

我与纤维形态研究的四十年 ——纪念改革开放 40 年

◎ 王菊华

我于1951年考入四川大学，1955年毕业后分配到当时的轻工业部造纸工业科学研究所。从1955年参加工作到2019年的今天，在造纸纤维形态领域的研究已经整整持续了64个春秋。工作之初就参加了从1956年到1967年的轻工业科学技术发展规划，并开始了对中国造纸原料的纤维形态进行系统的观测和研究工作。这项工作的启动为中国造纸工业的科研与生产提供了一个崭新的微观视角，为提高国内的技术研究水平打开了一扇新的大门。1963年，我发表了个人的第一篇论文“重量平均纤维长度测量方法的运用”。1965年10月，我作为主要编写人之一出版了中国第一本比较全面的《中国造纸原料纤维图谱》。1993年12月我带领团队研制成功了第一台由我国自主研发的XWY-II型纤维测量仪。

1978年党的十一届三中全会胜利召开，从此开启了国家改革开放之路。40年来，国家对科技创新

的鼓励政策不断加强，国家科技水平、科技研发能力、科技的整体综合实力都有了明显提高。这在纤维形态领域的研究中也得到了充分体现，将计算机技术逐步运用到纤维分析工作中，使纤维形态分析从繁重的手工操作过度到机器的计算处理，又从机器的计算处理跨越到自动的图像处理，今后还要进一步引入人工智能技术来实现对图像的自动识别。

早在20世纪70年代，芬兰就率先研制成功了自动纤维分析仪，几千根纤维的纤维长度仅用1分钟即可测量完毕。而在当时，我们的测量手段还是全手工操作：在显微镜下用目镜测微尺对纤维进行一根根的测量。由于各种纤维原料的纤维长度很不均匀，测量的纤维数量太少，结果就会很不准确，因此，规定每个样品都要测量不少于200根纤维，并要计算平均长度。当时的计算工具主要是算盘和计算器。一个操作熟练的工作人员完成一个样品的测量和计算一般需



图1 芬兰产FS-100
kajani纤维分析仪



图2 XWT-II型纤维分析仪

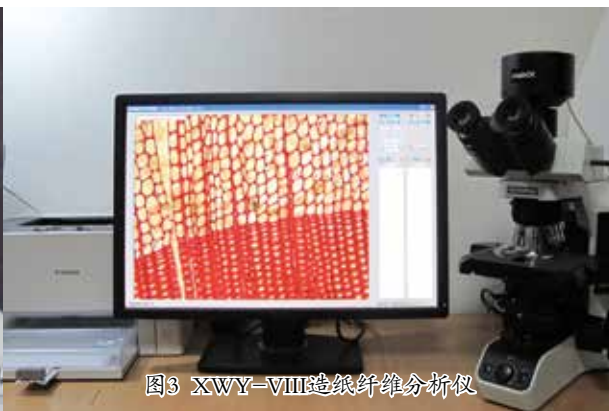


图3 XWY-VIII造纸纤维分析仪

要半天的时间，长时间的显微镜下操作使工作人员常常感到精神疲劳和视力疲劳。

改革开放让我们开始了解国外的先进技术，有机会吸收国外的先进经验，也让我们看到了差距，更使我们感到改善测量手段是一项迫在眉睫的任务。在研究院各级领导的大力支持下，投资将近90万元为我们纤维形态课题组引进了一台芬兰产FS-100 kajiani 纤维分析仪（图1）。在当时，90万元是一个很大的数字，但这台仪器外表看着却很简单：两个不大的铁盒子和一个毛细管漏斗。当时国内的科研水平和制造技术，使我们还远达不到自行研发生产这样仪器的水平，技不如人，只能花高价购买这个外表看着“没那么值钱”的设备。

落后就要学习，经过仔细地研究、操作和使用后，我们认为这台分析仪没有什么了不起的，于是就试着仿制。但仿制的过程很不顺利。首先，毛细管漏斗的加工精度要求非常高，我国当时根本没有这样的加工能力；另外，图像采集很难实现，无法加工出专门的偏振光起偏器和检偏器；再有，FS-100 kajiani 纤维分析仪主要是用于纤维长度的测量，不能用于纤维配比等方面的分析。仪器的检测速度虽然很快，但是项目单一，仪器有很大的局限性，从而使其性价比的问题更加明显。考虑到我国造纸用纤维原料品种更加复杂，实际检验工作中对纤维配比的检验需求也很多，于是我们决定另辟蹊径，走图像观察和自动测量相结合的道路。经过一系列的探索，在多方面的努力和帮助下，用成像系统和测量系统代替了FS-100 kajiani 纤维分析仪的两个铁盒子，用投影仪替换了偏振光检测器，在保留了原来图像观察功能的同时大大方便了测量操作。设备还增加了一项新技术——光栅传感器，用摩尔条纹的原理把长度信号转变为电信号（即脉冲信号），这就实现了计算机的自动采集和计算。1993年12月，终于研发成功了中国的纤维分析测量仪器——XWT-II 型纤维分析仪（图2）。

仪器一面世就受到各方重视。鉴定会上专家们建议尽快推广使用；中央电视台当天对鉴定会及这一成果做了报道；轻工业部将设备列为当年主要的科研成

果之一，并颁发了科技进步奖；标准化中心将这台设备所涉及的测量方法——光栅纤维长度测量方法列为行业标准。设备投放市场的第一年就销售了30多台，受到工厂、高校和科研单位等广大用户的好评，在取得科技成果的同时收到了很好的经济效益和社会效益，成功实现了科研成果的市场转化。

但这台设备在实际应用中还存在许多不足之处。受投影仪极限放大倍数的限制，仪器不能在测量长度的同时清晰地观察纤维特征，从而把长度测量和配比观察结合起来；另外，设备还受单片机运算功能的限制，不能通过长度的测量同时完成纤维粗度、每毫米的根数、弯曲指数、杂细胞和细小细胞含量等指标的测量。这些都是纤维分析中大家关心的检测项目。

2000年我正式退休了，虽然不再需要到办公室去上班，但出于对这一研究领域工作的热爱和责任感，我对纤维的分析研究却并未因退休而停止。为了继续进行纤维形态研究，也为了进一步改进和完善纤维分析仪，我自己购买了纤维分析工作所必需的设备 and 工具，在家里开辟了自己的实验室，继续进行科研工作。随着电脑运用的普及，尤其是图像处理技术的不断提高，在家人和朋友的大力支持下，XWY 系列纤维测量仪也在不断地进行着改进：用性能较好的显微镜和图像采集系统替代了原来的投影仪，用电脑替换了原来的单片机，用鼠标操作的图像处理替换了光栅传感器，用彩色激光打印机替换了微型打印机等，到目前为止，XWY 系列纤维测量仪经历了从4型到8型的不断升级，以及一系列新技术的引入和使用，使XWY 系列纤维测量仪在测量技术上实现了一次又一次革命性的飞跃，不仅运算速度有了极大的提高，更是在测量项目上实现了功能的全面扩展。在此期间，虽已年过八十，但为了更好地研发和推广纤维测量仪器，在大家的帮助下，我创办了北京伦华科技有限公司。现在市场上由北京伦华科技有限公司销售的XWY-VIII 造纸纤维分析仪，在测量项目上不仅实现了全覆盖，还实现了自动或半自动测量，有些项目上甚至实现了全自动。在功能拓展上增加了纺织纤维的分析功能，在测量纤维的同时还能观察纸页的表面形

态和结构，如涂布加工方式等。这些功能在国际上也是领先的（图3）。

改革开放的东风推动着纤维形态研究工作进入了更高级的微观领域。在改革开放前，纤维形态研究工作更多关注的是植物种类及其生长习性，有什么样的纤维形态特征，有什么样的纤维长宽度和杂细胞含量等。至于原料的超微结构，以及它们在制浆造纸工艺过程中会出现什么样的变化，这些变化又会给成纸性能带来什么样的影响等，则很少考虑，也没有条件考虑。改革开放之后，我们有条件到世界各地考察，了解在纤维形态工作中发达国家都做了些什么。通过各种国际交流，发现有些造纸发达国家的专家在微观世界里做了很多有意义、且我们没有做过的工作。

新的行业工作计划要求纤维形态工作者开展一些与制浆、造纸机理有关的研究，进口了带能谱的扫描电子显微镜和大视野显微镜。分析手段的完善使我们在观测纤维壁厚度的同时还能观察到纤维壁上的微细纤维。通过观察和研究发现，各种造纸纤维都是由初生壁和各层次生壁组成，次生壁上微细纤维的缠绕角度与打浆性能又有密切的关系，缠绕角越大在打浆过程中纤维越不容易出现裂状的纤维分丝帚化，从而成纸强度越低。实验证明缠绕角度大的品种，尽管不断延长打浆时间，但纤维却很少出现纵裂状的分丝帚化，如龙须草浆及稻草麦草浆等（图4）。因此我们纤维形态研究团队发表文章提出：“由于纸浆纤维

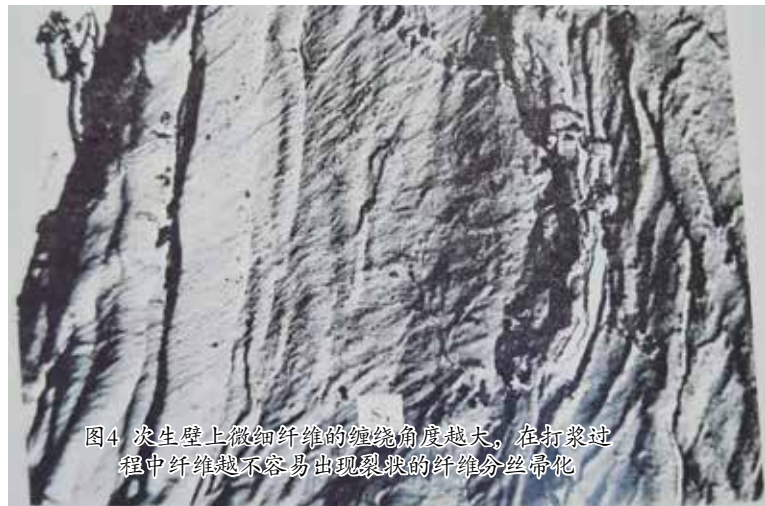


图4 次生壁上微细纤维的缠绕角度越大，在打浆过程中纤维越不容易出现裂状的纤维分丝帚化

的微细纤维缠绕角度大，草浆的加工应以疏解分散纤维为目的。草浆纤维本来就短，过度打浆会使纤维更短以及薄壁细胞破损等，都会降低草浆的使用性能。”这一技术路线的提出，为草浆合理利用提供了理论依据，具有重要的行业指导意义和经济价值。

我们纤维形态团队还曾经对提高卷烟纸透气度的技术难题进行科研攻关。为减少香烟中尼古丁对人体的危害，让吸烟人在抽烟时吸入更多空气来稀释烟气中的尼古丁浓度，烟草行业对卷烟纸提出了要大大提高卷烟纸透气度的要求。以前，为保证卷烟纸的无味和强度，常在制浆时使用部分麻纤维。但是，麻的微细纤维在纤维壁上的缠绕角度很小，几乎与纤维轴平行，这种纤维打浆时很容易纵裂帚化，成纸纤

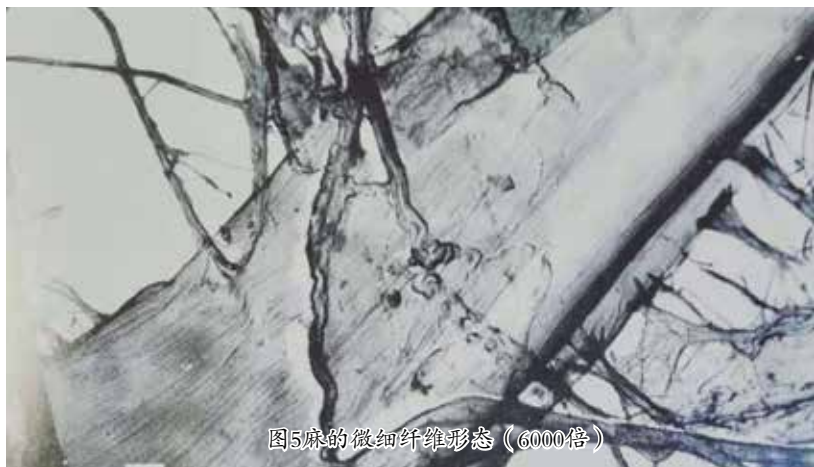


图5麻的微细纤维形态（6000倍）



图6麻的微细纤维（200倍）



维结合性能强，纸页结构紧密，透气度低（图5、图6）。因此，我们纤维形态团队提出了应该用缠绕角度大的桉木来代替。之后，研究院的李玉华同志把这些研究成果带到卷烟纸厂，帮助纸厂调整纤维配比和打浆度等工艺指标。通过技术路线的调整，成功完成了提高卷烟纸透气度要求，满足了烟草行业的需求；同时，还大大降低了纸浆成本，使卷烟纸厂的利润大幅提高。这种科研成果直接为生产服务的工作方式，既为烟纸生产企业创造了直接的经济效益，更为烟草行业带来了社会效益。

我国是个文明古国，源远流长的中华文明与灿烂的文化在纸张的承载下，不断地传承与发展。作为大量纸质文物的载体——古纸的分析与鉴定工作成为保护文物、了解历史的一部分。我作为一名纤维形态工作者，也有幸成为这方面的参与者与见证者。

在古纸的分析鉴定方面，先进的微观分析技术给古纸的纤维形态分析带来非常好的手段与技术保障，也对某些重要的纸质文物的断代等历史性研究起到了关键性的技术支撑。在电子显微镜下，可以清晰地看到所谓的“灞桥纸”的纤维没有经历过打浆，它的微细纤维没有任何分丝帚化现象。另外，“灞桥纸”的原料是大麻，大麻打浆与否非常容易辨认。此外，在电子显微镜下能清楚地看到，“灞桥纸”纤

维中的绝大部分木素，还原封不动地存留在纤维细胞壁上，说明没有经过蒸煮。一件没有经历过任何蒸煮、打浆、抄纸处理而形成的纤维薄片，当然不能叫纸！同样，出土于甘肃省天水市的所谓的“放马滩纸地图”，通过现代纤维分析手段，我们也能准确地推断其重要组成及形成过程，为考古工作提供帮助。在现代纤维分析仪下能明显地观察到，事实上，所谓的“放马滩纸地图”并不是纸，而是几片纺织品残片（图7）。对这些严肃的技术问题虽然在一些学者和专家中意见还没有统一，但是相信广大的考古工作者会以对历史负责、对我们祖先负责的态度，实事求是地对待在蔡伦发明造纸术之前到底有没有纸的问题。仅凭肉眼、放大镜和个人的猜测做出的判断是不严谨的。

通过几十年来的切身经历，我感受到了改革开放给科技工作所带来的巨大动力，给我国纤维形态研究领域与研究带来的巨大变化，给造纸行业带来的翻天覆地的巨变。我虽已年近九十高龄，但很幸运的是，我现在仍然能够在纤维形态领域持续耕耘。改革开放之初，国家确定了科学技术是第一生产力，这一伟大论断为我们国家、为社会、为科研工作以及国民经济的发展带来了无比巨大的推动力，从我们纤维形态领域的科研工作所发生的巨大变化也可以充分体现出来。改革让科技工作者有了动力，开放让我们有机会去学习国外的先进经验，政策和资金的支持让我们有了更多的检测和分析手段。

感谢行业内相关人士对我的厚爱，如今我系统的科研成果已汇集于2本专著及1项专利产品中，即《中国造纸原料纤维特性和显微图谱》《中国古代造纸工程技术史》及XWY-VIII型纤维分析仪。科研成果向生产力的直接转化，学术界的百家争鸣等，也为纤维形态领域的研究营造了良好的氛围。为满足社会需求，中国轻工业出版社正在安排《中国造纸原料纤维特性和显微图谱》一书的再版，它将作为该出版社今年主要出版物之一，向新中国成立70周年献礼。■



图7 所谓的“放马滩纸地图”，事实上并不是纸