

黑龙江科学技术出版社

制浆造纸过程 测量与仪表

董恩福 编著



前 言

随着造纸工业的不断发展，制浆造纸生产的技术水平也必然相应地提高。除了采用先进的工艺方法和工艺设备之外，对生产过程中有关的各种参数进行准确实时的测量和控制乃是进一步提高产品质量和产量、降低能源及原材料消耗、确保安全生产和便于生产管理所不可缺少的重要技术措施之一。因此在制浆造纸生产过程中采用各种自动化仪表及电子计算机，实现生产过程自动化，是提高企业的经济效益、社会效益和管理水平的必要条件。是衡量生产过程技术水平高低的重要标志。

各种自动化仪表及电子计算机是实现生产过程自动化的技术工具。将它们应用在生产过程中，可使生产在无人直接干预或很少干预的情况下，优质、高产、低耗、安全地运行。不仅代替了操作者的手工操作，减轻操作者的劳动程度，而且它能达到手工操作所无法达到的控制效果。通过各种自动化仪表及装置，对生产过程的各种参数进行集中检测和控制，密切了设备、工段、车间及分厂之间的联系，有利于大型连续化生产的协调运行。特别是电子计算机在生产过程中的应用，不仅使大规模的控制系统得以实现，而且它还参与了生产调度和组织，进行合理高效的生产管理，从而使企业的技术水平和管理水平得到全面地提高，必然会获得更高的效益。

生产过程自动化的重要意义是不言而喻的。然而实现生产过程自动化不单是依靠自控技术人员的努力，还必须有工艺技术人员配合，因此对于现代化的制浆造纸生产，不仅仪表技术人员应对自动化的有关知识进行系统的掌握，而且对于工艺技术人员、管理人员也应有所了解。

由于生产过程有关参数的自动检测是自动控制的依据。没有测量手段，则难以有效地控制。从目前的技术水平来看，传感技术是阻碍自动化技术进一步发展的关键所在。如果不能将生产过程各种有用的信息自动、快速地检测出来。也难以通过复杂的控制系统获得令人满意的控制效果。某些关键参数的自动检测有可能使控制系统简化，并取得更好的控制效果，而参数的准确测量和计量又是生产管理必不可少的依据。因此在控制理论和计算机技术迅速发展前提下，如何使过程参数的在线实时检测技术与其相适应，是生产过程自动化令人关注的问题。

目前的情况是，控制技术超前于测量传感技术，这主要是物性参数及质量参数难以用一般的方法加以测量。此外，某些特殊介质、特殊的测量环境和条件也往往使广泛使用的通用仪表难以满足工艺上的要求。对于管理和经济核算所要求的精确计量，实际上对测量仪表则提出更高的要求，传统的测量仪表通过使用暴露出的各种问题，也急于寻求解决的办法和寻找能够更为耐用的仪表。所有这些与生产操作和管理有关的问题。要求对测量仪表给予足够的重视。要求对测量仪表有较系统的了解，以便在工艺设计、技术改造、生产管理、提高经济效益等方面，进一步挖掘它的潜力。

本书的任务在于介绍和探讨制浆造纸生产过程中所涉及的常用参数的测量方法和仪表、其中包括通用的及造纸行业

专用的一些传统仪表和新型的有发展前途的仪表。除了深入浅出地说明仪表的原理之外，对仪表的特点、安装、使用所存在的问题也进行了探讨。

本书的目的，在于向造纸工艺技术人员、工艺类大专院校的学生、培训班、提供有关测量及仪表的知识。

由于作者水平有限，时间仓促，加之资料收集有限，诚望读者批评指正。

目 录

前 言.....	(1)
概 述.....	(1)
第一章 压力测量及仪表.....	(11)
第一节 基本知识.....	(11)
第二节 压力表分类.....	(12)
第三节 弹性压力计.....	(13)
第四节 电气式压力计.....	(18)
第五节 压力表的选择及安装.....	(22)
第二章 液位测量及仪表.....	(27)
第一节 静压及差压式液位计.....	(28)
第二节 力矩平衡式差压变送器.....	(30)
第三节 量程迁移分析.....	(36)
第三章 流量测量及仪表.....	(39)
第一节 差压流量计.....	(40)
第二节 转子流量计.....	(52)
第三节 电磁流量计.....	(58)
第四节 直接质量流量计.....	(70)
第五节 超声相关流量计介绍.....	(77)
第六节 纸浆流量光学相关传感器.....	(79)
第七节 靶式流量计.....	(81)
第八节 旋涡流量计.....	(88)

第九节	笛型均速管流量计.....	(91)
第四章	温度测量及仪表.....	(95)
第一节	膨胀式温度计.....	(96)
第二节	压力式温度计.....	(97)
第三节	热电偶温度计.....	(98)
第四节	热电阻温度计.....	(110)
第五节	热电式温度计显示仪表及变送器.....	(113)
第六节	测温元件的安装.....	(140)
第七节	热辐射式温度计介绍.....	(141)
第五章	纸浆浓度的测量及仪表.....	(144)
第一节	低浓纸浆浓度测量.....	(144)
第二节	中浓纸浆浓度测量.....	(152)
第三节	根据搅拌装置的负荷测量纸浆浓度...	(165)
第六章	纸浆打浆度的测量.....	(166)
第七章	纸浆白度的测量.....	(171)
第八章	溶液浓度的测量.....	(173)
第一节	溶液浓度的电极测量法.....	(173)
第二节	溶液浓度的电导测量法.....	(179)
第三节	溶液浓度的其它测量法.....	(183)
第九章	料片流量及水分测量.....	(191)
第一节	料片流量测量.....	(191)
第二节	料片水份测量.....	(197)
第十章	纸页质量参数在线测量.....	(200)
第一节	纸页水份的测量.....	(200)
第二节	纸页定量的测量.....	(206)
第三节	纸页其它质量参数的测量.....	(212)
一、	纸页灰份的测量.....	(212)

二、纸页厚度的测量.....	(213)
三、纸页平滑度的测量.....	(214)
四、纸页透气度的测量.....	(215)
五、纸页颜色的测量.....	(217)
参考文献.....	(219)

概 述

1. 测量及测量仪表

将未知的被测量与已知的测量单位直接或间接地进行比较，并求出二者比值的过程，称为测量。设被测量为 y ，测量单位为 n ，二者的比值（称为测量值） x 为：

$$x = y / n \quad (1)$$

在实际测量中，并不是所有的被测量都能用一个具体的便于比较的测量单位与被测量直接比较，并获得更为准确的测量结果。通常必须将被测量进行一次或多次信号转换、放大，对于过程测量和自动控制还要将信号远距离传送，并最终获得易于显示和比较的其它物理量。实现信号转换、放大，传送和显示的技术工具，便是各种自动化测量仪表。

2. 仪表的技术性能指标

(1) 精确度等级

精确度是指仪表的指示值与被测量的真实值接近程度，并用二者之差即误差表示。由于被测量的真实值是未知的，只能用精确度更高的标准表指示值复现，称为约定真值。而误差只能根据标准表的指示值求得。设标准表的指示值为 x_0 ，被校表的指示值为 x ，则二者之差越小，被校表的指示值越接近真实值，设二者之差的绝对值为 Δ ，则

$$\Delta = |x - x_0| \quad (2)$$

Δ 称为仪表测量点的绝对误差。对于测量范围（又称量程）完全相同的仪表用绝对误差来说明它们的精确度是可行的。但是对于测量范围不同的数台仪表，仅用绝对误差来表示各自的精确度还不够全面。必须将绝对误差与测量范围相比较，并将其折合成测量范围的百分比表示，称之为仪表的折合误差 δ 。设仪表的测量范围为 A ，则：

$$\delta = (|x - x_0| / A) \times 100\% \quad (3)$$

仪表出厂时，必须保证在规定的正常工作条件下其折合误差的最大值不超过某一允许值。折合误差的允许值称为仪表的允许误差，它可用下式表示：

$$\delta_{\text{允许}} = \pm \frac{\Delta_{\text{max允许}}}{A} \times 100\% \quad (4)$$

式中 $\Delta_{\text{max允许}}$ —— 允许的仪表最大绝对误差；

$\delta_{\text{允许}}$ —— 仪表的允许误差；

仪表的精确度等级是按国家统一规定的允许误差划分成若干等级。它用允许误差去掉百分号和 $\pm$ 号的数值部分表示，并以某种标志在仪表标尺板上注明精度等级的大小。如：1.0，1.5 等。我国仪表的精确度等级有：0.005；0.02；0.05；0.1；0.2；0.3；0.5；1.0；1.5；2.5；4.0 级。工业仪表通常为 0.5~4 级。

(2) 仪表的变差

仪表校验时，使用同一块仪表，在相同的条件下，对同一个被测量进行正反方向（从小到大和从大到小）测量，其指示值往往并不一致，二者之差称为该读数的变差。变差既与测量元件的滞后效应有关，也与传动件的间隙、运动件的摩擦有关。设仪表正反方向的读数分别为 $x_{\text{正}}$ 及 $x_{\text{反}}$ 。则仪表的变差用下式表示：

$$\text{仪表的变差} = \frac{|x_{\text{正}} - x_{\text{反}}|_{\text{max}}}{A} \times 100\% \quad (5)$$

仪表的变差应小于允许误差的绝对值。

(3) 仪表的灵敏度

仪表的输入信号变化一个单位量时，其输出信号的变化量或指示机构的相对位移，可反映仪表的灵敏程度。如用 S 代表灵敏度，则：

$$S = \Delta\alpha / \Delta x \quad (6)$$

式中 $\Delta\alpha$ ——仪表输出信号的变化量或指示机构的相对位移；

Δx ——仪表输入信号的变化量。

仪表的灵敏度越高，标尺上每一个分格所代表的被测量也越小，从而可分辨被测量的微小变化。因此也可以用分辨率来说明仪表的灵敏度。所谓分辨率是指仪表可能检测到的被测量最小变化量。分辨率可用具体的数值表示或以分数表示。例如某数字式温度计其显示温度为 $0 \sim 199.9^\circ\text{C}$ ，其分辨率为 0.1°C 。或测量范围的 0.05% 。也用 $1/1999$ 表示其分辨率。对于高精度测量，除必须采用更高精度的传感器外，提高显示仪表的灵敏度或分辨率是非常必要的。它可以适应高精度测量。特别是数字式显示仪表，只要增加显示的位数，便可大幅度提高分辨率。但是当传感器本身的精度并不是很高的情况下，试图通过提高灵敏度或分辨率来大幅度提高仪表整机的精度是不现实的，因为误差仍存在于读数中，并不会减少，所以灵敏度的提高是有限的。

(4) 仪表的非线性度

仪表的输出与输入信号是否成直线关系，是一个非常重要的指标。但由于测量元件、传感器往往不能使它的输入与

输出表现为直线关系，而是表现为某种形态的曲线，这将给仪表的刻度造成困难，在采用标准电信号显示被测参数时，也不能根据电信号直接读出被测参数的准确数值，而会造成非线性误差。

仪表的非线性度，可采用两点法表示。即从始点至终点连成一条直线，那么曲线偏离该直线的最大偏差绝对值 $\Delta'_{\max}$ 与仪表量程的百分比称为非线性度，即：

$$\text{非线性度} = \frac{\Delta'_{\max}}{A} \times 100\% \quad (7)$$

当然，除这种表示方法外，有关文献也提出了许多不同的表示方法，如选择一条拟合直线， $y'_i = kx_i + b$ ；改变 k 和 b 值使之与仪表的输入输出特性曲线 $y_i = f(x_i)$ 的最大偏差绝对值 $\Delta'_{\max}$ 为最小，则此时 $y'_i = kx_i + b$ 最接近 $y_i = f(x_i)$ 。因此 $(\Delta'_{\max} / A) \times 100\%$ 可反映曲线偏离直线的程度。

必须指出的是，由于目前的仪表可通过硬件或软件程序进行非线性补偿，使其实现线性化。因此，非线性误差已大为降低。对这类仪表，其非线性误差已不重要。而非线性误差仅限于对传感器或测量元件而言是特别重要的。

除上述四种静态特性指标外，对于测量快速变化的参数，还必须用动态指标说明它的性能，即参数突然改变为某一值时，仪表能否快速地反应。这对参数的自动调节是非常重要的。它可用滞后时间及时间常数表示。

(5) 滞后时间

当参数突然变化时，仪表指示机构不能及时反映，而要错后一段时间 τ_0 ，称为滞后时间。它是仪表的重要动态指标之一。

(6) 时间常数

当参数突然变化某一值时，由于仪表的惯性，不可能突然变化，而是比较迟缓地逐渐趋近于某一值上。其规律通常为一条减速变化的指数曲线，即开始时变化速度 V_0 很快，以后逐渐变慢，最后速度为零并稳定在某一值 $y(\infty)$ 上。通常用 $T = [y(\infty) - y(0)] / V_0$ 表示仪表的惯性。其中 $y(0)$ 表示参数刚要开始变化而尚未变化的仪表示值。 $y(\infty)$ 表示仪表最后稳定下来的示值。分析表明 T 与参数变化幅值无关，仅与仪表本身的结构、特性有关。称 T 为仪表的时间常数。显然 T 越小，则初速度 V_0 越快，说明仪表的惯性越小，从而能迅速而真实地反映被测参数的变化情况。采用小惯性的测量元件使时间常数 T 减小，则有利于通过所构成的自动调节系统、进行快速的自动调节。从而提高自动调节的质量。所以 T 是一个非常重要的动态特性指标。

3. 制浆造纸自动化仪表的分类

制浆造纸生产过程中所使用的自动化仪表可分为通用仪表和专用仪表两大类。通用仪表是不同行业中普遍要用到的常用参数的测量仪表及普遍适用的自动调节仪表。而专用仪表则指造纸行业中所用到的专业参数测量仪表。但是通用和专用仪表并不是绝对的，某些造纸生产中使用的仪表，通过改装也可以用于其它行业中，或者将通用仪表的某一部分和专用的传感器或测量元件配套，可构成仅用于造纸生产的专用仪表。目前，制浆造纸生产过程中所使用的仪表多为通用仪表，特别是通用调节仪表应用极为广泛。而专用仪表，主要是用于测量造纸生产中某些特殊参数、虽然国外已出现了一

些先进的专用仪表，但国内还没有大量地应用。特殊参数的调节，除了采用计算机外，绝大多数是采用通用单元组合仪表来实现。

下面把它们概括分类如下：

I. 通用测量仪表

1. 压力表 2. 流量计 3. 液位计 4. 温度计

II. 通用调节仪表

1. 电动基地式

2. 气动基地式

3. 电动单元组合式

- (1) DDZ-II型 (2) DDZ-III型 (3) DDZS。

4. 气动单元组合式

- (1) QDZ-II型 (2) QDZ-III型。

III. 制浆造纸专用仪表

1. 料片水分测量仪

2. 纸浆打浆度测量仪

3. 纸浆浓度测量仪

4. 纸浆白度测量仪

5. 蒸煮液有效碱连续分析器

6. 黑液浓度测量仪

7. 纸页水分测量仪

8. 纸页定量测量仪

9. 纸页匀度测量仪

10. 纸页厚度测量仪

11. 纸页平滑度测量仪

12. 纸页透气度测量仪

13. 纸页白度测量仪

14. 纸页不透明度测量仪
15. 纸页颜色测量仪
16. 纸页灰分测量仪
17. 纸页电气绝缘性能测量仪
18. 纸机车速测量仪
19. 纸页断头监测仪
20. 烘缸表面温度测量仪。

目前尚不能在线连续测量的质量参数测量仪是纸页机械强度测试仪。如耐破、耐折度、裂断长、撕裂度测试仪等。它们仅限于在实验室中进行离线测量。

通用测量仪表，即为广泛应用的四大参数（压力、流量、液位、温度）测量仪表，在造纸工业中，使用较多。

通用的调节仪表，目前根据所使用的能源形式而分为电动、气动、液动三种，其中电动和气动应用较多，而液动在造纸生产中少见。由于电动仪表，其能源取用极为方便，电信号反应极为迅速，传输距离远，且便于和计算机接口实现微机化，智能化，数字化，因此，发展很快，使用越来越多。特别是Ⅲ型电动单元组合仪表（DDZ-Ⅲ）具有本质安全防爆功能，因此在易燃、易爆的危险场合（炼油、化工）也得到了广泛使用。是目前最重要，也是造纸生产中首选仪表之一。但是以压缩空气作为能源的气动仪表，仍然具有不可取代的优点。如价格低廉、不受现场电磁干扰影响，工作稳定、结构简单直观便于使用维护，特别是气动单元组合仪表中的执行机构——气动薄膜调节阀，体积小重量很轻，动作灵活，是造纸厂所不可缺少的重要仪表之一。

从调节仪表的组合方式来看，又分成基地式和单元组合式两种。基地式仪表是在指示记录显示仪表的基础上，又附

加了一个调节部分，并装于一个仪表壳内构成一台指示记录调节仪，用一台这样的仪表与有关测量元件配套就可以与工艺设备构成一个单参数的调节系统，实现参数的测量和控制。称之为基地式仪表。

随着生产不断地发展，要测量和控制的参数很多，控制系统也由简单而变为复杂化、控制精度也要求越来越高。一个系统往往要测量和控制的不止一个参数。这时仅用于单参数调节的基地式仪表便不能适应生产不断发展的要求，应制造一种灵活多变能适应不同具体要求和条件的类似于“积木”式的仪表。按不同的功能分解为若干个不同的“单元”，根据系统的类型和规模，选用若干个不同的“单元”，组成所需要的测量和调节系统。称为单元组合仪表。根据功能，可分为八大单元：

(1) 变送单元 (B)：将被测或被调参数变换成统一的电信号 ($0\sim 10\text{mADC}$ 或 $4\sim 20\text{mADC}$) 或气压信号 ($20\sim 100\text{kPa}$)，并将信号远距离传送的单元。

(2) 给定单元 (G)：向调节单元提供代表工艺所要求的被调参数规定值的给定信号的单元。

(3) 调节单元 (T)：对变送和给定单元的输出信号进行比较，并据二者的偏差按预定的规律发出调节信号的单元。

(4) 显示单元 (X)：显示变送、给定或调节单元的输出信号。其中包括指示、记录、报警及积算等显示功能。

(5) 计算单元 (J)：对某些单元的输出信号进行加、减、乘、除、开方等运算的单元。

(6) 转换单元 (Z)：对电 (或气) 信号进行转换、或电、气信号之间互相转换的单元。

(7) 辅助单元 (F): 完成信号切换, 遥控等辅助功能的单元。

(8) 执行单元 (K): 执行调节单元发出的调节信号 (或手动遥控信号或指令) 直接对调节剂流量 (调节量) 进行控制。如气动薄膜调节阀、电动调节阀、调速泵等。

由于单元组合仪表将功能分离, 各单元均用统一的信号联络, 且信号传输距离远。可灵活地组成复杂的远距离集中检测 and 控制系统。又由于各单元仪表的面板小, 适于高密度安装便于大规模生产的监视, 调度和协调。作为一种集中监控操作的成套自动化装置, 广泛应用于造纸、石油化工、能源等工业部门。特别是第三代电动单元组合仪表 DDZ-III 采用了线性集成运算放大器, 使它的精度提高到 0.5 级, 并采用了具有“活”零点的国际通用信号 $4\sim 20\text{mA DC}$ 和 $1\sim 5\text{V DC}$ 。DDZ-III 型仪表的命名可由三节组成。第一节第一个字母为 D 代表电动; 第二个字母表示单元名称; 第三个字母为各单元的产品小类, 如 DBW 表示电动、变送单元、温度或温差; 即温度或温差电动变送器。同样, DJK 则表示电动开方计算单元; DKJ 则表示角行程 (转动的) 电动执行器。第二节则由四位阿拉伯字母组成, 代表产品的系列、规格、结构特征。第三节由一个或数个汉语拼音大写字母组成。它标志产品具有某种特殊用途。如安全火花防爆型仪表用 (A) 表示, 隔离防爆型为 (B), 防腐仪表为 (F), 船用仪表为 (C)。如仪表同时具有一个以上的特殊用途, 则依先后次序排列。其具体型号, 应参照仪表手册或仪表说明书选择。

单元组合仪表作为一种常规模拟式仪表, 目前在大、中、小造纸企业广泛使用。然而近年来, 由于计算机技术的

发展，特别是微型计算机在仪表领域中的应用，使它通过软件实现常规仪表用硬件电路根本无法实现的功能，因此它有更高的灵活性和适应性。从硬件电路上，由于采用的是大规模集成电路，不仅简化了仪表的电路结构，且提高了仪表的性能。它是一种多功能、高精度，高可靠、小型一体化的新型仪表。因此，微机化的智能仪表，以它的丰富的软件功能和少量的硬件电路，在很大程度上取代了常规仪表。

目前我国研制生产的 DDZS 系列微机化电动单元件组合仪表（被称第四代单元组合仪表），是继承了 DDZ-Ⅱ、Ⅲ模拟式仪表基础上，通过微机实现了智能化，成为更新换代产品，并认为适合我国中小企业使用。其主要功能是在模拟表基础上增加了高选、中选、低选、算术平均值、超前、滞后等运算功能及与、或、与非、或非、异或非、触发脉冲等逻辑功能。控制功能有：PID、时间比例、位式、多输出、串级、条件控制等规律。并有自诊断功能。

智能仪表，目前主要是自行开发的比较活跃，它可以根据实际需要，用较低的成本、制成性能更好的某些测量或控制装置或特殊用处的仪表产品。