

# 凯密林克土壤加固技术 在新加坡樟宜国际机场 跑道扩宽工程的应用

Koh Ming Sue

新加坡民航局 (CAAS)

Koh\_Ming\_Sue@caas.gov.sg

Lim Boon Chai

新加坡民航局 (CAAS)

Lim\_Boon\_Chai@caas.gov.sg

武冬青博士

凯密林克科技集团, 新加坡

wu@chemilink.com

## 目录

1. 背景介绍
2. 选择原则
3. 凯密林克土壤加固法
4. 跑道扩宽的施工过程
5. 质量控制
6. 采用凯密林克技术的优势及效益
7. 结论
8. 感谢
9. 参考文献

## 1. 背景介绍

(1) 扩宽 之原因 - A380超级宽体客机的使用需要更宽的跑道。



图 1. 全球计划要扩宽跑道以接受 A380的机场

## 1. 背景介绍

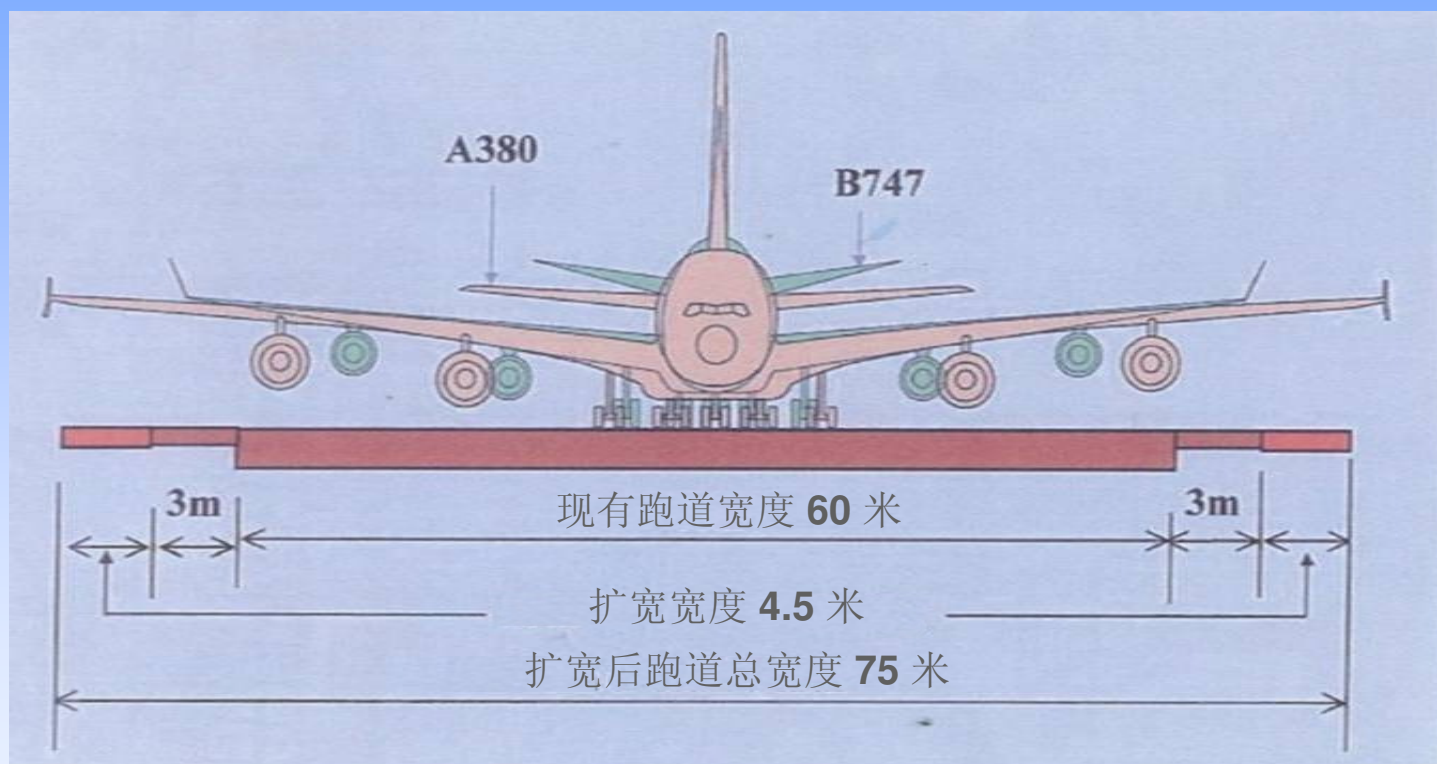


图2: 跑道扩宽示意图

## 1. 背景介绍

---

### (2) 第一批在运营不中断的情况下进行跑道扩宽的国际著名机场。

- 新加坡航空公司是世界上第一家购买A380的民航公司
- 跑道扩宽应超前进行
- 因机场客、货量大，无法完全关闭任一跑道以进行扩宽施工
- 无类似工程先例可循
- 民航局90年代末起便开始计划扩宽工程，包括扩宽采用的科技及实施方法的论证

## 2. 选择原则

---

### 新加坡民航局对跑道扩宽方法的选择原则 --

2-1 机场营运

2-2 施工速度

2-3 结构设计

2-4 对环境的影响

2-5 最优化成本

## 2. 选择原则

### 2-6 结论

#### ❖ 7份建议书

☒ 6份 --- 开挖、换土（含常规方法 - 即用级配碎石作基层）

☑ 1份 --- 凯密林克土壤加固法

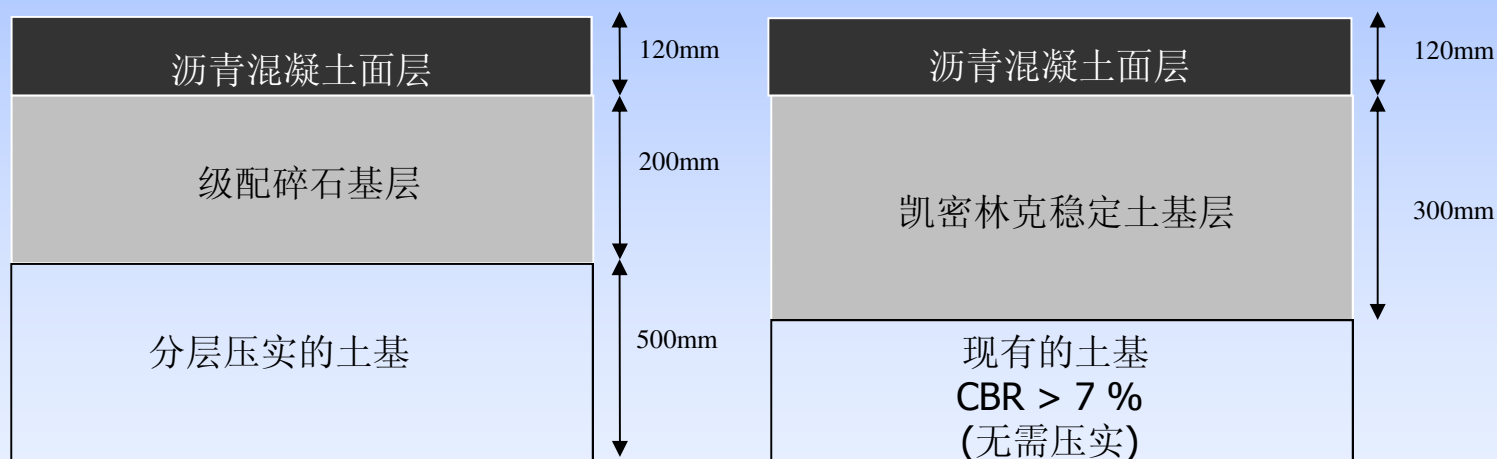


图 3. 原有跑道路肩和凯密林克加固技术扩宽的道肩截面图

❖ 凯密林克方法能较好地满足上述各项要求

### 3. 凯密林克土壤加固法

---

- 产品：**CHEMILINK™ SS-108**土壤稳定剂，一种高分子聚合物改性的水泥基化学产品
- 定义：将合适的化学产品（粉状）与当地土壤掺和及压缩，大幅度增强土的物理力学性能以满足工程需求
- 业绩：十多年来在亚洲（含中国）特别是东南亚热带雨林条件下的几十个大中型工程（如高速公路、船厂等）的应用，成效突出。
- 处理机场内土壤的类型
  - 粘土（含海洋粘土）
  - 海砂
  - 碎石
  - 上述的混合物

### 3. 凯密林克土壤加固法

---

- 主要设计指标（7天）
  - 无侧限抗压强度 **UCS  $\geq 1.5\sim 2.0$  MPa**
  - 加州承载力系数 **CBR  $\geq 90\%$**
  - 动弹模量变 **MR  $\geq 3,000$ MPa**
- 化学物添加剂量: **3.75%** (所有加宽的基层)
- 主要施工步骤 (类似生产流水线型的施工)
  - 1) 摊撒粉状产品
  - 2) 现场拌和(土与产品)
  - 3) 压实

## 4. 跑道扩宽的施工过程

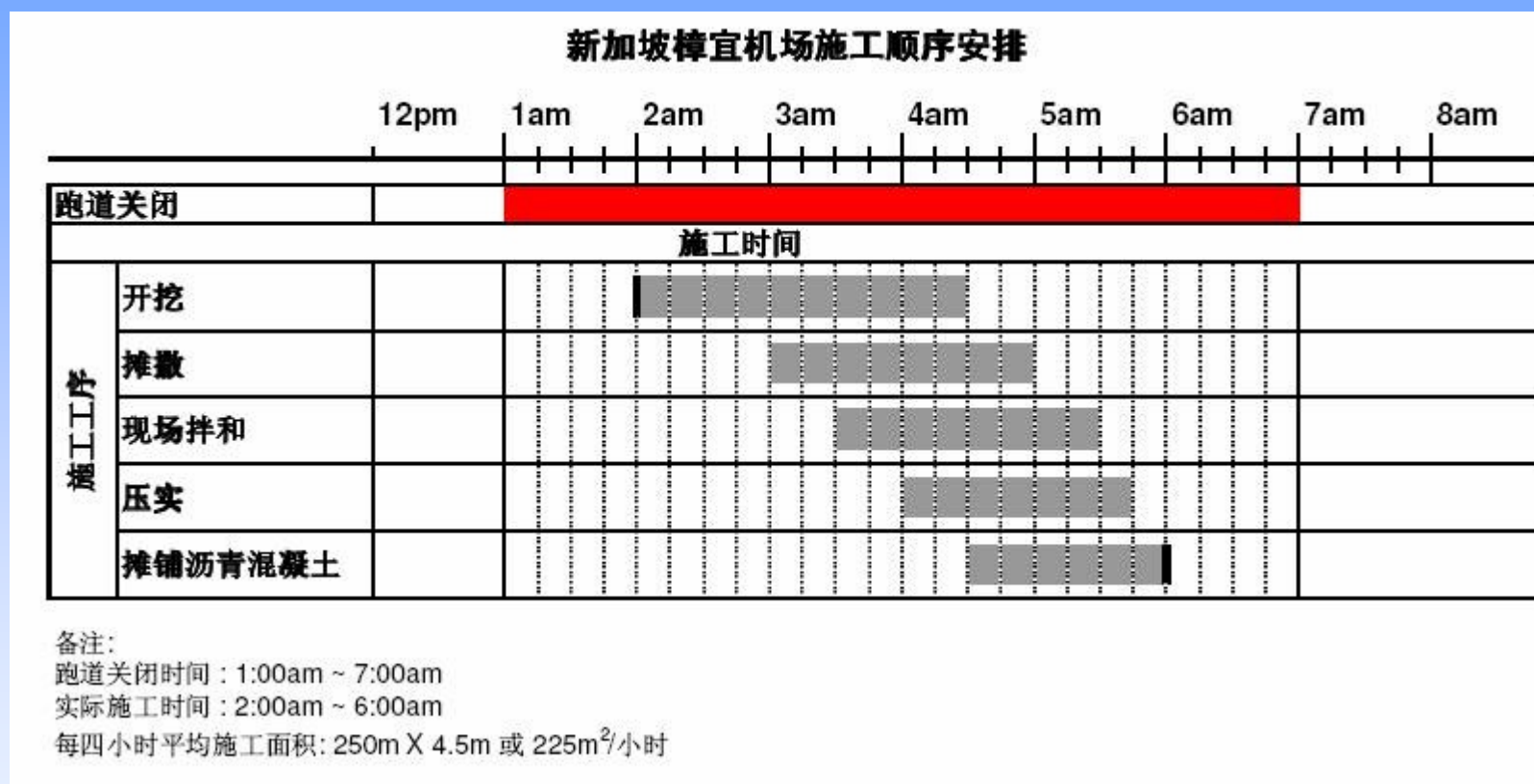


图 4. 机场扩宽工程典型施工顺序

## 4. 跑道扩宽的施工过程



照片一：清理表层杂物



照片二：摊撒化学物

## 4. 跑道扩宽的施工过程



照片三：现场拌和



照片四：压实

## 4. 跑道扩宽的施工过程



照片五：摊铺沥青混凝土



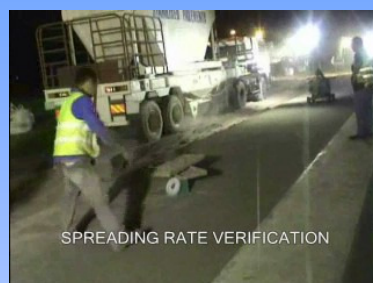
照片六：施工完成后的跑道扩宽部分

## 4. 跑道扩宽的施工过程

表1：施工时间小结

| 跑道       | 计划时间  | 实际工作日 | 备注                           |
|----------|-------|-------|------------------------------|
| 跑道I      | 90 天  | 31 天  | 平均 208 米/天                   |
| 跑道II     | 90 天  | 29 天  | 平均 226 米/天                   |
| 跑道I 及 II | 180 天 | 60 天  | 平均 217 米/天<br>(总共:13公里x4.5米) |

## 5. 质量控制



照片七：检查摊撒率



照片八：准备试样



照片九：UCS试验



照片十：CBR试验



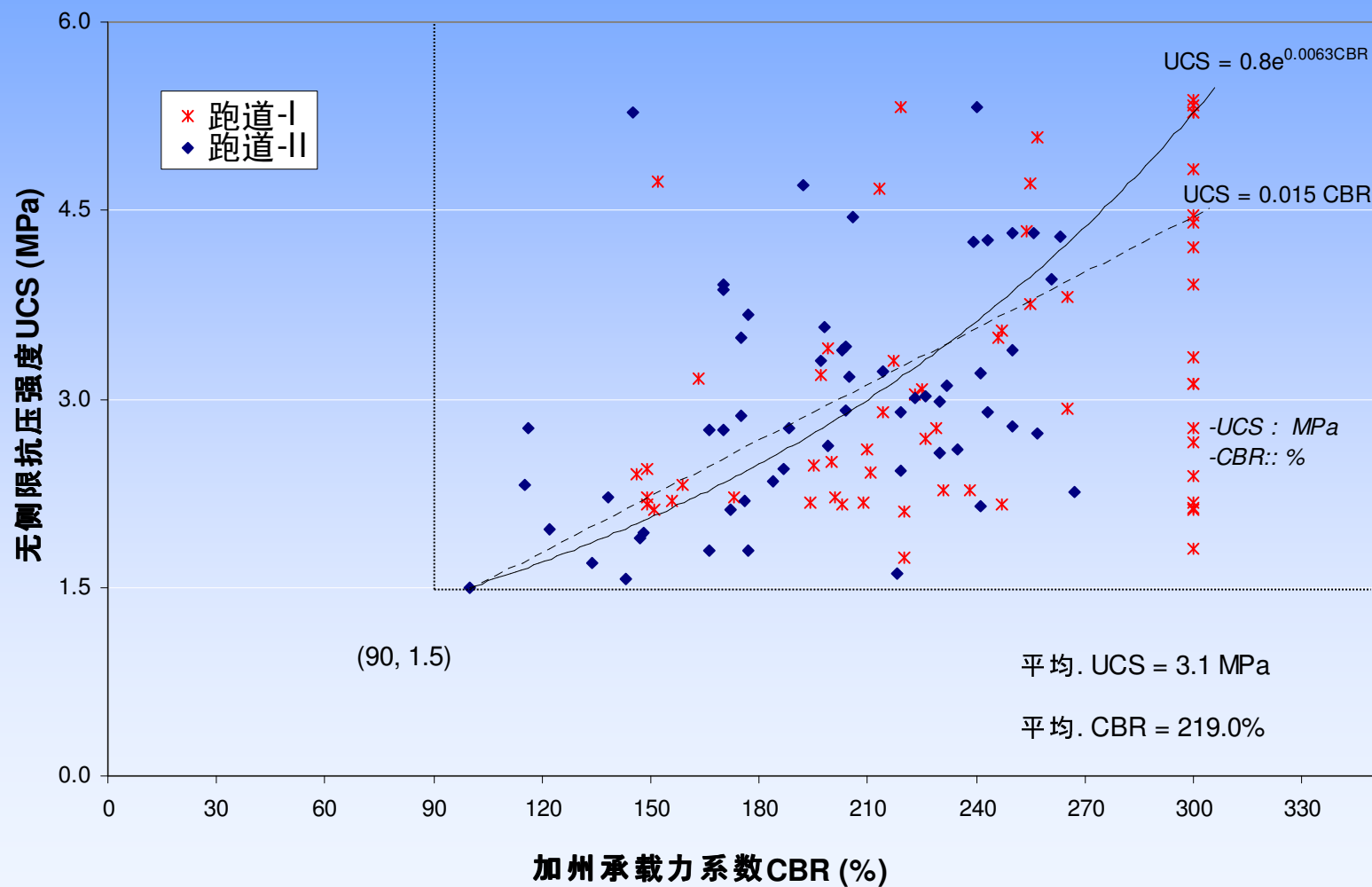
照片十一：密度试验



照片十二：回弹模量试验

## 5. 质量控制

### ❖ 强度汇总





照片十三：一年后的跑道Ⅰ扩宽部分



照片十四：一年后的跑道Ⅱ扩宽部分



照片十五: 一年后跑道 II 扩宽部分近景

## 6. 采用凯密林克技术的优势及效益

### 6.1 机场运营和环境

| 比较内容          | 凯密林克科技法         | 常规方法       | 备注      |
|---------------|-----------------|------------|---------|
| 对机场运营的干扰      | 极小              | 极大,无法接受    |         |
| 对机场安全和保安的影响   | 很小              | 很大,无法接受    |         |
| 及时撤离跑道和恢复运营状态 | ≤30分钟           | 至少90分钟     | 要求≤30分钟 |
| 机场内的开挖和回填量    | 无<br>(不计表层杂物清除) | 大          |         |
| 机场内外环保        | 好               | 差<br>(含弃土) |         |
| 对场内外公共交通的冲击   | 极小              | 较大         |         |

## 6. 采用凯密林克技术的优势及效益

### 6.2 跑道扩宽部分结构层的施工

| 比较内容                     | 凯密林克科技法          | 常规方法                          | 备注                    |
|--------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 单位施工速度<br>(平方米/小时)       | $\geq 1,125$     | $< 350$<br>(理论值,当局认为<br>很难成立) | 施工时段<br>2:00 ~ 4:00am |
| 两条跑道的施工工期<br>(月)         | 3<br>(实际工作日:60天) | 9~12<br>(理论值)                 | 要求: 6个月               |
| 施工人员/机械                  | $\leq 30$ 人/15台  | $> 100$ 人/50台                 | 在限定时间内                |
| 进出机场的运输量<br>(次,换算成10吨卡车) | $< 20$           | $> 100$                       |                       |
| 机场专项安检时间<br>(小时)         | $< 1$            | 9<br>(安检部门难以接受)               | 含沥青混凝土<br>面层施工        |

## 6. 采用凯密林克技术的优势及效益

### 6.3 技术性能和施工质量

| 比较内容                                 | 凯密林克科技法       | 常规方法          | 备注                          |
|--------------------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| 综合强度和承载能力                            | 高             | 一般或偏低         |                             |
| • 无侧限抗压强度UCS, (MPa)                  | 3.1 (平均值)     | 0(松散体)        | 要求: $\geq 1.5 \sim 2.0$ MPa |
| • 加州承载力系数CBR, (%)                    | 219.0 (平均值)   | 90~120        | 要求: $\geq 90\%$             |
| • 动弹模量MR, (MPa)<br>• (国际民航对跑道等的特别要求) | $\geq 12,000$ | 松散体<br>无法有效测量 | 要求: $\geq 3,000$ MPa        |
| 总体沉降(在软土地基上)                         | 较小            | 较大            |                             |
| 不均匀沉降                                | 极小            | 大             |                             |
| 新路面的纵横向开裂                            | 无(实测)         | 明显(类似工程)      |                             |
| 因质量问题而重复施工                           | 无(实测)         | 常见(特别在雨季)     |                             |
| 耐久性(含浸水情况)及维修周期                      | 长             | 较短或短          |                             |
| 完工后一年内出现的各种工程缺陷                      | 无(实测)         | 常见            |                             |

## 6. 采用凯密林克技术的优势及效益

### 6.4 成本及经济利益

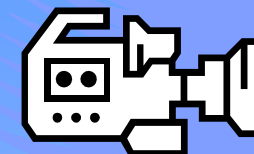
| 比较内容                    | 凯密林克科技法     | 常规方法             | 备注 |
|-------------------------|-------------|------------------|----|
| 跑道扩宽部分的单位成本<br>(新币/平方米) | $\leq 70$   | $> 210$<br>(理论值) |    |
| 额外安全、保安费用               | 0           | 10~20%的工程造价      |    |
| 额外弃土费用                  | 0 (约)       | 约10%的工程造价        |    |
| 因提前完工可创造的经济效益           | $\geq$ 工程造价 | 0                |    |
| 因工程延误可能造成的经济损失          | 0           | $\geq$ 工程造价      |    |
| 为机场增添国际声誉               | 是           | 否                |    |

## 7. 结论

---

- ❖ 世界上第一批在不中断运营的条件下扩建跑道的国际知名机场，并全面获得了成功.
- ❖ 扩宽工程经过多年规划，反复论证，并提前顺利完工，交付使用.
- ❖ 在新加坡国际机场诸多的严格甚至苛刻的规定和限制下，凯密林克土壤加固法被证明是可行、易行，快速、可靠的跑道扩宽的科学方法，降低了工程造价及长期维修费用，并为机场带来了众多的经济效益和国际声誉.
- ❖ 跑道扩宽部分至今（一年多）运作正常，无工程缺陷.
- ❖ 凯密林克科技法已被推荐到含马来西亚、文莱、中东等多个国际机场.

The 4th APTE Conference, Xi'An, China, Nov. 8~10, 2005



施工过程录像

(因有关保密条例,无法提供录像磁盘)

## PROJECT RECORD

CAAS Permit No.: FPT/T1-065/05; FPT/T1-072/05



—Design & Build Contract for Widening of Runway

**Shoulders & Associated Works at Singapore Changi Airport**

(CAAS Project — CAA000/EN/NLA/2004/1)

**INSTEK HOLDING PET LTD**  
36 TANJONG PENJURU, SINGAPORE 609031  
TEL: 62522201      FAX: 62527886  
<http://www.chemilink.com.sg>

## 8. 感谢

新加坡民航局

(Civil Aviation Authority of Singapore - CAAS)

## 9. 参考文献

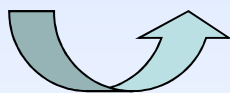
(略)

**Thanks for Your Attention!**



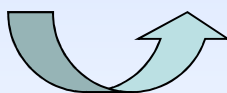
## 2-1 机场运营

- ❑ 满足机场运营的所有规定及限制
- ❑ 每天**1:00 am to 7:00 am** 时段关闭其中一条跑道以便施工
- ❑ 有效施工时间: **4小时 (2:00 am ~ 6:00 am)**
- ❑ 正在施工的跑道必须能在**30分钟**后恢复原样,让飞机起降 (紧急情况)



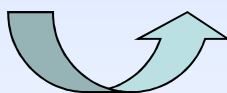
## 2-2 施工速度

- ☐ 高效率的单位(小时)施工进度
- ☐ 扩宽工程总周期要尽可能短
- ☐ 各项施工活动应对机场安全及保安没有影响



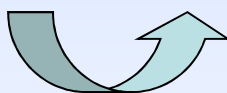
## 2-3 结构设计

- ☐ 国际民航组织规定
- ☐ 空中巴士公司的最新推荐
- ☐ 填海软土地基的影响
- ☐ 采用的技术和产品必须在热带雨林地区有十年以上成功的大型工程记录及机场施工经验



## 2-4 对环境的影响

- ☐ 尽可能少的开挖和回填
- ☐ 尽可能少的地面人员和机械的活动
- ☐ 将机场控制和协调工作量降到最低
- ☐ 对机场内外环境的保护



## 2-5 最优化成本

- ❑ 直接施工成本与间接施工成本的最优组合
- ❑ 现时工程投入与长期使用\维修成本的最优组合

