

造纸工人技术读本

打浆与调料

大连轻工业学院造纸教研室 编

轻工业出版社

造纸工人技术读本

打浆与调料

大连轻工业学院造纸教研室 编

轻工出版社

内 容 提 要

本书是《造纸工人技术读本》之一。书中内容包括打浆和调料两部分。打浆部分介绍了打浆的基本原理、打浆方式、打浆工艺条件、各种打浆设备的构造、性能及其操作方法。对打浆的新技术、新设备等也作了简要介绍。调料部分介绍了施胶、加填、染色的基本原理、所用原料的性质、成分、工艺条件与操作方法等。

本书可供从事打浆与调料的工人自学，也可作为造纸工人的培训教材。

造纸工人技术读本

打 浆 与 调 料

大连轻工业学院造纸教研室 编

轻 工 业 出 版 社 出 版

(北京阜成路3号)

兰州新华印刷厂印刷

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：6 6/32 字数：136千字

1980年2月第一版第一次印刷

1982年2月第一版第二次印刷

印数：20,001—27,000 定价：0.44元

统一书号：15042·1512

出 版 说 明

为了适应当前造纸工人学习技术的需要，我社组织编写了一套《造纸工人技术读本》。这套读本按造纸生产工序分册出版，主要介绍各工序的基本原理、工艺条件、生产设备的结构与性能、操作方法以及生产中易发生的问题与解决办法等。这套读本可供造纸工人自学，也可作为培训造纸工人的教材。

《打浆与调料》是《造纸工人技术读本》之一。本书由大连轻工业学院张瑞生同志执笔，经该院造纸教研室集体补充和修改，最后由蒋其昌同志校阅。

轻工业出版社

目 录

第一章 打浆的基本原理	(1)
第一节 打浆对纤维的作用	(2)
第二节 打浆与纤维结合力	(10)
第三节 打浆与纸张性质的关系	(13)
第二章 打浆工艺	(21)
第一节 打浆方式	(21)
第二节 打浆的工艺条件	(25)
第三节 打浆的质量检查	(37)
第四节 各种纸浆的打浆特性	(44)
第五节 不同品种的纸张打浆特性	(58)
第三章 打浆设备	(71)
第一节 槽式打浆机	(71)
第二节 圆柱磨浆机	(92)
第三节 圆盘磨浆机	(113)
第四节 锥形磨浆机	(135)
第五节 高浓打浆	(142)
第六节 打浆的辅助设备	(145)
第四章 调料	(152)
第一节 施胶	(152)
第二节 加填	(176)
第三节 染色和调色	(185)

第一章 打浆的基本原理

植物纤维原料经过蒸煮、筛选、漂白净化后制成的纸浆，还不宜直接用于造纸，而需要通过打浆，对纸浆纤维作进一步的处理。打浆的任务主要是通过打浆的机械作用，处理水中的纸浆纤维，使其发生物理化学变化而获得一些特定的性质，能够满足纸或纸板生产的质量要求。其次是均匀混合纸浆、胶料、明矾、填料、色料等。

未经打浆的浆料，纤维尚未分散成单根纤维，而是存在着很多纤维束。由于纤维的粗糙、挺硬，相互间交织不好，抄成的纸张强度很低，纸面粗糙、疏松、多孔、容易起毛，不适于使用。因此，除了机械木浆和废纸浆外，绝大部分纸浆在进行抄纸前都经过打浆或磨浆。半化学浆，化学机械浆在纸机前的磨浆也是属于打浆的范畴。

由于纸张及纸板的品种繁多，用途广泛，所以对质量的要求也各有不同。采用同一种纸浆原料，可以生产很多种不同性质的纸张或纸板。如用质量相同的漂白亚硫酸盐木浆，能生产出质地松软、具有高度吸水性的过滤纸；也可以生产出组织均匀、表面平滑的印刷纸、书写纸；还可以生产出吸水性很低、透明性很高的描图纸、防油纸等。这些性质截然不同的纸张，都是经过不同的打浆方法获得的。

另外，造纸所采用的纤维原料种类很多，在纤维形态、化学组成、纤维的物理结构以及制浆方法等方面又有很多不同，为了使各种不同性质的纤维原料能够生产出质量好的纸

张或纸板，首先要确定纸浆的配比，采用不同的打浆方式和方法。例如，就打浆后的纤维形态而言，有的纸张要求打浆后保留较多的长纤维，而有的则要求对纤维有较多的切短；有的纸张要求对浆料有较高的润胀与帚化，有的又要求抄纸时易脱水，而不能过分吸水润胀。因此，就必须在抄纸前根据纸张的要求与纸浆的特点来进行打浆。由此可见，打浆是一项复杂而细致的生产过程，打浆工作者应根据打浆设备的类型、纸浆原料的种类，以及需要生产的产品质量要求，制定出具体的打浆工艺条件和操作规程，以满足不同产品的产量、质量和花色品种的需要。

第一节 打浆对纤维的作用

在造纸工业中，所谓纤维有时是泛指留在纸浆中的一切细胞而言，一根纤维即一个细胞。但狭义说来并非所有细胞都称为纤维，而仅仅是那些细长的两端尖锐或钝圆、中间有空腔、细胞壁较厚的，略呈纺锤状的细胞才称为纤维。除此之外的各种形状的细胞，统称为薄壁细胞或杂细胞。

打浆对纤维的作用，主要是物理化学变化。不论使用何种类型的打浆设备，都是使纤维产生切断、压溃、吸水润胀和细纤维化，其主要变化都发生在纤维的细胞壁。因此，细胞壁的构造与打浆有着密切的关系。

在这里首先介绍一下纤维细胞壁的构造。

在普通显微镜下观察纤维的横切面，可以看出各种植物纤维的细胞壁构造大致相同。以木材纤维为例，其细胞壁组成见图 1-1。在细胞壁的最外层有胞间层（*M*）它是相邻细胞之间的空隙。其次是初生壁（*P*），是纤维细胞壁的外层，

厚度很薄，约 0.1 微米。初生壁与胞间层合在一起称为复合胞间层。向内靠近胞腔的部分是次生壁(S)，为细胞壁的主要部分，它的厚度约为 1~5 微米。

次生壁又可分为三层：外层(S_1)靠近初生壁，较薄，约 0.2 微米，结构比较松弛；中层(S_2)较厚，约 1~5 微米，结构成层状；内层(S_3)也很薄，约 0.1 微米，与胞腔相邻。

用电子显微镜观察纤维细胞壁各层中的结构，可以看出初生壁及次生壁的各层都是由很多相互缠绕起来的细纤维构成。这些绒毛状的细纤维又是由更小的微纤维组成，微纤维就是纤维素大分子链组成的结晶格子。

细纤维像缠毛线球一样，一层层地绕起来构成细胞壁各层，而每层缠绕的角度各有不同(图 1-2)。胞间层没有细纤维结构。初生壁上的细纤维呈有规则的定向排列，外层呈网状结构，内层呈交叉螺旋状，绕角较小。次生壁外层细纤维沿胞腔轴向成 45~50 度角，从右到左螺旋方向缠绕；次生壁中层细纤维成单向螺旋状排列，绕角逐渐变大，与轴向成 0~45 度角；次生壁内层的细纤维又呈交叉螺旋状排列，绕角 45~90°。细胞壁各层细纤维的缠绕角度对打浆的细纤维化影响很大，绕角大的，即与轴向交角较小的，甚至平行的细纤维，则在打浆中易分丝帚化；相反与纤维轴向交角较大，甚至接近垂直的，在打浆中则难于分丝帚化。

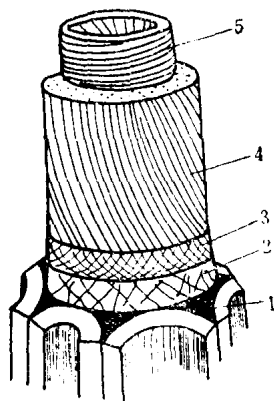


图 1-1 纤维细胞壁结构示意图

1—胞间层 2—初生壁
3—次生壁 外层 4—次生壁中层 5—次生壁内层

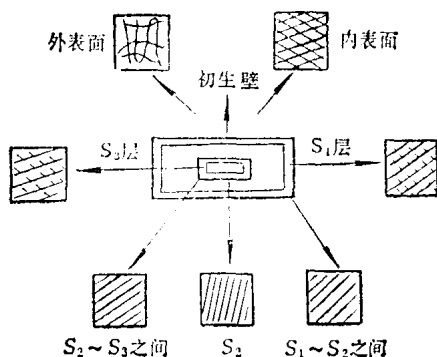


图 1-2 细纤维排列示意图

一般认为，打浆对纤维的作用和纤维的变化除压溃、揉搓、梳解以外，主要分为以下五部分：细胞壁的位移和变形，初生壁和次生壁外层的破除，吸水润胀，细纤维化和横向切断等。但这几种作用不是截然分开，而是互相交错进行的，现分述于下。

一、细胞壁的位移和变形

用偏光显微镜可以观察到纤维上的亮点，即微纤维的位移。未打浆的纤维有位移，而开始打浆后又出现了新的位移点，随着打浆过程的进行，位移点逐步扩大并变得更清晰。

产生位移的原因是由于纤维在打浆过程中受到机械作用力，使次生壁中层一定位置上的微纤维产生弯曲变形，微纤维之间空隙有所增加，这就为纤维吸收更多的水创造了条件。开始这个变形是很小的，以后逐步变大。虽然由于此时初生壁和次生壁外层还没有去除，对次生壁中层的位移和进一步润胀受到限制，但吸水变形可使纤维变得柔软，对去除初生壁和次生壁外层具有重要作用。

二、初生壁和次生壁外层的破除

初生壁在蒸煮和漂白的过程中去掉一部分，但仍存有相当数量。未去掉初生壁的纤维，显得光滑、挺硬，不易吸水润胀。这是由于初生壁中含有较多木素，并呈网状的结构，它虽然能吸水，但润胀程度很低。次生壁的外层很薄，它紧紧地包围着能够很好润胀的次生壁中层，因此，也必须在打浆中将其除去，使次生壁中层的细纤维分离出来，才能达到纤维的充分润胀和细纤维化作用。

初生壁和次生壁外层的破除，是利用打浆设备的机械作用力和纤维之间的相互摩擦，呈膜状或碎片的形式除掉的。当然，打浆过程中不可能将每一根纤维的初生壁和次生壁外层彻底去除，根据打浆程度的不同，去除的多少也不同。不同种类的纤维初生壁及次生壁外层的除去难易程度也不相同，如草浆比木浆去除要困难，硫酸盐木浆比亚硫酸盐木浆的去除要困难，因而造成打浆时细纤维化的难易程度不同。

三、纤维的吸水润胀

在初生壁未打破之前，纤维的吸水润胀程度较慢。随着打浆的进行，初生壁及次生壁外层不断被打破，纤维的吸水润胀加快，纤维直径可迅速润胀到原来直径的两倍。吸水润胀后的纤维变得柔软可塑，外表面积增大，内部组织结构松弛，分子间内聚力下降，有利于细纤维化的进行。

纸浆纤维为什么会吸水润胀？这是由纤维细胞壁的化学组成决定的。细胞壁的化学成分主要是纤维素、半纤维素、木素，其中纤维素、半纤维素的分子结构中都含有羟基。在水中产生极性的吸引，而使纤维与水发生了所谓水化作用的

结果。

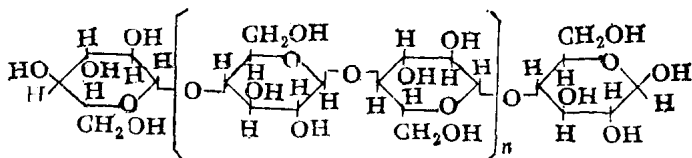
为了对这个问题有进一步的了解，还是先讲一下细胞壁的化学组成。

(一) 纤维素

纤维素是纤维的主要成分，在次生壁中含量可达80%以上，它是由许多个葡萄糖基连结而成的线状天然高分子化合物，其分子式可用 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 来表示。括号内是“葡萄糖基”， n 叫聚合度，表示葡萄糖基的个数。

葡萄糖基之间的联结，是借助主价键—— β -葡萄糖甙键 (G—O—G)，将葡萄糖基一个接一个地成 180° 的扭转排列，而构成了长链状的大分子。

如：



无数条长链状大分子按一定方式排列，根据X-射线研究证明，有些分子链之间排列得很整齐，并且按一定的规格组成立体结晶格子，彼此靠得很紧密，分子间的内聚力也较大，不容易被水或其它液体所渗透，这部分就叫纤维素的“结晶区”。而另一部分纤维素的大分子链，排列得不够有秩序，比较松弛，分子间内聚力较小，容易被水或其它液体渗透，这部分叫纤维素的“非结晶区”或“无定形区”。

纤维素大分子链上每一个葡萄糖基上都带有三个羟基 (OH)，这些羟基容易与水分子产生极性的吸引，使水吸附到纤维素分子的周围。当水渗透到纤维素的无定形区，使纤维

素链分子间距离加大,内聚力降低,产生了纤维的吸水润胀。

纤维的这种吸水润胀作用,在打浆过程中称为“水化作用”。它与纤维素的结晶度有关,水只能进入无定形区,而不能进入结晶区。结晶区愈多的纤维则吸水润胀程度愈小;相反,无定形区愈多则纤维吸水润胀程度愈大。如天然的棉纤维,主要是甲种纤维素或称 α -纤维素,其结晶区比例很大,吸水润胀程度较小。草类纤维,纤维素分子链较短,无定形区比例大,吸水润胀程度也就较大。

(二) 半纤维素

半纤维素不是单一的物质,而是一些多糖类化合物的总称。半纤维素是由多种单糖基构成的,具有比较短的链状分子,并且带有支链,其聚合度比纤维素小得多,一般在30~150左右。

构成半纤维素的单糖基主要有木糖、阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖及糖尾酸等。半纤维素不论化学结构还是分子的大小都是不均一的,各种植物原料所含半纤维素的结构各不相同,但主要组成一般为多戊糖和多己糖。

半纤维素的分子链排列多为无定形区,对酸和碱的抵抗力较弱,在制浆过程中有很大一部分被破坏了,只留下一小部分。半纤维素所含糖基中也存在着大量羟基,吸水润胀程度比纤维素更高。因此,纤维吸水润胀的难易,在很大程度上取决于所含半纤维素的多少。如化学木浆比棉浆容易吸水润胀,化学草浆又比化学木浆容易吸水润胀,就是由于草浆的半纤维素的含量多于化学木浆,化学木浆又多于棉浆的缘故。所以,在制浆过程中应设法多保留一些半纤维素,这不仅能增加纸浆得率,有利于打浆的水化作用,而且还能提高纸张的强度。

(三) 木素

木素也不是单一物质，而是有共同性质的一群非碳水化合物，具有芳香族化合物的特性。它的基本结构单元是苯基丙烷的衍生物组成的一种网状结构的高分子化合物。原本木素是乳白色粉末，主要分布在胞间层中，起到粘结纤维，增强植物组织强度的作用。在化学浆的蒸煮中，木素大部分被除去，使纤维分离成为纸浆，尚有少量木素保留在初生壁和次生壁外层中。由于木素是疏水性物质，不易吸水润胀，因此，纤维中木素含量多，会显得僵硬而脆弱，打浆时，难于水化，容易遭到切断。

综上所述，纤维在打浆过程中所以能发生吸水润胀，是由于纤维素和半纤维素分子结构中存在有无定形区和大量的羟基，与水分子发生极性吸引，水分子进入无定形区，使纤维素分子链间距离增大、纤维外表面积增大，从而引起吸水润胀。其中，半纤维素含量多易于吸水润胀，木素则阻碍了纤维的吸水润胀。

四、细纤维化

纤维在打浆过程中受到打浆设备的机械作用而产生纤维的纵向分裂，表面分离出细小纤维，纤维两端帚化起毛的现象，称为细纤维化。

一般认为，纤维的细纤维化是在纤维吸水润胀以后开始的。由于吸水润胀，致使内聚力减小，次生壁的层与层之间产生滑动，使纤维变得柔软可塑，称为内部细纤维化。而纤维表面的分丝帚化，分离出大量细小纤维，增加了纤维的外表面积，称为外部细纤维化。

纤维的细纤维化，主要是在次生壁中层产生，因为细纤

纤维在它上面的排列多是近似平行的，易于润胀和分裂帚化。但必须是在次生壁外层完全除掉或部分除掉的情况下，才能产生较好的细纤维化。纤维的细纤维化和纤维的吸水润胀是互相促进的。吸水润胀为纤维的细纤维化创造有利条件；反之，纤维的细纤维化又能促进纤维更进一步的吸水润胀。

五、横 向 切 断

打浆过程中，由于打浆设备的刀片或磨齿间的剪切作用，使纤维受到切断。同时在打浆压力较大、浓度较高的情况下，纤维之间相互摩擦，也会造成纤维的横向切断。

长纤维经适当地切短，可以提高纸张的组织均匀性和平滑性。但过分的切短，纸的强度就会降低。通常对棉浆，麻浆等长纤维浆料，在打浆时要求有较多的切短；对针叶木浆（纤维平均长度为2~3毫米）在打浆时，应根据纸张物理性能要求，将纤维切短到必要的程度（约0.6~1.5毫米）。对较短的阔叶木浆和草类浆（纤维平均长度0.7~1.1毫米），则不希望有过多的切短。

纤维的切短与润胀的程度有关系，在同一打浆条件下，吸水润胀得很好，纤维具有良好的柔软性和可塑性，就不容易受到切断，而易于分丝帚化。反之吸水润胀不好，纤维挺硬，则容易受到切断。

上述五个方面的作用是指单根纤维而言的，即指一根纤维在打浆过程中可能受到的几种作用。在实际生产中，打浆处理的纤维数量是无法估量的，由于打浆中各种条件的限制，每根纤维受到的作用不可能完全一致。如有一部分纤维在打浆时可能吸水润胀和细纤维化作用都较好，而另一部分纤维可能受到较严重的切断作用；也可能有一部分纤维在打

浆初期初生壁和次生壁外层就已破除，而另一部分纤维直至打浆后期尚未破除。如果这种现象越严重，就说明打浆作用不良，必须采取有效措施，力求把浆打得均匀一些。

第二节 打浆与纤维结合力

纤维在打浆过程中受到不同程度的切短、润胀、细纤维化作用，使纤维外表面积增大，变得柔软可塑，在抄纸机上脱水较慢，干燥时产生收缩，因而抄出纸的强度大为增加。纸张的强度是怎样获得的呢？经研究证明，纸的强度并不是单根纤维的强度，而是纤维结合力、纤维长度、纤维表面状况和纤维的排列方式等综合条件决定的。其中起重要作用的是纤维结合力。形成纤维结合力的主要是氢键结合，此外还有化学键初价力、极性键吸引力、表面交织力等，但这些都不是很重要的。关于纤维结合力形成的理论有多种说法，其中氢键学说能比较准确地说明为什么只有打过浆的纸料才能抄出强度高的纸张，湿纸的强度为什么比干纸差等问题。

一、氢键结合与纤维结合力

纤维在打浆中当初生壁和次生壁外层破除之后，水进入次生壁中层纤维结构的无定形区，引起纤维吸水润胀，和细纤维化，使次生壁中的很多微纤维表面上的羟基裸露出来，羟基吸引水分子，增强了纤维的水化作用。

浆料在抄纸机上形成的湿纸页，再经过压榨和干燥。随着脱水过程的进行，纤维之间距离缩小，存在于纤维与纤维之间的水分子先组成一定的排列，即将纤维用“水桥”的形式联结。在继续干燥过程中，由于水的蒸发，纤维受水的表面

张力的作用，纸页收缩，纤维间进一步相互靠拢。当相邻两根纤维上的羟基距离达到 $2.55 \sim 2.75$ 埃（埃用 $\text{\AA}$ 表示，等于 10^{-8} 厘米）以下时，纤维素分子中羟基的氢原子与相邻纤维羟基中的氧原子产生了 $\text{O}-\text{H} \cdots \text{O}$ 形式的氢键结合，见图 1-3。

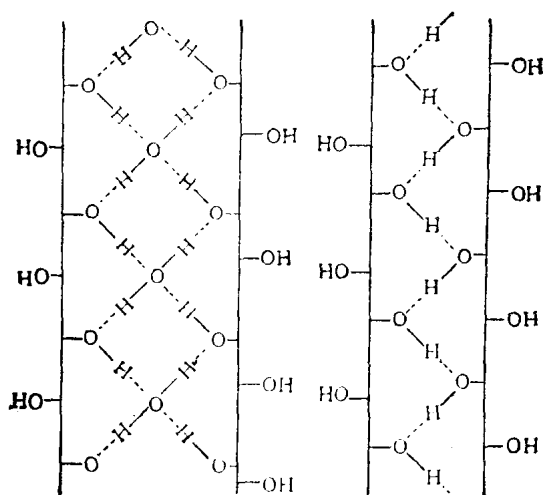


图 1-3 氢键结合与“水桥”

纤维素分子上的羟基相当多，假如一根微纤维是由 $300 \sim 500$ 个葡萄糖基组成，每个葡萄糖基上有三个羟基，则共有 $900 \sim 1500$ 个羟基。由无数的微纤维相互间形成的氢键，所产生的力就是很大了。当然，实际上不可能所有的羟基都能形成氢键结合，据研究纤维内部的羟基只有 $0.5 \sim 2.0\%$ 左右能够成为氢键结合，而 98% 以上的羟基是以结晶区或无定形区的形式组成的氢键结合，它只体现了纤维的强度。而只有纤维表面游离出来的羟基形成的氢键结合才能体现纸张或纸板的强度。纤维的细纤维化程度愈高，分丝帚化

的微纤维愈多，裸露出来的羟基数量也多，形成的氢键结合力就大，纸的强度也就愈大。

那么当纸浸入水中强度为什么会降低呢？这是因为水分子又重新进入纤维之间，破坏了氢键结合而形成“水桥”，使纤维与纤维之间距离加大，结合力下降，因而纸的强度随之下降。

二、影响纤维结合力的因素

纸中纤维结合力的大小，除了与打浆时纤维分丝帚化的程度有关外，同时与纸浆的化学组成、物理性质以及纤维在纸中的组织排列情况有密切关系。

不同种类的纸浆其物理结构和化学组成有很大不同，一般化学木浆的纤维结合力最大，棉浆次之，机械木浆最差。纸浆中半纤维素、木素、纤维素的含量不同，对纤维结合力的大小有直接影响。其中半纤维素的影响比较突出，这是因为半纤维素的分子链比纤维素短，打浆时吸水润胀，细纤维化更容易，通过羟基形成的氢键结合，显示出一种类似胶粘的作用。因此打浆度上升得快，成纸强度较高。但是，半纤维素含量过多也不好，这样会增加细小纤维的数量，浆料水化过快，抄纸时脱水困难，纸张易造成透明度高、发脆，强度反而下降。一般要求半纤维素，含量不要超过20%，最低不要少于2.5~3.0%。

木素含量多的纸浆，纤维结合力也低，因木素多分布在初生壁和次生壁外层，它将影响纤维的吸水润胀和细纤维化。一般认为化学木浆中木素含量超过20%，就很难抄出质量好的纸张。

纤维素的聚合度大小也影响纤维结合力，一般高聚合度