

绪 论

包装材料学是包装工程的一门重要课程，它主要研究用于包装的纸、塑料、玻璃、金属、木材、复合材料等包装方面的适性及其制品成型技术，包括材料的结构与性能、包装制品的生产和加工，以及材料与制品质量之间的内在联系与相互作用，为根据商品性能正确选择包装材料和制品成型（加工）技术打下基础。

包装材料的应用有着十分悠久的历史。人类早期用天然植物藤蔓、树叶、禾草编制成筐篓，用来盛装谷物蔬菜；在掌握了烧制、冶炼技术后，加工生产出了陶器、青铜等包装容器；纺织、造纸技术的发展，促进了包装的重大进步；尤其是 20 世纪以来塑料生产与应用技术的发展，给现代包装注入了新的活力，使包装材料与产品性能更加适合商品包装的要求，促进了包装工艺和技术的完善。近年来，为适应现代包装市场的需求，包装与材料、化学、电子、信息技术等学科的交叉融合越来越深入，一些具有新特点的功能性包装材料不断涌现，大大促进了包装技术的进步和包装工业的发展。

在包装材料中，纸和纸板以其原料来源丰富、生产加工容易、缓冲保护性能优良、绿色环保而在整个包装材料中占有较高的比重。塑料包装功能全面，具备良好的成型性能，可以加工成各种薄膜包装袋、盘、盒、瓶、桶等容器，几乎适合包装各种固态、液态商品；其通过发泡或充气加工成的缓冲材料，对商品流通具有十分优良的保护作用，因而尽管其废弃物的处理难度较其他包装材料更大一些，但其在包装工业中的地位仍逐年上升。玻璃、金属包装以其密封和阻隔性能优异、商品保质期长和卫生安全等优点，在食品、药品、化妆品特别是饮料包装领域仍占有主导地位。为了充分利用各种包装材料的优点，近年来开发出众多的复合包装材料，如纸塑复合、塑料与铝箔复合、纸塑与铝箔复合等，由于它们具有阻隔性能好、化学性能稳定、包装适性广等特点，产量与应用领域在逐年增长。除了复合包装材料以外，以传统包装材料为基础，通过多学科的融合创新，开发的各種功能性包装材料有效地弥补了传统包装材料的不足，扩大了包装材料的应用范围。目前常用的功能包装材料包括可食性包装材料、降解型包装材料、保鲜包装材料、选择吸收型包装材料、阻隔型包装材料、保温型包装材料、无菌和抗菌包装材料、抗静电包装材料、纳米包装材料及智能包装材料等。

包装是为在流通过程中保护产品、方便贮运、促进销售，按一定技术方法而采用容器、材料及辅助物等以及为达到上述目的而采用的一些技术措施的总称。能够满足包装功能全面要求的材料及其容器，就能在包装领域内占有明显的优势。

保护商品是包装的最基本功能，产品从工厂制造出来后通过储存、运输、销售等环节到达用户手中，其中要经过数天、数月、甚至一年以上的時間，要使商品在整个流通过程中保持品质不变，除了产品本身必须质量良好以外，更重要的还是需要包装来进行保护。如食品、饮料、药品和化妆品，如果没有高阻隔性包装材料与技术来制成包装，其货架寿命会很短，甚至到达用户手中之前就已失效；家电、仪器和 IT 等产品如果没有良好的缓冲保护包装，则有可能在运输途中就被损坏；商品种类繁多、性能各异，对包装的保护功

能要求各不相同，包装必须针对各种商品的特性与特点，正确选择适合的包装材料与技术，才能收到良好的包装效果。

方便贮运是包装的重要功能，商品流通环节复杂，运输工具和手段不一，装卸、堆码和仓储既有机械化操作，又有由手工完成的，因此包装结构、外形尺寸规格设计等应考虑流通中的各种要素，使运输设备利用效益优化、装卸方便；同时在物流技术日益发展的趋势下，对包装的设计与制造提出了更高的要求，易于识别和管理的商品与包装信息是物流自动化管理的基本前提。

促进销售是现代包装技术发展的重要特点，随着商品经济的日益发展和商品品种日益丰富，尤其是大型零售超市的兴起和迅猛发展，商品推销角色由推销员转换为商品自身形象，因此在产品质量接近的情况下，产品包装的造型，精美的图案、色彩和装潢设计与印刷，以及详尽的产品使用说明就显得尤为重要，在较大程度上决定了商品的市场竞争力。

随着科学技术的发展和人类文明的进步，人们对社会的可持续性发展越来越重视。包装材料作为原料和能源消耗的重要组成部分，尤其是包装废弃物对环境保护带来的重大压力使人们在开发包装新材料和新技术的同时，要将包装领域的可持续发展放在首要位置。绿色包装是实现包装工业可持续性发展的重要途径，即在使用包装材料制造包装制品时，要考虑到包装减量（Reduce）、重复使用（Reuse）、回收利用（Recycle）和再生（Recover），尽量使用可降解材料（Degradable），减少包装带来的环境污染。

第一篇 纸包装材料与制品

以纸和纸板为材料制成的包装称为纸包装。与其他包装相比较,纸包装具有原料来源丰富、加工容易、性能优良、印刷装潢适性好、价格低廉、绿色环保、易于回收处理等特点,因此在包装工业中占有十分重要的地位。

纸和纸板的制造与应用有着近两千年的历史。东汉(公元105年)时期蔡伦发明了造纸术,当时主要以树皮、破渔网、旧麻片、碎布等为原料,制成了适合于书写的纸张,替代了当时作为书写材料的昂贵的缣帛和不易保存的简牍,对于促进人类文明和科学技术的交流、传播、继承和发展具有十分重大的意义,因此造纸术从公元610年开始由我国向世界各地传播,受到各国的重视。然而由于当时生产技术的落后,纸和纸板的产量远远满足不了市场的需要。直到工业革命以后,相继发明了烧碱法、硫酸盐法和亚硫酸盐法制浆技术,使造纸原料扩大到木材、禾草类等许多种天然植物,来源广泛、价廉;长网、圆网造纸机代替了过去的手工抄纸,使大规模快速加工生产成为可能。造纸工业的巨大发展,为纸和纸板进入包装工业创造了基本条件。进入20世纪以来,随着造纸技术的进步,对纸和纸板进行涂布、浸渍、改性和复合等一系列深加工,使纸包装的性能更好地满足了商品包装要求,应用领域更加广泛。目前纸和纸板在各种包装材料中已成为用量最大、品种最多、最具广阔发展前景的包装材料。

第一章 包装纸和纸板

纸和纸板是由纤维无序交织而成的平整、均匀的薄页,具有表面平滑可印刷、书写等特点。包装纸和纸板的生产是通过备料、制浆、造纸等一系列工艺完成的,即将天然植物纤维原料如木材、禾草适当切短,然后通过机械的、化学的或生物的方法,将原料分散成纤维,再将它们与辅料和水制成悬浮液,在细目网上脱水成型为纸和纸板。通过使用不同的原料配比和制浆造纸方法,使产品具有不同的性能与用途。

第一节 造纸原料

针对不同商品的特点,用于包装的纸和纸板要求具有相应的性能,尤其是机械强度性能更为突出。尽管制浆造纸工艺与技术、纸和纸板的后加工处理能够明显改善包装材料的适性,但包装纸和纸板的机械强度,很大程度上还是由造纸原料决定的。

一、造纸原料的种类

(一) 植物纤维原料

能用来造纸的原料品种繁多,根据形态特征可分为木材、非木材纤维原料两大类。

1. 木材纤维原料

(1) 针叶木 由于这类原料的叶子呈针状、条形或鳞形,故一般称之为针叶木材原料;同时因原料的材质一般比较松软,故又称软木。这类木材中用于造纸的主要有云杉、冷杉、马尾松、落叶松、湿地松、火炬松等。

(2) 阔叶木 这类原料的树叶多较宽阔,故称阔叶材,由于材质较硬,又称为硬木。实际上用来造纸的仅是阔叶木中材质较松软的品种,如杨木、桦木、桉木、枫木、榉木等。

2. 非木材纤维

非木材纤维原料是我国造纸工业中使用最多的原料,其中有一年生的禾草,也有多年生长成材的竹子等。

(1) 禾本科类 这类原料主要有芦苇、荻、竹子、棉秆、稻麦草、龙须草、甘蔗渣等,它们有的是农产品废料,来源丰富,成本低廉。

(2) 韧皮类 韧皮类原料包括两类,一类是树皮,如纤维含量较高的桑树皮、檀树皮、雁树皮、构树皮、棉秆皮等,然而大多数树皮因纤维含量低、杂质含量高不可用来造纸。另一类是麻类,主要有红麻、大麻、黄麻、亚麻、苧麻、罗布麻等。

(3) 籽毛类 这类原料主要包括棉花、棉短绒及棉质旧布等。

(二) 非植物纤维原料

用非植物纤维原料造纸近年来发展很快,它们以优异的特性和独特的功能在包装中发挥重要的作用。

1. 合成纤维

合成纤维主要包括聚烯烃纤维、尼龙纤维、涤纶纤维等。用这类纤维生产的纸大多具有较高的机械强度、防潮耐水、尺寸稳定性好、耐腐蚀等特点,尤其适合商品包装使用。

2. 无机纤维

无机纤维包括玻璃纤维、陶瓷纤维、石棉纤维、碳纤维、金属纤维等。生产时大多将这些原料拉制成细丝,然后切成一定的长度,单独或与植物纤维混合抄造成纸和纸板。根据原料的不同,这类纸和纸板具有良好的绝缘隔热性能、吸附性能或导电性能等,适合特殊商品的包装。

(三) 废纸

从严格意义上来讲废纸仍属于植物纤维原料,因为目前用非植物纤维生产的纸和纸板比例极低。废纸是造纸的重要原料来源之一,我国废纸占到造纸原料的40%左右,有些发达国家这一比例超过50%。废纸的回收利用不仅有利于环保,节约资源和能源,还能大幅度降低纸和纸板的生产成本。但废纸的反复循环使用对纸和纸板的某些性能有一定的不良影响。

用废纸生产高档纸和纸板,要经过分选、脱墨、去除杂质等复杂操作,一般工艺比较复杂,同时对废纸来源要求较高,因此大多数情况下都是将回收废纸简单分类后,用水力碎浆机碎解,筛除杂质后用来生产低级瓦楞原纸、箱纸板、厚纸板,或充作多层纸板的芯层,纸板表面用化学浆。这样既能保证纸板的外观质量与适印性,又不影响纸板挺度与使用效果。

二、造纸植物纤维原料的生物结构

自然界中植物主要是由细胞构成的。在生长过程中,细胞不断长大变粗,细胞壁加

厚。由于细胞在植物体内的位置、生理机能不同，随着生长分化，它们的形状多种多样。图 1-1-1 是常见的植物细胞，图中右边部分属于薄壁细胞，壁薄短小，不适合造纸，它只会在制浆造纸过程中增加化学药品和能源消耗，并大多在洗涤过程中流失，在造纸上称这类薄壁细胞为杂细胞。图中左边的两种细胞称为厚壁细胞，它是一种中空、细长、呈纺锤状、富有挠曲、柔韧性的细胞，在植物体内它起到机械支撑作用，在形成纸张后使之具有良好的物理强度，因而造纸工业上把厚壁细胞称为纤维。

原料不同，纤维在植物体内占的比例差距较大，纤维形状及其结构组成也存在一定的差异。针叶木纤维长度一般为 1.5~5.6mm，平均为 3.5mm，宽 0.05mm 左右；稻草纤维平均长 0.92mm，宽 0.008mm，而苎麻纤维长达 120~180mm，宽为 0.02mm。作为造纸植物纤维原料，纤维比例越高，细长均匀，杂细胞含量低，生产出来的纸强度就越高，反之较差。表 1-1-1 为常用造纸原料的纤维含量及形态。



图 1-1-1 常见的植物细胞形态示意图

表 1-1-1 常用造纸原料的纤维含量及形态

类别	原料	纤维含量 /%	纤维形态		
			平均长度 /mm	平均宽度 /μm	长宽比
针叶木	红松	98.2	3.62	9.7	67
	落叶松	98.5	3.41	44.4	77
	马尾松	98.5	3.61	50.0	72
阔叶木	山杨	76.7	0.86	17.4	50
	白皮桦	73.3	1.21	18.7	65
	桉木	82.4	0.68	16.8	43
禾草类	稻草	46.0	0.92	8.1	114
	麦草	62.1	1.32	12.9	102
	芦苇	64.5	1.12	9.7	115
	毛竹	68.8	2.0	16.2	123
	棉秆	71.3	0.83	27.7	30

纤维是造纸原料中最主要、最基本的植物细胞，细胞壁是由原生质体所分泌的物质形成的。根据细胞壁形成的先后和结构方面的差异，细胞壁可以分为胞间层（ML）、初生壁（P）和次生壁（S）三个部分。

植物细胞分裂产生新细胞时，在两个细胞之间形成了一层薄膜，称为胞间层；在细胞形成和生长阶段，分泌出的原生质体在胞间层的内侧沉积形成初生壁，其厚度约为 0.1μm，具有柔软性和可塑性，适应细胞体积增大的需要，它的大小也确定了细胞的长度

与直径；初生壁停止生长以后，原生质体在初生壁内侧分泌沉积形成的细胞壁称为次生壁，根据形成顺序，次生壁可分为外层（ S_1 ）、中层（ S_2 ）和内层（ S_3 ），次生壁厚度为 $5\sim 10\mu\text{m}$ ，是细胞（纤维）的主体。

在高倍电子显微镜下，人们可以观察到纤维细胞壁中的微细纤维，它由数百个纤维素

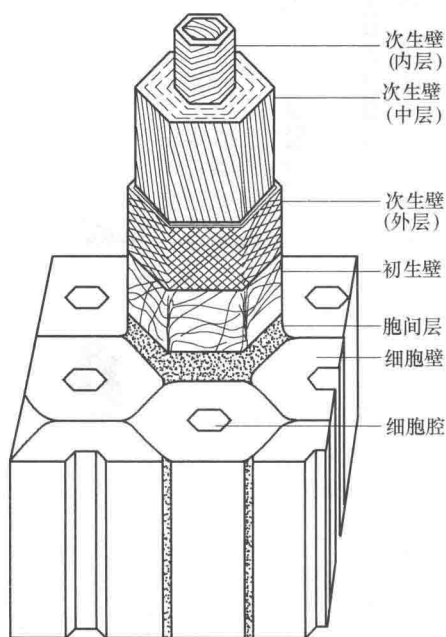


图 1-1-2 纤维细胞壁的微细结构模型

分子链平行连结而成，直径 $10\sim 45\text{nm}$ ，是纤维细胞的骨架，并且在不同的细胞壁形成层中，微细纤维取向各异。

图 1-1-2 表示纤维细胞壁的微细结构模型。从此图可以看出，初生壁中微细纤维的排列是杂乱无章的；次生壁外层微细纤维呈左右螺旋向交叉排列，形同网状结构；次生壁中层微细纤维排列几乎与纤维轴向平行；次生壁内层微细纤维则差不多与轴向垂直。

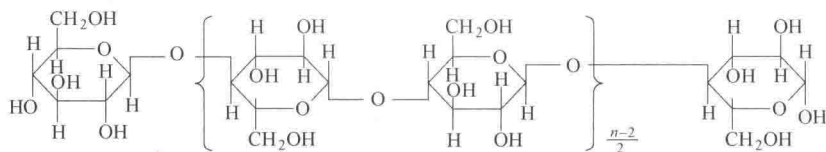
三、造纸植物纤维原料的化学组成

造纸植物纤维原料的化学成分十分复杂，但主要由纤维素、半纤维素、木素及少量其他成分组成的。

1. 纤维素

纤维素是植物纤维原料最主要的化学成分，是评价原料制浆造纸价值的基本依据；也是纸浆、纸张最主要、最基本的化学组成。

纤维素分子是由基本结构单元 D-吡喃式葡萄糖基通过 1, 4- β 苷键构成的线状高分子化合物, 纤维素的分子结构如下:



其分子式简写为 $(C_6H_{10}O_5)_n$ ，其聚合度在数百至 1 万之间。原料不同，聚合度不一样，大多在 1400 左右。

纤维素分子链上的大量羟基可以形成氢键连接，从而在纤维交织形成纸页时增加纤维间的结合强度；这些羟基对极性溶剂和溶液具有很强的亲和力，它能从空气中吸收水分，也可在空气中蒸汽分压降低时解吸出吸附的水分，这一过程会引起纤维润胀或收缩。另外纤维素在 150℃ 下主要表现为物理吸附的水解吸，超过 240℃ 时会发生苷键断裂等热降解。

纤维素在酸性或碱性溶液中会发生水解，在氧化、微生物、加热、机械等作用下也会发生降解，使聚合度下降，这是在造纸过程中应尽量避免的。组成纤维素大分子的每个葡萄糖基中含有三个醇羟基，从而使纤维素有可能发生各种酯化、醚化反应，生成许多有价值的纤维素衍生物，也可以通过对纤维素进行化学改性，获得更高价值的产品。

2. 半纤维素

半纤维素也是一种长链的高分子碳水化合物。与纤维素分子由均一的葡萄糖基构成不同，它由一群复合聚糖基组成，并且原料不一样，复合聚糖的组成也不一样。这些糖基主要有：D-木糖基、D-甘露糖基、D-葡萄糖基、D-半乳糖基、L-阿拉伯糖基、4-O-甲基-D-葡萄糖醛酸基等。它们组成的非均一结构的支链型半纤维素分子，聚合度在 200 左右，较纤维素更容易水解和降解。保留较高的半纤维素含量，对于提高纸张的裂断长、耐折度、吸收性和不透明性是有利的。

3. 木素

木素是由愈创木酚基丙烷、紫丁香基丙烷、对羟基苯基丙烷等结构单元通过醚键、碳-碳键联接而成的网状芳香族高分子化合物，其分子结构十分复杂。

木素是一种填充在胞间层、微细纤维之间的胶黏剂，在纤维之间、纤维细胞壁内起连结作用；木素也是纸浆和纸张颜色的主要来源，木素含量越高，制浆蒸煮时间越长，漂白越困难，因此生产白度要求高而稳定的纸张时，生产中就必须尽量去除木素。然而保留适当的木素对于提高纸张挺度是有利的，对于大多数包装纸和纸板这一指标十分重要。木素能与许多酸、碱、盐溶液发生亲核反应、亲电取代反应或氧化反应，生成溶于水的生成物，化学制浆就是利用这些性能去除木素的。

4. 其他少量成分

造纸植物纤维原料中还含有淀粉、果胶质、脂肪、树脂、蜡、香精油、灰分等少量成分。原料不同，少量成分的种类和比例也不一样，如灰分在禾草中含量很高，木材中含量则较低。

各种化学成分在造纸植物纤维原料中的分布是不同的，表 1-1-2 分别为常用造纸原料的化学组成。

表 1-1-2 常用造纸原料的化学组成

原料	纤维素/%	半纤维素/%	木素/%	灰分/%	其他/%
红松	53.12	10.46	27.69	0.42	8.31
落叶松	52.55	11.27	27.44	0.36	8.38
马尾松	51.86	15.08	28.42	0.33	4.31
杨木	43.24	23.50	17.10	0.32	15.84
桦木	53.43	21.2	23.91	0.82	0.64
柏木	44.16	10.69	32.44	0.41	12.30
稻草	39.12	22.45	11.66	13.39	13.38
麦草	40.40	25.56	22.34	6.04	5.66
芦苇	50.97	22.15	19.58	3.68	3.62
毛竹	44.35	21.41	30.67	1.10	2.47
棉花	96.00	1.00	0	0.20	2.80

第二节 制浆工艺

制浆的目的是将造纸植物纤维原料分散成单根纤维，使之适合于纸张抄造的要求。制浆前首先要对粗大的原料树木、禾草进行备料，即将不适合造纸的部分如树皮、树节、草

根、草叶等去掉,然后经过切片、筛选后得到均匀的木片或草片,再经化学蒸煮或其他方法制成纸浆。

一、化学法制浆

所谓化学法制浆是将化学药品配成药液,然后与备好料的料片一起在蒸煮器内高温蒸煮,所获得的纸浆称为化学浆。这种方法使用的化学药剂能有选择性地与原料中的木素发生化学反应生成溶出物(同时也会溶出一部分非木素成分),使得纤维分散成浆料,并且大致保留了纤维的原始长度。这种浆料木素含量低,使得纤维具有良好的柔韧性和强度,适合于生产各种高级印刷纸、强韧包装纸和纸板、加工原纸等。

根据使用的化学药品不同,化学制浆方法分为石灰法、烧碱法、硫酸盐法和亚硫酸盐法制浆。化学制浆工艺包括蒸煮、洗涤与筛选、化学药品回收和漂白等。

1. 蒸煮

根据蒸煮过程可分为间歇式和连续式两类,规模较大的制浆厂大都采用连续式蒸煮,将工艺条件设置好了以后,可以制得质量稳定的纸浆。间歇式蒸煮操作简单、投资少,但不利于废液回收,主要有蒸球、立式蒸锅等蒸煮设备。

2. 洗涤与筛选

蒸煮后喷放出来的物料是纤维与废液的混合物,必须将二者分离。这一过程称为黑液提取与洗涤,需要用专门的设备来完成。清洗干净后的纤维经过筛选,去掉未蒸解的原料和杂质,可以进入造纸车间生产包装纸和纸板,由于这种浆未经漂白去除有色成分,色泽与原料差不多,故称为本色浆。

3. 化学药品回收

无论是碱法制浆还是盐法制浆,分离出来的废液直接排放将严重污染环境,因此需进行回收处理。目前较常用的方法是将其加热蒸发大量水分浓缩,然后燃烧其中的有机物回收热量,剩下的无机物主要成分为 Na_2S 和 Na_2CO_3 等化学药品,重新处理后又可成为制浆药液。

4. 漂白

用来生产文化用纸和白度要求较高的包装纸和纸板,本色浆必须经过漂白处理后才能提高其白度。

本色浆的颜色主要是残留在浆中的木素和在蒸煮过程中形成的有色物质产生的。漂白就是在不过分地影响得率、纸张强度和造纸性能的前提下,尽可能地去除残留木素和有色物质,使之达到希望的白度。

漂白的办法有两种,一种为氧化性漂白,一种为还原性漂白。

(1) 氧化性漂白 氧化性漂白是利用氧化剂进一步除去浆中的木素及发色物质,其特点是漂白白度高,稳定性好,保持持久,纸和纸板长期存放不褪色。

氧化性漂白常用的漂白剂有次氯酸盐、氯气、二氧化氯和过氧化物(如 Na_2O_2 、 H_2O_2 等)。由于漂白剂的强氧化作用,在脱除浆中有色物质和基团的同时,也会对纤维素、半纤维素等造纸有益成分产生破坏作用,降低它们的聚合度。因此漂白时要兼顾二者。对于白度要求较高的纸浆漂白,现大多采用多段漂技术,要使纸张白度达到 90% 以上时,往往要经过 5 段以上的漂白处理。

由于含氯漂白剂会产生大量有机卤化物等毒性物质，给环境保护带来压力同时也给纸张安全带来隐患，因此，现在多采用少氯和无氯漂白技术。对于直接用于食品的包装纸和纸板，如纸餐盒纸板，相关标准要求采用全无氯漂白技术，且不允许在纸浆中加入荧光增白剂。

(2) 还原性漂白 采用化学药剂破坏纸浆中的发色基团，使纸浆变白，这种漂白方法称为还原性漂白或“表面漂白”。使用的漂白剂不起脱木素作用，只能脱色，不破坏纤维素、半纤维素分子结构，故这种漂白处理不会降低得率和纸张强度。但还原性漂白没有从根本上去除物质，因此漂白稳定性差，经过一段时间后纸张返黄。

常用的还原性漂白剂有 ZnS_2O_4 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ，有时也采用硼氢化钠、硼氢化钾等药物，因其价格较贵，较少采用。

二、机械法制浆

机械法制浆是用物理方法将木材等造纸原料分散成纤维，它将原木或木片置于磨石磨木机或盘磨机中，磨石旋转时产生的摩擦、撕裂、剪切等作用将纤维从原料上分离下来。

三、化学机械法制浆

化学机械法制浆属于两段制浆法，先将原料用低浓度的化学药液在较低温度下作短时间蒸煮处理，使原料松弛、松软，然后用盘磨机磨制成浆。这种方法吸收了化学法制浆和机械法制浆的优点，既能提高纸浆得率，又能降低化学药品和能源消耗，获得的纸浆质量介于二者之间，可用来生产各种包装纸板。

此外，还有一些制浆方法如生物制浆、无污染化学法制浆技术，由于成本和生产工艺技术等方面的原因，还未规模化应用于工业化生产。

第三节 造纸工艺

将制得的纸浆纤维经适当的工艺处理后在造纸机上抄造成纸和纸板的过程称为造纸。造纸主要有湿法、干法和泡沫法三种成型技术。湿法造纸是以水为纤维的悬浮介质，使纤维获得充分分散，然后使之在造纸机网部成型、脱水，再经压榨、干燥等处理，制成纸和纸板；干法造纸一般将纤维悬浮于空气中，经引导均匀地散落到造纸机网上，与此同时喷淋黏合剂使纤维互相粘结形成纸页；泡沫成型法是利用空气与起泡剂在纸浆中形成大量泡沫，以泡沫取代水成为纤维悬浮介质，改进长纤维成纸匀度。干法和泡沫法造纸使用较少，传统的、工艺成熟且应用广泛的还是湿法造纸。

一、打浆与调料

打浆与调料是造纸的预处理工序。经过洗涤、筛选和漂白后的纤维，如果直接用来造纸，则得到的产品表面粗糙，强度低，使用性能差，因而必须经过适当处理后才可造纸。

(一) 打浆

打浆是将纤维在水中用机械设备挤压、摩擦、剪切、冲击等处理，使纤维受到撕裂、弯曲、扭曲、压溃和断裂等力的作用，导致纤维束分散、纤维的初生壁、次生壁外层剥

落，从而露出次生壁的中层微细纤维。在外力作用下，去掉了初生壁和次生壁外层的纤维两端与纤维表面微细纤维分散蓬松，分丝“帚化”，结果在宏观上利于形成纸页时因纤维之间互相缠绕增加交织强度，微观上它能使微细纤维之间足够接近，形成分子链之间的氢键结合。二者都能显著地提高纸张的强度性能，后者则更加明显。

打浆增加了纤维之间的结合力，直接结果表现在纸张的抗张强度、耐破度、耐折度、平滑度、紧度提高；同时打浆也会降低纤维的平均长度，对纸张的一些性质产生负面影响。

打浆设备种类较多，最早使用的是槽式打浆机，后来逐渐发展到采用圆锥形精浆机、圆柱形精浆机和圆盘磨浆机等。

（二）调料

为了改善纸和纸板的渗透性、适印性等性能，在造纸前还需在纸浆中加入适量的辅料，这一过程称为调料。

1. 施胶

施胶就是在纸内或纸面加一定的抗水性胶体物质，使纸张具有一定程度的抗拒液体渗透的能力。将胶料直接加入纸浆内，然后抄造成纸张，称为纸内施胶；若将胶料涂布于纸和纸板表面，则称为表面施胶。两种施胶方法所起的作用和施胶剂的种类各有异同。

（1）纸内施胶 纸内施胶是造纸工业中使用最广的方法，施胶剂多为松香胶。松香不溶于水，要制成胶液必须用碱在一定温度下进行皂化反应，生成松香酸盐，然后用蒸汽在热水中乳化并稀释成乳液，即松香胶。施胶时将一定浓度和比例的松香胶乳液加入浆料中，再用沉淀剂将其沉积到纤维表面，抄成的纸页经干燥后就能阻止液体向纤维毛细孔渗透，或降低其渗透速度，增加了纸页的抗液（或抗洇）性能。

纸内施胶剂除了松香胶外还有硬脂酸、石蜡和合成胶料。合成胶料包括烷基烯酮二聚体（AKD）、烯基琥珀酐（ASA）和有机硅胶等。

（2）表面施胶 表面施胶是在经过纸内施胶或未经施胶的纸和纸板，用一种或几种混合施胶剂涂于纸的单面或双面，使其取得较高的憎水性。表面施胶不仅改善了纸和纸板的防潮性能，而且还提高了纸张表面强度、平滑度和适印性能，在一定程度上也提高了物理强度。

表面施胶剂的种类较多，主要有淀粉及其衍生物如氧化淀粉、阳离子淀粉、酶转化淀粉等；还有纤维素衍生物、动物胶、松香胶、有机合成胶料如聚乙烯醇（PVA）和其他胶料。

2. 加填

加填就是在纸浆内加入一些难溶于水的矿物质填料，目的是使纸张具有可塑性与柔软性，纸张压光后表面更为平整，同时提高纸张的不透明性和适印性能，使印刷字迹清晰、饱满、不透印，提高纸张白度，降低纤维消耗量与成本。常用的填料有滑石粉（主要成分为 MgO 、 SiO_2 ）、瓷土（主要成分为 Al_2O_3 、 SiO_2 ）、 CaCO_3 和 TiO_2 等。加填对纸张的质量有一定的好处，但也有负面影响，加填会使纤维的结合受到阻碍，因而降低纸张强度。

3. 化学助剂

根据纸和纸板的用途，造纸前还需在纸浆中加入适量的化学助剂，以改进其产品质量，如为了提高白度加入品蓝染料或荧光增白剂；为了提高纸页强度，加入能够增强纤维

结合力的胶黏剂，如淀粉及其衍生物、羧甲基纤维素；为了提高纸页湿强度加入三聚氰胺甲醛树脂、脲醛树脂、聚酰胺环氧树脂等。值得注意的是，生产直接与食品接触的纸和纸板时，应充分考虑所用助剂的安全性能，国家相关标准对此类助剂的范围和用量有明确规定。

二、纸张的抄造

从制浆车间送过来的纸浆，经过打浆调料以后，还要进行稀释、净化与筛选，以彻底去除其中的大块矿物质、金属微粒、浆团等，保证抄造出来的纸张的质量与均一性。

纸张的抄造主要通过长网造纸机、圆网造纸机等机器生产完成的，虽然一些特殊用途的纸仍需手工抄制，但比例极小，当前大量生产和使用的都为机制纸。

1. 长网造纸机

长网造纸机有普通长网造纸机、哈伯式单缸长网造纸机和多长网造纸机等多种，但其基本结构组成与工作原理大致相同，主要由流浆箱、网部、压榨部、干燥部和压光卷取部等部分组成，图 1-1-3 是普通长网造纸机的结构示意图。

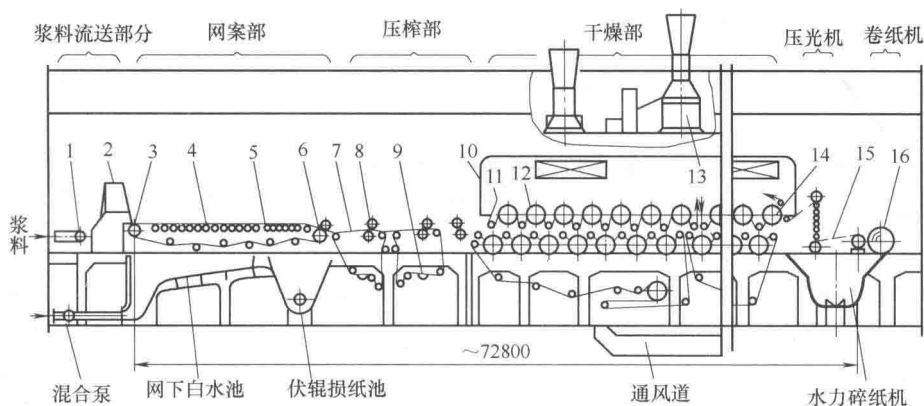


图 1-1-3 长网造纸机结构示意图

- 1—浆料输送管 2—流浆箱 3—堰板 4—长网 5—脱水原件 6—伏辊 7—毛毯 8—压榨辊
9—洗毯装置 10—干燥部 11—导辊 12—烘缸 13—排气装置 14—冷缸 15—压光辊 16—卷纸机

长网造纸机是造纸工业中应用最多的造纸机械，主要用于生产文化、包装用纸，生产速度最高可超过 3000m/min，生产出来的纸张幅宽最大可达 10m 以上，单台机日产量可达到 2000t。

(1) 流浆箱 流浆箱是保持浆料浓度均匀、且沿造纸机幅宽均匀流出、恒速将纸料送至网上的一种装置，以保证形成质量均匀的纸页。流浆箱流出口的堰板是可以调节的，根据造纸机生产速度的不同，流浆箱有开口式普通流浆箱和封闭式压力流浆箱、气垫压力流浆箱多种。

(2) 网部 网部形成纸页，是造纸机的关键部位。它由一无端铜网或聚酯网及其支承、传动胸辊、伏辊组成，其下设置有成型板、案辊、吸水箱等加速脱水装置。流浆箱流出的浆料在网部脱出大部分水，其中的纤维、填料在网面上形成一层厚薄均匀的纤维，成为纸张的雏形。在伏辊处纸幅的干度可达到 13% 以上。

网部成型对纸页质量影响较大，首先它决定了纸张的厚度与定量，其次也使纸页产生了方向性。由于一般控制浆流速度略低于网速（大致为浆流速度：网速=0.83~0.98），从而使较多的纤维长度沿成形网运行方向排列，使纸张形成后这一方向（纵向，MD，Machine Direction）的强度略高于另一方向（横向，CD，Cross Direction）；相反，若使网速小于浆流速度，则会使生产出来的纸张质量不匀。此外，由于纸页成型时贴近网面的一边细小纤维和填料通过网孔流失较多，成纸后表面相对粗糙，从而出现纸张两面平滑、光洁度不一样，即纸的正面与反面。

（3）压榨部 压榨部是由几组表面光滑的重辊组成的，它的作用是进一步挤压脱除纸页中的水分，同时起到改善纸页结构、增加紧度、消除网痕等作用。

湿纸幅通过压榨后干度提高到25%~42%。计算表明，压榨脱水多去除纸幅中1%的水分，则干燥时可节省5%的蒸汽。因此在压榨部往往采用三道以上的压榨辊或复合压榨，尽可能多地除去纸幅中的水分，并保证沿纸幅宽脱水均匀。

（4）干燥部 经过压榨后纸幅中的剩余水分很难再用机械方法除去，干燥部的任务就是通过加热装置加热蒸发纸页中水分，使纸张最后水分在6%~10%；同时干燥还有完成纸内施胶的作用，表面施胶大多也在干燥部完成。

干燥速度对纸和纸板的性能有较大的影响，在干燥初期要避免高温造成水分蒸发过快，否则要影响纤维之间的结合力，使成纸出现强度差、松软、施胶度低、收缩不均匀、翘曲等纸病。

（5）压光、卷取与整理 干燥后的纸页要经过一组或多组压光辊压光，使纸页紧密、表面平整，尽量消除两面差。

卷取是将压光后的纸卷成纸卷，由于在造纸过程中容易出现断头等情形，加上宽幅造纸机生产的纸张不适合包装机、印刷机直接使用，因此还需要通过复卷机分切、复卷，并将断头接好并标示出来。平板纸通过压光以后直接裁切成商品规格，经分选、计数、打包成件后直接进入仓储或流通。

2. 圆网造纸机

圆网造纸机与长网造纸机比较主要是纸页成型的网部不一样，适合多层纸板的抄造。其他部分如压榨、干燥、压光、卷取与长网造纸机相应结构基本相同。

此外，根据纸页成型网部结构的不同，生产纸和纸板的机器还有夹网造纸机、斜网造纸机及长圆网混合造纸机等机型。

第四节 纸和纸板的性能及测试方法

纸和纸板的各项技术指标的优劣不仅决定包装材料质量的高低，而且也直接关系到包装商品的保护程度，关系到商品的货架寿命，因此评估测试纸和纸板的相关性能，是设计、制造和使用包装材料与容器的关键步骤和重要依据。

一、包装纸和纸板的分类

纸和纸板一般按定量与厚度来区分，按照国家标准将定量小于225g/m²、厚度小于0.1mm的称为纸，定量大于225g/m²、厚度大于0.1mm的称为纸板。

包装纸和纸板的种类繁多,根据加工工艺可分为包装纸、包装纸板、加工纸和纸板等大类。

二、包装纸和纸板测试前的采样和预处理

1. 采样

在生产和实际使用中,通常采用随机抽样检测的方法来评价批量产品的质量,为确保抽检的试样具有代表性,必须对采样方法与检测条件进行统一、严格的规定。

(1) 平板纸取样 从整批材料中随机抽取包装完好、无损伤的纸和纸板数件,然后从中抽取一定的张数作为检测样品,按照国家标准的规定,平板纸采样数量如表 1-1-3 所示。

切成试样时从每张纸上各取一个样品,为保证其随机公正性,每个样品的切取部位应不相同。

(2) 卷筒纸取样 从卷筒纸外部去掉全部受损伤的纸层,从未损伤的纸层开始再去掉 3~5 层,沿卷筒的幅宽划切一刀,

其深度要满足取样所必须的张数,让切取的纸样与纸卷分离。然后从每张样品上切取一个试样,试样长为卷筒的全幅宽,试样宽均为 400mm。

由于纸和纸板纵、横向和正、反面的性能有一定的差异,因此采样时应标明试样的纵横向和正反面,判别方法参照相应的国家标准进行。

2. 判别纵横向、正反面

(1) 纵横向判别 判断纵横向是为了在制造包装容器时,更好地利用纸张纵横向性能的差异来制造出性能良好的产品,如利用纸张纵向机械强度高,使制成的纸袋的受力方向为纵向;利用纸和纸板的横向浸润后容易弯曲的特点来合理搭配瓦楞纸板的芯层和面层,以防止瓦楞纸板翘曲。

判断纸和纸板的纵横向一般采用如下的方法:

① 试条弯曲法。从纸张互相垂直的方向各裁下一条约 15mm×200mm 试条,将其重叠后用手指捏住一端,使另一端自由地向左方或右方弯曲;如果两个纸条末端分开,下面的纸条为横向,因为纸张横向机械强度(挺度)低于纵向,反之则下面的纸条为纵向。

② 浸润卷曲法。切取与试样原始边平行、50mm×50mm 的方形试片,并在上面标注明相当于原始边方向,然后将试片漂浮于水面上,试样卷曲时与卷轴平行的方向为纵向。浸湿后的纸烘干时弯曲也具有同样的特点。

③ 撕裂法。将纸和纸板撕裂时平滑裂口为纵向,锯齿状裂口为横向。

④ 测试法。一般抗张强度大的方向为纵向,伸长率大的为横向。

⑤ 观察纤维方向。根据纸页成型时大多数纤维沿纵向排列的特点,通过观察纤维走向来判断纸和纸板的纵横向,在显微镜底下观察时更加明显。

(2) 正反面判别 判断正反面主要是为了测试纸和纸板表面吸水性、光学性能、平滑度等。主要方法有:

① 直观法。折叠一张试片,观察两面的相对平滑性,从造纸网的菱形压痕中往往可

表 1-1-3 平板纸取样数量 单位:张

整批材料张数	最少取样张数
1000 以下	10
1001~5000	15
5000 以上	20

以认出网面。观察时将试片水平放置,让日光入射角度与纸面呈 45° ,视线也与纸面成 45° ,也可借助显微镜来观察辨别网痕。用水或稀溶液浸湿纸面,放置几分钟后也可以看到清晰的网痕。

② 撕裂法。一手拿试片,使纵向与视线平行且试片表面呈水平,用另一手将纸向上拉,这样它首先在纵向上撕,然后将撕纸的方向逐渐转向纸的横向,向纸的外边撕去。翻过纸面,另一面向上,仍按上述方法撕纸。比较两次撕裂线上的纸毛,可以看到一条线上比另一条线上的要明显得多,特别是纵向转向横向时的曲线处,纸毛明显的一面为网面。

③ 浸水干燥法。浸水卷曲时内弧为正面,干燥时则相反。

3. 试样的预处理与检测环境

纸和纸板的含水量对其物理性能有十分明显的影响,为了能准确地反映和比较各种纸包装材料的性能,除了测试纸和纸板的水分外,其他性能指标的测试一般都要在恒温恒湿的标准大气中进行。

(1) 标准大气条件 根据国家标准规定,测量纸和纸板性能时的标准大气条件为温度 $(23\pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(50\%\pm 2\%)$,测试时偏离标准温湿度的时间15min内不应多于1min。

(2) 试样的预处理 取下的试样置于标准大气中至少要经过5~48h以后才能进行测试。如果试样水分较大,进入标准大气室内前还须进行干燥处理,使其中的水分含量低于标准大气处理后的纸幅中水分,以避免因纸板水分平衡滞后造成的测试误差。

三、纸和纸板性能测试

(一) 外观性能

纸和纸板的外观性能主要是指通过肉眼可以观察到的纸张质量缺陷,也称外观纸病,如尘埃度、斑点、沙子、浆疙瘩、孔洞、针眼、透明点、半透明点、皱纹、裂口、折子、条痕,显著的网痕、毛布痕,鱼鳞斑,同批纸张色调的显著差别等,因纸的种类和用途不同,对外观质量要求也不一样。

(二) 基本性能

纸和纸板的基本性能包括定量、厚度、紧度等。

1. 定量

定量是纸和纸板每平方米的质量,单位为 g/m^2 。用感量0.01g的天平称量出试样重量,然后计算出定量。

纸和纸板的物理性能(抗张强度、耐破度、撕裂度、环压强度等)都与定量有关。为了使同一类型的纸张的强度具有可比性,需要将有些物理性能换算为抗张指数、裂断长、耐破指数、撕裂指数和环压指数等,其间都涉及到纸和纸板的定量。

2. 厚度

厚度是指纸和纸板等材料在两侧压板间规定压力 $(100\pm 10)\text{kPa}$ 下直接测量的结果,单位用mm或 μm 表示。测量仪器为厚度测量仪。

3. 紧度

紧度又称表观密度,是指纸和纸板单位体积的质量,单位为 g/cm^3 。将测得的定量与厚度按下式计算就可获得紧度:

$$D = \frac{G}{1000T} \quad (1-1-1)$$

式中 D ——紧度, g/cm^3

G ——定量, g/m^2

T ——厚度, mm

另外也可用松厚度来表示纸和纸板的紧密状态, 它为紧度的倒数 (即 $\frac{1}{D}$), 单位为 cm^3/g 。

(三) 强度性能

纸和纸板的强度是指在外力作用下, 材料本身发生破裂或变形时所能承受的最大应力, 也是纸和纸板的物理力学强度。包括抗张强度、撕裂度、耐破度、耐折度、挺度等。

1. 抗张性能

抗张性能是包装纸和纸板最重要的力学性能之一, 可以用抗张强度、裂断长、抗张指数和伸长率来表示。常用的测量仪器为抗张强度测试仪或拉力试验机。

测试时切取 $15\text{mm} \times 250\text{mm}$ 试样纵、横向各 10 条, 然后将试样夹调至 180mm (测试纸板时为 100mm), 然后逐条测试, 记录下抗张力与伸长量, 然后计算出平均值。

(1) 抗张强度 纸和纸板横截面长度所能承受的最大张力, 单位用 kN/m 表示。

计算抗张强度的公式如下:

$$\sigma = \frac{\bar{F}}{L_w} \quad (1-1-2)$$

式中 σ ——抗张强度, kN/m

$\bar{F}$ ——平均抗张力, N

L_w ——试样宽度, mm

(2) 抗张指数 抗张强度除以定量称为抗张指数, 单位为 $\text{N} \cdot \text{m}/\text{g}$ 。

$$I = \frac{\sigma}{G} \times 10^3 \quad (1-1-3)$$

式中 I ——抗张指数, $\text{N} \cdot \text{m}/\text{g}$

σ ——抗张强度, kN/m

G ——定量, g/m^2

(3) 裂断长 宽度一致的纸和纸板在自身重量作用下断裂时的长度称为裂断长, 以 m 或 km 表示, 即:

$$L_B = \frac{\bar{F} \times 10^3}{9.8 \times L_w \times G} \quad (1-1-4)$$

式中 L_B ——裂断长, km

$\bar{F}$ ——平均抗张力, N

L_w ——试样宽度, mm

G ——定量, g/m^2

(4) 伸长率 伸长率是指纸和纸板断裂时的伸长对原试样长度的比率, 用 $\%$ 表示。伸长率表明纸张的韧性, 适当的伸长率对于提高包装适性十分重要, 尤其是纸袋纸, 伸长率越大, 保护性能越好; 箱纸板、白纸板的伸长率大有利于压痕和折叠时不破裂。伸长率计算公式为:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-1-5)$$

式中 δ ——伸长率, %

l_1 ——试样断裂时试样夹之间的距离, mm

l_0 ——试样夹之间的初始夹距, mm

2. 撕裂度

撕裂度是指将预先切口(切口长度 20mm)的纸和纸板撕至一定长度[撕裂长度为 (43 ± 0.5) mm] 时所需力的平均值, 结果以毫牛 (mN) 表示。测量仪器为爱利门道夫 (Elmendorf) 撕裂度仪。

撕裂指数是表示撕裂度大小的另一种方法, 它是将撕裂度除以纸张定量所得到的结果, 用 $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ 表示。

3. 耐破度

耐破度是指纸和纸板所能承受的均匀增大的最大压力, 用 kPa 表示。实际上耐破度是抗张强度、伸长率及撕裂度等强度指标的综合反映, 虽然目前存在着以抗张强度取代耐破度评价包装材料强度性能的趋势, 但耐破度仍是评价纸和纸板性能的可靠手段, 因为在纸包装制品使用时, 往往会受到类似的力的破坏作用。

耐破度除以定量得到耐破指数, 用 $\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ 表示。

4. 耐折度

纸或纸板在一定张力下所能经受往复折叠一定角度的次数称为耐折度, 用次表示。耐折度能直接反映纸和纸板制成包装以后的使用性能, 如纸箱、纸盒摇盖的可折叠次数与耐折度关系十分密切。

测试耐折度常用仪器有两种, 分别为肖伯尔式耐折度仪和 MIT 式耐折度仪, 前者适合于测试纸张, 折叠角为 180° ; 后者适合测试纸和纸板, 折叠角为 135° 。

5. 挺度

挺度是使一端夹紧的规定尺寸的试样弯曲至 15° 角时所需的力或力矩, 用 mN 或 $\text{mN} \cdot \text{m}$ 表示。

挺度反映了纸板弯曲时面层的伸长能力和内层的承压能力, 是包装纸板的重要性能。

(四) 表面性能

纸和纸板的表面性能包括粗平滑度、粗糙度、印刷表面强度以及掉毛、耐磨、粘合等性能。纸和纸板的表面性能对包装、印刷用纸都是非常重要的指标。

1. 平滑度

平滑度是指在一定真空度下, 一定容积的空气通过受一定压力的试样表面与玻璃面间隙所需要的时间, 以 s 表示。平滑度是评价包装纸和纸板印刷装潢效果的重要指标, 它主要取决于纸页表面纤维与填料的分布状况。测量仪器为别克 (Bekk) 式平滑度测定仪。

2. 粗糙度

粗糙度的测量有两种方法, 一种是测定一定压力下通过测头的环状平面与纸或纸板之间的空气流速, 以 mL/min 表示, 称为本特生粗糙度; 另一种是测定一定压力下纸或纸板与测量环面之间的平均缝隙, 以 μm 表示, 称为印刷表面粗糙度。

3. 印刷表面强度

印刷表面强度是评价纸和纸板印刷适应性的一项重要指标,是指在印刷过程中,当油墨作用于纸和纸板表面的外向拉力大于纸和纸板表面的内聚力时,引起表面的剥裂。测试时,在恒压下用标准油墨印刷试样,同时使印刷速度逐渐增加,以纸面发生起毛时的最小速度表示纸和纸板的印刷表面强度,单位为 m/s,此速度越高,表明纸和纸板的印刷表面强度越好。测量仪器为 IGT 印刷适性仪。

(五) 透气与吸收性能

纸和纸板的透气性能包括透气度、透气阻力、水蒸气透过率等指标;吸收性能主要是指吸水性、油墨吸收性、施胶度等。这些性能对于防潮包装、防锈包装、保鲜包装、粉粒料包装和液体包装尤为重要。

1. 透气度

透气度是指在单位时间和单位压差下,通过单位面积纸或纸板的平均空气流量,以 $\mu\text{m}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$ 表示。测量方法有葛尔莱法、肖伯尔法和本特生法。

2. 吸水性

指单位面积的纸和纸板在规定时间内表面所吸收的水量,以 g/m^2 表示。测量方法有可勃法和浸水法。

3. 油墨吸收性

油墨吸收性是纸和纸板适印性能的一项重要指标,通过测定纸和纸板在一定时间内吸收油墨后表面反射因数的降低来表示。

4. 施胶度

施胶度是表示纸和纸板的憎液抗润湿性能,一般采用墨水划线法,即用标准墨水在纸面上划出由粗到细的线条,不扩散亦不渗透时线条宽度即为施胶度,单位为 mm。

(六) 光学性能

纸和纸板的光学性能反映了其对投射光线的反射、透射和吸收的能力,给人的感官视觉就是纸张白度、透明度、不透明度、光泽度和颜色等性能指标。绝大部分包装用纸对光学性能都有具体要求,尤其用于高档商品包装的铸涂纸板和用于香烟包装、制作标签的铜版纸,对纸张白度、光泽度要求很高。

(七) 安全、化学性能

对于专门用途的纸和纸板,除了一般性能以外,在安全、化学性能方面还有专门的要求,如用于食品、药品、化妆品包装用纸,必须检测安全卫生性,包括砷、铅含量,荧光物质、大肠杆菌检出水平,应当控制在安全的范围内。

纸和纸板的化学性能主要指水分、灰分、化学组成和其水抽提物的酸碱度等。化学组成指纸和纸板的纤维、填料和涂料等;一些金属离子如铜、铁、锰、钙、钾、钠等的含量,它们对纸和纸板的物理性能、光学性能、印刷性能、电气性能均有较大的影响。不同用途的包装纸和纸板对化学性能要求不同,例如防锈原纸对水抽提液的值、水溶性氯化物和硫酸盐含量有严格的规定。

(八) 其他性能

一些特殊功能的包装纸和纸板还要进行规定的性能检测,如防锈纸的防锈性能,保鲜纸的保鲜性能,集成电路、半导体元器件包装的防静电性能等。