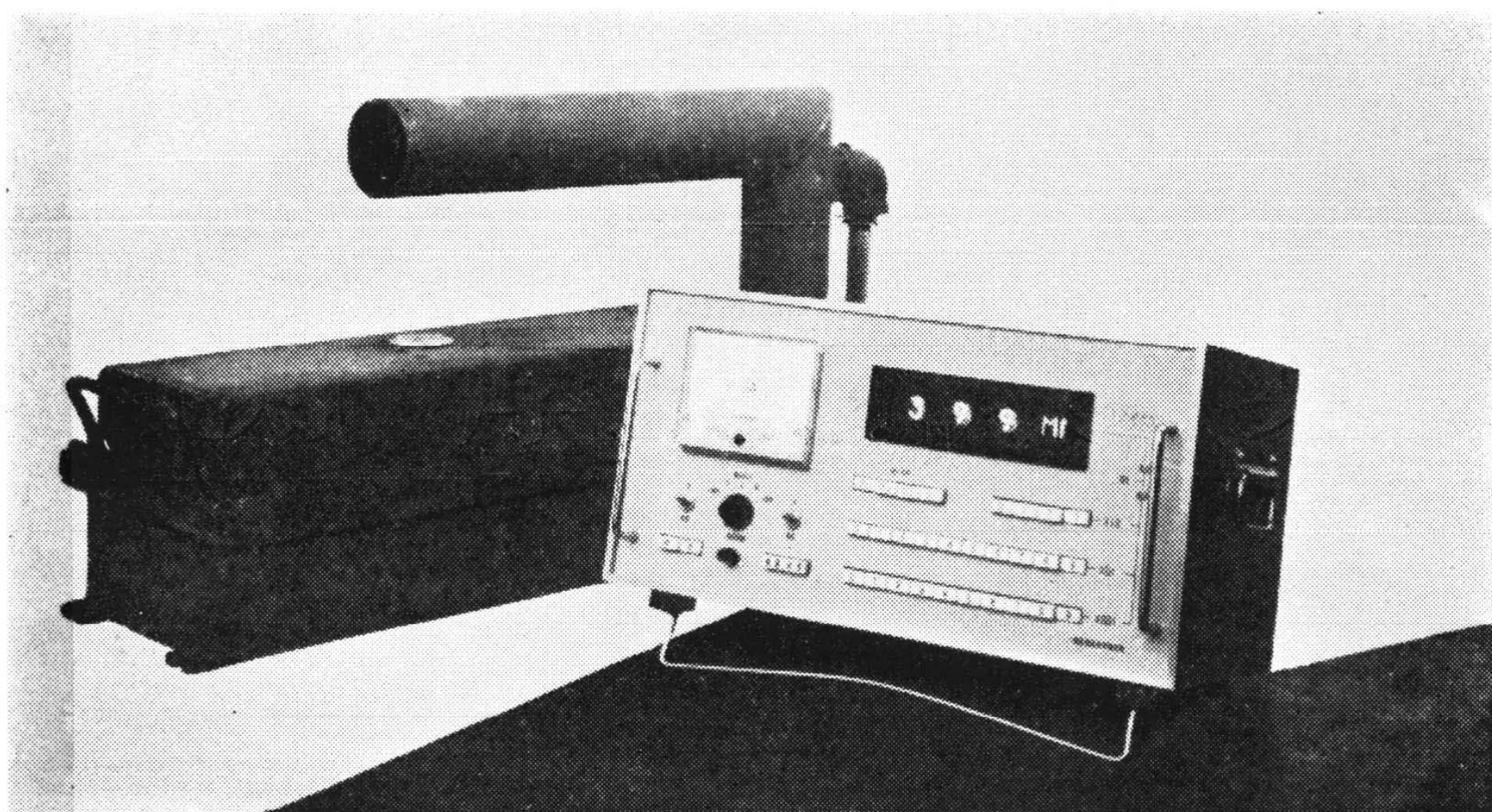


测 厚 仪 表 集



第一机械工业部机械研究院机电研究所

1973年3月

毛主席语录

我们必须打破常规,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期内,把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

对于外国文化,排外主义的方针是错误的,应当尽量吸收进步的外国文化,以为发展中国新文化的借镜,盲目搬用的方针也是错误的,应当以中国人民的实际需要为基础,批判地吸收外国文化。

抓革命,促生产,促工作,促战备。

一个粮食、一个钢铁,有了这两个东西就什么都好办了。

本期内容

成果介绍

1700冷轧机组X射线测厚仪——机电所一室..... 1

高频电感测厚仪——机电所一室..... 6

综述

国外轧机用测厚仪发展概况——机电所一室.....10

译文

用于热轧机的几种测试仪器.....63

用于冷轧的几种测试仪器.....80

1700冷軋机组X射綫测厚仪

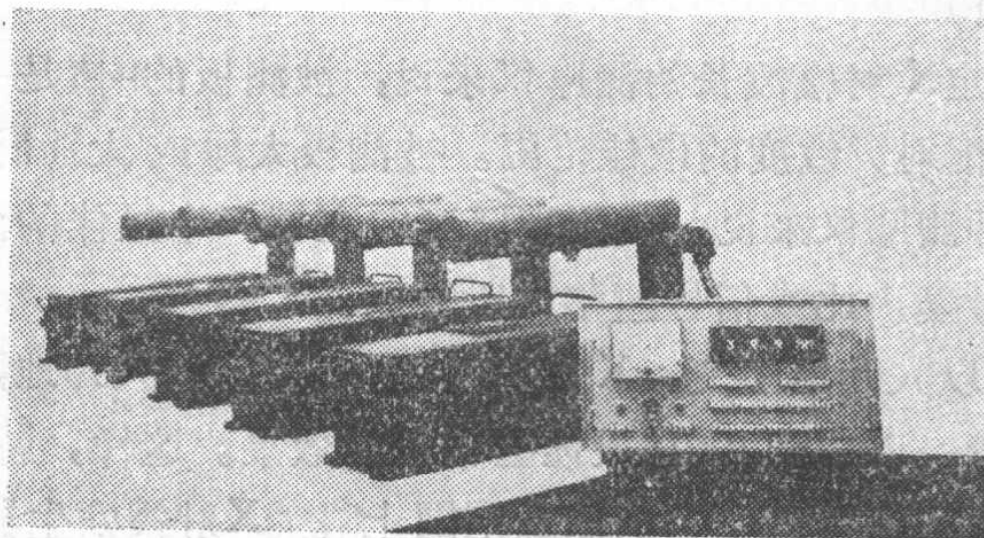
机电所一室

前 言

X射綫测厚仪是利用物质对X射綫的吸收現象制成的非接触式测厚仪。它具有测量范围宽、反应時間快、动态精度高、而且切断电源射綫立即消失等优点。适合于在冶金工业中要求较高的冷軋、热軋机上作带材厚度的連續測量。

为贯彻毛主席“以鋼为綱”的伟大方針，我所承担了1700冷軋机组配套的X射綫测厚仪的研制工作。仪器样机已于72年3月起在軋制生产中試用，經過八个多月的現坊考验，受到了厂方的欢迎。工人师付反映说：仪器对降低板材废品率有明显的效果，仪器操作和维护簡便，可省去原来用飞测千分尺的輔助時間，能多为国家增产急需的冷軋鋼板。

72年5月对仪器又进行了改进，着重提高仪器在測量薄板时的精度，加快了给定時間。照片1即为最近完成的一批X射綫测厚仪。本文着重介紹改进后的仪器結構特点。



照片 1

原 理 与 结 构

板材对X射綫的吸收現象可近似地用下式表达：

$$I = I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots (1)$$

μ : 綫性吸收系数

x : 被测板的厚度

I : 透过被测板后的射綫强度

I_0 : $x=0$ 时测得的射綫强度

微分后得: $\Delta I = -I_0 \mu e^{-\mu x} \cdot \Delta x$

$$= -I_0 e^{-\mu x} \cdot \mu \cdot \frac{\Delta x}{x} \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\Delta I}{I_0} : \frac{\Delta x}{x} = -\mu x \cdot e^{-\mu x} \dots \dots \dots (3)$$

令 $K = \frac{\Delta I}{I_0} : \frac{\Delta x}{x}$ ，称为相对灵敏度

式(3)可用图1表示，K在 $\mu x = 1$ 处有极大值。

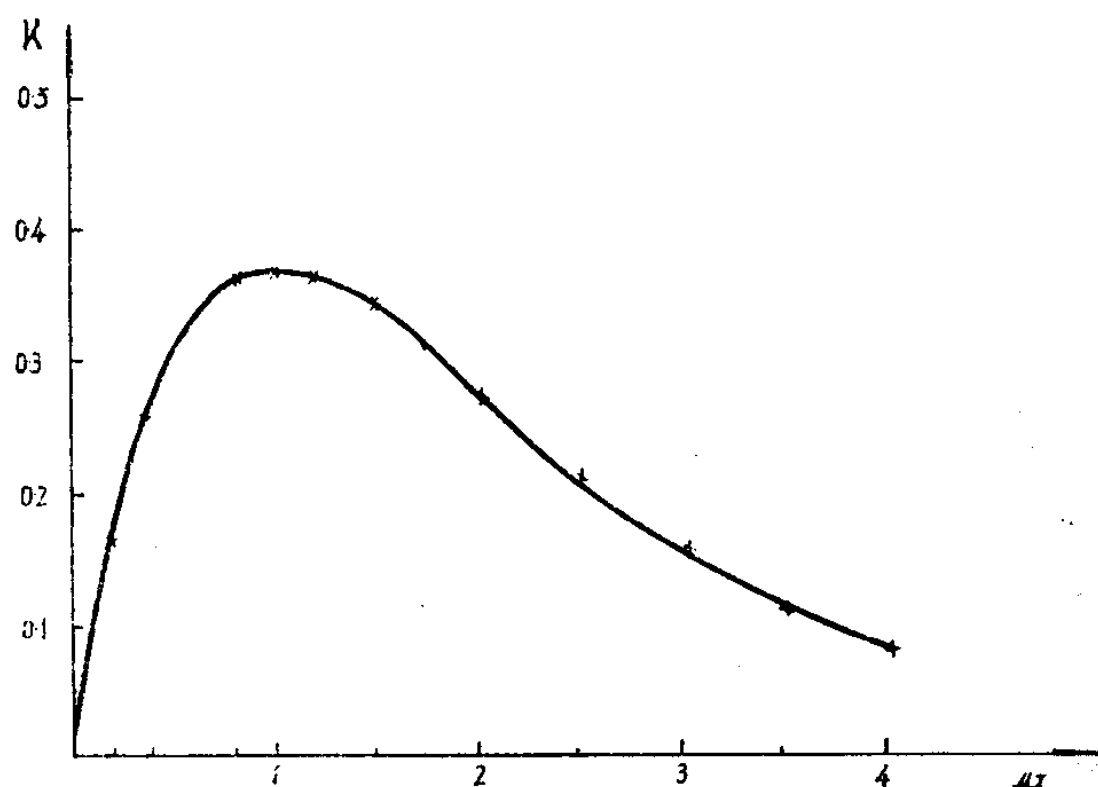


图 1

由式(3)和图1可知：

1. 对于一台具有固定X射线波长的测厚仪来说，被测板的 μ 值是一定的，这时被测板厚度 x 存在着一个具有较大相对灵敏度的最佳范围。被测板太厚或太薄时，仪器的相对灵敏度要降低。因此，对于这种测厚仪来说：被测板厚度存在着一个最佳的测量范围，其测量范围的上下限均受仪器的信号噪声比或信号漂移比所限制。

2. X光管的电压可以人为地改变，X射线的波长 λ 也可以人为地随被测板厚度 x 变化，与 λ 相关的 μ 也随之而改变，以达到 μx 在最佳区域内的效果。这样，就能使仪器在较宽的测量范围内均能做到具有较高的精度。它的测量范围上限受X射线发生器高压技术复杂程度和成本所限制，下限原则上可从零起始，而仍可具有相当高的厚度分辨能力。

改进后的测厚仪就是根据这一原理设计的，它的X射线波长能随被测板厚度 x 而变化。以保持 μx 在整个测量范围内位于最佳区域内，这样就减小了测厚仪的相对漂移、提高了信号噪声比。有效地提高测厚仪薄板区的精度。测厚仪在被测板为0.35毫米时噪声可做到不大于 ± 2 微米，漂移不大于 ± 3 微米。

仪器的方框图见图2，可分为三部分

一、双探测器差动式测量系统

X射线强度是用工作在电流积分状态的闪烁计数器来测得的，采用掺铈的碘化钠晶体，光电倍增管采用耐震性较好的GDB-35。

探测器I测量透过被测板后的射线强度，探测器II测量同一X射线源透过基准楔后的射线强度，两路探测器的信号经各自独立的放大、检波后送入差分放大器进行比较，其差值即为被测板与基准楔厚度之偏差，经放大后送至偏差表头予以指示。

仪器采用差动式测量系统不仅降低了对X射线源的稳定度要求，而且把仪器对被测板厚

度的测量变成了与已知的基准楔之间厚度的比较。因此，基准楔厚度必须能连续递变，楔之薄区和厚区的厚度要与仪器要求的测量范围相适应，进入射线通道的楔厚度必须是已知的，这些要求由基准厚度的给定系统来实现。

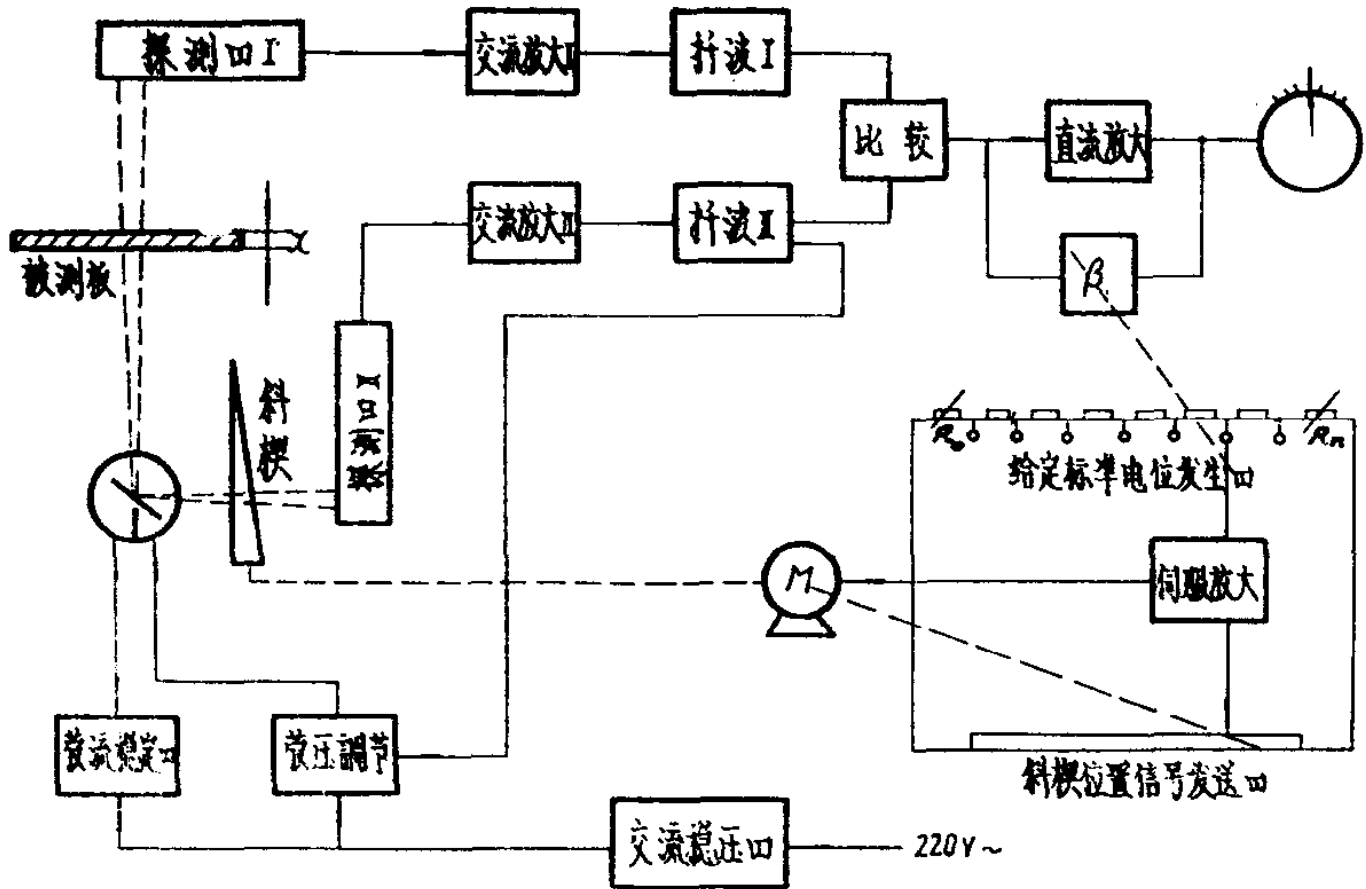


图 2

二、基准厚度的给定系统

基准楔是做成圆盘状的，其厚度沿圆周连续均匀地递变。与圆盘状基准楔同轴的是线性度为0.2%的精密电位器，用它作为基准楔位置信号发送器。圆盘基准楔由伺服电机M带动，它进入射线通道的位置是由仪器面板上的三排按键操纵的标准电位发生器来给定。厚度给定值有数字显示，其最小分度为0.01毫米。

当需要测某一厚度值时，在仪器面板上按下相应的按键，面板上的数字管就显示出给定厚度值。同时标准电位发生器就送出相应的电位与基准楔位置信号电位相比较。如有差值，经伺服放大器放大后，使伺服电机M带动圆盘基准楔转动，同时改变位置信号发送器的电位，直至两电位差为零时基准楔才静止。这时射线通道上给上了基准厚度值 d_1 的板。若此时偏差表头指零，可知被测板厚 $x=d_1$ ；若有 $+\Delta d$ (或 $-\Delta d$)的偏差，则 $x=d_1+\Delta d$ (或 $x=d_1-\Delta d$)。

三、X射线源

仪器的X射线由一个工频自整流式供电的X光管产生。X光管与高压变压器均装在密封的油箱中。X射线从窗口经分光板分成两束射线。

X光管管压调节采用如下方式：

$$I=I_0e^{-\mu x}=\text{常数}$$

当被测板厚 x 减小时，用降低管电压的办法使 μ 相应增大，同时使探测器接收到的射线强度不随被测板厚 x 变化。此时在仪器整个测量范围内 μx 之乘积仍可落在最佳区域之内。

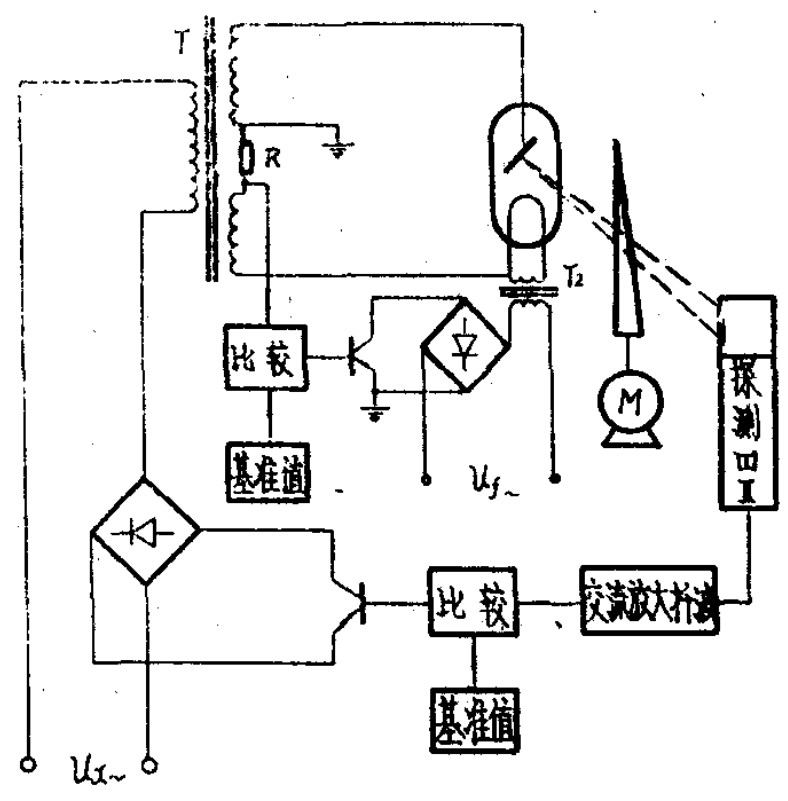


图 3

管压调节的电气原理如图 3 所示

透过基准楔之射线经探测器Ⅰ接收、经放大、检波后，与一基准值相比较，其差值控制桥路直流负载的三极管内阻，该桥路串联在X光管高压变压器初级回路中，作为管电压调节元件，这样当基准楔由薄变厚时，桥路上的交流压降也由大变到小，而加在X光管上的管电压也就由低变到高， μ 值也由大逐渐减小，从而被探测器Ⅰ接收到的射线强度能保持恒定。

采用这样的方式，除了上述好处外，显而易见，它可以使得测量系统的信号动态范围只要考虑被测板与给定基准楔之间出现的最大偏差值就可以了。这就使得测量系统的线路设计比起利用整个吸收特性曲线来得方便。

关于偏差灵敏度：

$$\begin{aligned}\text{由式(2)可得: } \frac{\Delta I}{\Delta x} &= -I_0 e^{-\mu x} \cdot \mu \\ &= -I\mu\end{aligned}$$

由上述可知 $I = \text{常数}$ ，显然 $\frac{\Delta I}{\Delta x}$ 与 μ 有关。在这台仪器中， μ 随着被测板厚度由薄变厚而逐渐减小，因此，偏差灵敏度 $\frac{\Delta I}{\Delta x}$ 也逐渐变小。其关系如图 4 所示。想要用同一表头的刻度来正确地指出偏差绝对值的话，必须对 $\frac{\Delta I}{\Delta x}$ 进行修正。

对灵敏度的修正，是测量系统线路设计需着重解决的问题。但是对仪器的精度来说，偏差灵敏度的误差，远不如给定系统的给定精度来得重要，因此对偏差灵敏度只作了近似的修正。修正的办法是在测量系统的直流放大器中，引入反馈网络 β ，反馈网络由电阻分压器构成，分压比的切换与仪器面板给定厚度按键联动。当要测量不同厚度而按下相应的给定值按键时，反馈系统的 β 也就以不同的值而加到直流放大器上，使得直流放大器之放大倍数作相应的改变。例如测薄板时，仪器偏差灵敏度大，反馈网络将使直流放大器的放大倍数减小，则表上指示的偏差灵敏度不再随被测板厚而变化。

由于仪器的测量范围较宽，根据轧制钢板的实际允许偏差，仪器的偏差指示分为三挡：

0.35~0.99毫米，满刻度量程为 ± 50 微米，

1.00~1.99毫米，满刻度量程为 ± 100 微米，

2.00~3.99毫米，满刻度量程为 ± 200 微米。

仪器对被测板的材质影响作了修正，我们将该轧机通常轧制的各种牌号钢板，按吸收系数 μ 之差异分成碳素钢、锰钢、铬钢、硅钢四类，在使用时只要按下相应的材质按键，就可测量该轧机的多种牌号钢板，而不用再进行调正。

整套测厚仪如照片 2 所示，分为测量架和仪器操作箱两大部件，测量架安装在轧机的专门滑道上，它主要包括X射线发生器、两个探测器、基准楔给定装置，而仪器的电子线路部分都集中在操作箱内。

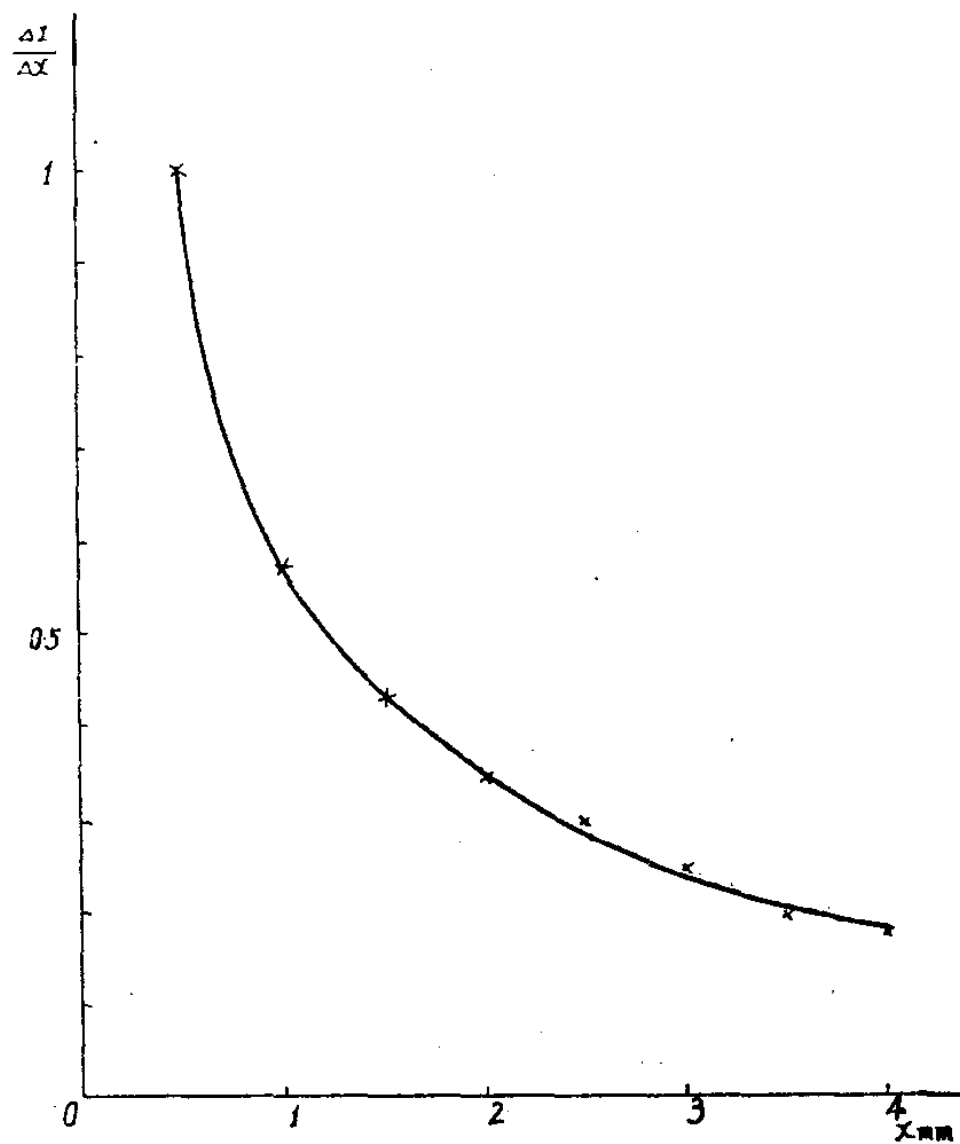
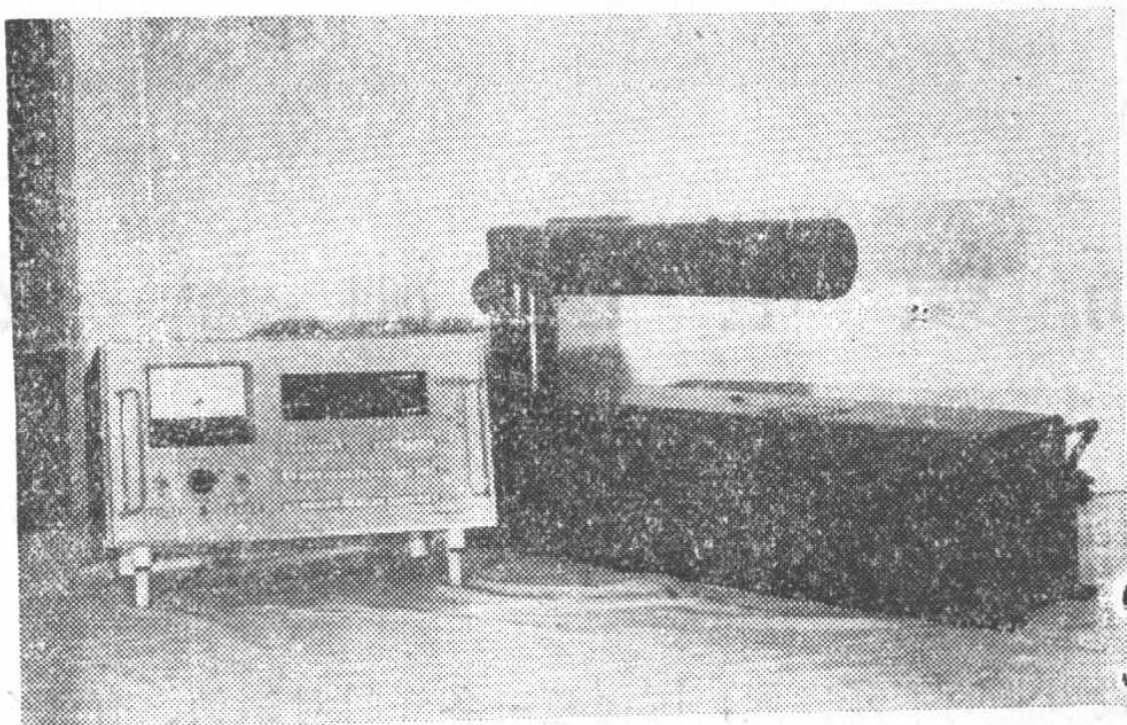


图 4



照片 2

現在，改进后的一批仪器已送往現坊作进一步考验。从試驗室的情况看，进一步提高圆盘楔加工的綫性精度和光电倍增管的稳定性，将能使測厚仪的測量精度有新的提高。

仪器在研制过程中，曾得到了鞍鋼冷轧厂、北京东方紅医疗器械厂的大力协助。

主 要 技 术 指 标

- 1 . 測量范围：0.35~3.99毫米；碳素鋼，錳鋼，鉻鋼，硅鋼
- 2 . 精 度：±1%±10微米
- 3 . 给定時間：不大于4秒
- 4 . 時間常数：0.2秒
- 5 . 偏差指示誤差：不大于滿刻度的20%
- 6 . 輸出信号：±10伏
- 7 . 电源：50週220伏±15%

注：图2及图3中的“扌”字系“检”字之誤

高 頻 电 感 测 厚 仪

机 电 所 一 室

随着社会主义建设事业的不断发展，国民经济各部门对钢铁、有色金属工业产品的产量和质量的要求日益提高，促使生产向着自动化的深度发展，因而对轧制生产过程中各种检测仪表的需求日益迫切。为了能给国防工业提供优质高产的铝板，无接触式的自动测厚是铝板轧制生产过程中的一项重要技术措施。在毛主席制定的“抓革命、促生产、促工作、促战备。”的伟大方针指引下，我所对冷轧机铝板测厚进行了试验研究，目前取得了初步进展。

1964年我們曾研制成了一台 β 测厚仪（源 Co^{60} ），但在铝板轧机的现场试验时，由于铝合金牌号种类繁多，材质影响较大，且测量范围只能在2.5毫米以内，因此用于铝板测厚方面不太理想。对X射线能否用于铝合金板的测厚我們也曾作过一些原理性实验，发现材质影响比 β 测厚仪更大。

为此，我們曾研究过采用涡流透射式测厚仪，其原理见本期综述“涡流测厚仪”一节所述。

由于这种涡流透射式测厚方法，最主要的缺点是板材温度和材质的影响，不能准确地测出在轧制过程中的板厚。板温的影响，可达约 $0.4\%/^{\circ}\text{C}$ ，而在轧制过程中，板材的温度总是在数十度范围内波动，这样使得板材的电阻率改变在百分之二十以上；另外在实际生产中合金牌号种类是繁多的，而它们的电阻率是有成倍差别的，所以这种涡流透射式的测厚仪是不能满足生产要求的。

为了克服上述缺点，经过不断摸索研究並和有关厂方合作，初步研制出一种新型的、无接触式的高频电感测厚仪，能应用于铝板、铜板等有色金属及非导磁材料（ $\mu=1$ ）的厚度测量。其特点是利用了高频电磁场不能穿透金属导体的趋肤效应，使板温和材质变化的影响缩小到可以忽略的限度内。这台高频电感测厚仪通过工业现场初步试验证明，原理是可行的，是能满足生产要求的，现简介如下。

基 本 原 理

高频电感测厚仪是应用高频电感变换器测位移的方法而间接地测量出板厚的。

如图1所示，在金属板一侧的高频电感变换器L与电容C组成振荡回路，在高频信号作用下，L产生的高频电磁场作用于金属板的表面，由于趋肤效应，高频电磁场不能穿透金属板而仅作用于板表面的薄层内。而表面的感应涡流产生的感应电磁场又反作用于线圈L上，这就增加了线圈的损耗，改变了电感量参数，使振荡回路失谐，失谐的程度与线圈L至板表面的距离S有关，即当高频振荡器输出电压固定时，谐振回路（LC）的高频电压 $V_{\sim}$ 是随着S而变化的， $V_{\sim}$ 和S的关系表示在图2，其中有直线关系的区间内（阴影内）即为

所利用的偏差测量范围。板厚的变化可视为 S 的变化，因而改变了高频电压 $V_{\sim}$ 。

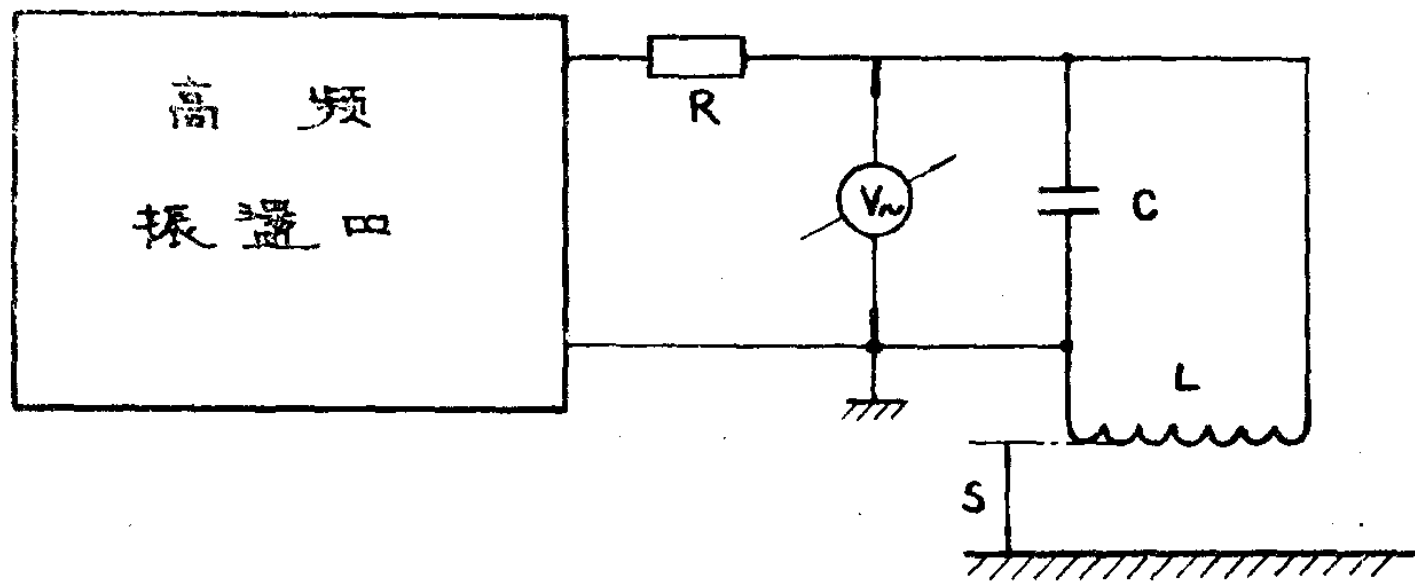


图 1

在实际使用中，为了克服被测板上下波动的影响，在板的上下两面对称地放置了两个变换器 L_1 和 L_2 ，对于每个变换器相应的都放在 $S_0(V_{\sim 0})$ 点上， L_1 、 L_2 所产生的高频电磁场分别作用于板的上下表面，又分别反作用于线圈上，设 L_1 、 L_2 与板表面的距离分别为 S_1 和 S_2 ，当变换器位置固定时 $S_1 + S_2 = 2S_0$ （常数），则被测板在两变换器之间上下移动时，在线性段（阴影内）两变换器输出电压之和总是等于 $2V_{\sim 0}$ ，如果被测板板厚改变一个增量 Δh ，则两个变换器间距（ $2S_0$ ）改变了一个增量 Δh ，因而两变换器上电压之和也相应改变了一个增量 $\Delta V_{\sim}$ ，这样 $\Delta V_{\sim}$ 也就间接地表征板厚增量 Δh ，经过电子线路的放大运算，即可从偏差表中指示出。在设计中选定 S_0 点的最大偏差范围为 ± 100 微米，板厚的给定是通过自动给定系统来移动板上面的一个变换器，使之与板表面的距离，仍保持在 $S_0(V_{\sim 0})$ 的位置上，即 $S_1 + S_2$ 仍等于常数 $2S_0$ 。板厚给定值由数字显示器中显示出。板厚数字给定值与偏差指示值的代数和就是被测板的厚度。

以上就是仪器测厚的基本原理。

图 3 是说明高频趋肤效应的作用。靠近高频交变磁场的金属板内涡流分布是随着频率的提高而逐渐趋肤于表面，因而

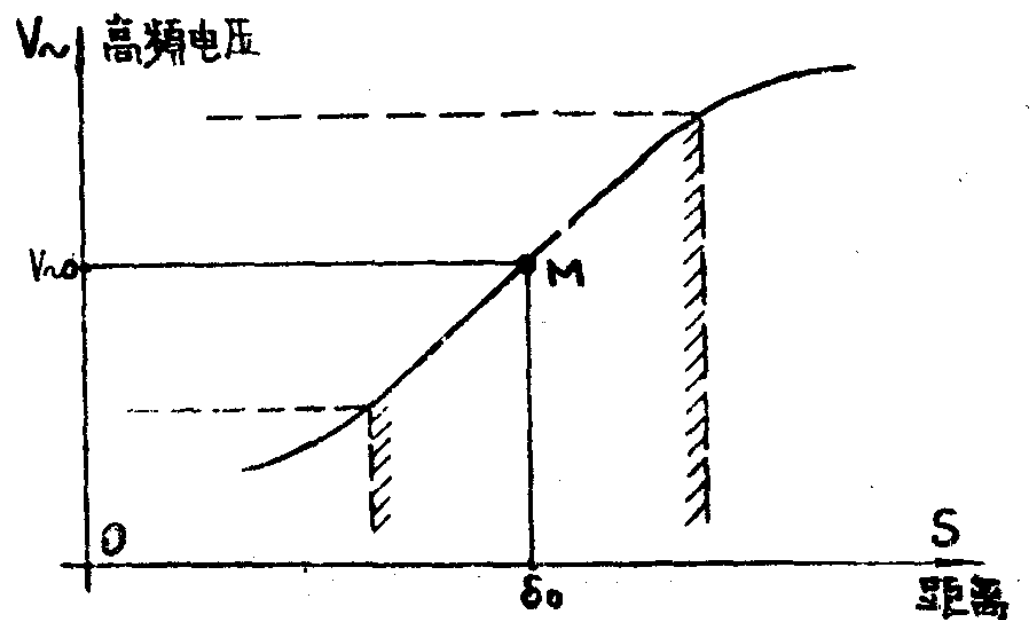


图 2

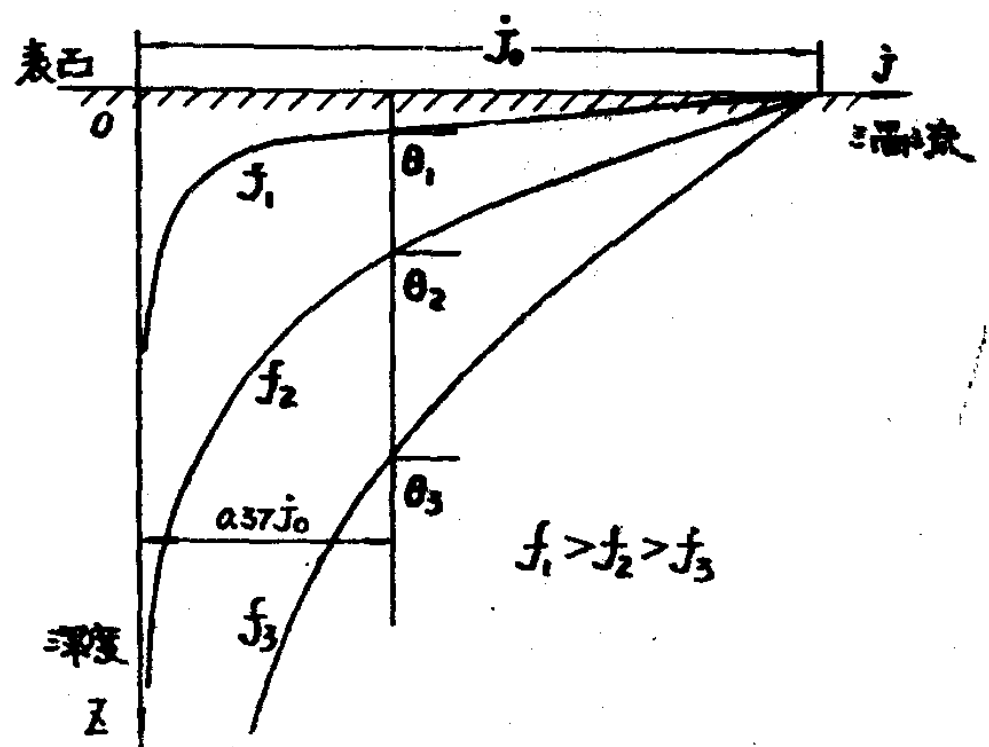


图 3

$$\text{透射深度 } \theta = 50.3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \text{ [厘米]}$$

ρ ——金属板的电阻率[欧姆·毫米²/米]

μ ——金属板的导磁率[对于非导磁金属
 $\mu = 1$]

f ——频率[赫芝]

测量中材质和温度的影响也就减小。对于具体轧制产品对象，我们选定兆周级频率使得材质温度的影响在误差允许的范围內。

仪 器 结 构

仪器由测量架和仪器箱两部份组成。

仪器的方块图表示在图4。图中以点画线表示出C型测量架，测量架內装有稳幅稳频振荡器。振荡器输出电压通过两个电阻加到上下两个变换器的谐振迴路上，两个迴路上的高频电压和振荡器输出的高频电压经过三个检波器后得到三个直流电压，由加法器进行代数相加，加法器的输出电压就是厚度偏差（增量 Δh ）信号。偏差信号经过25米电缆长綫饋送给仪器箱中的偏差放大器。放大后的输出电压（ ± 10 伏对应 ± 100 微米）用偏差表头指示，以便于人工观察，操作控制轧机，并可作为厚度自动控制系统的输入信号电压。另外还附加偏差记录仪的插孔座，能记录生产中产品偏差量。

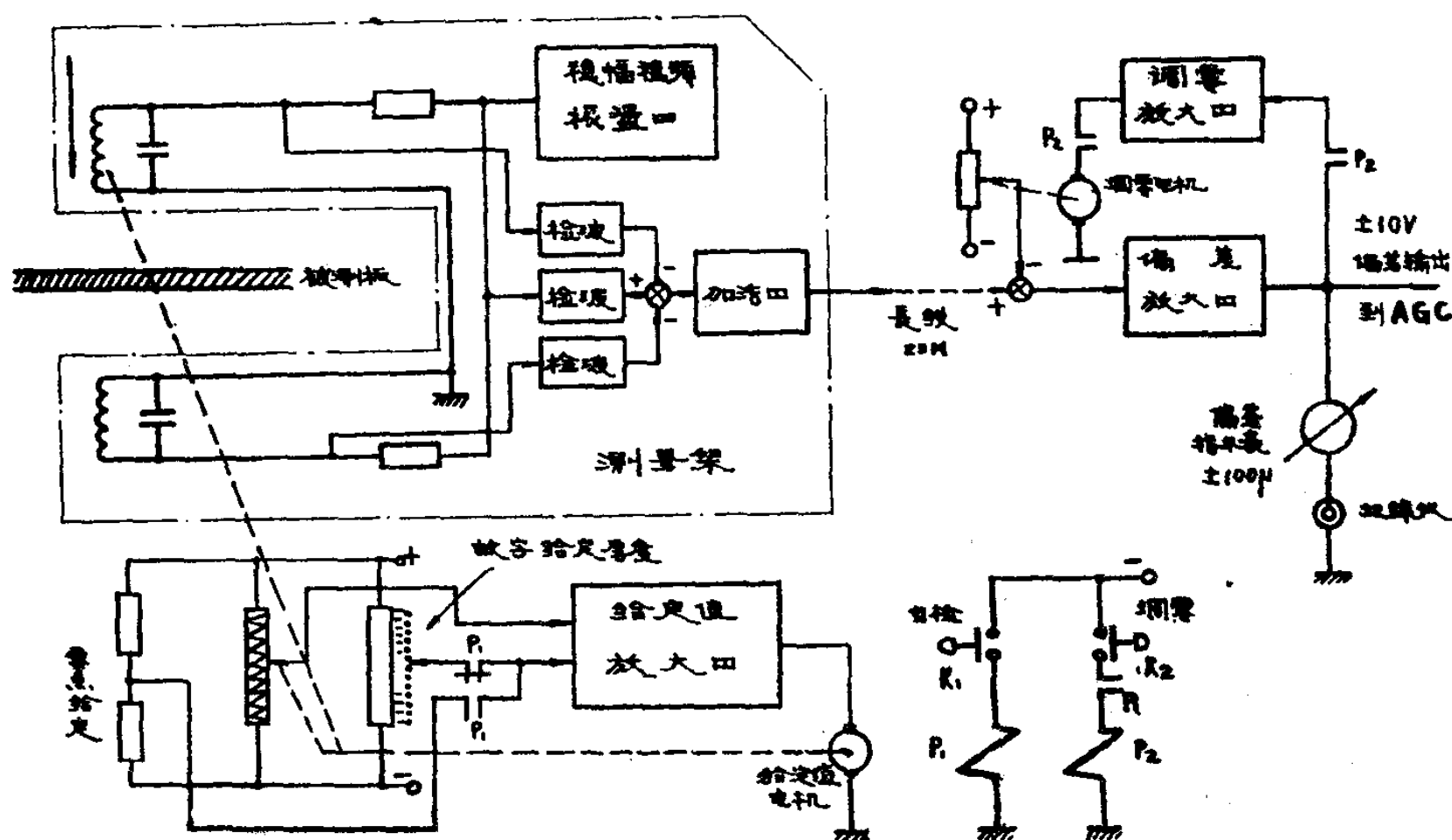


图 4

如前所述，厚度给定值是靠改变测量架上两变换器间的距离来实现的即保证 $S_1 + S_2$ 等于一个选定的常数34毫米。因此厚度给定值系统是一个小功率位移随动系统。由图上可看出，厚度给定值系统是由一个电桥、给定放大器和给定值电机组成的。电桥的一臂是由三个波段开关连接成的三位十进制电阻器，即板厚数字给定器；另一臂是与被测板上面的变换器联动的多圈电位器。

图4中其余部份 K_1 、 K_2 、 P_1 、 P_2 及调零放大器和电机，使仪器具有自检零位和自调零位工作制，克服仪器在长期使用中由各种环境因素带来的少量指示漂移。

图5是整个仪器外形的照片，左边是仪器箱，右边是测量架，中间是单件高频电感变换器。仪器箱正面左半部是偏差指示表头、调零越限指示灯、调零按钮及电源开关；右上部是给定值数字显示窗，右下部是三位板厚数字给定值旋钮。

在现场试验时我们为轧机设计了一个长导轨和一台两相直线电机，操作者可通过按钮方

便地操作直綫电机並拖动測量架在導軌上前進、后退和停止，以使測量架准确地進入測量位置并退至待測自檢位置，減少操作者的劳动强度，提高了生产效率。

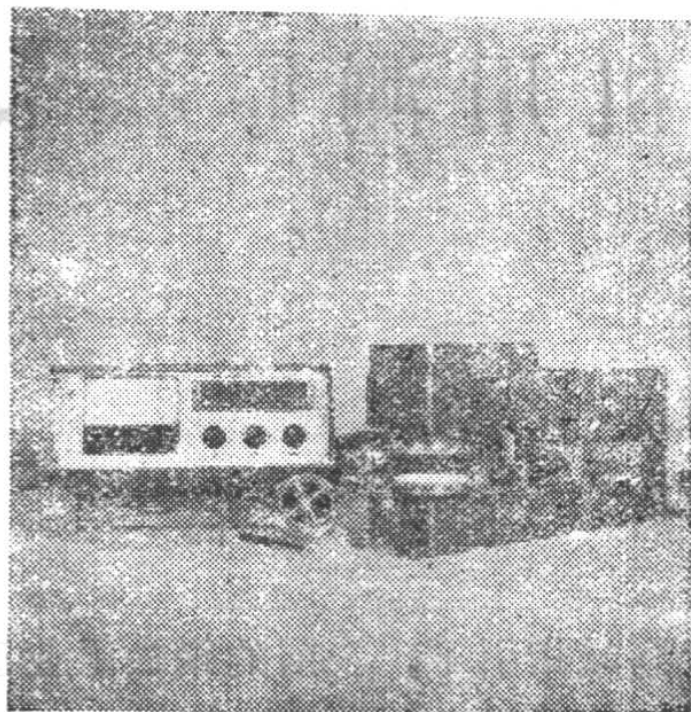


图 5

儀器的优缺点

高频电感测厚仪作为一种非接触式的测厚仪，沒有老式的滾輪接触式测厚仪由于接触而带来的一系列缺点；結構简单，制造维修方便；沒有射綫对人体健康的伤害；技术指标上也无統計起伏誤差；无需作被测板的材质修正；儀器刻度是綫性的，灵敏度是固定值；反应時間极短。它与一般渦流测厚仪相比，迴避了被测板材质、溫度的影响，而且扩大了測量范围。高频电感测厚仪不仅是作为厚度指示仪表，而更重要的是与厚度自动控制系统相连接，可为优质高产、降低成本消耗、节省加工時間创造良好条件。

它的缺点是安装使用中必须注意保証被测板与变换器表面平行；非接触的距离（开口度）受到精度要求的限制，难以再扩大，由于这个原因这种仪器仅适用于冷轧。

主要技术指标

(1) 測量范围：0.15到4.99毫米

非导磁 ($\mu = 1$) 有色金属铜、铝及其合金等同一刻度。

(2) 精度：初步測定誤差不大于20微米。

(3) 時間常数：0.01到3秒 可调。

(4) 给定方式：三位十进制数字开关给定显示。

$$4 \times 1 + 9 \times 0.1 + 9 \times 0.01 = 4.99 \text{ 毫米}$$

(5) 偏差指示及輸出形式： ± 100 微米即 ± 10 伏 1千欧負載。

(6) 具有自檢和自調零工作制，可不計漂移。

(7) 非接触開口度： 2×17 毫米

(8) 电源：220伏 $\pm 15\%$ 50週，功耗不大于45瓦。
 $\pm 20\%$

国外轧机用测厚仪发展概况

机电所一室

前言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国的钢铁工业正在迅速发展。板材是国民经济中需要量最大的一种钢材。发展汽车工业、造船、国防、电机制造以至罐头食品工业都必须有板材生产的迅速发展为物质基础。近年来，一些工业较发达的国家用成卷板材生产焊管的趋势日益发展。另外，用板材再加工制成各种冷弯型材，由于具有性能好、节省金属（约25~35%）的优点，冷弯型材的产量也在日益增长。因此，板材的直接和间接用途越来越大，已经成为产量最大的一种钢材。

在板材轧制生产中，板材厚度是最基本的质量要求。机械研究院根据国家需要，从1962年开始，陆续研制了β射线测厚仪，X射线测厚仪，最近还研制了高频电感测厚仪，这类仪器均属非接触式测厚仪器，在生产中发挥了一定作用。为了更好地贯彻“以钢为纲”的方针，遵照毛主席关于“洋为中用”和“尽量采用先进技术”的教导，我们搜集、整理了这份“国外轧机用测厚仪发展概况”，以供我国发展各种类型测厚仪参考，同时也可供使用测厚仪的兄弟单位参考。

这个材料的准备时间比较仓促，收集到的材料尚不全面，我们对国外资料的分析工作也做得很不够，缺点和错误在所难免，欢迎批评指正。

一、概况

轧机用测厚仪是在带材（金属、纸张、塑料等）轧制生产线上用于连续测量带材厚度或在剪切与分选线上用于厚度选废的一种测量仪表。它是随着带（板）材生产的日益增长、轧机自动化的迅速发展和对带（板）材质量要求的日益提高而发展起来的。本文以带钢轧机用测厚仪为主介绍各类型测厚仪的原理、性能及一些国外发展概况。

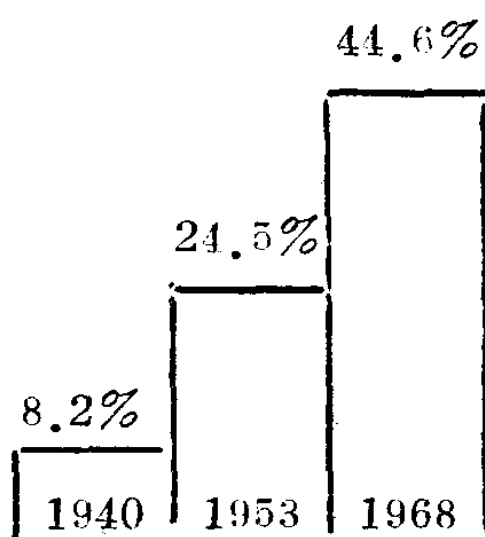
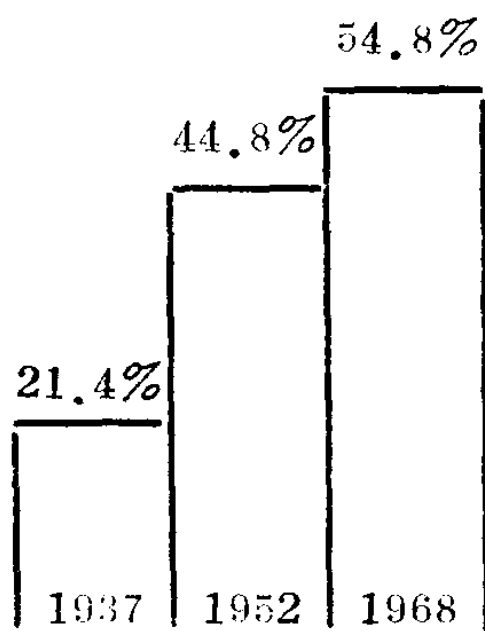
1. 国外钢板生产概况——板材在钢材中的比重逐年增长，品种不断增加。

各国钢铁工业生产的钢，80%以上轧成各类轧材。各品种轧材的生产基本上保持一定的比例关系，但根据各国国民经济各部门发展情况也略有不同。三十年代以来，钢板及带钢生产的蓬勃发展在世界轧钢业中一直非常引人注目。在钢板生产中，用途极广且技术要求日益多样化与严格化之薄钢板及带钢生产又占主要地位。

美国与日本近三十年薄板在轧材中的比重的增长情况。

美 国

日 本



主要产钢国家1968~1970年轧材占热轧材*的构成比 (%)

国 家	年 份	薄板** 带 钢	中 厚 板	型*** 钢	綫 材	重 轨 及 配 件	钢 管 及 其 他	焊 管 占 鋼 管 的 比 例	热轧材 总产量 (万吨)	钢产量 (万吨)
美 国	1968	51.8	10.6	21.0	5.2		14.0	74.2	8988	11893
	1969	53.7	8.7	21.9	5.2	1.2	9.9	61.8	8516.5	12815
	1970	51.8	8.8	22.4	5.1	1.3	10.6	60		12212
日 本	1968	44.6	21.6	23.0	7.2		10.3			6689
	1969	42.7	18.6	26.9	6.7	0.8	9.8	76.6	6716.3	8217
	1970	43.6	19.2	26.3	7.7	0.7	2.5	76		9332
英 国	1968	39.4	16.7	25.8	10		7.3	57.4	1983	2628
	1969	38.0	17.0	26.0	9.7	1.3	7.2	57.6	2157.4	2685
	1970	37.65	17.2	26.6	10	1.35	8.2	60		2832
法 国	1968	34.9	11.8	30.3	13.2		9	66	1628	2039
	1969	34.8	12.5	29.8	12.2	1.8	9.8	66.1	1798.7	2251
	1970	33.9	12.4	29.2	13.2	4.3	9.1			2377
西 德	1968	27.8	22.1	24.4	9.8				3170	4116
	1969	30.3	23.8	26.4	10.3	1.3	10.2	46.5	3302.7	4532
	1970	27.2	22.4	24.4	9.1	1.4	15.5			4504
苏 联	1968	20.5	17.1	39.8	8.7		14.9	57.2	7531	10653
	1969	20.4	17.3	39.8	8.8	4.5	14.9	57.2	7530.9	11000
	1970	21.6	17.3	38	8.4	4.3	10.7	54		11589

* 热轧材产量系指热轧的一次材的总产量

** 薄板、带钢产量系指热轧后尚未经过其他加工(如冷轧、焊管等)的薄板、带钢的产量

*** 型钢包括大型和中小型

板材品种不断增加：

薄板^{〔1〕}：达数千种（除大量生产碳素钢、低合金高强度钢的薄板外，还生产不锈钢、硅钢、耐腐蚀钢和工具钢等各种钢板。镀锌、镀锡等镀层薄板也得到迅速发展）。

品 种	尺 寸	最 大 宽 度	最 小 厚 度
		(毫米)	(毫米)
热 轧		2590	1
冷 轧		2000	0.001

中厚板^{〔1〕〔3〕}：除了生产普通钢中厚板外，还生产不锈钢、各种合金钢以及双金属中厚板等。

最大长度 (米)	最大宽度 (毫米)	最大厚度 (毫米)
36	5000	700

迅速发展板材生产的主要因素：

(1) 国外垄断资本集团为了加强竞争以榨取巨额利润，拼命发展薄板生产。一些重要的工业部门（例如：汽车拖拉机制造业、电机电器制造业、航空及火箭制造业、精密仪表制造业、罐储及民用耐久商品制造业）迅速发展对薄钢板和带钢的品质及数量的要求有了巨大的增长，另一方面也是由于在现代化的技术条件下有可能大量供应品类繁多且价廉质优的薄钢板和带钢，这就使各工业部门中的自动化金属加工线越来越多地使用薄钢板及带钢作为原料，这反过来又进一步促进了薄钢板及带钢的生产。例如：1961~1969年，日本汽车产量增加了四倍左右，冷轧薄板产量从200万吨增至1289万吨，增加了五倍以上。日本目前一年生产420万辆汽车，消耗的板材占冷轧薄板总产量的50%以上。

(2) 焊管、冷弯型钢的产量增加也是促使大力发展板材生产的因素之一。采用这种方法生产，不仅工序简单，而且节省大量钢材。焊管与无缝管相比，有成本低、尺寸精确和生产灵活等优点。冷弯型钢比一般热轧型钢节省钢25~35%，有时甚至高达60%，并可减轻金属结构的重量。

(3) 中、厚板广泛地应用于船舰、坦克、原子能、机械制造、交通运输、化工及石油等部门。由于焊接技术的发展，可用中厚板焊成各种构件代替铸件，使设备重量减轻，从而大大节约金属（达30%），缩短制造周期，降低制造和安装的成本。日本、英国造船工业比较发达，西德机械制造工业比较发达，中厚板占钢材的比重较高，为18%左右。

以上情况表明：钢板作为国民经济最为通用、最为基本的钢铁结构材料有着广阔的发展前途。

2. 国外轧钢自动化发展概况

钢铁工业是使用计算机较多的部门。1969年国外所用的过程控制计算机已有近千台，约占整个工业部门用计算机的1/6，这是因为国外垄断资本集团为了加强竞争能力，更残酷地剥削工人，攫取高额利润，也是由于钢铁工业的生产规模越来越大、速度越来越快、技术越来越

越复杂等原因造成的。

轧钢过程（特别是薄板热连轧机）是钢铁工业中自动化程度最高的部门，也是采用计算机控制水平最高、数量最多的部门。用于钢铁工业的第一台过程控制计算机就是控制带钢热轧机的。轧钢过程采用的过程控制计算机约为钢铁工业用过程控制计算机的一半。

带钢热轧机

到1970年前后，国外已拥有各式带钢热轧机137台，年产能力约2亿7百万吨。其中有115台热连轧机，年产能力约2亿吨，占热轧薄板总生产能力的96%以上。三十年代的热连轧机，年产能力一般仅有几十万吨，轧制速度只有10米/秒左右；而近年新建的热连轧机，年产能力一般为300~400万吨，最高达500万吨（日本）；轧制速度高达23.9米/秒（日本）；带卷重达45吨（日本）；宽达2500毫米（加拿大）；最小厚度达1毫米（日本）。

自美国麦克卢思钢铁公司的1525毫米带钢热轧机于1960年首先采用计算机控制以来，到1969年底，世界上采用计算机控制的带钢热轧机共28台。其中，美国14台，日本9台，英国2台，西德1台，加拿大1台，荷兰1台。

这几年新建的大型薄板热连轧机绝大多数都是采用计算机控制的。计算机能够控制从加热炉装料到薄板卷输出的整个生产过程。目前，一般计算机都与AGC系统（板厚自动控制系统）配合使用，进一步提高带钢厚度的尺寸精确度。

以美国某厂为例，采用手调时，厚度公差在±0.05毫米以内的带钢只占37%；采用手调与AGC配合时为55.5%；采用计算机与AGC配合时，则可达94%。

此外，计算机与AGC配合使用，对保证带钢端部的温度偏差、厚度公差和缩短轧钢调整时间都很有效。在生产多品种的轧机上，其效果更为显著。如新日本钢铁公司君津钢铁厂的2285毫米带钢热轧机采用计算机和AGC控制，批量改变后第一个带卷的尺寸和带钢端部温度命中率如下表所示：

君津钢厂的控制效果

带 钢 厚 度 (毫米)	2.30~3.20	3.21~5.00	5.01~7.00
厚度公差为±50微米的命中率 (%)	94	65	—
带钢端部温度偏差为±10°C的命中率 (%)	94	95	93

带钢热轧机的计算机控制在进一步提高生产率、改进带钢质量、降低成本等方面，各国都收到了良好效果。计算机的安装费用，一般在1~2年内即可回收。

新日本钢铁公司的一台2030毫米薄板热连轧机采用计算机控制后，每年增产十万吨钢，半轧废品减少三分之二。

美国某厂的带钢热轧机采用计算机控制，收到了如下效果：

减少堆钢率0.6%；

减少次品率1.5%；每年可多产3万吨合格带钢；

减少边角废料，以年产量为100万吨计，每年可多生产12,000吨带钢。

初轧机

初轧机实现计算机控制比带钢热轧机晚。据美刊最近发表的一个调查报告报道，在15个国家83家钢铁公司初轧机中采用计算机控制占21.6%。

中厚板軋机

到1970年为止，各国所公佈的采用计算机控制的中厚板軋机共13台。其中欧美8台，日本5台。

采用计算机控制，在提高板材精度方面，收到了良好的效果。据报导，某厂采用计算机控制后，宽度偏差为10毫米，为手动控制的1/4以下；95%板材的厚度偏差为 ± 0.3 毫米，而手动控制时为 ± 0.5 毫米；板材凸度偏差为0.09毫米；板材平直度与手动控制时差不多。由于提高了尺寸精度，从而使收得率提高了2.5%。

此外还用计算机控制板坯装炉、出炉温度、出炉速度等。

带钢冷軋机

到1970年前后，各国拥有各式带钢冷軋机共396台，年产能力达13,000万吨。其中有153台冷连軋机，年产能力达10300万吨，约占冷轧薄板总生产能力的80%。

带钢冷軋机的计算机控制历史比带钢热轧机短，到1970年为止，各国公佈的采用计算机控制的带钢冷軋机共10台，其中欧美8台、日本2台。

采用计算机控制能正确分析生产的实际性况，批量改变时，能得到较高的调整精度和较短的间歇时间；换辊后能得到平直度良好的带钢。

3. 厚度测量技术

钢板（带）有如下的质量指标：

- (1) 表面质量
- (2) 延伸率
- (3) 纵横方向的机械强度
- (4) 外形尺寸

钢板的厚度公差是标志钢板质量的一项重要指标。例如：在汽车工业中用于冷冲与冷压汽车车身的钢板由于厚度不均匀会影响模具的寿命；作潜水艇外壳用的钢板，如果厚度公差太大，会影响有效载重量和强度，使其战斗效能受到影响；作罐头用的镀锡板，厚度不均匀会影响生产线的连续运行；电机上用的硅钢片，过厚过薄都会影响产品的性能……。

在轧制过程中，钢带的厚度、张力、温度、速度、辊形和轧辊的压下率等是互相密切关联的轧制参数，而这些参数在轧制中又是“瞬息万变”的。为要严格控制钢带的厚度公差，首先必须精确测定其厚度，轧机控制系统根据测厚仪等测量仪表提供的一系列信息随时调整各轧制参数使产品质量达到预定的指标。

轧钢生产过程中采用测厚仪实现连续的厚度测量在国外已有四十多年的历史了。从1930年前后国外首次出现的接触式测厚仪^[6]到目前广泛采用的无接触式测厚仪，各类型测厚仪的产生和改进无不与下列诸因素密切相关，即：

对板（带）材的质量要求日益提高，需求量日益增加；

轧钢设备与工艺的不断革新；

轧钢过程的连续化、高速化与自动化的迅速发展；

测量技术领域内各种新原理、新技术、新材料的出现和应用。

特别是在六十年代以来，轧钢过程日益广泛采用计算机控制，使测厚仪已经成为轧机自动控制系统中一个不可能缺少的组成部分^[7]。考虑到以上诸因素以及恶劣的使用环境（例