

橡胶工业手册

第三分册

基本工艺

《橡胶工业手册》编写小组编写

技术试验科

石油化学工业出版社

橡 胶 工 业 手 册

第 三 分 册

基 本 工 艺

《橡胶工业手册》编写小组编写

石油化学工业出版社

目 录

第一章 橡胶的流动性	
第一节 高聚物与普通液体的粘性流动	1
第二节 橡胶的粘度	2
一、低切变速度下影响橡胶粘度的因素	3
1. 极性	3
2. 分子量	3
3. 支链	4
4. 温度	5
二、高切变速度下影响橡胶粘度的因素	7
第三节 橡胶的粘弹性	9
第四节 配合剂对胶料流动性质的影响	12
第二章 配方设计	
第一节 引言	15
一、配方设计的重要性	15
二、配方设计的目的	15
三、配方设计的变迁和发展	16
第二节 配方设计的要求与方法	17
一、配方设计原则	17
二、配方设计的程序	19
第三节 几种变量试验方法简介	21
一、优选法	22
1. 单因素优选	23
2. 双因素优选	30
3. 橡胶配方设计中使用优选法的几点体会	33
二、试验设计法(正交设计法)	34
1. 制定试验计划与求取试验结果	34
2. 效应计算	36
3. 显著性鉴定(方差分析)	36
三、拉丁方格组合法	55
四、等高线法	61
1. 等高线原理	61
2. 制图前的准备工作	62
3. 试验点的选择	62
4. 等高线作图法	63
5. 等高线图的分析运用	65
五、三角坐标法	67
六、几种方法的比较	69
第四节 各种原材料的配合	70
一、生胶	70
1. 胶种选择	70
2. 各种生胶的基本配方	71
3. 橡胶的并用	71

二、硫化剂	77
1. 对硫化剂的要求	79
2. 硫化剂的品种和用量选择	80
3. 各种橡胶使用的硫化剂	81
4. 通用胶新型硫化体系	82
三、促进剂	93
1. 作用和选择原则	93
2. 促进剂的分类	94
3. 主副促进剂的决定	98
4. 促进剂的并用	100
5. 促进剂的活性互换关系	102
6. 各类橡胶的硫化促进体系	102
四、防老剂	112
1. 防老剂的作用机理	112
2. 对防老剂的要求	113
3. 防老剂的类别和性能	114
4. 防老剂的并用	115
5. 不用防老剂的场合	117
6. 防老剂在各胶中的习惯用法	117
五、填充剂	117
1. 填充剂的作用	117
2. 补强机理	120
3. 决定补强效果的因素	121
4. 各类填充剂简介	126
六、增塑剂	137
1. 配用增塑剂的意义与目的	137
2. 增塑剂的分类	137
3. 选择原则	138
4. 化学增塑剂	138
5. 物理增塑剂	140
6. 增塑剂的选择	151

七、增粘剂	154
八、活性剂	155
九、防焦剂	156
十、发泡剂	158
十一、着色剂	160
第五节 橡胶的特性配合	161
一、耐热	161
二、耐寒	165
三、耐油	167
四、耐酸碱	169
五、耐水	171
六、耐臭氧	173
七、耐燃	175
八、气密性	175
九、绝缘	178
十、导电	179
十一、磁性	180
十二、高真空	181
十三、耐辐射	183
十四、防射线	185
十五、透明橡胶	186

第六节 橡胶的工艺配合	
要点	187

第三章 塑 炼

第一节 塑炼目的	190
第二节 可塑度的测定方法	192
第三节 塑炼机理	194
一、影响橡胶分子链断裂的因素	195
1. 氧的作用	195

2. 静电作用	195	8. 氯磺化聚乙烯橡胶	244
3. 热的作用	196	9. 氯醇橡胶	244
4. 机械力作用	197	10. 丙烯酸酯橡胶	244
5. 化学增塑剂的作用	200	11. 聚氨酯橡胶	244
二、低温塑炼机理和高温 塑炼机理	201	12. 氟橡胶	245
1. 低温塑炼机理(机械的)	201	13. 硅橡胶	245
2. 高温塑炼机理	203	14. 聚硫橡胶	245
第四节 塑炼方法	205		
一、准备工艺	205	第四章 混 炼	
1. 烘胶	205	第一节 混炼理论	248
2. 切胶	206	一、混炼胶的结构	248
3. 破胶	206	二、表面活性剂的作用	249
二、开炼机塑炼	206	三、混炼过程	251
1. 开炼机	206	四、结合橡胶的作用	254
2. 影响开炼机塑炼的因素	207	五、并用胶的混炼	256
3. 开炼机塑炼操作方法	213	第二节 配合剂的加工和 准备	265
4. 安全操作事项	214	一、粉碎	265
三、密炼机塑炼	215	二、干燥	265
1. 密炼机	215	三、筛选	265
2. 影响密炼机塑炼的因素	218	四、熔化、过滤和蒸发	266
四、螺杆机塑炼	221	第三节 混炼工艺操作	266
第五节 各种橡胶的塑炼 特性	222	一、各种原材料的混炼工 艺特性	267
一、天然胶的塑炼特性	222	1. 生胶的混炼特性	267
二、合成胶的塑炼特性	229	2. 配合剂的混炼特性	268
1. 异戊胶	231	二、混炼操作	269
2. 丁苯胶	232	1. 开放式炼胶机混炼	269
3. 聚丁二烯橡胶	235	(1) 开炼操作简述	270
4. 氯丁胶	238	(2) 开炼设备	271
5. 丁腈胶	241	(3) 开炼机理	272
6. 丁基胶	242	(4) 开炼操作的工艺因素	274
7. 乙丙胶	243	包辊性	274
		装胶容量	274

辊距	275
辊温	275
辊筒速比	277
辊筒转速	278
加料顺序	278
2. 密闭式炼胶机混炼	279
(1) 密炼设备	279
(2) 密炼操作简述	281
一段混炼	281
两段混炼	283
(3) 压片和造粒	285
(4) 密炼操作的工艺因素	286
装胶容量	286
加料顺序	286
混炼温度	287
上顶栓压力	288
转子速度	288
混炼时间	288
3. 连续混炼	289
(1) 螺杆式连续混炼机混炼	289
(2) 转子式连续混炼机混炼	290
(3) 传递式连续混炼机混炼	291
4. 混炼胶的冷却、停放和 过滤	292
(1) 冷却	292
(2) 停放	292
(3) 滤胶	292
第四节 各种橡胶的混炼	293
一、天然胶	293
二、异戊胶	294
三、丁苯胶	294
四、顺丁胶	295

五、氯丁胶	296
六、丁腈胶	297
七、丁基胶	298
八、乙丙胶	299
九、氯磺化聚乙烯橡胶	300
十、氯醇橡胶	300
十一、硅橡胶	301
十二、氟橡胶	302
十三、聚丙烯酸酯橡胶	303
十四、混炼型聚氨酯橡胶	304
十五、聚硫胶	304
第五节 混炼胶质量检查	304
一、目测或显微镜观察	304
二、可塑性测定	305
三、比重测定	305
四、硬度测定	307
五、物理机械性能测定和 化学分析	307
第六节 混炼胶主要质量问 题及改进措施	307
1. 配合剂结团	307
2. 可塑度过高、过低或不 均匀	307
3. 比重过大、过小或不均	307
4. 硬度过高、过低或不均	308
5. 喷霜	308
6. 硫化起点慢	308
7. 欠硫	308
8. 物理机械性能不合规格 不一致	308
9. 焦烧	308

第五章 压 延

第一节 压延理论	310
----------------	-----

一、压延受力现象	310
二、辊筒的弹性弯曲及其 补偿	312
1. 中高度	313
2. 辊轴交叉法	314
第二节 压延工艺对所用 设备的要求	316
一、压延机的种类和型号	316
二、辊筒与测厚装置	318
1. 辊筒	318
2. 测厚装置	320
第三节 压延准备工艺	322
一、热炼	322
二、供料输送	324
三、压延机运转准备工作	324
四、温度控制	325
五、压延操作安全注意事 项	326
第四节 压延作业	326
一、薄通滤胶	326
二、压片、贴合与压型	327
1. 压片	327
2. 贴合	338
3. 压型	340
三、纺织物贴胶和擦胶	341
1. 贴胶	342
2. 压力贴胶	345
3. 擦胶	346
四、压延胶料的配合要求	351
第五节 压延工艺常见质量 问题及改进意见	353

第六章 压 出

第一节 压出工艺对设备 的要求	355
一、机身	355
1. 机筒	355
2. 螺杆	357
二、机头和口型	358
1. 机头	358
2. 口型	359
三、传动装置	362
第二节 压出理论简述	363
一、胶料在机筒内的流动	363
二、压出设备的流量计算	364
三、挤出压力	365
四、压出变形	366
第三节 口型设计	367
一、口型设计的一般原则	367
二、口型的具体设计	369
1. 影响胶料膨胀收缩的因素	369
2. 设计具体步骤	370
第四节 压出操作	372
一、一般压出操作要点	372
二、热炼和供胶	372
三、滤胶	374
四、压出	374
1. 设备预热	374
2. 口型调节	374
3. 压出温度	374
4. 压出速度	375
5. 积胶处理	376
五、冷却与卷取	376

六、停放	378
七、裁断	379
八、压型续胶	379
第五节 压出胶料	380
一、压出胶料的一般要求	380
二、压出胶料的一般配合原则	380
三、压出胶料可塑性	381
四、各种橡胶的压出特性及配合要求	381
第六节 压出工艺质量问题及解决方法	385
第七节 压出安全操作注意事项	386

第七章 纺织物涂胶和浸胶

第一节 溶剂胶浆及其制备	388
一、胶浆用溶剂	389
1. 对溶剂的要求	389
2. 几种常用的橡胶溶剂	393
3. 混合溶剂	394
4. 溶剂的贮藏	396
二、橡胶的溶解	396
1. 橡胶溶液的胶体性质	396
2. 橡胶的溶解过程	396
3. 决定橡胶溶解度的因素	397
三、胶浆的配方原则	397
四、溶剂胶浆的制备	399
五、溶剂胶浆的技术要求	402
六、溶剂胶浆的贮藏	402

第二节 涂胶用胶乳及其

制备	403
一、原材料与配方	403
二、制备	403
第三节 水胶浆及其制备	404
一、原材料选择	405
二、各种添加剂的制备	405
三、炼胶	406
四、加水打浆	406
五、稀释	406
六、贮放	407
第四节 涂胶操作	401
一、坯布整理	407
二、上胶	408
1. 刮涂	408
2. 辊涂	409
3. 浸涂	410
4. 喷涂	411
三、干燥	411
四、涂隔离剂与卷取	412
五、操作顺序要点	413
六、涂胶操作常见的质量问题	413
第五节 溶剂回收	414
一、溶剂的挥发与耗失	414
二、回收方法	414
1. 冷凝法	415
2. 吸附法	416
第六节 涂胶工艺中的安全全生产	417
一、劳动保护	417
二、安全	417
1. 打浆工段	417
2. 涂胶工段	418

第七节 帘线和织物的浸

胶 419

一、帘线和织物浸胶的作

用机理 420

二、影响帘线和织物浸胶

质量的因素 421

三、帘线浸液的组成 421

四、浸胶工艺与设备 423

1. 浸胶设备 423

2. 浸胶操作 424

五、各种织物的浸胶 426

1. 棉帘布 426

2. 人造丝和锦纶帘布 426

3. 涤纶帘布 430

4. 维纶织物 435

5. 玻璃纤维帘布 437

第八章 橡胶的粘合

第一节 硬质胶法 439

第二节 镀黄铜法 440

一、黄铜成份对粘合强度

的影响 441

二、与黄铜粘合的胶料配

方 441

三、工艺要点 442

四、应用示例 442

1. 气门嘴与橡胶的粘合 442

2. 轴承套与橡胶的粘合 443

3. 真空伏辊与橡胶的粘合 443

4. 镀铜钢丝帘线与橡胶的粘

合 444

第三节 胶粘剂法 445

一、天然橡胶及其改性体

的胶粘剂 445

1. 修补用天然胶胶粘剂 445

2. 织物粘合用天然胶胶粘

剂 446

3. 布面胶鞋用胶胶粘剂 446

4. 胶面胶鞋用胶胶粘剂 450

5. 天然胶乳水泥胶胶粘剂 452

6. 天甲胶乳胶胶粘剂 453

7. 氯化橡胶胶胶粘剂 454

8. 氯化橡胶胶胶粘剂 454

二、多异氰酸酯类胶粘

剂 458

1. JQ-1 (列可纳) 460

2. 二甲氧基联苯二异氰酸酯 461

3. 多甲撑苯基异氰酸酯 461

4. 甲撑-双苯基 (4-苯基氮

基甲酸酯) 462

三、卤化丁基胶胶粘剂 462

1. 丁基胶卤化(氯化或溴

化) 462

2. 卤化丁基胶胶粘剂的制备 463

四、丁腈胶胶粘剂 464

1. 丁腈胶与硫化胶布的冷粘

合 464

2. 其它用途 465

五、氯丁胶胶粘剂 466

1. 影响氯丁胶胶粘剂粘合强

度的因素 466

2. 氯丁胶/酚醛树脂胶粘剂 468

3. JQ-1 改性氯丁胶粘

剂 468

4. 环氧树脂改性氯丁胶粘

剂 470

5. 丁腈胶氯化胶改性氯丁胶

胶粘剂 470

6. 氯丁胶腻子	470
六、硅烷类胶粘剂	472
1. 氟橡胶与金属的粘合	472
2. 硅橡胶与金属的粘合	473
3. 硅橡胶与合成纤维的粘合	473
七、硅橡胶胶粘剂	474
1. 室温硫化硅橡胶胶粘剂	474
2. 硅橡胶与辊芯的粘合	476
第四节 粘合工艺	476
一、金属表面处理	476
二、胶粘剂的涂刷	476
三、贴合与硫化	477

第九章 硫 化

第一节 概 述	478
一、硫化对橡胶性能的影响	478
二、硫化各阶段	481
1. 硫化诱导阶段	481
2. 预硫阶段	482
3. 正硫化阶段	482
4. 过硫阶段	483
三、天然胶与合成胶的硫化特性	484
四、正硫化及其测定方法	484
1. 化学方法	485
2. 物理方法	486
3. 器械方法	488
第二节 硫化条件的确定与调整	494
一、确定硫化条件的程序	494
二、硫化温度	495

1. 硫化温度系数	495
2. 硫化温度对各种橡胶的影响	499
三、硫化压力	503
四、硫化时间	504
1. 胶料导热系数	505
2. 各层温度的测算	508
3. 硫化强度与硫化效应	511
4. 相当试片硫化时间 (S)	512
5. 最小与最大硫化效应 (E_d 与 E_∞)	515
6. 多层胶料制品硫化时间的确定	515
7. 厚壁制品硫化时间的计算	516

五、硫化时间的调整	518
-----------------	-----

第三节 硫化方法	519
一、硫化方法的分类	519
二、各种硫化方法	520
1. 室温硫化	520
2. 冷硫化	520
3. 热硫化	520

第四节 硫化工工艺中的几个问题	548
-----------------------	-----

一、焦烧	548
二、硫化收缩率	549
三、模具温度	552
四、启模与脱模	552

第五节 硫化工工艺中常见的质量缺陷与改进方法	553
------------------------------	-----

第十章 橡胶模具设计

第一节 概 述	555
---------------	-----

一、橡胶模具分类	555	2. 模具外型尺寸	569
二、模具设计要求	555	六、模具的定位	572
第二节 橡胶模具设计	556	1. 橡胶模具的定位(外型)	572
一、橡胶模具特点	556	2. 型芯的定位	574
二、模具材料	556	七、启模、合模与制品的 取出	575
三、模具结构	557	1. 启模	575
1. 分型面	557	2. 胶料的填充和制品的取出	576
2. 余料槽	559	八、模具技术要求	583
3. 镶块	559	九、模具生产效率及使用 寿命	583
4. 嵌件	563	1. 生产效率	583
四、胶料收缩率及模腔尺 寸之标注	566	2. 使用寿命	584
1. 胶料收缩率	566	3. 模具的保养和清洗	584
2. 模腔尺寸之标注	567	十、轮胎硫化外模	585
五、模具的配合及外型尺 寸	568	附录：常用密封制品的模 具结构	590
1. 模具的配合	568		

第一章 橡胶的流动性

橡胶随温度的变化会呈现三种物理状态：玻璃态、高弹态和粘流态。粘流态橡胶在外力作用下产生不可逆变形，即为流动。

橡胶的流动在加工过程中具有十分重要的意义。塑炼、混炼、压延、压出、成型、模压和注压等单元操作都是借助于或通过胶料的流动来实现的。舍此，橡胶将无法加工。因此，橡胶的流动性性质是胶料在整个加工过程中最重要的基本工艺特性。

从分子的无序组织角度来看，生胶实质上可以看作一种粘度很高的液体。生胶经过塑炼就变得柔软而易于流动，能很好地混入各种配合剂，制成半成品，硫化后才基本上失去了流动性，从而变成以产生弹性变形为主的材料。

橡胶是高分子化合物，所以其流动与普通低分子物质的流动具有不同的特性。概括地说，橡胶流动的基本性质有三：一，链段在大分子中作无规则布朗运动，在外力作用下，这种链段运动会导致大分子的移动；二，生胶及胶料粘度在较低剪切速度下为常数，在较高剪切速度下为变数；三，流动时分子链有构象的改变。所以在粘性流动的同时伴随有高弹变形。

第一节 高聚物与普通液体的粘性流动

低分子液体的流动是通过热运动所引起的分子跃动来完成的，为了克服周围分子的相互作用，要求有一定的活化能。在没有外力作用的情况下，各方向的跃动几率相等，观察不到流动。在有外力作用的情况下，不同方向的跃动几率产生差异，于是在作用力的方向上跃动几率增大，这就表现为液体的宏观流动。粘度很高的液体的流动，即称粘性流动。

根据对低分子液体的研究，粘流活化能 E 和液体的蒸发热 $E_{\text{蒸}}$ 之

间存在着一定的关系,

$$E_{\text{蒸}} = \alpha E \quad (1)$$

式中 $\alpha = 3 \sim 4$ 。

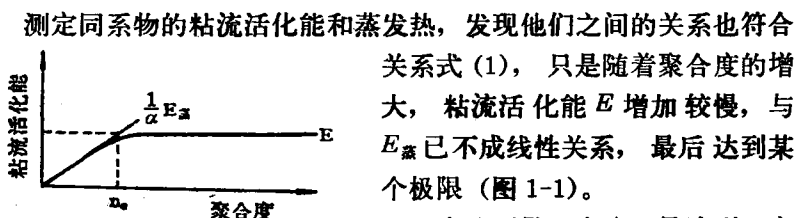


图 1-1 聚合物粘流活化能 E 与聚合度关系

测定同系物的粘流活化能和蒸发热, 发现他们之间的关系也符合关系式 (1), 只是随着聚合度的增大, 粘流活化能 E 增加较慢, 与 $E_{\text{蒸}}$ 已不成线性关系, 最后达到某个极限 (图 1-1)。

由此可见, 当分子量达到一定数值时, 聚合度对粘流活化能基本上已无影响, 即在流动过程中分子的跃动不是整个分子链的同时移动, 而是通过柔性分子各个链段的移动来实现的。所有链段的多次移动 (或跃动) 的结果导致整个大分子链的移动。这里, 链段即等效于小分子。这种链段的大小 n 。可以根据蒸发热的 $1/4 \sim 1/3$ 等于聚合物粘流活化能极限值的关系来求出。在线型烃类聚合物中, 用这个方法确定的链段约等于含 $5 \sim 50$ 个碳原子的主链。

第二节 橡胶的粘度

液体流动会有阻力。要使液体流动就必须消耗一定动力, 来克服阻力。液体内部阻碍其相对流动的这种特性即为粘滞性。一般粘性液体在外力作用下产生流动时, 切变速度 $\dot{\gamma}$ 与剪切应力 σ 成正比关系, 即:

$$\sigma = \eta \dot{\gamma} \quad (2)$$

这个关系称为粘度定律, 即牛顿粘度定律。式中, η 为比例常数, 称为粘滞系数, 简称粘度, 单位为泊 (达因·秒/厘米² 或克/厘米·秒)。

粘度是液体流动的重要性质和指标, 也是胶料的重要性质。液体粘度值小表示容易流动, 粘度值大则表示不容易流动。例如在室温时, 水的粘度 η 为 0.01 泊; 蓖麻油为 10 泊; 塑炼胶约为 10^6 泊。可见胶料粘度很高。因此, 它比一般普通低分子液体的流动要困难得多。

液体的粘度来源于分子间的内摩擦, 其数值取决于分子的内聚力 (或吸引力)。不同液体有不同的内聚力, 内聚力大的表现为粘度大,

相反则小。因此，凡是影响内聚力的因素，对粘度均有影响。由于橡胶粘度与切变速度关系较为复杂，为叙述方便，将低切变速度和高切变速度的情况分别进行讨论。

一、低切变速度下影响橡胶粘度的因素

在切变速度较低的情况下，影响橡胶粘度 η_0 的因素很多，现分述如下：

1. 极性 不同种类橡胶具有不同的极性。一般地说，极性橡胶的内聚力比非极性的大，其粘度也比后者为大。

2. 分子量 试验证明，各种直链橡胶（或其他聚合物）的粘度与其分子量有如下关系：

$$\eta_0 = K_1 M^{3.4} \quad (3)$$

式(3)中， η_0 为粘度； K_1 为常数（在一定温度下各种高聚物的数值不相同）； M 为分子量。此式表明橡胶粘度与其分子量成指数关系。因为分子量愈大，分子链就愈长，大分子间的吸引力愈大，分子间要产生滑动（流动）就很困难。如异戊胶的单体异戊二烯，在室温时为液体，沸点为 34°C ，极易流动；随着聚合度的增加逐渐变稠，以至成为弹性体，分子量达几十万，此时，它的流动便很困难。由此可见，要降低生胶的粘度，增加流动性和可塑性，最有效的办法是降低其分子量。

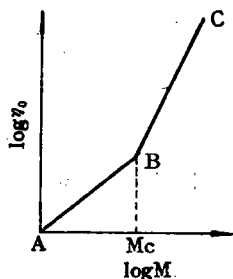


图 1-2 橡胶粘度 η_0 与分子量的关系

实验证明，直链或支化程度很低的橡胶的粘度 η_0 与分子量的关系如图 1-2 所示。

在图 1-2 中， B 为转折点，与其对应的临界分子量为 M_c 。当分子量小于 M_c 时，粘度 η_0 与分子量的关系由直线 AB 表示，斜率为 1，其关系式为：

$$\eta_0 = K_2 M \quad (4)$$

此时，粘度 η_0 与分子量成正比。当分子量大于 M_c 时，直线 BC

的斜率为 3.4。因此，式(3)只适用于分子量大于 M_c 的高聚物。

ABC 线之所以在 B 点转折，主要是由于分子链变长后产生缠结的缘故。分子链产生缠结点后，相互之间的滑动比较困难，阻力就增大。分子量小时，分子链较短，相互之间没有缠结点。这时，分子链就比较容易滑动，因而粘度 η_0 与分子量成正比关系。由此可见，临界分子量 M_c 就是开始有缠结点的分子量。

分子量 M_c 的数值由实验测定。各种聚合物的 M_c 值不同：天然胶与聚异丁烯为 17,000；聚苯乙烯为 40,000；硅橡胶为 37,000。一般塑炼胶的分子量都在 100,000 以上，其粘度 η_0 与分子量 M 的关系是符合式(3)的。聚异丁烯和二甲基硅橡胶的粘度与数均分子量的关系如图 1-3 和图 1-4 所示。

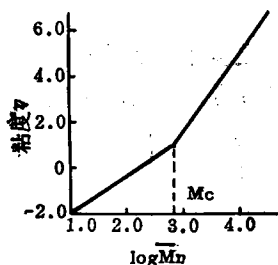


图 1-3 聚异丁烯粘度与数均分子量的关系 (217°C)

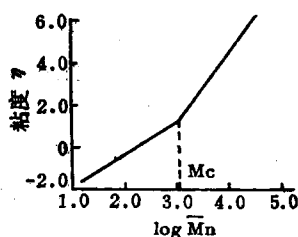


图 1-4 二甲基硅橡胶粘度与数均分子量的关系 (25°C)

分子链相互缠结是一种物理结合，外力作用可以使之滑脱。除去外力后，当胶料静止时，缠结点又重新产生。当外力作用时间很短时，缠结点来不及解脱，生胶表现出较大的弹性。

设 M_e 为一条分子链上相邻两个缠结点之间的分子量。则：

$$2 M_e \simeq M_c \quad (5)$$

在一条很长的分子链上缠结点的数目是相当多的。

3. 支链 生胶一般为直链型分子所组成，但有时也有支链。支链的存在，对橡胶的粘度有一定影响。通过对多链聚合物的研究，表明多链聚合物对粘度的影响有两种情况。当支链相当短时，则粘度 η_0 比同等分子量的直链分子低得多，易于流动；如果支链很长，则粘度 η_0

比同等分子量的直链分子高很多 (约 10~100 倍), 见图 1-5。

由图 1-5 所示, 直链分子的粘度符合式 (3), 而多链分子则不符合。当支链短时, 粘度都比直链分子的低; 支链逐渐增长粘度随之上升, 当支链长到一定值时, 粘度很快上升, 比直链分子大若干倍。

同样, 支链的多少对粘度的影响亦有类似的情况。在分子量相等条件下, 支链越多, 则支链越短, 其空间位阻越小, 因此阻力小, 粘度低, 易流动。如果支链越少, 则支链越长, 其空间位阻越大, 因此阻力大, 粘度高, 不易流动。

由上可见, 短支链分子对降低胶料粘度的效果很大。利用这一特性, 在胶料中加入少量再生胶就能获得很好的流动性, 易压出, 膨胀率小。这是由于再生胶大多为带不太长的支链的大分子所组成, 同理, 将 80% 半硫化天然胶乳与 20% 普通胶乳混合制得的易操作橡胶, 也具有易压出和膨胀率小等良好的加工性能。此外, 丁苯胶和丁腈胶也可采用相同方法改进加工性能。

4. 温度 温度对橡胶的粘度影响很大, 随着温度增高而粘度下降。橡胶处于粘流态时其粘度与温度的关系可用阿累尼乌斯公式表示:

$$\eta_0 = A e^{\frac{E}{RT}} \quad (6)$$

或

$$\ln \eta_0 = \ln A + \frac{E}{RT} \quad (7)$$

式中 η_0 ——粘度 ($\dot{\gamma}$ 较低);

A ——常数;

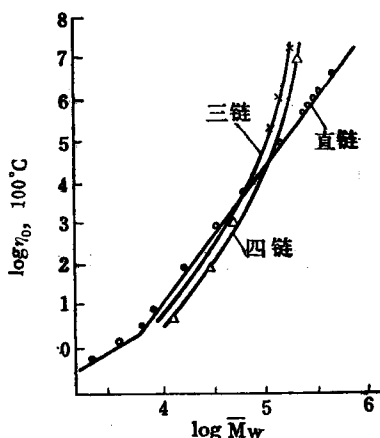


图 1-5 顺丁胶的粘度 η_0 与分子支化度的关系

E ——粘流活化能；

R ——气体常数；

T ——实验绝对温度。

如上所述， E 为分子流动时所需要的能量，用来克服流动时分子的内聚力。 RT 则为每克分子的动能，即热运动的能量。从式 (6) 或 (7) 可见，粘度取决于两个能量的比值 E/RT ，提高温度会显著降低粘度。

粘度与温度的关系还可以用另一形式表示：

$$\log \frac{\eta_{0T}}{\eta_{0T_g}} = \frac{-17.44(T - T_g)}{51.6 + T - T_g} \quad (8)$$

式中 η_{0T} ——实验温度 T 时的粘度；

η_{0T_g} ——玻璃化温度时的粘度；

T ——实验绝对温度；

T_g ——玻璃化温度。

亦即粘度和温度的关系可以用玻璃化温度 T_g 表示。橡胶玻璃化温度愈低，表示分子链的活动性愈大，流动性也愈好。橡胶玻璃化温度与内聚力有关，例如丁腈胶和氯丁胶等极性橡胶因内聚力较大，玻璃化温度就较高。几种橡胶的玻璃化温度 T_g 如表 1-1 表示。

表 1-1 几种橡胶的玻璃化温度

橡胶类型	$T_g, ^\circ\text{C}$	橡胶类型	$T_g, ^\circ\text{C}$
天然胶	-72	丁腈胶	-42
丁基胶	-71	氯丁胶	-50
丁苯胶	-61	二元乙丙胶	-61
顺丁胶	-86	三元乙丙胶	-57

综合考虑分子量和温度等因素对粘度的影响，可用以下关系式表示：

$$\log \eta_0 = 3.4 \log \bar{M}_n - \frac{17.44(T - T_g)}{51.6 + T - T_g} + K_3 \quad (9)$$