

制浆造纸设备丛书

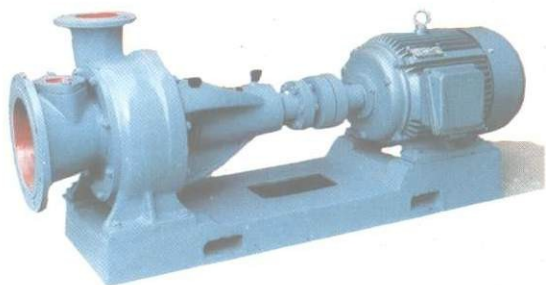
# 浆料输送 与输送机械

胡楠 陈克复 编著

中国轻工业出版社

# 开封市第四机床厂

## 高效节能的“两相流”纸浆泵



“两相流”纸浆泵是我厂于一九八四年三月从北京“两相流”技术开发公司引进的新产品，也是我厂技术顾问，原水利电力部水利研究所工程师蔡保元同志专为我厂设计的。“两相流”的理论在国际上被誉为“蔡氏”理论（详见一九八三年第八期《科学通报》）。

“两相流”纸浆泵摒弃了现行浆泵“一相流”（清水泵）的设计原理，由于现行的浆泵的工作状况是抽清水时效率高，纸浆越浓效率越低，所以一般浆泵输送浓度在百分之三至百分之五以内。而“两相流”纸浆泵工作时送浆的浓度可以高达8%，送浆量比一般的浆泵高出40%—100%，其工作效率提高了20%左右从而使它具备了高效、节能、寿命长、体积小等四大优点。该浆泵如用于化工厂和矿区作杂质泵使用，也同样具有良好的效果。据有关单位和部门使用测定，如连续使用一年仅节约的电费就可以购置一台新泵。

“两相流”纸浆泵生产两年来，由于广泛地征集了用户及设计部门的意见，并在生产过程中作了五大改进，现已完善定型。并且系列化和大批量投产。该产品已通过省级鉴定，为河南省填补了空白。

主要技术参数见书中附录。

厂址：开封市城皇庙后街34号 电话：31872 电挂：1643

制浆造纸设备丛书

# 浆料输送与输送机械

胡楠 陈克复 编著

中国轻工业出版社

## 内 容 提 要

本书是制浆造纸设备丛书之一。

书中系统地论述了浆料输送管路及设备的理论与实践。书中内容面向多层次多方面的读者，有为造纸厂工艺技术人员编写的实用性内容，如浆泵的工作原理、结构特点及运行管理、输送中管径和流速的选择等等。有使机械设计人员感兴趣的设计原理性内容，如管路压头损失计算、水力计算、浆泵的启动阻力、管路的振动及水击情况、流量的测量、非牛顿型流体的输送计算等等。本书还对高浓浆料输送管路及机械作了详细讨论。

### 制浆造纸设备丛书

#### 浆料输送与输送机械

胡楠 陈克复 编著

中国轻工业出版社出版

(北京安外黄寺大街甲3号)

密云县卫新综合印刷厂印刷

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：13 插页：1 字数：328千字

1991年8月第1版第1次印刷

印数：1-3,000 定价：11.90元

ISBN 7—5019—0977—6/TS·0654

# 目 录

## 第一编 浆料输送管路

<b>第一章 基本概念</b> .....	1
§ 1.1 浆料输送管路系统 .....	1
§ 1.2 管路的分类 .....	3
§ 1.3 浆料输送管路材料的选择 .....	4
一、铸铁管 .....	4
二、钢管 .....	5
三、非金属材料管 .....	5
§ 1.4 管路的连接以及管件和阀门 .....	6
一、管路的连接 .....	6
二、管件 .....	7
三、阀门 .....	8
§ 1.5 管路布置与安装的一般原则和要求 .....	8
§ 1.6 浆泵的扬程和功率的确定 .....	13
一、流体流动的总能量衡算 .....	13
二、浆泵的扬程 .....	16
三、浆泵的功率 .....	17
<b>第二章 浆料在管路中的流动特性</b> .....	19
§ 2.1 按浓度区分浆料的流动特性 .....	19
§ 2.2 浆料流动的类型 .....	20
一、浆料的流动特性曲线 .....	20
二、超低浓浆料的流动 .....	21

三、浆料的三种流动状态 .....	21
§ 2.3 各种浆料的流动特性曲线 .....	23
§ 2.4 纤维网络和网络强度 .....	28
一、纤维形成稳定网络的基本条件 .....	28
二、纤维网络的强度 .....	29
三、纤维的絮聚团束 .....	31
§ 2.5 塞流 .....	33
一、浆料在A点以前的流动 .....	33
二、浆料在AB段的流动 .....	33
三、浆料在BC段的流动 .....	34
四、浆料在CD段的流动 .....	34
五、浆料在DH段的流动 .....	35
§ 2.6 混流和湍流 .....	35
一、混流 .....	35
二、湍流 .....	36
<b>第三章 浆料输送管路中压头损失的计算 .....</b>	<b>37</b>
§ 3.1 概述 .....	37
§ 3.2 通过实验来预测管道压头损失 .....	37
§ 3.3 预测压头损失的常用数据和图表 .....	40
一、布朗奇特和享勒的数据 .....	40
二、图表 .....	42
§ 3.4 压头损失值的计算公式 .....	48
一、里格的压头损失计算公式 .....	49
二、达菲等的计算公式 .....	50
§ 3.5 里格的压头损失图算法 .....	51
§ 3.6 管路局部位置的压头损失计算 .....	54
一、局部位置引起压头损失的原因 .....	55
二、局部压头损失的计算 .....	56
三、用阻力系数来确定局部压头损失 .....	60

§ 3.7	计算例题	61
§ 3.8	浆料的物理特性对压头损失的影响	65
一、	浆料种类的影响	65
二、	浆料浓度的影响	68
三、	浆料温度的影响	69
四、	打浆度的影响	71
五、	纤维长度和纤维长径比的影响	73
§ 3.9	流动条件对压头损失的影响	75
一、	流速 $u$ 的影响	75
二、	管径 $d$ 的影响	75
三、	管壁粗糙度的影响	77
§ 3.10	低浓浆料的管路计算	79
一、	直管的压头损失计算公式	79
二、	局部压头损失的计算	81
<b>第四章</b>	<b>复杂管路的水力计算</b>	<b>82</b>
§ 4.1	引言	82
§ 4.2	串联管路的水力计算	83
§ 4.3	并联管路的水力计算	89
§ 4.4	枝状管路的水力计算	95
§ 4.5	连续均匀泄流管道	96
<b>第五章</b>	<b>浆料输送中管径和流速的选择</b>	<b>101</b>
§ 5.1	简介	101
§ 5.2	管径的选择	102
§ 5.3	常用流速范围	104
§ 5.4	管路年费用折算值	105
一、	管路造价 $F$ 的计算	106
二、	年管理费 $M$ 的计算	107
三、	折旧年限 $y$ 的确定	108

四、单位长度管路造价的计算 .....	108
五、浆泵扬程的计算 .....	110
六、管路年费用折算值的计算 .....	111
§ 5.5 经济管径的计算 .....	112
§ 5.6 浆料输送管路的设计步骤 .....	120
<b>第六章 中浓浆料的输送</b> .....	<b>122</b>
§ 6.1 简介 .....	122
§ 6.2 中浓浆料在管道中的流动机理 .....	123
§ 6.3 预测管路压头损失的方法 .....	126
一、外推法 .....	126
二、卡米尔数据 .....	127
三、波德海曼(Bodenheimer)的计算公式 .....	128
四、达菲数据 .....	129
五、天津轻机厂推荐的计算式 .....	131
§ 6.4 局部位置的压头损失 .....	134
§ 6.5 影响压头损失的因素 .....	134
一、浓度的影响 .....	134
二、空气含量和静压力的影响 .....	135
三、流动条件的影响 .....	137
四、浆料物理特性的影响 .....	138
§ 6.6 中浓浆料流体化输送的原理 .....	139
一、实现中浓浆料流体化的方法 .....	140
二、高强剪切力场的产生 .....	141
三、中浓浆料在高强剪切应力场中的流型 .....	144
四、结论 .....	147
§ 6.7 中浓浆料流体化实验 .....	148
§ 6.8 具有湍流发生器的离心式中浓浆泵 .....	154
<b>第七章 浆泵的起动阻力</b> .....	<b>159</b>

§ 7.1	浆泵起动阻力的表现形式 .....	159
§ 7.2	起动阻力的机理 .....	161
一、	起动阻力产生的原因 .....	161
二、	起动过程的能量方程式 .....	162
三、	起动阻力的影响因素 .....	163
§ 7.3	起动阻力的测定 .....	165
§ 7.4	消除起动阻力对浆料输送的影响 .....	169
<b>第八章</b>	<b>管路的振动和水击现象</b> .....	<b>173</b>
§ 8.1	管路的振动 .....	173
§ 8.2	管路振动的防止和消除 .....	174
§ 8.3	水击和水击波的传播过程 .....	177
§ 8.4	水击的分类 .....	182
一、	根据阀门的启闭情况分 .....	182
二、	根据水击波的传递情况分 .....	182
§ 8.5	水击压力的计算 .....	183
§ 8.6	水击波的消除 .....	187
§ 8.7	管路的气蚀现象 .....	187
<b>第九章</b>	<b>非牛顿型流体的输送计算</b> .....	<b>190</b>
§ 9.1	流体的分类 .....	190
§ 9.2	描述非牛顿型流体流动的本构方程式 .....	192
一、	幂定律 .....	192
二、	描述宾汉塑性流体的本构方程式 .....	193
三、	描述屈服—假塑性和屈服—胀塑性流体的本构方程 式 .....	193
§ 9.3	流体的鉴别 .....	195
一、	$K$ 、 $n$ 和 $\tau_y$ 的物理意义 .....	195
二、	用毛细管粘度计测定流态特征系数 $n$ 、均匀系数 $K$ 及 屈服应力 $\tau_y$ .....	198

三、用转子粘度仪测定特征系数 .....	199
§ 9.4 用幂定律来描述假塑性和胀塑性流体的 层流流动 .....	200
一、速度分布 .....	200
二、摩擦损失系数和压头损失的计算式 .....	204
§ 9.5 宾汉塑性流体层流流动的有关计算 .....	206
一、速度分布 .....	206
二、压头损失及摩擦系数 .....	209
§ 9.6 流体流动类型的判别 .....	211
一、判别假塑性和胀塑性流体的流动类型的准则 .....	211
二、判别宾汉塑性流体的流动类型的准则 .....	212
§ 9.7 非牛顿型流体的湍流流动计算 .....	214
一、假塑性流体和胀塑性流体的湍流流动 .....	214
二、宾汉塑性流体的湍流流动 .....	216
§ 9.8 局部位置压头损失 .....	219
§ 9.9 非牛顿型流体输送管路设计计算的方法 .....	219
一、管路设计计算准备工作 .....	219
二、判别流体流动的类型 .....	220
三、直管部分压头损失计算 .....	221
四、局部位置的压头损失计算 .....	221
五、管路总压头损失 .....	221
六、泵的压头 $H$ 和功率 $N$ 的计算 .....	221
<b>第十章 流量测量</b> .....	<b>223</b>
§ 10.1 流量和流量计 .....	223
§ 10.2 测量方法概述 .....	224
一、体积流量和质量流量的测量 .....	224
二、流量的直接测量和间接测量 .....	225
§ 10.3 浮子流量计 .....	226
一、测量原理 .....	226

二、浮子流量计的修正 .....	228
三、浮子流量计安装注意事项 .....	229
§ 10.4 电磁流量计 .....	231
一、测量原理简介 .....	231
二、电磁流量计的特征 .....	233
三、电磁流量计的构成 .....	233
四、电磁流量计的使用注意事项 .....	234
§ 10.5 用堰测量流量 .....	236
一、简介 .....	236
二、全宽堰和矩形堰的流量计算 .....	238
三、三角形堰和梯形堰的流量计算公式 .....	240
四、堰的构造和设置 .....	241

## 第二编 浆料输送机械

<b>第十一章 离心式浆泵的工作原理 .....</b>	<b>246</b>
§ 11.1 概述 .....	247
§ 11.2 浆泵的主要性能参数 .....	249
§ 11.3 浆泵的能量损失与效率 .....	252
一、机械损失与机械效率 .....	252
二、容积损失和容积效率 .....	253
三、浆流损失与浆流效率 .....	254
§ 11.4 浆料在叶轮中的运动 .....	255
一、浆料在叶轮中流动状态的假设 .....	255
二、速度三角形 .....	257
三、叶轮流道中任意点速度的计算 .....	258
§ 11.5 基本方程式 .....	260
一、基本方程式的推导 .....	260
二、有限叶片叶轮流道中的相对运动对理论扬程的影响 .....	262

三、对基本方程式的分析 .....	263
§ 11.6 浆泵的性能曲线 .....	268
一、扬程—流量 ( $H-Q$ ) 曲线 .....	270
二、功率—流量 ( $N-Q$ ) 曲线 .....	271
三、效率—流量 ( $\eta-Q$ ) 曲线 .....	272
四、主要有关参数及因素对浆泵性能曲线的影响 .....	273
§ 11.7 相似定律及其应用 .....	279
一、三个相似定律 .....	280
二、比例定律和切割定律 .....	282
三、比转数 $n_s$ .....	289
§ 11.8 浆泵的吸入性能 .....	292
一、吸上真空度 $H_s$ .....	292
二、汽蚀余量 $\Delta h$ .....	294
三、浆料特性对吸入性能的影响 .....	297
<b>第十二章 离心式浆泵的结构特点 .....</b>	<b>301</b>
§ 12.1 浆泵的泵体 .....	302
一、螺旋形压出室 .....	302
二、径向力及其平衡 .....	303
三、整体式和剖分式泵体 .....	305
§ 12.2 浆泵的叶轮 .....	308
一、结构形式 .....	308
二、轴向力及其平衡 .....	310
三、浆泵叶轮实例 .....	312
§ 12.3 浆泵的轴封 .....	315
一、填料密封 .....	316
二、机械密封 .....	318
§ 12.4 冲浆泵 .....	321
一、叶轮 .....	321
二、泵体 .....	323

§ 12.5	斜盘泵	325
§ 12.6	湍流离心式中浓浆泵	328
<b>第十三章</b>	<b>离心式浆泵的运行管理</b>	<b>331</b>
§ 13.1	浆泵运行时的工况点	331
§ 13.2	输浆系统设计中的几个问题	335
	一、浆泵的并联与串联运行	336
	二、浆泵运行工况的调节	339
	三、防止浆泵的不稳定运行	341
	四、输浆系统设计方案的优化	343
§ 13.3	选型	343
	一、选型的依据	343
	二、选型的步骤	344
§ 13.4	使用和维护	347
	一、浆泵的安装	347
	二、操作程序	349
	三、维护和保养	350
	四、常见故障及其排除方法	351
§ 13.5	节能	351
	一、浆泵节能的意义	351
	二、浆泵的能耗分析	352
	三、浆泵的节能途径	355
<b>第十四章</b>	<b>容积式高浓浆泵</b>	<b>363</b>
§ 14.1	齿轮式高浓浆泵	363
	一、啮合曲线	363
	二、输浆性能	367
	三、功率特性	370
	四、结构与特点	375
	五、转子摆线凹槽的加工	378
§ 14.2	双螺杆高浓浆泵	380

一、原理、结构及特点 .....	380
二、转子曲面间的输浆啮合条件 .....	382
三、转子线型的选择 .....	384
四、输浆量与功率计算 .....	385
五、螺杆转子的加工 .....	386
§ 14.3 单转子高浓浆泵 .....	386
一、原理、结构及特点 .....	386
二、转子曲面的计算 .....	388
三、输浆量与功率计算 .....	391
四、转子的加工 .....	392
§ 14.4 高浓浆泵的选型、使用和维护 .....	393
一、高浓输浆系统的设计要求 .....	394
二、高浓浆泵的选型 .....	394
三、高浓浆泵的使用与维护 .....	395
参考文献 .....	396
附录 .....	399

# 第一编 浆料输送管路

## 第一章 基本概念

### § 1.1 浆料输送管路系统

在制浆造纸过程中，浆料的输送是重要的操作单元，动力的消耗量很大，但如果能很好地设计，操作和管理，将可以降低动力的消耗，达到节能以及降低成本的目的。

在安装敷设浆料输送管路以前，一般要进行下列二方面的工作，即

- ① 管路的选择和计算；
- ② 输送机械的选择和计算；

在进行上述两项工作时，不但要满足工艺条件的要求，而且也要满足成本低、动力消耗少和输送效率高等方面的要求。

如图1-1所示，浆泵把浆池中的浆料输送到高位箱，输送高度为 $z_b$ ，工艺条件要求单位时间内的输送量为 $Q$ ；那么要设计和安装敷设浆池和高位箱之间的输送管路，就必须逐步解决如下几个问题：

- ① 合理地布置管路；
- ② 确定浆料在管道内的经济流速和管径；

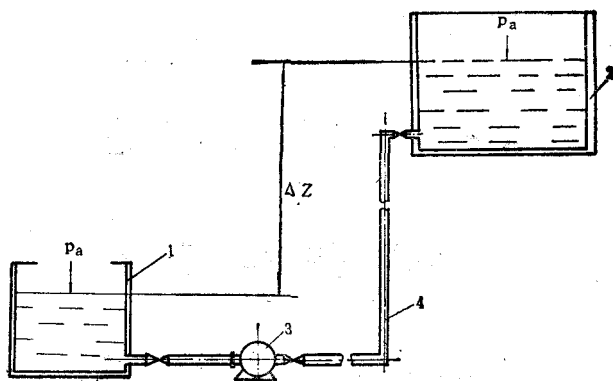


图 1-1 浆料输送管路

1-贮浆池 2-高位箱 3-浆泵 4-输送管路

- ③ 正确地计算管路的压头损失；
- ④ 正确地选择管道、管件和阀门；
- ⑤ 正确地安装管路。

经济流速就是浆料按这个流速输送时，输送一定量的浆料其费用达到最小值。在确定经济流速时，不但要使浆料的输送具有较高的经济效益，也要使浆料的流动符合浆料流动的特性。经济流速也常通过计算经济管径来确定，先计算经济管径，再结合输送浆料量 $Q$ 就可确定经济流速。

压头损失的计算为计算输送机械——浆泵的功率提供了可靠的依据。如果浆料在整条管路中按所定的流速输送时管路总的压头损失不清楚，那么，所选择的浆泵就往往出现“大马拉小车”或“小马拉大车”的现象。从目前国内浆泵的运行实际看，“大马拉小车”的现象尤为严重，国内有的浆泵实际效率其主只有0.3左右。因此可以认为，管路压头损失值是

管路计算的关键数据。

本书的第一编就讨论上述的有关问题，并介绍与此有相联系的一些基本知识。

## § 1.2 管路的分类

在化工生产中，由于所输送的流体介质繁多，又因所输送的介质的状态、性质、温度和压力差异，所以管路的种类很多。对造纸工业来说，产品较单一，介质的温度和压力波动小，故管路种类也少。

目前在化工生产中较常见的管路按输送的介质的性质、压力、温度和管道材料来区分，有如下几种：

① 按所输送的介质的性质来区分有酸、碱、盐等腐蚀介质管路、浆料管路、水管、汽管和油管等。

② 按所输送的介质压力分有超高压管路、高压管路、中压管路、低压管路、常压管路和真空管路。一般认为压力在：

$P > 833 \times 10^5 \text{Pa}$  (表压) 时为超高压管路；

$P = (98 \sim 833) \times 10^5 \text{Pa}$  (表压) 时为高压管路；

$P = (16 \sim 98) \times 10^5 \text{Pa}$  (表压) 时为中压管路；

$P = (0.7 \sim 16) \times 10^5 \text{Pa}$  (表压) 时为低压管路；

$P = (0 \sim 0.7) \times 10^5 \text{Pa}$  (表压) 时为常压管路；

$P < 9.8 \times 10^4 \text{Pa}$  时 (绝对压力) 时，即负压，称为真空管路。

在制浆造纸厂中常用低压和常压管路。

③ 按所输送的介质温度分，有热管路 (如蒸汽管)、常温管路和冷冻管路。在制浆造纸厂中，常用热管路和常温管路。