

插层结构功能助剂的组装与产品工程

报告人：林彦军

化工资源有效利用国家重点实验室



目录

一、背景介绍

二、插层结构的组装

三、插层组装方法

四、项目成果

一. 背景介绍

超分子插层结构材料介绍

典型的插层结构图

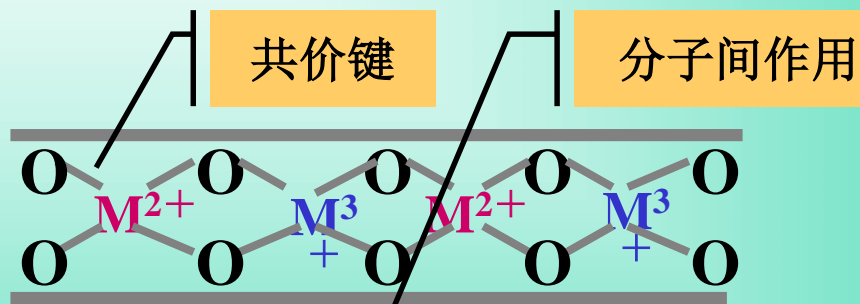
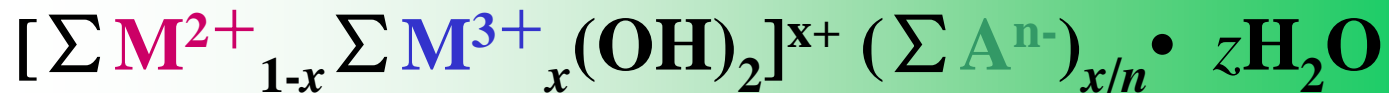
主体
客体
主体



Layered Double Hydroxides (LDHs)
或Hydrotalcite (水滑石)

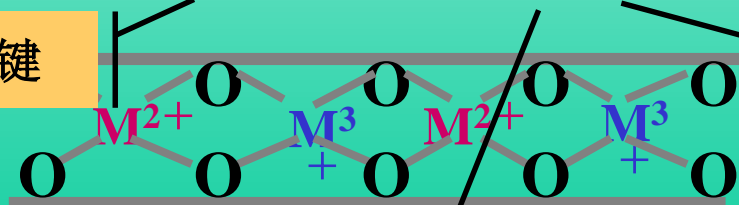
分子式: $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

制备: $6\text{Mg}^{2+} + 2\text{Al}^{3+} + 16\text{OH}^- + \text{CO}_3^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$



- 主体层板由多种元素构成
- 层间存在多种客体组元
- 结构中存在多种化学键型
- 主客体及客体间有序排列

氢键



静电作用

配位键

超分子结构

主体层板化学组成可调控

二元主体

Mg-Al型, Zn-Al型, Ni-Al型, Co-Al型, Cu-Al型, Fe-Al型, Mg-Fe型, Zn-Fe型, Ni-Fe型, Co-Fe型, Cu-Fe型, Mg-Cr型, Zn-Cr型, Ni-Cr型, Mg-Eu型, Zn-Yb型, Li-Gd型, Cu-Cr型, Ni-Eu型等

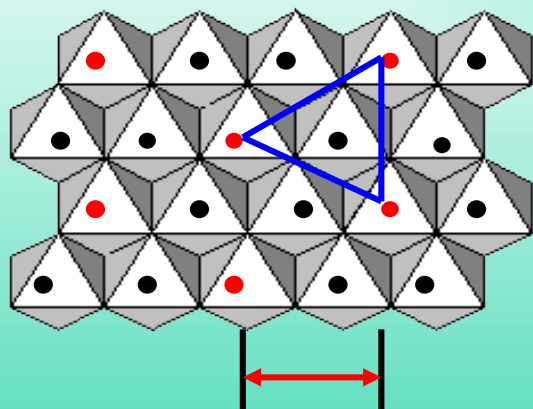
三元主体

Zn-Mg-Al型, Cu-Zn-Al型, Mg-Ni-Fe型, Mg-Fe-Fe型, Ni-Fe-Fe型, Ni-Mg-Al型, Cu-Zn-Cr型, Cu-Co-Cr型, Zn-Co-Cr型, Cu-Mg-Cr型等

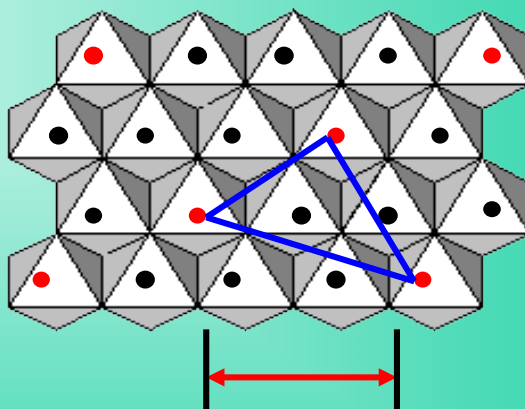
四元主体

Cu-Ni-Mg-Al型, Cu-Zn-Ni-Fe型, Cu-Zn-Mg-Fe型, Cu-Zn-Ni-Al型, Cu-Zn-Mn-Al型, Cu-Co-Zn-Al型, Cu-Co-Zn-Cr型, Cu-Ni-Zn-Cr型等

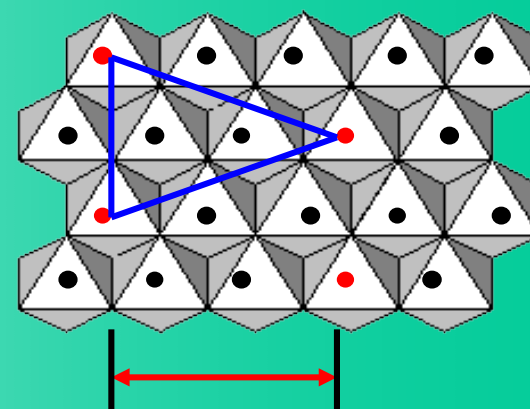
电荷密度及其分布可调控



$$M^{2+} / M^{3+} = 2$$



$$M^{2+} / M^{3+} = 3$$



$$M^{2+} / M^{3+} = 4$$

客体种类及数量可调控

符合电荷平衡及几何匹配要求的阴离子:

无机阴离子

氢氧根，碳酸根，硝酸根，磷酸根，硫酸根，高氯酸根，卤族阴离子，硫代硫酸根...

有机阴离子

草酸根，柠檬酸根，丙烯酸根，硝基苯甲酸根，苯甲酸根，水杨酸根，氨基酸类阴离子，染料阴离子...

配合物阴离子

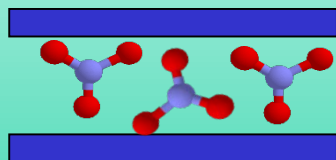
六氰高铁酸根，六氰亚铁酸根，四氯合钼阴离子，四氯合镍阴离子，EDTA金属络合物阴离子...

聚阴离子

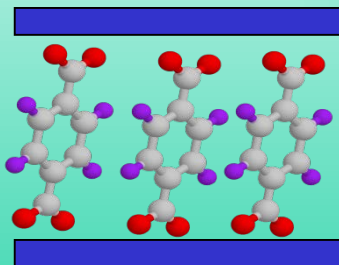
聚丙烯酸根，聚乙烯苯甲酸根，聚氨基酸根，聚苯乙烯磺酸根...

层内弹性空间可调控

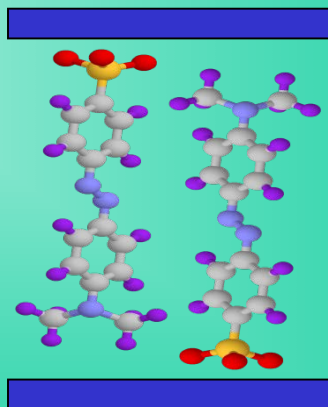
硝酸根
0.7nm



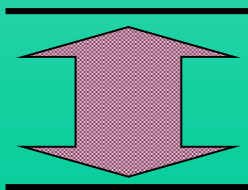
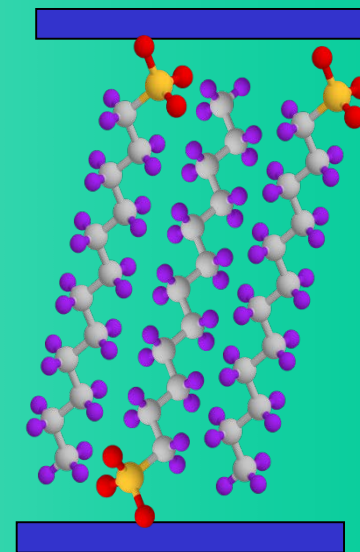
苯甲酸根
1.2nm



甲基橙阴离子
1.9nm



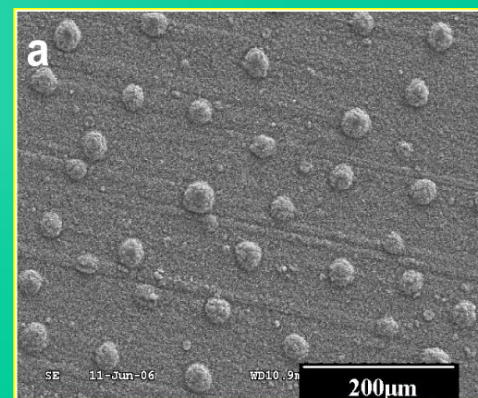
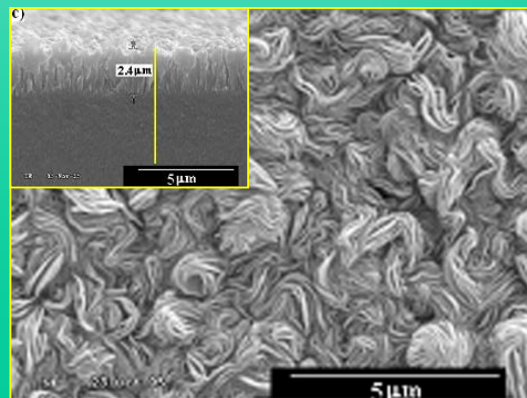
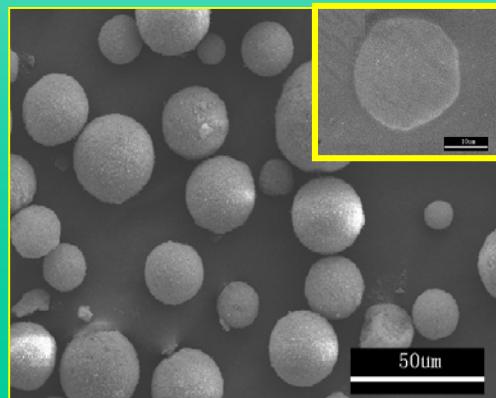
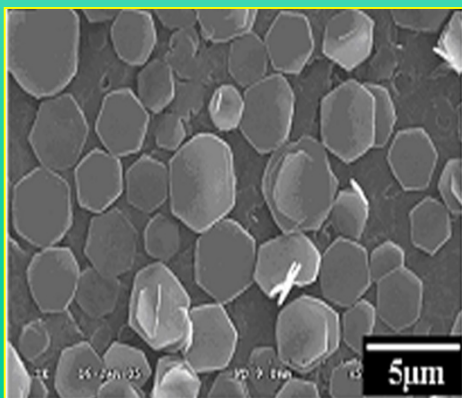
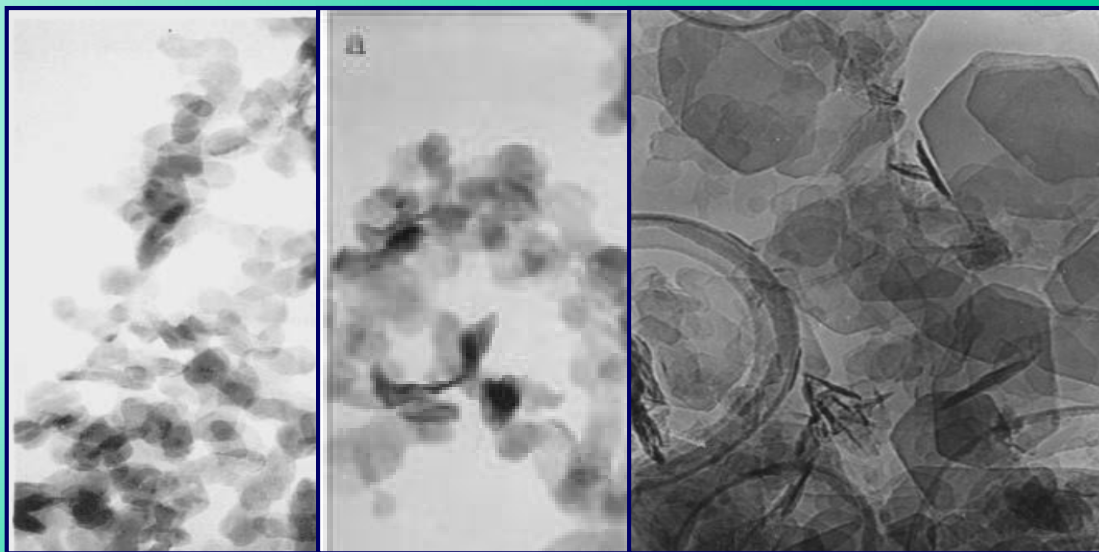
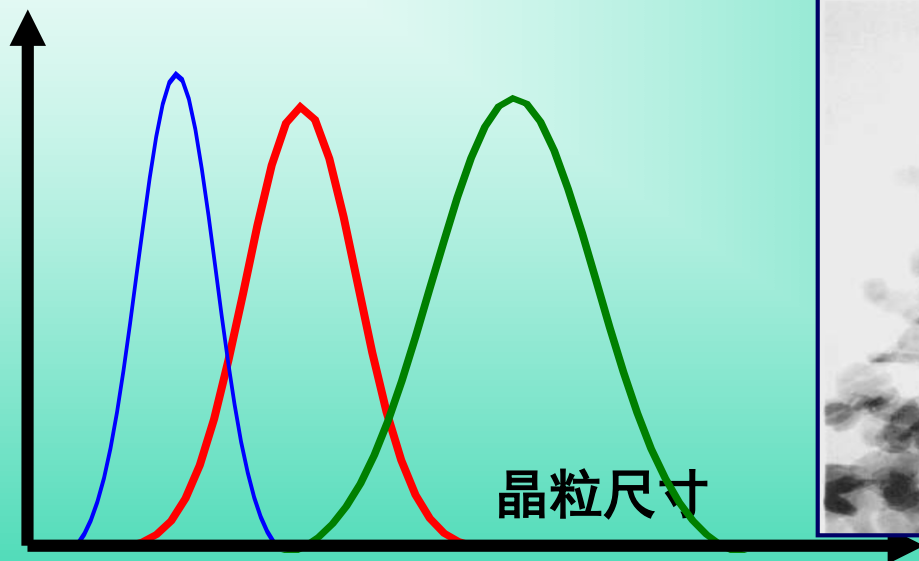
十二烷基磺酸根
2.5nm



层间距：0.7~3 nm

晶粒尺寸分布及介观形貌可调控

数量百分数



主体层板化学组成可调

电荷密度及其分布可调

客体种类及数量可调

层内弹性空间可调

晶粒尺寸及介观形貌可调

主客体相互作用可调

诸多可调变因素
丰富材料功能

庞大的插层结构材料
家族

材料平台

插层结构功能材料广阔的应用前景

多因素调变 → 极大的结构设计空间 → 功能组合

新型催化材料

生物材料

光电转换材料

电磁转换材料

光致变色材料

量子阱材料

吸波材料

环保材料

电子信息材料

功能助剂

化工

轻工

建材

环境

医药

农业

军工

电信

极高的产业关联度

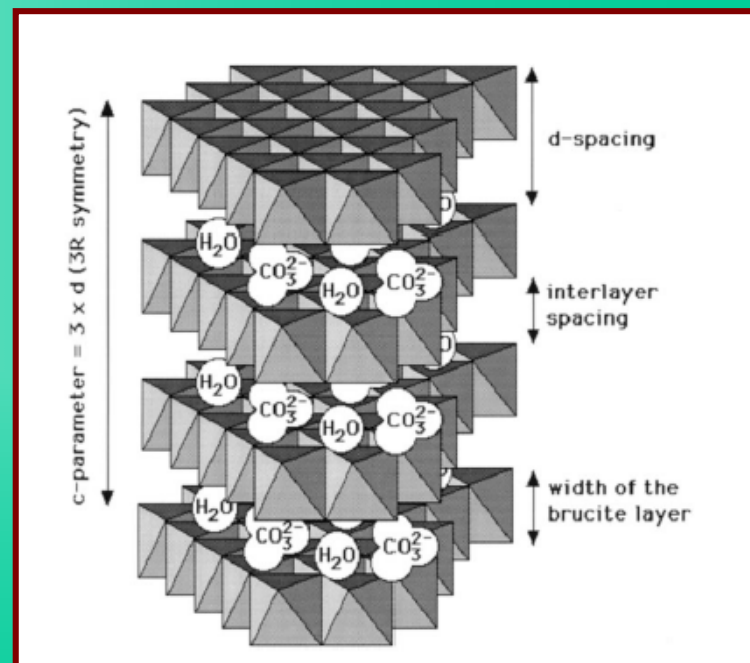
根据实际需要对产品性能的要求:

调变主体层板化学组成

选择客体并对其改性

调变主体层板电荷密度

控制客体层间取向



发展了10余种超分子插层结构功能材料，
市场前景超过4000万吨/年。

二.插层结构功能助剂的组装

原创插层材料

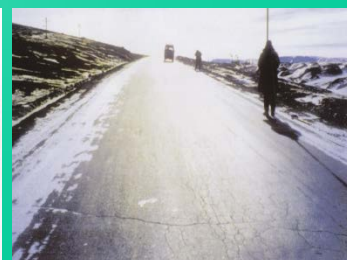
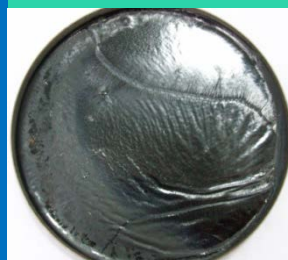
(一) 气体阻隔



(二) 抑制烟气



(三) 紫外阻隔

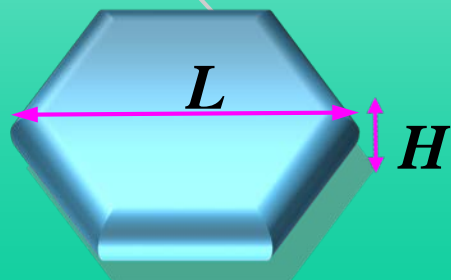
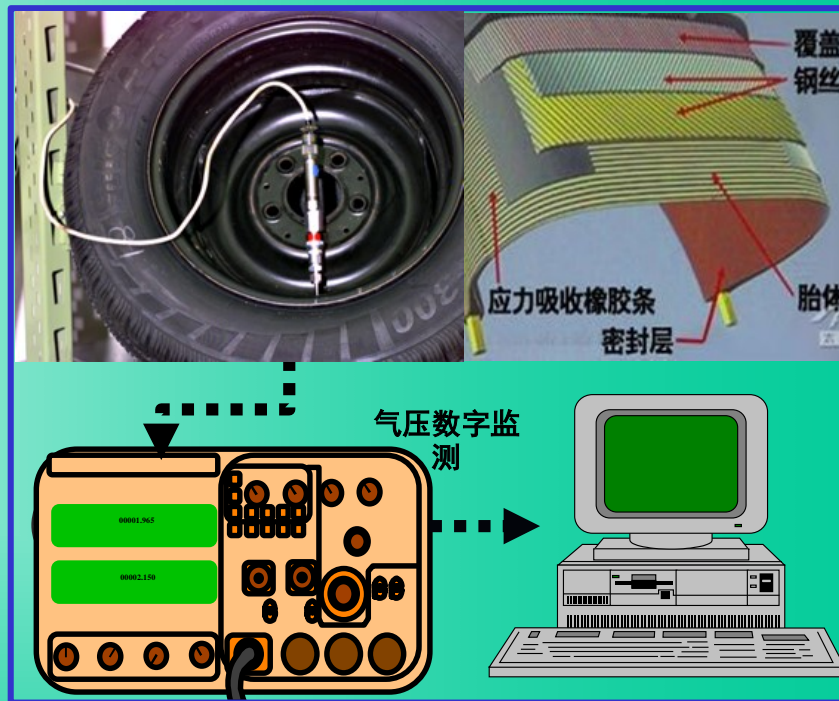


(四) 橡胶抗老化

(一) 插层结构气体阻隔材料

发展气密轮胎的气体阻隔材料，可大量**节省燃油**，减少**CO₂排放**。

我国轮胎产量居世界第一，轮胎需求持续增长。



长径比 $a = L / H$

几何效应



通过合适方法实现弹性体聚合物在LDHs中的取向排列，延长气体分子扩散路径；

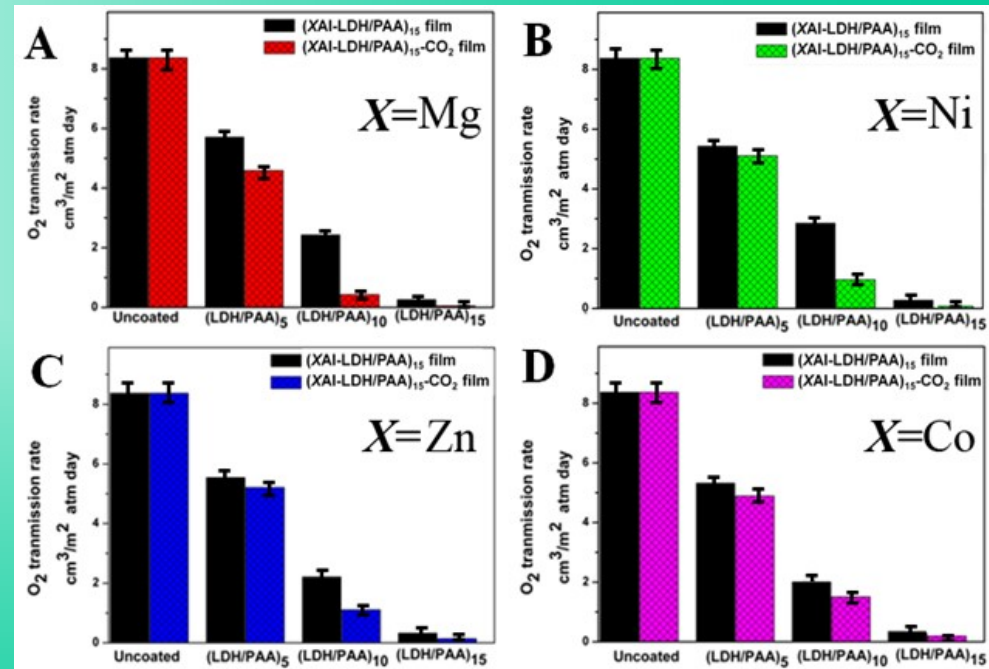
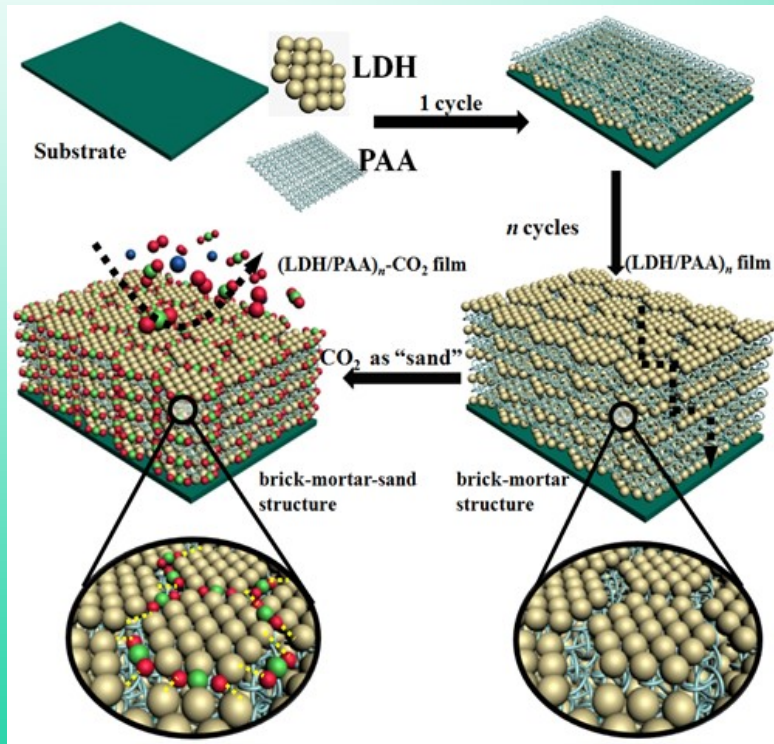
表面效应



通过表面修饰增强LDHs与基质的界面相互作用，避免自由体积产生，提升材料的密闭性能。

首次将LDHs用做轮胎气体阻隔材料

“砖-泥浆-沙子”致密结构的 (LDH/PAA)_n-CO₂复合薄膜的构筑

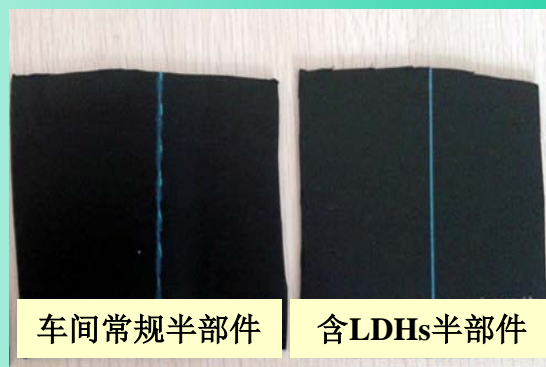


- ✓ 碱性水滑石吸附酸性分子进一步填充二维有序薄膜中自由体积，利用表面粘附作用实现对气体分子的抑制扩散

应用于福特专用轮胎生产线试制高气密轮胎



混炼胶料



气密层半部件



含LDHs胶料试生产轮胎(T165/70R 17 114M)

LDHs基轮胎气密性能检测与耐久性能测验

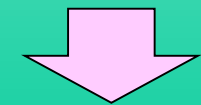
半钢胎气密性能检测	检验时间	实验温度	月气压损失率	检验标准值	检验结论
LDH试验胎	180天		1.75%	气压月损失率 ≤2.0 %	通过
半钢胎耐久性能检测 (速度80km/h)	行驶里程km	破坏状态	检验时间 h/min	检验标准值	检验结论
LDH-1.3试验胎	7493	肩部裂口	94h22min	≥82h	通过

(二) 插层结构高效抑烟剂



火灾发生时释放大量有毒烟气

火灾人员伤亡主要原因：
烟气中毒、窒息
(>80%)



阻燃同时
必须抑烟

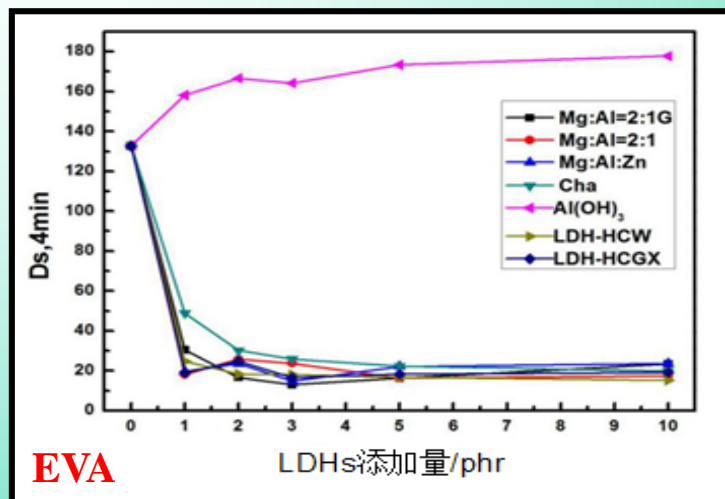
抑烟材料

氢氧化铝
氢氧化镁
钼系抑烟剂

- × 主要起阻燃作用，抑烟性能较差
- × 添加量较大，影响制品力学性能
- × 价格昂贵，不适宜大规模应用

目前尚无性能优异、可大规模应用的抑烟剂

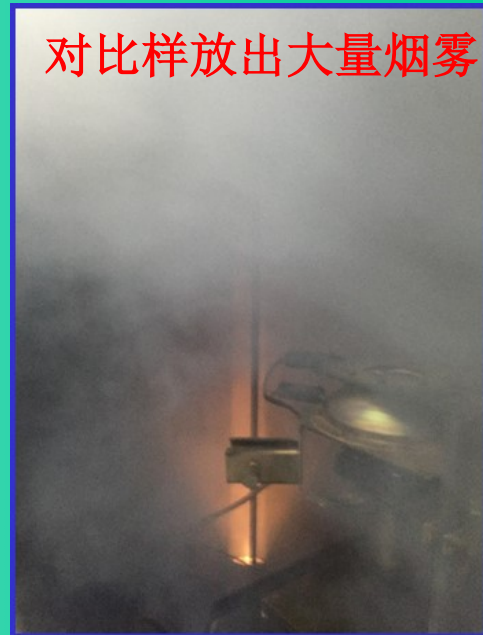
实际应用效果



烟密度大幅度降低



对比样放出大量烟雾



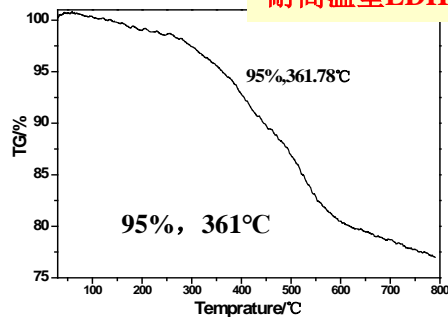
插层结构抑烟剂对EVA的抑烟效果

添加量	0	1份	3份
最大烟密度	185.7	37.1	33.4
降低幅度	/	80.0%	82.0%

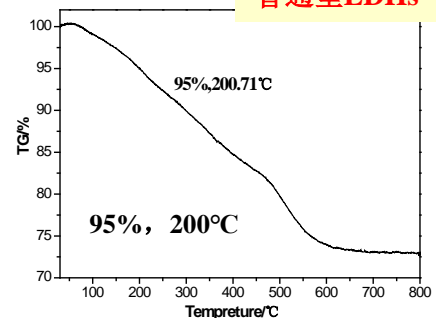
插层结构抑烟剂对TPU的抑烟效果

添加量	0	0.25份	0.5份
最大烟密度	185.1	136.4	110.9
降低幅度	/	26.3%	40.1%

耐高温型LDHs



普通型LDHs

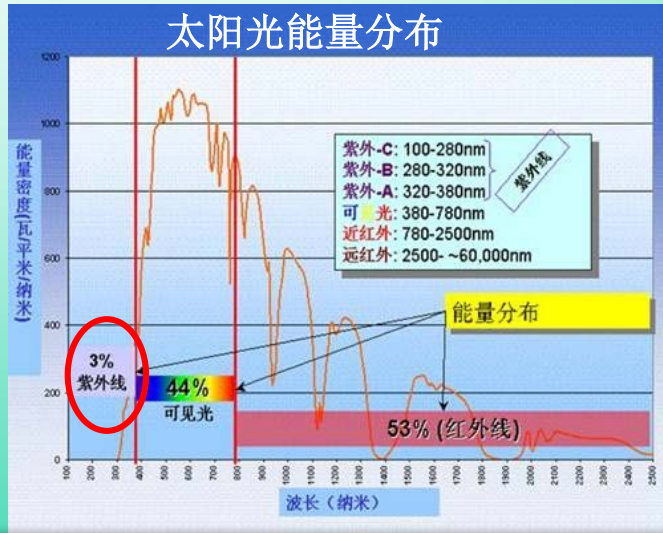


可适用加工温度300°C以上的树脂体系，已应用于PVC、EVA、PE、PP、PS、尼龙、TPU、TPV等多种橡塑材料中，抑烟效果优异，同时不影响阻燃性能和材料力学性能。

(三) 插层结构紫外阻隔材料

紫外线危害

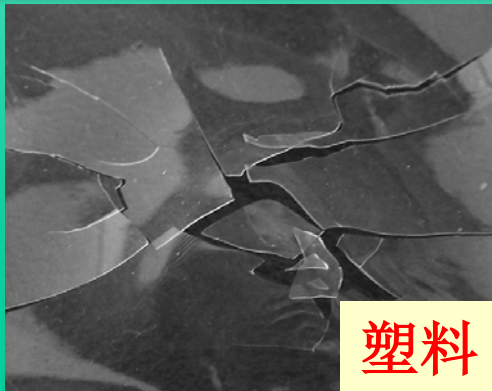
波长与化学键



波长/nm	光学能量 / (kJ/E ^①)	化学键	化学键键能 / (kJ/mol)
290	419	C-H	380~420
300	398	C-C	340~350
320	375	C-O	320~380
350	339	C-Cl	300~340
400	297	C-N	320~330

注：①1E=1爱因斯坦=1mol光子

紫外线可使大多数化学键断裂，使材料分子分解，性能遭到破坏！



塑料



橡胶



沥青

□ 沥青是重要的基础建设材料

■ **道路铺设**：主要用途，目前全国公路总里程**519万公里**，其中高速公路总里程已超过**16.1万公里**，居世界第一位，年需沥青约**2500万吨**。

■ **建筑防水**：是沥青材料的第二大用途，我国沥青基防水材料用量近**8亿m²/年**，需沥青约**400万吨**。

□ 沥青耐紫外老化性能很差

■ **沥青路面**：极易出现早期病害，在紫外光强烈的西部地区，部分路面使用**2-3年**即需大修，使用寿命缩短**80%**。

■ **防水材料**：变硬变脆和低温开裂，部分屋面防水层使用**1年**即出现严重渗漏现象，使用寿命缩短**70%**。

■ **VOC**：紫外老化还造成沥青中有害物质挥发量（VOC）巨大，现高达**50万吨/年**以上，对环境造成严重危害。

铺设沥青路面



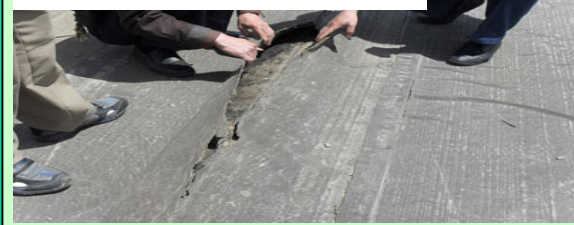
铺设沥青防水材料



路面老化开裂



屋面防水面老化开裂



长期以来，国际上无理想的沥青抗紫外老化材料

聚丙烯树脂：

- ❖ 继聚乙烯之后的第二大热塑性树脂
- ❖ 2021年产能产量2860万吨，消费量3050万吨
- ❖ 分子结构的特殊性，极易产生光老化

由于紫外线的照射作用：

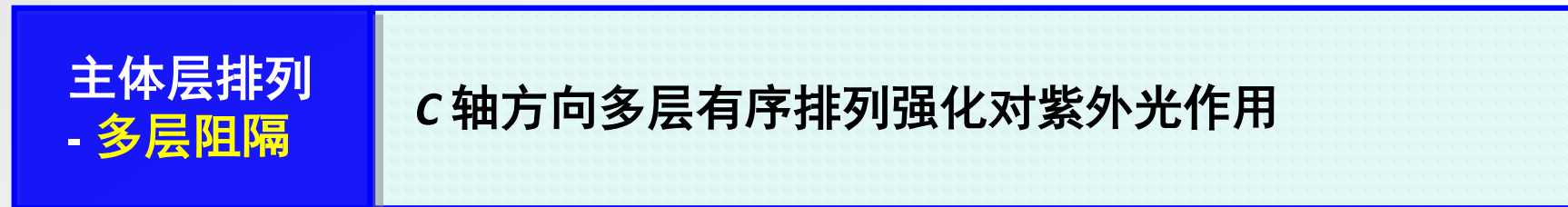
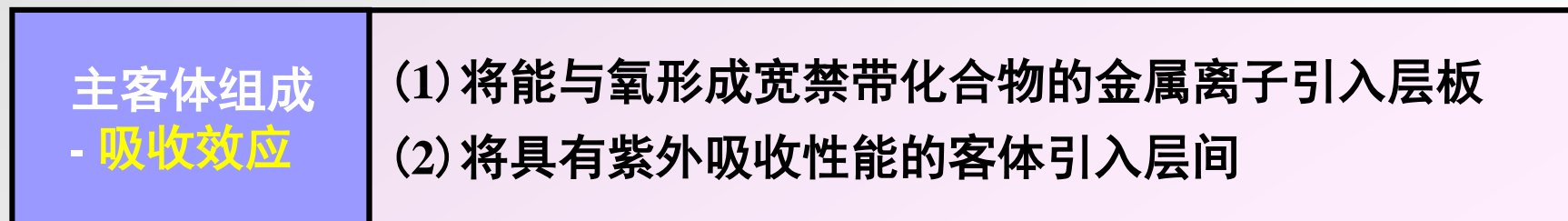
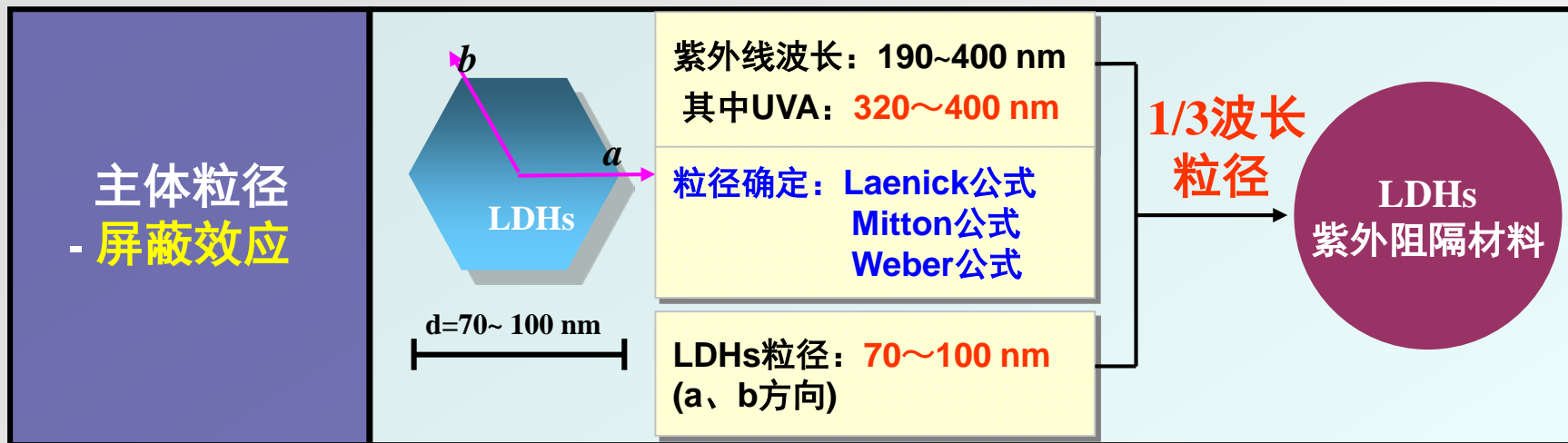
每年有**100—150万吨**聚丙烯老化，
从而失去原有的功能

措施：加入有机防老剂，性能一般。
年用量**10万吨**，价值**30亿元**



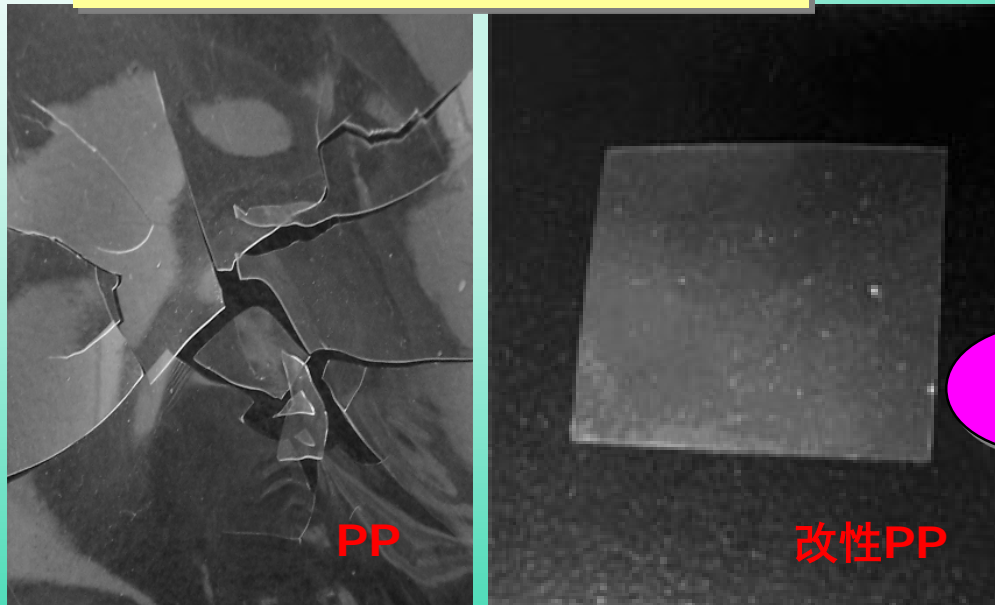
插层结构紫外阻隔材料的结构设计与功能强化：

利用LDHs的插层结构，实现多重紫外阻隔



插层结构功能材料对于PP的抗紫外老化性能

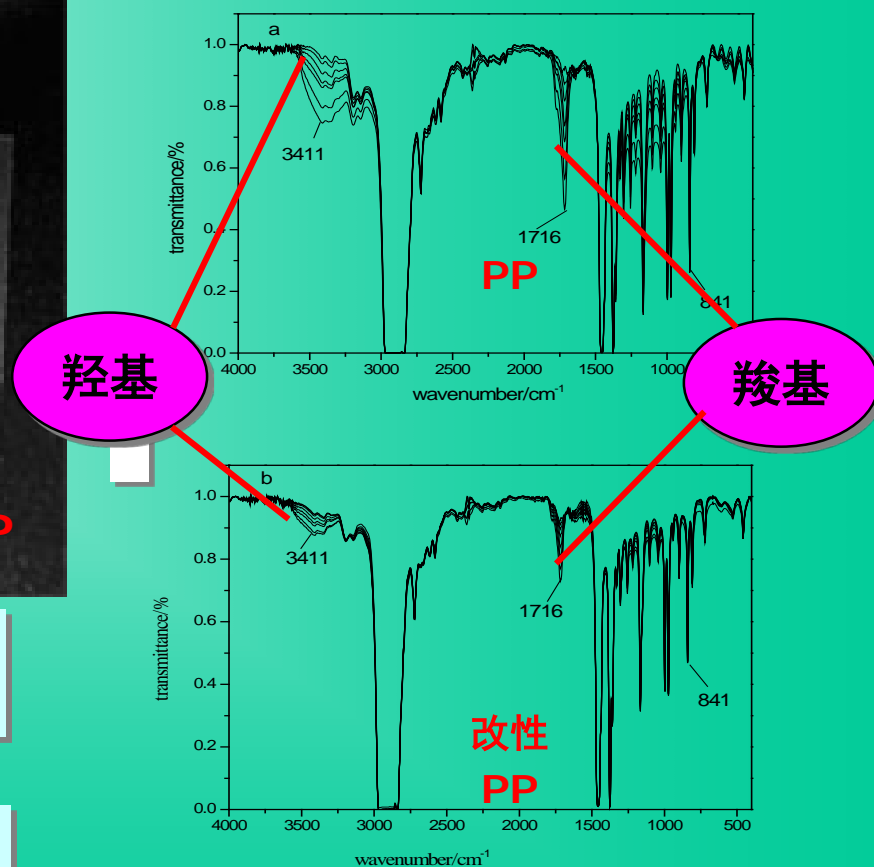
1000W紫外灯老化35分钟



PP样片 (a) 和ZnAl-BZO-LDHs改性 PP 样片 (b) 的耐紫外光老化情况

超分子插层结构紫外阻隔材料大幅度提高了PP的耐紫外老化性能

1000W紫外灯老化35分钟



纯PP (a) 及ZnAl-SSA-LDHs/PP (b) 薄膜经紫外光照射后的红外谱图

抗紫外老化沥青应用

1. 长深高速

已在长深(长春-深圳)高速内蒙古金宝屯至查日苏段铺设8.4公里示范路段，并于2011年11月通过内蒙古交通厅的验收、正式批准通车。

4年跟踪检测显示，抗老化性能得到很好保持：

紫外老化指标	AH90 基质沥青	LDHs 耐老化沥青	降低率 %
通车4年 60°C表观粘度/Pa.s	2004.9	552.3	72 %
通车4年 粘度老化指数VAI/%	935.1	98.6	89 %



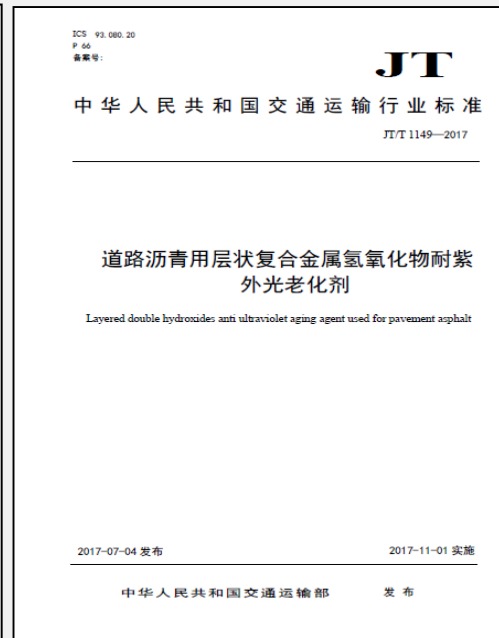
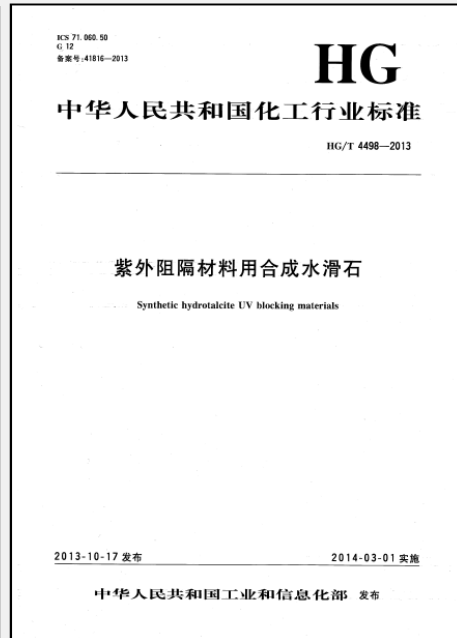
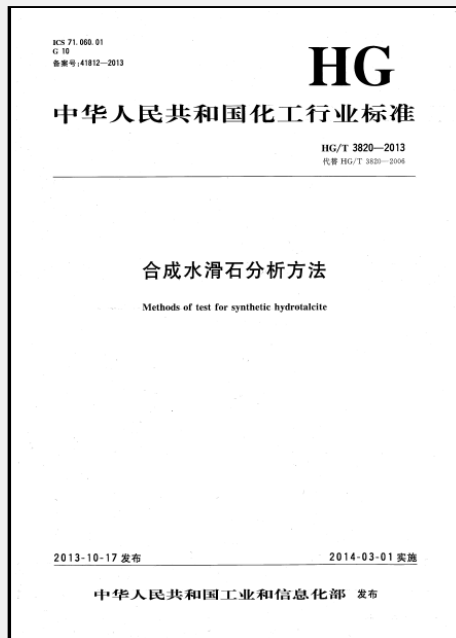
2015年3月12日，国家十二五科技支撑计划项目验收意见：
在国际上首次将LDHs应用于沥青材料，解决了沥青抗紫外老化的世界性难题。

紫外阻隔剂在道路建设中的应用实例

序号	应用单位	应用地点	应用长度	应用时间
1	长深高速 (G25)	内蒙古金宝屯段	8.4km	2011.6
2	丽攀高速 (G4216)	四川攀枝花段	15km	2013.8
3	丹锡高速 (G16)	内蒙古锡林浩特	2km	2016.7
4	山东玲珑集团	中亚轮胎试验场	1km	2017.1
5	兰海高速 (G75)	甘肃宕昌段	7.3km	2019.10
6.	青兰高速 (G22)	甘肃会宁段	1.2km	2019.11
7	景中高速 (G1816)	甘肃景泰南段	3km	2020.6
8	肃沙公路 (S302)	甘肃肃北路段	4.5km	2020.7
9	静天高速 (S25)	甘肃南湖路段	3km	2020.10
10	平棉高速 (G8513)	甘肃平凉段	21km	2021.5
11	银百高速 (G69)	甘肃正宁段	22km	2021.6
合计	/	/	88.4km	/

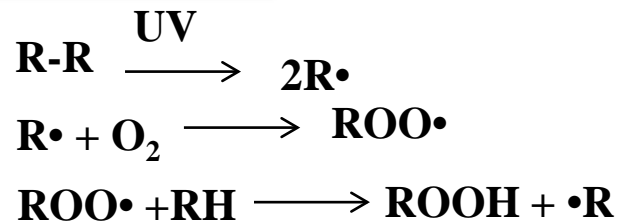
作为主要起草单位制订多项紫外阻隔材料的行业标准

序号	标准名称	类型	标准号
1	紫外阻隔材料用合成水滑石	化工行业标准	HG/T 4498-2013 (2014.3.1实施)
2	合成水滑石分析方法	化工行业标准	HG/T 3820-2013 (2014.3.1实施)
3	道路沥青用层状复合金属氢氧化物耐紫外光老化剂	交通行业标准	JT/T 1149-2017 (2017.11.1实施)

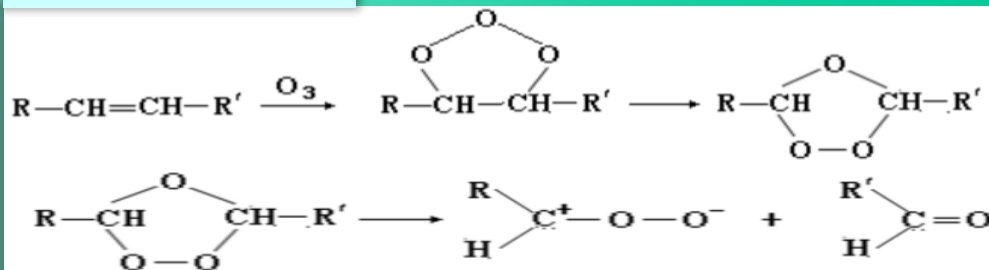


(四) 抗迁移型橡胶防老剂

橡胶光氧老化:



橡胶臭氧老化:



目前的抗老化方法:

- ◆ 选择饱和度高的主体材料
- ◆ 加入吸光材料, 如炭黑、钛白粉等
- ◆ 添加紫外线吸收剂
- ◆ 表面涂敷防护涂层

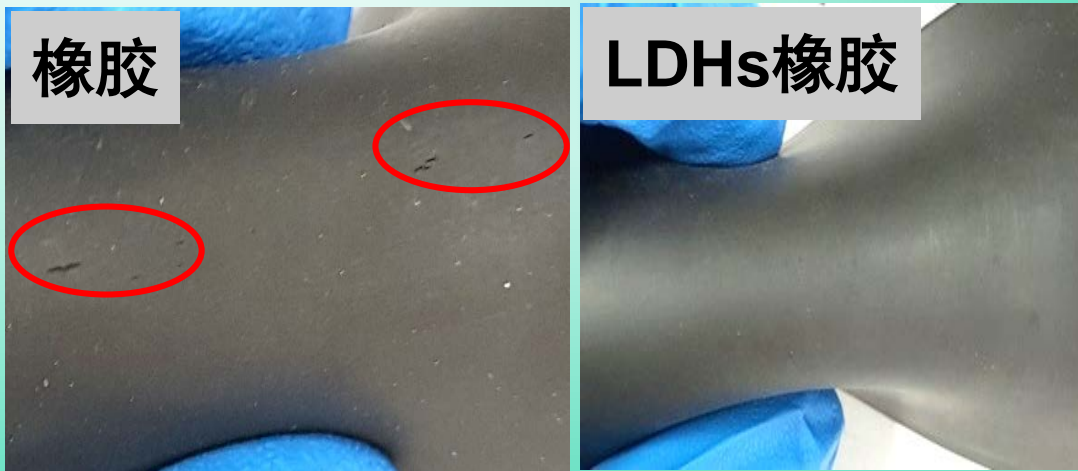
存在问题:

- 效果不明显
- 或使用成本较高
- 向表面迁移严重



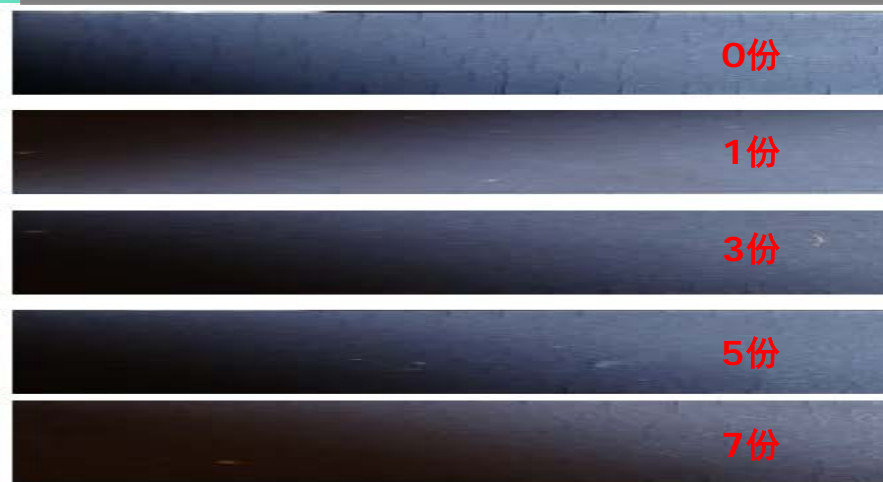
(1) 橡胶耐老化性能

紫外老化：紫外照射144h(1.2w/m²)



紫外老化后，裂纹大幅度减少

臭氧老化：臭氧浓度100pphm,72h



臭氧老化后，龟裂大幅度减少

热氧老化：100°C, 48h

样品	硬度	M100 MPa	M300 MPa	拉伸强度MPa		断裂伸长率 %		抗张积老化系 数
对比样	57	1.87	7.8	18.66	17.03	782	597	0.697
含LDHs	57	1.89	7.39	16.78	17.72	806	626	0.820

添加LDHs后胶料的热氧老化性能显著增强

(3) 整胎试制及路试



- 2019年6月18日，在山东玲珑轮胎生产线试制轮胎30条；
- 2019年7月12日在北京安装5辆出租车进行路试。
- 经过7万余公里验证，整体性能优异。

多种插层材料性能强化

- (一) PVC热稳定
- (二) 红外吸收
- (三) 聚烯烃吸酸



(一) 无铅PVC热稳定剂

PVC应用广泛

PVC制品与人类生活密切相关



建筑型材



管道



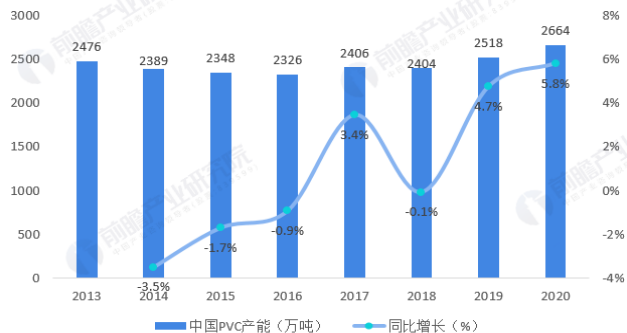
皮革



包装、容器

2012-2021我国PVC产能、产量、开工率

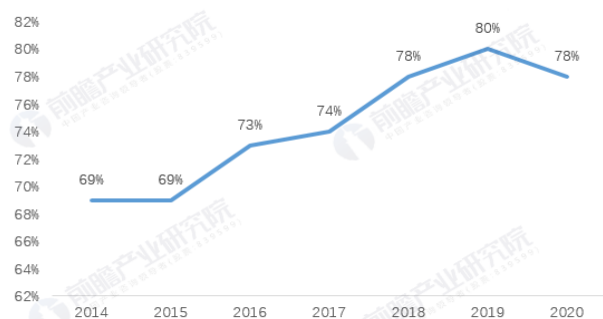
图表4：2013-2020年中国PVC产能变化情况(单位：万吨/年，%)



资料来源：中国氯碱网 前瞻产业研究院整理

@前瞻经济学人APP

图表5：2014-2020年中国PVC项目开工率(单位：%)



资料来源：中国氯碱网 前瞻产业研究院整理

@前瞻经济学人APP

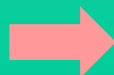
2014-2022年中国聚氯乙烯(SG5)价格走势



PVC价格走势

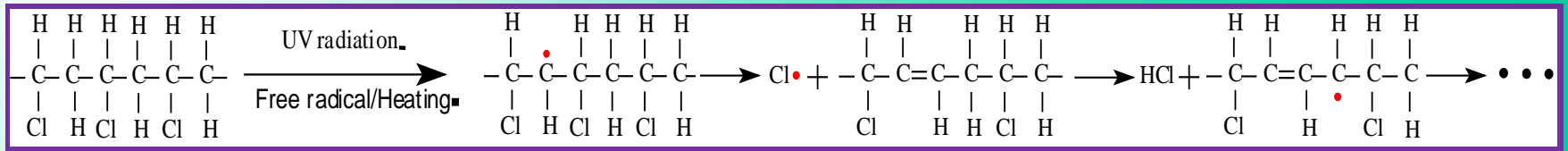
制图：智研咨询 (www.chyxx.com)

2021产 能：2713万吨；
产 量：2130万吨
开工率：78.5%



发展高性能高档PVC制品、摆脱恶性竞争是氯碱行业发展的趋势之一。

PVC缺点：易分解

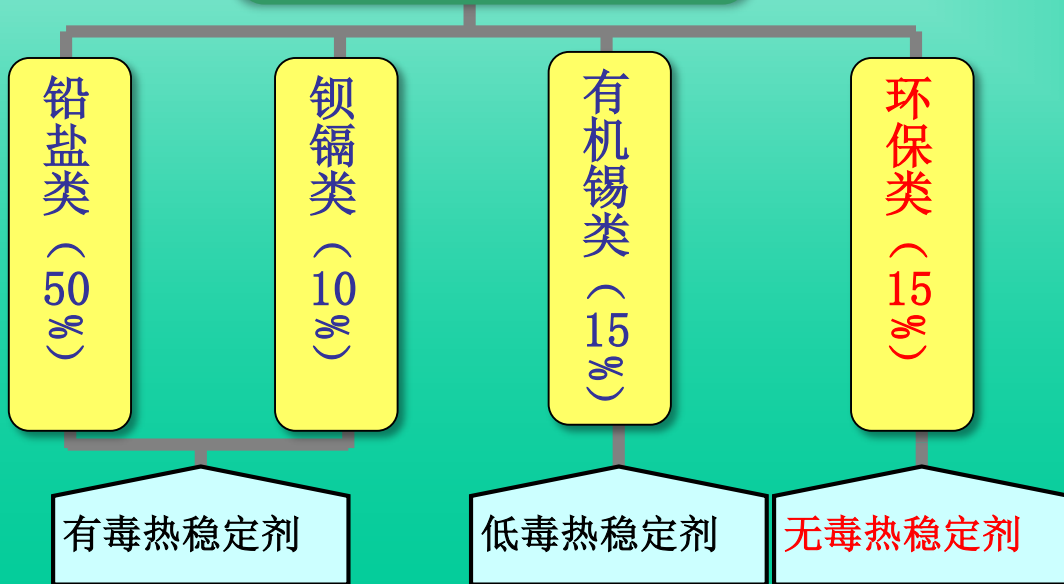


PVC分解温度： >120°C
加工温度： 160~200°C



PVC加工时，必须加入**热稳定剂**

PVC热稳定剂
 (2020:80万吨/年)



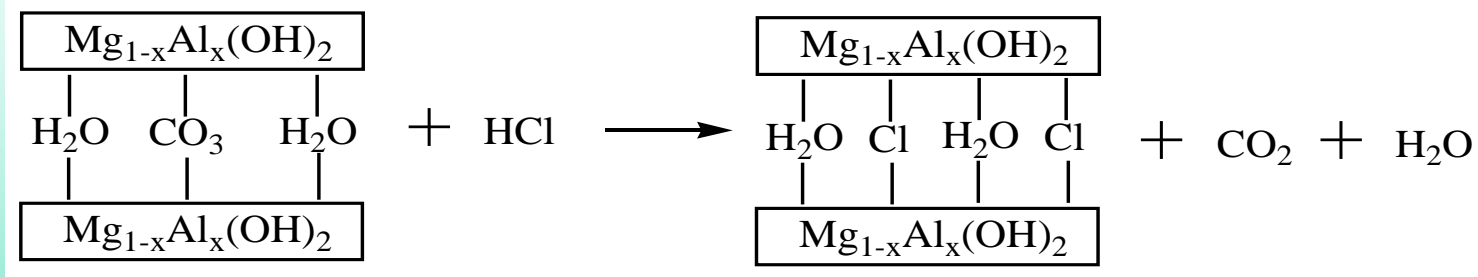
欧盟禁令 (RoHS)
 (2003年2月)

电子电气设备中禁止使用**铅**、**汞**、**镉**、**六价铬**和两种**溴系阻燃剂**等有毒有害物质

替代含铅热稳定剂经成为应对欧盟技术壁垒的必要措施

层状结构无铅热稳定剂:

1. 层间离子交换



2. 层板碱性吸附



日本艾迪科化学株式会社首先将MgAl-CO₃-LDHs用作PVC热稳定剂

JP57080444, ADEKA ARGUS CHEM CO LTD, 1980.11.7

热稳定作用效果——性能得到极大提升

测试方法：静态热老化烘箱法

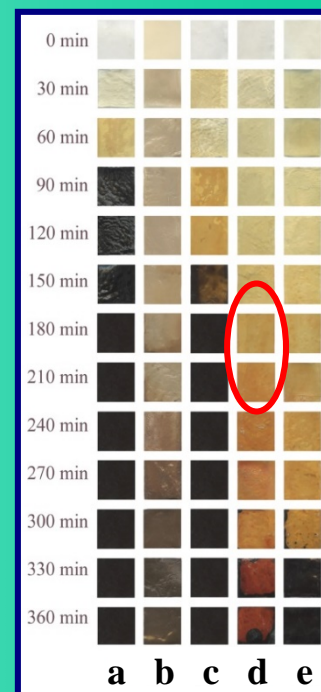
- a. 钙锌皂热稳定剂
- b. 铅盐热稳定剂
- c. 有机锡热稳定剂
- d. 插层结构热稳定剂
- e. 进口HT热稳定剂

试片规格：

$2 \times 2 \times 1 \text{cm}$

测试条件：

$180 \pm 1^\circ\text{C}$



测试方法：刚果红法

样 品	热稳定时间 (min)
钙锌皂热稳定剂	63
铅盐热稳定剂	225
有机锡热稳定剂	71
插层结构热稳定剂	200
进口HT热稳定剂	187

测试方法：GB/T 2917-82
测试温度： $180 \pm 1^\circ\text{C}$

结论：项目产品性能与铅盐相当，明显优于其它热稳定剂

镁基无铅PVC热稳定剂的研究进程

1998: 应用基础研究

2001: 应用技术开发

2002: 中试研究

2004: 产业化研究

2005: 应用推广

国际发明专利:

US 7232557

WO 2007/051377A1

WO 2005/105909A1

WO 2007/071132A1

国家发明专利:

ZL 0410037656.7

ZL 200610012174.5

ZL 200510134719.5

ZL 03150037.4

ZL 0510066368.9

ZL 03148425.5

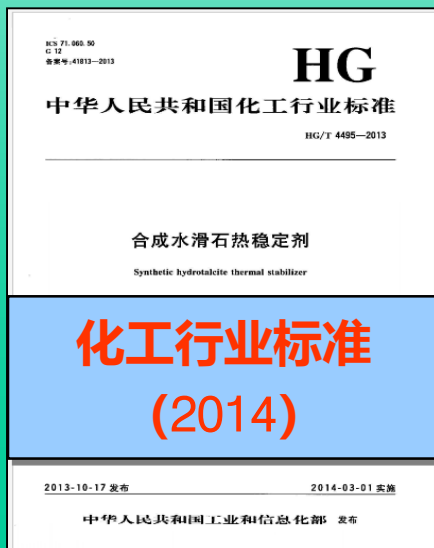
CN 1769355A



2005: 1000t/a产业化装置

2011: 1000t/a产业化装置

2012: 3500t/a产业化装置



化工行业标准
(2014)

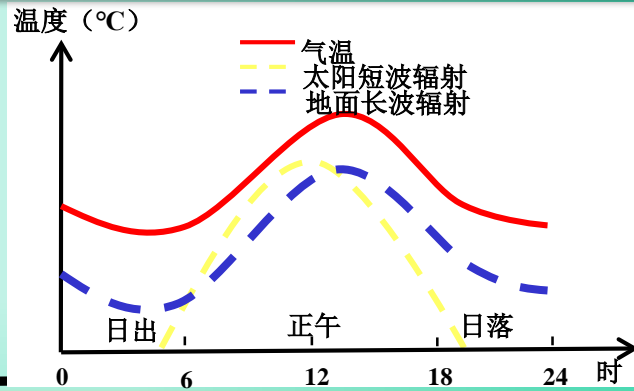
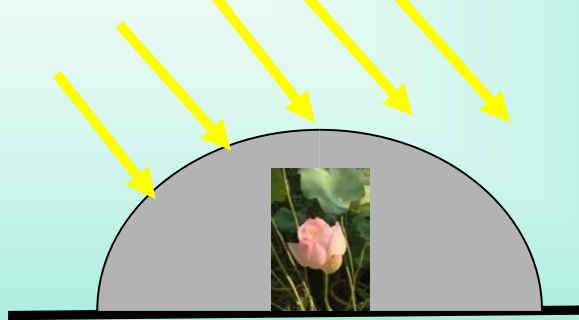


2009年国家技术发明二等奖



(二) 选择性红外吸收材料

白天太阳光: $0.3-3\mu\text{m}$



夜间红外辐射: $7-25\mu\text{m}$ ($1428-400\text{ cm}^{-1}$)

峰值: $9-11\mu\text{m}$ ($1111-909\text{ cm}^{-1}$)



选择性红外吸收材料广泛应用于农业、建筑业等多种行业。

实现高效保温、降低能耗、节约能源、农业增产的重要物质保障。

传统保温剂:

高岭土、滑石粉、
硅藻土、硅石、
绢云母、碳酸钙等

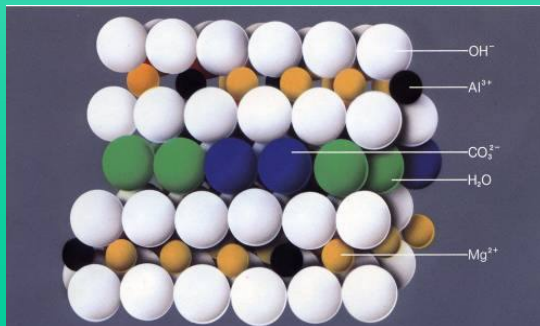
缺点

含有杂质、杂晶
颗粒较大
粒径分布不均匀

导致

在基质中分散性差
红外吸收能力较低
可见光透过率较低
加速材料老化降解

日本协和化学株式会社首先将 $\text{MgAl-CO}_3\text{-LDHs}$ 应用于农膜中



$\text{MgAl-CO}_3\text{-LDHs}$



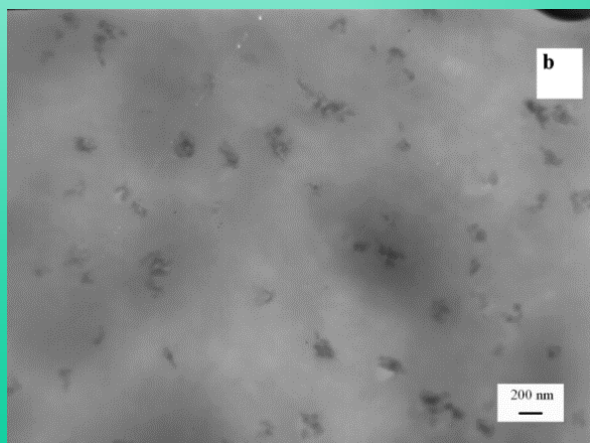
JP60104141, Kyowa Chemical Industry Co., Ltd, 1983.11.12

实际应用效果

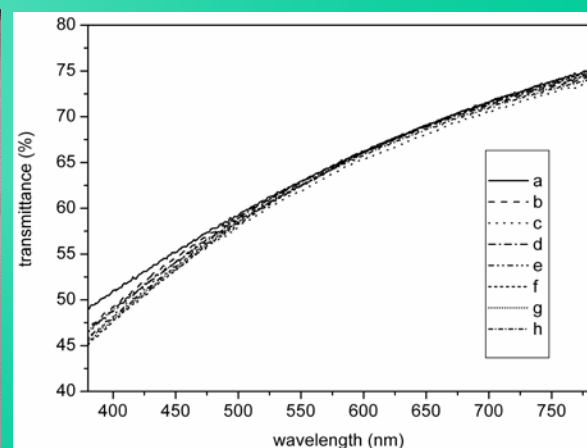
红外透过率	7-25 μ m	相对滑石粉降低%
滑石粉	46.2	0
MgAl-CO ₃ -LDHs	33.6	27.1
MgAl-NO ₃ -LDHs	49.6	-7.2
MgAl-H ₂ PO ₄ -LDHs	24.7	46.5
MgAl-IDA-LDHs	36.6	20.7



PE农膜无白点、无气泡



LDHs在农膜中分散均匀



不影响可见光透过性

不同波长范围内两种复合棚膜的红外吸收率 (%)

复合膜	2.5~20 μm	4~20 μm	5~13 μm
LDHs/PE	63.8	64.7	68.3
滑石粉/PE	45.1	45.0	50.6
增加率(%)	41.5	43.8	35.0



棚膜实际保温性能对比

哈尔滨农科院：1999~2001 -35 °C持续35天2000年冬季

透光率 ($\times 100\text{lx}$)			
LDHs保温膜 (A)	传统保温膜 (B)	日本保温膜 (C)	韩国保温膜 (D)
409.6	385.4	346.3	396.5
保温性 ($^{\circ}\text{C}$)			
8.3(最低)	5.4(最低)	7.9(最低)	7.1(最低)
32.2(最高)	30.6(最高)	31.7(最高)	31.3(最高)

研究进程及获得的成果



1994: 应用基础研究



1998: 中试研究



1999: 产业化研究



2000: 保温农膜推广

国际发明专利:
 WO 04/ 000757 A1
 WO 03/ 037787 A1

国家发明专利:
 ZL99119386. 5
 ZL00132145. 5
 ZL00132146. 3
 ZL00103551. 7
 ZL01134425. 3
 ZL03119124. X

HG
 中华人民共和国化工行业标准
 HG/T 4497—2013

合成水滑石农膜保温剂
 Synthetic hydratekalcite heat preservation agent

**化工行业标准
 (2014)**

2013-10-17 发布 2014-03-01 实施
 中华人民共和国工业和信息化部 发布

中华人民共和国
 国家科学技术奖励
 证书

国家科学技术进步奖
 证书

为表彰国家科学技术进步奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：新型结构层状及层柱型无机功能材料
 奖励等级：二 等
 获 奖 者：北京化工大学

2001年国家科技进步二等奖

(三) 聚烯烃吸酸剂

聚烯烃

聚乙烯 (PE)

聚丙烯 (PP)

聚1-丁烯 (PMP)

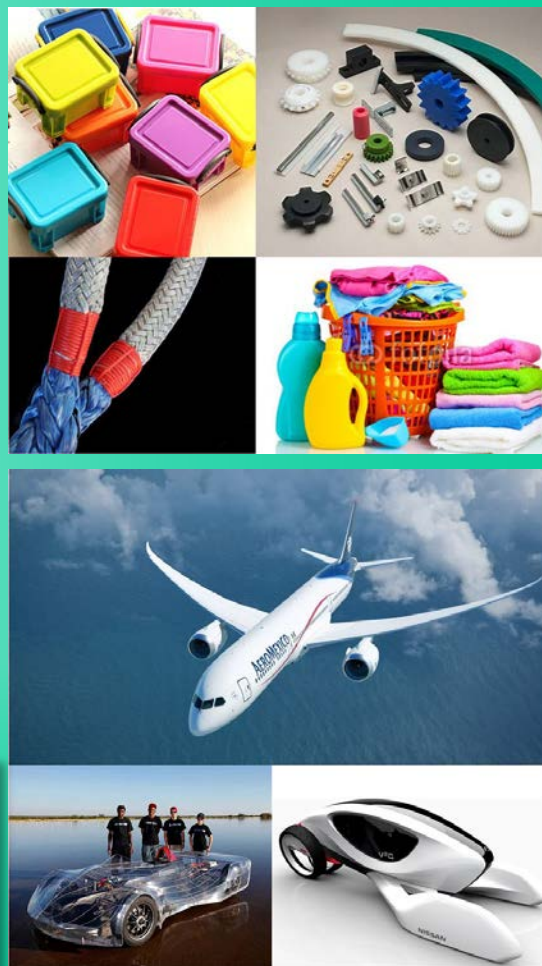
聚4-甲基-1-戊烯 (TPX)

其他聚烯烃

2020年产量:

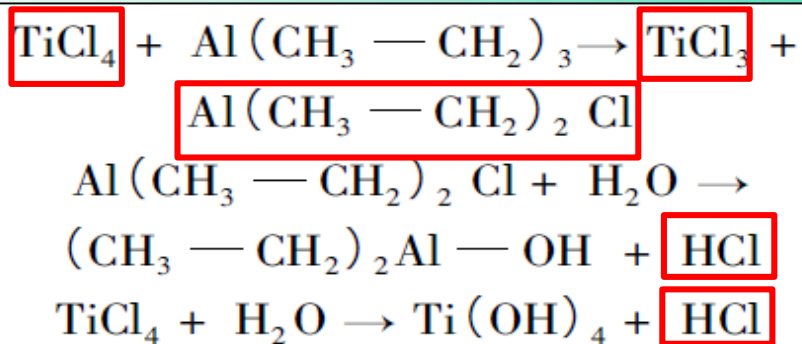
聚乙烯: 2032万吨 (全球: 1.06亿吨)

聚丙烯: 2581万吨 (全球: 0.75亿吨)



聚烯烃性能优异, 被广泛应用于国民经济多个领域

Ziegler-Natta催化剂组成：**TiCl₄**、**MgCl₂**、给电子体、烷基铝、其他助催化剂等。



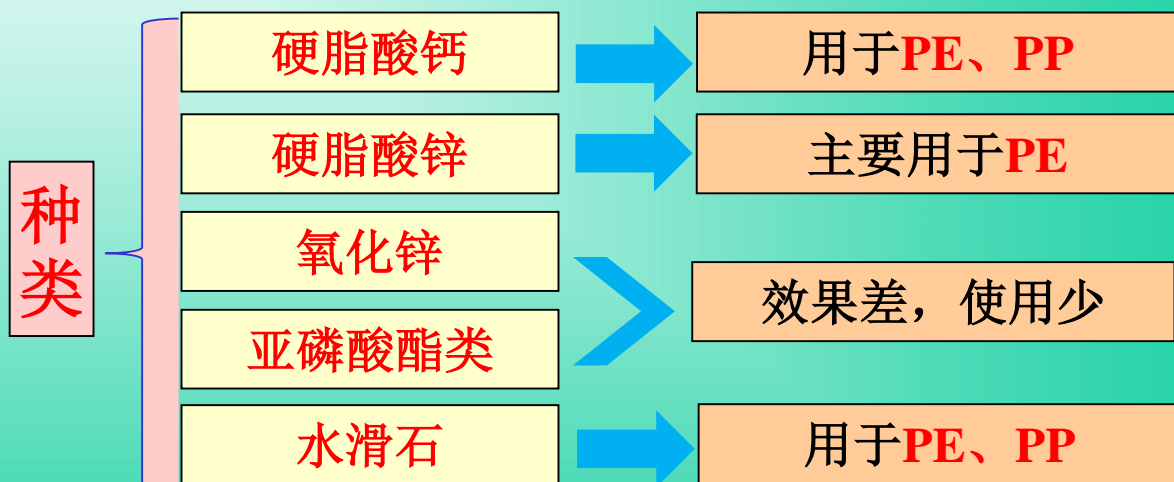
聚烯烃中残存有少量**TiCl₄**、**TiCl₃**、**Al(Et)₂Cl**等氯化物，部分形成**HCl**等酸性物质，腐蚀生产设备、下游成型设备，影响下游塑料/金属复合制品质量。



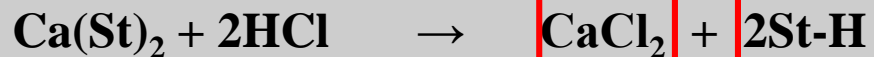
聚烯烃吸酸剂是聚烯烃生产中的重要助剂之一！

聚烯烃吸酸剂

吸酸剂：用于吸收聚烯烃残存催化剂中的氯离子和酸性物质，是一种在聚烯烃生产过程中于聚合完成后使用的添加剂。



硬脂酸盐吸酸机理：



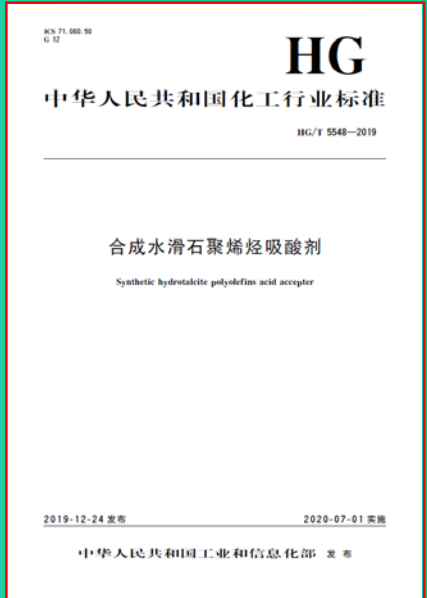
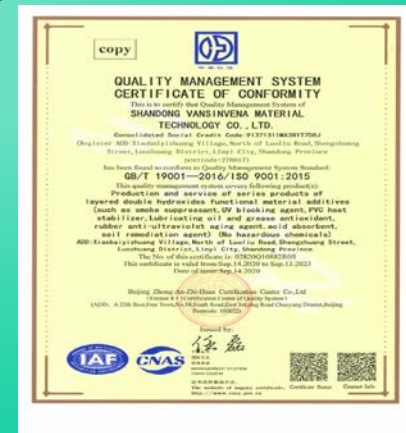
- ① 腐蚀加工设备；
- ② 影响聚烯烃薄膜等制品的表面金属化（镀铝）性能

易吸水

易挥发产生蒸汽

在千吨级LDHs生产线上实现了大规模生产

1000吨/年LDHs吸酸剂示范装置（山东临沂）



《合成水滑石聚烯烃吸酸剂》 (HG/T 5548-2019)

山东万新威纳材料科技有限公司成立于2015年，位于山东临沂市，技术来源于北京化工大学，是主要从事插层材料工程技术研究和产业化建设的**国家级高新技术企业**。

目前公司主要生产插层结构高效抑烟剂、PVC热稳定剂、紫外阻隔材料、吸酸剂、气密材料等多种产品。**2020年9月通过ISO9001质量管理体系认证。**

已经实现产业化的镁基功能材料

气体阻隔材料 (千吨级)

高效抑烟剂 (千吨级)

紫外阻隔材料 (千吨级)

无铅PVC热稳定剂 (千吨级)

选择性红外吸收材料 (千吨级)

无卤阻燃剂 (万吨级)

氢氧化镁 (万吨级)

国家科技进步二等奖 (2001) : 层状及插层结构功能材料

国家技术发明二等奖 (2004) : 新型镁基插层结构无机纳米阻燃剂

国家技术发明二等奖 (2009) : 超分子结构无铅热稳定剂

教育部、北京市和石化协会奖励 (1990—) : 共15项



已进入中试阶段的插层结构功能材料

1. 层状结构二氧化碳中温吸附材料
2. 层状结构水泥流变剂
3. 插层结构荧光防伪材料
4. 多酸插层催化材料合成复杂酯类化合物

实验室研究阶段

其它具有明确应用前景的插层结构功能材料

1. 插层结构皮革无铬揉剂
2. 插层结构高阻隔薄膜材料
3. 插层结构水泥抗氯离子渗透剂
4. 插层结构水泥碳化抑制剂
5. 插层结构化妆品紫外吸收剂
6. 插层结构合成材料用抗菌剂
7. 插层结构橡胶硫化促进剂
8. 层状结构固体碱催化剂

三. 研究成果

发表论文：

- 五年内发表SCI论文**470**余篇，
- 他引累积逾**20000**次

国际重要刊物

<i>Nature Commun.</i>	11 篇
<i>Angew. Chem. Int. Ed.</i>	27 篇
<i>J. Am. Chem. Soc.</i>	13 篇
<i>Adv. Mater.</i>	14 篇
<i>Adv. Func. Mater.</i>	25 篇

化工主流刊物

<i>AIChE J.</i>	14 篇
<i>Chem. Eng. Sci.</i>	10 篇
<i>Chem. Eng. J.</i>	30 篇
<i>I&EC Res.</i>	65 篇

- 相关研究成果获得国内外学术界认可。

知识产权体系的构筑

授权专利：

授权专利：

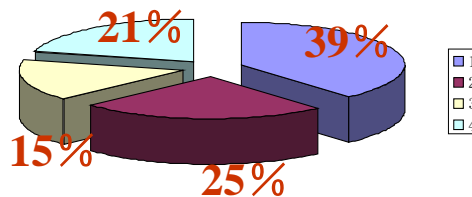
获美国专利授权**11**项，获国家发明专利授权**400**余项。

产品结构：**235**项

关键技术：**81**项

生产装置：**37**项

产品应用：**93**项



构筑了较为完整的自主知识产权体系

标准制定

- ✓ 国家发改委批准行业标准**3**项—已发布实施
- ✓ 国家工信部批准制定标准**7**项—已发布实施
- ✓ 交通部批准制定标准**1**项—已发布实施
- ✓ 中国石油和化学工业联合会团体标准**2**项—**1**项已发布

主持及参与制定标准

序号	标准名称	编号	标准类别	实施日期	角色
1	紫外阻隔材料用合成水滑石	HG/T4498-2013	化工行业标准	2014-03-01	主持
2	合成水滑石热稳定剂	HG/T4495-2013	化工行业标准	2014-03-01	主持
3	合成水滑石农膜保温剂	HG/T4497-2013	化工行业标准	2014-03-01	主持
4	合成水滑石阻燃剂	HG/T4496-2013	化工行业标准	2014-03-01	主持
5	道路沥青用层状复合金属氢氧化物耐紫外光老化剂	JT/T1149-2017	交通行业标准	2017-11-01	参加
6	合成水滑石分析方法	HG/T 3820-2013	化工行业标准	2014-03-01	主持
7	纳米氢氧化镁	HG/T 3821-2006	化工行业标准	2007-03-01	主持
8	合成水滑石聚烯烃吸酸剂	HG/T5548-2019	化工行业标准	2020-07-01	主持
9	合成水滑石阻烟剂	T/CPCIF 0191-2022	中国石油和化学工业联合会团体标准	2022-07-15	主持
10	塑料中水滑石分散度评价	/	中国石油和化学工业联合会团体标准	已批准制定	主持

行业标准

团体标准

建成了多套中试及产业化装置

中试装置建设（3套）

序号	装置名称	规模	地点	时间
1	共沉淀工艺中试平台	100t/a	北京朝阳	2001
2	共沉淀/清洁工艺中试平台	100t/a	北京朝阳	2019
3	反应-分离耦合镁锂联产中试装置	100t/a	青海格尔木	2019

产业化示范装置建设（10套）

序号	装置名称	规模	地点	时间
1	插层结构无卤阻燃剂	10000t/a	江苏宜兴	1999
2	插层结构红外吸收材料	1000t/a	辽宁大连	2002
3	插层结构PVC热稳定剂	1000t/a	江苏江阴	2007
4	插层结构PVC热稳定剂	3500t/a	江苏江阴	2013
5	插层结构紫外阻隔材料	1000t/a	北京昌平	2012
6	插层结构气密材料	1000t/a	北京昌平	2014
7	插层结构抑烟剂	2000t/a	山东临沂	2016
8	插层结构聚烯烃吸酸剂	1000t/a	山东临沂	2019
9	插层结构PVC热稳定剂	2000t/a	青海德令哈	2021
10	插层结构超稳矿化材料	20000t/a	青海德令哈	2022

获科技成果奖励情况

国家科技进步二等奖（2001）：

层状及插层结构功能材料

国家技术发明二等奖（2004）：

新型镁基插层结构无机纳米阻燃剂

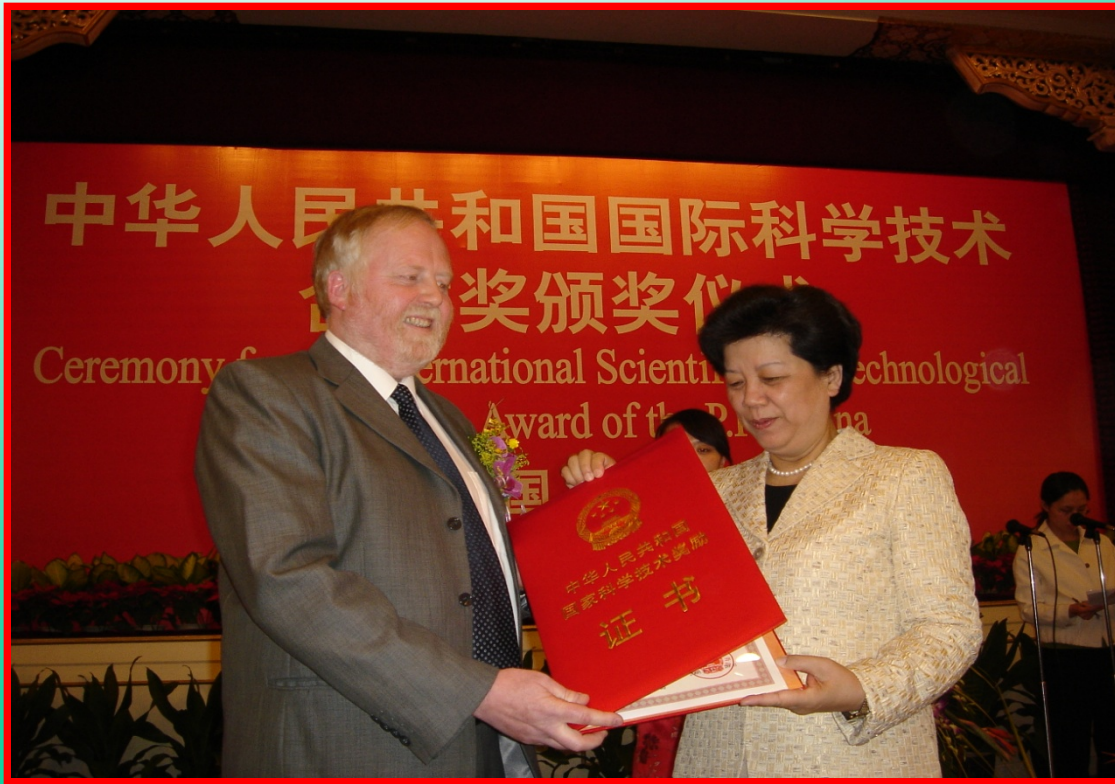
国家技术发明二等奖（2009）：

超分子结构无铅热稳定剂

教育部、北京市和石化协会奖励（1990—）：

10余项 插层结构功能材料及相关产品和技术

2005年中华人民共和国国际科学技术合作奖



英籍专家戴伟博士来实验室开展合作研究已达26年之久，直接参与本项目的研究工作。

Evans D.G.

谢 谢!

敬请提出宝贵意见