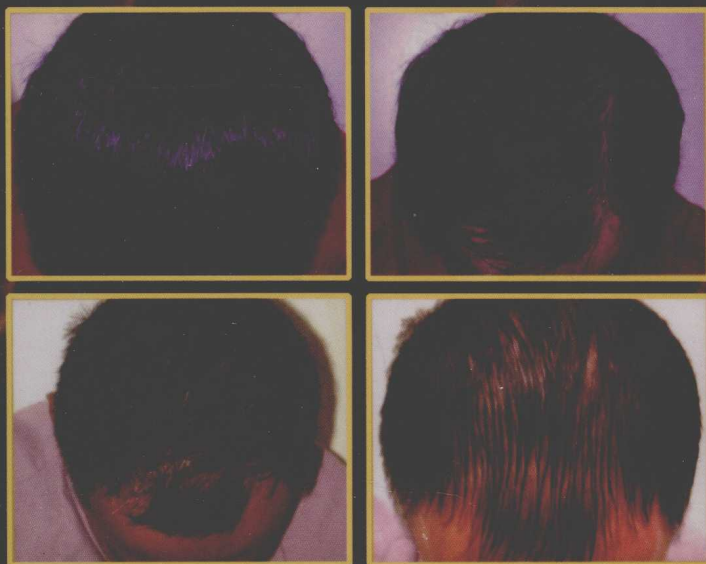


# 头发的护理与疾病治疗

THE SCIENCE OF HAIR CARE

第 2 版



原 著 CLAUDE BOUILLON  
JOHN WILKINSON

主 译 赖 维 刘 玮 王学民



人民卫生出版社

# 头发的护理与疾病治疗

THE SCIENCE OF HAIR CARE

第 2 版

原 著 CLAUDE BOUILLON  
JOHN WILKINSON

主 译 赖 维 刘 玮 王学民

人民卫生出版社

## 敬告

本书的作者、译者及出版者已尽力使书中的知识符合出版当时国内普遍接受的标准。但医学在不断地发展，随着科学研究的不断探索，各种诊断分析程序和临床治疗方案以及药物使用方法都在不断更新。强烈建议读者在使用本书涉及的诊疗仪器或药物时，认真研读使用说明，尤其对于新的产品更应如此。出版者拒绝因参照本书任何内容而直接或间接导致的事故与损失负责。

需要特别声明的是，本书中提及的一些产品名称（包括注册的专利产品）仅仅是叙述的需要，并不代表作者推荐或倾向于使用这些产品；而对于那些未提及的产品，也仅仅是因为限于篇幅不能一一列举。

本着忠实于原著的精神，译者在翻译时尽量不对原著内容做删节。然而由于著者所在国与我国的国情不同，因此一些问题的处理原则与方法，尤其是涉及宗教信仰、民族政策、伦理道德或法律法规时，仅供读者了解，不能作为法律依据。读者在遇到实际问题时应根据国内相关法律法规和医疗标准进行适当处理。

THE SCIENCE OF HAIR CARE, 2e

CLAUDE BOUILLON

© 2005 Taylor & Francis Group, LLC

All rights reserved. Authorized translation from English language edition published by Marcel Dekker, part of Taylor & Francis Group, LLC.

头发的护理与疾病治疗，第2版

主译 赖维等

中文版版权归人民卫生出版社所有。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

头发的护理与疾病治疗/赖维等主译. —北京: 人民卫生出版社, 2009.7

ISBN 978-7-117-11805-7

I. 头… II. 赖… III. ①头发-保养②毛发疾病-诊疗  
IV. TS974.22 R758.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 058447 号

门户网: <a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	出版物查询、网上书店
卫人网: <a href="http://www.hrhexam.com">www.hrhexam.com</a>	执业护士、执业医师、 卫生资格考试培训

图字: 01-2007-1442

## 头发的护理与疾病治疗

主 译: 赖维 刘玮 王学民

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

E-mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 三河市宏达印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 37.75 字数: 917 千字

版 次: 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-11805-7/R·11806

定 价: 170.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

# 作者为中文版序

Having in our hands a Chinese edition of Mr Zviak's book is an emotional moment for all people of L'Oréal Research. There is no doubt that Mr Zviak, one of our former CEO, who passed away twenty years ago, would be highly proud of such Chinese *Magnum Opus*.

It needed a powerful fuel to offer such Chinese edition: the enthusiasm of Pr Lai Wei, who, with the help of his colleague and friend Pr Liu Wei, Pr Wang Xuemin took in charge such huge task.

In his mind, when seeing the English edition, the need of a Chinese version immediately appeared, for allowing his colleagues to better share all these important scientific, technical, legal, safety data basis within the Chinese scientific community.

Because most articles of these books were written by L'Oréal researchers, under the supervision of my good colleague and friend Claude Bouillon associated to John Wilkinson, I desired to express, on their behalf, all our gratitude and deepest thanks to Pr Lai Wei and his colleagues. Thanks to them, this important book has now a new dimension, a new life. It is a milestone.

It is likely the first Chinese scientific book dedicated to hair and scalp care, a reference to all involved in Cosmetic or Dermatological fields, a precious help to researchers, students, manufacturers...who dedicate their professional time to these human skin appendages that are intricately and strongly linked to the human subjective notions of beauty or esthetism, i.e. the perceived image of others as well as the one with have with our own.

Having the privilege of creating and managing our Research Centre in China since some 5 years, I have to confess that this Chinese edition represents to me more than a scientific book. It is a clear and concrete witness of our long term commitment with China and Chinese scientists. It is therefore the fruitful consequence of the friendship professionalism of all people I have the chance to work with, daily, being from our

laboratories or from Chinese medical Institutions.

I cannot forebare to mention the precious helps of my Chinese colleagues who dedicated their time to help with Pr Lai Wei in his task, particularly Dr Yaxian Zhen who energetically coordinated many aspects, Alice Cai, Catherine Yu, Liu Chen, Liu Zhan, David Hao...all showing that enthusiasm is a transmissible factor through regions or countries.

When consulting this book, I wish to all Chinese readers the same enthusiasm that Pr Lai Wei and colleagues brought to its edition. As a reference, a precious tool or guide, I wish it will illustrate one sentence from Master Kong Zi, expressing that *The One Who Loves To Learn Comes Close To Knowledge*.

With my most sincere and deepest rewards to Pr Lai Wei, and all my Chinese colleagues and friends.

D Saint-Leger  
L'Oréal R&D Centre  
Shanghai-Pudong

# 译者序

在人类历史中,头发一直被认为是珍贵的、不可替代的东西。它既代表了自然,为我们的头皮提供保护,并昭示着心身的健康与否;同时它也代表着文化、时尚与潮流。因此,它值得我们慷慨的呵护及关注。

毛发(主要是头发)的科学护理是美容皮肤科学的重要组成部分之一,虽然国内也有一些相关的科普图书和专业书籍,但系统、全面、科学地介绍毛发护理的书籍还是很少见。广大的皮肤科医生、美容皮肤科工作者都渴望有一本这方面的好书。

法国欧莱雅公司的资深毛发研究专家 Claude Bouillon 主编的《头发的护理与疾病治疗(第2版)》(The Sciences of Hair Care, Second Edition)是难得的一本介绍毛发科学护理的好书。该书的作者均是国际上该领域最知名的专家学者,全书内容翔实。该书共分25章,从毛发的结构开始,系统而全面地介绍了毛囊的结构和功能、头皮和头发的卫生、头发护理用品、头发的暂时造型、烫发和拉直、头发的漂浅、染发、染发剂的毒理学、发用产品的安全性、发用产品功效的评估、化妆品的管理法规、皮肤试验、美发产品的不良反应、发型师的职业病、毛干异常、毛发色素单位和毛发变灰、脱发、皮脂溢出、头皮屑、头皮皮炎和湿疹、头皮皮肤病、毛发移植和头发心理因素分析等内容,将基础、临床、法规、研究进展等方面的内容完美地结合到一起,涵盖了头发护理科学的所有领域,具有很强的权威性、系统性和实用性,很值得我们广大的皮肤科医生、研究生、化妆品从业人员及其他感兴趣的读者学习和借鉴。

要翻译好一本专业书籍确实不容易,除了要有很高的外语水平外,还要有很好的专业背景和对本土语言的驾驭能力。参加本书翻译的人员来自国内最著名的医学院校附属医院皮肤科和顶级的皮肤病研究单位,大多是近年来主要从事美容皮肤科学工作的教授、专家及他们所带教的博士、硕士研究生。虽然作为一个皮肤科医生,对涉及毛发的许多基础知识(比如毛发的各种理化性质)并不一定很熟悉,但他们克服了专业上的局限,将有关内容比较准确地翻译出来,我们对他们的辛勤工作和支持表示衷心的感谢!

本书的翻译得到了法国欧莱雅研究院中国研发中心总监 Saint-Leger Didier 博士及医

学总监曾雅贤博士的无私帮助。由于本书作者主要是来自法国欧莱雅公司的研究人员,为了更准确地把握翻译的内容,他们动用中国研究院的同事对全书的翻译稿进行了校对,甚至重新翻译,还就一些难点与原书作者进行沟通。他们一丝不苟、精益求精的工作态度和治学精神很值得我们钦佩和学习。在此,我们表示特别的感谢。同时,我们也很感谢中华皮肤科杂志编辑部的吴晓初主任,她用自己长期从事皮肤科学术杂志编辑及专业书籍出版工作方面的丰富经验,对本书关于临床疾病方面的内容进行了全面的校正,并给我们提出许多宝贵的意见。最后,我们要感谢人民卫生出版社的编辑们,没有他们的支持、鼓励和辛勤的工作,不可能有这本译著的面世。

本书的出版花费了大家很多的心血。尽管如此,译文中难免还会有一些错误或不准确之处,因此恳请读者谅解并欢迎读者提出宝贵的意见。

近年来,美容皮肤科学在国内得到了重视和迅速发展。作为该领域中的一员,我们希望将本书作为先前翻译出版的第三版美容皮肤科学教科书(Textbook of Cosmetic Dermatology, Third Edition)的姐妹篇翻译成中文呈现给国内同行和有兴趣的读者,为我国美容皮肤科学的发展尽微薄之力。我们也希望,通过国内同行若干年的工作和积累后,我们也能出版一些符合中国国情,反映我们自己的工作 and 研究成果的相关书籍。

赖 维 刘 玮 王学民

2009年2月11日

# 作者名单

- Pierre G. Agache, M.D.** Emeritus Professor of Dermatology, Centre Hospitalier Universitaire Saint Jacques, Besançon, France
- M. Baverel** Safety Assessment, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- Bernard Beauquey** Hair Care Development, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- R. Beitone** Hair Styling Development, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- Bruno A. Bernard, Ph.D.** L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- Dominique Blanc, M.D.** Consultant Dermatologist, Centre Hospitalier Universitaire Saint Jacques, Besançon, France
- Pierre Bouhanna, M.D.** Dermatologist, Specialist in Hair Restoration Surgery, Centre Sabouraud, Hôpital Saint-Louis, Paris, France
- D. Braïda** L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- Stéphane Commo** L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- M. Cottin, D.V.M.** Product Safety Manager, L'Oréal Recherche, Asnières-sur-Seine, France
- Rodney P. R. Dawber** Oxford Hospitals and University of Oxford, Oxford, U.K.
- O. de Lacharrière, M.D., Ph.D.** Dermatologist, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- C. Dubief** Hair Care Development, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- A. Franbourg, Ph.D.** L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- C. Hourseau** Safety Assessment, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- F. Leroy, Ph.D.** L'Oréal Recherche, Aulnay-sous-Bois, France
- G. Loussouarn, Pharm. D.,** Hair Product Assessment, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France
- M. Mellul** Hair Care Development, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France



**P. Meurice** Environmental Safety, L'Oréal Recherche, Asnières-sur-Seine, France

**Jean Milléquant, Ph.D.** Hair Color Development, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France

**Gerhard J. Nohynek, Ph.D., D.A.B.T.** Safety Assessment, L'Oreal Recherche, Asnières-sur-Seine, France

**H. Paty** Hair Care Development, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France

**Gérald Piérard, M.D., Ph.D.** Department of Dermatopathology, University Medical Center of Liège, Liège, Belgium

**Claudine Piérard-Franchimont, M.D., Ph.D.** Department of Dermatopathology, University Medical Center of Liège, Liège, Belgium

**D. Pierrard-Meillon** Regulatory Affairs, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France

**Danièle Pomey-Rey, M.D.** Dermatologist, Psychiatrist, Psychoanalyst, Centre Sabouraud, Hôpital Saint-Louis, Paris, France

**P. Reygagne, M.D.** Dermatologist, Head Centre Sabouraud, Hôpital Saint Louis, Paris, France

**G. Riboulet-Delmas, M.D.** In-Market Product Safety Surveillance, L'Oréal Recherche, Asnières-sur-Seine, France

**Anne Sabbagh** Hair Care Development, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France

**D. Saint-Léger** L'Oréal Recherche, Shanghai, China

**H. Samain** Hair Care Development, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France

**S. Shaw** Department of Dermatology, Amersham Hospital, Amersham, U.K.

**J. M. Sturla** Hair Care Development, L'Oréal Recherche, Clichy-sur-Seine, France

**J. D. Wilkinson** Department of Dermatology, Amersham Hospital, Amersham, U.K.

# 目 录

第 1 章	毛发的结构、功能和理化性质 .....	1
第 2 章	毛囊的结构和功能 .....	59
第 3 章	头皮和头发的卫生：洗发香波 .....	72
第 4 章	头发护理用品 .....	110
第 5 章	头发的暂时造型 .....	142
第 6 章	烫发和拉直 .....	168
第 7 章	头发的漂浅 .....	189
第 8 章	染发：非氧化型染发 .....	209
第 9 章	染发：氧化型染发 .....	230
第 10 章	染发剂的毒理学 .....	260
第 11 章	发用产品的安全性 .....	292
第 12 章	发用产品功效的评估 .....	312
第 13 章	化妆品的法规管理 .....	379
第 14 章	皮肤试验 .....	411
第 15 章	美发产品的不良反应 .....	426
第 16 章	发型师的职业病 .....	441
第 17 章	毛干异常 .....	449
第 18 章	毛发色素单位和毛发变灰 .....	454
第 19 章	脱发 .....	463
第 20 章	皮脂溢出(症) .....	481
第 21 章	头皮屑(单纯性头皮糠疹)：酵母菌和人 .....	503
第 22 章	头皮皮炎和湿疹 .....	522
第 23 章	头皮皮肤病 .....	529
第 24 章	毛发移植 .....	554
第 25 章	头发：心理分析的展望 .....	574
索引	.....	587

# 第 1 章

## 毛发的结构、功能和理化性质

A. Franbourg, F. Leroy

毛发是哺乳动物皮肤表面特征性的覆盖物,可能是从爬行动物表皮的鳞片进化而来的。在进化过程中,比人类低等的动物需要相应长度、密度和颜色的毛发来适应生存状况。虽然人类的毛发看起来已经退化,但事实上它仍是重要的触觉器官,也是性别、生理正常发育的一部分。

人类的毛发与所有哺乳动物特有的表皮附属器具有相同的性质,这些附属器包括不同的皮毛、绒毛、触须和其他各种类型的头发、羽毛、甲、角、蹄等。毛发最初的功能是保护身体抵御不利环境因素(热、冷、阳光、干燥等)伤害和撞击。它们能辅助体温调节,具有出色的抵抗力,能长期保持其结构稳定。

头皮不同于身体其他部位的皮肤,它具有大量能够产生粗长的头发纤维的大毛囊,每个毛囊均附有大的皮脂腺。另外,毛囊还同错综复杂的神经网络和血管网紧密相连。

无论其来源或在身体的位置,上述所有皮肤附属器均有一些共同特点,其中主要的一点就是它们本质上都由一类特殊的蛋白——角蛋白组成。角蛋白也是角质层的重要组成部分,角质层是皮肤的最外面一层,保护身体内部免受外界环境影响。角蛋白富含半胱氨酸(cysteine),半胱氨酸是一种独特的含硫氨基酸,能通过二硫键使蛋白链之间形成交联。此外,有些角蛋白的空间排列可以形成晶体状结构。

毛干由角化细胞构成,其高度有序的排列方向和生化结构可使毛发纤维对摩擦、牵拉、弯曲、紫外线辐射和化学侵蚀等各种外界因素产生很强的抵抗能力。

### 第 1 节 结构和组成

#### 1.1 形态学

头发在外观上表现为无限延伸的圆柱体,其长度个体差异很大。通常头发的最大长度约为 1~1.5m。在某些个案的报道中,头发可达数米长:文献中记录的最长头发是 1949 年报道的一位印度僧侣 Swami Pandarasannadhi,其头发长达 7.93m<sup>[1]</sup>。相比之下,头发的直径比其长度小 20 000 倍,但每根头发之间直径差异也很大,可从 40 $\mu$ m 左右到 120 $\mu$ m 左右不等<sup>[2]</sup>。这种巨大的差异与多种因素有关,如年龄<sup>[3]</sup>、种族<sup>[4-7]</sup>,甚至在头皮上的位置<sup>[8]</sup>。头发的横截面有助于解释这种巨大的差异:实际上头发的横截面并不是圆的,在一定程度上呈扁圆形,或者说椭圆形,但是也有许多不同的形态(图 1-1)。一般来说头发的形态与头发纤维的横截面有关:圆柱形的头发形成直发(如亚洲人头发),而椭圆形的或“豆状”

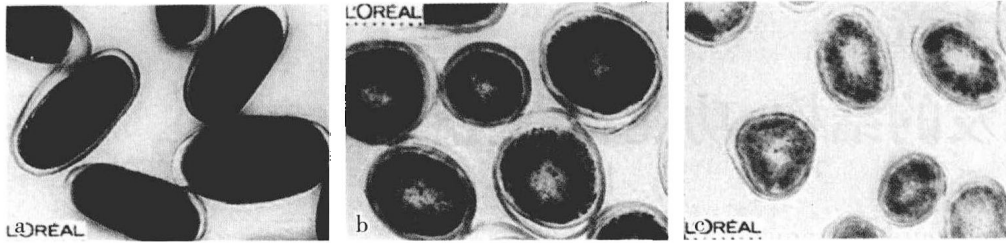


图 1-1 三大种族人群的头发横断面：a. 非洲人头发；b. 亚洲人头发；c. 白种人头发

的头发形成卷发或卷曲发(如非洲人头发)<sup>[9,10]</sup>。

研究显示<sup>[7,10]</sup>,卷曲发会沿毛发横截面的短轴自动弯曲。以羊毛为例,卷曲是由纤维内不同的亚结构(正、副皮质细胞)造成的。人类头发中是否存在这种细胞仍在探讨中<sup>[11,12]</sup>,目前关于头发弯曲程度的唯一解释认为其与毛囊阶段的形态发生学(genetic morphology)有关<sup>[9,13]</sup>。

种族起源对头发形态的影响最显著。非洲人种和亚洲人种头发的横截面明显比欧洲人种的大(表 1-1)。此外,亚洲人头发的横截面比其他种族的更圆一些,非洲人的头发则相反,其横截面的形态最接近椭圆形<sup>[10]</sup>。

表 1-1 种族对人类头发形状的影响

	种 族		
	高加索人	亚洲人	非洲人
直径( $\mu\text{m}$ )	30~100	35~125	45~120
(厚度)	(细到中)	(中到粗)	(中到粗)
椭圆形	1.35	1.25	1.75

(来自参考文献 10)

## 1.2 头发的结构

毛干由三部分组成(图 1-2 和图 1-3)。毛小皮由层叠的细胞样毛鳞片形成一层厚鞘,紧紧包绕皮质。皮质是头发中体积最大的部分,也是头发纤维的核心。皮质中有头发特有的纤维蛋白—— $\alpha$ 角蛋白。第三部分是髓质,位于头发的中心位置。一般来说,髓质是不连续的,甚至可能完全缺失<sup>[14]</sup>。头发的自然颜色是由分布于皮质的黑色素决定的(图 1-4)。

### 1.2.1 毛小皮

毛小皮是由毛囊中的单层细胞产生的。这些细胞最初是立方体形的,在从毛囊向上爬升的过程中细胞变扁平,同时细胞向上弯曲,并在完全角化时,像屋瓦一样互相层叠(图 1-5a)。细胞外缘朝向发梢。每个细胞约为  $0.5\mu\text{m}$  厚,  $45\mu\text{m}$  长。这些细胞的大量覆盖使人类发根部的毛小皮由 7~10 层细胞层叠而成<sup>[15]</sup>。

毛小皮对于头发的许多物理特性起着重要作用。作为头发的最外层,它决定了头发的表面特性,对水的渗透等外界侵害起到屏障作用<sup>[16]</sup>。有人猜想它对头发纤维的

# 作者为中文版序

Having in our hands a Chinese edition of Mr Zviak's book is an emotional moment for all people of L'Oréal Research. There is no doubt that Mr Zviak, one of our former CEO, who passed away twenty years ago, would be highly proud of such Chinese *Magnum Opus*.

It needed a powerful fuel to offer such Chinese edition: the enthusiasm of Pr Lai Wei, who, with the help of his colleague and friend Pr Liu Wei, Pr Wang Xuemin took in charge such huge task.

In his mind, when seeing the English edition, the need of a Chinese version immediately appeared, for allowing his colleagues to better share all these important scientific, technical, legal, safety data basis within the Chinese scientific community.

Because most articles of these books were written by L'Oréal researchers, under the supervision of my good colleague and friend Claude Bouillon associated to John Wilkinson, I desired to express, on their behalf, all our gratitude and deepest thanks to Pr Lai Wei and his colleagues. Thanks to them, this important book has now a new dimension, a new life. It is a milestone.

It is likely the first Chinese scientific book dedicated to hair and scalp care, a reference to all involved in Cosmetic or Dermatological fields, a precious help to researchers, students, manufacturers...who dedicate their professional time to these human skin appendages that are intricately and strongly linked to the human subjective notions of beauty or esthetism, i.e. the perceived image of others as well as the one with have with our own.

Having the privilege of creating and managing our Research Centre in China since some 5 years, I have to confess that this Chinese edition represents to me more than a scientific book. It is a clear and concrete witness of our long term commitment with China and Chinese scientists. It is therefore the fruitful consequence of the friendship professionalism of all people I have the chance to work with, daily, being from our

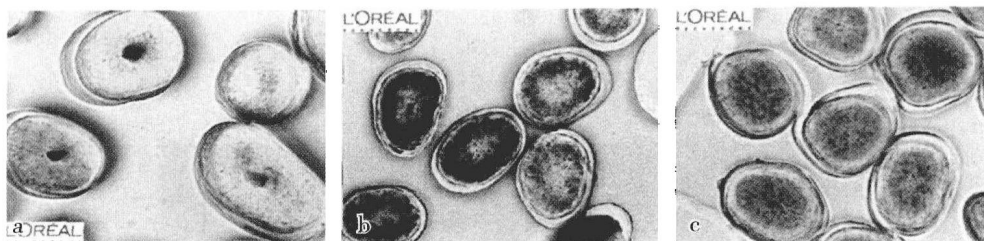


图 1-4 不同的头发颜色：a. 斯基的纳维亚人的金黄色头发；b. 欧洲人的浅棕色头发；c. 红色头发

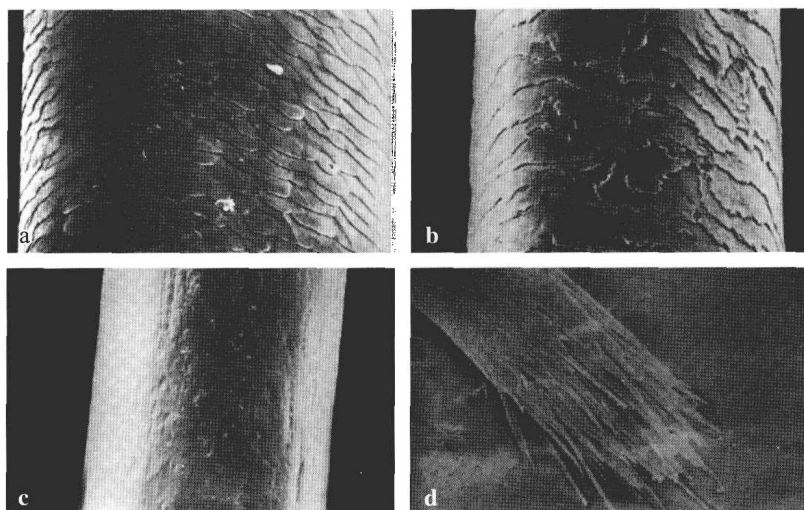


图 1-5 扫描电镜下一根未经处理的头发从发根到发梢的图像：a. 发根（从头皮生出）；b. 离头皮 10cm 处；c. 离头皮 40cm 处；d. 尖端“纤丝化”（分叉的发梢）

机械性质，尤其是弯曲性，也起着重要作用<sup>[17]</sup>。毛小皮还有鞘的作用，可限制皮质细胞，使头发纤维保持其机械完整性。如果我们观察毛小皮沿着头发纤维的演变及其结局，这一作用也就显而易见了。当毛小皮的扁平细胞从头皮出现时，它们的边缘光滑规则、界限清楚，而且细胞相互紧密黏附在一起（图 1-5a）。然而，很快由于日常的摩擦和日光辐射的作用，细胞的降解也随即发生：侵蚀，细胞边缘断裂，毛鳞片翘起（图 1-5b），外观呈锯齿状。毛小皮形成的紧密、环绕皮质的壁垒被破坏并逐渐变薄，直到只剩下 2~3 层细胞层叠在表面。对于长发来说，毛小皮完全消失时，降解达到顶峰（图 1-5c）。当毛小皮鞘无法再维持皮质细胞间的黏合时，皮质细胞解散，最终导致发梢分叉现象（图 1-5d）。

毛小皮细胞（图 1-6）表面覆着一层细薄的膜——上毛小皮。在透射电子显微镜下清晰可见在这层膜下方，细胞由三层组成：依次是 A 层、外毛小皮、内毛小皮（图 1-7）。

**上毛小皮** 由厚度约为 5~7nm 的一层极薄的膜组成<sup>[18]</sup>。它是由 Allworden<sup>[19]</sup>首先发现的，他观察到在经过次氯酸溶液处理的羊毛表面有气泡形成。上毛小皮覆盖每一个细胞，由蛋白质层以及覆盖其上的脂质层构成，脂质层与蛋白质层之间是通过二硫键共价连接的<sup>[18,20-23]</sup>（图 1-8）。这些脂质是脂肪酸，主要成分是甲基花生酸（methyleicosanoic

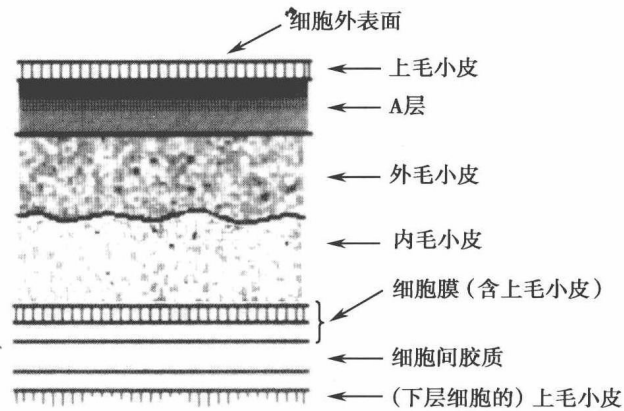


图 1-6 毛小皮细胞结构图



图 1-7 毛小皮的透射电镜图: a. A 层; b. 外毛小皮; c. 内毛小皮; d. 细胞膜复合物

acid) (18-MEA)。人们认为上毛小皮在决定头发的表面特性、物理(摩擦)、化学(表现为半透膜的作用)性质方面起着重要作用<sup>[24]</sup>。

**A 层和外毛小皮** A 层在上毛小皮下方并且与之毗邻,是由富含硫的蛋白构成的。A 层中的半胱氨酸含量超过 30%,外毛小皮中半胱氨酸含量约为 15%<sup>[25,26]</sup>。这种特殊的组成提示这些蛋白属于角蛋白相关蛋白(KAP)中的高硫(HS)和超高硫(UHS)族,这一点与构成皮质基质的蛋白类似(见下文)<sup>[27]</sup>。A 层和外毛小皮中的高半胱氨酸含量以及 A 层的异肽键<sup>[23,28]</sup>均表明在毛小皮细胞上述区域中的蛋白是紧密交联的。毛小皮的这些区域的水溶性很差,尤其不易受化学因素的影响。即使近来观察到一些证据能证明这个区域具有水渗透性<sup>[29]</sup>,但它在水中却很少膨胀。如此致密的结构必然有很高的弹性模量(应力-应变(stress/strain)曲线图中第一个线性部分的斜率),利用原子力显微镜(AFM)进行的纳米力学实验也证明确实如此<sup>[30,31]</sup>,但在较低的应力水平下这种结

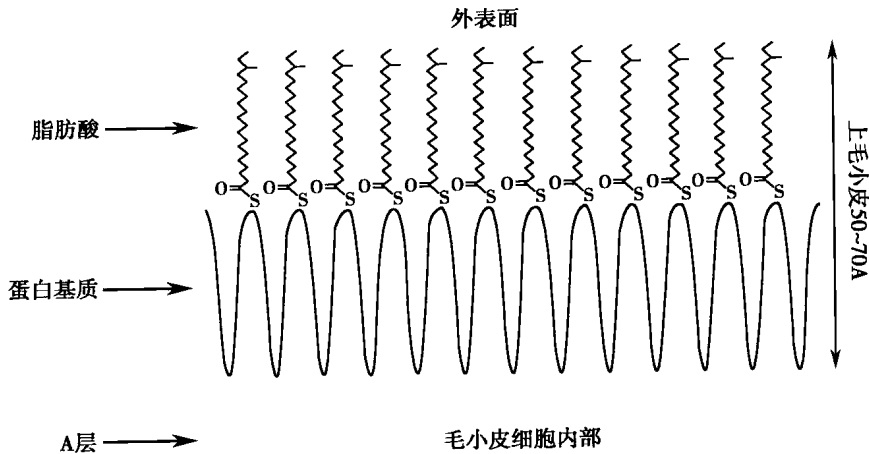


图 1-8 上毛小皮模型(来自参考文献 16)

构会断裂。

**内毛小皮** 内毛小皮处于头发内部或皮质的交界区域,主要由细胞器的残余组成。组成内毛小皮的蛋白含硫量很低,这点与头发纤维的其他部分不同。由于交联较弱,形成了易吸水的多孔结构:原子力显微镜(AFM)下可观察到毛鳞片<sup>[32]</sup>在水中厚度明显增加,这可能是由内毛小皮的膨胀引起的。它也是一个非常软且易变形的结构。

### 1.2.2 皮质

皮质被毛小皮包绕,占头发所有成分的 80% 并构成了发纤维的核心,皮质的基本性质也体现在发纤维上。皮质是由细胞本身构成的,这些细胞由排列高度有序的蛋白质成分构成(图 1-9)。正是这种特殊的结构和构成皮质细胞的亚单位沿着纤维长轴的特定走向,使头发具有了独特的机械特性。

**皮质细胞** 皮质细胞的形状和大小各不相同。它们均为梭形,并沿纤维的主轴排列分布。虽然人们对其大小的描述各有不同<sup>[33]</sup>,但其长度大约在 100 $\mu\text{m}$ ,直径 2~5 $\mu\text{m}$ 。以羊毛为例,已有几种类型的皮质细胞被阐述,正皮质细胞、副皮质细胞和中皮质细胞<sup>[34,35]</sup>。每种类型的细胞都有一种特定的蛋白成分,正皮质细胞比副皮质细胞含硫量低<sup>[36]</sup>。它们在皮质层的分布是不对称的,已证实羊毛的卷曲度与发纤维中的副皮质细胞数量紧密相关<sup>[37]</sup>。在人类头发中,是否存在不同类型的皮质细胞尚不清楚。Mazurkiewicz、Phillips<sup>[11]</sup>和 Mercer<sup>[34]</sup>认为人类头发只含有副皮质细胞。然而,最近 Swift<sup>[12]</sup>在卷发中观察到了正皮质细胞,提示人类头发的卷曲度就像羊毛一样,可能与正皮质细胞的比例和分布有关。Kassenbeck<sup>[36]</sup>证明了有些位于皮质最外层的皮质细胞有特殊的形状。但是,他并不认为这些是副皮质细胞,而称之为异型皮质细胞。

皮质细胞主要由以薄膜相隔的巨纤维构成,这些薄膜可能是由细胞原始胞浆成分的残余物构成的,还分散着一些黑色素和核的残余物(图 1-10)。

**巨纤维** 巨纤维呈小棒状,沿头发长轴排列,数微米长,直径在 0.1~0.4 $\mu\text{m}$  之间<sup>[38]</sup>。它们排列上像方向完全一定的纤维状复合物,由中间丝(intermediate filaments, IF)构成。中间丝曾被称为微原纤维,是无定形蛋白质-基质中结构性很强的蛋白区域。在人类



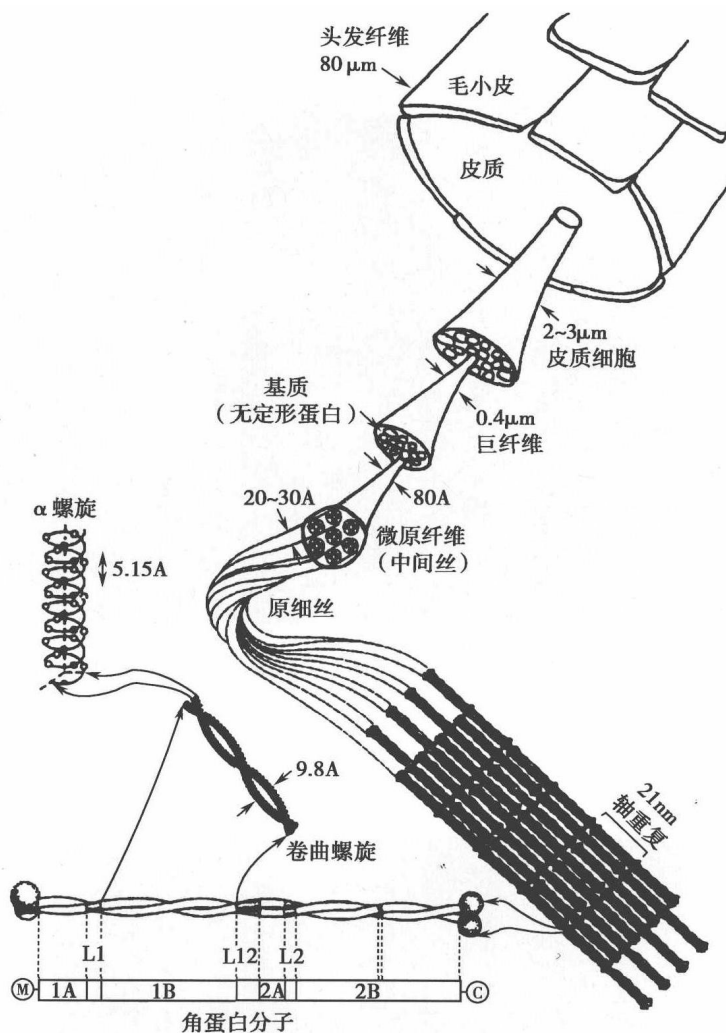


图 1-9 皮质结构图(来自参考文献 10)

头发中,基质的质量约占 40%<sup>[39]</sup>。电镜图像(图 1-11)无法清楚地显示出中间丝的任何规则分布,但有些区域可以看到六边形结构,有人假设微原纤维在基质中是随机分布的。Fraser 等<sup>[40]</sup>认为微原纤维呈六边形排列。小角度 X 线衍射图显示事实上微原纤维在某种程度上是按假六边形排列的<sup>[38,41]</sup>。在羊毛中,中皮质细胞<sup>[42,43]</sup>的这种排列比正皮质细胞和副皮质细胞<sup>[38]</sup>更加明显。

**中间丝和角蛋白的  $\alpha$ -结构** Parry 和 Steinert 的著作<sup>[44]</sup>对中间丝的结构和形成进行了详细描述,特别是角蛋白的微原纤维。

无论人发、羊毛还是其他哺乳动物的皮毛,甚至是豪猪刺,所有硬质角蛋白纤维的 X 线衍射图均有共同特点<sup>[45]</sup>(图 1-12a, b)。I 型和 II 型角蛋白链的结晶和结合(见“化学组成”部分)形成了名为“微原纤维”或“中间丝”的结构性很强的区域,因此它们的衍射图都相当复杂。

中间丝的形成过程可分为以下四步:

a.  $\alpha$ -螺旋的形成;