第2章 线性表

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

2.1 线性表的类型定义

2.2 线性表的顺序表示和实现

2.3 线性表的链式表示和实现

2.4 顺序表和链表的比较

2.5 线性表的应用

知识回顾

顺序表的特点：以物理位置相邻表示逻辑关系。

顺序表的优点：任一元素均可随机存取。

顺序表的缺点：进行插入和删除操作时，需移动大量的元素。

存储空间不灵活。

2.3 线性表的链式表示和实现

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

- 链式存储结构
  - 结点在存储器中的位置是任意的，即逻辑上相邻的数据元素在物理上不一定相邻

- 线性表的链式表示又称为非顺序映像或链式映像。

2.3 线性表的链式表示和实现

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

- 用一组物理位置任意的存储单元来存放线性表的数据元素。
- 这组存储单元既可以是连续的，也可以是不连续的，甚至是零散分布在内存中的任意位置上的。
- 链表中元素的逻辑次序和物理次序不一定相同。

2.3 线性表的链式表示和实现

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

例: 线性表: (赵、钱、孙、李、周、吴、郑、王)

顺序表

存储地址	存储状态
0031	赵
0033	钱
0035	孙
0037	李
0039	周
0041	吴
0043	郑
0045	王

链表

存储地址	存储状态	
0001	李	0043
0007	钱	0013
0013	孙	0001
0019	王	NULL
0025	吴	0037
0031	赵	0007
0037	郑	0019
0043	周	0025

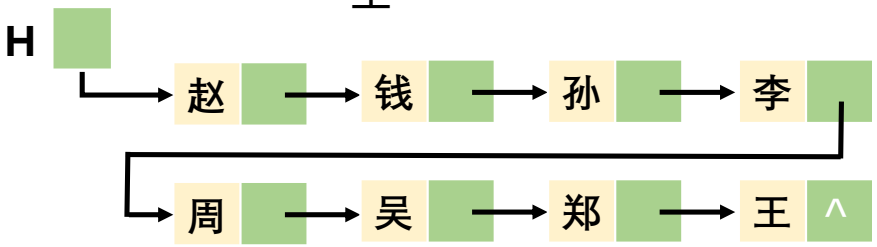
2.3 线性表的链式表示和实现

杭州电子科技大学 HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

例: 线性表: (赵、钱、孙、李、周、吴、郑、王)

顺序表

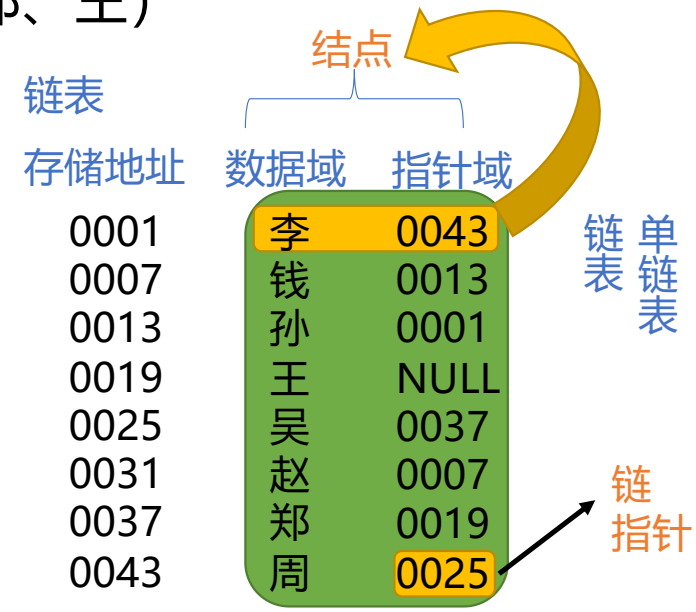
存储地址	存储状态
0031	赵
0033	钱
0035	孙
0037	李
0039	周
0041	吴
0043	郑
0045	王



头指针 H

0031

链表

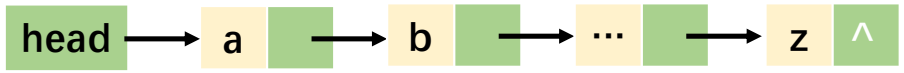


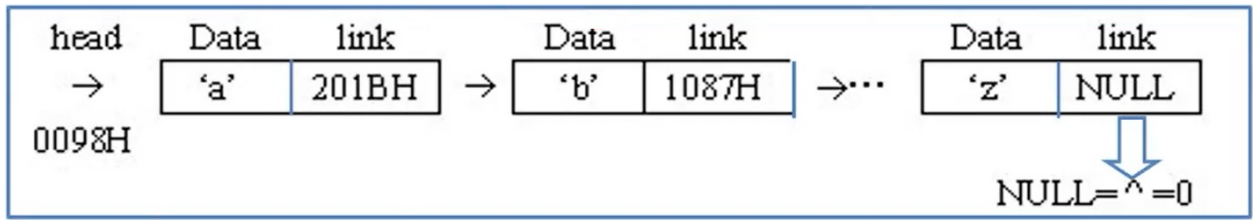
单链表是由头指针唯一确定，因此单链表可以用头指针的名字来命名。

2.3 线性表的链式表示和实现

例: 26个英文小写字母的链式存储结构

- 逻辑结构：$(a, b, \ldots, y, z)$
- 链式存储结构：





各结点由两个域组成：

数据域：存储元素数值数据

指针域：存储直接后继结点的存储位置

2.3 线性表的链式表示和实现

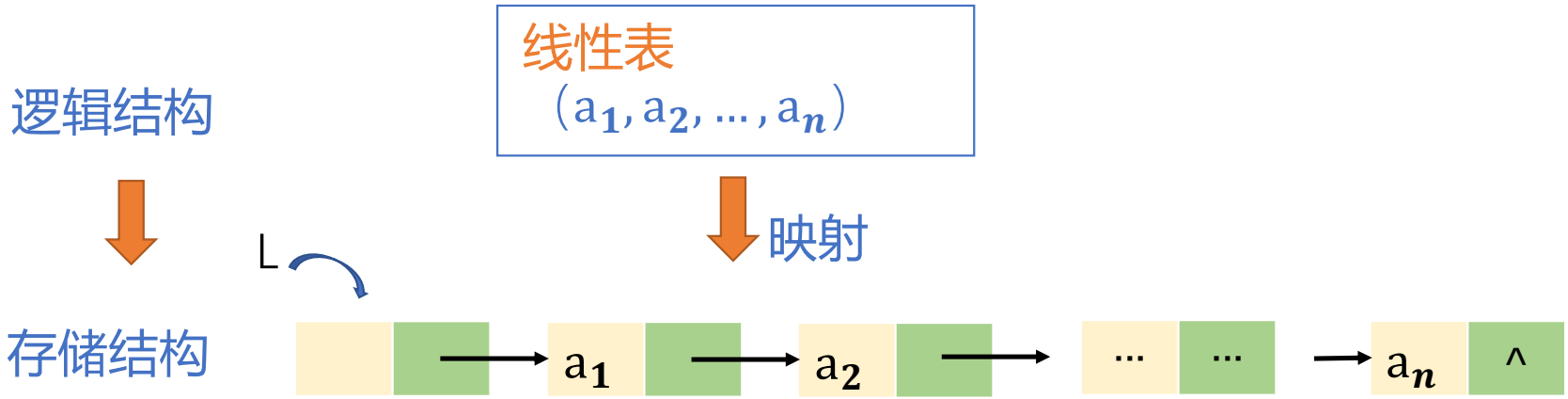
- 与链式存储有关的术语

1、结点：数据元素的储存映像。由数据域和指针域两部分组成

2、链表：n个结点由指针链组成一个链表。

它是线性表的链式存储映像，称为线性表的链式存储结构。

2.3 线性表的链式表示和实现

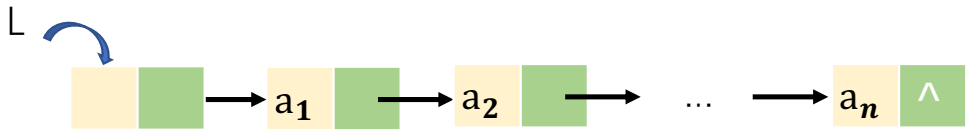


带头结点单链表示意图

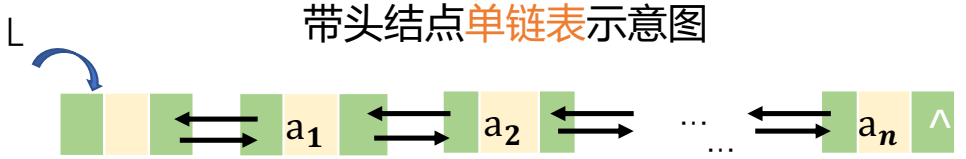
2.3 线性表的链式表示和实现

3、单链表、双链表、循环链表：

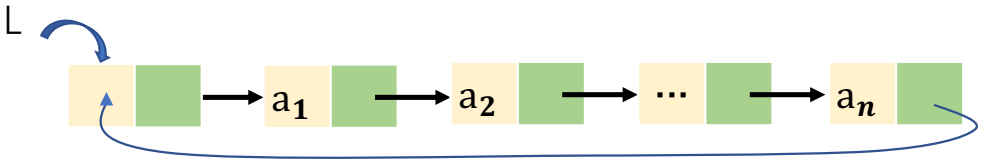
- 结点只有一个指针域的链表，称为单链表或线性链表
- 结点有两个指针域链表，称为双链表
- 首尾相接的链表称为循环链表



带头结点单链表示意图



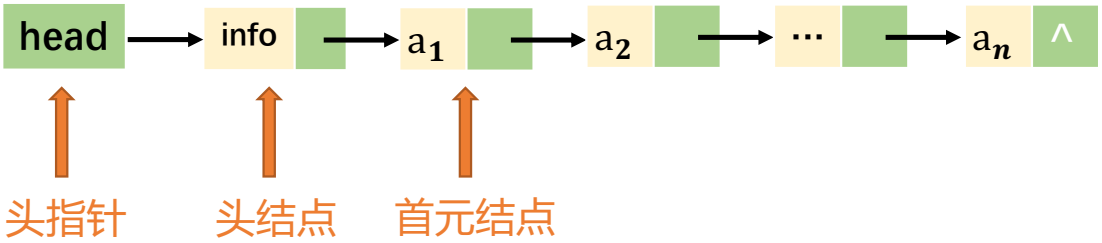
双链表示意图



带头结点循环链表示意图

2.3 线性表的链式表示和实现

4、头指针、头结点和首元结点：



头指针：是指向链表中第一个结点的指针

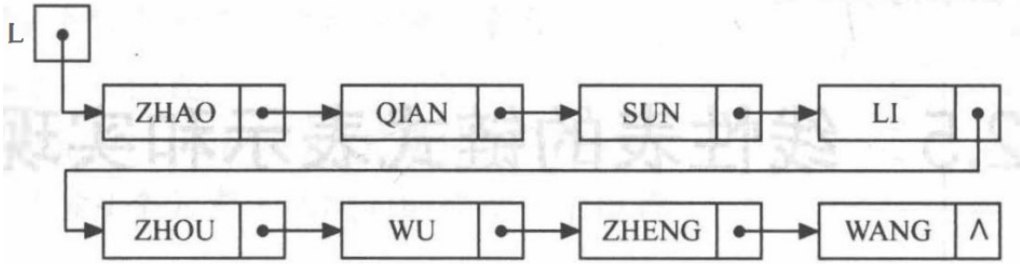
首元结点：是指链表中存储第一个数据元素a_1的结点

头结点：是在链表的首元结点之前附设的一个结点

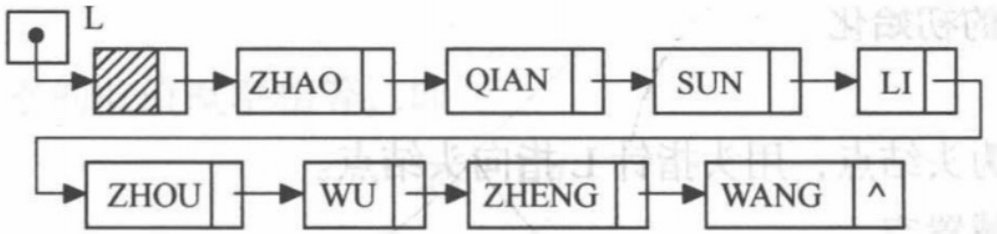
2.3 线性表的链式表示和实现

- 前面的例子中的例子中的链表的存储结构示意图有以下两种形式：

  - 不带头结点

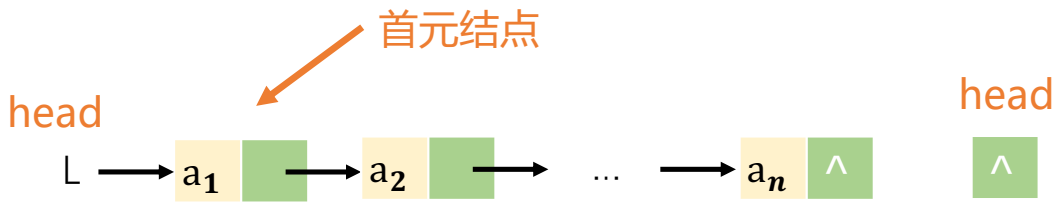


  - 带头结点

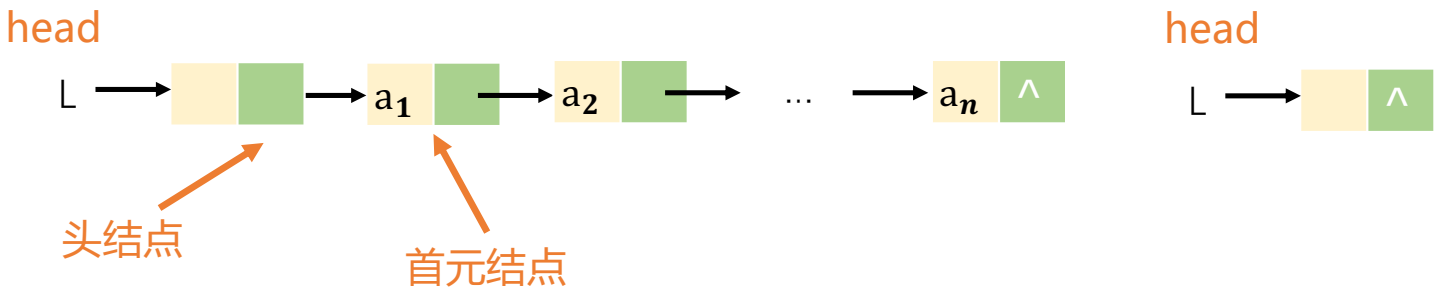


2.3 线性表的链式表示和实现

- 讨论1：如何表示空表
  - 无头结点时，头指针为空时表示空表



  - 有头结点时，当头结点的指针域为空时表示空表



2.3 线性表的链式表示和实现

- 讨论2：在链表中设置头结点有什么好处?
  - 1. 便于首元结点的处理

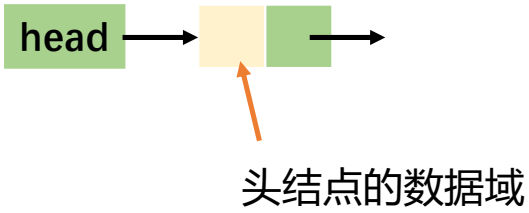
    首元结点的地址保存在头结点的指针域中，所以在链表的第一个位置上的操作和其他位置一致，无需进行特殊处理；

  - 2. 便于空表和非空表的统一处理

    无论链表是否为空，头指针都是指向头结点的非空指针，因此空表和非空表的处理也就统一了。

2.3 线性表的链式表示和实现

- 讨论3：头结点的数据域内装的是什么？
  - 头结点的数据域可以为空，也可存放线性表长度等附加信息，但此结点不能计入链表长度值。



2.3 线性表的链式表示和实现

- 链表（链式存储结构）的特点

(1) 结点在存储器中的位置是任意的，即逻辑上相邻的数据元素在物理上不一定相邻。

(2) 访问时只能通过头指针进入链表，并通过每个结点的指针域依次向后顺序扫描其余结点，所以寻找第一个结点和最后一个结点所花费的时间不等

这种存取元素的方法被称为
顺序存取法

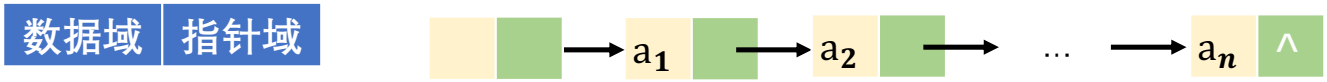
顺序表 → 随机存取

链表 → 顺序存取

知识总结

- 线性表的链式存储结构
  - 线性表中数据元素（结点）在存储器中的位置是任意的，即逻辑上相邻的数据元素在物理位置上不一定相邻。

- 结点：

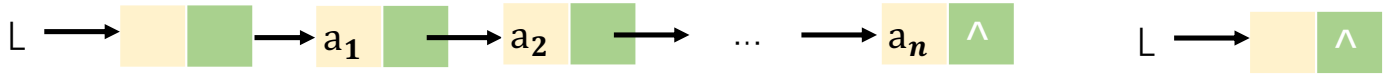


链表是顺序存取的

- 链表：　n个结点由指针链组成一个链表
  - 单链表：每个结点只有一个指针域
  - 双链表：每个结点有两个指针域
  - 循环链表：链表结点首尾相接

2.5.1 单链表的定义和表示

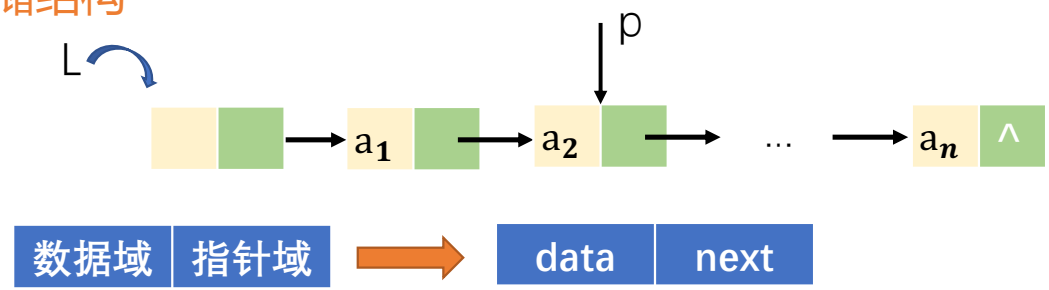
- 带头结点的单链表



- 单链表是由表头唯一确定，因此单链表可以用头指针的名字来命名，若头指针是L，则把链表称为表L。

2.5.1 单链表的定义和表示

- 单链表的存储结构

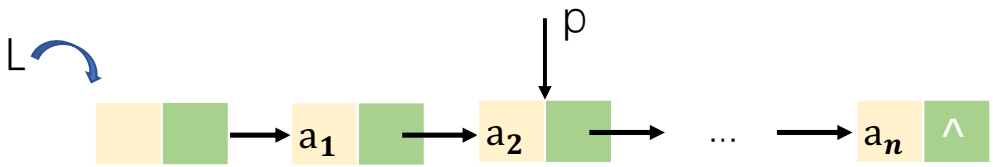



```
typedef struct Lnode{      // 声明结点的类型和指向结点的指针类型
    ElemType    data;          // 结点的数据域
    struct Lnode  *next;       // 结点的指针域
} Lnode, *LinkList;        // LinkList为指向结构体Lnode的指针类型
```

2.5.1 单链表的定义和表示

- 单链表的存储结构

```
typedef struct Lnode{
    ElemType    data;
    struct Lnode   *next;
} Lnode, *LinkList;
```



定义链表L：　LinkList L;

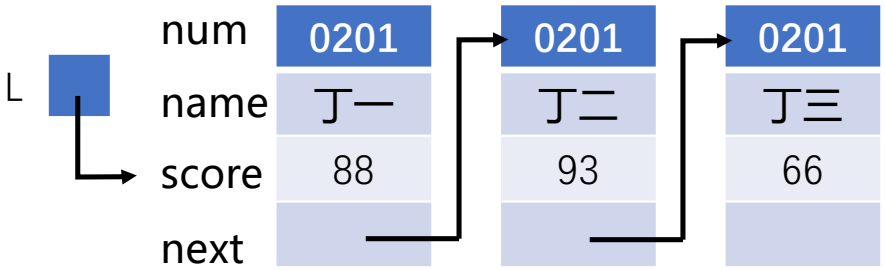
定义结点指针p：　LNode *p;　⟺　LinkList p;

2.5.1 单链表的定义和表示

■ 例如，存储**学生学号，姓名，成绩**的单链表结点类型定义如下：

```
typedef struct student {
        char num[8];            //数据域
        char name[8];           //数据域
        int score;              //数据域
        struct student *next;   //指针域
}Lnode, *LinkList;
```

LinkList L;



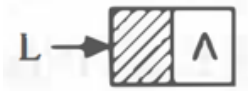
为了统一链表的操作，通常这样定义：

```
typedef struct  {
        char num[8];            //数据域
        char name[8];           //数据域
        int score;              //数据域
}ElemType;

typedef struct Lnode{
        ElemType    data;   //数据域
        struct Lnode *next  //指针域
}Lnode, *LinkList;
```

2.5.2 单链表基本操作的实现

- 单链表的初始化（算法2.6）（带头结点的单链表）
  - 即构造一个如图的空表



【算法步骤】

（1）生成新结点作头结点，用头指针 L 指向头结点。

（2）将头结点的指针域置空。

【算法描述】

```
typedef struct Lnode{
        ElemType        data;
        struct Lnode    *next
}Lnode, *LinkList;
```

```
Status InitList_L(LinkList &L){
    L=(LinkList) malloc (sizeof (Lnode));
    L->next=NULL;
    return OK;
}
```

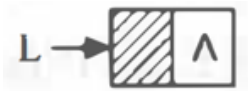
2.5.2 单链表基本操作的实现

补充单链表的几个常用简单算法

- 【补充算法1】：判断链表是否为空：

  空表：链表中无元素，称为空链表（头指针和头结点仍然在）

【算法思路】判断头结点指针域是否为空

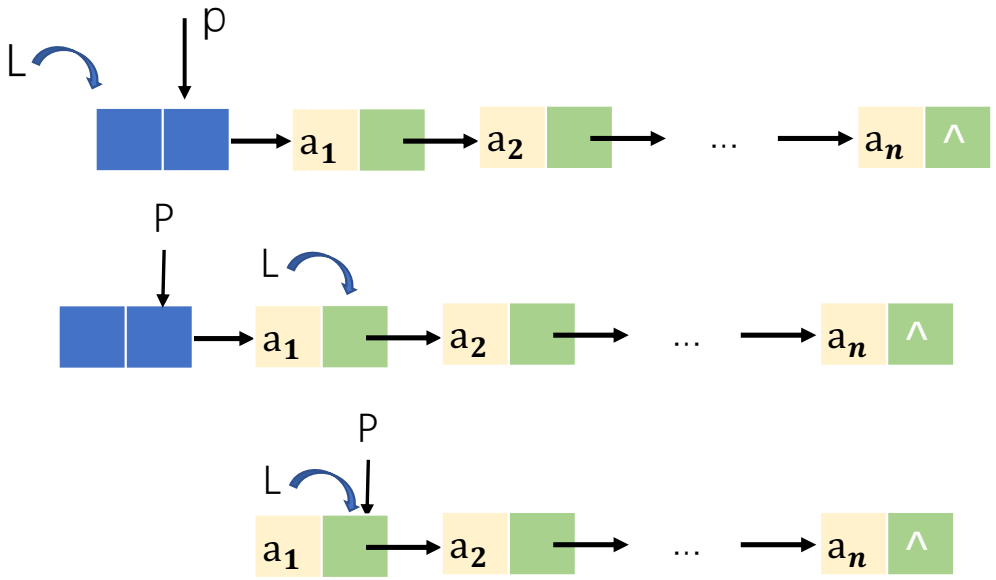
若L是空表 


```
int ListEmpty(LinkList L){   //若L为空表，则返回1，否则返回0
    if(L->next)      //非空
        return 0;
    else
        return 1;
}
```

2.5.2 单链表基本操作的实现

- 【补充算法2】：单链表的销毁：链表销毁后不存在

【算法思路】从头指针开始，依次释放所有结点



p=L;

L=L->next;
free (p);

结束条件：L==NULL
循环条件：L!=NULL 或 L

2.5.2 单链表基本操作的实现

- 【算法】销毁单链表L

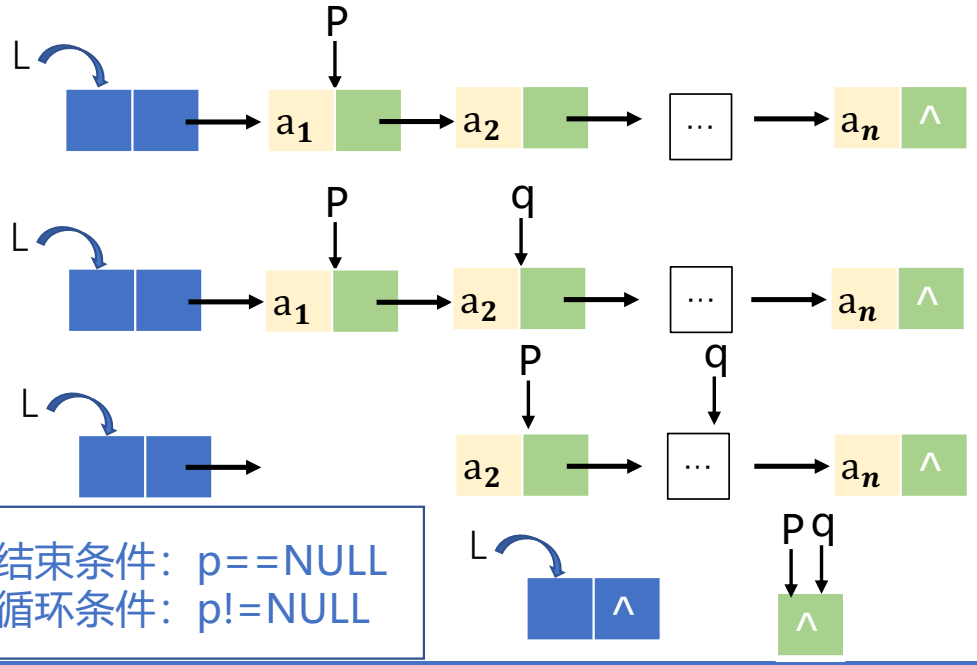
```
Status DestroyList_L(LinkList &L){    // 销毁单链表L
        Lnode *p;    //或 LinkList p;
        while(L){
                p=L;
                L=L->next;
                free (p);
        }
        return OK;
}
```

2.5.2 单链表基本操作的实现

■ 【补充算法3】：清空链表：

链表仍存在，但链表中无元素，成为空链表（头指针和头结点仍然在）

【算法思路】 依次释放所有结点，并将头结点指针域设置为空



p=L->next;

q=p->next;
free (p);

反复执行：
p=q;
q=q->next;

L->next=NULL

2.5.2 单链表基本操作的实现

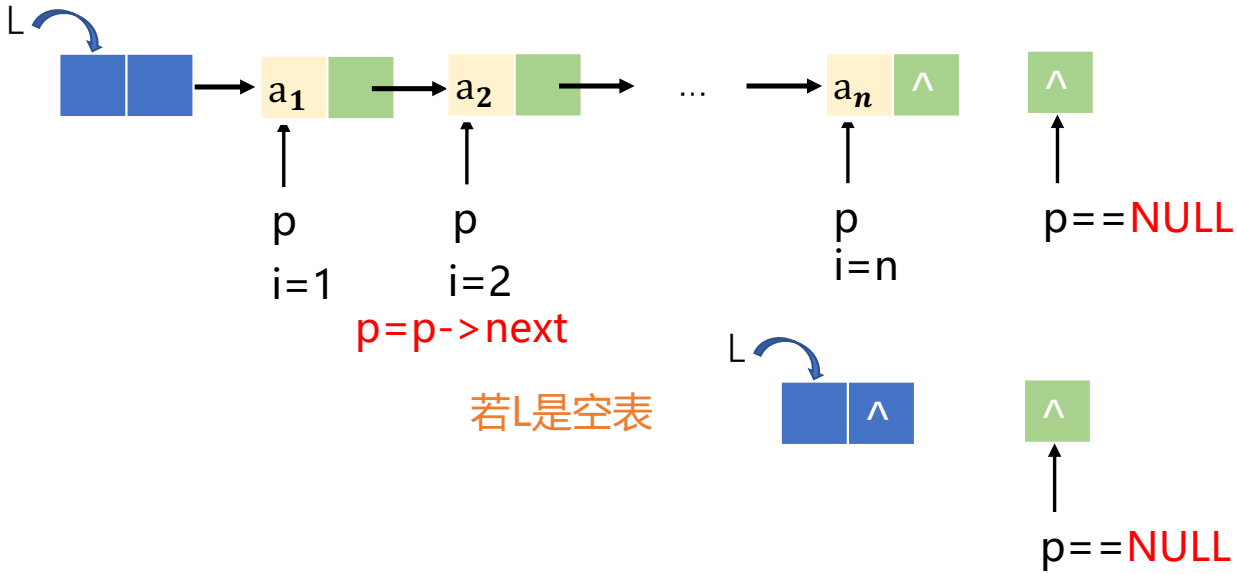
- 【算法】清空链表L:

```
Status ClearList(LinkList &L){    // 将L重置为空表
        Lnode *p, *q;    //或 LinkList p,q;
        p=L->next;
        while(p){            //没到表尾
                q=p->next;
                free (p);
                p=q;
        }
        L->next=NULL;            //头结点指针域为空
        return OK;
}
```

2.5.2 单链表基本操作的实现

- 【补充算法4】：求单链表的表长：

【算法思路】 从首元结点开始，依次计数所有结点



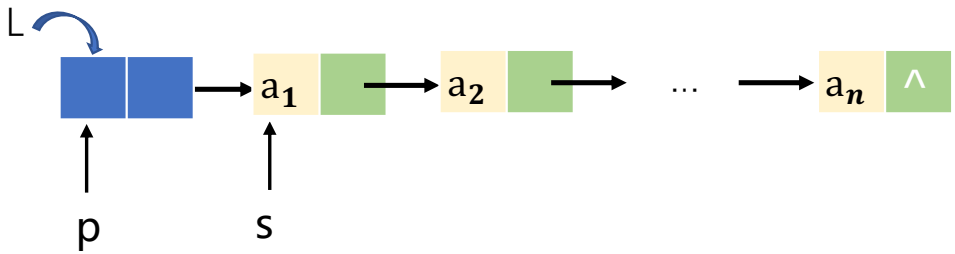
2.5.2 单链表基本操作的实现

- 【算法】求单链表L的表长

```
int ListLength_L(LinkList L){    // 返回L中数据元素个数
        LinkList p;
        p=L->next;          //p指向第一个结点
        i =0;
        while(p){           //遍历单链表，统计结点数
              i++;
              p=p->next;
        }
        return i;
}
```

阶段总结

- 带头结点的单链表



类型定义：

```
typedef struct LNode {
        ElemType      data;
        struct Lnode  *next;
} LNode, *LinkList;
```

变量定义：

```
LinkList  L;
Lnode *p, *s;
```

重要操作：

```
p=L;  //p指向头结点
s=L->next;  //s指向首元结点
p=p->next;  //p指向下一结点
```

阶段总结

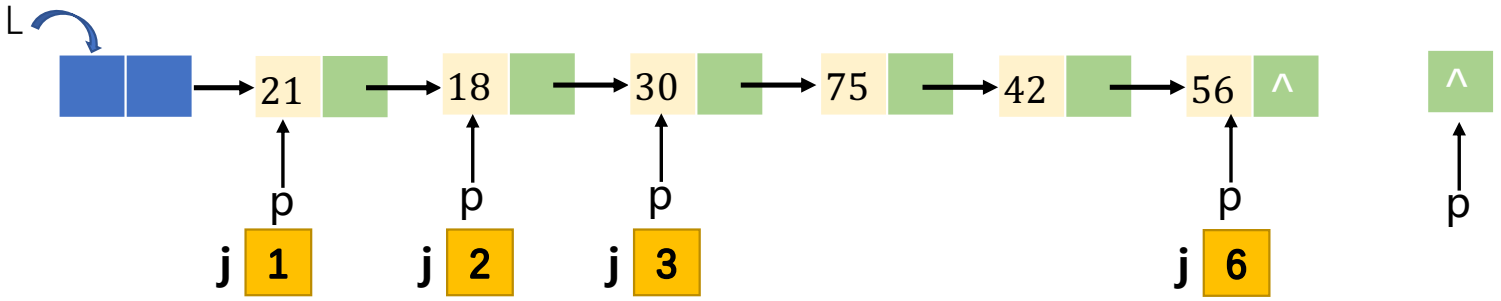
- 单链表的基本操作
  - 单链表的销毁
  - 清空单链表
  - 求单链表的表长
  - 判断链表是否为空
  - 取值：取单链表中第i个元素的内容
  - 查找：
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置（地址）
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置序号（是第几个元素）
  - 插入：在第i个结点前插入新结点
  - 删除：删除第i个结点
  - 单链表的建立
    - 头插法
    - 尾插法

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法2.8】取值——取单链表中第i个元素的内容

- 思考：顺序表中如何找到第i个元素？ L->elem[i-1]

分别取出表中第3个元素和第15个元素



【算法思路】从链表头指针出发，顺着链域next逐个结点往下搜索到第i个结点为止。

因此，链表不是随机存取结构

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法步骤】

1. 从第一个结点（L->next）顺链扫描，用指针p指向当前扫描到的结点，
   p初值p=L->next;
2. j做计数器，累计当前扫描过的结点数，j初值为1;
3. 当p指向扫描到的下一结点时，计数器j加1;
4. 当j==i时，p所指的结点就是要找的第i个结点。

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法描述】

```
Status GetElem_L(LinkList L, int i, ElemType &e){
// 获取线性表L中的某个数据元素的内容，通过变量e返回
        p=L->next; j=1;          //初始化
        while(p && j<i){         //向后扫描，直到p指向第i个元素或p为空
                p=p->next;
                ++j;
        }
        if(!p || j>i)  return ERROR;  //第i个元素不存在
        e=p->data;                    //取第i个元素
        return OK;
}//GetElem_L
```

阶段总结

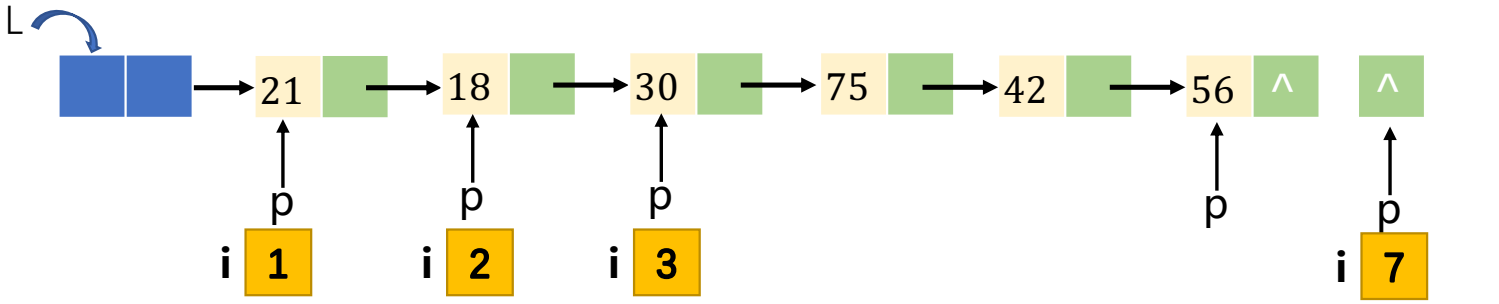
- 单链表的基本操作
  - 单链表的销毁
  - 清空单链表
  - 求单链表的表长
  - 判断链表是否为空
  - 取值：取单链表中第i个元素的内容
  - 查找：
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置（地址）
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置序号（是第几个元素）
  - 插入：在第i个结点前插入新结点
  - 删除：删除第i个结点
  - 单链表的建立
    - 头插法
    - 尾插法

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法】按值查找——根据指定数据获取数据所在的位置（该数据的地址）

分别查找值为30和值为15的元素

e=30　e=15



找到，返回i　　未找到，返回0

p=L->next;　p=p->next;　p->data!=e;

2.5.2 单链表基本操作的实现

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

【算法步骤】

1. 从第一个结点起，依次和e相比较；
2. 如果找到一个其值与e相等的数据元素，则返回其在链表中的“位置”或地址；
3. 如果查遍整个链表都没有找到其值和e相等的元素，则返回0或NULL。

2.5.2 单链表基本操作的实现

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

【算法描述】

```
Lnode *LocateElem_L(LinkList L, ElemType e){
        // 在线性表L中查找值为e的数据元素
        // 找到，则返回L中值为e的数据元素的地址，查找失败返回NULL
        p=L->next;
        while(p && p->data!=e){
                p=p->next;
        }
        return p;
}
```

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法-变化】按值查找——根据指定数据获取该数据位置序号

【算法描述】

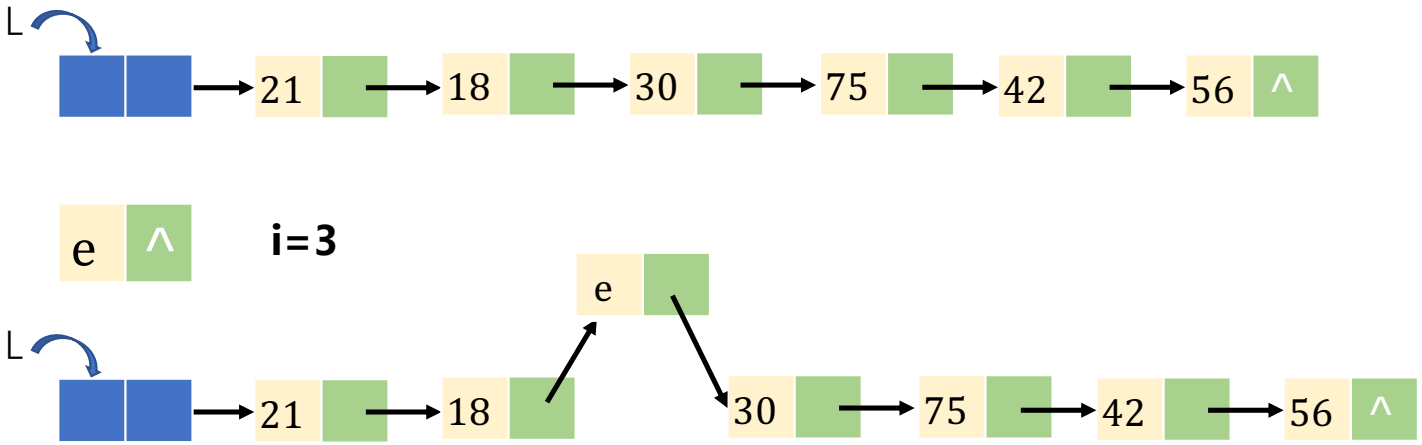
```
//在线性表L中查找值为e的数据元素的位置序号
int LocateElem_L(LinkList L, ElemType e){
        // 返回L中值为e的数据元素的位置地址，查找失败返回0
        p=L->next;  j=1;
        while(p && p->data!=e){
              p=p->next; j++;
        }
        if(p) return j;
        else return 0;
}
```

阶段总结

- 单链表的基本操作
  - 单链表的销毁
  - 清空单链表
  - 求单链表的表长
  - 判断链表是否为空
  - 取值：取单链表中第i个元素的内容
  - 查找：
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置（地址）
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置序号（是第几个元素）
  - 插入：在第i个结点前插入新结点
  - 删除：删除第i个结点
  - 单链表的建立
    - 头插法
    - 尾插法

2.5.2 单链表基本操作的实现

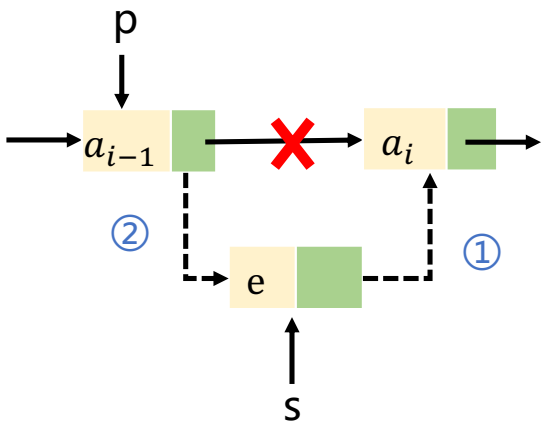
【算法2.9】插入——在第i个结点前插入值为e的新结点



2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法步骤】

1. 首先找到a_{i-1}的存储位置p；
2. 生成一个数据域为e的新结点s；
3. 插入新结点：
   - ① 新结点的指针域指向结点a_i；
   - ② 结点a_{i-1}的指针域指向新结点。



① s->next = p->next;　　② p->next = s;

思考：步骤①和步骤②能互换吗？先执行②，后执行①，可以吗？

不可以！会丢失a_i的地址

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法描述】

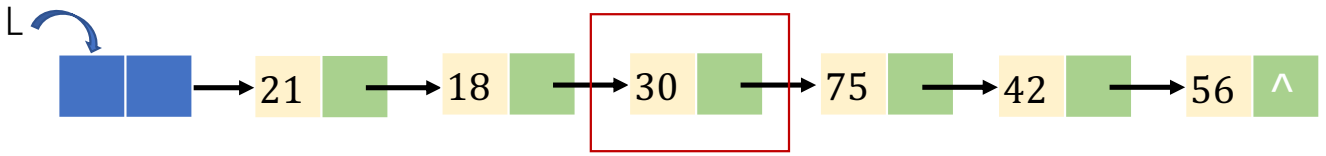
```
//在L中第i个元素之前插入数据元素e
Status ListInsert_L(LinkList &L, int i, ElemType e){
        p=L; j=0;
        while(p && j<i-1){
                p=p->next; ++j;}   //寻找第i-1个结点，p指向i-1结点
        if(!p || j>i-1) return ERROR;   //i大于表长+1或者小于1，插入位置非法
        s=(LinkList) malloc (sizeof (LNode));
        s->data=e;    //生成新结点s，将结点s的数据域置为e
        s->next=p->next;          //将结点s插入L中
        p->next=s;
        return OK;
} //ListInsert_L
```

阶段总结

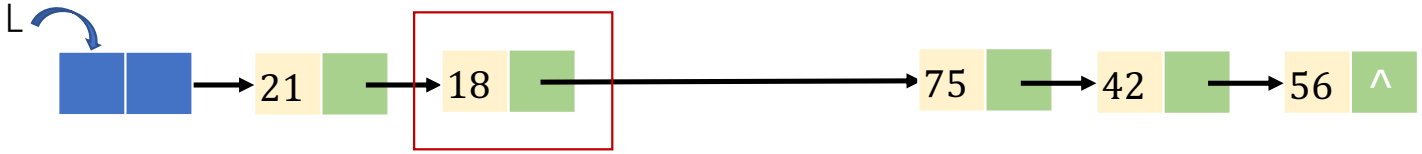
- 单链表的基本操作
  - 单链表的销毁
  - 清空单链表
  - 求单链表的表长
  - 判断链表是否为空
  - 取值：取单链表中第i个元素的内容
  - 查找：
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置（地址）
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置序号（是第几个元素）
  - 插入：在第i个结点前插入新结点
  - 删除：删除第i个结点
  - 单链表的建立
    - 头插法
    - 尾插法

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法2.10】删除——删除第i个结点



i=3

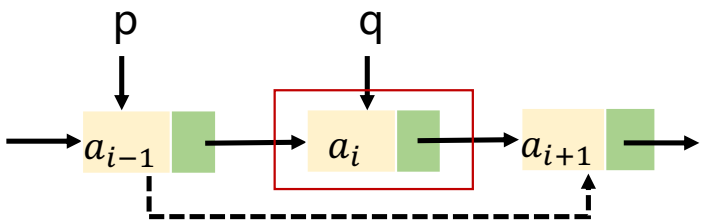


2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法2.10】删除——删除第i个结点

【算法步骤】

1. 首先找到a_{i-1}的存储位置p，保存要删除的a_i的值；
2. 令p->next指向a_{i+1}；
3. 释放结点a_i的空间



p->next = p->next->next;

2.5.2 单链表基本操作的实现

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

【算法描述】

```
//将线性表L中第i个数据元素删除，并由e返回其值
Status ListDelete_L(LinkList &L, int i, ElemType &e){
        p=L; j=0;
        while(p->next && j<i-1){
                p=p->next; ++j;   //寻找第i个结点，并令p指向其前驱
        }
        if(!p->next || j>i-1) return ERROR;   //删除位置不合理
        q=p->next;    //临时保存被删结点的地址以备释放
        p->next=q->next;          //改变删除结点前驱结点的指针域
        e=q->data;                //保存删除结点的数据域
        free (q);              //释放删除结点的空间
        return OK;
}  //ListDelete_L
```

2.5.2 单链表基本操作的实现

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

- 单链表的查找、插入、删除算法时间效率分析

1. 查找：

2.5.2 单链表基本操作的实现

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

```
Lnode *LocateElem_L(LinkList L, ElemType e){
        //在线性表L中查找值为e的数据元素
        //找到，则返回L中值为e的数据元素的地址，查找失败返回NULL
        p=L->next;
        while(p && p->data!=e){
                p=p->next;
        }
        return p;
}
```

2.5.2 单链表基本操作的实现

杭州电子科技大学
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

- 单链表的查找、插入、删除算法时间效率分析

1. 查找：
   - 因线性链表只能顺序存取，即在查找时要从头指针找起，查找的时间复杂度为O(n)

2. 插入和删除：
   - 因线性链表不需要移动元素，只要修改指针，一般情况下时间复杂度为O(1)；
   - 但是，如果要在单链表中进行前插或删除操作，由于要从头查找前驱结点，所耗时间复杂度为O(n)。

阶段总结

- 单链表的基本操作
  - 单链表的销毁
  - 清空单链表
  - 求单链表的表长
  - 判断链表是否为空
  - 取值：取单链表中第i个元素的内容
  - 查找：
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置（地址）
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置序号（是第几个元素）
  - 插入：在第i个结点前插入新结点
  - 删除：删除第i个结点
  - 单链表的建立
    - 头插法
    - 尾插法

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法2.11】建立单链表：头插法——元素插入在链表头部，也叫前插法

1. 从一个空表开始，重复读入数据；
2. 生成新结点，将读入数据存放到新结点的数据域中；
3. 从最后一个结点开始，依次将各结点插入到链表的前端。

- 例如，建立链表L(a, b, c, d, e)

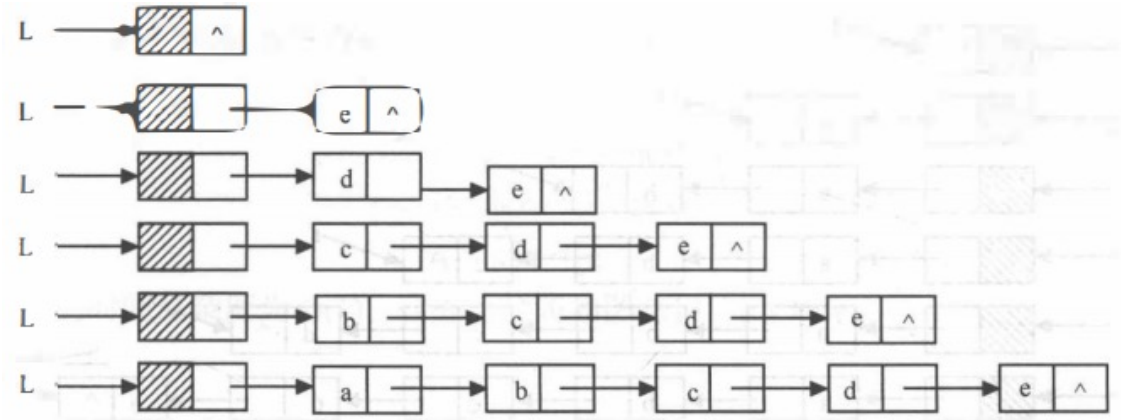
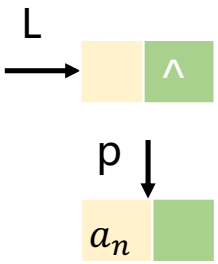


图 2.15　前插法创建单链表

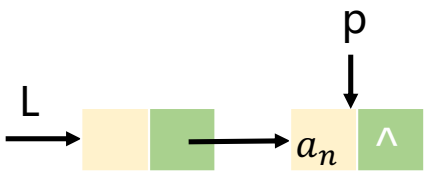
2.5.2 单链表基本操作的实现



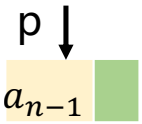
L=(LinkList) malloc (sizeof(Lnode));

L->next=NULL;

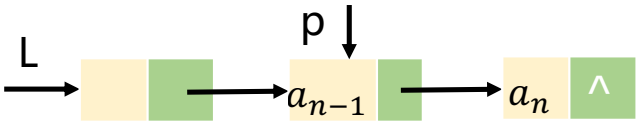
p =(LinkList) malloc (sizeof(Lnode)); p->data=a_n;



p->next = L->next; L->next=p;



p =(LinkList) malloc (sizeof(Lnode)); p->data=a_{n-1};



p->next = L->next; L->next=p;

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法描述】

```
void CreateList_H(LinkList &L, int n){
        L= (LinkList) malloc (sizeof(Lnode));
        L->next=NULL;   //先建立一个带头结点的单链表
        for(i=n;i>0;--i){
              p=(LinkList) malloc (sizeof(Lnode)); //生成新结点p
              scanf(&p->data);      //输入元素值
              p->next=L->next;     //插入到表头
              L->next=p;
         }
} //CreateList_H
```

算法时间复杂度：O(n)

阶段总结

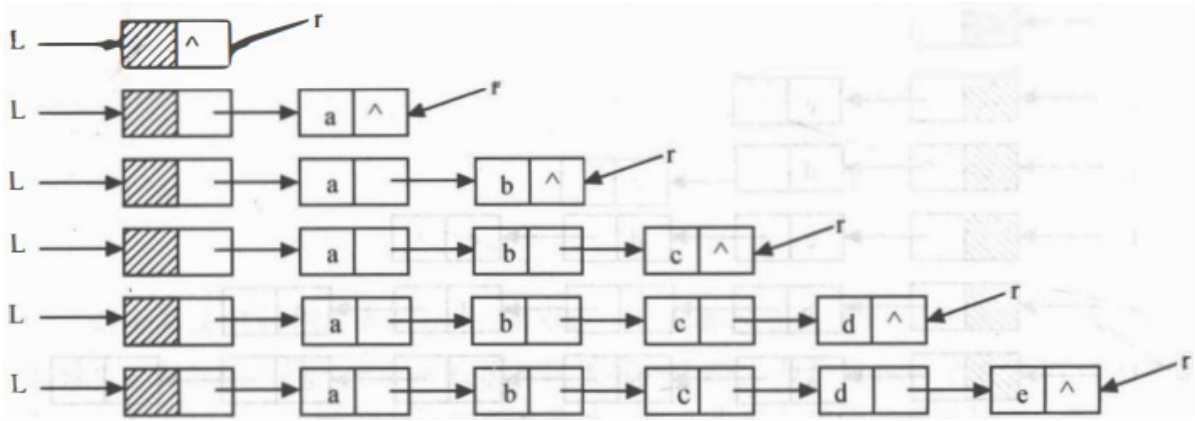
- 单链表的基本操作
  - 单链表的销毁
  - 清空单链表
  - 求单链表的表长
  - 判断链表是否为空
  - 取值：取单链表中第i个元素的内容
  - 查找：
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置（地址）
    - 按值查找：根据指定数据获取数据所在位置序号（是第几个元素）
  - 插入：在第i个结点前插入新结点
  - 删除：删除第i个结点
  - 单链表的建立
    - 头插法
    - 尾插法

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法-变化】建立单链表：尾插法——元素插入在链表尾部，也叫后插法

1. 从一个空表L开始，将新结点逐个插入到链表尾部，尾指针r指向链表的尾结点；

2. 初始时，r同L均指向头结点。每读入一个数据元素则申请一个新结点，将新结点插入尾结点后，r指向新结点。




```
p->data=a_i;
p->next=NULL;

r->next=p;


r=p;
```

2.5.2 单链表基本操作的实现

【算法描述】

```
//正位序输入n个元素的值，建立带头结点的单链表L
void CreateList_R(LinkList &L, int n){
        L= (LinkList) malloc (sizeof(Lnode));
        L->next=NULL;
        r=L;            //尾指针r指向头结点
        for(i=0; i<n; ++i){
             p=(LinkList) malloc (sizeof(Lnode)); //生成新结点p
             scanf(&p->data);      //输入元素值
             p->next=NULL;
             r->next=p;     //插入到表尾
             r=p;    //r指向新的尾结点
         }
} //CreateList_R
```

算法的时间复杂度是O(n)

课后题

【题】已知L 是无表头结点的单链表，且P 结点既不是首元结点，也不是尾元结点，试从下列提供的答案中选择合适的语句序列。

a. 在P 结点后插入S 结点的语句序列是_____(4)(1)_____

b. 在P 结点前插入S 结点的语句序列是_____(7)(11)(8)(4)(1)_____

c. 在表首插入S 结点的语句序列是_____(5)(12)_____

d. 在表尾插入S 结点的语句序列是_____(9)(1)(6)_____

```
(1) P->next=S;
(2) P->next=P->next->next;
(3) P->next=S->next;
(4) S->next=P->next;
(5) S->next=L;
(6) S->next=NULL;
```

```
(7) Q=P;
(8) while(P->next!=Q) P=P->next;
(9) while(P->next!=NULL) P=P->next;
(10) P=Q;
(11) P=L;
(12) L=S;
(13) L=P;
```