

美发车间奇遇

作者：胡奕妍，李雨馨，邓红梅，谢丽，陈万平； Email: 2136794865@qq.com

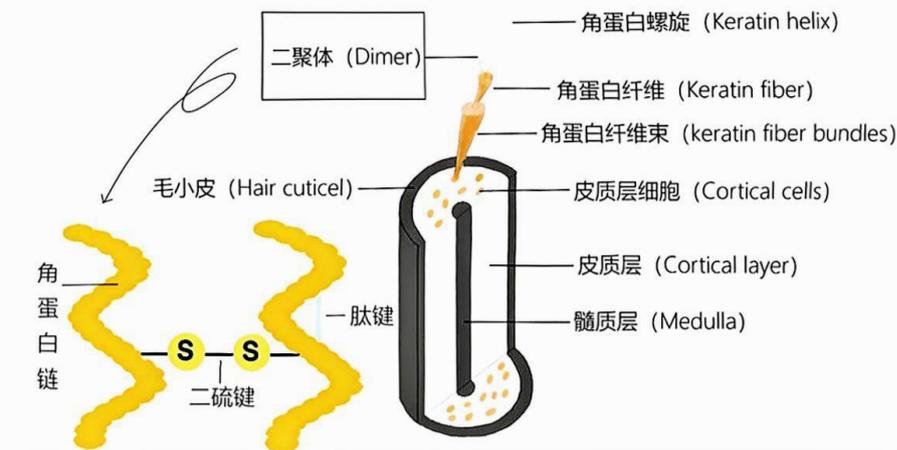


在头皮小镇的发丝工厂里,无数角蛋白分子有序排列,构成一根根发丝。小卷无精打采地趴在生产线上,它望着镜子里自己微微卷曲的轮廓,满心困惑:“为啥有的伙伴天生笔直如溪流,有的生来卷翘似浪花,我到底能不能自主变造型呀?”同班组的小直凑过来,用“发丝胳膊”戳戳它:“我听说隔壁美发车间,藏着能让头发‘改头换面’的‘变形密码’,要不咱偷偷去探探?”就这样,一场关于头发直卷奥秘的化学冒险,悄然拉开帷幕……

小卷和小直蹑手蹑脚地走进美发店,两人略显拘谨的模样很快吸引了造型师 Tony 的注意。Tony 走上前,笑着拍了拍小卷的肩膀,说道:“哈喽,你好呀!是来做发型的吗?我们刚推出一款新的直发套餐,要不要给你介绍下详情?”看着 Tony 干练专业的样子,小卷紧张地轻轻点头。

Tony 见状继续说道:“你知道吗?作为头发,我们的结构从外到内依次为毛小皮、皮质层和髓质层(图1)^[6]。

最外层的毛小皮内含有丰富的硫蛋白,能抵御外界物理和化学因素的影响,能对我们起到保护、锁水以及维持光泽等作用。它是我们健康的外在标志,



①【图1】头发结构示意图^[6]

一旦受损,就会导致我们干枯、毛糙、分叉并失去光泽^[2]。

中间的皮质层,是我们头发的主要部分,是决定头发弹性、强度和形态等的核心结构。皮质层中还含有黑色素颗粒,分别是真黑色素和类黑色素,其中真黑色素是黑色或棕色,类黑色素是黄色或红色,这些色素颗粒的种类与含量直接决定着我们头发的颜色^[3]。

最内层的髓质层,其内部有无数气孔,可辅助隔热^[4]。除此之外,髓质层还能保护头部,防止紫外线的直接照射^[5],但它并非所有头发都具备。”

另外一位慵懒蓬松的造型师 Linda 跟着补充道:“在这三层结构中,皮质层是我们烫发变美

的核心对象。皮质层细胞的主要成分是角蛋白。在角蛋白的结构中,它以角蛋白多肽链为基本单位,角蛋白多肽链通过氢键等作用力盘曲折叠形成角蛋白螺旋,两条角蛋白螺旋相互缠绕形成二聚体,多个二聚体首尾相连形成原丝,原丝们之间相互缠绕形成角蛋白纤维,多条角蛋白纤维进一步平行排列或交织,形成更粗的角蛋白纤维束(图1)^[1,6]。

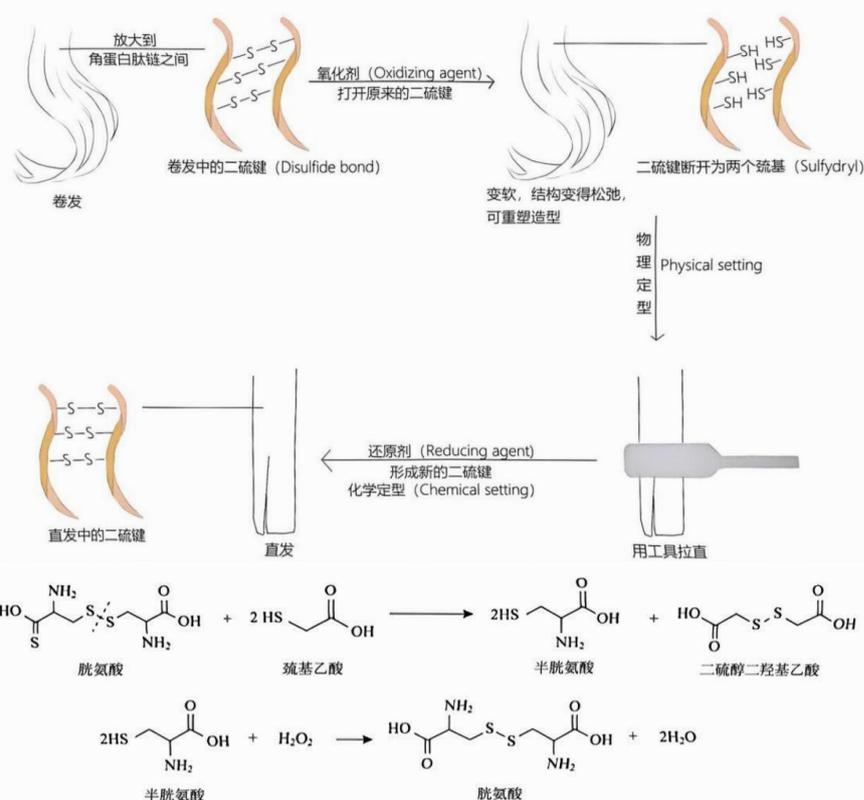
在这些过程中,二硫键(-S-S-)均发挥了不可或缺的作用。二硫键是一种强化学键,通常由两个半胱氨酸残基中的巯基(-SH)经过氧化反应连接而成(图1),是维持头发结构稳定的核心化学键^[7]。形成了角蛋白纤维束之后,角蛋白纤维束内部与角蛋白纤维束之间,又会通过大量的二硫键及其他次级

键连接，形成坚固的三维网状结构。在没有外力作用的情况下，这些三维网状结构使我们头发呈现天生自然的形状。如果我们破坏掉它们并为我们头发重新构建新的三维网状结构，我们就可以实现形状的改变^[8]。”

随后 Tony 开始介绍起了新款直发套餐（卷发拉直流程及烫发原理如图 2 所示）。

“首先，我们会用小刷子轻轻涂抹一些软化剂在你们身上，它会迅速渗入发丝，像是在和每一根头发签订‘变直协议’。常用的软化剂为巯基乙酸（ HSCH_2COOH ）软化剂中的巯基（ $-\text{SH}$ ）与二硫键（ $-\text{S}-\text{S}-$ ）发生反应，将其还原为 2 个巯基（ $-\text{SH}$ ），从而破坏角蛋白链的交联结构^[9]，使原本倔强卷曲的发丝，渐渐服软，仿佛被施了定身咒，不再肆意舞动，安静地等待着命运的改变。

半个小时过后，我们将用温水清洗头发，温水如瀑布般倾泻而下，温柔地抚摸着每一根发丝。洗发水像会施魔法的泡泡仙子，一接触头发，就迅速变成绵密的泡沫，欢快地钻进发间，把灰尘和油脂这些“小脏鬼”通通赶走。随后用温水冲洗带走泡沫，吹干头发。



【图 2】卷发拉直流程及烫发原理^[9]

用直板夹进行拉直，直板夹像是拥有神奇力量的魔法师，散发着微微的热气。它轻轻夹住发丝，缓慢移动，所到之处，发丝乖乖地变得笔直顺滑。高温（ $185\sim 220\text{ }^\circ\text{C}$ ）拉直时，水分子与角蛋白之间的弱键——氢键会被破坏，让头发更易变形^[10]。

再涂抹我们的独家秘方定型药剂，将巯基（ $-\text{SH}$ ）重新氧化成二硫键（ $-\text{S}-\text{S}-$ ），此时角蛋白链在拉直状态下重新交联，固定头发为直发形状。最后再将头发清洗干净，吹干就能得

到一头完美的优雅直发啦！”

在 Tony 的话术之下，小卷迫不及待地就坐到了镜子面前，“太棒啦，我要变直变美，Tony 快帮我改变吧！”

时间一分一秒过去，随着 Tony 一声“完美”，焕然一新的小卷转过头来——锃亮柔顺的卷发惊艳了在场所有人。它对着镜子欣赏着新造型，激动地对身旁的小直说：“小直小直，这太奇妙了！你也赶紧试试，肯定会很时髦！”

表 1 定型剂和软化剂的类型^[18-20]

产品类型	常见化学物质	主要作用
定型剂	聚乙烯吡咯烷酮 (PVP)、丙烯酸类共聚物 (如丙烯酸酯 /VA 共聚物)	干燥后在头发表面形成薄膜, 固定发型, 定型持久 (PVP 常见于发胶、摩丝), 兼具定型力与柔韧性, 避免头发僵硬 (常见于发蜡、定型喷雾)
	乙醇 (酒精)、异丙醇	溶解成膜剂, 帮助成分均匀附着在头发上
	泛醇 (维生素 B5)、阳离子表面活性剂 (如聚季铵盐)	减少定型剂导致的头发干涩, 提升顺滑度
	防腐剂 (如苯氧乙醇)、香精	防止产品变质 改善产品气味
软化剂	巯基乙酸盐 (如巯基乙酸铵)、半胱氨酸 (或其衍生物)	破坏头发二硫键, 使头发变软可塑形, 温和且效率高 (主流家用 / 沙龙产品首选), 作用相对温和, 对头发损伤略低 (多见于“植物软化”概念产品)
	氨、单乙醇胺 (MEA)、氢氧化钠	调节 pH 值 (多为碱性), 打开头发毛鳞片, 助力还原剂渗透 (氢氧化钠为强碱性, 多用于快速拉直产品, 需谨慎使用)
	乙二胺四乙酸 (EDTA) 二钠盐	防止水中金属离子影响软化效果
	甘油、丙二醇	减少软化过程中头发水分流失, 避免头发干枯

造型师 Linda 顺势用自己卷曲的发丝碰了碰小直的手臂, 热情邀约: “嘿朋友, 相信我, 我能让你成为全场最靓的仔!” 小直看着小卷优雅的新模样, 又望了望气质时髦的 Linda, 心里像揣了群蚂蚁: “自己这直溜溜的头发, 看久了确实腻, 要不也试试?” 它点点头, 立刻被 Linda 带到了造型区。

Linda 先是为小直做了湿热处理, 温柔解释道: “感受到水分子在进入你的发丝了吗? 它们会‘拆’开维持直发的氢键, 让头发变软, 就像在做按摩呢。这些被水分子破坏的氢键, 本质是角

蛋白多肽链间的特异性连接——每条角蛋白多肽链的肽键都有氨基氢和羰基氧, 相邻多肽链的氨基氢与羰基氧会相互吸引形成氢键, 正是这些氢键和二硫键共同支撑着头发的直发形态^[11]。”小直感觉发丝渐渐失去了原先的硬挺, 懵懂中透着期待。

接着, Linda 拿出还原剂涂抹在小直的发丝上: “这还原剂就像‘化学剪刀’, 能切断发丝里的部分二硫键——这些‘小锁’原本牢牢锁住头发形状, 现在被撬开, 头发就松散了, 能随意弯曲啦!” 小直听得新奇, 看着直发丝慢慢变得“听话”、能被随

意摆弄, 觉得有趣极了。

随后, Linda 将软化后的发丝缠绕在卷发棒上, 笑着说: “现在松散的角蛋白纤维要顺着外力重新排列, 这是给新造型打基础哦!”

“最后一步, 涂氧化剂!” Linda 边操作边介绍, “氧化剂中的过氧化氢在碱性拉直环境中 (如配合氨类成分), 会分解生成羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$)、过氧阴离子 ($\text{O}_2^{\cdot-}$) 等活性氧物种, 这些物种具有强氧化性, 是破坏二硫键的核心“工具”。活性氧会优先攻击二硫键中的硫原子, 使硫原子被氧化,

先形成不稳定的中间产物“次磺酸”($-S-OH$)；接着次磺酸进一步被氧化，或与相邻巯基($-SH$)反应，最终导致二硫键完全断裂，生成2个独立的、氧化态更高的含硫基团(如磺酸基 $-SO_3H$)，彻底解除头发原有的卷曲张力，于是角蛋白结构松弛，头发便具备了改变形状的可塑性^[9]。再加上卷发棒的加持，卷发棒会将温度稳定在 $160\sim 200\text{ }^\circ\text{C}$ ，这个温度能精准破坏角蛋白分子间的氢键；等发丝冷却至室温后，这些氢键会重新形成，并且会顺着卷发棒的弧度，在新的位置搭建起氢键连接，和重新形成的二硫键一起，把卷发形状牢牢固定住^[12]。好了，期待奇迹吧——时尚大卷完成！”

小直盯着镜中崭新的自己，心里像烟花般绽放，完全沉浸在变美的喜悦中。小卷也凑上前来感叹：“天啊，太好看了！原来头发的直与卷这么奇妙！”

告别造型师后，小直和小卷激动地回到工厂，引来大家的一阵夸赞和好奇。于是，它俩把头发变直变卷的奥秘分享给了众人。欢声笑语中，小直和小卷都没注意到：经过这一系列化学处理，发丝的“健康防线”已悄悄出现裂缝。一场隐藏在神奇“变形态”背后的“发丝危机”，正

慢慢逼近，即将让它们的“身体”付出代价……

时间一天天过去，小卷发现自己的“毛小皮鳞片”变得粗糙翘起，原本顺滑的发丝摸起来像砂纸；小直的卷发也没了刚做好时的弹性，发尾开始分叉，甚至轻轻一拽就容易断裂。它们这才惊觉，那场“化学冒险”让角蛋白结构里的“钢筋”二硫键断了不少，毛表皮也像被刮花的玻璃，再也无法紧密贴合保护内部。

“原来变美真的要付出代价啊……”小卷摸着自己干枯的发丝叹气。小直看着镜中失去光泽的卷发，想起Linda操作时那滋滋作响的卷发棒，突然明高温和化学药剂就像悄然蔓延的藤蔓，正一点点缠绕、勒紧它们的健康，让生命力在无声中被消磨。

这时，见多识广的老发丝慢慢悠悠晃过来，用自己依旧柔韧的“身体”轻轻蹭了蹭它们：“傻孩子，这是由于在做头发的过程中，使用的氧化剂的强氧化性会溶解毛小皮表面的脂质层，毛小皮最外层的脂质主要是神经酰胺和脂肪酸，它们是锁水屏障的关键。氧化剂的强氧化性会氧化脂质分子中的不饱和脂肪酸链，导致脂质链断裂、交联，使脂质层结构瓦解，失去锁水能力，头发开始

变得干燥，导致鳞片失去黏合保护，变得粗糙、翘起；同时，氧化剂会进一步侵蚀毛小皮的蛋白质结构，使鳞片边缘断裂并脱落，最终导致头发毛躁、易断和失去光泽^[10]。此外，紫外线也会对头发造成化学损伤。紫外线具有较高的能量，会引发头发中二硫键的光氧化断裂反应，在这个过程中，会生成如 SO_2 等物质，进而影响头发的结构与性能，使头发更容易出现干枯、断裂等问题^[13]。快让我这‘老工匠’教教你们怎么修补‘钢筋’和‘鳞片’吧！”

“首先得给头发放个假！”老发丝抖了抖顺滑的外层，“化学药水就像强力胶水，用多了会把二硫键‘钢筋’折腾得千疮百孔。每做完一次造型，起码要等3~6月^[14]，让身体自己慢慢把断开的‘钢筋’重新焊起来！”

小直摸着发尾的分叉，小声问：“那现在已经受伤了，该怎么办呀？”老发丝神秘一笑：“这时候就得请出我们的‘修补队’啦！含硅油的护发素就像给毛小皮的缝隙敷上一层细腻的软蜡，每次洗完头抹一抹，毛小皮立刻变得顺滑服帖，不再毛躁；而角蛋白发膜呢，每周用个一两次，就像给受损的角蛋白链换上一批新的‘支架’，头发又能支棱起来^[15]！”

“原来是这样！”小卷恍然大悟，“那用卷发棒是不是也得小心？我记得拉直的时候烫得可疼了！”老发丝重重一点头：“高温就是隐形杀手！下次用之前，一定要先喷隔热喷雾，就像给头发裹上一层隔热毯，牢牢挡住高温的侵袭；吹风机也别用太热，60℃以下才安全^[16]，不然氢键‘小弹簧’反复被烫断，头

发可不就脆得像薯片？”

“还有清洁和防晒也别忘！”老发丝指了指自己发亮的表层，“要用弱酸性洗发水，pH值5~6的最好，不然强碱会把盐键这个‘小零件’腐蚀掉；还要记得出门戴帽子、喷防晒喷雾，紫外线可是会把角蛋白晒脆、把发色晒褪色的^[17]！”

小卷和小直认真记下每一个要点，照着老发丝的建议认真护理，几个月后，它们的“毛小皮鳞片”重新变得服帖，断裂的二硫键也慢慢修复。现在它们才明白：真正的美丽不是拼命折腾，而是懂得在变美和护养之间找平衡——就像给发丝筑起一道“防护墙”，才能让每一次造型都成为加分项，而不是伤害呀。

参考文献

- [1] 罗迪, 周昊. 美发与化学[J]. 凯里学院学报. 2013, 31(3): 41-44.
- [2] 何学民. 头发的损伤与头发结构和组分的相互关系[J]. 日用化学工业. 2000(4): 34-36.
- [3] 赵建华. 洗发水配方优化[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 6.
- [4] Deedrick D W, Koch S L. Microscopy of hair part 1: a practical guide and manual for human hairs[J]. Forensic Sci Commun, 2004, 6(1): 6.
- [5] 东红升. 头穴透刺法治疗老年性白发的临床及其实验研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江中医药大学, 2004: 6-9.
- [6] 穆伟伟, 李志洲. 天然植物染发剂[J]. 广州化工, 2015, 43(19): 8-12.
- [7] 安原原. 头发损伤对其性能影响及水分在损伤过程中的作用研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015: 3-4.
- [8] Choi K, McCullough R R, Burge C D J, et al. The susceptibility of disulfide bonds to modification in keratin fibers undergoing tensile stress[J]. Biophys J, 2022, 121(8): 15711580.
- [9] 刘玉荣, 郝淑超. 从化学视角剖析烫发、染发原理及顺序[J]. 化学教育, 2022, 43(21): 1-6
- [10] Gandhi A A, Kipling S, Wright L, et al. Curl reversion and damage: The effect of different temperature treatments on hair[J]. J Cosmetol Trichol, 2018, 4(1): 1-5.
- [11] 杨建中. 头发保湿的科学[J]. 中国化妆品. 2010(16): 74-80.
- [12] 李星彩. 染发剂、烫发剂中的化学成分及其对人体的危害[J]. 微量元素与健康研究, 2006(1): 47-48.
- [13] 范加谊, 马铃, 陈殿松等. 头发与头皮护理的科学基础(V)——头发光老化及其防护[J]. 日用化学工业, 2023, 53(5): 503-510.
- [14] 曹蕾, 范卫新, 王磊. 脱发患者生活质量调查[J]. 临床皮肤科杂志, 2008(6): 351-353.
- [15] 黄玉媛, 董银卯, 王超等. 护发素对头发表面性质及力学性能的影响[J]. 日用化学工业, 2014, 44(10): 556-560.
- [16] 刘瑞璞, 李从举. 头发热损伤及防护研究进展[J]. 毛纺科技, 2019, 47(12): 85-89.
- [17] 王雪, 董银卯, 孟宏. 头发的损伤与护理研究进展[J]. 日用化学工业, 2016, 46(3): 171-175.
- [18] 陆海亮, 孙晓曼等. 发用定型剂及其在定型/造型产品中的应用[J]. 中国化妆品, 2025, (3): 92-99.
- [19] 皮丕辉, 文秀芳, 程江, 等. 发用定型剂配方原理与组成[J]. 日用化学工业, 2005, 35(2-4): 184-187, 252-255.
- [20] 郭丽. 探究烫发剂中巯基乙酸盐的使用和危害[J]. 中国化妆品杂志, 2020(6): 104-107.