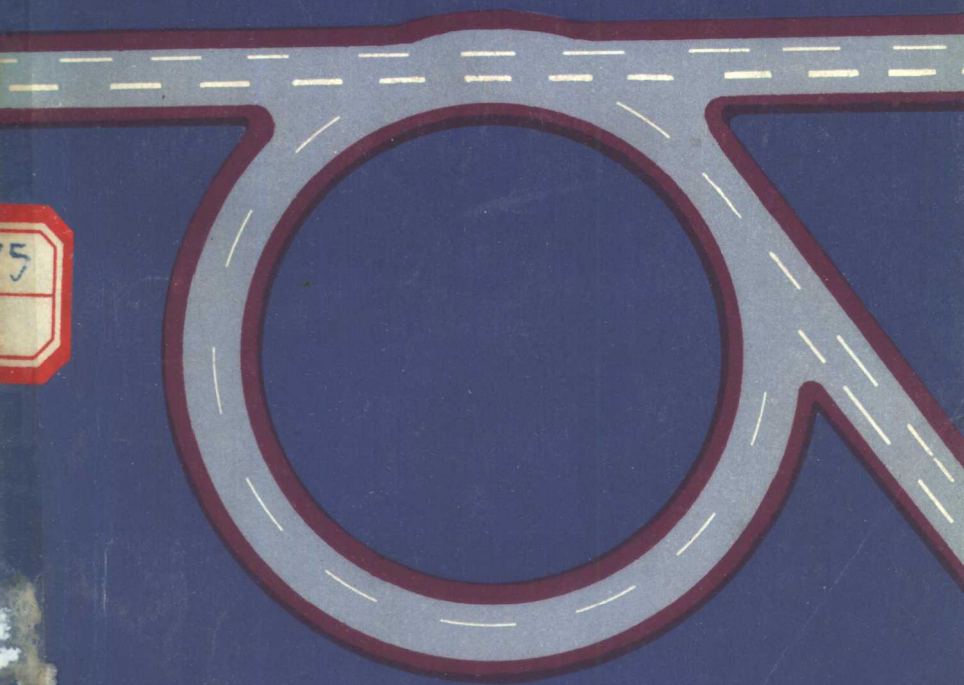


纸的抄造 和 脱水过程的理论



• 轻工业出版社 •

纸的抄造和脱水 过程的理论

〔苏〕И. Д. 库古雪夫 著

马伯龙、王世华 译

单乃礼、马伯龙 校

轻工部出版

内 容 提 要

本书对造纸的基本过程——纸的抄造和脱水作了理论分析。书中以造纸各阶段的例证阐述了在造纸机上抄造和脱水过程的计算理论基础及随之而产生的工艺装备操纵、调整、自动化及改进的问题。

本书供制浆造纸工业的企业、设计单位、机械制造厂的工程技术人员及造纸专业高等学校师生阅读。

ТЕОРИЯ ПРОЦЕССОВ ОТЛИВА И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ БУМАЖНОЙ МАССЫ И. Д. КУГУШЕВ

ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, МОСКВА, 1967

纸的抄造和脱水过程的理论

〔苏〕И.Д.库古雪夫 著
马伯龙、王世华 译
单乃礼、马伯龙 校

*

轻工业出版社出版
(北京阜成路3号)
重庆新华印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张: $9\frac{20}{32}$ 字数: 213千字

1982年2月第一版第一次印刷

印数: 1—4300 定价: 1.10元

统一书号: 15042·1616

目 录

绪 论	1
第一章 浆料层滤水的规律及其浆料上网的条件	7
§1 浆料层的滤水	7
§2 纤维分布的不均匀性对滤水量的影响	19
§3 造纸机铜网的水力阻力	21
§4 纸幅抄造时的过滤速度	25
§5 敞露在网上的浆流的运动方程	32
§6 网案的倾斜	41
第二章 网案案辊段上的浆料脱水理论	44
§7 案辊的作用	44
§8 案辊上的流量平衡	50
§9 案辊间开敞网段上的过滤方程及 案辊间的临界间距	52
§10 案辊及脱水板脱出的水量与在案辊出侧水 楔区中水流的分配	58
§11 沟纹案辊及案辊转速的影响	69
§12 案辊上的通过流量	73
§13 案辊直径的选择	74
§14 案辊上脱水过程的计算	79
第三章 网案案辊段的计算	81
§15 造纸机案辊段的计算理论	81
§16 案辊脱水量的计算	88

§17	案辊的数量	93
§18	沿网案长度方向上案辊间距的确定	94
第四章	纸幅抄造的操纵问题	102
§19	纤维在浆流中的方向性	102
§20	浆流的湍化、浆料的横向运动与摇振	103
§21	网案上粘性流体在摇振作用下的横 向运动	111
§22	在摇振作用下浆料的振动速度	116
§23	摇振的匀浆作用	126
§24	造纸所采用的摇振规程	143
§25	纸机车速对网案摇振规程的影响	148
§26	推荐的摇振规程及调整的自动化问题	149
第五章	在网下真空作用下浆料脱水过程的理论	156
§27	在网下真空作用下浆料脱水理论的概述	156
§28	实验研究结果及脱水过程简图	160
§29	浆料及毛毯的过滤-压缩特性	167
§30	被压紧时浆料浓度的变化	174
§31	可变多孔介质中的过滤的微分方程	177
§32	过滤压头方程	181
§33	在施加压力作用下的脱水量	186
§34	空气通过湿纸幅及毛毯的滤出与透气度	191
第六章	真空或压力脱水元件的计算	201
§35	吸水箱脱水过程的计算	201
§36	真空伏辊脱水的理论问题及脱水元件 的计算方法	223
§37	真空洗毯器的计算	252
§38	脱水系统的稳定性问题	255

§39 真空吸移辊工作规程的计算·····	25 ⁸
§40 压榨脱水的理论问题·····	260
附 录 ·····	271
1. 案辊脱水过程的计算例题·····	271
2. 吸水箱的计算例题·····	280
3. 浆板机伏辊的核算·····	284
4. 符号·····	292
5. 本书采用的主要的量的因次换算为 国际单位制 (SI) 单位的换算表 ·····	295
参考文献 ·····	295

绪 论

研究抄造、脱水和干燥过程的理论，对顺利完成和增加产量、提高产品质量的任务所给予的帮助是极重大的。

本书论述了造纸机的主要工艺课题——脱水过程的基本理论原理，并在纸的抄造这一章中，提出了这些原理与浆流理论相联系的一些问题。

研究上述问题的必要性在于确定造纸机主要元件时，现在还没有以充分理论为根据的工程计算方法。另一方面缺乏对于造纸机工艺过程的理论分析及数学叙述，是不可能顺利地进一步提高设备生产能力和自动化水平的。因此，研究工艺上的课题和造纸机抄造及脱水的各种部件的可用性是极为重要的。

常见的若干种造纸机有：长网式造纸机（或平网式造纸机）、连续抄造的及单张抄造的圆网式造纸机、各种型式的真空成形式造纸机及多（长）网造纸机。因为不可能在一本书里谈及所有的各种型式的造纸机，所以本书仅限于论述一种最常用的造纸机——长网式造纸机。

纸幅在造纸机网案上抄造及成形的过程是在比较复杂的物理条件下进行的。抄造过程的复杂性是由同时共同作用的各种因素所决定的。这些因素为：浆料配比及其决定于纤维材料、填料及胶料的品种的不同的物理化学性质；水力学状态；造纸机的运动学参数。

因此，阐明抄造时发生的现象的机理和在数学上加以解

释，是极为困难的，并且也是远未明瞭的。

在关于纸幅在成形网上抄造及成形条件的总课题中，有关流体动力学过程的问题具有重要意义。所以，造纸机的一系列基本参数均应按流体动力学过程的计算结果来确定。

纸机网案部分简图如图1所示。以案辊梁1为基础，在其上装有案辊2及胸辊4的轴承。摇振机构的连杆3固定在靠近胸辊轴处的案辊梁上。

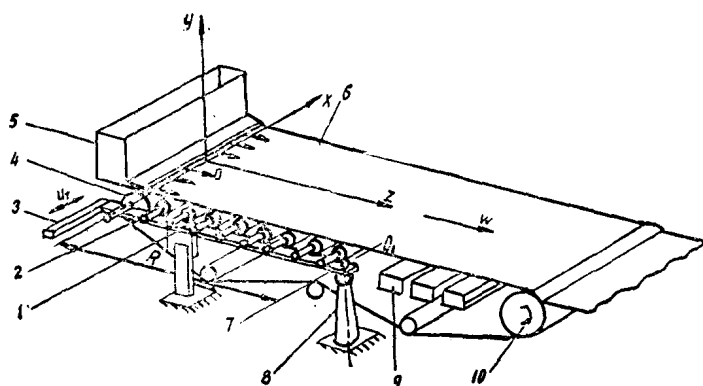


图1 网部简图

通常案辊梁由板弹支承或装在铰接支座上。案辊梁的尾端 O_1 有与静止支柱8相连的铰接点。绕过胸辊的无端铜网6张紧在案辊之上。胸辊、案辊及导网辊7由网子带动。

在胸辊之上高于铜网处装有压力流浆箱5，它的主要作用是以适当的速度向网上送入均匀的浆流。

网案部分在造纸工艺过程中起着重要的作用，因为是在这里抄出纸幅并脱出最大部分的水。

浆料以均匀的层状被送上运动着的网子并由网子带向网

案的末端。浆料在第一阶段的脱水过程是：在下层的水通过网孔而纤维则沉积在网上。沉积在网上的纤维层随着网子离开流浆箱向前运动而逐渐增厚，纸层中的液体量就减少。随着网上纤维浓度的提高滤水条件变得困难，而由浆料中脱出的水量也便减少了。

为加速脱水过程，在网部末端采用了专用吸水箱9及真空伏辊10。在装于网下的真空箱内形成真空。其真空度随网的行程逐渐加大。在真空伏辊10内真空度达到最大值。真空伏辊同时用作网的传动装置。应当指出，案辊也起着一种促使液体从浆料中更强烈地脱出的特殊装置的作用。纸幅的脱水过程在网案上并没有结束，剩余的水分继续以压榨及烘干的方法除去。

被送上网子的原始产品——浆料是液态的。因为其中纤维及其它固体部分的含量很少，所以它的性质与纯水的性质区别很小。终结产品——纸是固体。所以造纸机的工作部分是从事转化产品的全过程，在它的内部机械及物理性质在逐渐转变。

上网浆料浓度取决于产品的品种，浆料稀释程度由对于薄型纸类的1:560至对于纸板的1:55。生产基本的最常用的纸种时，采取的浆料初始浓度为0.3至1.2%。

浆料是可运动的并可流动的。所以在一些关于低浓度浆料流动的问题中，可把它近似地看作匀质流体。这样，当分析在网上进行的工艺过程时，就既可以利用理想流体的、也可以利用粘性流体的流体力学的一些已知的结论。

在网案案辊段的终端处，浆料脱水的进程减慢，而在案辊上的脱水变得实际上察觉不到了。这是因为在网案案辊段脱去了几乎所有的自由流动液体。进吸水箱前，浆料的物理

状态已不同于上网时的物理状态。虽然固形物的浓度比较起来还不高(按纸种不同而为6至40克/升),但浆料已失去了流动性而具有新的性质——塑性、弹性及其它结构状态的特征。而且这种变化随着固形物含量的增加而更明显地显现出来。

在真空作用下的浆料脱水过程与在纸机案辊段的脱水过程的区别在于脱水时滤层发生变形,其滤水性能也发生变化。

水作为浆料中的液相与纤维一起形成一体的结构,在这种结构内不可能有固体颗粒的独立移动或自由运动,在薄的水层及纤维之间存在着连接力,这种结合阻止它们在重力作用下自由地分离。浆料中的液体受着分子亲合力、粘着力及毛细管压力的作用。浆料在网上从流体变为湿纸幅。

纸幅是多分散性的三相体系,其中水(液相)起分散介质的作用,在水中均匀地分布着固相:化学浆和磨木浆纤维以及填料、颜料与胶料的颗粒。除这些基本相外还有气相:悬浮于液相介质中并与大气相隔绝的细小的气泡。

由于空气的含量显然很少,而这些小气泡又被液体包围,所以空气对纸幅里压力分布及对纸幅变形的影响就可以略而不计,并且在计算中可视纸幅为固相微粒间的空隙完全充满着水的两相体系。

固相的组成有,无秩序地互相交织的各种尺寸的纤维(和一般的整纤维一样,存在着一些没有疏解开的纤维束及碎小纤维,在机械木浆中这种碎小纤维特别多)、填料(高岭土、颜料)及在分散系统中与水一起形成胶质的胶料颗粒。

有些纸种不含填料及胶料,它们的固相就更为单纯了。

纸幅的液相由两部分组成:

(1) 结合水,或称膜化水。由于纸浆纤维的亲水性,它

就将水分子吸向自己，这些水形成围绕着纤维的薄膜。在薄膜里作用着分子力。进入这些薄膜里的水不传递液压，在重力作用下也不流动，具有低于 0°C 的冰点，而密度大于1，即在物理性质上不同于普通的水。膜化水好像是与固体粒子成为整体的，并在外加负荷作用下与这些固体粒子一起变形。因此，膜化水可以归属于两相系统中固相骨骼成分之内。进入纸机压榨部的纸幅，按其机械性质而言不是液体，而是半固态的塑性体，虽然其总纤维含量只不过是10~20%。

结合水不是单一性的，一部分可能是吸湿性的，它要借蒸发从纸中脱出来，但在正常条件下又自空气中吸回。这种水的含量视周围空气的相对湿度而定，一般占纸的7~8%。结合水的另一部分形成上述包围纤维的薄膜。

(2) 自由水。这种水充满于固相骨骼的粒子之间的空隙中，在重力作用下可以移动并传递液压力。若从外部对纸幅施加压力，则自由水会沿骨骼空隙由高压区移向低压区，或移向纸幅表面。水的这种运动称为过滤。

在吸水箱、辊及压榨上脱水的过程有一个共同的原理，即为了压出水分而采用压力。在吸水箱上、辊上及压榨上脱水过程的区别不仅在于脱出的水量，还在于其产出物的质的不同。这种质的不同首先决定于纸幅的干度：

(a) 在吸水箱上的初始干度为0.6~4%，最后干度为10~15%。

(6) 在真空伏辊上的初始干度为10~15%，最后干度为15~25%。

(b) 在压榨上的初始干度为15~25%，最后干度达40%。

随着纸幅沿纸机进程的移动，作用于单位纸幅面积上的

单位负荷也有变化。例如，在吸水箱上的最大压力达0.3公斤力/厘米²，在真空伏辊上达0.75公斤力/厘米²，在压榨上可达15~20公斤力/厘米²。

由于是在施加于纸幅一面或两面的压力的作用下借自由水的滤过而进行脱水，那么可以认为，只有自由水才可借机械挤压作用脱出，而且在压榨部的脱水极限决定于自由水在纸幅中的含量。

自由水及结合水的比例取决于固相的分散程度，固相粒子愈细小，其比表面积愈大，它们结合的水也愈多。所以愈是粘状打浆的浆料，因其纤维被充分磨碎，便应有更多的结合水，于是自由水就少些。带有粗的、如同被切断的纤维的游离状打浆的浆料结合的水较少，其中大部分水是自由的。

造纸生产的实践证实，粘状打浆的浆料较难脱水，而打浆度低的或游离的浆料则容易脱水。因此，必须了解通过纸幅滤水的规律。

现在从对过程的分析来开始解决关于脱水的课题，并试图作一些理论性总结，这些要没有实践的验证是不可能的。

第一章 浆料层滤水的规律及其浆料上网的条件

§1 浆料层的滤水

沉积在网上的纤维层的滤水速度，是计算脱水工艺过程或选择纸机结构元件的理论根据的主要原始数据。

在滤水方面的理论及实验研究工作的实践，已经发现了一系列关于液体滤水速度与作用于液体的静液压头 H 相联系的规律性。从对自然界中各种不同滤水课题观察所得出的各种形式的函数关系式中，研究网上浆料的滤水问题的研究人员遵循以下的滤水速度作为静液压头的函数的变化规律。

Φ.Φ.鲍布罗夫^[11]，E.寇文^[34]及Φ.戈里德斯米特^[28]，以不同的方法求解了纸幅在造纸机网上成形的问题后，认为通过浆料沉积层之水流速度 v 遵循抛物线型的规律：

$$v = C_B \sqrt{2gH} \quad (1)$$

式中 C_B ——经验系数；

g ——重力加速度。

其他许多研究工作者——P.E.黎斯特^[68]，W.L.英格曼逊^[32]，C.A.柯里库特^[35]，Γ.A.托里斯基^[77]——在解决过滤问题时以著名的达尔西(D'arcy)定理或它的各种改写形式(刘依斯(Lewis)，考任尼(Козен)公式)为过滤速度计算的基础：

$$v = k \frac{\partial H}{\partial Y} \quad (2)$$

因为薄滤层的精确增量值很难确定，于是压头增量可表达如下式：

$$\frac{\partial H}{\partial Y} \approx \frac{H}{l} \quad (3)$$

式中 l ——滤层厚度。

于是等式(2)将有如下形式：

$$v = k \frac{H}{l} \quad (4)$$

但应预先说明，要以最终的关系式代替压头增量，只有在滤水材料的孔穴率沿全层厚度方向上保持恒定或过滤系数保持不变时才可能是正确的。

曾试图推导出呈幂函数形式的过滤规律。例如，Б.А.加叶夫斯基^[24]推导出如下述等式表示的浆层滤水速度的公式：

$$\frac{dW}{d\tau} = \frac{H^{1-s}}{\eta C \rho'' (h_1 - h)} \quad (5)$$

式中 W ——滤液量；

τ ——脱水时间；

η ——滤液粘度；

C ——计及经过网子流失的浆料浓度；

h_1 及 h ——浆层的初始厚度及现时厚度；

ρ'' 及 s ——经验系数，列于表1。

按表1，打浆度在 $56^\circ SR$ 以下的化学浆，过滤速度随压头 H 的增大而提高，而对打浆度高于 $56^\circ SR$ ($S > 1$) 的化学浆则过滤速度随压头的增大而按双曲线规律降低。后者与式(1)及式(4)不相符合。

在纸幅抄造及成形的工艺过程中，过滤压头发生着随时

表 1

经 验 系 数	亚 硫 酸 盐 浆				硫 酸 盐 浆		
	打 浆 度 (°SR)						
	36	47	56	70	26	56	70
ρ''	2.38 $\times 10^6$	6.9 $\times 10^8$	3.3 $\times 10^6$	2.78 $\times 10^4$	30.7 $\times 10^3$	7.2 $\times 10^8$	1.15 $\times 10^7$
s	0.659	0.594	1.4	2.06	0.137	2.2	1.38

间迁移的不同变化。从已完成的各种浆料的试验^[47]结果判明,当压力由零升高到最大值时,在压头-速度坐标中,过滤速度的变化是一条向上凸起的曲线(图2)。同时,在提高压头的情况下,对应于单位压头的速度增长率逐渐降低,并且对许多种浆料来说,在某个一定压头后,过滤速度呈现出稳定状态。在压头由某一最大值降至零的过程中,过滤速度

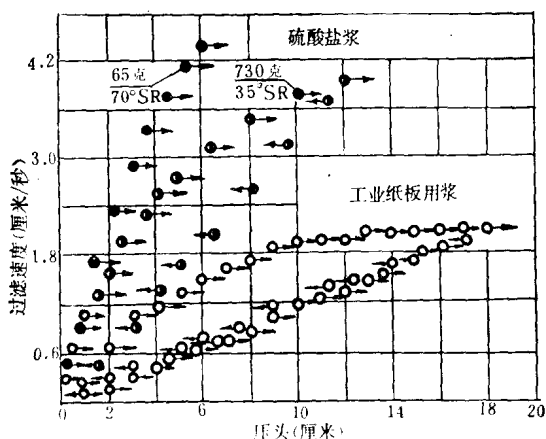


图2 浆层滤水速度的变化与压头的值和方向的关系

按线性规律变化。重又提高压头的 H 时则重复出现过滤与压头的线性关系，在超过该 H 值之后，过滤速度又按升高压头时的规律变化。已作的试验表明，当逐渐降低压头时，浆层的滤水是遵循达尔西^[4]过滤定理的。

当逐渐增大压头时，浆层滤水速度的变化可能如式(1)。但是应当指出，式(1)给出的是近似值，因为按照式(1)，当无限地增大压头时，过滤速度应当也无限地增高。

已作的试验没有证实上述关系。压头增大时，过滤速度

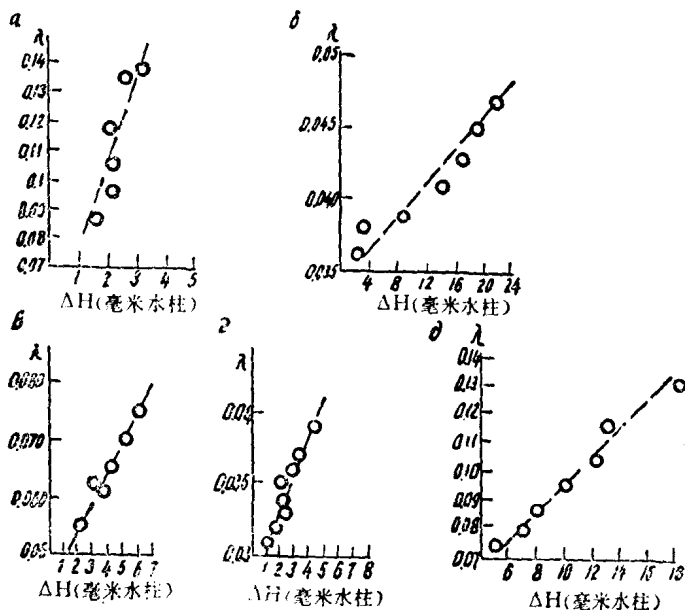


图3 压头增大时浆料层的相对变形

- a—图表纸, 50°C б—电容器纸, 40°C
 в—烟璃纸, 20°C г—新闻纸, 20°C
 д—3号凸版印刷纸, 20°C

的变化应更正确地表达为如下的形式^[47];

$$v = v_0 (1 - e^{-\alpha H}) \quad (6)$$

式中 v_0 ——与出现稳定状态的压头 $H_{\max}$ 相应的极限过滤速度;

e ——自然对数的底;

α ——常值系数。

压头增大时所观察到的过滤速度的减慢, 与因过滤压头增大所致的纤维层压紧及浆料过滤性质变化有关。当压头减小时, 因为在浓度为2~3%的浆料中有弹性现象, 浆料不发生变形, 其过滤性质不变, 而过滤速度符合方程(4)。

研究了各种浆料在过滤压头作用下的浆层变形率, 结果揭示了在相对变形率与压头的增大之间存在着线性关系(图3)。

图3中: $\lambda = \beta \Delta H$

$$\Delta H = H_2 - H_1$$

当 $-\Delta l = l_2 - l_1$ 时, 其中 $l_2 < l_1$,

可得微分方程

$$\frac{dl}{l} = -\beta dH \quad (7)$$

解之, 得下列积分限值:

$$\text{当 } l = l_0, \quad H = 0;$$

$$\text{当 } l = l, \quad H = H_0.$$

变换后得现时的浆层厚度为:

$$l = l_0 e^{-\beta H} \quad (8)$$

试验研究证明, 在过滤压头改变时浆层厚度的变化很好地符合于式(8)。

图4作为一个例子给出了过滤压头增大和减小时浆层厚