

乙酸乙酯皂化反应动力学研究

曹嘉祺 PB18030874

October 26, 2020

Abstract

实验中分别测定了 30°C 和 35°C 恒温下乙酸乙酯和氢氧化钠的混合溶液在不同时刻的电导率值, 从而计算出在 30°C 时的反应速率常数 k_1 和 35°C 时的反应速率常数 k_2 。并且由阿仑尼乌斯经验公式求得反应的活化能 E_a 。从而了解具有简单级数的化学反应的动力学特征, 并熟悉了电导率仪的使用方法。

• 关键词: 乙酸乙酯皂化反应, 速率常数, 电导率, 活化能, 反应级数

1 前言

化学动力学的基本任务之一是了解反应的速率, 了解各种因素 (如分子结构、温度、压力、浓度、介质、催化剂等) 对反应速率的影响; 另一个基本任务是研究反应历程。所谓反应历程, 就是反应物究竟按什么途径、经过哪些步骤才转化为最终产物^[1]。反应速率常数是化学反应一个重要的动力学参数。根据实验原理, 在某一恒定温度下, 只要氢氧化钠与乙酸乙酯的初始浓度相等, 就必然有下式成立^[2]:

$$\frac{L_0 - L_t}{L_t - L_\infty} = akt$$

要测定化学反应速率, 必须测出在不同反应时刻的反应物 (或生成物) 的浓度, 绘制出物质浓度随时间的变化的血线, 然后从图上求出不同反应时刻的速率。

测定反应物 (或生成物) 在不同反应时刻的浓度一般可用化学方法和物理方法。化学方法是在某一时刻取出部分物质, 并设法迅速使反应停止。然后进行化学分析, 这样可直接得到不同时刻某物质浓度的数值, 但实验操作则往往较繁; 物理方法是在反应过程中, 对某一种与物质浓度有关的物理量进行连续监测, 获得一些原位反应的数据。

乙酸乙酯皂化反应中, 固导电离子浓度随反应时间变化而变化, 因此可用电导率仪测量皂化反应进程中电导率随时间的变化, 从而达到跟踪反应物浓度随时间变化的目的, 经过作图和数据处理可得到反应的反应速率常数。

乙酸乙酯皂化反应是一个在化学和工业应用上均有着重大意义的有机反应, 此实验通过对其反应速率的研究, 确定反应速率常数, 并进一步测定出该反应的活化能。不同时刻各物质的浓度可用化学分析法测出, 例如分析反应中的 OH^- 浓度, 也可用物理电导法测量溶液的电导而求出。在本实验中我们采用电导法来测定。

2 实验部分

2.1 主要化学试剂

试剂	分子量	试剂规格	生产商
NaOH	40.01	AR	国药集团化学试剂有限公司
乙酸乙酯	88.11	AR	国药集团化学试剂有限公司
邻苯二甲酸氢钾	204.23		
酚酞			

2.2 主要仪器设备

仪器	数目	生产商
DDS-型电导率仪	1	SevenMulti
HK-2A 超级恒温水浴	1	南京大学应用物理研究所监制
JB-1B 型磁力搅拌器	1	上海雷磁新径仪器有限公司
电导池	1	
100mL 恒温夹套反应器	1	
0. 2mL, 100ml 移液管	1	
50mL 的烧杯	1	
50mL 滴定管	1	
250mL 锥形瓶	3	
吸耳球	1	

2.3 实验原理

化学反应动力学研究的两个方面为:

1. 化学反应速率研究
2. 化学反应机理 (或历程) 研究

乙酸乙酯皂化反应方程式为:



在反应过程中, 各物质的浓度随时间而改变 (注: Na^+ 离子在反应前后浓度不变)。若乙酸乙酯的初始浓度为 a , 氢氧化钠的初始浓度为 b , 当时间为 t 时, 各生成物的浓度均为 x , 此时刻的反应速度为:

$$\frac{dx}{dt} = k(a-x)(b-x)$$

式中, k 为反应的速率常数, 将上式积分可得:

$$kt = \frac{1}{a-b} \ln \frac{b(a-x)}{ab-x}$$

若初始浓度 $a=b$, 上式变为

$$\frac{dx}{dt} = k(a-x)^2$$

积分得

$$kt = \frac{x}{a(a-x)}$$

不同时刻各物质的浓度可用化学分析法测出, 例如分析反应中的 OH^- 浓度, 也可用物理法测量溶液的电导而求得。在本实验中我们采用后一种方法, 即用电导法来测定。

电导是导体导电能力的量度, 金属的导电是依靠自由电子在电场中运动来实现的, 而电解质溶液的导电是正、负离子向阳极、阴极迁移的结果, 电导 L 是电阻 R 的倒数。

$$L = \frac{1}{R} = L_g \frac{A}{l}$$

式中 A 为导体的截面积, l 为导体的长度, L_g 称电导率。它的物理意义是: 当 $l=1\text{m}$, $A=1\text{m}^2$ 时的电导。对一种金属, 在一定温度下, L_g 是一定的。对电解质溶液的 L_g 不仅与温度有关, 而且与溶液中的离子浓度有关。在有多种离子存在的溶液中, L_g 是各种离子迁移作用的总和, 它与溶液中离子的数目, 离子所带电荷以及离子迁移率有关。在本实验中, 由于反应是在较稀的水溶液中进行的, 我们可以假定 CH_3COONa 全部电离, 反应前后溶液中离子数目和离子所带电荷不变, 但由于 CH_3COO^- 的迁移率比 OH^- 的迁移率小, 随着反应的进行, OH^- 不断减少, CH_3COO^- 的浓度不断增加, 故体系电导率值会不断下降, 在一定范围内, 可以认为体系的电导率的减少量和 CH_3COO^- 的浓度 x 增加量成正比, 在 $t=t$ 时

$$x = K(L_0 - L_t)$$

式中 L_0 为起始时的电导率, L_t 为 t 时的电导率。当 $t=t_\infty$ 时反应終了 CH_3COO^- 的浓度为 a , 即:

$$a = K(L_0 - L_\infty)$$

式中 L_{∞} 即反应终了时的电导率, K 为比例常数, 于是得到:

$$kt = \frac{K(L_0 - L_t)}{aK((L_0 - L_{\infty}) - (L_0 - L_t))} = \frac{(L_0 - L_t)}{a(L_t - L_{\infty})}$$

或者写成:

$$\frac{L_0 - L_t}{L_t - L_{\infty}} = akt$$

或:

$$\frac{L_0 - L_t}{t} = akL_t - akL_{\infty}$$

从以上直线方程可知, 只要测定了 L_0 、 L_{∞} 以及一组 L_t 值后, 利用 $\frac{L_0 - L_t}{L_t - L_{\infty}}$ 对 t 作图, 应得一直线, 直线的斜率就是反应速度和初始浓度 a 的乘积。 k 的单位为 $\text{dm}^3\text{mol}^{-1}\text{min}^{-1}$ 。

反应的活化能可根据阿累尼乌斯公式求算:

$$\frac{d\ln k}{dT} = \frac{E_a}{RT^2}$$

积分得:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

式中 k_1 , k_2 分别对应于温度 T_1 , T_2 的反应速率常数, R 为气体常数, E_a 为反应的活化能^[3]。

2.4 实验过程

1. 打开恒温槽使其恒温在 30°C 。
2. 打开电导率仪。根据附录“电导率仪的使用”对电导率仪进行 0 点及满刻度校并认真检查所用电导电极的常数, 并用旋钮调至所需的位置。
3. NaOH 溶液的配制:(室温下) 用一个小烧杯配制少量的浓 NaOH 溶液, 在 1000ml 的广口瓶装入约 900ml 的蒸馏水, 将所选用实验仪器的测量电极插入水中, 电导率仪测量, 电磁搅拌条件下, 逐滴加入浓 NaOH 溶液到 $L=1300\sim 1400\mu\text{S/cm}$ 。
4. NaOH 溶液的滴定:(室温下) 将配制好的 NaOH 溶液用人工手动滴定管和酚酞指示剂在室温下进行浓度测定, 邻苯二甲酸氢钾为基准物, 重复三次以上, 取平均值。

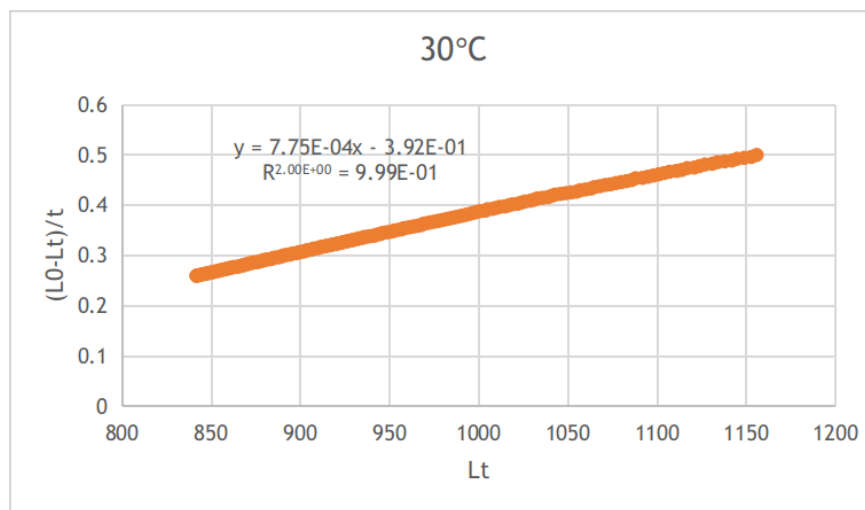
5. L_0 的测定:(30.00°C) 取 100ml 配制且滴定好的 NaOH 溶液置于恒温夹套反应器中, 插入洗净且吸干水的测量电极, 恒温 10 分钟, 等电导仪上的读数稳定后, 每隔 60s 读取一次数据。稳定后取三组数据。
6. L_t 的测定:(30.00°C) 完成 L_0 的测定后, 使用小容量的移液管移取所需用量的乙酸乙酯, 穿过大口玻璃套, 将乙酸乙酯全部放入溶液中, 不要遗留在玻璃套的内壁上, 以免浓度不准。放到一半时打开秒表计时, 读数平稳变化后, 尽快测量第一组数据, 以后每隔 10s 读一次数, 进行到 40 分钟后结束。
7. 按步骤 5,6,7 在第二个温度下进行测量。(35.00°C)

3 结果与讨论

3.1 实验结果

3.1.1 30 摄氏度

T=30°C 时, $(L_0 - L_t)/t$ 对 L_t 作图如下, 为了总结出线性规律, 本图舍去了前 50 个数据:

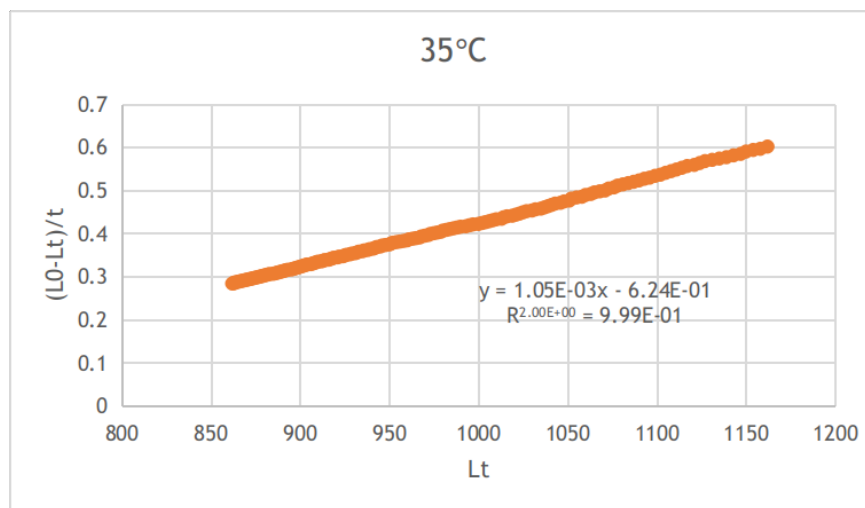


得

$$k_1 = \frac{b}{a} = \frac{7.75 \times 10^{-4}}{5.24 \times 10^{-3}} = 0.148 \text{ mol}/(\text{dm}^3 \cdot \text{s})$$

3.1.2 35 摄氏度

T=35°C 时, $(L_0-L_t)/t$ 对 L_t 作图如下, 为了总结出线性规律, 本图舍去了前 50 个数据:



得

$$k_2 = \frac{b}{a} = \frac{1.05 \times 10^{-3}}{5.24 \times 10^{-3}} = 0.200 \text{ mol}/(\text{dm}^3 \cdot \text{s})$$

3.1.3 活化能

由

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

得

$$E_a = R \cdot \ln \frac{k_2}{k_1} \left(\frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \right) = 68.21 \text{ kJ/mol}$$

3.2 实验讨论

1. 由 $(L_0-L_t)/t$ 与 L_t 关系图可知, 从反应后约 1-2 分钟开始至反应结束, 曲线图近似呈线性关系, 由 $\frac{L_0-L_t}{t} = akL_t - akL_\infty$ 可知直线斜率为 ak , 由此可以算出 k 值。由于公式是在已假设该反应为二级反应的基础上推导得出的, 而现在实验结果与理论基本一致, 故该图验证了乙酸乙酯皂化反应为二级反应。

2. 由 $T=30^{\circ}\text{C}, 35^{\circ}\text{C}$ 的图比较可知, 升温有利该反应的进行。事实上, 对绝大多数化学反应来说, 升高温度都会较程度的提高反应速率, 平均温度每升高 10°C , 反应速率提高 2~4 倍。
3. 反应开始阶段斜率为负, 且不成线性, 可能是由于本反应为吸热反应, 开始时温度会有所降低, 起始段数据作得的曲线反映的是略低温度下的 k 值; 此外, 可能是反应刚开始, 乙酸乙酯还没有被混合均匀, 局部浓度过高的缘故。故以上两种原因导致实验结果与实际 k 值有所差距, 舍弃该段数据拟合。
4. 乙酸乙酯皂化反应化学方法测定的速率常数——文献值为 $0.1070\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$, 可以看出本实验结果与文献值还是有一定偏差的, 现分析误差来源如下:
 - 由于反应初期阶段 t 值较小, 而且电导率仪还不是很稳定。故电导率测量的误差以及 t 值小的缘故将会给 $(L_0 - L_t)/t$ 带来较大误差, 从而影响到图线的拟合, 进一步影响到 k 值的计算。
 - 由于 NaOH 溶液会吸收空气中的 CO_2 , 而使其浓度发生变化, 而在滴定 NaOH 溶液时, 时间较长, 由于吸收 CO_2 , 故会影响滴定数据的准确性, 进而影响加入乙酸乙酯的量。又由于皂化反应过程中 NaOH 溶液还在不断吸收 CO_2 , 故也会影响实际参与皂化反应的 NaOH 溶液的量。
 - 在用移液管加入 NaOH 和乙酸乙酯时, 操作中移液管口一不小心很容易碰触到玻璃套, 这样就会造成损失, 从而也会对实验结果带来误差。
 - 实验仪器的精确性也会给实验带来误差。电导率仪的反应时间是 $\pm 0.5\%(\text{Fs})$, 对于乙酸乙酯皂化的缓慢反应来说可忽略不计; 移液管、滴定管等仪器也有一定的误差, 在操作中难免带来误差, 影响初始浓度, 造成 k 值偏差。
 - 乙酸乙酯皂化为有机反应, 反应过程复杂难以预知, 水溶液中电导率的情况也较复杂, 相同条件下重复实验测得的电导率值会有较大差别。
5. 由本实验我们也可以知道, 对于动力学的研究, 物理量及实验仪器的选择应该从以下几个方面考虑:
 - 反应前后体系的物理量变化显著;
 - 测的物质浓度成线性关系的特征物理量为最佳。

4 参考文献

- [1] 傅献彩, 沈文霞, 姚天扬. 物理化学. 第五版. 北京: 高等教育出版社, 2006.1
[2] 复旦大学等编. 物理化学实验 (上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979
[3] 崔献英, 柯燕雄, 单绍纯. 物理化学实验 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.4

5 附录: 实验数据记录与处理

5.1 NaOH 溶液浓度的计算

编号	1	2	3
邻苯二甲酸氢钾 (mg)	24.3	28.1	26.4
NaOH 用量 (ml)	22.65	26.24	24.70
浓度 (M)	0.00525	0.00524	0.00523

得出 NaOH 的浓度为 0.00524M

5.2 加入乙酸乙酯体积的计算

$$V = \frac{C_{NaOH} \times V_{NaOH} \times M}{\rho} = \frac{5.24 \times 10^{-6} \times 100 \times 88.11}{0.9} = 51.3 \mu L$$

5.3 计算反应速率常数 k

5.3.1 T=30°C=303.15K

1. L_0 的测定

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
15:42:12	1404	$\mu\text{S}/\text{cm}$	27.7	$^{\circ}\text{C}$
15:43:12	1407	$\mu\text{S}/\text{cm}$	28.8	$^{\circ}\text{C}$
15:44:13	1407	$\mu\text{S}/\text{cm}$	29.2	$^{\circ}\text{C}$
15:45:13	1407	$\mu\text{S}/\text{cm}$	29.5	$^{\circ}\text{C}$
15:46:13	1407	$\mu\text{S}/\text{cm}$	29.7	$^{\circ}\text{C}$
15:47:14	1407	$\mu\text{S}/\text{cm}$	29.9	$^{\circ}\text{C}$
15:48:14	1407	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30	$^{\circ}\text{C}$
15:49:15	1407	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.1	$^{\circ}\text{C}$
15:50:15	1407	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.1	$^{\circ}\text{C}$
15:51:15	1406	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.2	$^{\circ}\text{C}$
15:52:15	1406	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.3	$^{\circ}\text{C}$
15:53:16	1404	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.3	$^{\circ}\text{C}$
15:54:16	1404	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.3	$^{\circ}\text{C}$
15:55:16	1404	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.4	$^{\circ}\text{C}$
15:56:16	1403	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.4	$^{\circ}\text{C}$
15:57:17	1403	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.4	$^{\circ}\text{C}$
15:57:47	1403	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.5	$^{\circ}\text{C}$

2. L_t 的测定

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
16:00:58	1403	μS/cm	30.5	°C
16:01:08	1404	μS/cm	30.2	°C
16:01:18	1399	μS/cm	30.3	°C
16:01:28	1393	μS/cm	30.3	°C
16:01:38	1387	μS/cm	30.3	°C
16:01:48	1382	μS/cm	30.3	°C
16:01:58	1375	μS/cm	30.3	°C
16:02:09	1369	μS/cm	30.3	°C
16:02:18	1362	μS/cm	30.4	°C
16:02:29	1355	μS/cm	30.3	°C
16:02:39	1350	μS/cm	30.4	°C
16:02:49	1343	μS/cm	30.4	°C
16:02:59	1337	μS/cm	30.4	°C
16:03:09	1330	μS/cm	30.4	°C
16:03:19	1324	μS/cm	30.4	°C
16:03:29	1318	μS/cm	30.4	°C
16:03:39	1313	μS/cm	30.4	°C
16:03:49	1307	μS/cm	30.4	°C
16:04:00	1301	μS/cm	30.4	°C
16:04:09	1295	μS/cm	30.4	°C
16:04:20	1289	μS/cm	30.4	°C
16:04:29	1284	μS/cm	30.4	°C
16:04:40	1279	μS/cm	30.4	°C
16:04:50	1273	μS/cm	30.4	°C
16:05:00	1268	μS/cm	30.4	°C
16:05:10	1262	μS/cm	30.4	°C
16:05:20	1257	μS/cm	30.5	°C
16:05:30	1253	μS/cm	30.5	°C
16:05:40	1247	μS/cm	30.5	°C
16:05:50	1242	μS/cm	30.5	°C
16:06:00	1237	μS/cm	30.5	°C
16:06:10	1232	μS/cm	30.5	°C
16:06:20	1228	μS/cm	30.5	°C
16:06:30	1223	μS/cm	30.5	°C
16:06:41	1219	μS/cm	30.5	°C
16:06:50	1214	μS/cm	30.5	°C

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
16:07:01	1210	μS/cm	30.5	°C
16:07:11	1206	μS/cm	30.5	°C
16:07:21	1201	μS/cm	30.5	°C
16:07:31	1197	μS/cm	30.5	°C
16:07:41	1192	μS/cm	30.5	°C
16:07:51	1188	μS/cm	30.5	°C
16:08:01	1184	μS/cm	30.5	°C
16:08:11	1180	μS/cm	30.5	°C
16:08:21	1176	μS/cm	30.5	°C
16:08:31	1172	μS/cm	30.5	°C
16:08:41	1168	μS/cm	30.5	°C
16:08:52	1164	μS/cm	30.5	°C
16:09:01	1160	μS/cm	30.5	°C
16:09:12	1156	μS/cm	30.5	°C
16:09:22	1153	μS/cm	30.5	°C
16:09:32	1149	μS/cm	30.5	°C
16:09:42	1145	μS/cm	30.5	°C
16:09:52	1142	μS/cm	30.5	°C
16:10:02	1138	μS/cm	30.5	°C
16:10:12	1134	μS/cm	30.5	°C
16:10:22	1131	μS/cm	30.6	°C
16:10:32	1127	μS/cm	30.5	°C
16:10:42	1124	μS/cm	30.6	°C
16:10:52	1121	μS/cm	30.6	°C
16:11:02	1117	μS/cm	30.6	°C
16:11:13	1114	μS/cm	30.5	°C
16:11:22	1111	μS/cm	30.6	°C
16:11:33	1107	μS/cm	30.6	°C
16:11:43	1104	μS/cm	30.6	°C
16:11:53	1101	μS/cm	30.6	°C
16:12:03	1098	μS/cm	30.6	°C
16:12:13	1095	μS/cm	30.6	°C
16:12:23	1092	μS/cm	30.6	°C
16:12:33	1088	μS/cm	30.6	°C
16:12:43	1086	μS/cm	30.6	°C
16:12:53	1083	μS/cm	30.6	°C
16:13:03	1080	μS/cm	30.6	°C
16:13:13	1077	μS/cm	30.6	°C
16:13:24	1074	μS/cm	30.6	°C
16:13:33	1071	μS/cm	30.6	°C
16:13:44	1068	μS/cm	30.6	°C
16:13:54	1065	μS/cm	30.6	°C
16:14:04	1063	μS/cm	30.6	°C
16:14:14	1060	μS/cm	30.6	°C
16:14:24	1057	μS/cm	30.6	°C
16:14:34	1055	μS/cm	30.6	°C
16:14:44	1052	μS/cm	30.6	°C
16:14:54	1049	μS/cm	30.6	°C

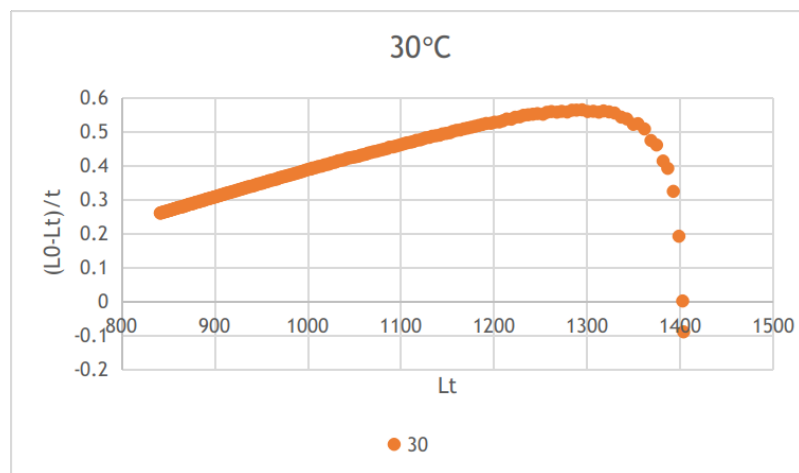
电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
16:15:04	1046	μS/cm	30.6	°C
16:15:14	1043	μS/cm	30.6	°C
16:15:24	1041	μS/cm	30.6	°C
16:15:34	1039	μS/cm	30.6	°C
16:15:44	1036	μS/cm	30.6	°C
16:15:54	1033	μS/cm	30.6	°C
16:16:05	1031	μS/cm	30.6	°C
16:16:14	1029	μS/cm	30.6	°C
16:16:25	1026	μS/cm	30.6	°C
16:16:35	1024	μS/cm	30.6	°C
16:16:45	1022	μS/cm	30.6	°C
16:16:55	1019	μS/cm	30.6	°C
16:17:05	1017	μS/cm	30.6	°C
16:17:15	1015	μS/cm	30.6	°C
16:17:25	1012	μS/cm	30.6	°C
16:17:35	1010	μS/cm	30.7	°C
16:17:45	1008	μS/cm	30.7	°C
16:17:55	1005	μS/cm	30.7	°C
16:18:05	1004	μS/cm	30.7	°C
16:18:15	1001	μS/cm	30.7	°C
16:18:25	999	μS/cm	30.6	°C
16:18:35	997	μS/cm	30.7	°C
16:18:46	995	μS/cm	30.7	°C
16:18:56	993	μS/cm	30.7	°C
16:19:06	991	μS/cm	30.7	°C
16:19:16	989	μS/cm	30.7	°C
16:19:26	987	μS/cm	30.7	°C
16:19:36	985	μS/cm	30.7	°C
16:19:46	983	μS/cm	30.7	°C
16:19:56	981	μS/cm	30.7	°C
16:20:06	979	μS/cm	30.7	°C
16:20:16	977	μS/cm	30.7	°C
16:20:26	975	μS/cm	30.7	°C
16:20:36	973	μS/cm	30.7	°C
16:20:46	971	μS/cm	30.7	°C
16:20:56	969	μS/cm	30.7	°C
16:21:07	968	μS/cm	30.7	°C
16:21:17	966	μS/cm	30.7	°C
16:21:27	964	μS/cm	30.7	°C
16:21:37	962	μS/cm	30.7	°C
16:21:47	960	μS/cm	30.7	°C
16:21:57	958	μS/cm	30.7	°C

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
16:22:07	957	μS/cm	30.7	°C
16:22:17	955	μS/cm	30.7	°C
16:22:27	953	μS/cm	30.7	°C
16:22:37	952	μS/cm	30.7	°C
16:22:47	950	μS/cm	30.7	°C
16:22:57	948	μS/cm	30.7	°C
16:23:07	946	μS/cm	30.7	°C
16:23:18	945	μS/cm	30.7	°C
16:23:28	943	μS/cm	30.7	°C
16:23:38	942	μS/cm	30.7	°C
16:23:48	940	μS/cm	30.7	°C
16:23:58	938	μS/cm	30.7	°C
16:24:08	936	μS/cm	30.7	°C
16:24:18	935	μS/cm	30.7	°C
16:24:28	933	μS/cm	30.7	°C
16:24:38	932	μS/cm	30.7	°C
16:24:48	930	μS/cm	30.7	°C
16:24:58	929	μS/cm	30.7	°C
16:25:08	927	μS/cm	30.8	°C
16:25:18	926	μS/cm	30.8	°C
16:25:28	924	μS/cm	30.8	°C
16:25:39	923	μS/cm	30.8	°C
16:25:49	921	μS/cm	30.8	°C
16:25:59	920	μS/cm	30.8	°C
16:26:09	918	μS/cm	30.8	°C
16:26:19	917	μS/cm	30.8	°C
16:26:29	915	μS/cm	30.8	°C
16:26:39	914	μS/cm	30.8	°C
16:26:49	912	μS/cm	30.8	°C
16:26:59	911	μS/cm	30.8	°C
16:27:09	910	μS/cm	30.8	°C
16:27:19	908	μS/cm	30.8	°C
16:27:29	907	μS/cm	30.8	°C
16:27:39	906	μS/cm	30.8	°C
16:27:49	904	μS/cm	30.8	°C
16:28:00	903	μS/cm	30.8	°C
16:28:10	902	μS/cm	30.8	°C
16:28:20	900	μS/cm	30.8	°C
16:28:30	899	μS/cm	30.8	°C
16:28:40	898	μS/cm	30.8	°C
16:28:50	896	μS/cm	30.8	°C

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
16:29:00	895	μS/cm	30.8	°C
16:29:10	894	μS/cm	30.8	°C
16:29:20	892	μS/cm	30.8	°C
16:29:30	891	μS/cm	30.8	°C
16:29:40	890	μS/cm	30.8	°C
16:29:50	889	μS/cm	30.8	°C
16:30:00	888	μS/cm	30.8	°C
16:30:10	886	μS/cm	30.8	°C
16:30:21	885	μS/cm	30.8	°C
16:30:31	884	μS/cm	30.8	°C
16:30:41	883	μS/cm	30.8	°C
16:30:51	881	μS/cm	30.8	°C
16:31:01	880	μS/cm	30.8	°C
16:31:11	879	μS/cm	30.8	°C
16:31:21	878	μS/cm	30.9	°C
16:31:31	877	μS/cm	30.8	°C
16:31:41	876	μS/cm	30.8	°C
16:31:51	874	μS/cm	30.9	°C
16:32:01	873	μS/cm	30.8	°C
16:32:11	872	μS/cm	30.8	°C
16:32:21	871	μS/cm	30.9	°C
16:32:31	870	μS/cm	30.9	°C
16:32:42	869	μS/cm	30.9	°C
16:32:52	868	μS/cm	30.9	°C
16:33:02	867	μS/cm	30.8	°C
16:33:12	866	μS/cm	30.9	°C
16:33:22	865	μS/cm	30.9	°C
16:33:32	863	μS/cm	30.9	°C
16:33:42	862	μS/cm	30.9	°C
16:33:52	861	μS/cm	30.9	°C
16:34:02	860	μS/cm	30.9	°C
16:34:12	859	μS/cm	30.9	°C
16:34:22	858	μS/cm	30.9	°C
16:34:32	857	μS/cm	30.9	°C
16:34:42	856	μS/cm	30.9	°C
16:34:52	855	μS/cm	30.9	°C
16:35:03	854	μS/cm	30.9	°C
16:35:13	853	μS/cm	30.9	°C
16:35:23	852	μS/cm	30.9	°C
16:35:33	851	μS/cm	30.9	°C
16:35:43	850	μS/cm	30.9	°C
16:35:53	849	μS/cm	30.9	°C

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
16:36:03	848	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.9	$^{\circ}\text{C}$
16:36:13	847	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.9	$^{\circ}\text{C}$
16:36:23	846	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.9	$^{\circ}\text{C}$
16:36:33	845	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.9	$^{\circ}\text{C}$
16:36:43	844	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.9	$^{\circ}\text{C}$
16:36:54	843	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.9	$^{\circ}\text{C}$
16:37:03	842	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.9	$^{\circ}\text{C}$
16:37:08	842	$\mu\text{S}/\text{cm}$	30.9	$^{\circ}\text{C}$

$(L_0 - L_t)/t$ 对 L_t 作图如下:



5.3.2 $T=35^{\circ}\text{C}=308.15\text{K}$

1. L_0 的测定

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
16:50:40	1375	μS/cm	25.9	°C
16:51:41	1416	μS/cm	28.7	°C
16:52:41	1430	μS/cm	29.8	°C
16:53:41	1439	μS/cm	30.6	°C
16:54:42	1446	μS/cm	31.2	°C
16:55:42	1450	μS/cm	31.7	°C
16:56:42	1453	μS/cm	32.1	°C
16:57:43	1455	μS/cm	32.3	°C
16:58:43	1457	μS/cm	32.6	°C
16:59:43	1458	μS/cm	32.8	°C
17:00:44	1460	μS/cm	32.9	°C
17:01:44	1462	μS/cm	33.1	°C
17:02:44	1465	μS/cm	33.2	°C
17:03:45	1463	μS/cm	33.3	°C
17:04:45	1459	μS/cm	33.4	°C
17:05:45	1463	μS/cm	33.5	°C
17:06:45	1464	μS/cm	33.6	°C
17:07:46	1463	μS/cm	33.6	°C
17:08:46	1458	μS/cm	33.7	°C
17:09:46	1461	μS/cm	33.7	°C
17:10:47	1462	μS/cm	33.8	°C
17:11:47	1451	μS/cm	33.8	°C
17:12:47	1451	μS/cm	33.8	°C
17:13:48	1458	μS/cm	33.9	°C
17:13:56	1459	μS/cm	33.9	°C

2. L_t 的测定

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
17:16:43	1459	μS/cm	33.9	°C
17:16:53	1457	μS/cm	34	°C
17:17:03	1444	μS/cm	34	°C
17:17:13	1437	μS/cm	34	°C
17:17:23	1431	μS/cm	34	°C
17:17:33	1425	μS/cm	34	°C
17:17:43	1421	μS/cm	34	°C
17:17:53	1415	μS/cm	34	°C
17:18:03	1399	μS/cm	34	°C
17:18:13	1390	μS/cm	34	°C
17:18:23	1385	μS/cm	34	°C
17:18:33	1380	μS/cm	34	°C
17:18:44	1373	μS/cm	34	°C
17:18:53	1368	μS/cm	34	°C
17:19:04	1356	μS/cm	34	°C
17:19:14	1346	μS/cm	34	°C
17:19:24	1339	μS/cm	34	°C
17:19:34	1332	μS/cm	34	°C
17:19:44	1320	μS/cm	34	°C
17:19:54	1313	μS/cm	34	°C
17:20:04	1307	μS/cm	34	°C
17:20:14	1300	μS/cm	34	°C
17:20:24	1292	μS/cm	34	°C
17:20:35	1286	μS/cm	34	°C
17:20:44	1281	μS/cm	34	°C
17:20:54	1276	μS/cm	34	°C
17:21:04	1268	μS/cm	34	°C
17:21:14	1261	μS/cm	34	°C
17:21:25	1256	μS/cm	34	°C
17:21:35	1250	μS/cm	34	°C
17:21:45	1245	μS/cm	34	°C
17:21:55	1240	μS/cm	34	°C
17:22:05	1235	μS/cm	34	°C
17:22:15	1230	μS/cm	34	°C
17:22:25	1225	μS/cm	34	°C
17:22:35	1220	μS/cm	34	°C
17:22:45	1216	μS/cm	34.1	°C
17:22:55	1212	μS/cm	34.1	°C
17:23:05	1207	μS/cm	34.1	°C
17:23:16	1202	μS/cm	34.1	°C
17:23:25	1199	μS/cm	34.1	°C
17:23:36	1194	μS/cm	34.1	°C
17:23:46	1190	μS/cm	34.1	°C
17:23:56	1186	μS/cm	34.1	°C

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
17:24:06	1182	μS/cm	34.1	°C
17:24:16	1177	μS/cm	34.1	°C
17:24:26	1173	μS/cm	34.1	°C
17:24:36	1169	μS/cm	34.1	°C
17:24:46	1166	μS/cm	34.1	°C
17:24:56	1162	μS/cm	34.1	°C
17:25:07	1158	μS/cm	34.1	°C
17:25:16	1154	μS/cm	34.1	°C
17:25:26	1150	μS/cm	34.1	°C
17:25:36	1147	μS/cm	34.1	°C
17:25:46	1143	μS/cm	34.1	°C
17:25:57	1139	μS/cm	34.1	°C
17:26:07	1135	μS/cm	34.1	°C
17:26:17	1131	μS/cm	34.1	°C
17:26:27	1127	μS/cm	34.1	°C
17:26:37	1124	μS/cm	34.1	°C
17:26:47	1121	μS/cm	34.1	°C
17:26:57	1117	μS/cm	34.1	°C
17:27:07	1114	μS/cm	34.1	°C
17:27:17	1111	μS/cm	34.1	°C
17:27:27	1108	μS/cm	34.1	°C
17:27:37	1105	μS/cm	34.1	°C
17:27:48	1102	μS/cm	34.1	°C
17:27:57	1099	μS/cm	34.1	°C
17:28:08	1096	μS/cm	34.1	°C
17:28:17	1093	μS/cm	34.1	°C
17:28:28	1090	μS/cm	34.1	°C
17:28:38	1087	μS/cm	34.1	°C
17:28:48	1084	μS/cm	34.1	°C
17:28:58	1081	μS/cm	34.1	°C
17:29:08	1078	μS/cm	34.1	°C
17:29:18	1076	μS/cm	34.1	°C
17:29:28	1073	μS/cm	34.1	°C
17:29:39	1071	μS/cm	34.1	°C
17:29:48	1068	μS/cm	34.1	°C
17:29:58	1065	μS/cm	34.1	°C
17:30:08	1063	μS/cm	34.1	°C
17:30:18	1060	μS/cm	34.1	°C
17:30:29	1058	μS/cm	34.1	°C
17:30:38	1055	μS/cm	34.1	°C
17:30:49	1052	μS/cm	34.1	°C
17:30:59	1051	μS/cm	34.1	°C

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
17:31:09	1048	μS/cm	34.1	°C
17:31:19	1046	μS/cm	34.2	°C
17:31:29	1043	μS/cm	34.1	°C
17:31:39	1041	μS/cm	34.1	°C
17:31:49	1039	μS/cm	34.1	°C
17:31:59	1037	μS/cm	34.1	°C
17:32:09	1035	μS/cm	34.1	°C
17:32:19	1032	μS/cm	34.2	°C
17:32:29	1030	μS/cm	34.1	°C
17:32:39	1027	μS/cm	34.1	°C
17:32:49	1025	μS/cm	34.1	°C
17:33:00	1023	μS/cm	34.2	°C
17:33:10	1021	μS/cm	34.2	°C
17:33:20	1019	μS/cm	34.2	°C
17:33:30	1016	μS/cm	34.2	°C
17:33:40	1014	μS/cm	34.2	°C
17:33:50	1013	μS/cm	34.2	°C
17:34:00	1010	μS/cm	34.2	°C
17:34:10	1008	μS/cm	34.2	°C
17:34:20	1006	μS/cm	34.2	°C
17:34:30	1004	μS/cm	34.2	°C
17:34:40	1002	μS/cm	34.2	°C
17:34:50	1000	μS/cm	34.2	°C
17:35:00	997	μS/cm	34.2	°C
17:35:10	995	μS/cm	34.2	°C
17:35:21	993	μS/cm	34.2	°C
17:35:31	990	μS/cm	34.2	°C
17:35:41	988	μS/cm	34.2	°C
17:35:51	986	μS/cm	34.2	°C
17:36:01	984	μS/cm	34.2	°C
17:36:11	982	μS/cm	34.2	°C
17:36:21	980	μS/cm	34.2	°C
17:36:31	979	μS/cm	34.2	°C
17:36:41	977	μS/cm	34.2	°C
17:36:51	975	μS/cm	34.2	°C
17:37:01	973	μS/cm	34.2	°C
17:37:11	972	μS/cm	34.2	°C
17:37:21	970	μS/cm	34.2	°C
17:37:32	968	μS/cm	34.2	°C
17:37:42	967	μS/cm	34.2	°C
17:37:52	965	μS/cm	34.2	°C

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
17:38:02	963	μS/cm	34.2	°C
17:38:12	961	μS/cm	34.2	°C
17:38:22	960	μS/cm	34.2	°C
17:38:32	958	μS/cm	34.2	°C
17:38:42	956	μS/cm	34.2	°C
17:38:52	954	μS/cm	34.2	°C
17:39:02	952	μS/cm	34.2	°C
17:39:12	951	μS/cm	34.2	°C
17:39:22	950	μS/cm	34.2	°C
17:39:32	948	μS/cm	34.2	°C
17:39:42	946	μS/cm	34.2	°C
17:39:53	945	μS/cm	34.2	°C
17:40:03	943	μS/cm	34.2	°C
17:40:13	942	μS/cm	34.2	°C
17:40:23	941	μS/cm	34.2	°C
17:40:33	939	μS/cm	34.2	°C
17:40:43	938	μS/cm	34.2	°C
17:40:53	936	μS/cm	34.2	°C
17:41:03	935	μS/cm	34.2	°C
17:41:13	933	μS/cm	34.2	°C
17:41:23	932	μS/cm	34.2	°C
17:41:33	931	μS/cm	34.2	°C
17:41:43	929	μS/cm	34.2	°C
17:41:53	928	μS/cm	34.2	°C
17:42:04	926	μS/cm	34.2	°C
17:42:14	925	μS/cm	34.2	°C
17:42:24	924	μS/cm	34.2	°C
17:42:34	922	μS/cm	34.2	°C
17:42:44	921	μS/cm	34.2	°C
17:42:54	919	μS/cm	34.2	°C
17:43:04	918	μS/cm	34.2	°C
17:43:14	917	μS/cm	34.2	°C
17:43:24	916	μS/cm	34.2	°C
17:43:34	914	μS/cm	34.2	°C
17:43:44	913	μS/cm	34.2	°C
17:43:54	912	μS/cm	34.2	°C
17:44:04	910	μS/cm	34.2	°C
17:44:15	909	μS/cm	34.2	°C
17:44:25	908	μS/cm	34.2	°C
17:44:35	907	μS/cm	34.2	°C
17:44:45	906	μS/cm	34.2	°C
17:44:55	904	μS/cm	34.2	°C

电脑时间	电导率	电导率单位	温度	温度单位
17:45:05	903	μS/cm	34.2	°C
17:45:15	902	μS/cm	34.2	°C
17:45:25	901	μS/cm	34.2	°C
17:45:35	900	μS/cm	34.2	°C
17:45:45	899	μS/cm	34.2	°C
17:45:55	898	μS/cm	34.2	°C
17:46:05	897	μS/cm	34.2	°C
17:46:15	896	μS/cm	34.2	°C
17:46:25	895	μS/cm	34.2	°C
17:46:36	893	μS/cm	34.2	°C
17:46:46	892	μS/cm	34.2	°C
17:46:56	891	μS/cm	34.2	°C
17:47:06	890	μS/cm	34.2	°C
17:47:16	889	μS/cm	34.2	°C
17:47:26	888	μS/cm	34.2	°C
17:47:36	887	μS/cm	34.2	°C
17:47:46	886	μS/cm	34.2	°C
17:47:56	885	μS/cm	34.2	°C
17:48:06	883	μS/cm	34.2	°C
17:48:16	882	μS/cm	34.2	°C
17:48:26	881	μS/cm	34.2	°C
17:48:36	880	μS/cm	34.2	°C
17:48:47	879	μS/cm	34.2	°C
17:48:57	878	μS/cm	34.2	°C
17:49:07	877	μS/cm	34.2	°C
17:49:17	876	μS/cm	34.2	°C
17:49:27	875	μS/cm	34.2	°C
17:49:37	874	μS/cm	34.2	°C
17:49:47	873	μS/cm	34.2	°C
17:49:57	872	μS/cm	34.2	°C
17:50:07	871	μS/cm	34.2	°C
17:50:17	870	μS/cm	34.2	°C
17:50:27	869	μS/cm	34.2	°C
17:50:37	868	μS/cm	34.2	°C
17:50:47	867	μS/cm	34.2	°C
17:50:58	866	μS/cm	34.2	°C
17:51:08	865	μS/cm	34.2	°C
17:51:18	864	μS/cm	34.2	°C
17:51:28	863	μS/cm	34.2	°C
17:51:38	863	μS/cm	34.2	°C
17:51:46	862	μS/cm	34.2	°C

$(L_0 - L_t)/t$ 对 L_t 作图如下:

