

第一章 橡胶配方设计概论

一、橡胶配方设计的地位与含义

橡胶、配合剂以恰当的品种与比例组合，通过一定的加工历程，按橡胶制品的结构而制成橡胶制品。其结构设计、配方设计、加工历程（的设备与工艺）作为橡胶制品生产过程三个重要组成部分，它们既相互独立，又相互联系、协同、制约，它们本身和它们之间的相互作用都有可能对橡胶制品的物化性能、使用性能、寿命、外观质量、生产成本起决定性作用，过分强调任何一者的作用都是不切实际、不全面的。鉴于此，配方设计者首先应该确立“整体”的观念。

无芯夹布胶管与有芯缠绕胶管的成型、硫化方法不同，斜交轮胎与子午轮胎的结构不同，其配方的设计、加工历程也不同，后者的寿命比前者高 15%；同一产品中的不同部件会有不同的性能要求，要用不同的配方来满足，而各配方之间如粘合、同步硫化要有恰当的配合；厚制品相对于薄制品而言，硫化条件与配方中的硫化体系不相同；就插入式联轴节而言，同样的配方与加工工艺，“同心圆式”断面者远不及“外圆内方”断面者经久耐用。

又如，采用橡胶/纤维胶片冷粘成型工艺制造橡胶水坝，难以使用耐天候优异的乙丙橡胶，只能使用氯丁橡胶；大容器的橡胶衬里受硫化设备限制，只好使用低温（100 以下）以至室温硫化的橡胶配方及冷粘贴技术。

橡胶配方设计固然要保证加工历程的顺利进行，而恰当的工艺条件不但会使橡胶 / 配合剂体系有效地发挥总体效能，甚至大大地改变其总体效能，“外在的”条件确实有时起着决定性作用。如丁基橡胶太阳能集热板，其改进的混炼工艺同常规工艺相比，臭氧老化裂纹出现时间分别为 290、170 (min)^[1]；塑炼不足，过早加入炭黑，或者 BLE、SW 等粘合剂的加料顺序不当，会使黄铜/NR 或 CR 的直接粘接效果大大下降；EVA/NBR 动态硫化比静态硫化有更好的耐热氧老化性能^[2]；稀释混炼法比常规方法使 NR 并用适量 BR 或 SBR 改进疲劳寿命^[3]。高温（例如 250℃）空气处理硫化胶数小时，体积电阻率 ρ_v 下降 1 ~ 2 个数量级^[4]。实际上，工艺历程的管理同样关系到制品的寿命，如对某飞机用密封胶圈断裂原因进行分析，表明在于管理不善，是胶料中夹杂物过多、颗粒粗大、混炼不匀而集中于胶圈某一截面所致^[5]。

橡胶制品的配方设计就是合理地选用橡胶、配合剂的品种与恰当的用量以至最佳组合，满足产品结构、加工历程、使用条件（与相应的使用性能）、产品寿命、外观质量、成本等综合要求，或在突出重点性能的前提下达到所需各种性能较佳的综合平衡，使其质量好、加工效率高，用低的效益成本获取高的成本效益。拟定橡胶配方，试验（了解配方组分变量对性能的关系或性能变化的趋向）、调整、验证（包括实地考察），最后确认适用于橡胶制品生产的橡胶、配合剂品种与用量的配比，这个过程称之为橡胶的配方设计。

橡胶配方就是表示橡胶、配合剂品种与用量的配比。生产用的橡胶配方还可包含更详尽的内容，例如，配方（或胶料）的名称与代号、用途、密度、含胶率、配炼工艺条件、物化性能以至成本，等等。

就配方的功能而论，大致有：

1. 检验配方

又称作标准配方，或鉴定配方。它用于橡胶、配合剂的性能评价、质量鉴定与分级验收。我国及许多国家制定与应用此类配方，国际标准亦相继制定与应用此类配方^[6]，带有权威性。有时，企业（原料供需双方）也可协商制定与应用此类质检（验收）性的配方。文献 6、7 录有橡胶及部分配合剂的标准配方，可参照与使用。

2. 性能配方

又称作技术（或研究）配方。一方面以橡胶、配合剂品种、用量比、特定组合，探求它们同胶料加工性能、硫化胶物化性能的相互关系（正向）；另一方面，以此为借鉴，针对橡胶制品的使用状况、工艺历程来拟定配方，或者为改进某些性能寻求新特性的配合（反向）。这类配方，从“正向”与“反向”强化了配方设计者对配方组成同性能相关关系的认识。

3. 制品配方

又称实用（或生产）配方。在性能配方获得实验室认证的基础上，结合工业生产实况、产品实际使用状况、成本等诸因素适当调整，最终得到适合工厂生产用的实用配方。无疑，制品配方的实施与制品的使用考察，必使人们获得制品使用性能同硫化胶物化性能之间相关关系的认识。

严格来说，橡胶配方设计就是拟定性能配方与确认制品配方。从原材料组合到成品物性的“正向思辨”同从成品物性要求到原材料组合的“反向思辨”共存，相辅相成。通过信息反馈、调节，逐步走向配方设计的“目标值”。

二、橡胶配方的表示方法

同一的橡胶配方，按需要有不同的表示形式，如表 1-1 示，包括质量份配方、质量分数配方、体积分数配方、生产（质量）

配方。

质量份配方常称基本配方，以橡胶用量为 100 份，配合剂用量份数相对于 100 份橡胶而言，这种表示方法最常用。为方便起见，本书上如没有特别注明，如写上“份”的，均表示质量份。

表 1-1 橡胶配方的不同表示方法

组 分	质 量 份 (份)	质量分数 (%)	体积分数 (%)	质量配方 kg	密 度 ($\times 10^3 \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
NR	100	62.2	76.7	50	0.92
S	3	1.8	1.0	1.5	2.05
促进剂 M	1	0.6	0.5	0.5	1.42
ZnO	5	3.1	0.6	2.5	5.57
St	2	1.2	1.6	1.0	0.92
炭黑	50	31.0	10.6	25	1.80
合计	161	100	100	80	

质量分数配方以橡胶加配合剂的总质量为 100%，橡胶及各种配合剂的质量以所占总质量的百分数表示，可以从基本配方演算出来，常用于质量成本核算。

体积分数配方，用基本配方中各组分的份数及其密度计算出各自的体积份，令全部体积份之和为 100% 总体积，求出各组分体积占总体积的百分数来表示。鉴于橡胶制品多以体积单位计算耗料量，故常用于体积成本计算。

生产配方又称质量配方，原材料总质量等于炼胶机一次炼胶容量，借此从基本配方演算出来，各种原材料以质量单位（kg 或 g）表示其使用量。

三、橡胶配方设计的指导思想

前已述及，配方设计者应有“整体”观念，切勿过分强调结

构设计、配方设计、加工历程任何一者的作用，认真注意它们既相互独立，又相互联系、协同与制约的关系。

橡胶配方中包含多种组分：橡胶及其它聚合物、硫化用配合剂（硫化剂或交联剂、促进剂、活性剂与助交联剂、防焦剂）、填充与补强剂、软化与增塑剂、防护用配合剂（抗氧剂、抗臭氧剂等防老剂）、特殊赋予配合剂（增粘剂、粘合剂、发泡剂、着色剂，等等）。橡胶制品可以说是多组分组成的多相复合系统。在加工历程中的热-化学、力-化学作用下，组分之间（例如硫化用配合剂之间、补强炭黑同橡胶大分子之间、不同橡胶大分子之间）有着复杂而又多样的物化作用。炭黑结合胶的形成、ENR的环氧基同白炭黑的羟基作用使体系的硫化进程加快^[8]，NR/CR低温塑炼引发的接枝等便是例证。橡胶配方每个组分自身的效能及它们之间的相互作用虽然对胶料的加工行为（如流动性、弹性恢复、硫化特性之类）、硫化胶物化性能、橡胶制品使用性能与寿命有着不尽相同的效应，但橡胶制品的性能无疑是配方组分系统效应的反映。系统效应指的是组分自身效能加组分间相互作用的总和。这也就再次强调橡胶配方设计者应确立“整体”观念。

配方设计，基础在于熟悉原材料的物性与效能，“神农尝百草”式的实验（控制论中的随机调节），虽然成败参半，但积累了大量实验数据，为配方设计以至科学理论的形成与发展打下了坚实的实践基础。

配方设计者把整个配方体系视作不打开的“黑箱”，进一步探索原材料品种、用量比（组合）等的输入信号同橡胶加工行为（参数）、硫化胶物化性能以及制品使用性能与寿命等的输出信号之间的“相关性”，然后加以辨析、调节与控制，借此寻求达到橡胶制品生产及使用要求的配合方案，也就是通过反馈调节达到“目标值”。“相关性”原理在配方设计中显然占有重要的地位^[9]。不管何时，人们还会这样进行配方设计，还会使人们觉得橡胶配

方设计仍依赖于长期积累的经验。

要使经验性的配方设计前进一步，必须将它上升到理论阶段，再以理论指导实践。橡胶合成技术从“正向合成”（先合成出材料，再了解物性）走向“逆向合成”（按物性要求“裁剪”成分与结构）的进步，表示人们以原材料组成/结构与形态/物性的理论认识指导实践的成功。实际上，人们在研究输入信号与输出信号相关性的同时，不但借此“推导”配方体系的“内在结构”，也不断地探索输入信号、输出信号同配方体系“内在因素”（形态、相界面、结构转化、交联类型与密度等）的联系。新的橡胶、新的以至多功能配合剂的开发与应用，测试仪器的开发及测试技术的不断进步，自然加强了对上述“相关性”内在实质的探索，加深了对橡胶配方体系微观世界的洞察，进一步深化了“配方体系的组成/体系的内在结构与形态/流变与加工性能及硫化胶性能”之间多重相关关系的认识，使配方设计建立在越来越坚实的理论基础上，提高了配方设计的科学性和设计者的自由度，摆脱凭经验工作的落后状态，有的放矢地由原材料的调整达到“内在因素”的调节，提高了调节的确切性（辨证施治），更加科学地发挥配方组分的系统效应。例如，过氧化物或有效硫化体系使橡胶具有碳-碳或单硫键交联，获得好的耐热性；SBR1502/炭黑配入 Amine-BSA 叠氮对氨基苯磺酰^[10]或者轮胎胎面胶中引入白炭黑/Si-69^[11]，以及 ENR/炭黑配入六亚甲基二胺^[12]，以提高抗湿滑性又降低滚动阻力，正好同 15Hz 下 -15℃（或 -20℃）的 $\tan\delta$ 增大及 60℃（或 70℃） $\tan\delta$ 减少相对应，又恰恰是调整了橡胶/填料、填料/填料的相互作用的结果。低滚动阻力炭黑、粗糙的表面、增多活性点，使同橡胶大分子的结合更牢固，同样使 60℃ $\tan\delta$ 下降^[13]。

数理统计方法与计算机技术的应用，以较少的实验获取较多的数据信息，节省人力、物力与时间。更重要的是，综合而非孤

立地研究变量，能够明确各个配合变量（因子）的主效应及因子之间的交互作用对多种性能影响的相应位置，排除试验中人为与仪器误差对试验结果的干扰，明确试验结果的精确度与可信度，甚至以数学表达式表述所获得的相关关系，抓住重点，综合平衡，优化配方组分的组合，预测性能。从“整体”辩证地思维，减少片面性，使配方设计的实验验证、调节与确认更加辩证、全面与科学。但无可否认，配方设计者的理论素养、间接与直接经验的积累、归纳与总括的能力在诸如选定因子、所需研究的因子间的交互作用以及多因子的水平值选定等方面仍时时起着极其重要的作用。变量水平同计算所得的结论息息相关，也决定着结果的相对使用价值。

科学在不断进步，但科学的进步仍受到时间制约。就目前状态而论，在橡胶配方设计过程中，“知其然，又知其所以然”，不但很好，有的也已做得到；只知其然，不知（或暂不求知）其所以然，有时在所难免；实践中，先用“其然”，用自己或他人的经验积累与总结，解决面对的问题，在必要与可能时才加深认识，求知“其所以然”，这也是经常出现的。实际上，过分地“求知其所以然”也并不实际，有时甚至未具备可能，“所以然”有时要等很久，随着科技进步才会昭然的。对结构性能关系的认识要达到更高层次，还要不断努力探索。另一方面，橡胶配方设计者再不能沉浸在配方设计在一定程度上仍依赖于长期积累的经验迷惘中，禁锢自己，盲目实践，以至不求进取了。应该切实了解与掌握原材料物性与效能，加强橡胶现有基础理论的素养，掌握控制论的调节与控制的方法，以此指导实践，勤于实践，加强直接与间接经验的积累、总括归纳与演绎深化，一步一步地从“必然王国”走向“自由王国”，早日达到“运用之妙，存乎于心”的境界。

四、橡胶配方设计的原则与程序

橡胶的配方设计，既要保证橡胶制品的使用性能与寿命、外观质量的要求，保证制品多结构部件间物化性能与工艺性能的恰当配合，又要保证加工历程的可行性以至高的生产效率，力求以低的效益成本获取相对高的成本效益。配方设计者应按具体情况，“辨证施治”（中医学用语，证，指症候群，在此指一组性能要求），突出重点，兼顾其它，综合平衡，发挥配方组分整体的“系统效应”。

配方设计选用原材料的基本原则可归纳如下：

(1) 按橡胶制品及各组成部件的使用条件、使用状况及寿命要求所确认的使用性能、硫化胶性能具体项目、指标，以及制品各部件性能的恰当配合来选用橡胶及其配合剂（包括品种及用量配比）。例如，轮胎胎面、鞋底都要求耐磨耗，但两者的指标会相差很大；轮胎胎面与砂磨机衬里都要求耐磨耗，磨耗工况不同，机理各异，硫化胶性能组合也会很不相同；轮胎胎侧与雨鞋面皮皆要求耐层挠疲劳，受荷条件与寿命要求不同，性能指标也相差较大；轮胎各部件胶料的定伸应力要求适当相配，用于印刷橡胶鞋底片材既要物机性能好，又要表面光滑以及同印刷油墨的相容性。这些都是例证。

(2) 保证加工历程可行的前提下，力求顺利进行（如生产效率、质量稳定性），按工艺历程拟定的各工序的工艺条件的组合来选用橡胶、配合剂品种与用量组合。例如，室温硫化胶浆贴合成型的气垫船围裙，按工艺历程可行性，应选用 CR 或 CSM，放弃 EPDM；以绢英粉取代 CaCO_3 ，可望加快挤出速度；硫化温度、介质、压力的差异，必将采用不同的硫 / 促进剂组合。

(3) 注意橡胶与配合剂的“相配”。切实注重橡胶 / 配合剂、配合剂 / 配合剂的相配，配合剂之间的协同与对抗、“相生相克”，

以求科学地发挥材料的总体效能。这往往是配方的相对合理性及优化配方的关键所在。绢英粉（120份）混炼胶同纯胶相比，IIR、EPDM、CPE、CSM等饱和橡胶的 t_s （焦烧时间）及 t_{90} （正硫化时间）缩短了，而NR、SBR、NBR不饱和橡胶则正好相反，但CR例外， t_s 延长了而 t_{90} 缩短了。另外，降低了自补强性好的NR、CR、CSM的拉伸强度、撕裂强度；而对无自补强能力的SBR、NB1、IIR、EPDM，只稍有点补强作用。但CPE例外，拉伸强度降低，但撕裂强度增大^[14]。例如，DTDM对CR迟缓焦烧与硫化，对NR之类则可作硫化剂；DCP、陶土（含水）使IIR热裂解；ZDC对NR有硫时为超促进剂，无硫时可作抗紫外线防老剂；NR之类不饱和橡胶适用的防老剂对IIR的耐层挠疲劳几乎无效；CSM的耐候、耐热配合，不宜使用ZnO，以免生成ZnCl₂；4010NA/BLE组合可望比每者单独使用大大改进NR之类橡胶的耐屈挠疲劳，对高填充胶料尤其显著；形成多硫交联键的硫化体系使防老剂效能下降；防老剂RD/2402酚醛树脂组配可减少RD迁移污染。对NR以S 1.2份/CZ1.8份为硫化体系配Si-69（1.5份），显现抗硫化还原特性，但对S 2.5份/CZ1.6份为硫化体系就不明显了^[15]。

（4）成本的总体核算，包括原材料成本及加工历程成本的核算。对于用胶量少、耗能多、每次产出率低的橡胶制品，加工历程成本尤其重要。效益成本是将制品使用寿命考虑在内，即单位寿命时间所耗原材料成本与加工成本之和。若制品寿命增长一倍，即使原材料成本与加工成本也增大一倍，效益成本不变，也应该是合算的，至少减少了维修拆卸与安装时间及由此引起生产停顿带来的损失，对于密封件、防腐衬里等尤其应加以注意。成本效益是指单位总成本下的制品寿命，可评价制品的质量水平。

对已批量生产的制品，保持原有物性又求降低配方（原材料）成本，有时往往是配方设计的难点。

橡胶配方设计的程序大致如下：

(1) 就橡胶制品的结构形式、使用条件（如负荷、工作温度、介质及工作状态，等等）、寿命要求，确认使用性能及与之相应的硫化胶物化性能具体项目及指标（确认调节与控制的目标值）。首先，关键在于用何种性能硫化胶来表征制品使用性能才能获得可靠评价，其次是确认该硫化胶性能指标对使用效果的关系。例如，对螺杆泵橡胶定子，压缩温升试验较好地表征它的动态性能，采用终动与初动压缩率之差小，终动永久变形低，压缩疲劳温升低的橡胶配方，制出的橡胶定子尺寸稳定、抗压缩力大，密封输送效果好、寿命长，而硫化胶硬度与含胶率同上述动态性能相关^[16]。对于 200m³ 隔膜泵的隔膜，属定应力型的疲劳，硫化胶高定伸应力的，疲劳寿命长^[17]。另外，拉伸、压缩应力松弛性能是衡量橡胶密封制品质量的重要参数，橡胶试样拉伸、压缩应力变化到某稳定值的时间短、橡胶密封件的跟随性好，密封效果就好，平稳应力值的大小也对密封效果起关键作用^[18]。同样，为评估轮胎胶料的抗龟裂增长性能，实验室孟山都疲劳、德墨西亚疲劳的测试结果同轮胎实验机的测试结果或胶料实际使用性能的相关性并不令人满意。只有脉冲测试的结果才同使用情况有好的相关性^[19]。可见，恰当选择测试仪器是非常重要的。

国际标准化组织属下的橡胶与橡胶制品委员会已经优选出 11 组橡胶材料性能：包括硬度、拉伸强度、扯断伸长率、定伸应力、撕裂强度、剪切模量、耐磨耗指数、耐热性、耐臭氧、耐天候与光、压缩永久变形与拉伸永久变形、应力松弛与蠕变、耐液体（包括耐化学药品）、动态性能、耐低温性、电性能、抗污染性和粘着性。它们的优选等级及试验方法可查国际标准 ISO1433—84 硫化橡胶性能优选等级。国家标准如 GB7535 硫化胶分类采用了国际标准的性能优选等级，并且正制定与 ISO 1433—84 对应的国家标准。橡胶材料的合格性能由供需双方协商确定。

每项单独的性能等级应从 ISO 1433—84 规定的优选等级中选取^[20]。此外，技术指标的表示也要规范。例如，硬度 52IRHD；拉伸强度 14MPa，扯断伸长率 180%，最好按 ISO1433—84 的规定写成：硬度 50IRHD；拉伸强度，最小 14MPa；扯断伸长率，最小 200%^[20]。

(2) 收集相应资料。例如，前人的实验数据、同类或类同产品技术数据，甚至实样剖析的数据，吸收他人的经验与思路，类比，结合自己面对的实际情况加以“变通”，寻找出求解问题的途径；明确各种信息、数据相对于目标值位置的“距离”，寻求到达目标值位置的调节方向与力度。

应该注意，橡胶、配合剂品种、加工历程、制品使用性能项目群及其指标等，多种多样，使得橡胶制品的配方千差万别，同时配方设计者的理论素养、工作阅历及经验积累上亦千差万别，加之他们所面对的原材料品种、规格上的差异，同一橡胶制品能满足使用性能、加工性能以及成本要求的配方会因人而异。可以说，配方设计蕴含着设计者主观与客观的色彩，具体配方的相对合理性是同外部条件相关联的，明智的配方设计者借鉴他人的资料、数据时务必要下一番功夫，去粗取精，去伪存真，结合自己面对的实况取舍。生搬硬套是得不到好结果的，“借鉴”与“变通”的能力同配方设计者的理论素养、经验积累、实践能力息息相关。

(3) 按照配方设计的基本原则拟定性能配方。对于实验室小配合试验，掌握配合因素、工艺条件对加工行为、硫化胶物化性能的效应或其变化趋向以及它们之间的相关关系，通过实验结果同目标值的比对，调整性能配方，直至选出恰当而又相对稳定的配方，进行复试。在此阶段，采用数理统计方法安排，应用计算机技术处理数据，正如前述会大有收益，以至可以依据实验所得结果与给定的目标值预示较适宜的配合变量与水平的组合。

(4) 中试。按照车间生产规模检验配方对实际工艺历程的适用性及相应的硫化胶性能，制取的成品可进行实用条件模拟试验以至实地考察，依据工厂实际生产条件及实验与考察反馈的数据、信息，找出差别，调整配方（或同步调整工艺条件），以求产品质量达标并相对稳定。一般来说，实验室获取的结果应用于工业大生产，许多性能水平是要打折扣的。

(5) 确认生产用配方及相应的工艺条件，投入工厂批量化生产并再作实地长期观察。

参考文献

- 1 缪桂韶等，罗权焜，刘桥生，等。太阳能游泳池用橡胶集热器的研制。特种橡胶制品，1987，8（2）：21～25
- 2 张祥福，许琪，张隐西，等。EVM/NBR 动态硫化共混物性能的研究。橡胶工业，1997，44（9）：521～525
- 3 Soumen Chakrabarty, et al. 通过改变混炼顺序改善胎面胶性能。谭向东译。橡胶工业，1996，43（2）：99～101
- 4 Anon. 高温加工硫化橡胶所得材料性能的研究。陈仁辉编译。世界橡胶工业，1998，25（3）：5～6
- 5 宋明江。涡喷-6 发动机前收油池开关胶圈断裂分析。特种橡胶制品，1988，9（3）：46～49
- 6 梁星宇 周木英。橡胶工业手册第三分册。修订版。北京：化学工业出版社，1992
- 7 于清溪。橡胶原材料手册。北京：化学工业出版社，1996
- 8 王迪珍，徐筱丹，李航。白炭黑填充的环氧化天然橡胶性能研究。橡胶工业，1995，42（6）：323～326
- 9 梁星宇。橡胶配方设计的相关性原理。特种橡胶制品，1997，18（2）：5～9
- 10 Gonzalez L, et al. 改善轮胎抗湿滑性和滚动阻力的新型炭黑 / 橡胶偶联剂。王培君摘译。橡胶译丛，1997，（6）：13～16

- 11 Anon. 高分散性沉淀法白炭黑。周宏斌译。橡胶参考资料, 1999, 29 (1): 56 ~ 57
- 12 Terakawa K, et al. ENR/ 二胺硫化胶在轮胎胎面中的应用。高静茹译。橡胶参考资料, 1998, 28 (10): 25 ~ 29
- 13 李炳炎。我国橡胶用炭黑市场前景及新产品开发动向。橡胶工业, 1999, 46 (3): 169 ~ 176
- 14 卢宇峰, 缪桂韶。绢英粉对橡胶硫化参数与力学性能的效应。特种橡胶制品, 1998, 19 (4): 14 ~ 17
- 15 张祥福, 张隐西, 朱玉堂, 等。NR 硫化返原研究。橡胶工业, 1998, 45 (4): 200 ~ 203
- 16 江虹。橡胶压缩疲劳温升试验在螺杆泵定子橡胶研究中的应用。特种橡胶制品, 1995, 16 (3): 51 ~ 53
- 17 丁宏铃。200m³ 隔膜泵隔膜的研制。世界橡胶工业, 1998, 25 (4): 31 ~ 32
- 18 高志超, 李洪运。硫化橡胶压缩应力松弛试验及对制品密封效果的探讨。特种橡胶制品, 1995, 16 (4): 46 ~ 49
- 19 Summer A J M, et al. 轮胎胶料的抗龟裂增长性能。韩新摘译。橡胶译丛, 1997, (1): 44 ~ 50
- 20 黄祖长。什么是橡胶材料的性能优选等级。特种橡胶制品, 1989, 10 (2): 30 ~ 31

第二章 橡胶配方组分的配合特性

了解橡胶配方中组分的配合特性，对橡胶配方设计极为重要。这里仅就几个主要的配方组分体系作简要的介绍，阐明其选配方法、相互之间的协同与制约关系，以及对整体性能的影响。

一、橡胶的配合特性

（一）橡胶的组成与结构同橡胶物化性能的关系

橡胶配方中，橡胶是主导因素，从橡胶的组成与结构这一内在依据去认识和掌握各种橡胶的特性才能有效地使用橡胶，发挥其特长，抑制与改进其不足，以满足橡胶制品加工历程与使用性能的要求。

表 2-1 列出各种橡胶的组成与结构。主链仅由碳元素组成的为碳链橡胶；主链除含有碳元素外，还有组成有机化合物的氧、氮、硫、磷原子的为杂链橡胶；主链含有一般天然有机化合物中所没有的硅（Si）、钛（Ti）、锆（Zr）、锡（Sn）、硼（B），而主链中元素相连着有机基团的为元素有机高聚物。

1. 主链的化学成分和主链的化学键类型

碳链橡胶同杂链橡胶最大差异在于前者不易水解，耐水性好；后者容易被水解剂、酸、碱、热水等分解，丧失使用价值。

表 2-1 橡胶的组成与结构

类别	名称	代号	组成与结构
不 饱 和 碳 链 橡 胶	天然胶	NR	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH}_2 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \\ \text{C}=\text{CH} \qquad \text{C}=\text{CH} \qquad \text{C}=\text{CH} \\ / \quad \backslash \quad / \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\ -\text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2- \end{array}$ <p style="text-align: center;"> ← 8.16Å → </p>
	(异戊胶)	IR	
	古塔波胶	GP	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_2 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \\ \text{C}=\text{CH} \qquad \text{C}=\text{CH} \\ / \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\ -\text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2- \end{array}$ <p style="text-align: center;"> ← 4.7Å → </p>
	丁苯胶	SBR	$\begin{array}{c} \text{内双键} \qquad \qquad \text{外双键} \\ \downarrow \qquad \qquad \qquad \rightarrow \\ \text{CH}_2 \qquad \text{CH}=\text{CH} \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH}=\text{CH} \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH}=\text{CH} \qquad \text{CH}_2 \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \\ \text{CH}_2 \qquad \text{CH} \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH} \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH} \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH} \qquad \text{CH}_2 \\ \text{反-1,4为主} \qquad \qquad \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH} \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH} \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH} \qquad \text{CH}_2 \qquad \text{CH} \qquad \text{CH}_2 \end{array}$
	顺丁胶	BR	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \qquad \qquad \text{CH}_2 \qquad \qquad \text{CH}_2 \qquad \qquad \text{CH}_2 \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \\ \text{CH}=\text{CH} \qquad \text{CH}=\text{CH} \qquad \text{CH}=\text{CH} \\ / \quad \backslash \quad / \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\ -\text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2- \end{array}$ <p style="text-align: center;"> ← 8.6Å → </p>
	1, 2-聚丁二烯	1, 2-PBD	$\text{-(CH}_2\text{-CH(CH=CH}_2\text{))}_n\text{-} \quad (\text{占70\%以上})$
	氯丁胶	CR	$\begin{array}{c} \text{Cl} \qquad \qquad \text{CH}_2 \qquad \qquad \text{Cl} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \\ \text{C}=\text{CH} \qquad \text{C}=\text{CH} \\ / \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\ -\text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2- \end{array}$ <p style="text-align: center;"> ← 4.8Å → </p>
	丁腈胶	NBR	$\text{-(CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{)}_x\text{-(CH}_2\text{-CH(CH=CH}_2\text{))}_y\text{-(CH}_2\text{-CH(CH}_2\text{CN))}_z\text{-}$

续表 2-1

类别	名称	代号	组成与结构
不饱和 和碳链	环氧化 天然胶	ENR	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}- \\ \quad \quad \\ \text{O} \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_3 \end{array} $
饱和 和碳链 橡胶	乙丙胶 (二元)	EPM	$ \begin{array}{c} (\text{CH}_2-\text{CH}_2)_x (\text{CH}_2-\text{CH})_y \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $
	乙丙胶 (三元)	EPDM	$ \begin{array}{c} (\text{CH}_2-\text{CH}_2)_x (\text{CH}_2-\text{CH})_y (\text{CH}-\text{CH})_z \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH} \\ \quad \\ \text{CH}-\text{CH} \\ \quad \\ \text{CH}-\text{CH} \\ \quad \\ \text{CH}=\text{CH} \quad \text{CH}_2 \\ \text{双环戊二烯} \\ \text{乙叉降冰片烯} \end{array} $
	丁基胶	IIR	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \quad \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad \\ (\text{C}-\text{CH}_2)_x (\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2)_y \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \quad \swarrow 0.6\% \sim 3.0\% $
	氯化聚 乙烯	CM	$ \begin{array}{c} (\text{CH}_2-\text{CH}_2)_x (\text{CH}_2-\text{CH})_y (\text{CH}-\text{CH})_z \\ \quad \quad \\ \text{Cl} \quad \text{Cl} \quad \text{Cl} \end{array} $
氯磺化 聚乙烯	CSM	$ \begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \{ (\text{CH}_2)_3 \text{CH} (\text{CH}_2)_3 \}_{12} \text{CH}_2 \}_{17} \\ \\ \text{SO}_2\text{Cl} \end{array} $	
丙烯酸 酯胶	ACM	$ \begin{array}{c} (\text{CH}_2-\text{CH})_x (\text{R}')_y \\ \quad \\ \text{COOR} \quad \text{Y} \end{array} \quad \text{R} \begin{cases} -\text{C}_2\text{H}_5 \\ -\text{C}_4\text{H}_9 \end{cases} $ $ \text{R}'-\text{Y} \begin{cases} \text{CH}_2=\text{CH}-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{Cl} \\ \text{CH}_2=\text{CH}-\text{OOCCH}_2\text{Cl} \\ \text{CH}_2=\text{CHCN} (\text{称 ANM}) \end{cases} $	

续表 2-1

类别	名称	代号	组成与结构
饱和 碳链 橡胶	氟橡胶	FKM	$-(CF_2-CH_2)_x-(CF_2-\underset{\substack{ \\ CF_3}}{CF})_y$ (Viton A)
			$-(CFCl-CF_2)_x-(CF_2-CH_2)_y$ (Kel-F)
			$-(CF_2-CF_2)_x-(CH_2-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH})_y$ (Aflas)
杂 链 橡 胶	聚氨酯 (PU)	AU	$-(R-\overset{\substack{O \\ }}{C}-O-R'-O-\overset{\substack{O \\ }}{C}-R-O-\overset{\substack{O \\ }}{C}-NH-R''-NH-\overset{\substack{O \\ }}{C}-O)_n$ (聚酯型)
		EU	$-(R-O-R'-O-R-O-\overset{\substack{O \\ }}{C}-R-O-\overset{\substack{O \\ }}{C}-NH-R''-NH-\overset{\substack{O \\ }}{C}-O)_n$ (聚醚型)
	聚 氯 醚 胶	CO	$-(CH_2-\underset{\substack{ \\ CH_2Cl}}{CH}-O)_n$ (均聚)
ECO		$-(CH_2-\underset{\substack{ \\ CH_2Cl}}{CH}-O)_m-(CH_2-CH_2-O)_n$ (共聚)	
GCO		$-(CH_2-CH_2-O)_m-(\underset{\substack{ \\ CH_2-O-CH_2-CH=CH_2}}{CH}-CH_2-O)_n$ 烯丙基缩水甘油醚	
聚硫胶	T	$-(CH_2CH_2SSCH_2CH_2OCH_2OCH_2CH_2SS)_m$ (Thiokol FF)	