

季戊四醇交友记

梁希晴, 赵恬, 李嘉威, 谭浩辉, 陈海, 曾黎燕*

仲恺农业工程学院化学化工学院, 广州 510225

摘要: 以拟人化手段, 季戊四醇小朋友第一视角, 通过主人公交朋友的故事和人物生动的对话的方式, 科普式介绍了季戊四醇与其他化合物发生的化学反应及反应产物的应用。较为详细地介绍了季戊四醇与脂肪酸的酯化反应、与硝酸的硝化反应、与金属氧化锌的螯合、通过缩酮反应参与药物布洛芬的合成及季戊四醇和双季戊四醇的制备等有机化学知识; 简单描述了季戊四醇酯的润滑性能及其在日用品和航天航空中的应用、季戊四醇硝酸酯的爆炸性、季戊四醇锌的热稳定作用及相关化合物的用途。

关键词: 季戊四醇; 润滑剂; 炸药; 热稳定性; 科普

中图分类号: G64; O62

Pentaerythritol's Journey of Making Friends

Xiqing Liang, Tian Zhao, Jiawei Li, Haohui Tan, Hai Chen, Liyan Zeng*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China.

Abstract: Through an anthropomorphic approach, this article adopts the first-person perspective of Pentaerythritol as a child, narrating its story of making friends and engaging in lively dialogues to introduce the chemical reactions between Pentaerythritol and other compounds, as well as the applications of the resulting products. Detailed explanations are provided on the esterification of Pentaerythritol with fatty acids, its nitration with nitric acid, chelation with zinc oxide, involvement in the synthesis of ibuprofen through ketal condensation, and the preparation of Pentaerythritol and dipentaerythritol. Additionally, the article briefly describes the lubricating properties of Pentaerythritol esters and their applications in daily chemicals and aerospace, the explosive nature of Pentaerythritol nitrate, the thermal stabilizing effect of Pentaerythritol zinc, and the uses of related compounds.

Key Words: Pentaerythritol; Lubricant; Explosive; Thermal stability; Popularization of science

1 引言

“妈妈，你陪我玩！我太无聊了。”季戊四醇(小季)跟在忙碌的妈妈身后，一路叫嚷着。

乙醛妈妈无奈地停下手上的事情，摸摸他的头说：“宝贝，妈妈有事，现在忙着出门，没法陪你。你实在无聊就出去找小朋友玩！”

“可是我没有朋友，我找谁啊？我要妈妈跟我出去玩。”小季固执地看着妈妈。

“没有朋友就出去交朋友啊！”甲醛爸爸从门后探出脑袋，把乙醛妈妈和小季吓了一跳。

甲醛爸爸继续说道：“哈哈，我来催你妈妈出门了，时间差不多了。”

“宝贝，你姨妈几天前给妈妈打电话说表弟想你啦，你去他家玩好不好！”妈妈边收拾边对小季

说：“爸爸妈妈把你送到姨妈小区，你自己去姨妈家，看看一路上是不是可以交到好多小朋友。”小季犹豫着不回答，但还是牵着爸爸妈妈的手一起出门了。

2 序章

看着窗外向后飞逝的景色和路人，小季却闷闷不乐：“妈妈，我要怎么才能找到小朋友跟我一起玩呢。”

“宝贝，你得先交朋友，互相介绍自己的名字和特点，平时就能联系一起玩了。”妈妈循循善诱道：“当然，你得有礼貌，问别人的名字时，得先自我介绍。”

“那我该怎么自我介绍？我也不知道自己有什么特点啊！”小季一脸求教。

“哎哟宝贝，你长得多有特点呀！”甲醛爸爸插嘴道，“你看你骨子里就透露着中国的对称美。”

“是呀宝贝，你的分子结构画出来可漂亮了。知道你为什么叫季戊四醇吗？”妈妈笑问着，画出了季戊四醇的结构式(图1)。

“对呀，为什么？”小季思考着看向妈妈。

“中国古代用甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸来表示历法中的天干，后来也用来做排序，依次表示1-10。”

“这个我知道，我们很多小朋友的名字里都有，季表示四，戊表示五，那我的名字的意思到底是四醇还是五醇？”小季提出了质疑。

“你的名字体现了你的特点，这个-OH就是醇的特征，我们也叫他羟基，数数看，是不是四个羟基，所以你是四醇。宝贝，你知道我们有机物的骨架是碳原子，羟基要接到碳原子上再连起来才能形成有机物，你再数数有几个碳原子？”妈妈把画好的分子结构递给小季。

“四个羟基就有四个碳原子。”

“对，连羟基的有四个碳原子。再看看中间那个十字中心，交叉点还有一个碳原子，所以一共是五个碳原子。这就是为什么你叫戊四醇。而中间那个碳原子，因为接了四个碳，我们把他叫季碳。季碳的结构特点很特殊，为了体现季碳的结构，就把你取名为季戊四醇，方便人家一听到名字就知道结构。”

“哦，所以我的名字大有学问呢。”小季顿时觉得自己高大上了。

“季碳在空间上往往是对称的正四面体结构，再加上四个羟基点缀，季戊四醇的分子结构非常漂亮，所以我们家小季是个小美人呢。”妈妈一脸宠溺地揪揪小季沾沾自喜的脸。

“我们宝贝岂止是漂亮，还非常有用呢！”甲醛爸爸搭腔。

“是吗，爸爸，那我有什么用，快说说！”

“这个我在你出生前就全面了解过了，用途可太多了！如提高涂料的硬度和光泽，改善橡胶或塑料的柔韧性，甚至在你妈妈用的护肤品里也有你呢！”甲醛爸爸边说边把车靠右减速。

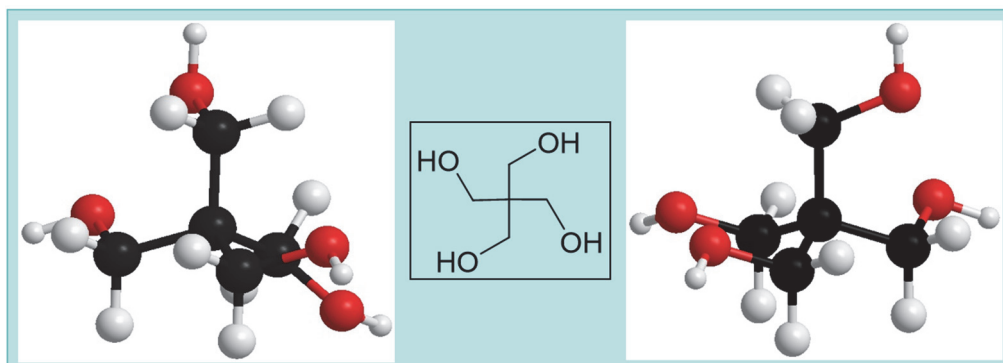


图1 季戊四醇结构式及三维结构(右)

“哎，前面就到你小姨家了，你交朋友的时候注意观察思考，就能发现自己更多的用处了。”说着，甲醛爸爸停好车。乙醛妈妈牵着季戊四醇下车将他送进了小区：“宝贝去吧，看到小朋友要打招呼，做介绍，记得要有礼貌哦！”

3 润滑油？可以和小伙伴一起实现航空梦啦！

小季兴致盎然地走在小路上，突然耳边传来一个声音。

“好想到太空去看看啊。”

小季透过草丛，看到一人坐在草地上。他好奇地凑近，草丛悉悉索索，惊动了那人。

“谁？”那人转身朝草丛看来。

“啊，不好意思，打扰了！”小季低着头有些羞赧，“我，我是季戊四醇。刚刚路过时听到你说太空，我就好奇太空是什么地方？”

“太空啊，那是一个无垠的空间。”说着他望向蔚蓝的天空，“诺，就我们头顶，地球大气层以外就是太空。那里繁星点点，星云如同天鹅绒般柔软，星系则像开花的樱花树，美丽而又神秘。”他眼睛里泛着星光，呆呆地看着天空，充满向往。“我从来没见过那么美的景色，真想去看看啊。”

“听起来很不错！一定很好玩！”小季脑海里出现了在洁白绵软的云层里弹跳打滚的画面，也抬头一脸向往地看向虚无的天空。

两人各自沉浸在自己的世界里，一时无言。片刻后，那人站起身来，向小季伸出手来，“季戊四醇你好呀，我是异硬脂酸^[1](图2)。”小季第一次遇到这么正式的自我介绍，一时有点手足无措，“你好，你好！”怯怯地与异硬脂酸握手。

这时，神奇的事情发生了，交握的掌心出现了滑溜溜的液体。小季以为是自己紧张导致掌心出汗，尴尬地收回手。

“咦，这是什么？哪来的？”硬脂酸酯看着掌心出现的透明油状液体一头雾水。

这时，航空局工作的双季戊四醇(图3)爷爷下班路过，“小朋友们，你们干嘛啊？”

“老爷爷，您知道这是什么吗？”他们举着手问。

双季戊四醇爷爷看了看他们，瞬间明白了。

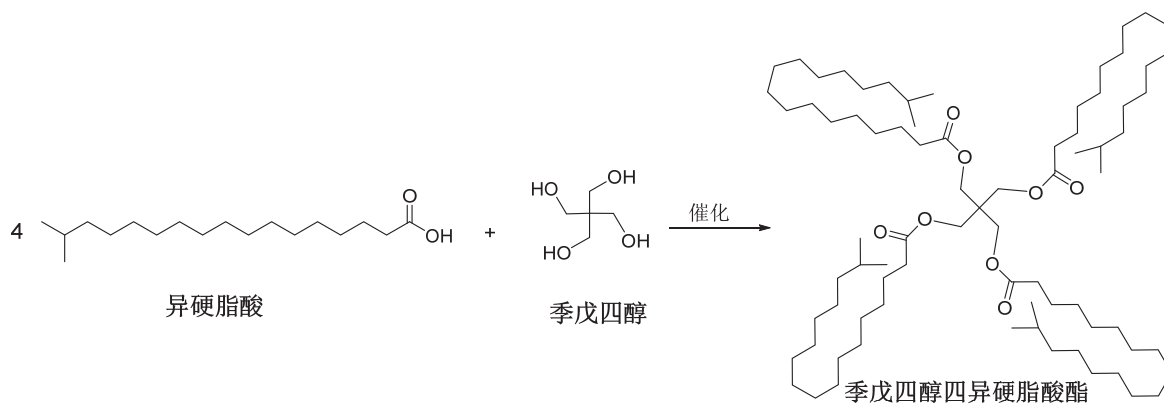


图2 异硬脂酸与季戊四醇反应生成季戊四醇四异硬脂酸酯

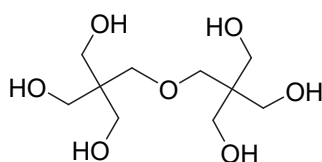


图3 双季戊四醇的结构

“小朋友们，你是季戊四醇，你是异硬脂酸吧！”不等他们回答，双季戊四醇接着道，“酸与季戊四醇在一起能生成酯，你们俩刚才是不是握手了？喏，这滑滑的液体就是你俩合力生成的季戊四醇四异硬脂酸酯^[2](图2)。”说着，双季戊四醇爷爷拿着树枝在地上画起来，“你们知道这个有什么用吗？”

小季摸着滑滑的液体，想了想爸爸给他的小自行车的车链子上的油，“或许是润滑油吧？”

“对喽！确切地说季戊四醇四异硬脂酸酯是一种大分子量的液体油脂，用到护肤品、护发品等日用品中起到润滑作用(图4)，你们现在将他在手上抹匀了试试。”

成分: 水、甘油、丁二醇、聚二甲基硅氧烷、霍乱提取物、库拉索芦荟叶提取物、黄瓜汁、生育酚乙酸酯、烟酰胺、聚二甲基硅氧烷醇、透明质酸钠、1,2-戊二醇、卡波姆、氯化聚烯、季戊四醇四异硬脂酸酯、黄原胶、柠檬酸、丙二醇、乙醇、氢氧化钠、EDTA二钠、香精、苯氧乙醇、羟苯甲酯、CI 42090、CI 19140

合格
生产批号及限期使用日期见包装
生产许可证号: XK16-108 0032
卫生许可证号: (1995)卫妆准字 01-XK-0003 号
执行标准号: QB/T 1857
材料代码: 6077576

季戊四醇四异硬脂酸酯



用途: 粉底、
防晒、
膏霜等

薄荷醇	①	清凉剂
柠檬酸钠	①	pH调节剂
柠檬酸	②	pH调节剂
甘油油酸酯柠檬酸酯	①	乳化剂
异硬脂酸	①	粘合剂
季戊四醇四异硬脂酸酯	①	柔润剂
二甲基硅烷基化硅石	①	吸附剂

图4 季戊四醇四异硬脂酸酯在化妆品中的应用

日用品成分表中的季戊四醇四异硬脂酸酯(左); 季戊四醇四异硬脂酸酯纯品及其在化妆品中的应用(中);

异硬脂酸和季戊四醇四异硬脂酸酯在化妆品中的功能(右)

“感觉手都变丝滑了。”异硬脂酸搓着手说。

“哈哈，所以他在日化品中的应用非常广泛^[3]。其实季戊四醇四异硬脂酸酯属于季戊四醇酯的一种，是新戊基多元醇酯类润滑剂大家庭的一员。是由季戊四醇或者爷爷我双季戊四醇与异硬脂酸一样的脂肪酸如硬脂酸、正己酸等，通过酯化反应生成的(图5)。”



图5 新戊基多元醇酯的结构通式及其在航天的应用

季戊四醇类多元醇酯(左); 长征五号(中); 双季戊四醇类多元醇酯(右)

“爷爷，其他的新戊基多元醇酯都有什么用啊？”小季第一次真切地感受到了自己的能力。

“那用途可多了，小到生活中的日化品，工业生产的塑料制品，大到航天航空的润滑油都能用到！”

“爷爷，您再详细说说航天航空呗！”异硬脂酸敏锐地捕捉到自己关心的话题，激动地问道。

“哈哈，你这可是问对人了，爷爷就是干这行的。”说着，双季戊四醇爷爷从他的工作包掏出了一本书，翻开其中一页给小季他们看。

“先说说这个新戊基多元醇酯本身的特点吧。季戊四醇季碳和多羟基结构让合成的这类新戊基多元醇酯^[4]分子结构中有一个不含氢的β碳原子和庞大的新戊基，为酯基提供了很好的空间屏蔽作用

(图5左, 右)。因此, 新戊基多元醇酯的热分解温度通常比二元酸酯高出40 °C左右, 热分解的速度慢三倍, 稳定性得以大大提高。同时抗氧化性能也优于一般的双酯类润滑剂。在酯类润滑油中新戊基多元醇酯除了润滑性能优良, 其本身的抗热抗氧化和稳定性也是出类拔萃的。在喷气发动机润滑油、车用机油、精密仪表油、润滑脂基础油和金属加工液中得以广泛应用, 也有幸被征选为航空润滑油。”

双季戊四醇看了看他俩, 两小只正听得津津有味。

“你们知道最近长征五号遥八运载火箭发射(图5中)吗? 他们用的润滑油就是这类新戊基多元醇酯呀。”

“那, 我与季戊四醇或者爷爷您一起合作, 是不是也能为航天航空做出贡献了?” 异硬脂酸一脸期待地问。

“当然, 等你长大之后可以去航空公司面试, 他们都迫不及待地想见到你们这些可爱的小家伙呢!”

“这么说, 我只要跟你们在一起就有可能实现太空遨游的梦想了, 哈哈!” 异硬脂酸拉着小季, 兴奋得手舞足蹈。小季也幻想着太空的美丽, 不禁心潮澎湃! 没想到认识了新朋友还发现自己这么有用。

4 PETN, 你不要冲动啊!

告别了异硬脂酸, 小季又踏上了新的旅程。

“哟、哟、哟、哟哟、切克闹……” 小季走在小路上, 忽然听到一段很燃的rap, 还有一个蹦蹦跳跳的小豆丁, 不小心撞到了他。

“哎哟, 谁! 是谁撞我!” 倒在地上的小豆丁揉着屁股站起来, 看到小季, “你好啊, 我是硝酸。你是谁啊? 你要去干嘛? 要和我一起跳舞吗?”

“我叫季戊四醇, 我要去交朋友, 和你一起跳舞的话, 我们算朋友吗? 你好活泼哦。” 小季很有礼貌地有问必答。

“当然啦!” 硝酸对季戊四醇伸出手, “我浑身使不完的劲!”

当他们手牵在一起的时候, 可能是被硝酸的热情感染了, 季戊四醇也感觉特别的兴奋, 他控制不住地和硝酸手拉着手蹦蹦跳跳起来。

“嘿! 小家伙, 小心点, 不要跳摔了! 你们现在可是季戊四醇四硝酸酯^[5](图6左)! ” 一个大哥哥从旁边路过, 看到他们在蹦蹦跳跳, 忍不住提醒一句。

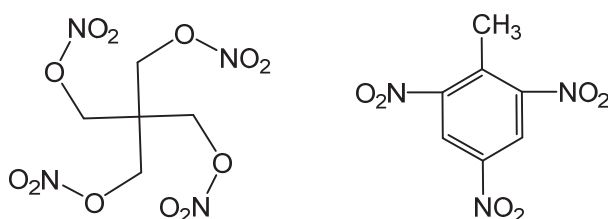


图6 季戊四醇四硝酸酯(左)与三硝基甲苯(TNT)(右)

硝酸很好奇, “哥哥, 什么是季戊四醇四硝酸酯呀?”

“你和季戊四醇待在一起就会生成季戊四醇四硝酸酯, 别人一般会喊你们PETN (季戊四醇四硝酸酯, Pentaerythrite Tetranitrate)或者太安。PETN对碰撞和热比较敏感, 高温和碰撞都会导致爆炸。所以你们一起蹦蹦跳跳摔倒了就容易爆炸! 最好在比较清凉湿润的地方玩耍。” 大哥哥摸了摸硝酸的小脑袋。

“哇, 哥哥你看一眼就知道这么多?” 小季安静下来, 满眼发光地看着大哥哥。

“因为我是三硝基甲苯(图6右),别人一般会叫我TNT,也是一种威力大的炸药,尤其是突然受热时就容易爆炸。所以我对同行都比较了解。我可是很好用且很有历史的军用炸药呢^[6]!现在有PETN这样爆炸性更高却更稳定的炸药,减轻了我不少的工作压力!” TNT笑着捏了捏小季的脸,“好咯,哥哥还有点事情,就先走啦,以后有缘再见啦!”

硝酸和季戊四醇手拉着手,一起向TNT挥手说再见。

为了避免爆炸,之后他俩不再跑跑跳跳,难得安静地坐在一起聊天,互相了解彼此特点,成为了好朋友。

告别了硝酸,小季又踏上那条“找朋友”的小路。

5 原来我也可以帮忙提高PVC热稳定性的吗?

走着走着,小季看到一大姐姐在摆弄地上的一堆白色粉末,嘴里嘀嘀咕咕念叨着什么。好奇的小季蹲下去看了半晌:“这是什么?”对方太专注,听到声音才发现眼前一个小朋友正指着地上的东西看着他。

“啊!小朋友有什么事吗?”

小季不好意思挠挠头:“不好意思大姐姐,打扰你了,你在玩什么?”

“嗨,没啥,是我太专注了。这是氧化锌,据说对我找工作有用,我想看看他怎么起作用的。小朋友叫什么名字啊?怎么一人在外边?”

“我叫季戊四醇,来我姨妈家玩的。大姐姐,现在找工作很难吗?”小季看她一脸愁容。

“那也不是,有能力解决工作问题的人就很好找工作。只是我比较特殊,我是聚氯乙烯^[7](PVC)(图7),是做塑料的常用原料。但我的分子链中存在一些结构缺陷,在O₂、高温或者光照条件下会发生降解老化。导致随着时间推移,产品色泽、力学性能等变差出现发黄变脆的现象。喏,就像这块桌垫一样(图7)。找工作时就因为这个问题无法通过面试。”说着,聚氯乙烯掀起了垫在白色粉末下的一块透明塑料垫。

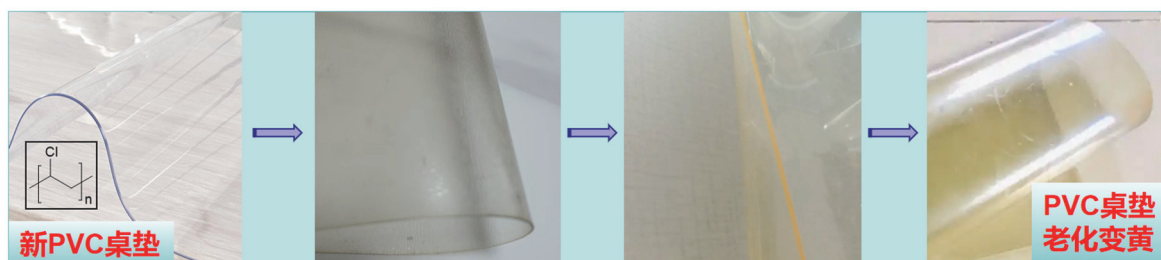


图7 聚氯乙烯(PVC)桌垫老化过程

“啊,我刚才居然没有发现它。是哦,姐姐你掀起来时能看出已经发黄了。”小季调整角度看了看。

“这就是我的聚氯乙烯分子合成的桌垫,原本透明无暇而柔韧,现在不仅发黄还开裂,根本无法使用。我的老师说氧化锌可以改善我这种情况,如果我找到解决问题的方法,找工作肯定没有问题。喏,我刚才就是在研究氧化锌,光照、加水都没有用,正愁着呢!”聚氯乙烯指了指桌垫上的白色粉末。

“氧化锌这么厉害啊!”小季说着就摸向氧化锌。结果氧化锌在他手上发生了变化,尤其是贴着皮肤的那些粉末,明显变成了另一种物质。

“啊!这是怎么了?”小季惊讶不已。

“哦!这个是季戊四醇锌^[8]啊,是一种辅助热稳定剂,可以提高PVC的热稳定性嘞!”一个叔叔从旁边探出头来,拍了拍PVC的肩膀。

“老师好！”PVC说完转头跟小季说，“这个是我的老师聚对苯二甲酸乙二醇酯^[9](图8)，他也是塑料原料，很多塑料瓶包括矿泉水瓶、水杯、奶茶杯都是我老师的分子制备的，是1号塑料，常被叫做PET(聚对苯二甲酸乙二醇酯，Polyethylene Terephthalate)，而我PVC是3号塑料。”

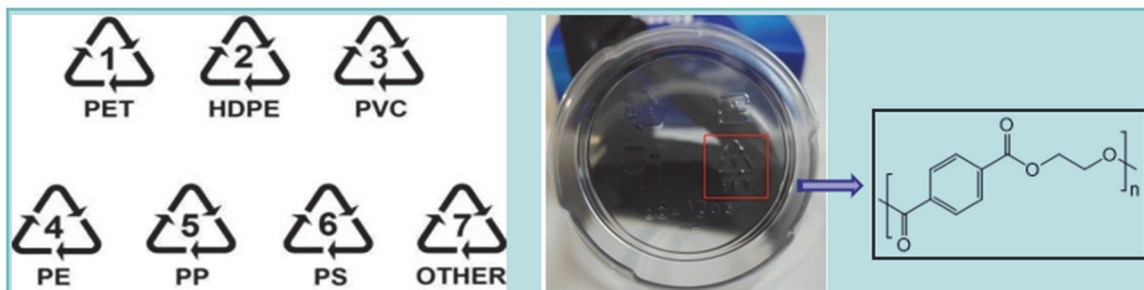


图8 塑料编号及聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)

PET看到小季，恍然大悟，“孩子，你是季戊四醇吧！”

“老师好，姐姐好，我是季戊四醇。”小季礼貌回答。

“欸？PVC我记得你的热稳定性难关好像还没有攻克，为什么不喊季戊四醇来给你帮忙呢？”PET问，“季戊四醇拥有四个伯羟基，反应活性较高，容易与金属离子发生络合反应。你看，季戊四醇与氧化锌就能生成季戊四醇锌，而这个季戊四醇锌(图9)加入到制作塑料产品的PVC原料^[10]中，可以将静态热稳定时间延长至原来的近7倍！PVC塑料制品稳定性加强，老化变黄问题不就好解决了吗？”

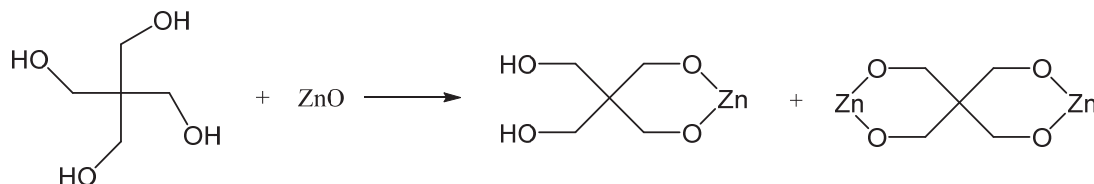


图9 季戊四醇锌的合成

PVC听到后，非常开心，握住了小季的手感慨：“原来氧化锌要和季戊四醇在一起才能解决PVC塑料变黄老化问题，今天能认识你是我的幸运。”

“我也很高兴认识你！”小季腼腆回答，内心却无比骄傲。告别了PVC和PET老师，小季继续踏上找朋友之旅。

6 布洛芬有季戊四醇也可以！

“啊？你现在走了我们怎么办呢？这一次合成的布洛芬今晚就要送去药房了。”2-氯丙酰氯在旁边焦急地对新戊二醇说。

小季不知道为什么这些大哥哥这么着急，他走进去，礼貌地自我介绍后，问了盐酸哥哥才知道，新戊二醇家里出了急事，他必须马上赶回老家。

“对不起，伙伴们！我也很抱歉，但是事发突然，我实在没办法……”新戊二醇说着就往外走，“我现在必须要走了，今天的布洛芬我真地没办法参与合成了(图10)。”

看着新戊二醇匆匆离去的背影，大家静默无声。季戊四醇觉得氛围有点尴尬，想到今天的经历，看自己能不能帮上忙，鼓足勇气打破沉寂。

“大家好，为什么新戊二醇走了，你们就不能合成布洛芬呀？”季戊四醇问。



图10 布洛芬的结构及药品

“哎，小弟弟，布洛芬这种药物虽然是我用2-氯丙酰氯为起始原料制备的，但过程极其复杂，你看看他的合成路线^[11] (图11A)。”异丁苯想着反正现在也没办法工作了，有的是时间，就蹲在地上捡了个树枝，边画边给好奇的季戊四醇耐心解释道：“瞧，我和2-氯丙酰氯经傅克酰化反应变成1-氯乙基-4-异丁苯酮II之后，需要进一步与新戊二醇发生缩酮反应，再经过神奇的转位重排水解获得布洛芬氯酯IV，最后水解脱脂盐酸酸化才能得到布洛芬。现在他一走，我们就卡在了第二步，没办法合成布洛芬了。”

小季仔细看着这个实验路线，发现布洛芬的合成环环相扣，第二步反应就是新戊二醇跟羰基反应形成缩酮。

这时，一开始劝说新戊二醇的2-氯丙酰氯突然开口了，“你们快看，我们现在像不像布洛芬？”“哈哈，加上我就更像啦！”路过的硫酸看了一会儿热闹，终于看懂了，走了进来。

大家都一脸疑问地看着硫酸，于是硫酸一边说又一边比划(图11B)，“你们看呀，异丁苯和2-氯丙酰氯在 AlCl_3 催化下傅克酰化获得1-氯乙基-4-异丁苯酮II，II和季戊四醇、甲苯还有我参与缩醛反应，生成双缩醛III，重排后重新生成布洛芬双氯酯IV，后续水解的步骤也是一样的^[11]。而且你们发现没有，季戊四醇来了以后，中间体的成分也是没有变化的哦。这样就算新戊二醇不在，我们也可以做布洛芬了呀！”

“哦哦哦！是哦！那我们现在也不是非新戊二醇不可啦！季戊四醇，你愿意和我们一起合成布洛芬吗？”异丁苯很开心地拉着小季。

小季没有想到，自己居然真地可以帮助大家一起参与合成布洛芬，内心激动万分：“嗯嗯，我非常愿意！”小季心里美美的！

7 原来小季我呀跟双季戊四醇的羁绊这么深！

终于，一天的旅程快结束了，小季也来到了姨妈家，见到了好久不见的表弟，他非常开心。他在姨妈家讲起今天的旅程，重点展现了自己的用处，说得两个表弟一脸羡慕。

姨妈捂着嘴笑，“小季呀，你表弟丙烯醛和3-羟基丙醛可以合成双季戊四醇(图12)！”

小季和丙烯醛表弟四眼放光地看着姨妈，异口同声地说：“快说说！”

姨妈微笑着拿出纸笔，边画边说：“3-羟基丙醛和丙烯醛反应会生成中间产物3,3'-氧双丙醛A(图12)，3,3'-氧双丙醛上的两个醛羰基有四个 α -氢，在氢氧化钠作用下与4倍量的甲醛分子发生羟醛缩合反应得到B，B再进一步与2倍量的甲醛分子发生Cannizzaro反应还原就会生成双季戊四醇^[12,13]啦！要说这个方法跟小季出生的方法大同小异，小季知道自己怎么来的吧？”说完，还刮了刮小季的鼻子。

正觉得熟悉的小季点点头：“嗯嗯，爸爸之前跟我讲了，说我是通过他和妈妈合力制造出来的，我记得就是用的这种Cannizzaro反应，但用的是氢氧化钙，爸爸说那叫‘钙法’(图13)。”

“哎呀，我们小季还知道‘钙法’呢！是的，当时你爸爸和妈妈用的钙法合成的你。这种方法已经投入工业化生产啦。”说着，姨妈拿着笔在纸上写画起来：“摩尔比3:1的甲醛与乙醛在 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的催化下加热，发生羟醛缩合反应得到3-羟基-2,2'-羟甲基丙醛，然后再与等量的甲醛分子发生Cannizzaro反应，也就是歧化反应。在这个反应中甲醛的反应活性高，将3-羟基-2,2'-羟甲基丙醛的醛基还原就得到了季戊四醇分子了，同时甲醛被氧化为甲酸^[12-14]。这就是制备小季你的全过程。”

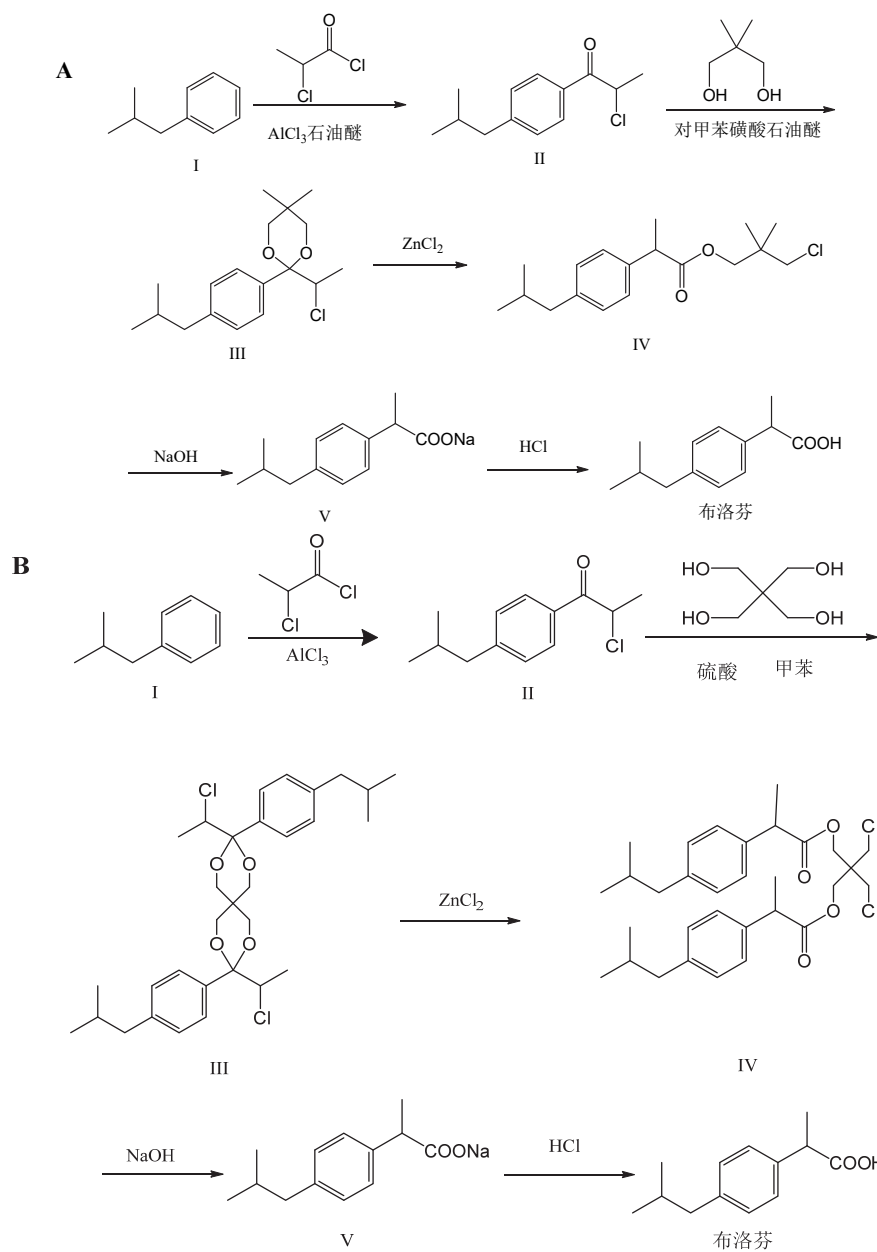


图11 布洛芬合成路线

(A) 新异戊二醇参与的布洛芬合成; (B) 季戊四醇参与的布洛芬合成

趁着小家伙们兴趣浓厚，姨妈指着画出来的两组反应继续讲：“你们注意到了没，整个反应过程都需要用碱催化才能进行。一般催化用的碱为氢氧化钙的生产工艺称为‘钙法’，用氢氧化钠的生产工艺称为‘钠法’。‘钙法’虽然工艺原料成本低，但后处理必须增加沉淀、过滤等步骤以除掉钙离子，增加了工人叔叔们的工作量。所以现在‘钙法’工艺渐渐地被‘钠法’替代了。”

姨妈感叹道：“说起来，双季戊四醇还是Friederich W.和Brun W.两位科学家在合成季戊四醇过程中偶然发现的呢，那是发生在1930年的事情了^[15]，时间过得可真快，这些年双季戊四醇及其衍生物真是混得风生水起啊！”

“妈妈，双季戊四醇有什么用呢？”

“姨妈，双季戊四醇有什么用呢？”三小只异口同声地问。

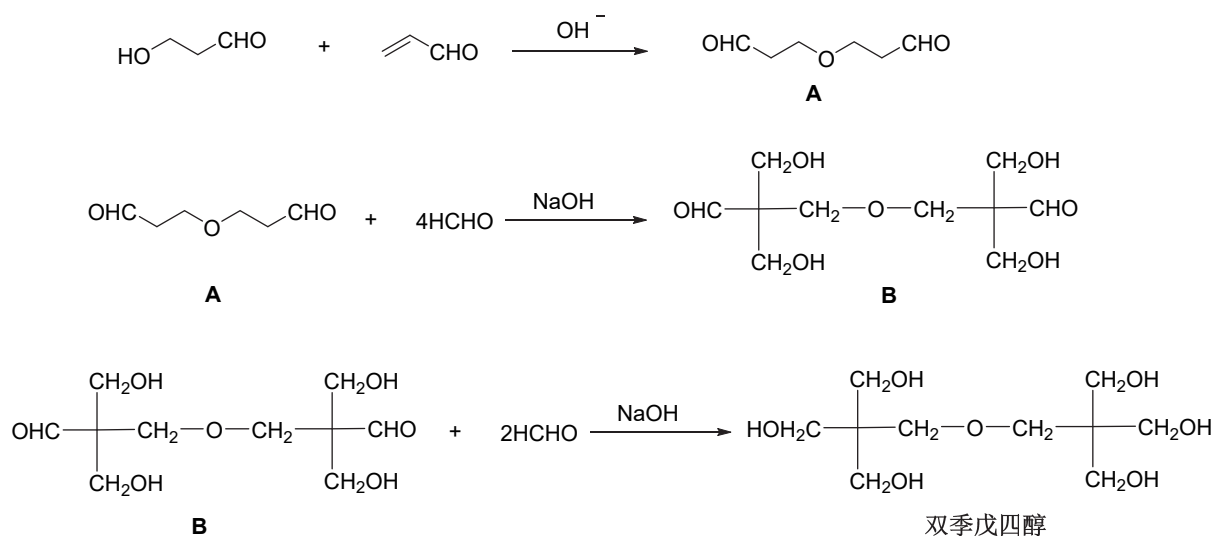


图12 双季戊四醇合成

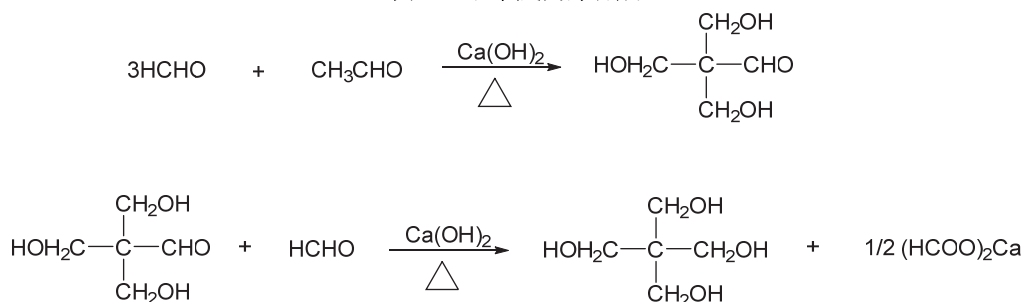


图13 缩合加氢法合成季戊四醇

姨妈笑着摸了摸他们的头，“双季戊四醇啊，那用处可多着咯，那又是另外一个故事了，等哪天你们有空了我们再展开讲。”

“我今天碰到双季戊四醇爷爷时，他说双季戊四醇酯化后做成润滑油还可以用到航空火箭发射上呢！”小季忍不住炫耀。

“是的，那只是双季戊四醇应用的冰山一角，他会的东西可太多了！”姨妈感叹道，而后又转口鼓励小朋友们：“不过时代会发展，我们会进步，日子还长呀小季。以后说不定你会的更多呢？好咯，快快洗手过来吃饭啦！”

在姨妈家吃完饭后，姨妈就把小季送回家啦。

8 结语

“宝贝，今天玩得怎么样呀？累不累？”乙醛妈妈和甲醛爸爸都围上来，关心地问。

“嗯嗯，爸爸妈妈，我今天玩得好开心！我认识了好多新朋友！我们在一起真地可以发生不同的化学反应，碰撞出很多不同的‘火花’呢！”小季开心地说。

“那你有没有收获到什么呢？有没有发现不一样的自己呢？”甲醛爸爸循循善诱。

“有的，爸爸。我发现我和小伙伴们可以做很多很有用处的东西，比如润滑油、炸药、辅助热稳定剂等，让我发现了我自己很多的用处和潜在的价值。”小季兴奋地说。

“好哦，看来宝贝今天收获不菲啊！那今天晚上好好休息，明天继续！”

小季一天的交友记到这里就结束啦，但季戊四醇的研究还未停止，将来还会有其他更新的“好朋友”出现，让我们来一起期待一下吧！大家晚安！

参 考 文 献

- [1] 赵杰, 安腾奇, 王明明, 潘保凯, 陈阿敏, 蒋惠亮. 中国油脂, **2016**, *41* (9), 74.
- [2] 刘小强, 范明明, 张萍波. 中国油脂, **2023**, *48* (9), 120.
- [3] 王枫, 惠靖云. 日用化学品科学, **2022**, *45* (5), 41.
- [4] 纪献兵, 陈银霞, 杨立静, 代伟. 化工技术与开发, **2013**, *42* (9), 15.
- [5] 杨俊清, 王桂香, 高贫, 贡雪东. 含能材料, **2013**, *21* (5), 570.
- [6] 李长庆, 廖清澄, 陈庆云, 周乃基. 人民军医, **1992**, *35* (3), 18.
- [7] 丁聪, 任金明, 王永明, 黄家驹, 范萍, 钟明强. 塑料工业, **2024**, *52* (9), 69.
- [8] 陈焕章, 李花, 李宏, 王丹. 中国塑料, **2015**, *29* (10), 78.
- [9] 张大省. 合成纤维工业, **2023**, *46* (1), 43.
- [10] 许士鲁, 李德刚, 于先进, 景永杰. 中国塑料, **2011**, *25* (5), 90.
- [11] 姜卓文. 布洛芬合成工艺改进研究[硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2013.
- [12] 江苏汉凯工程技术有限公司. 单季戊四醇和双季戊四醇的制备方法: 中国, CN10 362 140.6 [P]. 2019-06-28.
- [13] 石敏瑜. 双季戊四醇及其衍生物的合成与工艺研究[硕士学位论文]. 保定: 河北大学, 2010.
- [14] 黄昕, 廖朝辉, 何高银, 李青松, 范雯阳. 应用化工, **2019**, *48* (4), 874.
- [15] 赵翠华. 二季戊四醇合成工艺的研究[硕士学位论文]. 北京: 北京理工大学, 2001.