

放射性同位素及辐射的应用

放射性同位素测厚仪的国外水平

陈 锡 炎

(第一机械工业部机械科学研究院)

近几年来国内很多科学研究单位和企业正在进行同位素测厚仪的试验研究工作。现将收集到的一些有关四辊可逆带材冷轧机的同位素测厚仪的国外资料整理出来供有关人员参考。在本文中只是对苏、英、美、西德和日本等国生产这类测厚仪的情况作一概要的介绍。

虽然在带材轧制过程中采用厚度测量仪来实现连续自动测量在国外已有 20 多年的历史。但采用放射性同位素测厚仪还只是最近十几年以前的事。

在 1949 年,英、美各国开始应用 β 射线作为测量冷轧带钢的厚度用。

放射性同位素测厚仪应用在轧制工业中虽然还只有十几年的历史,但由于它进行不接触测量和具有较高的精度,这种测量方法和仪器,目前在国际上已发展到具有比较完整的性能。

目前应用于测厚仪的主要放射性同位素有: Kr^{85} , Tl^{204} , Sr^{90} , Ru^{106} , Ce^{144} , Cs^{137} (以上作 β 辐射源); Tu^{170} , Cs^{137} , Co^{60} , Ir^{192} 和 Ra^{226} 等(以上作 γ 辐射源)。

当前国外的同位素测厚仪采用的射线接收器主要有电离室和闪烁计数器等两种型式。

美国的情况

美国是应用同位素测厚仪最早和最广泛的一个国家,据 1959 年统计美国已有 300 家以上的工厂、企业采用了这类测厚仪。当前美国制造同位素测厚仪的主要公司计有:特雷斯尔莱布公司(Tracerlab)、通用电气公司(General Electric)、核工业公司(Industrial Nucleonic)、普腊特与惠特内公司(Pratt and Whitney)和同位素制品公司(Isotope Product)等。

1. 特雷斯尔莱布公司 1949 年此公司制造了第一台同位素测厚仪,采用电离室射线接收器。其原理见图 1。在电离室中所产生的与被测板厚成比例的直流电压,经直流放大器放大后与一给定电压(相当于标准板厚)相比较,因而其指示值为板厚的偏差值。此测厚仪采用 Sr^{90} 作为辐射源,测量范围为 0—0.75 毫米的钢板; 0—2.25 毫米的铝板,轧制速度为 15 米/秒,仪器的精度为被测数值的 $\pm 2\%$ 。

图 2 为此测厚仪的测量头部分, Π 型机架的开缝宽度为 300 毫米,辐射源与接收器之间的距离为 20 毫米^[1,2]。

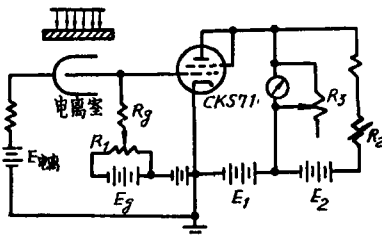


图 1

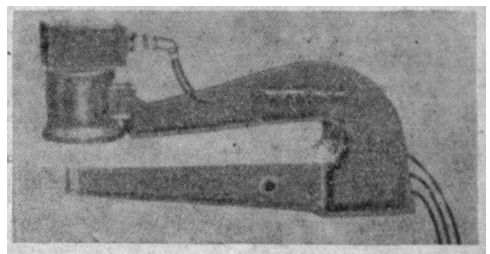


图 2

此公司目前生产的同位素测厚仪有 BG-1A 型、BG-2 型和 BG-5 型，都采用了调制装置和交流放大器，消除了直流放大器的漂移和不稳定性，提高了仪器的精度，精度可达 $\pm 1\%$ 。BG-1A 型和 BG-2 型测厚仪采用 Sr^{90} 作为辐射源。BG-2 型测厚仪还带有自动校正装置可自动校正仪器所产生的各种误差。BG-5 型测厚仪采用的辐射源为 Cs^{137} 的弱能量的 β 射线源，对测量特别薄的箔带的厚度具有较高的灵敏度。

2. 通用电气公司 此公司在 1950 年制造的 β 射线测厚仪广泛的应用在测量冷轧带钢的厚度。其辐射源为 2.5 毫居里的 Ru^{106} 或 10 毫居里的 Sr^{90} 。射线接收器是用电离室，并采用了调制装置和交流放大器。图 3 是此测厚仪的原理图。在图上可以看出，在辐射源和被测板之间有一以 90 转/秒的旋转调制装置，因此射线以每秒 90 周的频率穿透被测板为电离室所接收。由电离室输出的脉冲电压与衰减器输出的给定电压相比较，当两电压有偏差即被测板厚有变化时，此电压的差值经交流放大器放大再由同步整流器转换为直流信号，由指示器指示出厚度的偏差值。用以比较的给定电压是由调制装置轴上的永久磁铁中产生的。

此测厚仪的主要技术数据见下表：

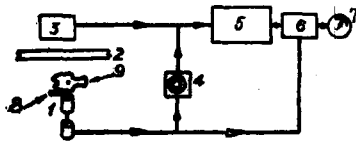


图 3

1—调制器；2—被测钢材；3—电离室；4—可变衰减器；5—交流放大器；6—同步整流器；7—指示仪表；8— β 辐射源；9—斩波器。

辐射源	测量范围	仪器精度	仪器反映时间，秒
10 毫居里 Sr^{90}	170—5000 克/米 ² 钢：0.015—0.5 毫米 铝：0.5—1.87 毫米	$\pm 1\%$	1.5—3
2.5 毫居里 Ru^{106}	1700—10000 克/平方米 钢：0.15—1 毫米 铝：0.1—3.7 毫米	$\pm 2\%$	1.5—3

图 4 为此测厚仪的外观图，是由测量头、指示仪器和电气箱三部分组成。

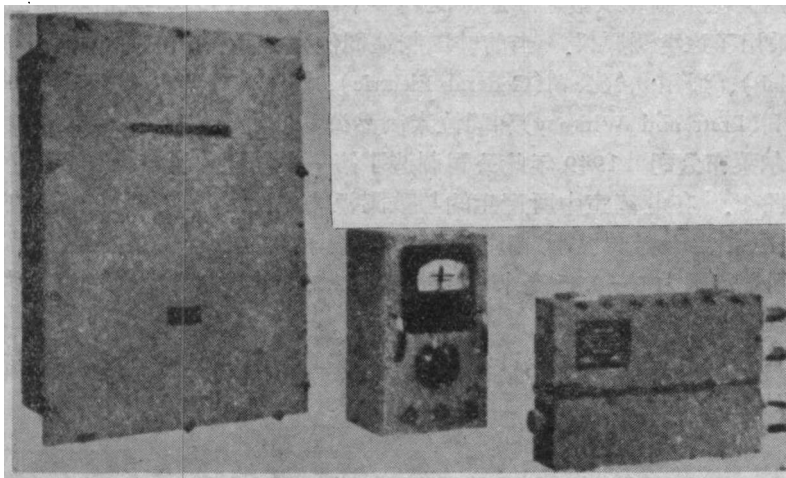


图 4

3. 同位素制品公司 此公司制造的同位素测厚仪是采用比较测量法。用两个相同的辐射源和射线接收器，其中一个辐射源的射线穿透被测板为一接收器接收而另一辐射源则穿透一标准板为另一接收器所接收。然后将两接收器输出的信号进行比较，因此其指示值亦为板厚的偏差值。此测厚仪的主要优点是：可消除由于辐射源的衰变和气压、温度的变化而引起的误差。此公司的经验数据为每 25 毫米水银柱高的气压变化所引起的厚度误差为 2 克/平方米；

每 1°C 的温度变化所引起的厚度误差为 0.3 克/米²。这种误差在测量特别薄的带材时更为显著,例如测量 0.0125 毫米的厚度时,温度每变化 1°C 将引起的测量误差为被测厚度的 ±0.3%,因此该测厚仪特别适用于特别薄的带材的厚度测量。此测厚仪采用的辐射源为 20 毫居里的 Sr⁹⁰,其测量范围为 0—6500 克/平方米。若采用 Tl²⁰⁴ 为辐射源时,其测量范围为 0—1300 克/平方米。仪器的精度为 ±1%^[3]。

4. 核工业公司 此公司在 1952 年制造的“Accuracy”同位素测厚仪,也采用电离室作为接收器,此测厚仪与特雷斯尔莱布公司生产的同位素测厚仪在结构上相类似,但“Accuracy”测厚仪带有自动补偿和校正装置,能自动校正由于辐射源的衰变、电子仪器特性的变化、灰尘污物、空气密度和温度变化等因素所引起的测量误差。

“Accuracy”测厚仪采用 Sr⁹⁰ 为辐射源,测量范围可达 0.75 毫米的钢板,2.25 毫米的铝板,仪器精度为 ±1%,Π-型测量架的开缝宽度有: 600, 900, 1200 和 1500 毫米^[4]。

此公司在 1957 年制造的弱能量的 β 射线测厚仪安装在 ZR-32 型 20 辊冷轧机上进行连续厚度测量,在测量厚度为 0.003—0.016 毫米的合金带钢时,其精度可达 ±1%。其主要技术指标见下表:

金属品种	金属箔厚度, 毫米	成品的公差, 毫米
4-79 型坡莫合金	0.00312	±0.000125
钛合金	0.0075	±0.000125
铜	0.00625	±0.000125
Dy	0.00625	±0.000200
铝	0.0125	±0.0025
17-7 pH 不锈钢	0.01625	±0.0025

在轧制过程中,由于在金属箔上附有一层润滑油膜,这层油膜将引起测量误差,因而需要进行补偿。对测量 0.00312 毫米的金属箔,其补偿量应为 0.00075 毫米^[5]。

此公司生产的 β 射线和 γ 射线测厚仪在 1960 年美国钢铁公司的 A-37 型冷轧机上亦有所应用。

5. 普腊特与惠特内公司 此公司制造的龙门式同位素测厚仪的外观见图 5。辐射源和接收器分别安装在龙门架的上下轨道上,同步地自动作横向移动。其行动速度为 520 毫米/分。测量带钢的最大宽度为 1350 毫米。此测厚仪主要用于测量较宽的带钢在横截面上的厚度变化。其测量范围为 0.01—0.75 毫米的钢板,精度为 ±1.5%,反应速度为 1 秒,辐射源为 Sr⁹⁰ 和 Tl²⁰⁴,接收器为电离室型式^[1]。

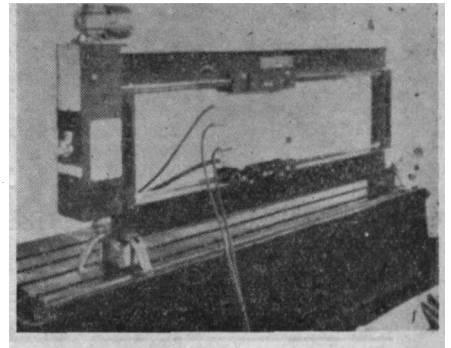


图 5

英国的情况

英国制造同位素测厚仪也有比较悠久的历史。

在 1949 年博耳德威恩(Baldwin)公司就开始设计制造同位素测厚仪。目前英国主要制造同位素测厚仪的公司有博耳德威恩、艾科(Ekco)和代维联合(Davy United)等三家公司。其产品在欧洲、亚洲、美国等各国使用比较广泛。

1. 博耳德威恩公司 此公司制造的同位素测厚仪采用了单辐射源、单接收器的直接测量法和双辐射源双接收器的比较测量法^[6]。接收器大都是用电离式并带有自动校正装置。图 6 为此公司生产的各种型式的同位素测厚仪。其测厚仪的横向送进有采用人工手动的也有气动的,有的测量头还可旋转一角度。Π-型测量架的开缝宽度有: 500, 900, 1200 和 1400 毫米



图 6

4种。在辐射源和接收器上都装有空气吹尘装置以消除测量区的污物,可以减少测量误差。压缩空气温度可自动调节在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,其精度为被测厚度的 $\pm 0.4\%$ 。

此公司制造的同位素测厚仪的主要技术数据见下表:

辐射源	测量范围	仪器精度	仪器反映时间,秒	使用年限,年
Kr^{86}	15—1000克/平方米 钢: 0.0100—0.150毫米 铝: 0.0125—0.325毫米	$\pm 1\%$	0.04—2	5
Tl^{204}	15—1000克/平方米 钢: 0.0100—0.15毫米 铝: 0.0125—0.325毫米	$\pm 1\%$	0.04—2	3
Sr^{90}	100—7000克/平方米 钢: 0.050—0.75毫米 铝: 0.050—2.5毫米	$\pm 1\%$	0.04—2	10
Ce^{144}	200—8000克/平方米 钢: 0.05—0.875毫米 铝: 0.01—3.0毫米	$\pm 1\%$	0.04—2	1
Ru^{106}	200—10000克/平方米 钢: 0.05—1.0毫米 铝: 0.25—3.5毫米	$\pm 1\%$	0.04—2	1

博耳德威恩公司在1957年制造了一种供热轧带钢测厚用的同位素测厚仪,它利用了核物理中的轳致辐射现象,即利用放射性同位素发射的 β 射线,突然被原子序数高的金属靶所截挡,则有一部分动能转变为连续能量的电磁辐射。轳致辐射产生的二次辐射是X射线,因而

大大提高了它的穿透能力,約可提高 6—7 倍。这样解决了工业上最常用的 0.6—6 毫米厚鋼板的厚度測量問題,这厚度范围是一般 β 和 γ 射綫的測厚仪所不能解决的。

此測厚仪采用 Sr^{90} 为輻射源,其測量范围为 0.75—6.25 毫米,精度为 $\pm 1\%$,軋制速度为 12 米/秒,軋件寬度为 225 毫米。此測厚仪是采用閃爍計数器作为接收器,并带有自动校正装置^[7,8]。

图 7 是博耳德威恩公司制造的另一种利用輻致輻射的同位素測厚仪的原理方块图。它是用閃爍計数器为接收装置,并使其輸出电压訊号与电位計电路中用以比較給定电压进行比較,因而其指示的也是偏差值。此測厚仪带有自动校正装置,可自动控制軋机的压下螺杆实现厚度自动調节。

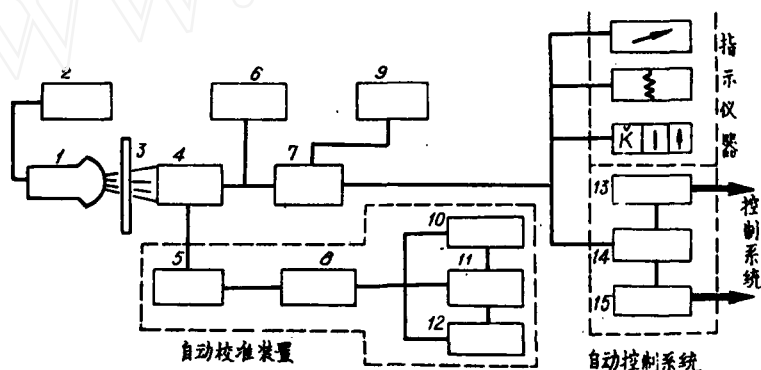


图 7

1—輻射源; 2—人工校准; 3—鋼板; 4—接收器; 5—电位計; 6—測厚調节; 7—放大器;
8—伺服电机; 9—自动人工开关; 10,12,13,15—繼电器; 11,14—鉴别器。

当測量完毕,測量架退出測量区时,有一校正板遮住輻射源,进行自动校正。当仪器有誤差时,放大器即輸出訊号,經過鉴别器,带动伺服电机以調节电位計的电压,使之与接收器所輸出的电压訊号相平衡为止。此測厚仪的測量范围为 0.100—10 毫米,精度为 $\pm 1\%$ 。

1958 年英国特洛 (Taylor) 公司在罗伯逊 (Robertson) 四軋冷軋机上采用了此測厚仪,于是英国首次实现了軋机的測厚自动控制,带鋼厚度为 0.100 毫米,寬度为 375 毫米,軋制速度为 2.5 米/秒,产品的厚度公差控制在 ± 0.0075 毫米以內^[9,10]。图 8 为此測厚仪在四軋可逆軋机上的装置情况,右上角为其指示和自动紀录装置以及控制台。

2. 艾科公司^[11] 此公司制造的同位素測厚仪主要有 N565, N562, N582 和 N604 等型号。其中 N565 型是采用了单輻射源单接收器的直接測量法(見图 9)。N562 型采用了比較測量法,因而精度較高,适用于測量小于 100 克/平方米的金屬箔。其原理見图 10。N582 和 N604 型測厚仪的原理与 N565 相同,但带有自动校正装置。每工作 8 小时进行校正一次,校正时间为 1.5 分钟。图 11 和图 12 分别为 N582 型測厚仪的測量头和控制台的外观图。

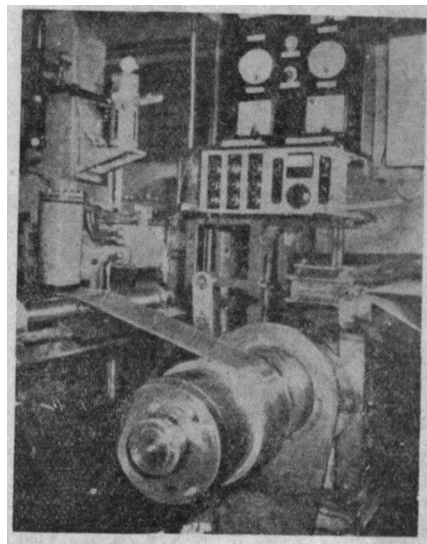


图 8

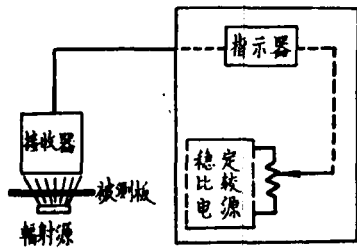


图 9

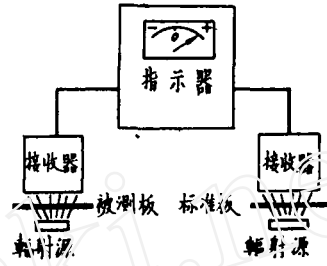


图 10

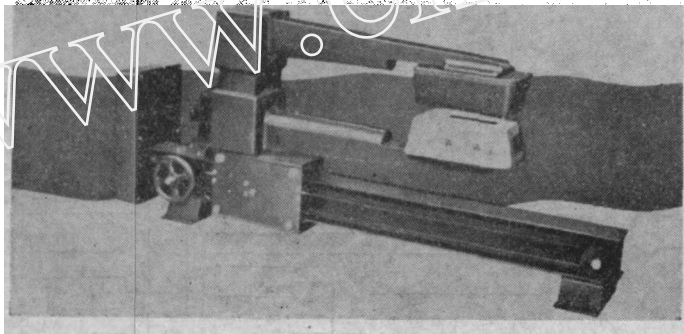


图 11

艾科公司制造的测厚仪的主要技术指标见下表:

辐射源	测量范围	使用年限,年
Sr ⁹⁰	600—6000 克/米 ²	20
	钢: 0.06—0.75 毫米	
	铝: 0.225—2.0 毫米	
Ti ²⁰⁴	200—1500 克/米 ²	4.5
	钢: 0.025—0.17 毫米	
	铝: 0.076—0.55 毫米	
Ce ¹⁴⁴	1500—12500 克/米 ²	1
	钢: 0.17—1.4 毫米	
	铝: 0.55—4.7 毫米	

另外仪器的精度不超过被测值的 ± 1%，其反应时间在 0.25—30 秒内可调。指示仪器的工作温度为 0—35℃，测量头的工作温度为 0—45℃。当气温变化 1℃ 时，引起的误差为 0.3 克/米²。仪器的零点漂移不超过指示范围的 ± 1%。

过指示范围的 ± 1%。

3. 代维联合公司 此公司制造的 β 射线和 γ 射线同位素测厚仪，有采用直接测量法的也有采用比较测量法的。β 射线测厚仪辐射源为 Sr⁹⁰ 和 Ru¹⁰⁶。其测量范围为 0.125—1.25 毫米带钢。γ 射线测厚仪采用 Sr⁹⁰ (轫致辐射)、Tu¹⁷⁰ 和 Co⁶⁰ 为辐射源。其测量范围有 1.5—12.5, 2.5—25, 4.0—50 和 12.5—125 毫米,精度为 ± 1%，反应时间为 0.1—10 秒^[12]。

图 13 为此公司制造的 β 射线测厚仪的原理方框图。此测厚仪采用了比较测量法,接收器为电离式。在测量头内还装有压缩空气的吹尘装置^[13]。

此公司制造的用于测量热轧钢板厚度的 γ 射线测厚仪采用了闪烁计数器来提高其灵敏



图 12

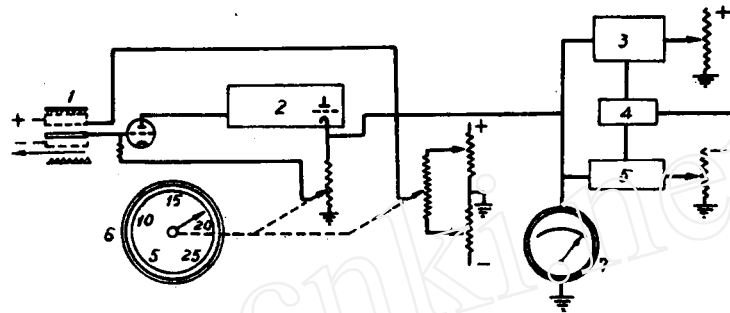


图 13

1—测量头；2—平衡直流放大器；3,5—选择器；4—混频器；6—绝对值指示器；7—偏差指示器。

度。图 14 为此测厚仪的外观示意图。图 15 为其在轧机上的实际工作情况。此测厚仪的测量头用水进行冷却并有气动吹尘装置。另外还带有自动校正装置。在测量头内装有对红外线敏感的光电管。当红热的被测钢材通过测量头时，此光电管接收了钢材的红外线，接通继电器使测厚仪处于工作状态。当无钢材通过时，继电器断开，测厚仪即处于自动校正状态。

图 16 为此测厚仪的原理方框图。从闪烁计数器输出的脉冲信号通过宽频带放大器、甄别

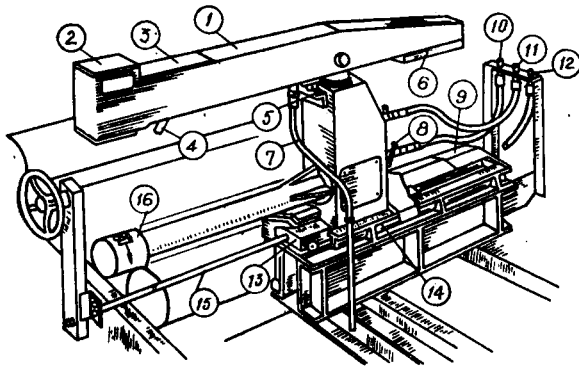


图 14

1—测量臂；2—闪烁计数器外壳；3—光电管外壳；4—光电管；5—测量臂中心；6—平衡重块；7—供水管；8—同位素容器开关手柄；9—盖子；10—电缆；11—通水管；12—压缩空气通道；13—移动装置；14—导轨；15—主轴；16—同位素容器。

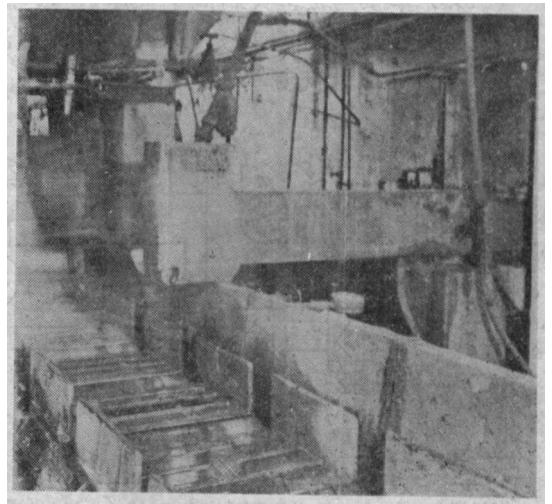


图 15

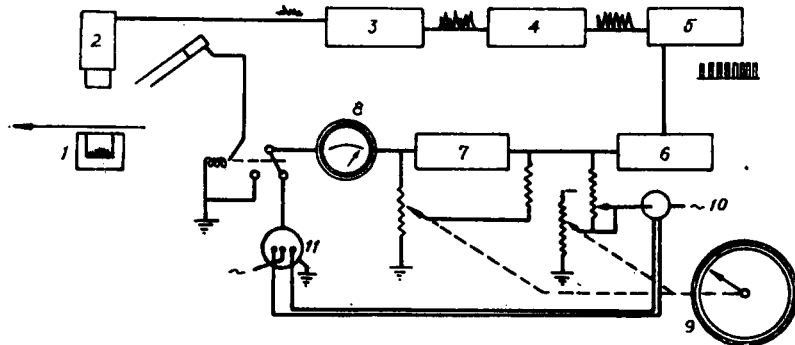


图 16

1—辐射源；2—闪烁计数器；3—宽频带放大器；4—甄别器；5—脉冲整形器；6—积分器；7—直流放大器；8—偏差指示器；9—绝对值指示器；10—可逆电机；11—可逆线圈继电器。

器、整形器和积分线路与给定的标准电压进行比较，然后再由直流放大器放大，输入指示器指示出其偏差值。

苏联的情况^[14]

苏联进行这方面工作最多的是苏联中央自动装置实验室。在1955年此实验室设计制造了ИТУ-495型和ИТУ-295型两种同位素测厚仪，在冷轧机上测量带钢的厚度。两者都采用电离室为接收器，采用机械振动变流器进行调制。图17为其原理图。

ИТУ-495的测量范围为0.03—1毫米钢板，辐射源采用15—20毫居里的Sr⁹⁰或Ce¹⁴⁴，其测量精度为被测值的±1.5%。图18为其外观图。

ИТУ-295测厚仪的测量范围为0.003—0.15毫米钢板，辐射源采用20毫居里的Tl²⁰⁴，可正常工作5—6年，其测量精度在被测值为0.03毫米以上为±2%，在0.03毫米以下为0.0005毫米。

在1956—1957年该实验室对ИТУ-495型测厚仪进行了改进工作。减小了惯性部件的时间常数；改进了电离室的结构；采用了速度负反馈等使仪器的反应时间由7秒减到2秒。精度亦由±1.5%提高到±1%。

1957年该实验室又制造了一种ЛЛИА型采用闪烁计数器为接收器的同位素测厚仪。其原理为绝对测量法(见图19)。采用绝对测量法的优点是：可提高快速动作、提高精度和减少本身重量。图20为此测厚仪的外观图。

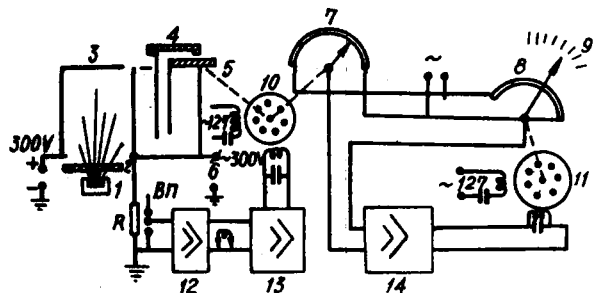


图 17

1—辐射源；2—测量钢带；3—辐射接收器；4—比较辐射源；5—调整盖板；6—补偿接收器；7,8—滑线测阻器；9—指示仪表；10,11—传动可逆电动机；12,13,14—放大器。

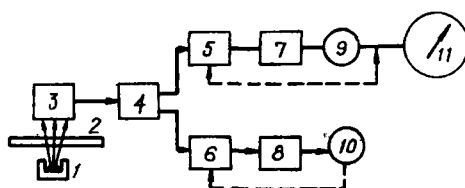


图 19

1—辐射源；2—钢带；3—接收器；4—前置放大器；5—指示器的测量系统；6—校正器测量系统；7,8—放大器；9,10—电动机；11—指示器。

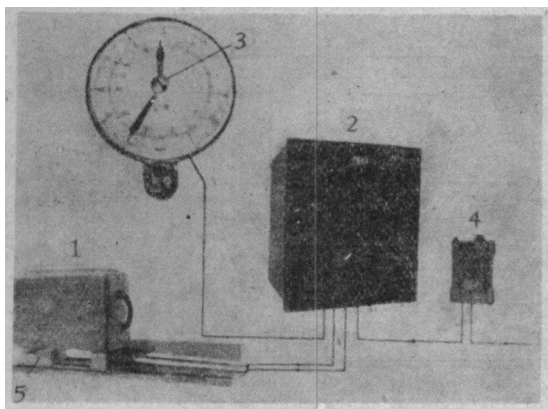


图 18

1—辐射接收器；2—电子仪器箱；3—偏差指示器；4—稳压电源；5—辐射源。

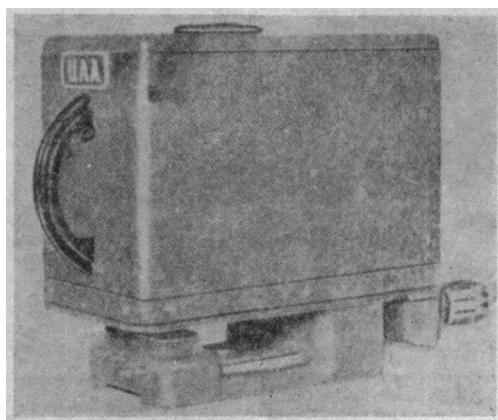


图 20

此测厚仪的技术数据见下表:

辐射源	测量范围(鋼), 毫米	精 度	反应速度, 秒
Tl ²⁰⁴	0.002—0.15	厚度为 0.03 毫米以下 精度为 ± 0.005% 厚度为 0.03 毫米以上 精度为 ± 1.5%	0.15
Sr ⁹⁰	0.03—0.8	± 1.5%	0.15
Ce ¹⁴⁴	0.05—1.0	± 1.5%	0.15
Eu ¹⁵⁸	0.03—3.0	± 1.5%	0.15

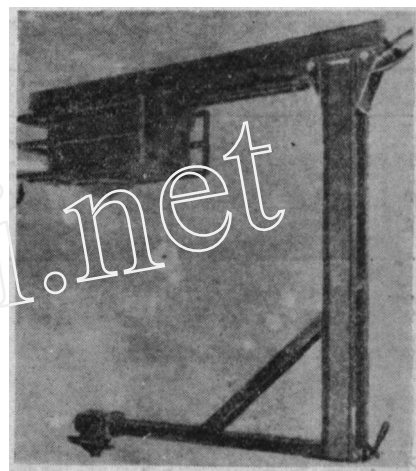


图 21

另外该实验室制造的 IT-5250 型 γ 射线测厚仪是采用比较测量法,用闪烁计数器作接收器,辐射源为 Tu¹⁷⁰,其测量范围为 0.4—3 毫米,测量精度为 ± 1.5%,反应时间为 0.2 秒。适用于冷轧带钢。

图 22 为该实验室制造的另一种 ИТГ-375 型 γ 射线测厚仪,应用于测量热轧带材的厚度。其主要辐射源为 5 毫居里的 Ir¹⁹², 补偿辐射源为 20 毫居里的 W¹⁸⁵, 测量范围为 1.0—10 毫米,测量精度为 ± 1.5%。辐射源与接收器的距离为 1250 毫米。

苏联茨恩米茨姆 (ЦНИИЦМ) 在 1959 年制造的 ТД-1 型热轧带材同位素测厚仪,其测量原理也是利用比较测量法。辐射源为 Cs¹³⁷, 接收器为闪烁计数器并带有自动校正装置。测量范围为 4—40 毫米钢材,反应时间为 0.2 秒。测量误差不超过 ± 0.2 毫米。

西德的情况^[15,16]

西德特利塞克-黑佩訥 (Triescke-Haepenor) 公司制造的 FH-46 型同位素测厚仪广泛应用在西欧各国,我国也有进口。图 22 为其原理图,图 23 为其外观图。其测量头的开缝宽度有 280 毫米;800 毫米和 1280 毫米等三种规格。为了测量宽度在 1250 毫米以上的带材,该公司设计了一种特殊的龙门式同位素测厚仪,最大宽度可达 3500 毫米。辐射源与接收器的横向移动是用鍊条作机械同步传动。

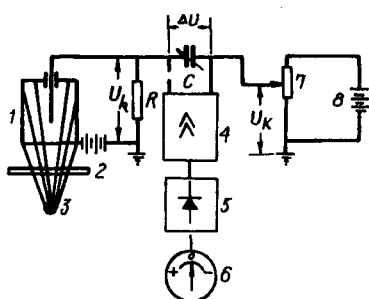


图 22

- 1—电离室接收器; 2—被测钢带; 3—辐射源;
- 4—放大器; 5—整流检波器; 6—偏差指示仪器;
- 7—分压电阻; 8—恒定电源。

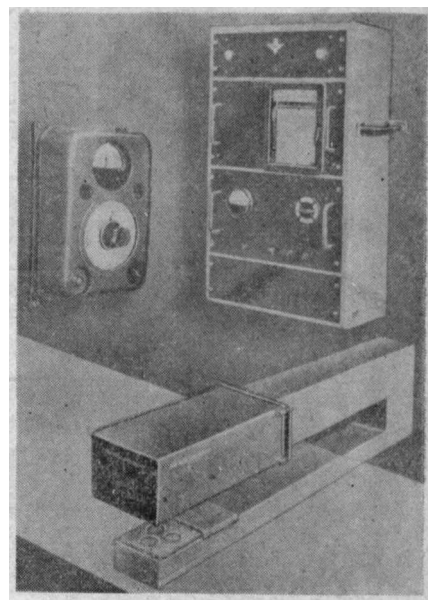


图 23

此测厚仪的主要技术数据:

辐射源	测量范围
Tl ²⁰⁴ (6毫居里)	0—1000克/平方米
Sr ⁹⁰ (5毫居里)	0—5000克/平方米
Ra (6毫居里)	1500—2300克/平方米
Sr ⁹⁰ (钋致辐射)	0.3—6毫米(钢材)

度为5克/平方米。

此外,仪器的精度不超过被测值的 $\pm 1\%$,仪器工作的最大允许气温:不带冷气装置为50℃,带冷气装置为150℃,当气温变化1℃时,引起的误差为0.17克/平方米。在0—1000克/平方米的测量范围内其灵敏度为1克/平方米,在0—5000克/平方米的测量范围内其灵敏

日本的情况^[17]

日本在这方面虽开展较晚,但在近几年有很快的发展。目前日本制造同位素测厚仪主要有:岩崎通机(株);神户工业(株);(株)岛津制作所;(株)日立制作所;东京芝浦电气(株)等企业。现介绍几种应用在轧钢工业中的主要测厚仪。

1.(株)日立制作所制造的TRI型 β 射线测厚仪,采用电离室为接收器并带有自动校正装置(图24);图24,25为此测厚仪的外观图。其主要技术数据见下表:

辐射源	测量范围		
	毫克/毫米 ²	毫米	毫米
Tl ²⁰⁴	10—120	铝: 0.04—0.45	钢: 0.014—0.15
Sr ⁹⁰	50—500	0.2—1.8	0.07—0.65
Ce ¹⁴⁴	100—900	0.4—3.3	0.14—1.2
Ru ¹⁰⁶	130—1100	0.5—4	0.16—1.4

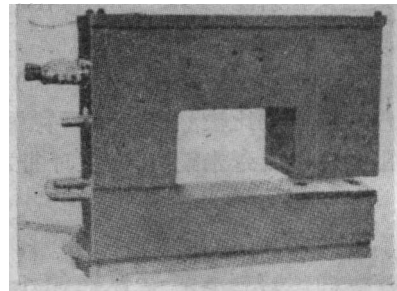


图 24

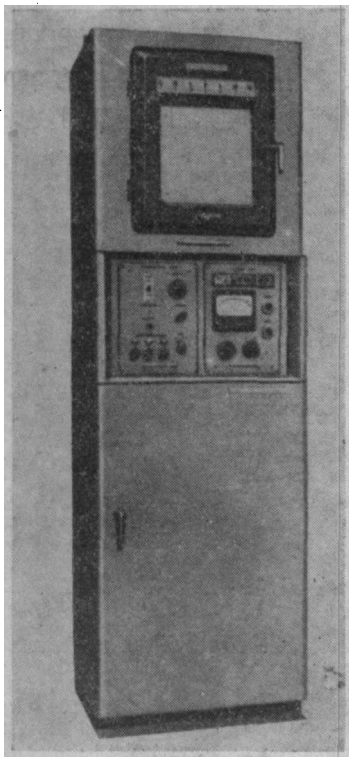


图 25

此外,其测量精度不超过被测值的 $\pm 1\%$,反应时间为0.2—25秒。自动校正每30分钟一次。被测带材允许上下跳动为 ± 5 毫米。

该制作所制造的另一种TRI型 γ 射线测厚仪,用于测量热轧带材的厚度。也采用电离室型式的接收器。图26为其测量架部分。其主要技术数据见下表:

辐射源	测量范围	
	克/毫米 ²	毫米(钢)
Sr ⁹⁰ (钋致辐射)	0.8—5	1—6
Tu ¹⁷⁰	3—60	11—60
Co ⁶⁰	5—80	6—100

其测量精度:在被测物为1—10毫米时为 ± 0.1 毫米以下;在被测物为10—100毫米时为 $\pm 1\%$ 。反应时间为0.2, 0.5, 1, 2, 5秒。轧件的允许温度为700—1150℃,轧制速度1.68—3.84米/秒。

2.神户工业(株)制造的TG-2-1022型和TG-2-2022型同位素测厚仪都采用Tl²⁰⁴作为辐射源和电离室型式的接

收器。TG-2-1022 型采用直接测量法，测量范围为 10—20 毫克/毫米²，仪器精度为 $\pm 1\%$ 。TG-2-2022 型采用比较测量法，测量范围为 0.6—40 毫克/毫米²，测量精度为 $\pm 0.5\%$ 。两者都带有自动校正装置^[16]。

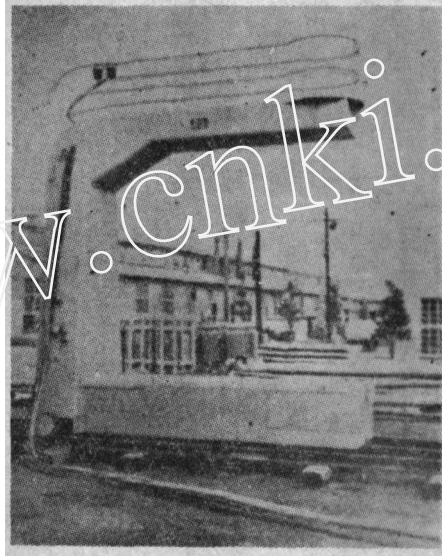


图 26

参 考 文 献

- [1] George Keinath, N. B. S., Circular 585, The Measurement of Thickness, 1958, Jan.
- [2] J. R. Carlin, *Electronics*, October, 110—112 (1949).
- [3] G. J. Leighton, *Electronics*, Dec. 112—113 (1952).
- [4] George B Fostea, *Radio Television news*, April, 3—5 (1953).
- [5] *The Iron Age*, October, No. 2, 88—89 (1958).
- [6] “Baldwin” 公司，同位素测厚仪产品样本。
- [7] *Instrument Practice*, May, 482—485 (1957).
- [8] Dickenmessung mit Bremsstrahlung, *E. T. Z.*, Ausgabe A, 82, No. 12, 372—378 (1961).
- [9] *Process Control and Automation*, Jan., 5—10 (1958).
- [10] *Sheet metal Ind.*, Jan., 55—59 (1958).
- [11] “Ecko” 公司，同位素测厚仪产品样本。
- [12] Günter Münch, *Stahl u Eisen*, 79, No. 22, 1601—1615 (1959).
- [13] *Industrie Anzeiger*, 78, No. 58, 884—887 (1956).
- [14] A. M. Ботанев, Контроля размеров проката, 1962.
- [15] “Friecke and Holpfner” 公司同位素测厚仪产品样本。
- [16] 原子力工业, No. 6, 33 (1961).
- [17] “日三制作社” 同位素测厚仪产品样本。

(编辑部收稿日期 1963 年 11 月 6 日)