一九八二年
（创刊号）
无锡轻工业学院学报
JOURNAL OF THE WUXI INSTITUTE OF LIGHT INDUSTRY

数字式罐头杀菌中心温度测试仪的研制

邹　勇

摘　　要

测定罐头杀菌中心温度，是制订合理的杀菌工艺的依据和提高产品质量的重要手段之一。在这以前，该类仪器国内尚无生产，主要靠国外进口。我们已研制成数字式罐头中心温度测试仪，本文着重阐明该仪器的设计原理及其使用结果的分析。

测定罐头杀菌中心温度是控制杀菌强度的重要手段，常用测定方法有以下几种：

（一）热电偶——光电检流计法（见图1）。

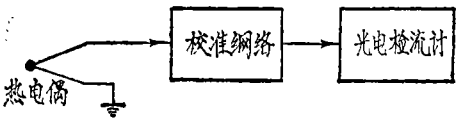


图1

这种方法是用光电检流计直接测定热电偶电势所产生的微弱电流，在测量电路内串联校准网络，可以使光电检流计直接以温度值刻度。这种方法虽然简单，但光电检流计在杀菌车间使用有一定的局限性，同时，生产这种仪器难度大，工装模具很复杂，成本很高，又因批量不大，国内尚无单位生产。

（二）热电偶——放大——电表指示式（见图2）。

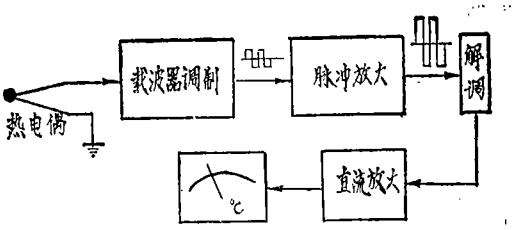


图2

这种方法是将热电偶电势调制成脉冲信号进行交流放大，再解调成直流，由电表指示。这种方法主要是发挥电子技术特长，比光电检流计较为耐振，成本低。但是由于晶体管放大电路，是直接串联在测量系统中，放大器的放大倍率变化，以及工作点的漂移，直接影响指示的准确性。直流电表磁性的衰退等因素也会造成附加误差，电表刻度很难做成线性的，测

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

量精确度受到了一定限制。

（三）数字式罐头杀菌中心温度测试仪。图3是原理方框图：

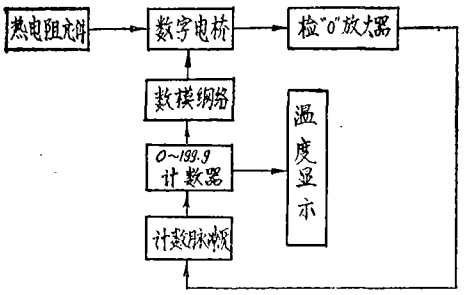


图3

这种方法测量的精确度与晶体管电路参数本身无直接关系(只要检“0”放大器的灵敏度限足够小)，晶体管电路只是起控制作用。其特点是：测量精度高，读数方便，操作简单，工作稳定性和可靠性高。虽然由于目前我国集成电路还比较贵，使造价较高，但仪表数字化是发展方向，在技术先进的国家，仪器数字化已本基普及。为提高测量精确度，我们选用了这一方案。

本文着重讨论数字式罐头杀菌中心温度测试仪工作原理和特点，以及扼要介绍具体电路的设计和计算。

限于篇幅，仪器内一般脉冲数字电路，本文不加分析。

一、数字式罐头杀菌中心温度试仪工作原理

测温用铜热电阻，温度在150℃以下电阻值与温度有很好的线性关系。表(一)列出了WZG型铜电阻温度与阻值的关系。

表(一)

温　度	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
阻　值	53	55.25	57.50	59.75	62.01	64.26	66.52	68.77	71.02	73.27	75.52	77.78	80.03	82.28

从表中可以看出，温度每增加10度，R_t电阻值增加2.5Ω。我们研制的数字式测温仪，主要是使用这一物理性能，通过模数转换技术，将连续的温度值转换成数字量，如电阻选择合适，数字量就代表温度值，原理如图4所示。

图4中，由R_t、R_1、R_2、W_0、R_3、W_{100}组成平衡电桥，其中$R_2+W_0=R'_2$，$R_3+W_{100}=R'_3$

电桥平衡条件　$R_t \cdot R_x = R_1 \cdot R'_3$　　(1)

式中　$R_x=\dfrac{(R_2+W_0)\cdot R_{标}}{(R_2+W_0)+R_{标}}$（$R_{标}$是横数转换纲络权电阻）

$$R_x=\frac{R_1\cdot R'_3}{R_x} \qquad (2)$$

令　$R_1\cdot R'_3=K$　　$R_x=K\cdot\dfrac{1}{R_t}$　　(3)

(3)式说明，当R_1与R'_3确定后，R_x与R_t成反比关系。若在0℃时调，W_0使电桥平衡，检“0”放大器输出为“0”，计数脉冲源封闭，计数器显示为“0”。表示温度等于“0”当温度升高，R_t升高电桥失去平衡，检“0”放大器送出高电平，计数脉冲源工作，计数器

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

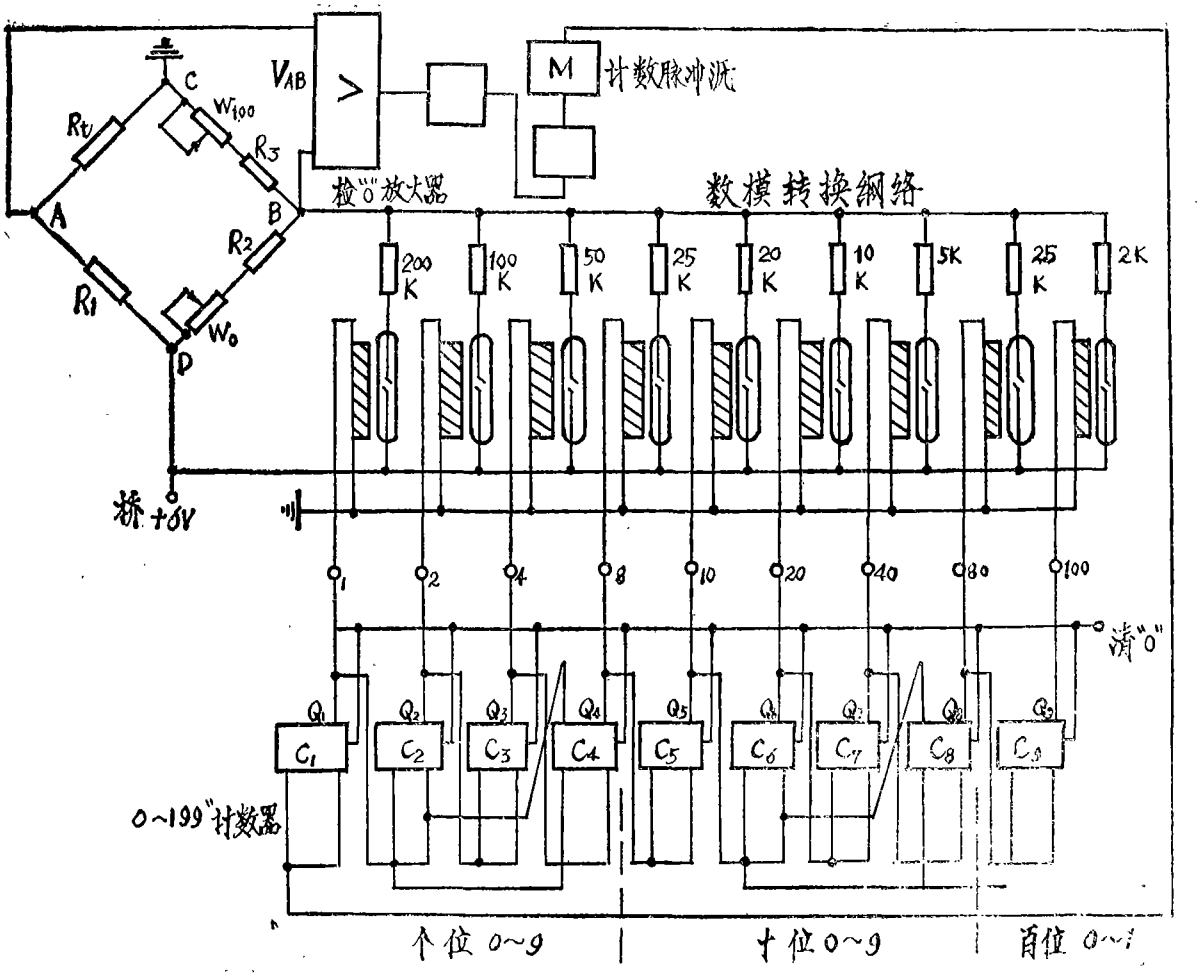


图 4

开始计数。计数器的每位触发器Q端控制相应的一个干簧继电器，当继电器闭合，相应的电阻与 R'_2 并联，并联后的实际阻值为 R_x，当 $R_x = K \cdot \frac{1}{R_t}$ 时，电桥又平衡，此时检"0"放大器输出"0"，关闭计数脉冲源M，计数器停止计数，通过译码显示电路显示出数字量。

在图4所示的模数转换电路中，每一位的标准电阻的阻值是与这一位代表的"权"相对应的，权越大，阻值越小，标准电阻值按 8、4、2、1 码规律，由于阻值与每位权相对应，所以称这种网络为"权电阻网络"。

现举例说明：权为"2"的标准电阻 100K 恰好等于 2 个权为 1 标准电阻 200K 的并联，权为"10"的标准电阻 20K 恰好等于十个权为"1"的标准电阻的并联。对模数转换时标准电阻的变化规律可以这样理解：数字量每增加"1"，网络输出多并联一个 200K 电阻，以此类推，增加 4℃，并联电阻值应为 50K；增加 8℃，并联电阻值应为 25K；增加 10℃，电阻值为 10 个 200K 并联，实际上是并一个20K；同理增加 100℃，并联一个 2K 即可，若增加 121℃，应该是 2K、10K、200K三者并联。以上这个规律，只要用二—十进制计数器的每位触发器控制相应的干簧继电器接通相应的权电阻就能实现。

从以上分析可知，当温度升高时，电桥失去平衡，检"0"放大器送出高电平，开放计数脉冲源，计数器开始计数，权电阻网络并联电阻，阻值逐渐减小，当减小到电桥重新平衡

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

时，计数脉冲源关闭，计数器所显示的数字量也就是实际温度值。

每次读数前，只要使计数器清“0”，计数器2秒钟内显示出被测温度值。为了方便起见，仪器内部有定时清“0”电路，每10秒钟刷新显示一次。

式(3)中，$K=R_1\cdot R'_3$，其物理意义是调R_1或R'_3可校准量程读数，R_t是铜电阻，虽然线性很好，当$R_t=f_{(t)}$斜率不同时，调整K值就能使数字量与实际温度相对应。当R_t实际温度是0℃时，使计数为“0”；调W_0使电桥平衡，检“0”放大器输出为“0”。当$R_t=100$℃时，电桥失去平衡，计数器开始计数，若电桥再次平衡时，计数器读数不是100，可调W_{100}，使计数器数值为100时停止计数。0℃与100℃校准好以后，其余各点不必校正。

W_0、W_{100}装在仪器底板后侧，调整方便，平时用锁紧螺母锁紧。

二、数字电桥测量原理

为什么图4中9个标准电阻的变化恰好能补偿R_t的变化呢？9个标准电阻对应的数字量又恰好能代表R_t的温度值呢？

因为在图4中，9个标准电阻的大小和其代表的数字量是成反比例的，即电阻越小，代表的数小字量就越大。为了分析方便起见，引入“基度”和“电导”。这样可以通过数学方法论证。

(一) 基数和电导

基数(x)：以80℃时标准电阻数值2.5K为基数x，其余可按比例列出，如40℃时5K为2x，20℃时10K为4x……列表如下：

表(二)

数字量	0.1	0.2	0.4	0.8	1	2	4	8	10	20	40	80	100
标准电阻	2M	1M	500K	250K	200K	100K	50K	25K	20K	10K	5K	2.5K	2K
基数	800x	400x	200x	100x	80x	40x	20x	10x	8x	4x	2x	x	0.8x
电导(y)	$\frac{1}{800x}$	$\frac{1}{400x}$	$\frac{1}{200x}$	$\frac{1}{100x}$	$\frac{1}{80x}$	$\frac{1}{40x}$	$\frac{1}{20x}$	$\frac{1}{10x}$	$\frac{1}{8x}$	$\frac{1}{4x}$	$\frac{1}{2x}$	$\frac{1}{x}$	$\frac{1}{0.8x}$

必须注意基数是个已知数2.5K。

上表中，电导y为电阻的倒数，$y=\frac{1}{R}$。80℃时，$y=\frac{1}{2.5K}=\frac{1}{x}$。40℃时$y=\frac{1}{2x}$。20℃时$y=\frac{1}{4x}$。表中y与数字量是一一相应的。

(二) R_t与y关系

以电桥平衡为条件，分析电导y变化和R_t变化的函数关系，即$R_t=f_{(y)}$。

设电桥BD桥臂总电阻为R_x，则R_x应为(R_2+W_0)与接入的标准电阻$R_{标}$的并联值。

$$R_x=\frac{R'_2\cdot R_{标}}{R'_2+R_{标}} \tag{4}$$

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$R'_2 = R_2 + W_。$$

$R_{标}$ 与电导 y 为倒数。可用 $\frac{1}{y}$ 表示，则

$$R_x = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{y}}{R_2 + \frac{1}{y}} = \frac{R_2}{R_2 y + 1} \tag{5}$$

根据电桥平衡条件：$R_t \cdot R_x = R_1 \cdot R_3$

$$\therefore \quad R_t = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_x} = \frac{R_1 \cdot R_3}{\frac{R_2}{R_2 y + 1}} = \frac{R_1 R_3 + R_1 R_3 R_2 y}{R_2}$$

$$= \frac{R_1 R_3}{R_2} + R_1 R_3 y \tag{6}$$

令 $$\frac{R_1 R_3}{R_2} = n \qquad R_1 R_3 = K$$

则 $$R_t = Ky + n \tag{7}$$

在数学上是一条直线。

图 5— a 画出了 $R_t = Ky + n$ 的直线，图 5— b 画出了G分度铜电阻的分度特性曲线，两线完全相同。所以电导也就是数字量。完全代表了被测温度 $t_。$。因此电路能正确地进行铜电阻的数字测量。

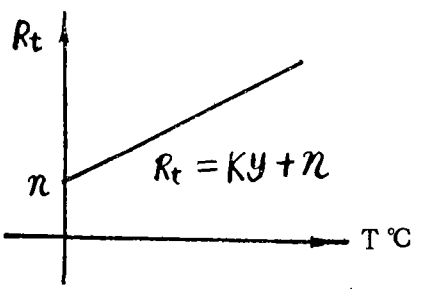


图 5—a

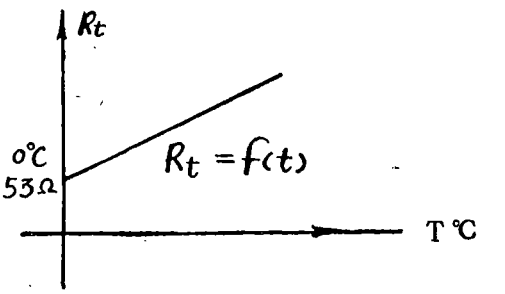


图 5—b

（三）电桥零点迁移与校满量程

1．零点迁移：当 y = 0 时，R_t 的值称为原点。在铜电阻测量时，$R_t = Ky + n$，因此原点就是 n。$n = \frac{R_1 R_3}{R'_2}$，改变 R'_2 就能改变原点，（不可改变 R_1 或 R_3，因 $K = R_1 R_3$。改变 R_1 或 R_3K 也变了）。改变原点的意义，实际是使 $R_t = Ky + n$ 线作上下平移，即“零点迁移”。$W_。$是一个 30Ω 电位器，调零点迁移。

2．校满量程：曲线的倾斜程度称为斜率，在铜电阻测量时，$R_t = Ky + n$，因此斜率就是 K。$K = R_1 R_3$，改变斜率的意义就是改变“满量程”。调 W_{100} 就是改变K值，也就是校准满量程。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

三、电桥参数设计

(一) 设计基本原则

1. R_t 电流不得超过 10ma，因电流过大时，由热电阻自热产生温升会造成附加误差。

2. 对电流而言，并联两臂相等时，电桥灵敏度最大，即要求 AC 桥臂电阻等于 BC 桥臂电阻，图 4 中 AC 桥臂是 R_t，G 分度铜电阻在 0℃ 时，$R_{t_0}=53\Omega$，在 100℃ 时 $R_{t100}=75.35\Omega$，因为 R_t 不是固定值，所以根据常温来确定 R_3。取 BC 桥臂电阻 $R_3=70\Omega$，$W_{100}=10\Omega$。

(二) 电桥电路计算

由于铜电阻 $R_t=f(y)$ 为一直线，因此只要取两点 t = 0℃ 和 t = 100℃ 即可。AC 桥臂除 R_t 铜电阻，还付加 10 米长引线电阻 5.3Ω，实际 $R_{t_0}=58.3\Omega$，$R_{t100}=80.82\Omega$。

已知：$R_{t_0}=58.30\Omega$，$y_0=0$，$R_{t100}=80.82\Omega$，$y_{100}=\frac{1}{0.8x}$，$R_3=70\Omega$，$K=R_1R_3$，$n=\frac{R_1R_3}{R_3}$

求 R_1、R_2

解：$R_{t_0}=Ky+n$ (3—1)

将 $y=0$ 代入 (3—1) 得 $R_{t_0}=n$

将 $y=10.8x$ 代入 (3—1)，得 $R_{100}=10.8xK+n$

$$\therefore \quad R_{t100}-R_{t_0}=\frac{1}{0.8x}K+n-n=\frac{1}{0.8x}K$$

$$K=0.8x(R_{t100}-R_{t0}) \qquad (3—2)$$

以 $x=2500$ 代入 (3—2) 式得 $K=0.8\times2500(80.82-58.30)=45040$。

由 $K=R_1\cdot R_3$ 得 $R_1=\frac{K}{R_3}=\frac{45040}{70}=643.4\Omega$

由 $R_{t_0}=n=\frac{R_1R_3}{R_2}$ 得 $R_2=\frac{R_1R_3}{R_{t_0}}=772.6\Omega$

在 R_2 回路里实际串入了零点迁移电位器，

$W_0=33\Omega$，中心值为 16.5Ω。

最后取 $R_1=643\Omega$，$R_2=759\Omega$，$W_0=33\Omega$ $W_{100}=10\Omega$，电桥电压取 + 6 伏。$I=\frac{6V}{R_{t_0}+R_1}=\frac{6}{58.3+643}\doteq8.5ma$，$I_{max}$ 不超过 10ma，符合要求。

根据上面计算，绘出实际电桥见图 6。

四、误差分析

从原理上分析，数字式罐头杀菌中心温度测试仪测量误差主要有以下几部分组成：(一) 权电阻误差，(二) 检“0”放大器的灵敏度限，(三) 干簧接点接触电阻。其余电路与误差无关。

在整个权电阻网路中，最小电阻是 2K，干簧接点电阻完全可以忽略不计。检“0”放大

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

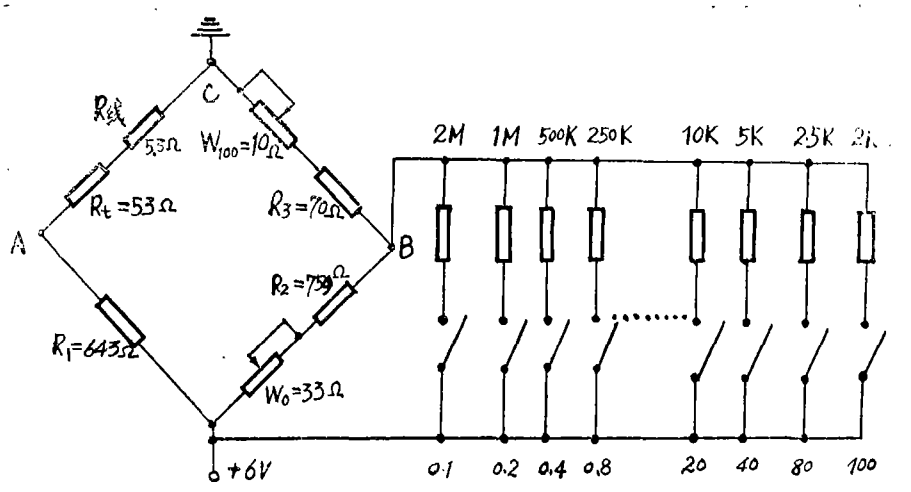


图 6

器采用了二级线性集成电路放大器，加入很深负反馈。放大倍数为 10^5，精度限达 0.1（℃），因此这种测量装置主要误差取决于电阻的精度，我们选用稳定的测量电阻，再经过负荷长时间老化，权电阻误差不大于 0.1%，测温探头是我们特别的精密铜电阻，仪器的总误差不大于±0.75℃。不管满量程还是低读数时，精度都是±0.75℃，这是指针式仪表和光电检流计望尘莫及的。

该仪器大部分电路是脉冲数字电路，这部分电路对读数精度没有影响，这是仪器的特点。脉冲数字电路对仪表的稳定性可靠性有很大关系，稳定性和可靠性的关键是抗干扰性能问题，关于抗干扰的有关措施在“工业数字程序控制装置可靠性与稳定性探讨”一文中已有详细论述，本文不再重复。

五、计 时 电 路

测量罐头杀菌中心温度时，定时记录是很重要的，为此该仪器有一套完整的时间电路，时基秒信号是将 50 周市电经二级二～十进制计数器 MOS 集成电路 50分频后得到，秒计数由二级十进制计数 MOS 集成电路组成 60 分频计数器，分计数是三位十进制计数器，该机全部用辉光数码管显示，显示清晰度高。

六、实际使用效果及有待进一步提高的若干问题的探讨

该仪器在上海梅林罐头厂多次与丹麦进口的 ellab-Zg 型罐头杀菌中心温度测试仪进行对照，其结果本基一致，在 80℃ 以上有效杀菌温度范围内偏差最大不超过±1℃，基本符合罐头杀菌温度的测定要求（见图 7）。

经无锡市计量局与二等精度的标准水银温度计进行对照，0℃～129℃ 范围内误差不大±1℃，列表于下：

标准温度(℃)	25.5	50	75	100	110	121	130
本仪器读数(℃)	25.4	51	76	100.8	110	120	129

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

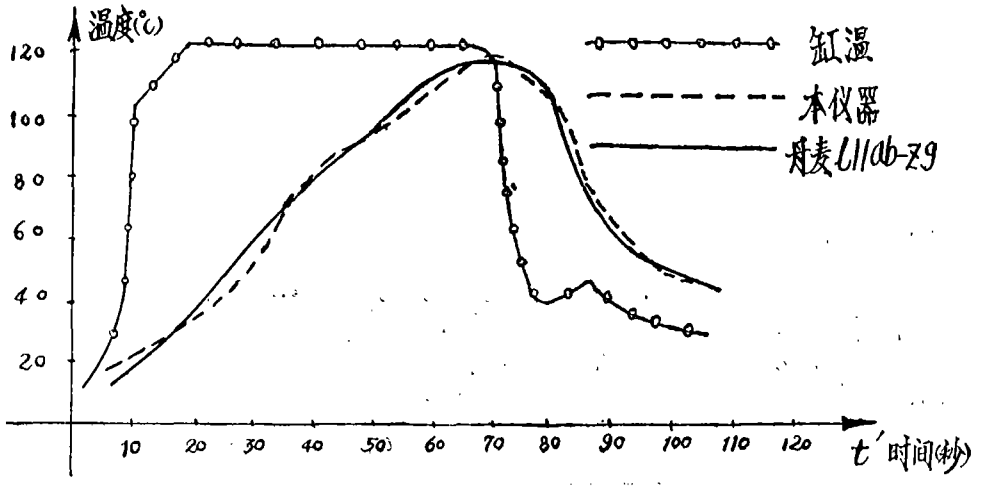


图7

图7本仪器与丹麦ellab-Zg仪器测397克午餐肉对照曲线。

根据上述情况，说明该方案是切实可行的。但是，为了满足生产发展的需要，该仪器还有以下几点需要进一步提高和改进。

（一）测量探头的机械强度问题。由于是测量罐头杀菌的中心温度，探头除头子上一点是金属的以外，其余应都是热的不良导体——非金属材料，目前使用的616环氧树脂加594固化剂，该树脂标称耐高温160℃以上，实际上在120℃已开始软化，使用寿命受到一定的限制。以改用聚碳酸脂工程塑料模压成型为好。该材料在150℃以下，机械强度和电性能都远远超过了616环氧树脂。

（二）导线的耐高温高湿防老化问题。因测温导线也进入杀菌设备，普通橡胶线在100℃以上易老化，使用寿命受到一定限制。以采用硅橡胶电缆为宜。

（三）可以配备计算电路，直读“F”值，并可以配备打字机直接打印出“F”值及中心温度，问题是如何降低造价，满足用户要求，

（四）本仪器是10秒清“0”刷新一次，显示部份可加门锁寄存器，实现门锁显示来解决。

（五）该仪器配上程序自动切换测温探头的系统，就可成为数字式温度巡回检测仪，它可以用在发酵、粮库、冷库等行业。配备打字机可以自动记录打印。该仪器所用的脉冲数字电路见总原理图

本研究曾得到上海梅林罐头厂、南京、镇江、南通等罐头厂、无锡市计量局的大力支持，特此致谢。

参 考 文 献

[1] 吉林大学常健生主编，检测与转换技术，机械工业出版社，1981.7。

[2] 哈尔滨工业大学吴训一主编，自动检测技术，机械工业出版社，1981.1。

[3] 华东电业管理局七二一大学编著，SXB-$\frac{30}{40}$型数字温度巡测仪，水利电力出版社，1978.5。

[4] (日)池原典利等著，晶体管电路设计(中文版)，国防工业出版社，1976.5。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

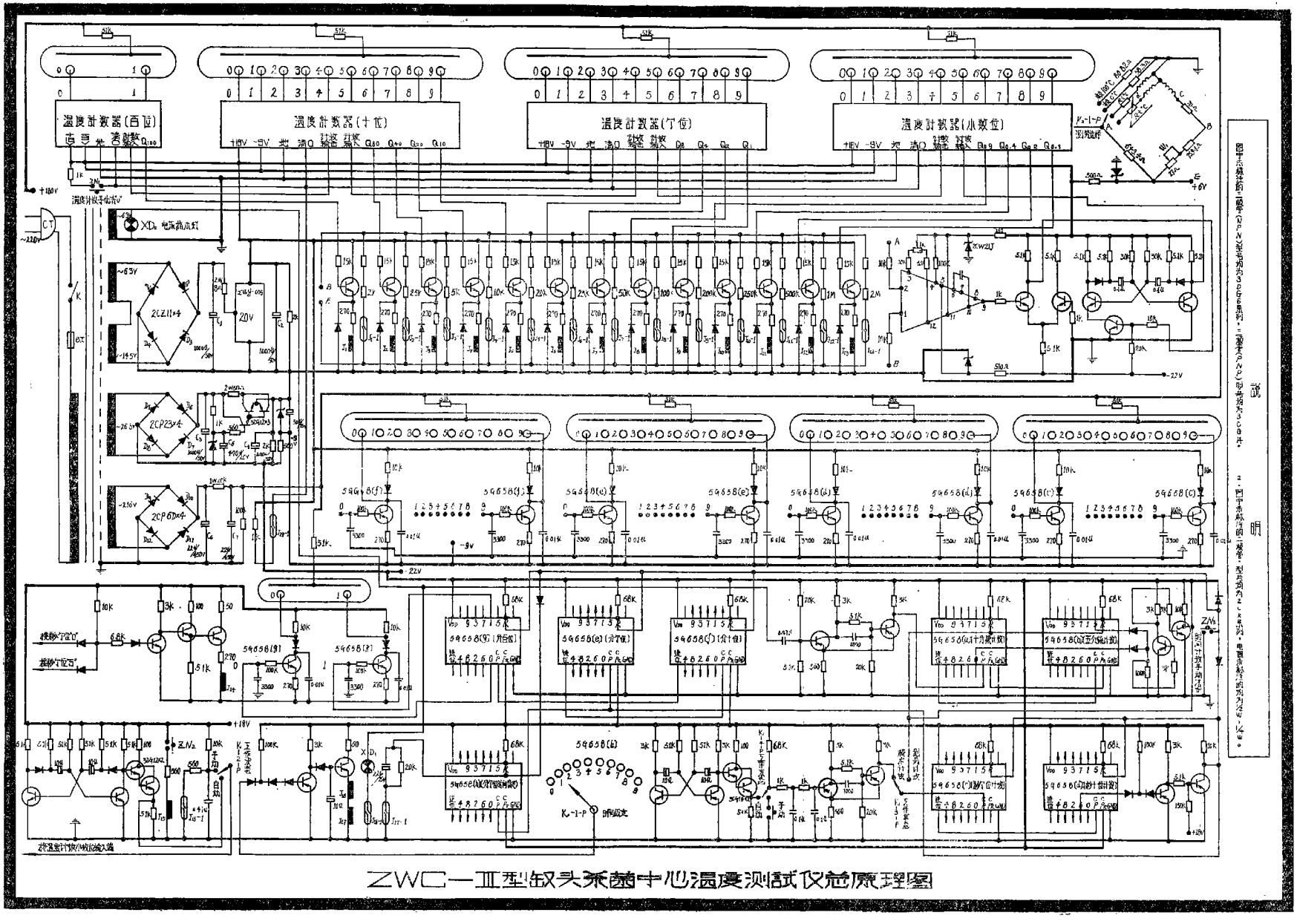
The Digital Type Self-Balancing Electronic Potentiometers for the Measurement of Central Temperature of Cans on Sterilizing

Zou Yong

Abstract

This article deals with the design principle of the instrnment for the central temperature measurement of cans, which is important to determine effective sterilizing process treatments and to assure effective guality control for food. This instrnment has not been prodnced in China and the industry depending on foreign import. Now it has been Settled by us, it results in wide applications, some of which are presented.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net