

造纸机湿部浆料 —— 流体动力学

陈克复 编著 马伯龙 校

造纸机湿部浆料流体动力学

陈克复 编著

马伯龙 校

轻工业出版社

B866/51

内 容 提 要

本书简要地论述了非牛顿型流体特征、流动状态、流动摩擦损失等基本原理，系统而详尽地阐述了供浆系统、布浆器、匀整元件、上浆装置、流浆箱的流体动力学以及浆料的脱水和纸幅成形的机理，并结合生产实际，提出了造纸机湿部主要部件的设计要点，对浆流的粘度、浓度、流量的测定也作了扼要介绍。

本书可供造纸工业生产、设计、科研部门技术人员以及造纸专业高等院校师生参考。

造纸机湿部浆料流体动力学

陈克复 编著

马伯龙 校

轻工业出版社出版

(北京阜成路8号)

轻工业出版社印刷厂印刷

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：15 16/32字数：337千字

1984年12月 第一版第一次印刷

印数：1—3,600 定价：3.60元

统一书号：15042·1817

代 序 言

随着造纸工业不断地朝着大型、高速、自动化方向发展，造纸机抄宽和抄速的不断提高，单靠经验设计，已经难以适应现代造纸工业发展的要求了。只有在深入掌握非牛顿型浆料流体动力学原理的基础上，再结合实践经验，才能对现有供浆系统、布浆器、流浆箱和纸机湿部的改造和新的设计提出可靠的方案和切实可行的办法。此外，在浆料筛选和净化过程中，也都涉及到浆料流体动力学的一些基本问题。

本书首先论述了非牛顿型流体特征、流动状态、流动摩擦损失等基本原理，同时结合生产实际，对各种布浆器、匀浆元件、流浆箱等都作了比较系统而详尽的论证，值得造纸工业科技工作者一读。

《造纸机湿部浆料流体动力学》一书还是我国第一本研讨造纸流体动力学的专门著述，是一次尝试，当然该书在内容上和组织安排上难免有一些问题，有待作者进一步总结提高。这是我对作者的一点希望，也希望广大的造纸科技工作者共同来培育这一新开的蓓蕾。

隆言泉

前 言

近年来国内外对造纸流体动力学的研究越来越深入，出版了有关的著作，发表了大量的研究成果。这说明造纸工业的发展与造纸流体动力学的研究有很密切的关系。

作者作为一个尝试，从流体动力学的原理出发，把造纸流体动力学和造纸工业实际操作单元的机理结合起来。本书命名为《造纸机湿部浆料流体动力学》，实可看为“造纸机湿部的浆料流体动力学及其在造纸工业上的应用”的简称。

本书可作为制浆造纸专业的大学本科高年级学生和研究生的教学参考书，亦可作为造纸工业科技工作者的参考书和有关专业短训班的教材参考资料。

在编写本书过程中，自始至终得到隆言泉教授和马伯龙工程师的指导和帮助。初稿写完后，隆言泉教授在百忙中抽时间审阅了全书，并作了修改。马伯龙工程师多次修改了初稿，最后，对全书进行了审校。在此，作者谨致谢意。

在编写过程中，还得到了天津轻工业学院机械系领导的大力支持，得到了舒伟、叶明德、冯凯同志的帮助，在此，作者一并致谢。

限于作者的水平，书中如有谬误之处，希望读者指正。

编 者

目 录

第一章 概论	1
第一节 浆流的定义和本书的讨论范围	1
第二节 浆流的主要物理-力学性质	2
一、流动性	2
二、浓度	3
三、空气含量	3
四、粘性	4
第三节 非牛顿型液体的特征	4
一、牛顿型液体和非牛顿型液体	4
二、均匀系数 K 和流态特征系数 n	6
三、拟粘度	8
第四节 在讨论浆料流动时应用的一些流体力学名词的含义	10
一、流线、流管、流束	10
二、平均流速	11
三、速度梯度	12
四、流动条件	12
五、当量直径	12
六、稳定流动与不稳定流动	13
七、内摩擦与摩擦损失	15
八、雷诺数 Re 与广义雷诺数 Re'	16
九、层流、湍流、流态	17
十、边界层	18
第五节 作为流浆箱设计机理的浆流动力学的	

发展·····	20
第二章 造纸机湿部浆料流体动力学的基本概念 ·····	22
第一节 浆料的流动状态·····	22
一、近似于水的浆流·····	22
二、一般浆流的三种流动状态·····	26
第二节 基本方程式·····	28
一、平衡方程式·····	28
二、连续性方程式·····	29
三、柏努里方程式·····	29
四、不稳定流动的能量方程式·····	30
第三节 塞流·····	31
一、水环流·····	31
二、塞流的速度分布·····	35
第四节 塞流的摩擦损失·····	37
一、塞流状态下压头损失计算公式的推导·····	39
二、塞流状态下压头损失的实验公式·····	41
三、各实验公式的比较·····	45
四、其它因素对塞流压头损失的影响·····	47
第五节 浆流中的纤维网络和絮聚·····	50
一、纤维网络和絮聚团束的力学性能·····	52
二、临界浓度值的决定·····	54
三、流速和浓度对纤维絮聚的影响·····	56
第六节 湍流·····	59
一、流速对纤维网络分散程度的影响·····	59
二、湍流的研究方法·····	60
三、湍流剪切应力·····	63
四、圆管内湍流的速度分布·····	66

五、一般浆流在湍流状态下的速度分布	68
六、上网浆流理想的流态——微湍流	71
第七节 湍流摩擦损失	74
一、湍流状态下浆流摩擦损失的减小现象	74
二、近似于水之浆流的摩擦损失	75
三、一般浆流在湍流状态下的摩擦损失	82
第八节 浆流的局部阻力	82
一、一般浆流在局部位置上涡流的产生	83
二、局部压头损失的确定	86
第九节 湍流时纤维在水介质中的跟随性	92
第三章 供浆系统中的浆料流体力学	98
第一节 浆流的波动	98
一、引起浆流纵向压力波动的原因	98
二、浆流压力波动的测量	101
第二节 涡旋除砂器的流体力学原理	105
一、旋涡运动	107
二、涡旋除砂器中浆流的速度	111
三、通过涡旋除砂器的浆流流量及压头损失	116
四、杂质的分离	119
五、粗浆排出量的控制	123
第三节 旋翼筛中的浆料流体力学	125
一、浆流在旋翼筛内的运动	125
二、旋翼的运动引起浆流的脉动	129
三、各种因素对旋翼筛中浆流的影响	131
第四节 浆流的脱气	135
一、空气的存在对浆流的影响	135
二、脱气原理	136

第五节 从浆流动力学角度讨论供浆系统中管

路设计的要求..... 138

一、突扩管应改为渐扩管..... 138

二、浆流的汇合和分岔..... 139

三、浆流方向的改变..... 140

四、贮浆容器的引出管..... 142

五、浆料和白水混合系统的控制阀安装..... 144

六、管道中浆流速度的确定..... 145

第四章 布浆器中浆料流体动力学..... 148

第一节 扩展流道中浆料的流动..... 149

一、有折叠形流道的扩展流道布浆器..... 149

二、多重支管式布浆器..... 151

第二节 错流布浆器..... 154

一、浆料在圆锥管中的流动..... 155

二、对放料方程式的讨论..... 160

三、错流布浆器的设计公式..... 162

四、结论..... 164

第三节 等径管式布浆器..... 166

第四节 锥管布浆器中锥形总管的计算公式..... 169

一、等速锥形总管的计算公式..... 170

二、拜纳斯 (Baines) 公式..... 174

三、锥形等压管设计计算公式..... 177

四、考虑到总管摩擦压头损失和收缩压头损失的设计计算公式..... 180

五、考虑摩擦压头损失和浆流分岔压头损失的锥形总管设计计算公式..... 185

六、考虑了所有压头损失的锥形总管设计计

算公式.....	194
第五节 λ 、 ξ 、 K 三系数的确定	203
一、浆流在总管中的摩擦系数 λ	203
二、分岔损失系数 K	205
三、收缩损失系数 ξ	205
第六节 关于锥形布浆器总管设计计算公式的 讨论.....	206
一、关于等速锥形总管和等压锥形总管设计 计算公式的讨论.....	207
二、关于拜纳斯公式的讨论.....	208
三、关于设计计算公式(4—93)和(4—94) 的讨论.....	210
四、关于设计计算公式(4—75)和(4—107) 的讨论.....	212
第七节 支管的影响和对回流端的限制.....	214
第五章 匀整元件的浆料流体动力学.....	217
第一节 节流扩散管.....	217
一、浆流在扩大室的流动.....	217
二、浆流在节流缝的流动.....	221
三、浆流在扩散室的流动.....	226
第二节 挡板.....	228
一、挡板的作用.....	228
二、挡板的不足及采取的补救措施.....	232
第三节 孔板.....	233
一、浆流通过孔板的流动.....	233
二、压头损失系数不同的孔板对浆流通过后 流速分布的影响.....	235

三、孔板的阻力系数 ξ' 的计算方法及它和孔板形状的关系	238
四、 ξ' 的修正和设计孔板时基本数据的选取	244
五、孔板存在的问题	247
第四节 匀浆辊	247
一、浆流通过匀浆辊的流动	248
二、浆流通过匀浆辊的压头损失	250
三、匀浆辊的其它因素对浆流的影响	251
四、结论	253
第五节 管束	255
一、浆流在管束中的流动	256
二、压头损失	258
三、在管束入口处增设匀浆辊	258
第六节 导流片组	259
一、浆流在敛式流浆箱的挠性导流片组中的流动	260
二、导流片的稳定性问题	261
三、应用挠性导流片组的注意事项	265
第七节 高湍振分配管	267
一、浆流在分配管中的流动	268
二、高湍振分配管的压头损失	269
三、结构上的要求	270
第八节 台阶扩散器	272
一、在台阶小管中微湍流的发生和压头损失的计算	274
二、浆流在台阶小管中的压头损失	275
三、台阶扩散器的结构对浆流的影响	275

第六章 上浆装置中的浆料流体动力学	286
第一节 在一般上浆装置中浆流上网的流体力学基本计算.....	287
一、浆流的上网速度.....	287
二、浆流上网的压头高度.....	289
三、上网浆量的计算.....	291
第二节 浆流对上浆装置的反推力和对网部的压力.....	293
一、浆流对上浆装置的反推力.....	293
二、上网浆流对网的压力.....	294
第三节 闸板.....	297
一、直立闸板.....	297
二、斜闸板.....	300
第四节 敛唇式上浆装置.....	301
一、浆流通过敛唇式上浆装置的流动.....	301
二、对敛唇式上浆装置的结构所提出的要求.....	307
三、直立唇缘的优点.....	309
第五节 浆流的喷射角和着网点位置.....	310
第七章 流浆箱的设计概要	314
第一节 流浆箱中浆流的湍流状态.....	314
第二节 从流体力学角度对流浆箱提出的要求.....	316
一、对流浆箱结构提出的一般要求.....	316
二、大涡流的消除.....	318
三、流浆箱中浆流速度的确定.....	319
第三节 对匀整元件组合的要求.....	321
一、湍流的衰减.....	321
二、匀浆辊与其它匀整元件之间的组合.....	323

三	敛流式流浆箱中管束与挠性导流片组的组合	325
四	流浆箱内设置导流片	326
第四节	各种型式的流浆箱	328
一	闸板淌浆箱	328
二	压力流浆箱	328
三	孔板式流浆箱	331
四	管束式流浆箱	331
五	高湍振流浆箱	333
六	台阶扩散器流浆箱	333
第八章	浆料的脱水和纸幅成形的机理	335
第一节	纤维在水介质中的沉降	335
第二节	成形的基本概念	337
一	纸幅成形的三个阶段	337
二	纸幅成形过程的三种主要流体动力过程	338
三	网上浆料脱水的过滤和浓缩机理	340
第三节	湍动对纸幅成形的影响	342
第四节	在真空条件下的脱水	344
一	引起浆料脱水的各力	344
二	计算脱水量的理论公式	346
第五节	浆料的性质对脱水的影响	349
一	浓度	349
二	温度	350
三	浆料中纤维的物理特征	351
四	纤维积层的性质对过滤阻力的影响	352
第六节	案辊的脱水机理	354
一	案辊与网所形成的头区中真空的产生	354

二、案辊顶部附近的压力分布·····	355
三、案辊脱水量·····	358
四、案辊产生过大抽吸力对网上浆料层的影响·····	360
第七节 脱水板的脱水机理·····	362
一、脱水板的脱水过程·····	362
二、脱水板所引起的真空度的理论计算·····	365
三、脱水板的脱水性能及其影响因素·····	373
第八节 湿吸箱和吸水箱的脱水·····	376
一、湿吸箱和吸水箱的脱水过程·····	376
二、湿吸箱所引起的浆层表面与积层底面间的压力差·····	378
三、湿吸箱和吸水箱的脱水能力·····	379
第九节 观察纤维分布的实验·····	380
一、浆料不湍动, 按照层流的运动规律·····	381
二、浆料处于大尺度的湍动状态·····	381
三、浆料处于小尺度的湍动状态·····	382
四、浆料处于小尺度、高强度的湍动状态·····	382
第十节 从浆料自由表面的形态分析脱水元件的优缺点·····	383
第十一节 圆网造纸机上的纸幅成形·····	389
一、浆速与网速协调的重要性·····	389
二、圆网成形器中过滤压力的变化·····	391
三、在过滤压力变化区中的脱水·····	393
四、在过滤压力恒定区中的脱水·····	396
五、网槽和网笼之间的距离·····	397
第九章 压榨脱水的机理·····	401

第一节 湿纸幅的可压缩性.....	401
一、静压力与体积比的关系.....	402
二、动压力与体积比的关系.....	403
三、动压力与压缩速度的关系.....	404
四、动压力与湿纸幅定量及其它因素的关系.....	406
第二节 普通压榨脱水机理.....	407
一、压区中湿纸幅的脱水过程.....	408
二、在压区中沿压区宽度的动压力的表达式.....	409
三、关于动压力表达式的讨论.....	414
四、在普通压榨中湿纸幅的压溃现象.....	415
第三节 沟纹压榨脱水机理.....	417
一、脱水过程及影响脱水各因素的相互关系.....	417
二、湿纸幅的水流阻力.....	420
三、毛毯的性能对脱水的影响.....	424
第四节 真空压榨脱水机理.....	427
一、真空压榨的脱水过程.....	428
二、第一段压区中动压力梯度的估算.....	432
三、真空压榨的优点和存在问题.....	433
第十章 有关浆流的测量.....	436
第一节 粘度测量.....	436
一、测定近似于水的浆流粘度的实验方法.....	437
二、用落球粘度计测定浆流粘度.....	440
三、用回转式粘度计测定浆流粘度.....	443
四、粘度单位的换算.....	447
第二节 浆流浓度的测定.....	448
一、刀式浓度检测器的工作原理.....	449
二、回转式浓度检测器的工作原理.....	454

三、用浓度检测器调节浆流浓度·····	457
四、电磁波、超声波、光电浓度调节器·····	458
五、使用浓度调节器的注意事项·····	460
第三节 浆流的流量测定·····	461
一、用计算贮浆容器液面差来确定浆流流量 的方法所存在的误差·····	461
二、用电磁流量计测定浆流流量·····	463
三、用扇形孔板流量测定仪测定浆流流量·····	469
第四节 浆流局部流速的测量·····	474
一、使用激光多普勒测速仪测量浆流速度分 布·····	475
二、使用基于流速变化而设计的各种型式测 速仪来测量浆流的速度分布·····	477
三、使用特制毕托管测量浆流的速度分布·····	478

43424

第一章 概 论

第一节 浆流的定义和本书的 讨论范围

浆料主要由固态的纤维、液态的水和气态的及溶解状态的空气所组成，还含有一定量的胶料和填料，是一种三相悬浮液。

浆料中纤维的含量直接影响着浆料的物理-力学性质，因此，通常把浆料分为超低浓浆料（0.1%以下）、低浓浆料（0.1~3%）、中浓浆料（3~10%）和高浓浆料（10%以上）。

本书所讨论的对象是具有流动性的浆料。所谓浆流，就是流动着的浆料。对于不具备流动性或流动性很差的浆料，不属于本书的讨论范围。

根据不同浓度的浆流的不同流动特征，可以把浆流分为临界浓度（0.05~0.1%）以下和临界浓度以上这样两种条件来讨论。根据实验，临界浓度以下的浆流，流动特征基本上和水流相同，因此可以把这种浆流当水流看待。但是，根据伏尔科夫的研究，近似于水流的浆流的浓度值还要高。例如，对磨木浆和硫酸盐浆，浓度在0.5~0.6%以下时，其流动状态是层流和湍流，流动特征和水流相似。在设计这种浆料的管路时，可近似地按照用于水管的方法来计算^[1]。这个浓度值和理论分析基本相符^[2]。这样，在本书中又把浆流分为极限浓度以下和极限浓度以上两种不同的条件。极限浓度以下的浆流，可以近似地视作为水流；极限浓度以上的