From Local Cooling to Global Cooling:  
Cool Roofs and Cool Pavements
从地方冷却到全球冷却：
冷屋顶和冷铺路面

Art Rosenfeld
California Energy Commissioner
美国加州能源专员

Tel: 916-654-4930
Email: ARosenfe@Energy.State.CA.US
http://www.energy.ca.gov

*For more detailed information, please contact Hashem Akbari:
*如欲获得更多详细信息，请联系Hashem Akbari:

Tel: 510-486-4287
E_mail: H_Akbari@LBL.gov
http://HeatIsland.LBL.gov
Temperature Trends in Downtown Los Angeles

From Orchards to Blacktops

Eruption of Krakatau, August 27, 1883

Slope = \( \frac{6 \, ^\circ \text{F}/50 \, \text{yr}}{3.3 \, ^\circ \text{C}/50 \, \text{yr}} \)

\( = \frac{1 \, ^\circ \text{F}/8 \, \text{yr}}{1 \, ^\circ \text{C}/14 \, \text{yr}} \)
White is ‘cool’ in Bermuda
在百慕大：白色是很“酷”的
and in Santorini, Greece
在希腊的圣托里尼岛也是这样
Cool Roof Technologies

Old 老一代技术
- flat, white
  平顶，白色
- pitched, white
  低坡屋顶，白色

New 新一代技术
- pitched, cool & colored
  低坡屋顶，降温 & 多彩
Cool Roof Programs around the World

• U.S. 美国
• Europe 欧洲
• Asia 亚洲
• Middle East 中东
• China 中国
• India (Hyderabad demos; see graph at right)

印度 （在海德拉巴市示范，见右图）
Cool Colors Reflect Invisible Near-Infrared Sunlight

冷色可以反射看不见的近红外日光

Solar Energy Distribution 太阳能分布

- 5% ultraviolet (300-400 nm)
- 43% visible (400-700 nm)
- 52% near-infrared (700-2500 nm)

Normalized Solar Intensity

Wavelength (nanometers) 波长（纳米）
Cool and Standard Brown Metal Roofing Panels

对比：两块金属屋顶面板
冷色的棕色和标准的棕色

- Solar reflectance ~ 0.2 higher
- 太阳辐射反射率 ~ 0.2 以上
- Afternoon surface temperature ~ 10ºC lower
- 午后表面温度 ~ 低于10ºC

Courtesy BASF Coatings 感谢BASF 公司

冷色 cool

标准色 standard

solar reflectance = 0.27
thermal emittance = 0.85
top temp - air temp = 36°C (65°F)
- 太阳反射率=0.27
- 热辐射率=0.85
- 屋顶温度与空气温度之差为：36°C

solar reflectance = 0.08
gthermal emittance = 0.85
top temp - air temp = 45°C (91°F)
- 太阳反射率=0.08
- 热辐射率=0.85
- 屋顶温度与空气温度之差为：45°C

courtesy BASF Coatings 感谢BASF 公司

BASF

波长（纳米）
Designing Cool Colored Roofing

冷色混凝土瓦
cool concrete tile
R ≥0.40

标准色混凝土瓦
standard concrete tile
(同种颜色 same color)

冷色粘土瓦
cool clay tile
R ≥0.40

Courtesy MCA Clay Tile
感谢MCA Clay Tile
公司提供

冷色金属
cool metal
R ≥0.30

Courtesy BASF Industrial Coatings
感谢BASF公司提供

冷色玻璃纤维沥青屋面瓦（shingle）
cool fiberglass asphalt shingle
R ≥0.25
Courtesy Elk Corporation
感谢Elk公司

solar reflectance gain =
太阳能反射增益
+0.37 +0.26 +0.23 +0.15 +0.29 +0.29
Cool is Cool:
From Cool Color Roofs to Cool Color Cars and Cool Color Jackets
冷色就是“酷”：从彩色的冷屋顶、冷轿车，再到冷外套

Toyota experiment
(surface temperature 10ºC cooler)
丰田公司的实验表明：
冷色轿车的表面温度要比标准色轿车低10ºC

Ford is also working on the technology
福特公司也正在研究这项技术

Courtesy: BMW (http://www.ips-innovations.com/solar_reflective_clothing.htm)
来源于：BMW 宝马汽车公司
Cool Paving Materials:

冷铺设路面材料
Reflective Pavements are Cooler
反射路面温度更低，更“酷”

• Fresh asphalt
  新铺的沥青路面
  Albedo 反照率: 0.05
  Temperature: 123°F
  温度: 52.8°C

• Aged asphalt
  老旧的沥青路面
  Albedo 反照率: 0.15
  Temperature: 115°F
  温度: 46°C

• Prototype asphalt coating
  沥青涂层样品
  Albedo 反照率: 0.51
  Temperature: 88°F
  温度: 31°C
Temperature Effect on Rutting

Source: Dr. John Harvey, UC B Civil Engineering, Inst. Transpo. Studies
Simulated Meteorology and Air-quality Impacts in LA

気温変化  Temperature Change

臭氧濃度変化  Ozone Concentration Change
Potential Savings in LA (1998)

Current costs have more than doubled*


Savings for Los Angeles (1998)

- **Direct**, $100M/year  直接节省：1亿美元/年
- **Indirect**, $70M/year  间接节省：7千万美元/年
- **Smog**, $360M/year  烟雾节省：3亿6千万美元/年

Estimate of national savings:

- **$5B/year**  据估计，全美国的节余金额为：50亿美元/年
Cool Surfaces also Cool the Globe
冷色表面也能让全球降温

- Cool roof standards are designed to reduce a/c demand, save money, and save emissions. In Los Angeles they will eventually save ~$100,000 per hour
- 根据设计标准，冷屋顶可降低住户对空调的需求，既省钱又减排。在洛杉矶，冷屋顶最终可以实现每小时节约10万美元
- Annual savings in the U.S. = $1-2B; ~ 7 M tons CO₂
- 冷屋顶在全美国的年度节余金额为：10-20亿美元；约700万吨CO₂
- Annual savings in the world = $10-15B; ~ 100 M tons CO₂
- 冷屋顶在全世界的年度节余金额为：100-150亿美元；约1亿吨CO₂
- BUT higher albedo surfaces (roofs and pavements) directly cool the world quite independent of avoided CO₂.
- 但是！高反照率的表面（如冷屋顶和冷铺路面）虽然可以直接降低温度，但却与减少CO₂排放量没有直接联系
Solar Reflective Surfaces Also Cool the Globe
太阳能反射表面——也能让全球变得更凉爽

Source: IPCC

图片来源：IPCC（政府间气候变化专门委员会）
Effect of Solar Reflective Roofs and Pavements in Cooling the Globe

太阳能反射屋顶和路面对全球降温的作用

(Source: Akbari, Menon, Rosenfeld. *Climatic Change*, 2008)

（来源：Akbari, Menon, Rosenfeld. *Climatic Change*, 2008）

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th>Δ Solar Reflectivity</th>
<th>CO₂ Offset by 100 m²</th>
<th>CO₂ Offset Globally</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>White Roof</td>
<td>0.40</td>
<td>10 tons</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Average Roof</td>
<td>0.25</td>
<td>6.3 tons</td>
<td>24 Gt</td>
</tr>
<tr>
<td>Cool Pavement</td>
<td>0.15</td>
<td>4 tons</td>
<td>20 Gt</td>
</tr>
<tr>
<td>Total Potential</td>
<td></td>
<td></td>
<td>44 Gt</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Value of 44 Gt CO₂ at $25/t ~ $1 Trillion

若按每吨25美元的CO₂计算，44Gt的CO₂，共可节省约1万亿美元

* White Roof will be “diluted” by cool colored roofs of lower reflectivity, and roofs that can not be changed, because they are long-lived tile, or perhaps they are already white.

白色屋顶被有更低反射率的冷彩色屋顶“冲淡”了，而且房顶一般不会改变，因为他们是长寿命的瓦片，或者他们已经是白色的了。

** Compare 10 tons with a family car, which emits ~4 tons/year.

可以把这10吨抵消的CO₂，与一辆家庭用车比较。一辆家庭用车每年排放4吨CO₂。
A Global Action Plan: The Big Picture
从全局来看：全球行动计划

- Develop an international to install cool roof/pavement in world’s 100 largest cities
- 建立一个国际项目，在世界最大的100个城市中安装冷屋顶或冷铺路面
- This is a simple measure that we hope to organize the world to implement AND
- 这是一项比较简单的措施，因此我们希望能够联合世界各国来实践它，而且
- WE’D BETTER BE SUCCESSFUL!
- 我们应该更好地让这个计划成功!
- We can gain practical experience in design of global measures to combat climate change
- 我们可以在设计全球规模的措施中，获得实践中的经验教训，从而对抗气候变化
Now remember this 请记得

100 m² of a white roof, replacing a dark roof, offset the emission of 10 tons of CO₂
每用100平方米的白色屋顶替代黑色屋顶，就可以抵消10吨的CO₂