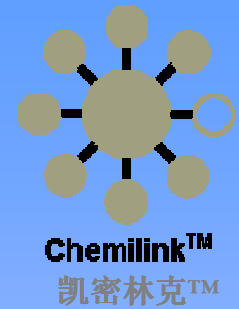


第十二届新加坡道路技术研讨会 (SPT 2007)

2007年4月20日, Singapore Polytechnic Graduate's Guild, Singapore



# 土壤再循环技术 在公路和机场跑道上的应用

武冬青博士

凯密林克科技集团, 新加坡

# 内容提要

1. 绪论
2. 采取化学加固技术的土壤再循环
3. 凯密林克技术在道路和机场跑道上的应用
4. 土壤再循环技术的优势和效益
5. 结论
6. 参考文献

# 1. 绪论

---

- ❖ 当前新加坡面临着土木和建筑行业严重的沙石短缺问题
- ❖ 材料成本增加了3到4倍
- ❖ 即使在本次危机过后，材料价格也很难恢复到以前的水平
- ❖ 与“新生水”情况相类似，新加坡需要找出其他的科技方  
法来永久性地克服当前的危机
- ❖ 施工现场的土壤再循环使用是一个可靠的和行之有效的  
解决办法

## 2. 采取化学加固技术的土壤再循环

---

- \* **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
- \* 十多年来，性能独特的凯密林克土壤加固技术在亚洲，特别是东南亚热带雨林条件下的几十个大中型工程（如机场跑道，高速公路及船厂地基等）中得到了应用，成效突出
- \* 这些精心研发的各种类型凯密林克系列产品用于加固以下土壤：
  - ☐ 粘土
  - ☐ 砂土
  - ☐ 碎石
  - ☐ 以上几种的混合

## 2. 采取化学加固技术的土壤再循环

---

### 2-1. 简介

为了保护自然环境，越来越多的施工现场材料，譬如各种类型的土壤，被用于公路和机场跑道的建造

- 化学加固法能增强土壤的物理学性能，以满足工程需求
- 在世界各地的应用证明了：

配合以正确的设计和高质量的施工，  
化学加固法是  
技术可靠、节约成本的方法

## 2. 采取化学加固技术的土壤再循环

### 2-2. 材料设计标准

- \* 用量：占需要固化的干土重量的百分比
- \* 目的：充分满足技术要求
- \* 常规公路和机场跑道的设计标准

#### UCS 无侧限抗压强度

0.75~1.5MPa (底基层)

1.5~3.0MPa 或更高 (基层)

#### CBR 加州承载力系数 (可选择的)

≥30% (底基层); ≥80~90% (基层)

#### MR 动弹模量 (机场跑道)

≥3,000MPa (基层)

## 2. 采取化学加固技术的土壤再循环

### 2-3. 化学加固法的施工方法

#### 2-3-1 现场加固法



Mechanical Spreading

机械铺撒



Mixing by Stabilizer

路拌机搅拌



Compaction 1

碾压



Manual Spreading

人工铺撒



Mixing by Rotorvator

农用耕作机搅拌



Compaction 2

碾压

## 2. 采取化学加固技术的土壤再循环

### 2-3. 化学加固法的施工方法

#### 2-3-2 中心搅拌站法



中心搅拌站和压实后的加固土层



### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-1. 沼泽地区的公路(文莱, 1995年)



a) 加固后道路的取样



b) 加固后的道路(左半部分)  
与老路的对比



c) 加固十年后的道路表面

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-2. 造船厂地基 (印尼, 1997年)



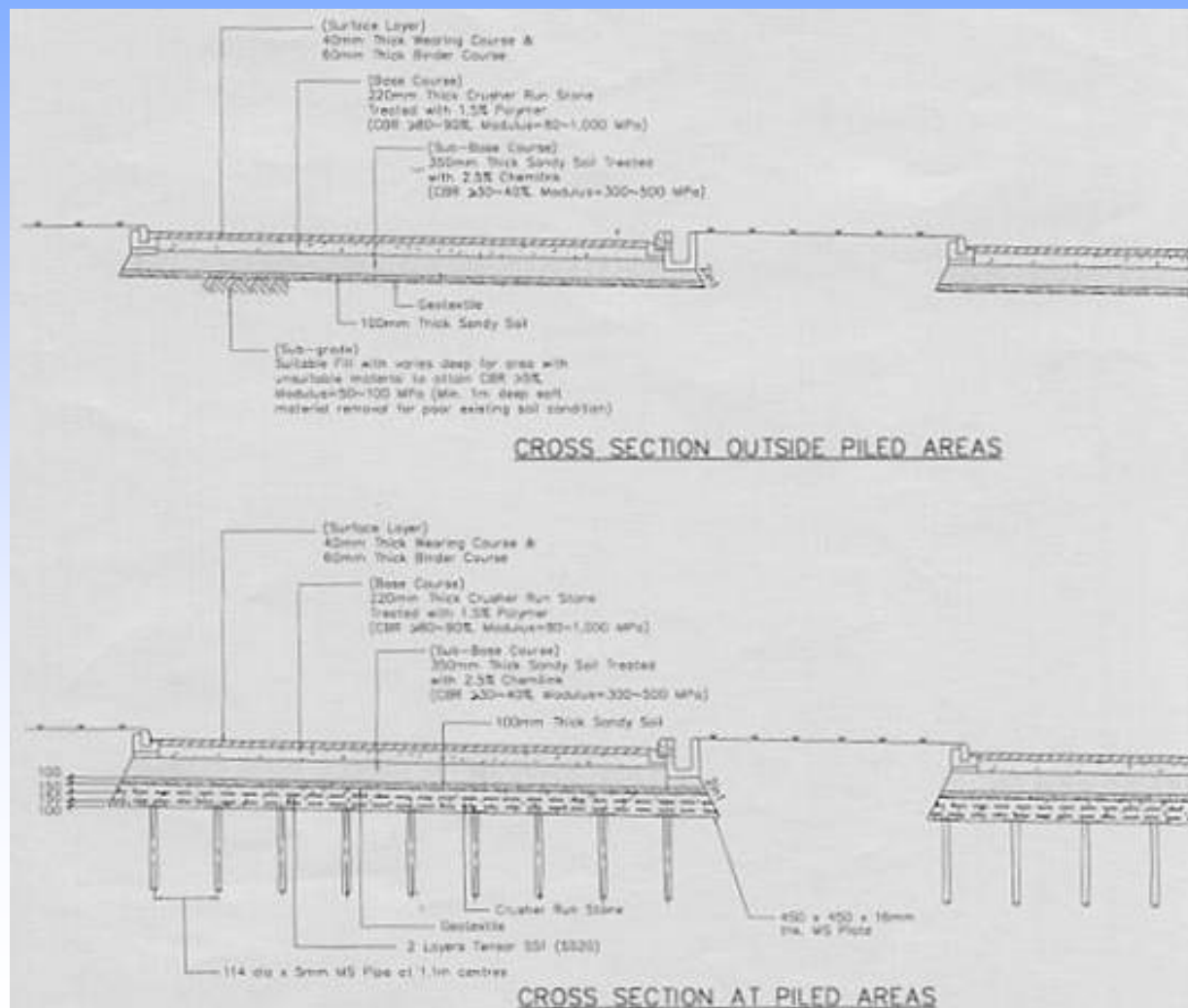
a) 人工摊撒和机械搅拌

b) 压实



### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-3. 快速公路 (文莱, 1999年)



道路的横截面  
设计图

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场道路上的应用

#### 3-3. 快速公路 (文莱, 1999年)



a) 切割开的道路横截面

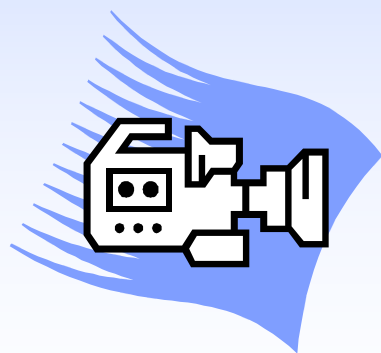


b) 完工 7 年后的道路

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-3. 快速公路 (文莱, 1999年)

道路横截面  
切割过程的  
录像





### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-4. 低造价乡村公路 (中国内蒙古, 2002年)

\* 仅有20厘米厚的基层（纯粘土） + 3% SS-108/ 40毫米厚的沥青混凝土



使用多年后的三级公路

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-4. 低造价乡村公路 (中国内蒙古, 2002年)

\* 低温环境 ( ~ - 30°C )



使用多年后的凯密林克加固基层

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-5. 美国加德士石油公司的油田道路 (印尼苏门达腊, 2003年)

\* 0.2米厚的基层 + 1% SS-108 / 无沥青层



Subgrade Condition

沼泽地区的土基



Dropping The Jumbo Bag

摊撒 - 大包装产品



### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-5. 美国加德士石油公司在印尼苏门达腊岛的油田道路(2003年)

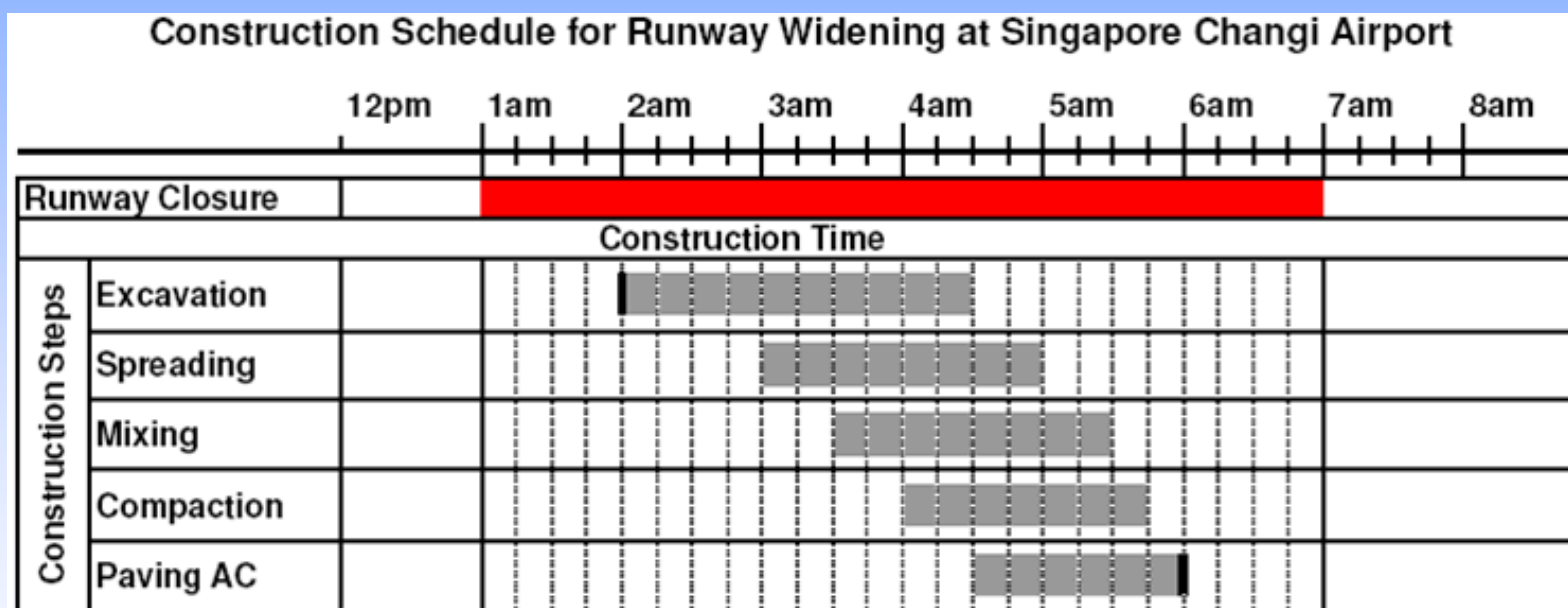
\* 0.2米厚的基层 + 1% SS-108 / 无沥青层



使用中的简易道路

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-6. 新加坡樟宜国际机场跑道扩宽工程 (2005年)



Notes:

Runway Closure Time : 1:00am ~ 7:00am

Effective Construction Time : 2:00am ~ 6:00am

Average Area per 4 Working Hours: 250m by 4.5m or 225m<sup>2</sup>/hour

典型的施工程序图

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-6. 新加坡樟宜国际机场跑道扩宽工程 (2005年)



表面开挖



摊撒

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-6. 新加坡樟宜国际机场跑道扩宽工程 (2005年)



现场拌和



平整和碾压

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-6. 新加坡樟宜国际机场跑道扩宽工程 (2005年)



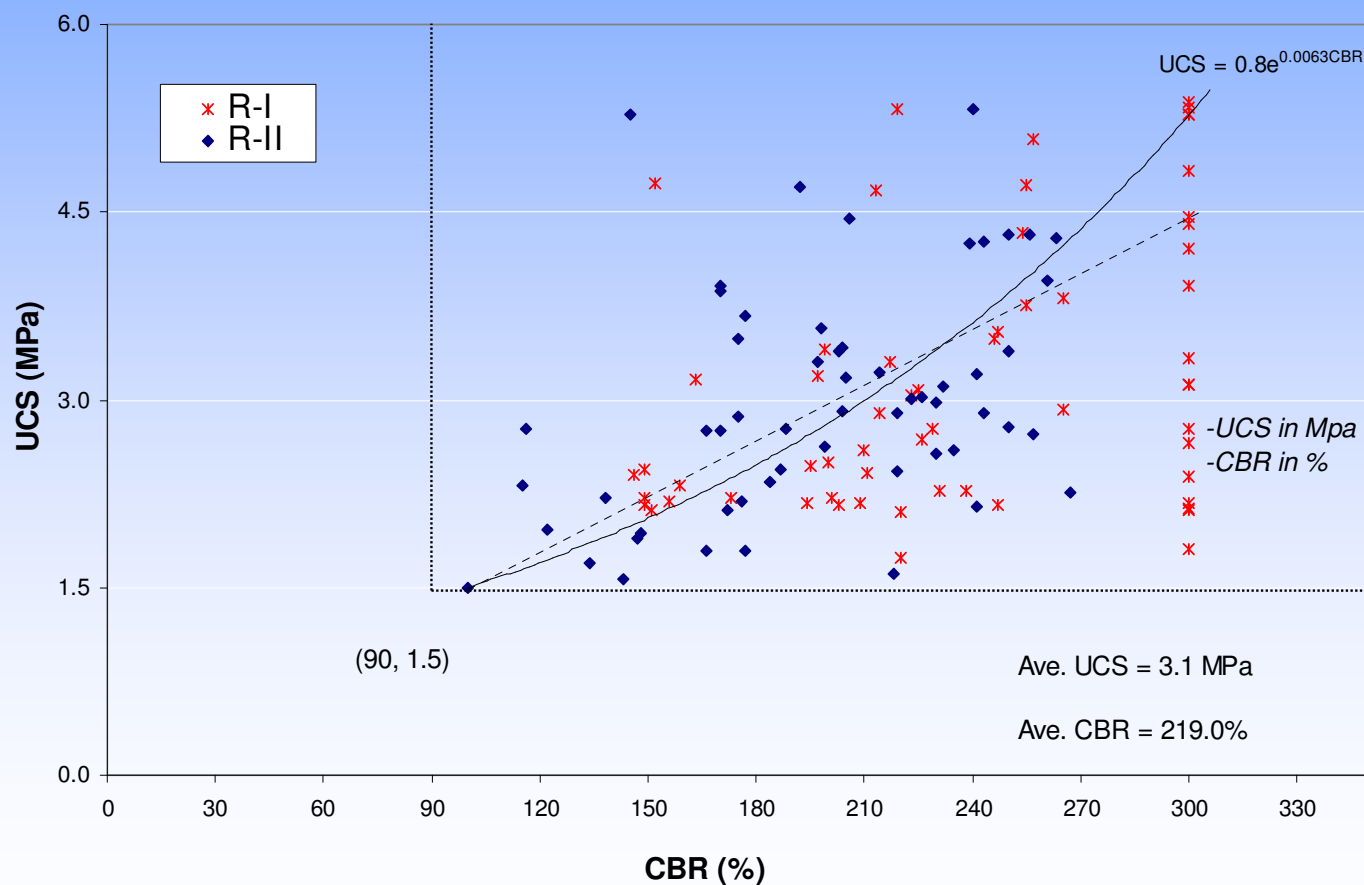
铺设沥青混凝土面层



扩宽后的跑道

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-6. 新加坡樟宜国际机场跑道扩宽工程 (2005年)



UCS和CBR试验结果（机场跑道I和II）

### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-6. 新加坡樟宜国际机场跑道扩宽工程 (2005年)

完成施工  
17个月后的  
跑道 II





### 3. 凯密林克加固法在公路和机场跑道上的应用

#### 3-6. 新加坡樟宜国际机场跑道扩宽工程 (2005年)

完成施工  
14个月后的  
跑道 I



## 4. 土壤再循环的优势和效益

### 4-1. 道路建设中采用土壤再循环法和常规法的综合比较

#### 4-1-1. 应用条件

| 比较内容             | 常规方法 | 凯密林克<br>土壤再循环法           | 备注                                    |
|------------------|------|--------------------------|---------------------------------------|
| 在坚固的<br>土基上筑路    | 可行   | 可行                       |                                       |
| 在沼泽及 软土<br>地区上筑路 | 不可行  | 可行                       |                                       |
| 适用的<br>土壤类型      | —    | 常见土壤：<br>比如砂土，粉<br>砂土和粘土 | 特殊或难度较大的<br>土壤可由深入研发<br>后的特殊产品来处<br>理 |

## 4. 土壤再循环的优势和效益

### 4-1. 道路建设中采用土壤再循环法和常规法的综合比较

#### 4-1-2. 对环境的影响

| 比较内容          | 常规方法 | 凯密林克<br>土壤再循环法 |
|---------------|------|----------------|
| 砂石材料的需求量      | 非常高  | 低、有限或几乎不需要     |
| 无毒、环保、性能稳定    | 可能是  | 是              |
| 工程对公共环境及交通的干扰 | 很大   | 极小             |

## 4. 土壤再循环的优势和效益

### 4-1. 道路建设中采用土壤再循环法和常规法的综合比较

#### 4-1-3. 施工

| 比较内容 | 常规方法                     | 凯密林克<br>土壤再循环法                      | 备注           |
|------|--------------------------|-------------------------------------|--------------|
| 建造费用 | 中到高                      | 较低                                  | 参照<br>“费用比较” |
| 施工速度 | 较慢<br>(e.g. 100m /天/层/队) | 快速<br>(e.g. 500m to 1km /<br>天/层/队) | 同上           |

## 4. 土壤再循环的优势和效益

### 4-1. 道路建设中采用土壤再循环法和常规法的综合比较

#### 4-1-4. 技术性能和耐久性

| 比较内容           | 常规方法 | 凯密林克<br>土壤再循环法 |
|----------------|------|----------------|
| 浸水情况下的<br>承载能力 | 差    | 优              |
| 不均匀沉降          | 大    | 很小             |
| 防水性            | 差    | 优              |
| 维护需求           | 多    | 少              |
| 耐久性            | 短    | 长              |

## 4. 土壤再循环的优势和效益

### 4-1. 道路建设中采用土壤再循环法和常规法的综合比较

❖ 基层: 250mm 厚

❖ 直接成本的估算比较

| 编号 | 分级石块的单位价格<br>(S\$/t, 新加坡抵岸价) | 分级石块<br>基层造价<br>(S\$/m <sup>2</sup> )* | 化学法加固<br>基层造价<br>(S\$/m <sup>2</sup> )** |
|----|------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| 1  | 20                           | 18.4                                   | < 20                                     |
| 2  | 30                           | 24.2                                   | < 20                                     |
| 3  | 60                           | 41.4                                   | < 20                                     |
| 4  | 64                           | <b>44</b><br>(目前新加坡市场价)                | < 20                                     |

\* 包括当地运输及施工费: S\$12/t; \*\* 仅限于土壤再循环特种施工单位

❖ 间接节约的成本包括:

\*提前完工的经济效益; \* 大大减小对环境和公共交通的影响;

\*更加优异的技术性能及耐久性; .....

## 5. 总结

---

- 1) 新加坡正面临着严峻的建筑砂石短缺的问题，寻求高科技的替代方法是非常必要的。
- 2) 用化学加固技术来循环使用土壤，变废为宝，无论在短期或是长期都被证明是一种可靠和高效的替代方法。
- 3) 十多年来在亚洲特别在东南亚热带雨林地区大量的工程应用已充分证明：凯密林克土壤加固技术是一种可靠的加固各种土壤用于公路和机场等浅基础工程的科技方法，在技术上和商业上均是高效和持久的。
- 4) 这种低造价并能在较短时间内建造优质耐久的公路和机场跑道等的土壤再循环法，具有显著的技术优势和商业及社会效益。



## 6. 参考文献

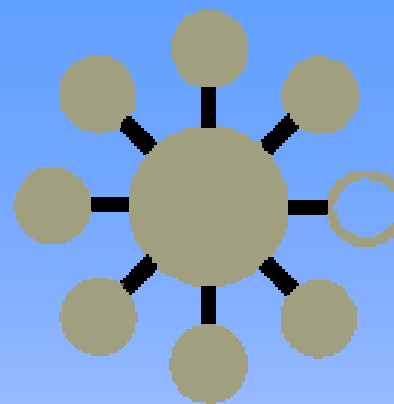
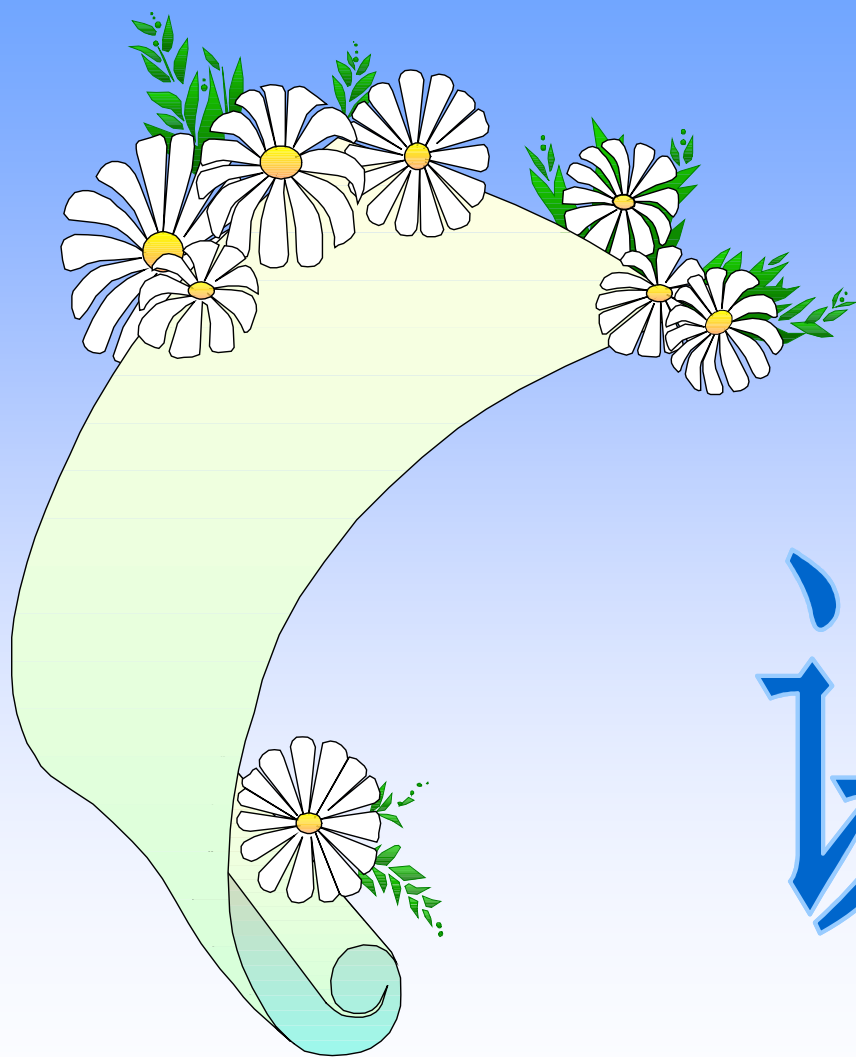
---

- 1) Wu, D.Q. (2006). General Specifications for Chemilink Soil Stabilization, 3rd Edition, 2006, Chemilink Technologies Group, Singapore.
- 2) Yong, T.C. and Wu, D.Q. (1999). Chemical Stabilization for Road Construction in Brunei Darussalam, The First International Conference on Transportation for Developing Countries on Threshold of the 21st Century, Nov. 18-19, 1999, Hanoi, Vietnam, pp. I.26-I.32.
- 3) Suhaimi, H.G. and Wu, D.Q. (2003). Review of Chemical Stabilization Technologies and Applications for Public Roads in Brunei Darussalam, REAAA Journal (The Journal of Road Engineering Association of Asia & Australia), Vol. 10, No. 1, PP7021/8/2003, pp. 42-53.
- 4) Wu, D.Q. (2002). Soil Stabilization/Recycling with Chemical Admixtures for Civil Engineering, Regional Seminar on Recycling Technologies for Civil Engineering, Nov. 19-20, 2002, Singapore.

## 6. 参考文献

---

- 5) Liu, Q., Wu, D.Q. and Gui, Z. (2004). The Application of Non-Standard Stabilizers to the Base Course of Rural Roads, International Conference on Sustainable Waste Management, June 10-12, 2004, Singapore, pp. 178-190.
- 6) Wu, D.Q. and Yong T.C. (2004). Recycling of In-Situ Soils by Using Chemical Stabilization for Roads, International Conference on Sustainable Waste Management, June 10-12, 2004, Singapore, pp. 227-239.
- 7) Koh, M.S., Lim, B.C. and Wu, D.Q. (2005). Chemical-Soil Stabilization for Runway Shoulders Widening at Singapore Changi Airport, 4th Asia Pacific Conference on Transportation and Environment (4th APTE Conference), Nov. 8-10 2005, Xi'an, PR China.



**Chemilink™**  
凯密林克™

谢谢!