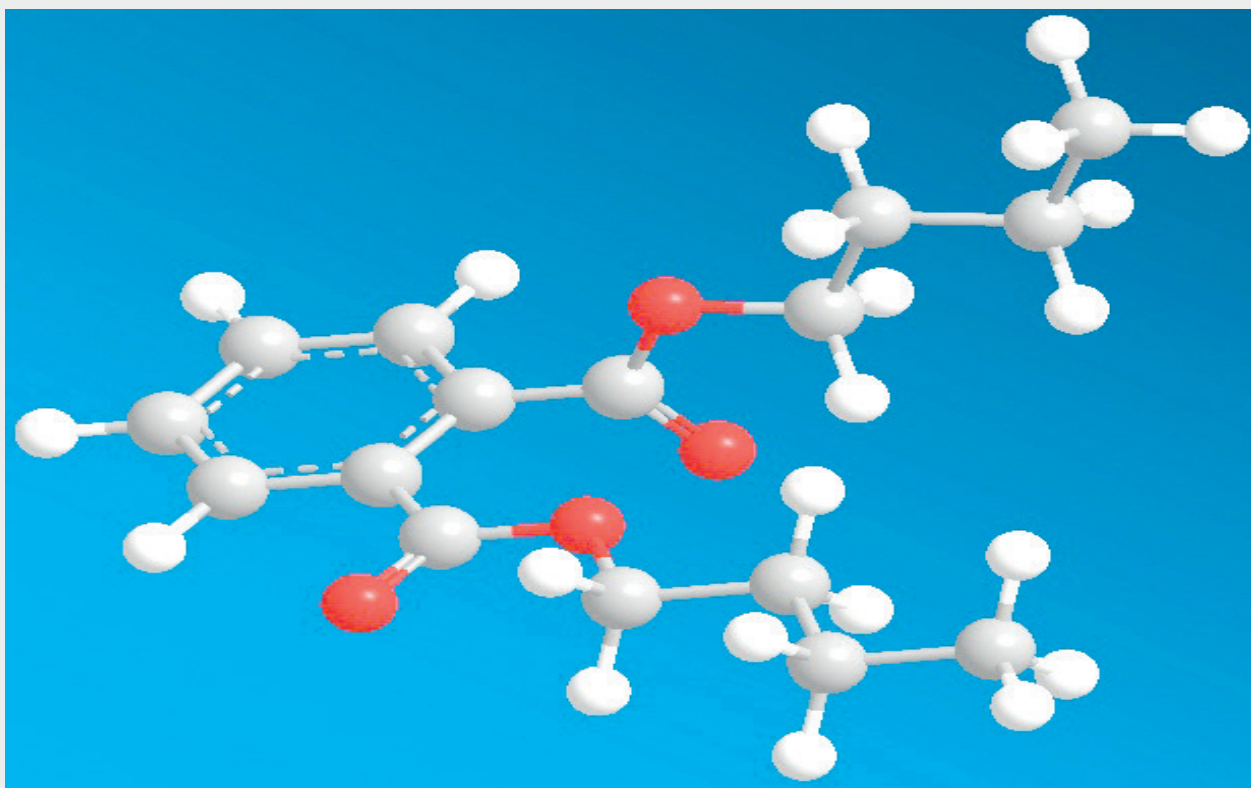




> 邻苯二甲酸二丁酯结构

科学认知“增塑剂”

□ 文图 / 田 芹 安子怡 许春雪

第一作者简介 田芹，正高级工程师，主要从事有机污染物分析应用及标准化研究。

随着社会进步和生活节奏逐步加快，塑料制品已成为人们生活中不可或缺的用品，例如，儿童玩具、一次性塑料饭盒、保鲜膜、塑料水杯以及食品包装材料，等等。这些日常用品的安全问题，受到人们广泛关注。人们平时比较关注的影响人体健康的因素，主要有致病微生物、细菌、病毒、农药、重金属等，

然而很多人不知道，一类与塑料制品有关的名叫邻苯二甲酸酯（PAEs）类化合物的增塑剂，也是生活中潜在的安全隐患，如果长期过量摄入，将会影响人体健康。增塑剂究竟为何物，是否存在危害，国内外法规对增塑剂的应用有着怎样的解读，日常生活中要如何应对，是当今社会普遍关注的问题。

认识增塑剂

增塑剂即塑化剂，能够与塑料、涂层、橡胶等材料的高分子聚合基团结合，降低聚合基团之间的作用力，从而使得这些材料易加工、柔韧、平滑、耐用性增强。通俗地说，增塑剂就是一种专门用来使塑料等材料柔软和具有可弯曲性能的物质。增塑剂的种类多达百余种，但其中的邻苯二甲酸酯类增塑剂因其技术性能、功能多样性以及经济效益较好，从而应用最为广

泛，约占整个增塑剂产品的 80%。邻苯二甲酸酯类的化合物，又称酞酸酯类化合物，这类化合物在聚氯乙烯（PVC）制品、人造革、电缆、管道、地板材料、食品、药品、化妆品、玩具、汽车等各类产品或包装中使用广泛。PAEs 在常温下大多数为无色透明的油状黏稠液体，难溶于水，不易挥发，凝固点低，易溶于甲醇、乙醇、乙醚等有机溶剂，少数则是熔点较低的固体。其通常是由苯或邻二甲苯催化氧化生成邻苯二甲酸酐，然后邻苯二甲酸酐与各种醇类酯化而获得。在工业上，常使用的邻苯二甲酸酯有十余种，主要包括邻苯二甲酸二正辛酯（DNOP）、邻苯二甲酸二（2-乙基己基）酯（DEHP）、邻苯二甲酸二丁酯（DBP）、苯二甲酸丁基苄基酯（BBP）、邻苯二甲酸二异壬酯（DINP）、邻苯二甲酸二异癸酯（DIDP）、邻苯二甲酸二甲酯（DMP）、邻苯二甲酸二乙酯（DEP）、邻苯二甲酸二异丁酯（DIBP）、邻苯二甲酸二烯丙酯（DAP）、邻苯二甲酸二（2-甲氧基）乙酯（DMEP）、邻苯二甲酸二戊酯（DPP）、邻苯二甲酸二己酯（DHXP）、邻苯二甲酸二环己酯（DCHP）、邻苯二甲酸二苯酯（DPhP）、邻苯二甲酸二壬酯（DNP）等。按其相对分子量大小，又可将邻苯二甲酸酯类增塑剂分为低分子量（分子的支链碳数在 8 个及以内）和高分子量增塑剂（分子的支链碳数在 8 个以上）。常见的低分子量增塑剂包括 DBP、BBP、DEHP、DiBP 等；高分子量增塑剂包括 DINP、DIDP，等等。

增塑剂的危害

邻苯二甲酸酯的使用约占整个增塑剂产品的 80%，其重要性不言而喻。人们已经对它们可能造成的健康和环境影响进行了广泛研究。邻苯二甲酸酯类化合物急性毒性比较低，尽管目前尚未发现由于人体或环境对该类化合物暴露而引起的毒害，但还是应关注其慢性毒性的危害。PAEs 增塑剂对人体健康的影响取决于其摄入量大小和摄入时间长短，其可通过呼吸道、消化道和皮肤吸收进入人体，尽管其大部分可以较快代谢、分解并通过尿液、粪便排出，但仍可能有少量在人体内累积。在亚慢性、

慢性毒性试验中，一些低分子量 PAEs 增塑剂显示出一定的对生殖、发育、神经和内分泌等的毒性。通过动物实验发现 PAEs 的主要危害是有类雌激素效应、产生内分泌干扰作用，造成免疫力下降。长期大剂量摄入 PAEs 增塑剂会产生生殖毒性、肝毒性、肾毒性，可能引起细胞代谢紊乱，造成机体心血管系统障碍，甚至致癌的风险。

由于 PAEs 增塑剂是直接添加进产品中的，与高分子材料之间不是共价键化学结合（一种很牢固的连接），而是物理结合（结合力较弱的连接），产品使用和废弃后 PAEs 会逐渐迁移或扩散到大气、水体、土壤等环境中，通过生物链富集或者以饮食直接暴露进入人体内累积。如果加工食品的原料从被污染了的环境中吸收增塑剂，就会随着加工而进入制成品中，如大豆、菜籽等油料农作物带入增塑剂，就会将其溶解在油脂中。此外，人们日常使用的聚氯乙烯（即 PVC）塑料制品中都存在着增塑剂，假如这些 PVC 塑料制品直接与食品接触，尤其是即食食品，在加热和脂溶性（油性）介质的作用下，PAEs 为脂溶性的，就会逐渐从材料中逸出（迁移），直接污染包装的食物。如果用 PVC 塑料袋包装加热脂溶性（油性）的即食食品，就存在着增塑剂污染的极大风险。

欧洲委员会、欧盟各成员国，以及欧洲化学品管理局，根据欧盟风险评估法规，也已经对低分子量和高分子量邻苯二甲酸酯开展了科学评估。欧盟的 REACH 法规，即《关于化学品注册、评估、许可和限制的法规》规定高分子量增塑剂毒性小，不会危害公众健康，可用于常规塑料制品中；而一些低分子量增塑剂毒性大，被列为 1B 有毒物质，不允许用于玩具、儿童用品及化妆品等与人类密切接触的物品中。

增塑剂的法规标准

随着人们对邻苯二甲酸酯类增塑剂认知的加深，许多国家出台了限制此类增塑剂的法规和标准，其中主要限制领域集中在儿童用品和食品包装材料方面。另外，医疗用品、环境等其他方面也有涉及。

由于 PAEs 在环境中性质稳定, 存留时间长, 有生物蓄积毒性, 会给人体和环境带来一定危害。婴幼儿对 PAEs 增塑剂耐受性低, 因此国际上对婴幼儿用品使用增塑剂出台了严格的限制规定。欧盟 REACH 法规 2018 年修订了关于塑化材料中邻苯二甲酸酯的限制, 受限制的邻苯二甲酸酯从三种 (DEHP、DBP 和 BBP) 增加到四种 (DEHP、DBP、BBP 和 DIBP), 限定所有玩具和儿童用品中 DEHP、BBP、DBP 单独或作为组合出现时, 其浓度 (按重量计) 不得超过塑料材料的 0.1%; 可放入口中的玩具和儿童用品中 DINP、DIDP、DNOP 总含量不得超过 0.1%。美国《消费品安全改进法案》第 108 条规定, 所有玩具和儿童用品中 DEHP、DBP 或 BBP 含量不得超过 0.1%, 可放入口中的玩具或儿童用品中 DIDP、DINP、DNOP 含量不得超过 0.1%。此外, 日本、加拿大、澳大利亚等国也出台相关标准, 在玩具和育儿物品中都对 PAEs 增塑剂做了限制, 总量不得超过 0.1%。我国现行对 PAEs 增塑剂的限制法规主要是基于 2014 年 5 月 6 日发布的玩具安全标准 (GB 6675), 该标准在 2016 年 1 月 1 日起实施。该标准限定 DBP、BBP 和 DEHP 三种增塑剂在所有玩具产品 (包括可放入口中的产品) 中的总含量 $\leq 0.1\%$; DNOP、DINP 和 DIDP 三种增塑剂在可放入口中的玩具产品中总含量 $\leq 0.1\%$ 。

我国 2016 年新修订出台了《食品接触材料及制品用添加剂使用标准》(GB 9685—2016), 规定食品接触用 PVC 塑料、橡胶材料及制品和黏合剂中添加不超过 5% 的 DEHP 或 DBP, 食品接触用涂料和涂层材料及制品中添加不得超过 5% 的 DEHP; 且生产的材料或制品不得用于接触脂肪性食品、乙醇含量高于 20% 的食品及婴幼儿食品。国外在食品及食品接触材料领域, 涉及 PAEs 增塑

剂的标准大多以法规或指令形式限定其使用, 如欧盟《食品接触材料和制品法规》中规定了 BBP、DEHP、DINP、DIDP 含量 $\leq 0.1\%$, DBP 含量 $\leq 0.05\%$, 同时也给出了相关物质的特定迁移限量和迁移总量限量。另外, 欧盟 2007/19/EC 指令, 该指令是对指令 2002/72/EC “与食品接触的塑料材料和制品” 和指令 85/572/EEC “对食品接触的塑料材料制品的组分迁移检测使用的模拟物清单” 进行修订, 同样规定了 BBP、DEHP、DIDP、DINP 含量 $\leq 0.1\%$, DBP 含量 $\leq 0.05\%$ 。

添加邻苯二甲酸酯类的 PVC 塑料也广泛用

于医疗器械领域, 主要添加的增塑剂为 DEHP, 用于生产医用手

套、输液器、血袋、透析袋、静脉注射管、气

管插管, 等等。由

于此类医疗器械直接

与人体接触, 而

增塑剂又可析出,

从而会对人体健康

产生威胁。国际标

准 (ISO 3826—1:

2013) 人体血液和血

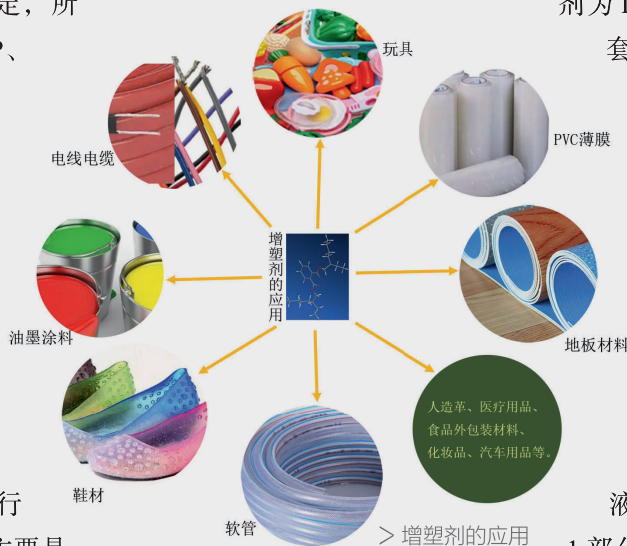
液成分可折叠塑料容器第

1 部分: 常规容器规定了“可

提取增塑剂” (如 DEHP) 含量最

高为 15mg/100mL。我国国家标准 (GB 14232.1—

2020) 人体血液及血液成分袋式塑料容器 第 1 部分: 传统型血袋, 规定了 DEHP 醇溶出物含量最高



应对增塑剂策略

塑料产品出现已有 100 多年，各个国家都开始关注邻苯二甲酸酯类增塑剂带来的潜在危害，有关其化合物可能对人体或环境造成危害的研究还在继续中。我国不仅是塑料包装食品的生产大国，也是外卖餐饮消费大国，可以说塑料材料和制品已经“渗透”到我们日常生活的方方面面。但是我们也不要谈“塑”色变，动物试验发现，大部分 DEHP 在 24~48 小时内会随尿液或粪便排出体外，48 小时内停止摄入含有 DEHP 的产品，体内 DEHP 浓度便会快速下降。PAEs 的毒性是一个相对的概念，即使含有，只要在一定的限量以下，也是对人体无害的。

首先，我们在平时生活中购买塑料制品时，要看清产品标识并正确使用。同时对于用来盛装或者接触食品的材料，一定要有“食品专用”“食品安全许可”或“QS”字样的产品才可以。

其次，我们可以改变一些生活习惯，从细节上减少危害：第一，在选用食品容器时，应当尽量避免使用塑料材质；第二，保存食品用的保鲜膜要用专门的食物保鲜膜和保鲜容器；第三，尽量避免用塑料容器或塑料袋装热水、热汤、茶和咖啡等；无法避免时，宜选聚丙烯（PP）材质的塑料制品盛放或加热；第四，如果塑料制品上标有 PVC，说明里面含有“增塑剂”，购买和使用时需要特

别注意；第五，选择儿童用品时，过软的塑料制品尽量不要买，最好选择 PP 材质的。

再次，各类食品企业要根据实际情况，选用安全的包装形式和包装材料。食品企业一定要选择食品级的包装材料，食品级的塑料包材相较于其他塑料包材来说增塑剂的使用量、迁移量都得到了有效控制；禁止使用劣质塑料桶和瓶盖；有条件的食品企业可选用非塑料包装材料，以减少污染；提倡食品生产加工部门开展内部自检工作，自我检查和监督食品的质量，彻底、及时、全面地查出存在安全隐患的食品。

复次，要加强社会宣传，提高消费者的食品安全意识和对塑料污染危害的认识，进而改变消费行为，减少塑料制品的使用和塑料垃圾的排放，促进垃圾的循环使用和无害化处理等，从源头上解决塑料污染问题。

增塑剂的未来

随着人们对健康、安全的认识越来越深入，面对邻苯二甲酸酯类增塑剂大量使用存在的问题和挑战，在考虑产业现状的基础上，进一步规范邻苯二甲酸酯类物质的生产和使用。可以预见，高效、环保、无害将是增塑剂未来发展的必然趋势。不断探索可用于食品包装材料添加剂的新型材料，鼓励各科研机构及生产厂商寻找更优质、更安全的替代产品。一方面对传统的增塑剂进行改性研究；另一方面研究新的催化、分离工艺，尽快将性价比更高、安全性更可靠、对环境友好的新一代增塑剂产品推向市场，以更好地保障人们健康。■

本文由中国地质调查局“地质实验测试与质量控制（编号 DD20221838）”和“地质调查标准化及标准制修订（2019-2021）（国家地质实验测试中心）（编号 DD20190475）”项目联合资助。

第一作者单位 / 国家地质实验测试中心

（本文编辑：陈 慧）