

# 最新

ZUIXIN ZHIJI  
CHAOZAO GONGYI

# 纸机抄造工艺

曹邦威 译

[美] B·A·绍帕 编

中国轻工业出版社



# 最新纸机抄造工艺

---

[美] B·A·绍帕 编

曹邦威 译

## 图书在版编目(CIP)数据

最新纸机抄造工艺/(美)绍帕(B·A·Thorp)编;曹  
邦威译.-北京:中国轻工业出版社,1999.8(2004.1重印)  
书名原文:Paper Machine Operation  
ISBN 7-5019-2536-4

I. 最… II. ①绍…②曹… III. 打浆-工艺 IV. TS752

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第19984号

责任编辑:林媛

策划编辑:林媛 责任终审:滕炎福 封面设计:赵小云

版式设计:丁夕 责任校对:燕杰 责任监印:吴京一

\*

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印刷:三河市宏达印刷有限公司

经销:各地新华书店

版次:1999年8月第1版 2004年1月第3次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:40.5

字数:972千字

书号:ISBN 7-5019-2536-4/TS·1538 定价:98.00元

版权登记证:图字:01-98-1714

读者服务部电话(咨询):010-88390691 88390105 传真:88390106

(邮购):010-65241695 85111729 传真:85111730

发行电话:010-65128898

网址:<http://www.chlip.com.cn>

Email:club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部(邮购)联系调换

30669K4C103ZYW

# 原书序言

制浆造纸系列丛书 (Pulp and Paper Manufacture Series) 的初版本备受重视, 已使用了近 20 年。这本珍贵的参考书之所以能获得如此持久的实用价值, 要归功于作者们。作者们对基本原理和技术实践所做的贡献, 有力地促进了造纸工业的发展。

本丛书的经久不衰, 说明随着时间的推移, 应更加重视基本原理的阐述。在书中我们强调: “我们做了些什么?” 和 “我们为什么要这样做? ”。本书的第一个目的是为年轻工程师成长为有经验的经理人才而提供有价值的技术资料, 他们中也可能有从制浆造纸厂的其他部门或从不同的工业转入造纸厂的。第二个目的是提供专业性的见解和论据。这将有助于用该领域的理论和实践知识为抄纸的每个单元工艺过程, 选择公认可靠的工艺技术。相信具有广博知识的作者们, 将向读者贡献他们卓越的见解。我们力图应用国际先进经验, 使读者能从本书看到好几个国家的先进技术。第三个目的是给读者提供 “立竿见影” 的实用知识。在该书的参考文献中列举了许多详尽的技术资料目录, 读者可借此进一步了解有关这方面的资料。

我要感谢很多人。首先感谢联合教材出版委员会 (Joit Textbook Committee) 给了我编辑本册书的机会。其次感谢支持我工作的 BE&K 公司的 T. C. Kennedy 先生和 James River 公司的 R. C. Williams 先生。我感谢许多企业中的顾问或领导者。除 Ted 和 BOD 先生外, 我还要感谢 Huyck 制毯公司的 Irv Peters 先生、Valmet-Enerdry 公司的 Gordon Chalmers 先生以及尊敬的被称为 “湿部操作专题讨论会的教父” 的 Jim Mcnamee 先生。我还要诚挚地感谢给予我大力支持的 TAPPI 会员和工作人员们。

我们衷心感谢和赞赏本书的作者们, 他们以精湛的文笔将多年积累的宝贵经验和专门知识奉献给大家。衷心感谢和赞赏经验丰富的审阅专家们, 他们以渊博的知识和严格的要求使本书更加完善。最后, 我要感谢和赞赏 Michael Kouris 先生, 由于他的激励和组织才能, 使本书得以顺利完成。

主编

B. A. Thorp

# 目 录

## 第一章 纸张性能与测试方法

第一节	引言	1
第二节	结构性能	2
第三节	强度性能	7
第四节	液体吸收性能	14
第五节	光学性能	16
第六节	电气性能	20
第七节	相对湿度与性能	21
第八节	标准化与校准	23
第九节	测试技术的未来趋势	25
	参考文献	26
	参阅资料	26

## 第二章 抄纸用的纤维原料

第一节	引言	28
第二节	造纸纤维的来源	28
第三节	纸浆与纸张性能的联系	29
第四节	制浆过程的任务	34
第五节	抄纸用纸浆的适应性	38
第六节	纸浆纤维来源	44
第七节	基本纤维特征	48
第八节	制浆木材的品质	52
第九节	小结	55
	参考文献	56

## 第三章 纸页结构原理——将纸张作为一种工程材料

第一节	引言	59
第二节	纸幅的固化作用	60
第三节	纸页结构的特征表述	64
第四节	物理性能	67
第五节	打浆 (Refining)	69
第六节	浆料流送	71
第七节	湿压榨	73

第八节 牵引 (Draws) .....	74
第九节 干燥 .....	77
第十节 可加工性 .....	78
第十一节 最终用途的使用性能 .....	81
第十二节 最后的说明 .....	84
致谢 .....	84
参考文献 .....	84

#### 第四章 浆料和白水系统

第一节 引言 .....	86
第二节 短循环 .....	87
第三节 长循环的设计原则 .....	89
第四节 白水系统的封闭 .....	93
第五节 浆槽和白水槽 .....	94
第六节 过程控制 .....	96
参考文献 .....	96

#### 第五章 匀浆辊流浆箱及浆料上网

第一节 引言 .....	98
第二节 流送系统 .....	98
第三节 多管进浆装置 (manifold) 的设计 .....	100
第四节 流浆箱的设计 .....	100
第五节 堰板的沿革 .....	103
第六节 匀浆辊 .....	109
第七节 液位控制 .....	111
第八节 流浆箱概述 .....	113
参考文献 .....	115

#### 第六章 水力式流浆箱

第一节 引言 .....	116
第二节 流浆箱设计 .....	118
第三节 流浆箱评述 .....	128
第四节 流浆箱操作 .....	129
第五节 流浆箱的洁净与故障处理 .....	133
第六节 喷射角和着网点 .....	133
第七节 唇口开度 .....	134
第八节 撇渣器操作 .....	134
第九节 压头控制 .....	135
第十节 联管的控制 .....	136

参考文献	137
------	-----

## 第七章 抄纸化学 (湿部化学)

第一节 引言	138
第二节 与抄纸化学有关的胶体化学原理	139
第三节 胶体化学原理应用于抄纸化学	145
第四节 纸页成形的胶体化学	153
第五节 内部施胶	160
第六节 干强剂	164
第七节 染色物质	170
第八节 干扰物质 (“阳离子需求”或“阴离子残余”)	174
第九节 缔合物胶体 (Association colloids)	175
第十节 抄纸生产中的结垢控制	177
第十一节 碱性抄纸	178
第十二节 抄纸化学的基本实验室测定	180
第十三节 纸机的单程留着率	183
第十四节 单程留着率的实验室研究	185
第十五节 抄纸化学的过程控制	186
参考文献	188

## 第八章 长网抄纸

第一节 发展史	194
第二节 现代长网纸机	195
第三节 网上浆流和滤水	202
第四节 匀度	206
致谢	213
参考文献	213

## 第九章 双网和多网成形器的成形与脱水原理

第一节 引言	215
第二节 定义	216
第三节 纸页的若干性能	218
第四节 射流的设定 <sup>[16]</sup>	220
第五节 夹网辊筒成形器	221
第六节 薄型纸成形器	222
第七节 夹网刮板成形器	224
第八节 复合型成形器或预成形器	227
第九节 夹网辊筒-刮板成形器	231
第十节 两网 (two-wire) 和 (或) 多网成形器	232

参考文献	233
------	-----

## 第十章 多层成形

第一节 历史	235
第二节 多层成形的基础	237
第三节 多层纸幅	237
第四节 多层成形的装备	238
第五节 浆料流送	238
第六节 成形设备	239
第七节 多层成形的的方法	239
第八节 高浓成形	250
第九节 干法成形 <sup>[6]</sup>	251
第十节 多层纸板和纸产品	252
第十一节 多层纸	255
参考文献	255
参阅资料	256

## 第十一章 压榨技术

第一节 引言	257
第二节 压榨的机械特性	260
第三节 压榨形式	262
第四节 纸页从网部到压榨部的传递	266
第五节 压榨部配置形式	267
第六节 压榨部结构依据	271
第七节 压榨毛毯	272
第八节 压榨部变数	272
参考文献	274
参阅资料	275

## 第十二章 纸张干燥

第一节 引言	276
第二节 传统的烘缸干燥	276
第三节 干燥的基本原理	277
第四节 蒸发	279
第五节 蒸汽和凝结水系统	281
第六节 干燥部通风系统	287
第七节 汽罩和汽罩排汽	289
第八节 袋通风	291
第九节 干燥部抄造性能	293



参考文献	296
------	-----

### 第十三章 表面施胶

第一节 引言	298
第二节 以淀粉作表面施胶剂	299
第三节 淀粉的制备	299
第四节 非淀粉类薄膜成形剂	301
第五节 石蜡乳液	302
第六节 其他专用的表面施胶剂	302
第七节 传统的施胶压榨结构	303
第八节 施胶压榨设计的改进	306
第九节 改型施胶压榨结构	307
第十节 施胶压榨的其他方案	309
第十一节 对纸页性能的影响	309
第十二节 对干燥和纸机车速的影响	310
第十三节 表面施胶纸的纸幅处理和干燥	310
第十四节 纸板的压光机施胶	311
参考文献	312

### 第十四章 杨克烘缸

第一节 引言	314
第二节 薄型纸生产工艺	315
第三节 设计和结构	315
第四节 蒸汽系统和凝结水排除装置	316
第五节 轴承及其润滑	318
第六节 设计应力	318
第七节 烘缸安全	321
第八节 壳体冶金	322
第九节 变形分析	323
第十节 表面磨损的模式	324
第十一节 杨克烘缸的干燥	325
第十二节 起皱工艺	328
第十三节 小结	330
参考文献	330

### 第十五章 卷取 (复卷)

第一节 卷取的定义	333
第二节 卷取理论	335
第三节 设备定义	359

第四节	卷取工艺	363
第五节	复卷机结构控制的形式	366
第六节	结构控制功能	367
第七节	纸幅控制功能	377
第八节	纵切功能	390
第九节	退纸功能	406
第十节	生产效率和劳动力需要	408
	参考文献	413

## 第十六章 压 光

第一节	引言	414
第二节	压光辊结构	417
第三节	金属辊的加热系统	418
第四节	以热油控制温度和抗挠作用	419
第五节	感应加热	420
第六节	辐射加热	420
第七节	具有非金属面层的压光辊	421
第八节	压光机组的操作变数	422
第九节	纸页变数	422
第十节	压光机的机械性变数	424
第十一节	纸卷构筑	432
第十二节	超级压光机的特性	433
第十三节	光泽压光、软压光、温差压光和基面热压塑	434
	参考文献	436

## 第十七章 损纸系统

第一节	引言	438
第二节	损纸系统设计	438
第三节	损纸系统的控制管理	439
第四节	干损纸	441
第五节	损纸浆贮存	444
第六节	湿损纸	444
第七节	完成部的损纸	445
第八节	涂布纸损纸	446
第九节	有色纸损纸	446
第十节	湿强纸损纸	447
	参考文献	447

## 第十八章 横向控制

第一节	引言	448
第二节	引进 CD 均一性的效益	450
第三节	给问题（机遇）下个定义	458
第四节	定量的 CD 控制	464
第五节	水分的 CD 控制	468
第六节	厚度的 CD 控制	477
第七节	涂布量的 CD 控制	478
第八节	平滑度与光泽度的 CD 控制	478
	参考文献	479
	参阅资料	482

## 第十九章 纸机喷水管和刮刀装置

第一节	引言	485
第二节	喷水管	485
第三节	生产用水系统	488
第四节	喷水管的应用	489
第五节	刮刀装置	493
第六节	刮刀装置的用途	495
第七节	刮刀装置的安装	497
第八节	刮刀装置的维护	498
第九节	小结	499
	参考文献	499

## 第二十章 纸机和复卷机的传动

第一节	传动的形式	500
第二节	调节器的形式	502
第三节	人工控制功能	503
第四节	可靠性和维护保养	504
第五节	功率需要	506
第六节	压榨部	514
第七节	干燥部	517
第八节	压光部	520
第九节	卷纸部	521
第十节	复卷机传动	522
第十一节	小结	524
	参考文献	524

## 第二十一章 纸机真空系统的正确设计

第一节	引言	525
-----	----	-----

第二节 真空系统的基本原理·····	525
第三节 真空发生装置·····	527
第四节 纸机系统的真空需要·····	532
第五节 管道设计·····	536
参考文献·····	537

## 第二十二章 纸机贵重品

第一节 成形用织物·····	538
第二节 压榨用织物·····	545
第三节 干燥用织物·····	558
参考文献·····	567
参阅资料·····	567

## 第二十三章 纸机和真空辊的腐蚀

第一节 纸机的腐蚀·····	568
第二节 真空辊的腐蚀·····	577
参考文献·····	586

## 第二十四章 纸机和辊子的振动

第一节 引言·····	589
第二节 振动理论的基本概念·····	590
第三节 振动的测量技术和装备·····	596
第四节 纸机振动的例子·····	598
第五节 振动的控制及其影响·····	605
第六节 在线振动监控系统·····	609
第七节 小结·····	610
参考文献·····	611

## 第二十五章 覆面辊的维护和研磨

第一节 引言·····	613
第二节 辊子装运·····	614
第三节 使用服务·····	615
第四节 研磨的简要介绍·····	619
参考文献·····	621
原书各章作者小传和审稿人简况·····	622
附录·····	631
译后记·····	632

---

# 第一章 纸张性能与测试方法

---

作者 R. H. VAN EPEREN

审稿 William E. Scott

---

## 第一节 引言

用仪器来测试纸张的性能，迄今已有 100 多年的历史。在使用检验仪器前，人们买卖纸张，只凭直观检查。自开始用仪器以来，已规定了数百个纸张性能的定义，其中多数性能现今都可用仪器测量出来。

在本章中，不打算介绍测试这些性能的详细方法，因为从 TAPPI 测试法和其他来源都可得到这些材料。这里提供的材料只希望能有助于了解选择纸张性能（它贯穿于造纸工业的全过程）的重要性。需要指出的是，通过仪器测量来确定纸张性能的做法，有可能需要改进。一个例子就是，利用空气渗透法测出平滑度以给印刷用纸的表面性能下定义的常规做法。读者可以不同意这里所表达的若干观点，有时这是很自然的。这种异议可促进争论，最终导致纸张测试方法的改进。

### 一、为什么要对纸张进行检验测试

除了作为确定成品状况的显见需要外，测试纸张还有多种理由。其中有：

- 产品制造过程中的质量控制。
- 满足用户的特殊需要。
- 答复用户的意见。
- 新产品研制的测试工作。

上述每种情况，可用不同的测试方法以满足其特殊需要。

例如，为控制质量而进行的测试，经常需要在很短时间内，或者在一批新生产纸卷运交给用户前获得测试数据。此时，可缩短调试时间，或修改测试程序以加快获得测试数据的时间。甚至可以牺牲测试结果的准确性。但加速测试过程的好处，往往弥补了损失准确性的缺陷。

为答复用户意见而进行的测试，需要实验室专门做出修改。第一步，通常最简单（虽然它往往不解决什么问题），就是重做纸张试验，以确认该试样性能是否在允许误差之内。在测试时小心观察试样，往往获得比实际测试结果更为有用的信息。其次，用户意见要从企业内部和用户两方面查找，以验证其意见是否正确。也许是用户自己修改了加工工艺，因此一定质量等级的纸张就不适用了。从使用要求出发的评价可支持不考虑技术标准的许多

测试和性能。然后就应与用户讨论，如果必要，可开发新标准。这几乎经常有助于解决用户的问题，并获得使用户满意的试样。然后将好试样与坏试样的测试结果作比较。

用于改进产品和研制新产品的测试工作，通常要求比监测控制方面的测试更为精确。而时间限制一般不是那么严格。此时应严格按测试程序进行操作。用于答复用户意见的测试，测试时试样的例外行为方面的信息非常有用。这类信息应随测试数据一起转交给产品开发工程师或研制者。

## 二、纸张性能的分类

纸张性能可按不同方法分成很多类。特别有用的分类方法是将基础性能从那些“随意定义”的性能中分离出来。基础性能给产品以基本信息。这种方法与测定方法无关，而与其他基础性能有数字上的联系，且与纸张制造和加工过程有密切关系。另一方面，随意定义的性能通常是好几个基础性能的复杂组合。这些性能取决于精心定义的测量系统，而往往可能与纸机运行状况无关。这个方法的支持者认为，对基础性能的充分了解，使它有可能会预测纸张在加工过程和最终应用上的行为。

另一种纸张性能的分类方法，是按照所测性能的种类给出定义，这就是本章所用的方法。结构性能主要是指规格尺寸和质量，包括定量或克重、厚度、平滑度、密度、匀度、水分和吸湿膨胀性。强度性能是纸张受到应力和（或）应变后的性能，它包括负载伸长率、零距纤维强度、挠曲强度、撕裂度、耐折度、耐破度、边缘抗压强度和表面强度。光学性能是指那些与纸张外观有关的性能，包括白度、色度、光泽度、不透明度、光散射系数和光吸收系数。电气性能是纸张用于电气绝缘时的性能，因此这类性能包括电阻率、介质常数、介质损失和击穿强度。液体吸收性能则与纸张和接触液体（如油墨、粘合剂、半液状产品等）之间的互相作用有关。

## 三、纸张水分含量的影响

几乎所有纸张性能都受纸张检测时水分含量的影响。由于这些影响，大多数纸张测试工作都是在控制一定环境湿度的情况下进行的。这类影响的基本资料，以及测试环境的测量和控制，都将在本章中述及。

## 第二节 结构性能

结构性能通常与纸张的质量、规格和组分有关。因此这类性能包括定量（克重）、厚度、表观密度、空气阻力、水分含量、匀度和表面平滑度。可以包括在这类性能中，但这里不加讨论的有纤维类型以及助剂和填料的类型与数量。

### 一、定量（克重）

大多数纸张是按其单位面积的质量进行买卖的。因此在一定价格下，定量对用户和生产厂家都很重要。定量还由于其对其他纸页性能的影响而具有重要性。变更纸张定量要想只变化质量而其他性能都不变化，几乎是做不到的（见本节之六）。

纸张单位面积质量，当然是可以准确地测定的。已知规格尺寸的纸样首先在较低的相

对湿度 (RH) 下进行预调节, 然后再在 50%RH 的标准试验大气湿度下调节, 使水分含量达到均衡状态。由于水分的滞后作用 (这将在下节水分含量中讨论), 预调是必需的。

经过湿度调节的纸样, 在分析天平或定量秤上称重。其质量包括纸页中的固形物和从大气中吸收的水分。质量通常以一定的纸张面积表示。

英语国家传统上习惯用令重, 即具有特定规格的一定数量纸页的质量 (以磅计)。纸页数量通常为 500 张, 但有时为 480 或 1000 张。纸页尺寸或“令”规格都按惯用规格, 各个纸种的规格一般都是标准化了的。例如, 书写印刷纸的一些通用规格是 431.8mm×558.8mm (17in×22in); 新闻纸、包装纸、薄型纸为 609.6mm×914.4mm (24in×36in); 书籍纸为 635mm×965.2mm (25in×38in)。其他一些纸种, 例如挂面纸板和纸袋纸, 以 1ft<sup>2</sup> (9.29m<sup>2</sup>) 纸张的质量 (以磅计) 表示。

其他大多数国家 (英语国家也日渐增多) 都以每 1m<sup>2</sup> 纸页质量 (g) 表示。根据造纸方面 ISO TC6 委员会的意见, 质量以通称克重表示为好。若干通用的“令”规格, 以及将“令重”换算成克重的系数, 示于表 1。更加全面的一览表, 列在测量克重的 TAPPI 方法和造纸辞典<sup>[1]</sup>中。

表 1 定量上常用的令规格

纸 种	定量标准		定量换算为克重的系数
	尺寸	纸页数	
书写印刷纸	431.8mm×558.8mm	500	3.760
纸 板	9290dm <sup>2</sup>		4.882
包装用薄型纸	609.6mm×914.4mm	480	1.695
书籍纸	635mm×965.2mm	500	1.480
新闻纸和薄型纸	609.6mm×914.4mm	500	1.627
纸袋纸	27870ft <sup>2</sup>		1.627

## 二、纸张定量对纸张性能的影响

从实际情况看, 假设纸张定量与许多强度性能 (如抗张强度和耐破强度) 之间为线性比例关系是十分恰当的<sup>[2]</sup>。在特定纸种的狭窄定量范围内, 任何非线性效应可说是微不足道的。但在各种纸张的全部定量范围内, 通常可以看到, 强度与定量之比在极高与极低定量时, 要比在中间定量时为小。

上述情况的一个明显例外是撕裂度, 它几乎总是要比定量增加得更快些。研究表明, 定量对撕裂度的效应是非线性的, 它可随着制浆方式与工艺变数而改变, 是相当复杂的。

在理想情况下, 定量的增加应随之使厚度有相应增加。但实际情况往往不是这样。实验室研究表明, 厚度的增加, 几乎常常小于定量的增加。因此, 与厚度相关的性能 (如密度、空气阻力、抗弯挺度等) 就不总是对应于定量而变成所期望的程度。

多数表面性能并不受定量的影响。其中有平滑度、摩擦因数、表面强度、表面导电率和表面液体吸收性<sup>[3]</sup>。其他一些不受定量影响的性能有: 水分含量 (以百分数表示)、尘埃度、耐久性和吸湿润胀性。

Kubelka-Munk 方程式描述了定量对光散射系数和不透明度的影响。其相互关系将在以后“光学性能”一节（见第五节之一）中讨论。

### 三、厚度、表观密度和松厚度

纸张的厚度对确定产品最终用途是有用处的。但更重要的是要确定纸张的表观密度。由于密度与纸页的机械性能之间有许多重要的相互关系，它显得特别重要。松厚度是指一定质量的纸张所具有的体积。它与表观密度正好相反。

纸张厚度充其量只不过是一个不理想的表示性能的方法。测量厚度（有时称为 TAPPI 厚度）的标准程序是在一定压力下将纸张用两块钢压板夹住。两块夹纸压板的间距就是厚度的测量值。

这种测量方法有两个明显的缺陷。首先是纸页表面粗糙不平，纸张通常不都是一样厚的。其次是压板所施加的压力会把纸页结构压紧。由于纸张的表面粗糙度和压缩性不同，当将所测得的厚度进行对比时，就会出现明显的误差。

由于这类厚度测定仪的固有缺陷，对预测其他性能往往不很有利。例如，当纸张像书一样摞在一起时，其表面的高凸部分可填满相邻纸页低凹部分所留下的空隙。因此该书的总厚度往往小于 TAPPI 厚度仪所测得的单张纸页厚度的累加值。同样，根据 TAPPI 厚度计算出来的纸张密度也常常偏低。

可用一些其他办法来减少或消除 TAPPI 厚度仪所造成的误差。这些方法有：多层纸页厚度的测量、使用软压板的厚度仪<sup>[4]</sup>、以比重仪测量密度计算出厚度以及利用确定弯曲挺度和伸展挺度的公式同步得出厚度。这个最后的方法可表明，纸页厚度与上述两个挺度之比的平方根成正比<sup>[5]</sup>。

### 四、平滑度

许多主观意义上的纸张平滑度定义已经流行多年<sup>[6]</sup>。如果不考虑所有特殊的与直观判断的细小差别有关的平滑度概念，则可以认为，只存在着两种重要的平滑度形式，即自由表面的平滑度和压力下表面的平滑度。

毋庸置疑，可以列举出许多对自由表面的平滑度有用处的特殊情况。已有很多方法用于测量这种性能。但其中多数由于在用单一数值表述重要性能方面所存在的困难，并没有多少实用价值。

也许在平滑度方面最感兴趣的还是在纸张印刷中平滑度对油墨转移过程（从而影响印刷表面的视觉外观）方面的重要关系。在这种情况下，一般要在印刷过程中对纸页施加些压力，因此这第二种形式的平滑度是最有意义的。

对印刷要求来说，要确定一张纸是否已具有足够平滑度的最佳方法，就是在完全重复一定印刷工艺的条件下进行试印。但这种条件很难在实验室中再现。已推荐了很多间接地测量与印刷作业有关的纸张平滑度的方法。其中最广泛应用的是“空气渗透”法，如图 1 所示。

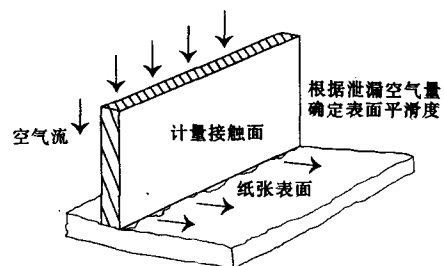


图 1 常用“空气渗透”平滑度仪简图



4个最广泛应用的空气渗透平滑度仪是 Bekk、Sheffield、Bendtsen 和 Print-Surt。Bekk 仪器是其中最古老的一种。由于印刷纸标准的修订，其应用面在逐渐减小。Sheffield 仪器在美国使用很普遍，可能是应用最广的。Bendtsen 仪器则在一些欧洲国家广泛应用，其次是在美国。Print-Surt 仪器用于更精密测定印刷用纸的表面性能，它的应用面正在迅速扩大。

所有空气渗透测试仪的操作原理都是一样的，即在纸张表面上放置一个环形压力元件，以一定的压差使空气穿过环形筒，并测量穿过纸张与环形筒面之间空隙而逸出的空气。在 Bekk 系统，是测量逸出一定量空气所需的时间。

Sheffield 和 Bendtsen 两种仪器是测量气流的速率，后者以 mL/min 表示，前者则以 Sheffield 单位表示。Print-Surt 仪器是以气流速率计算出纸张与环形筒面之间的平均距离（以  $\mu\text{m}$  表示）。

这四种空气渗透仪之间最重要的差别是环形筒面的宽度（从 Bekk 的 13.5mm 到 Print-Surt 的 0.051mm）、作用在纸页表面的压力和纸样背板的表面刚度。由于这些差别，不同仪器之间的相关性并不是很好。

## 五、空气阻力

纸张的多孔性在纸张许多用途中都有重要作用。这些作用有：保护纸袋纸产品的能力；吸收液体（诸如油墨、油类和水）的能力；以及它的过滤效率。但该性能很难测定，更难于用简单的词汇加以表述。一般与纸页多孔结构相关的、易于测量的性能是空气阻力<sup>[7]</sup>（该性能常常错误地与透气度相混淆。透气度是纸张的空隙体积与总体积之比。透气度与空气阻力之间往往没有什么关系）。

测量空气阻力的最常用仪器是 Gurley 的透气度测定仪 (Densometer)（造纸工作者选择 Densometer 作为测定空气阻力的仪器并不理想，因为该仪器不测定密度）。在测定时逐渐加大穿过纸页的压差，并测量单位体积空气穿过纸页所需的时间。测试面积和压差两者均是可控的。

上述仪器对密实材料的纸张，一次测定时间可长达 30min。因此现在又用一些测量气流速率的仪器，以便很快得出试验结果。这些仪器包括 Sheffield、Bendtsen 和 Print-Surt。这些气流速率测定系统同样也用于平滑度测定，只是测定的气压不同。这些仪器的压差大小和试样测试面积均不相同，但如果考虑到这些差别，而且对测定系统做严格的校准，那么可以发现这些仪器之间存在着很好的一致性。当然 Gurley 的测定仪，所测得的数值与其他仪器就没什么关系。同样理由，根据气流速率测定系统所测得的结果，应该算是空气的渗透力而不是空气的阻力。

## 六、水分含量

纸张中的水分取决于纸张周围空气的温度和相对湿度。当纸张暴露在大气中时，它就吸收或解吸水分，直至达到平衡水分为止。如果纸张通过解吸作用达到平衡水分，则该水分含量将高于通过吸收作用达到的平衡水分。这个被称之为“水分滞后”的差别，约为纤维质量的 0.5%~1.5%，其实际值取决于纤维种类、精磨程度等。

纸张中的水分通常用在线传感器进行测量和控制。根据纸种和最终用途的不同，纸卷