

氧气顶吹转炉炼钢

首都钢铁公司 编

一九七〇

鋼水快速結晶溫度定炭試驗總結

一九七〇年五月

最 高 指 示

抓革命，促生产，促工作，促战备。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来赶上和超过世界先进水平。

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。

目 录

一、前 言.....	1
二、工作原理.....	1
三、測量方法.....	2
四、影响因素.....	4
五、試驗結果及数据处理.....	7
六、結 語.....	11

一、前 言

伟大领袖毛主席指出、“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”这一光辉指示为我国科学技术事业的发展开辟了一条无限广阔的道路。

在蓬勃开展的社会主义革命竞赛运动中，我们首钢广大工人、革命干部和革命知识分子，遵循毛主席的伟大教导，在各个领域内大闹技术革新，以实际行动为伟大领袖毛主席争光，为伟大社会主义祖国争光。

随着氧气顶吹转炉炼钢工业的迅速发展，对钢中诸元素特别是对炭含量的分析，提出了更高的要求。不仅要速度快，精确度高，而且要求设备简单，操作方便，更主要的是为了实现炼钢过程的自动控制，要求在吹炼过程中能够定炭。

众所周知，炼钢工业常用的定碳方法是化学分析法。这种方法虽然具有分析准确，成本低廉的优点，但是耗费时间长。虽经各方努力，一再把炉前分析速度提高，但仍不低于两分钟。近年来，直读光谱仪有了很大的发展，能同时分析钢中的各种元素，但由于仪器复杂、庞大，不能直接装在炉前，从取样，制样到报出结果仍需4—5分钟，更由于价格昂贵，维护复杂，难以推广。

为了进一步提高氧气顶吹转炉钢的产量和质量，冶炼更多的品种，就必须寻求一种新的分析方法。为了攻破这一关，在中央首长的亲切关怀和革委会的领导下，我们高举《鞍钢宪法》的光辉旗帜，组成了以老工人为主体的三结合试验小组，开始进行国际上最近几年新发展起来的用钢水结晶温度(凝固温度)定碳的试验研究工作。在整个试验过程中我们反复学习毛主席“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来赶上和超过世界先进水平”的伟大教导，自力更生，艰苦奋斗，经过几个月的奋战，终于拿下了这个堡垒。使用效果表明：从倒样到报出结果只需12~15秒，是目前最快的一种定碳方法；精度为 $\pm 0.02\% \text{C}$ 和化学分析的精度相同。而且设备简单，操作方便。在此基础上，我们又取得了氧气顶吹转炉炉内结晶温度定碳的初步成功，为实现用电子计算机进行炼钢过程的动态控制打下了一定的基础。

这些成绩的取得，是毛主席“独立自主，自力更生”伟大方针指引的结果，是毛主席革命路线的伟大胜利。

二、工 作 原 理

众所周知，熔化成液体的纯金属，若缓慢冷却至一定温度时，会凝固(结晶)成固

体。从开始结晶到结晶完了整个过程始终保持在一个固定的温度，这个温度就是结晶温度。其所以在结晶过程中保持恒温，是因为结晶过程中有结晶潜热放出的缘故，待全部液体结晶完了之后，其温度才继续下降。如果绘出结晶过程的时间——温度曲线，将如图1所示。

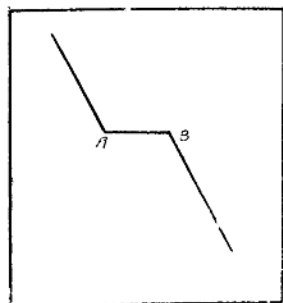


图1 纯金属结晶过程的

冷却曲线

炼钢过程的钢水主要是铁和碳，此外还有Si、Mn、P、S等元素，其起始结晶温度受这些元素含量的影响，其中起主导作用的是C，在C含量小于4%的情况下，C含量增加，其起始结晶温度下降。其他元素在一定范围内也是随着元素含量的增加而使起始结晶温度下降，而且各元素的作用是相互独立的，因此，如果其他元素的含量保持在一定的范围内，那么就可以认为钢水的起始结晶温度单值取决于含碳量。这样，如果事先通过试验测出起始结晶温度与碳含量的对应关系，那么对于未知碳含量的钢水，只要测得其起始结晶温度就能求出其含碳量来。这就是用钢水快速结晶温度来测定碳含量的原理。

在实践中，我们采用钢水连续冷却的方法，在连续冷却时，观察开始结晶温度是否与碳含量有一定的规律性，通过试验我们发现它们之间确实有一定规律性。

图1所示。

对于二元合金来说，有两种情况，一种是在液态和固态下均能互溶结晶成单相的固溶体，一种是有共晶析出的结晶成二相的固溶体。对于前者来说，由实验事实得知，对于其平衡的结晶过程，它们不是在一个固定的温度下结晶，而是在一个温度范围内结晶，如果绘出其结晶过程的冷却曲线，将如图2所示。图中A'点表示结晶开始的温度，B'点表示结晶终了的温度，A'B'段表示在该温度范围内，液体和结晶固体共存，A'点和B'点的位置依合金的种类及成份的不同

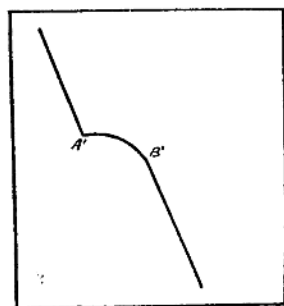
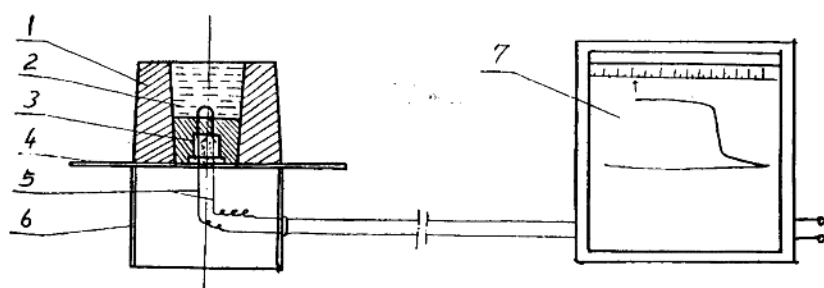


图2 无共晶析出的二元合金的结晶过程的冷却曲线

三、测量方法

1. 概述：钢水在连续冷却过程中，当达到由液相变固相的结晶温度时，在“温度——时间”记录曲线上就会出现明显的拐点，这拐点表示开始结晶的温度。在实验中，是将钢液倒入样模内，此模子下面装有一个定碳头，其中装有快速热电偶，偶丝经补偿导线连接至电子电位差计，因此能自动记录钢水结晶过程的冷却曲线，根据曲线上出现拐点的电势值(温度值)，按预先制定的表换算成对应的含碳量，其整个装置的示意图如图3所示。



- 1 样模 2 钢水 3 测碳头
4 圆盘 5 补偿导线 6 测碳头支座
7 电子电位差计

定碳装置示意图

图3 结晶温度定碳装置示意图

2. 测碳头结构:

测碳头由一U形石英管及微型铂铑——铂热电偶，用耐火水泥将其固定于一耐火粘土座上，如图4所示，测量时将其置于样模内。

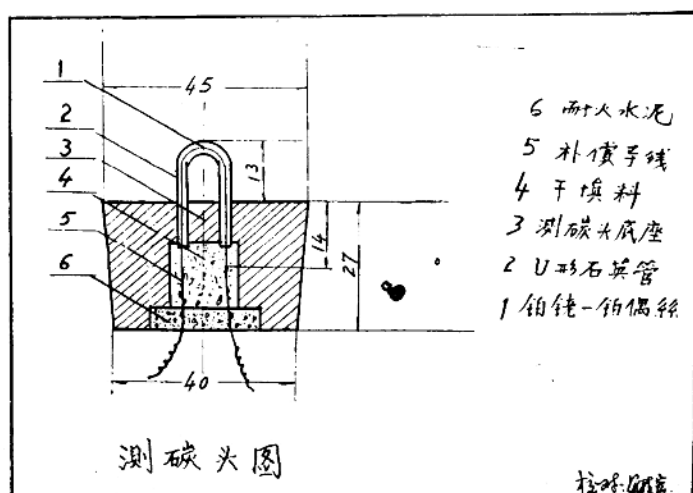


图 4

3. 二次测量仪表:

为了能够准确而快速地测量和记录钢水倒入模内的温度及连续冷却曲线，除测碳头要精心制作外，二次测量仪表也是一个极其关键的问题。这里所指的二次测量仪表是指

能自动记录下“时间~温度”曲线以及能指示出温度或毫伏数的电子电位差计，根据结晶温度的范围要有足够的精度，仪表的刻度应尽可能的窄，如14~16mV或14.5~16.5mV（或相应温度）。现在国内尚无专门用作定碳的自动电子电位差计，因此为了定碳之用，必须对一般的电子电位差计进行改装，使下限刻度为14.5毫伏，上限刻度为16.5毫伏，这样就可以测量由低碳到高碳的结晶温度；也可以将低碳和高碳分属于两个表。

为保证定碳精度在 $\pm 0.02\%C$ 以内，改制后的仪表要有足够的精度，并需经常定期校验其刻度；记录纸速度，长图表为2400mm/小时以上，园图表15分钟/周以内；指针全行程时间小于2.5秒，并应有热电偶冷端温度自动补偿，仪表抗干扰性要好。

我们试验用的仪表有两种：

(1) 国产EWY-1002型园图表（原为配幅射高温计之二次仪表），改成刻度为14.5~17毫伏，记录行走速度为15分/周，指针全程时间2.5秒，并加装冷端温度自动补偿。测量时读数由指针读取，记录曲线仅作为拐点依据。

(2) BT6NE型长图电位差计，原刻度0~1600°C，无冷端自动补偿，经改变工作电流后，使刻度变为全程1毫伏，测量时在讯号输入端线路中用UJ-1电位计反接串联一相应的电势，使刻度成为需要值，同时，也用UJ-1定期校验刻度值，指针全程时间2秒，记录纸行走速度3600毫米/小时。

4. 定碳头支座：

承放定碳头及样模的定碳头支座，可根据现场炉前条件自行设计，其要求是安全可靠又操作方便，我们曾设计制造了两种类型的支座，经过炉前实践，证明是适用的。其中一种的构造如附图4。

5. 样模：

由粘土耐火材料制成，亦可采用铸铁模，其结构见附图4。

6. 操作过程：

将定碳支座置于炉前，装好测炭头和二次仪表接好导线，开启仪表，指针即指在下限值。炉内取样操作和炉前一般取样操作方法一样，但取出钢水后，须加适量的铝丝脱氧，然后倒入特制的样模内。这时在样模内底部的微型热电偶发出信号，通过导线送到二次仪表，指针立刻指出相应的温度或电势值；记录笔则在记录纸上绘出连续的温度——时间曲线，等到钢水开始结晶时，由于结晶潜热的放出，使温度下降速度大大减小，记录曲线出现拐点，从而得知含碳量。

在取样、加铝脱氧以及倒样这些操作中，要求准确迅速；如果钢水在炉外耽搁时间过长，钢水温度下降太多，接近结晶温度，记录曲线不明显，测量不准确；此外渣子倒入样模内也会造成测量失效。如果加铝量少，脱氧不够，会造成沸腾，结果记录曲线摆动，影响读数，所以加铝量要适当。

四、影响因素

1. 测炭头铂铑——铂偶丝的分度及均匀性问题。

試驗中发现，將 $\phi 0.5\text{mm}$ 的鉑銻——鉑絲拔細成 $\phi 0.1\text{mm}$ 后，其热电势值降低，經退火处理后，也未能完全恢复。我們曾將細偶絲在鉑銻爐中和二等标准双鉑銻(30/6)偶进行同名极分度，发现在銅点(1083°C)降低30微伏，鉑点降低60~80微伏，而拔至 $\phi 0.07\text{mm}$ 的偶絲电势降低更多，銅点降低50~60微伏，鉑点降低100微伏以上，这样細偶絲的热电势标准化問題就需进一步試驗予以解决。

另外一个問題是，偶絲拔細后不仅热电势降低了，而且还发现有些偶絲均匀性亦滿足不了定碳的測試要求，因为結晶定碳热电势和含碳量的定量关系是每0.01%的碳相当于8~12微伏，所以对 $\pm 0.02\%$ C的精度要求偶絲的均匀性是比较严格的。在試驗过程中，我们对每批絲进行检查，选取均匀性好的偶絲制作定碳头。

2. 測炭头冷点温升問題。

从測炭头結構图可知，細偶絲冷点在石英管下面干填料中，此处冷点温度在測量过程中絕對不可超过 100°C ，否则將使示值降低。試驗中曾用銅——康銅測量过冷点温度及其升温情况，发现只要冷点在底座上平面以下大于要求尺寸时，则冷点是不会超出温度要求的。所以此种結構能滿足要求。但是，正負极高度必須在同一水平面上。試驗证明：如果正极鉑銻——銅接点上移，则由于增加热点电势，在一定延时后出现回升的记录曲綫，如照片中的图5所示；相反，如果負极鉑——銅銻二絲的接点上移，则由于降低热点电势，出现傾斜的记录曲綫，如照片中的图6所示。当然其他因素也会影响记录曲綫的形状。

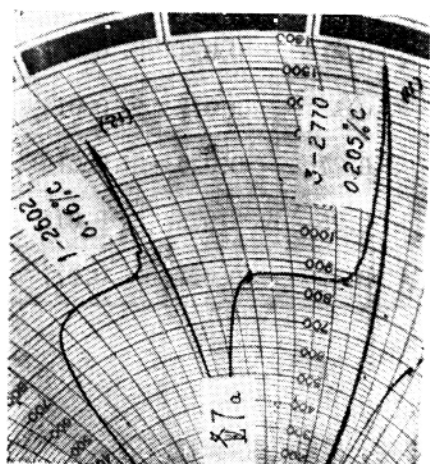


图 7a

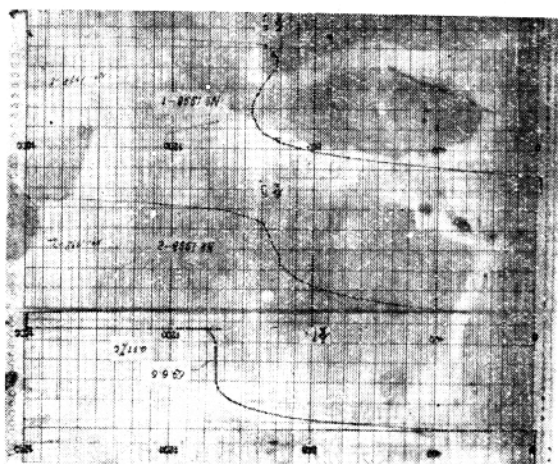


图 5、6、7b

所以，为了保证定碳的准确度，必須使偶絲的热点及冷点严格的控制在一定的位置上，热点必須位于石英管之中部，不得偏移过大。

3. 其他元素的影响。

Si、Mn、P、S的含量也分別降低钢水的起始結晶温度，它們的作用是相互独立的，但没有碳那么显著。对純氧頂吹转炉炼钢而言，終点钢水的Si、Mn、P、S是比较

稳定的，而且含量也很低，通过计算，它们的总含量约降低钢水结晶温度 1°C 左右。而中、高碳钢水中，Si、Mn、P、S 含量稍高，且在含碳量不同范围时其含量也稍异。试验中，不论低、高、中碳钢，Si、Mn、P、S 的影响，均已包括在内。只要这些元素含量变化不大，则对定碳的精度的影响可以忽略不计。下表列出了所测的高、中、低碳钢中一部份定碳试样内的 Si、Mn、P、S 含量。

表一 高、中、低碳钢的 Si、Mn、P、S 元素的含量

样 号	炉前分析含 碳 量 (%)	炉 后 分 析 (%)				
		C	Si	Mn	P	S
2814	1.03	1.09	0.030	0.37	0.027	0.014
2773	0.90	0.88	0.030	0.36	0.022	0.014
1825	0.79	0.75	0.020	0.30	0.033	0.020
3944	0.54	0.58	0.020	0.23	0.026	0.021
1830	0.37	0.42	0.020	0.28	0.020	0.025
2883	0.36	0.36	0.010	0.21	0.024	0.021
2860	0.24	0.21	0.030	0.32	0.017	0.013
2722	0.17	0.16	0.040	0.27	0.020	0.015
2681	0.14	0.13	0.10	0.25	0.025	0.011
2073	10	13	0.030	0.15	0.017	0.017

4. 测试中应注意的问题：

- (1) 脱氧要充分，但也不宜加铝过多；钢渣不得倒入模内，否则测量不准。
- (2) 测碳头及样模要干燥，否则倒入钢水时会产生沸腾，影响曲线的规律性。倒样要快、稳、连续。

(3) 测量导线不得和动力线平行，避免受强磁场的干扰，仪表按要求维护好，消除横向和纵向的干扰。

5. 试样冷却速度对结晶温度的影响(见附注)。

五、試驗結果及数据處理

用上述的試驗裝置，曾在3噸及30噸純氧頂吹轉爐上進行了幾批系統的拉碳取樣試驗，鐵水是由我公司煉鐵廠供給的煉鋼鐵水，其成份為：

元素	Si	Mn	P	S
含量(%)	0.60~1.0	0.40~0.60	0.08~0.1	0.015~0.035

測碳頭偶絲為上海同仁合金廠加工的 $\phi 0.1\text{mm}$ 的鉑及鉑鎢絲。在拔制後未退火，其熱電不均勻性的數據如下（和一級標準鉑鎢——鉑熱電偶在銅點同名極分度）：

第一支（頭） 負極540微伏，正極—775微伏，

熱電勢 10.4335mV ，鉑極純度 $R_{100}/R_0 = 1.390$

第二支（尾） 負極515微伏，正極—741微伏，

熱電勢 10.4394mV ，鉑極純度 $R_{100}/R_0 = 1.3901$

然後經管式爐退火處理：鉑絲 820°C ，30分鐘，鉑鎢絲 1040°C ，10分鐘，並進行均勻性檢驗。均勻性的試驗情況為：分別自鉑絲和鉑鎢絲相距長約20M的兩端各取一段，組成同名極，在爐中加熱至 1000°C — 1100°C 左右（冷端保持 0°C ），然後爐子斷電測量其熱電勢，發現鉑絲的不均勻電勢為1~2微伏，鉑鎢極為2~3微伏，因此認為可用。

在30噸轉爐從低碳（0.10%）到高碳（1.2%）取樣試驗，測得的曲線如照片中的圖7所示（7a為圓圖表所得之圖形，7b為長圖表所得之圖形）。從曲線拐平的起點讀下對應的電勢值，樣子經化學分析，得到一組原始數據。列成表二。

表二 炉前試驗原始数据

样 号	热 电 势 (MV)	化 学 分 析 碳 含 量 ($\frac{1}{100}\%$)	样 号	热 电 势 (MV)	化 学 分 析 碳 含 量 ($\frac{1}{100}\%$)
1—2813	14.73	128.5	3—1826	15.210	68
1—2810	14.78	122.5	3—2506	15.210	64
1—2724	14.82	114.5	3—1830—3	15.245	61
1—1830—1	14.89	105	3—1829—2	15.25	61
1—2814	14.90	103	3—3944	15.305	54
3—2894	15.01	89	3—1829—3	15.37	48
1—2723	15.02	90	3—2893	15.38	46
1—2812	15.06	85	3—2500	15.41	41
1—2777	15.07	83	3—1830—4	15.44	37
3—1830—2	15.09	82	3—1823	15.48	38.5
3—1825	15.045	79	3—2883	15.51	36
1—2776	15.115	77.5	1—2860	15.64	24
3—1824	15.15	73	3—2765	15.65	24
3—1828	15.165	71	1—2594	15.66	23
3—2829—1	15.17	69	1—2599	15.65	22
1—2811	15.17	69	1—2602	15.66	23.5
3—2508	15.182	69	1—2720	15.68	21
1—2809	15.68	22	1—2722	15.72	17
3—2770	15.685	19	1—2815	15.725	18
1—2676	15.69	19	1—2767	15.73	15
1—2598	15.70	20	1—2681	15.735	14
3—2769	15.70	21	1—2774	15.735	18
1—2675	15.70	18	1—2602	15.74	17.5
2—2983	15.70	19	3—2766	15.74	17
2—3026	15.715	18	1—2595	15.74	11.5
1—2674	15.72	21	1—2679	15.77	15
1—2678	15.72	18.5	1—2673	15.79	10

对于这组原始数据連同以前的数据，得出一电势值及含碳量的关系曲线，作出对照表如表三和表四所示。

根据试验结果，得出结晶定碳的偏差范围为：

±0.01%C以内占65%

±0.02%C以内占90.7%

±0.03%C以内占92.6%

表三 热电势值与钢水含碳量对照表

热 电 势 值 (MV)	对应含碳量 ($\frac{1}{100}\%$)	热 电 势 值 (MV)	对应含碳量 ($\frac{1}{100}\%$)	热 电 势 值 (MV)	对应含碳量 ($\frac{1}{100}\%$)
14.72	130.0	15.09	80.6	15.46	38.9
14.73	128.5	15.10	79.3	15.47	38.1
14.74	127.0	15.11	78.0	15.48	37.3
14.75	125.7	15.12	76.8	15.49	36.4
14.76	124.1	15.13	75.5	15.50	35.6
14.77	122.6	15.14	74.2	15.51	34.8
14.78	121.2	15.15	72.9	15.52	33.9
14.79	120.0	15.16	71.6	15.53	33.1
14.80	118.6	15.17	70.3	15.54	32.3
14.81	117.0	15.18	69.0	15.55	31.5
14.82	115.6	15.19	67.8	15.56	30.6
14.83	114.2	15.20	66.5	15.57	29.8
14.84	112.7	15.21	65.2	15.58	29.0
14.85	111.5	15.22	63.8	15.59	28.2
14.86	110.0	15.23	62.5	15.60	27.4
14.87	109.0	15.24	61.2	15.61	26.5
14.88	107.5	15.25	60.0	15.62	25.7
14.89	106.2	15.26	59.0	15.63	24.8
14.90	105.0	15.27	57.8	15.64	24.0
14.91	103.6	15.28	56.5	15.65	23.2
14.92	102.5	15.29	55.3	15.66	22.4
14.93	101.0	15.30	54.2	15.67	21.6
14.94	99.8	15.31	53.0	15.68	20.7
14.95	98.5	15.32	51.9	15.69	20.0
14.96	97.2	15.33	50.8	15.70	19.0
14.97	95.8	15.34	49.8	15.71	18.3
14.98	94.5	15.35	48.7	15.72	17.4
14.99	93.1	15.36	47.7	15.73	16.6
15.00	91.8	15.37	46.8	15.74	15.8
15.01	90.5	15.38	46.0	15.75	15.0
15.02	89.5	15.39	45.0	15.76	14.1
15.03	88.0	15.40	44.0	15.77	13.3
15.04	87.0	15.41	43.1	15.78	12.5
15.05	85.6	15.42	42.3	15.79	11.6
15.06	84.4	15.43	41.4	15.80	10.8
15.07	83.0	15.44	40.5	15.81	10.0
15.08	81.9	15.45	39.7	15.82	9.1

表四 钢水含碳量与热电势值对照表

含 碳 量 ($\frac{1}{100}\%$)	对 应 的 热 电 势 值 (MV)	含 碳 量 ($\frac{1}{100}\%$)	对 应 的 热 电 势 值 (MV)	含 碳 量 ($\frac{1}{100}\%$)	对 应 的 热 电 势 值 (MV)
130	14.72	89	15.023	48	15.358
129	14.727	88	15.031	47	15.368
128	14.734	87	15.039	46	15.379
127	14.741	86	15.047	45	15.390
126	14.748	85	15.055	44	15.400
125	14.755	84	15.063	43	15.411
124	14.762	83	15.071	42	15.423
123	14.768	82	15.079	41	15.434
122	14.775	81	15.087	40	15.445
121	14.782	80	15.095	39	15.457
120	14.789	79	15.103	38	15.470
119	14.796	78	15.111	37	15.482
118	14.803	77	15.118	36	15.494
117	14.810	76	15.126	35	15.507
116	14.818	75	15.134	34	15.519
115	14.825	74	15.142	33	15.531
114	14.832	73	15.150	32	15.543
113	14.839	72	15.157	31	15.556
112	14.846	71	15.165	30	15.568
111	14.853	70	15.173	29	15.580
110	14.861	69	15.181	28	15.592
109	14.869	68	15.188	27	15.605
108	14.876	67	15.196	26	15.619
107	14.884	66	15.204	25	15.629
106	14.892	65	15.212	24	15.641
105	14.900	64	15.219	23	15.653
104	14.907	63	15.227	22	15.666
103	14.915	62	15.235	21	15.678
102	14.923	61	15.242	20	15.690
101	14.930	60	15.250	19	15.702
100	14.938	59	15.259	18	15.714
99	14.936	58	15.267	17	15.726
98	14.953	57	15.275	16	15.738
97	14.961	56	15.284	15	15.750
96	14.969	55	15.292	14	15.762
95	14.977	54	15.301	13	15.774
94	14.984	53	15.310	12	15.786
93	14.992	52	15.319	11	15.798
92	15.000	51	15.328	10	15.810
91	15.007	50	15.337		
90	15.015	49	15.347		

六、結 語

綜上所述，可以看出，快速結晶溫度定炭的試驗是成功的，效果是良好的，其特点为：

1. 定炭速度快：从倒样到报出結果只需12~15秒，是目前最快的一种定炭方法；
2. 具有足够的精度：其精度 $\pm 0.02\% \text{C}$ ，和化学分析的精度相同；
3. 设备简单，操作方便。

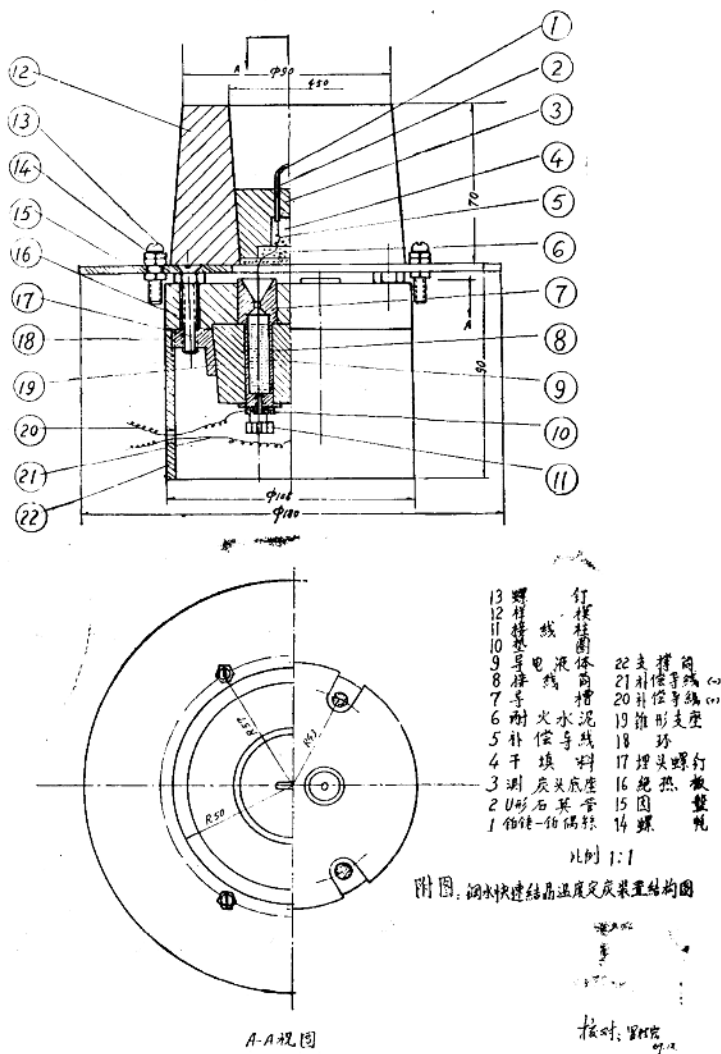
因此，这种定炭方法有普遍推广的意义。鉴于目前设备仪器的标准化、定型化的問題，特别是偶絲的标准化問題，尚未解决，所以建議冶金部向一机部提出，組織一定的工厂及研究部門，解决細偶絲的标准化問題，制出定型产品，供应使用部門。

在“五·一”前夕，在炉外钢水結晶溫度定炭的基础上，踢开了国外正在进行的軟結構投入式測溫定炭方法，初步試驗成功了水冷枪式測溫定炭裝置。这种方法是把炉外結晶溫度定炭的原理，应用到转炉炉内，在吹炼过程中，用水冷枪的传动裝置将定炭样杯伸到钢水中，钢水流进样杯内，在杯内装有快速微型电偶，几秒钟内测出进入杯内的钢水溫度。立即提升水冷枪；杯内钢水在上升过程中連續冷却，当达到結晶(凝固)溫度时，冷却曲綫出现拐点，根据起始結晶溫度，按已做好的結晶溫度和含炭量的单值曲綫得知含炭量。下一步准备进行系統的試驗，找出钢样的含炭量和熔池含炭量的关系，确定測量精度及影响因素，并进行过程既測溫又定炭的試驗，以便为进一步提高氧气頂吹转炉的产量和质量，扩大品种，以及实现冶炼过程的动态控制創造条件。

(参加炉外钢水結晶溫度定炭試驗工作的，除了首钢公司的同志外，还有四〇公司的同志)。

附注：

关于试样冷却速度对結晶溫度的影响，我們曾进行这样的試驗，即用铸铁模子和耐火材料的模子分別取样，发现铸铁模子所得出的曲綫的平台較窄，但未发现它对起始結晶溫度有可觀測的影响。此外，在不同的季节，气温有所变化，但也未观察到它对結晶溫度有明显的影響。



附 图 4