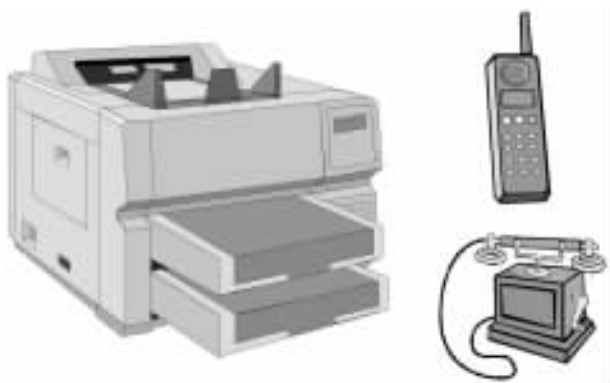


电子废料回收与利用丛书

废通讯器材与材料的回收利用

周全法 尚通明 主编



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

废通讯器材与材料的回收利用/周全法, 尚通明主编.
北京: 化学工业出版社, 2003. 10
(电子废料回收与利用丛书)
ISBN 7-5025-4859-9

I. 废… II. ①周…②尚… III. ①通讯-设备-废物
回收②通讯-设备-废物综合利用 IV. X76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 093682 号

电子废料回收与利用丛书
废通讯器材与材料的回收利用
周全法 尚通明 主编
责任编辑: 朱 彤
责任校对: 凌亚男
封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
材料科学与工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订
开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 281 千字
2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-4859-9/TN·10
定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

本书编写人员

主 编	周全法	尚通明	
编写人员	陈太洪	朱 雯	蒋心亚
	王 琪	周 健	叶招莲
	李 锋	王海峰	

出版者的话

进入 21 世纪，和平与发展已经成为世界主旋律。发展经济、不断满足人类在物质和精神生活上日益增长的各类需求，是 21 世纪人类面临的重大任务。在满足上述需求的过程中必然带来的一个重大问题是大量废弃，其后果必然是资源的极大浪费和严重的环境污染。从材料角度讲，这些废弃物只是暂时失去了使用价值，其基本特征并未发生变化。正因为如此，人们通常将各种废弃物统称为“二次资源”，以区别于石油等一次性天然资源。

近年来，信息技术、信息载体和信息材料得到了飞速发展。与其他产品一样，由电子材料组成的各种电子产品都有一个使用寿命问题：当电子产品使用一段时间以后，最终都将被淘汰并进入废弃物行列。当前，各类电子废料已经成为增长最快的固体废弃物之一：废电脑、废家电、废通讯工具等废弃电器以及制造这些电器过程中产生的各类废弃物占用着大量资源，对这些废旧电子器件和电子材料的不合理处置和回收又会给环境造成极大污染。因此，广泛开展有关废旧电器和各类废旧电子材料回收利用方面的研究，使这些宝贵的二次资源得到科学合理的资源化和无害化处置，对保证人类所需生产和生活资源的永续，促进人类的可持续发展具有十分重要的意义。

二次资源的资源化是指对二次资源进行一系列处理，使其中较有使用价值的组分和材料重新转化为目前可以直接使用的材料的过程。对废旧电器和各类电子废料而言，其中所含组分和材料种类与生产这些电器和电子材料所需组分和材料基本相同。以废电脑的资源化为例，生产一台电脑所用材料的原料多达 1000 多种。这些材料的组合方式和组合技术水平的高低决定了计算机硬件的档次和性能的好坏，构成了丰富多彩的硬件世界。然而，当一台电脑报废以

后，将这些材料一一分开并恢复到原样是不可能的。目前有关电子废料的资源化只是对其中特别有价值的组分和材料（如各种贵金属元素和铜、铝、铅、锡等贱金属元素）进行再生和利用，资源化整体水平不高，而且在资源化过程中的污染问题还没有完全得到解决。因此，在电子废弃物的资源化过程中提出无害化处置的要求是非常必要的。目前在二次资源的回收利用过程中，对环境造成的污染相当惊人，甚至有时比二次资源不回收利用所造成的危害还要大。如何解决该难题，是二次资源处置过程中必须重点考虑的问题之一。对各类电子废料而言，通常应当考虑以下几方面的问题。

（1）回收利用工艺的全面性 在制订电子废弃物的回收利用方案时，除了考虑贵金属和贱金属的回收利用率以外，必须将回收利用过程中产生的废气、废液和废渣的治理问题放在与贵金属和贱金属的回收利用率同等重要的地位。如果某一回收方案不能解决二次污染问题，则必须放弃该回收工艺。

（2）集中处理 由于单件废旧电器和电子材料的回收利用价值较低，将电子废弃物尽可能集中处置是减少资源化过程中二次污染的一条有效途径：集中处置可以充分利用各类废弃物的有用资源，并利用处理设备解决回收过程中的污染问题，尽可能地向无害化处理的目标迈进。

（3）滞后处理 对于目前暂时还无法做到无害化处理的电子废料，将其暂时集中放置是一条明智之举。例如，电脑的板卡、显示器等，如果当初没有得到真正的无害化处理，应当通过适当拆解后再集中储存，以便今后找到科学合理的无害化处置方案后再统一处理，这样会比现在简单地用火法或酸碱浸泡的方法处理要好得多。

（4）政府协调、加大投入 无论对何种二次资源进行无害化处理，其处置过程都涉及环保、化工、冶金、电子等众多学科，其科学技术研究跨度很大，有关工作必须得到政府部门的大力协调和全社会的支持和理解。

目前，国内各类电子材料回收利用方面的研究刚刚起步，这方面的图书相对较少。为了配合国内电子材料回收利用领域的发展，

我社组织了一批在电子废料回收利用方面较有影响的专家和学者编写了一套《电子废料回收与利用丛书》，这套丛书包括《废电脑及配件与材料的回收利用》、《废通讯器材与材料的回收和利用》、《废旧家电与材料的回收利用》、《电镀废弃物与材料的回收利用》、《废电子元器件与材料的回收利用》、《废电池与材料的回收利用》等。我们希望这套丛书的出版对于我国电子废料回收利用领域的发展起到一定的推动作用。但是，由于该领域涉及面较广并且国内这方面的研究工作刚刚开始，诚望广大读者提出宝贵意见，以便我们改进工作更好地为读者服务。

化学工业出版社

2003 年 10 月

前 言

大量生产、大量消费、大量废弃是当今社会经济活动的特征之一，对大量废弃物的妥善处置是大量生产和消费的保证。进入 21 世纪以后，我国正从通讯器材生产和消费大国向废弃大国发展。处置好包括废通讯器材在内的电子废弃物，对于资源和环境保护，同时实现我国经济的快速和持续增长具有重大意义。

由于废通讯器材的成分与报废前通讯器材的成分基本一致，所含的多种化学原料中包含着铅、锡、镉等多种对人体和环境有害的物质，同时也含有一定数量的金、银等贵金属材料。出于经济原因，人们通常要对其中的有价值材料进行回收利用。但是，由于没有成功的无害化处置和回收废通讯器材的技术，大量流入个体回收作坊的废通讯器材的处置和回收现状对环境的危害触目惊心。其实，废旧通讯器材是一座宝贵的矿山，只要利用得当，在获得丰厚经济效益的同时可以做到资源利用与环境保护的协调和统一。废通讯器材回收利用的收益主要表现在以下几个方面。

(1) 从回收利用过程中所得材料的销售收入 例如，占废通讯器材总质量约 40% 的各类金属材料（包括铜、铁、铅、锡等贱金属和金、银、铂、钯等贵金属）是废通讯器材及其配件回收利用的主要产品，其价值的高低相当程度上决定于各种金属的回收率和相互分开的程度。回收工艺和水平决定上述两种因素。

(2) 是回收利用过程中得到的热能。

(3) 是无害化回收利用废通讯器材带来的环境效益和促进新型通讯器材消费的连带效应。这一部分收益尽管回收企业不能直接得到，但对整个电子行业而言，收益是巨大的。

目前，对于包括废通讯器材在内的工业废弃物的再生利用问题已经逐步引起世界各国的重视，再生资源利用已经成为世界看好的

阳光产业。本书将主要从材料利用和回收角度介绍通讯器材的组成和结构及废通讯器材中金、银、铂、钯等贵金属和铜、铅、锡、镍等贱金属的回收利用、废通讯器材中的材料分析方法以及回收利用过程中如何防止和治理二次污染等方面的知识，以期废通讯器材的全面资源化和实现资源化过程中的无害化处置提供必要的知识和技术支撑。但由于废通讯器材的处置是涉及电子、信息、材料、机械、环境等各方面知识的系统工程，限于作者的专业和知识结构，许多问题有待进一步探讨。本书若能起到抛砖引玉的作用，引起全社会对废通讯器材等电子废料的回收利用以及保护资源和环境的重视，我们将感到非常欣慰，这也是我们编著此书的初衷。

全书共分成 9 章。其中第 1、第 2、第 3 章由尚通明、陈太洪、蒋心亚、李锋和王海峰等同志完成；第 8 章由周健和周全法同志完成；第 9 章由叶招莲和周全法同志完成；第 7 章由王琪同志完成。其余各章均由周全法和朱雯同志完成。全书由周全法同志负责统稿。在本书编著过程中，江苏技术师范学院科技处等有关部门对本课题的研究给予大力支持和帮助，化学工业出版社的领导和编辑为本书的顺利出版付出辛勤劳动。在此，谨向各位关心支持本书出版和从事废旧电器回收利用行业的各位同志表示衷心感谢！

书中内容涉及面较宽，由于作者水平有限，可能会存在一些问题和不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2003 年 10 月

目 录

第 1 章 通讯器材的发展概况和趋势	1
1.1 通讯和通讯工具	1
1.1.1 通讯系统的基本组成	1
1.1.2 通讯系统的分类及通讯方式	2
1.1.3 通讯网的分层结构	5
1.1.4 通讯网的支撑技术	6
1.1.5 通讯终端	7
1.2 通讯器材所用材料	13
1.2.1 高分子材料	13
1.2.2 贵金属材料	17
1.2.3 其他有色金属材料	48
1.3 常用通讯器材的发展概况	55
1.3.1 电话机的发展概况	55
1.3.2 手机的发展概况	57
1.3.3 传真机的发展概况	59
1.3.4 传呼机的发展概况	61
1.3.5 电脑的发展概况	63
1.3.6 交换机的发展概况	65
第 2 章 通讯器材的工作原理和基本构造	67
2.1 信号的发送和接收	67
2.1.1 信号与无线电波	67
2.1.2 无线电信号的发射	68
2.1.3 无线电波的传播	70
2.1.4 无线电信号的接收	71
2.2 信号发送设备	73
2.2.1 无线电广播概述	73
2.2.2 发射机工作原理	74

2.3	信号接收设备	76
2.3.1	电话机的基本构造和工作原理	76
2.3.2	手机的基本构造和工作原理	84
2.3.3	传真机的基本构造和工作原理	87
2.3.4	传呼机的基本构造和工作原理	92
2.3.5	电脑的基本构造和工作原理	94
2.3.6	交换机的基本构造和工作原理	98
第3章	废通讯器材的拆解和材料的分类	102
3.1	废通讯器材的拆解和材料分类处理原则	102
3.1.1	无机和有机材料分开处理原则	102
3.1.2	贵金属和贱金属材料分开处理原则	103
3.1.3	防止二次污染原则	103
3.2	废手机的拆卸和材料的分类	104
3.2.1	拆卸天线和机壳	104
3.2.2	拆卸前机壳、玻璃护镜和 SIM 挡板	105
3.2.3	拆卸麦克风和耳塞	105
3.2.4	拆卸其他部件	106
3.2.5	手机拆解材料的分类	107
3.3	废传真机的拆卸和材料的分类	108
3.3.1	正面、背面和右侧盖板的拆卸	108
3.3.2	存储器电路板的拆卸	109
3.3.3	电源单元的拆卸	109
3.3.4	主控制电路板的拆卸	110
3.3.5	网络控制电路板的拆卸	111
3.3.6	记录和扫描单元、调制解调器接口电路板和扬声器的拆卸	111
3.3.7	荧光灯的拆卸	113
3.3.8	左侧盖板、操作面板、操作控制电路板和光耦器 PC1 和 PC2 的拆卸	113
3.3.9	传感器电路板的拆卸	115
3.3.10	感热记录头单元的拆卸	115
3.3.11	自动文件进纸辊和走纸辊的拆卸	116
3.3.12	脉冲电机单元、切纸器单元和记录纸压辊的拆卸	116
3.3.13	废传真机拆解材料的分类	118

3.4	废电脑的拆卸和材料的分类	119
3.4.1	拆卸主机	119
3.4.2	电脑零部件的拆卸	122
3.4.3	显示器的拆卸	126
3.4.4	废电脑拆解材料的分类	127
3.5	废传呼机的拆卸和材料的分类	127
第4章	废通讯器材中金、银、钯、铂的回收	129
4.1	废通讯器材中金的回收	129
4.1.1	废通讯器材中金的回收原理和方法	130
4.1.2	火法冶金技术回收废通讯器材中的金	136
4.1.3	湿法冶金技术回收废通讯器材中的金	137
4.1.4	生物技术回收废通讯器材中金的展望	141
4.2	废通讯器材中银的回收	142
4.2.1	一般工业含银废弃物中回收银的原理和方法	142
4.2.2	火法冶金技术回收废通讯器材中的银	150
4.2.3	湿法冶金技术回收废通讯器材中的银	151
4.3	废通讯器材中钯的回收	154
4.3.1	废通讯器材中钯的回收原理和方法	154
4.3.2	废通讯器材板卡中钯的回收	156
4.3.3	电容器中钯的回收	159
4.4	废通讯器材中铂的回收	161
4.4.1	铂的回收原理和方法	162
4.4.2	火法冶金技术回收废通讯器材中的铂	165
4.4.3	湿法冶金技术回收废通讯器材中的铂	165
4.4.4	铂的精炼	167
第5章	其他有色金属的回收和重金属废水的治理	173
5.1	废通讯器材中镍的回收	173
5.1.1	硫酸浸出-碳酸镍转化法	174
5.1.2	硫酸浸出-氢氧化镍转化法	175
5.1.3	化学沉淀-电解回收法	176
5.1.4	氨水络合精制法	177
5.1.5	多级沉淀回收法	178
5.1.6	萃取除杂回收法	178

5.2	废通讯器材中铜的回收	180
5.2.1	火法工艺回收	180
5.2.2	湿法工艺回收	183
5.3	废通讯器材中铅的回收	184
5.3.1	火法工艺回收铅并副产锗	184
5.3.2	湿法工艺回收铅	185
5.4	废通讯器材中锡的回收	187
5.5	废通讯器材回收中的重金属废水治理	188
5.5.1	化学技术治理	189
5.5.2	物理化学技术治理	193
5.5.3	生物化学技术治理	197
第6章	通讯器材生产过程中贵金属的回收	199
6.1	贵金属电子浆料生产过程中贵金属的回收	199
6.1.1	贵金属电子浆料的类型	200
6.1.2	贵金属电子浆料的生产	202
6.1.3	含银电子浆料生产过程中贵金属废料的产生和回收利用	204
6.2	压电陶瓷器件生产过程中贵金属的回收	214
6.2.1	压电陶瓷器件的生产过程	214
6.2.2	贵金属废料的产生	216
6.2.3	压电陶瓷器件生产过程中贵金属废料的回收工艺	217
6.3	电容器生产过程中贵金属的回收	220
6.4	电位器生产过程中贵金属的回收	222
6.5	PCB 生产过程中贵金属的回收利用	223
6.5.1	PCB 板的生产和贵金属废料的产生	223
6.5.2	从报废的 PCB 板及其边角料中回收贵金属的工艺	226
第7章	废通讯器材中的金属分析	229
7.1	样品的预处理	230
7.1.1	分析方法的选择	230
7.1.2	分析样品的采集	230
7.1.3	金属分析的制样	231
7.2	金的分析	235
7.2.1	铅试金法	236
7.2.2	还原重量法	237

7.2.3	碘量法	238
7.2.4	硫酸亚铁铵-重铬酸钾滴定法	239
7.3	银的分析	240
7.3.1	硫氰酸盐滴定法	240
7.3.2	EDTA 滴定法	242
7.3.3	电位滴定法	243
7.4	铂的分析	244
7.4.1	甲酸还原重量法	244
7.4.2	氯铂酸铵沉淀重量法	245
7.4.3	SnCl_2 吸光光度法	245
7.5	钯的测定	247
7.5.1	丁二酮肟重量法	247
7.5.2	丁二肟沉淀分离——EDTA 返滴定法	247
7.6	铜的测定	248
7.6.1	恒电流电解法	249
7.6.2	碘量法	253
7.6.3	EDTA 络合滴定法	256
7.7	锡的测定	257
7.7.1	络合滴定法	257
7.7.2	铁粉还原-碘酸钾滴定法	260
7.7.3	次磷酸钠还原-碘酸钾滴定法	262
7.8	铅的测定	265
7.8.1	铬酸铅沉淀-亚铁滴定法	266
7.8.2	EDTA 容量法	268
7.9	铬的测定	269
7.9.1	过硫酸铵氧化滴定法	271
7.9.2	高氯酸氧化容量法	273
7.10	镉的测定	274
7.11	汞的测定 (硫氰酸钾容量法)	276
7.12	钛的分析	278
7.13	镍的分析	280
7.13.1	丁二酮肟沉淀重量法	281
7.13.2	丁二酮肟沉淀分离——EDTA 滴定法	282

第 8 章 废通讯器材中高分子材料的回收与利用	284
8.1 通讯器材中的高分子材料	284
8.2 废塑料的回收利用工艺	287
8.2.1 国外废塑料回收工艺	289
8.2.2 国内废塑料回收工艺	293
8.3 废橡胶的回收利用工艺	295
8.3.1 从废橡胶生产再生橡胶工艺	295
8.3.2 废橡胶的高温热解及利用工艺	297
第 9 章 废通讯器材回收中的环境保护和经济效益	298
9.1 废通讯器材回收中的环境保护和效益	298
9.1.1 环境保护与可持续发展	298
9.1.2 环境保护与经济发展	299
9.1.3 我国废通讯器材无害化处置的必要性	300
9.1.4 废通讯器材回收的效益	301
9.2 废通讯器材回收中的废水治理	304
9.2.1 酸碱废水的治理	304
9.2.2 重金属废水的治理	306
9.2.3 氰化废水的治理	309
9.2.4 有机废水的治理	311
9.3 废通讯器材回收中的废气治理	314
9.3.1 废气治理方法	314
9.3.2 酸溶过程的废气治理	316
9.3.3 金属铸锭过程中的废气治理	316
9.3.4 高分子材料再生过程中的废气治理	320
9.4 废通讯器材回收中的废渣治理	321
参考文献	322

第 1 章 通讯器材的发展概况和趋势

1.1 通讯和通讯工具

按照传统的理解，通讯就是信息的传递与交换。在当今信息社会，通讯与传感技术、计算技术紧密结合，成为整个社会的高级“神经中枢”。没有通讯，人类社会是不可想像的。一般来说，社会生产力的发展要求社会通讯水平与之相适应。若通讯的水平跟不上，社会成员之间的合作程度就会受到限制。可见，通讯是十分重要的。

1.1.1 通讯系统的基本组成

通讯的目的是传输消息。消息具有不同的形式，例如符号、文字、语音、音乐、数据、图片、活动图像等。因而根据所传递消息的不同，目前通讯业务可分为电报、电话、传真、数据传输及可视电话等。

通讯的基本形式是在信源（信号源）与信宿（受信者）之间建立信号传输的通道，实现信息的传输。但是由于信源与信宿之间的不确定性和多元性，在它们之间的信息传递方式不是固定的。为了便于分析，可根据通讯系统的构成模型，将各种通讯技术归纳如图 1-1 所示。点与点之间建立的通讯系统的基本组成包括信源、变换器、信道、噪声源、反变换器及信宿六大部分。信源是产生各种信息（如语音、文字、图像及数据等）的信息源：可以是发出信息的人，也可以是发出信息的机器，如计算机等。不同的信息源构成不同形式的通讯系统。

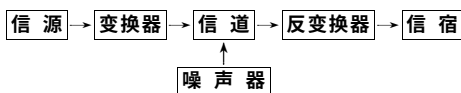


图 1-1 点与点单向通讯系统构成模型

变换器的作用是将信源发出的信息变换成适合在信道中传输的

信号。对应不同的信源和不同的通讯系统，变换器有着不同的组成和变换功能。例如对于数字电话通讯系统，变换器则包括送话器和模/数变换器等。模/数变换器的作用是将送话器输出的模拟语音信号经过模/数变换器、编码并时分复用等处理后，变换成适合于在数字信道中传输的信号。

信道是信号的传输媒介。信道按传输介质的种类可以分为有线信道和无线信道。在有线信道中电磁信号被约束在某种传输线上传输；在无线信道中电磁信号沿空间传输。信道如果按传输信号的形式可以分为模拟信道和数字信道。

反变换器的作用是将信道上接收的信号变换成信息接收者可以接收的信息。反变换器的作用与变换器正好相反，起着还原作用。

信宿是信息的接收者，它可以与信源相对应，构成人-人通讯或机-机通讯，也可以与信源不一致，构成人-机通讯或机-人通讯。

噪声源是指系统内外各种干扰影响的等效结果。系统的噪声来自各个部分：从发出和接收信息的周围环境、各种设备的电子器件，到信道所受到的外部电磁干扰（如发动机、电动机），都会对信号形成噪声影响。为了分析问题方便，一般将系统内外所存在的干扰均折合到信道中，用噪声源表示。

以上所述的通讯系统只能实现两用户之间的单向通讯，要想实现双向通讯还需另一个通讯系统实现相反的信息传送。而要实现多用户之间的通讯，就需要将多个通讯系统结合起来形成通讯网。多用户之间的相互通讯，最简单的方法是在任意两用户之间均有线路相连。但由于用户众多，这种方法不但会造成线路的巨大浪费，而且也是不能够实现的。为了解决这个问题，引入了交换机，每个用户都通过与交换机相连，任何用户间的通讯都要经过交换机的转换交接。由此可见，图 1-1 所示的是两个用户间的专线模型，而实际使用的通讯系统一般是多级交换的通讯网。

1.1.2 通讯系统的分类及通讯方式

1.1.2.1 通讯系统的分类

(1) 按信息的物理特征分类 根据信息物理特征的不同，通讯

系统可以分为电报通讯系统、电话通讯系统、图像通讯系统等。由于电话通讯网最为发达普及，因而其他信息常常通过公共电话网传送。例如，电报常通过电话信道传送，计算机也常常利用电话信道传送数据。在综合业务通讯网中，各种类型的信息都在统一的通讯网中传送。

(2) 按调制方式分类 根据信息是否采用调制，可将通讯系统分为基带传输和频带（调制）传输。基带传输是将未经调制的信号直接传送，如音频市内电话；频带传输是对各种信号调制后传输的总称。

(3) 按信号的特征分类 按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号，可以相应地把通讯系统分为模拟通讯系统和数字通讯系统两类。

(4) 按传输媒介分类 按传输媒介，通讯系统可分为有线和无线两类。

(5) 按信号的复用方式分类 传送多路信号有三种复用方式，即频分复用、时分复用和码分复用。

传统的模拟通讯中大都采用频分复用。随着数字通讯的发展，时分复用系统的应用越来越广泛。码分复用多用于空间扩频通讯系统，目前开始用于移动通讯系统中。

1.1.2.2 通讯方式

对于点与点之间的通讯，按信息传送的方向与时间关系，通讯方式可分为单工通讯、半双工通讯及全双工通讯三种。所谓单工通讯是指信息只能单方向传输的工作方式，如图 1-2（a）所示。所谓半双工通讯是指通讯双方都能收发消息，但不能同时进行收发的工作方式，如图 1-2（b）所示。所谓全双工通讯，是指通讯双方都能同时进行收发消息的工作方式，如图 1-2（c）所示。

在数字通讯中，按照数字信号码元排列方法不同，有串行传输和并行传输之分。所谓串行传输，是将数字信号码元序列按时间顺