容
	<p>iFERRET 塔高度在兩層樓以上，為防止人員墜落，設有垂直母索防墜系統。</p>

(五) 職安相關設施或措施(陸側)

由於樟宜機場人流龐大，維護保養作業亦是選在夜間人流較少時施作，故無法觀摩其安全衛生實際做法，但可從部分硬體設計理念觀察到對於職安衛的重視。

照片	內容
	<p>圖中為樟宜 T2 之植栽牆面(左圖)，為了維護保養之安全性，在牆面後方(右圖)設計安全維護通道，直接消除高處作業之墜落風險。</p>
	<p>行李分檢系統(BHS)整體職安衛風險與本公司相同，於硬體周圍張貼危害標示之作法與我國相同。</p>

(六) 小結

本次職安衛參訪交流，相對較深刻的部分是「國家認證 biZSAFE」機制、「SWEET Changi Airport」的回報機制。樟宜機場透過「biZSAFE」機制，篩選出具有優良安全衛生管理能力的廠商，在標案起始前就已經設想標案履約過程中的安全衛生議題可以更有機會的被妥善處理，再加上頻繁使用 SWEET Changi Airport 的 APP 即時回報、拍照、派發處理人員，系統性且脈絡清楚的異常處理流程，如此一來可以達到「源頭管制」與「過程管理」的雙重確保效果。

參、心得及建議

- 一、借鏡樟宜機場 SMS 安全管理系統及職業安全衛生管理系統管理作法，精進我國機場安全管理能力：其內容包含安全文化建立、風險控制機制、教育訓練、空側職安相關措施，使能增進桃園機場組織安全管理作為，強化組織安全管理訓練，提升同仁安全觀感與公司安全形象，落實安全文化風險管理，提早預防，降低意外及工安事件發生率。
- 二、樟宜機場主計畫(包含第三跑道、新建航廈)規劃理念及執行層面：樟宜機場執行主計畫，非常重視在新建工程執行前的工程可行性評估作業，本身人員及設備之專業作業能量，並多方參考世界上各國際機場經驗，確認可行才執行後續發包作業，除可避免發包過程相關問題外，也可確保後續實際工程執行之順利。另航廈建設方面非常著重規劃設計易於維護概念，有專門負責未來發展作可行性規劃設計部門，關於維護策略，設施設備或特殊系統維護部分，則不分空側或陸側均為同一部門，均為委外維護但依屬性獨立分開管理，同一級單位下，資源互通較能支援互補。

- 三、自動化之巡檢模式：樟宜機場道面維護方面，除採專業人員目視檢測外，亦搭配自動化 FOD 偵測設備輔助，可加速障礙物排除，在既有基礎上持續強化飛航安全。
- 四、燈光設施落實預防性維護作業，採智能維護及故障矯正性維護，依各類設備生命週期，確實執行所訂定期更新汰換計畫，考量未來第三跑道系統加入後，燈具設備數量將倍增，應逐步朝向資產系統化管理及空側維護效能整合目標邁進。
- 五、本次參訪除了智慧化設備、樟宜機場主計畫、SMS 安全管理系統及職業安全衛生管理系統給我們很多的啟發，亦感謝樟宜機場公司人員接待，安排會議交流解說。藉本次參訪收益良多，可做為未來桃園機場工程計畫推動及設施維護，安全管理之參考。



圖 5.1 與樟宜機場副總經理及公司人員合照