第 5 讲 · 讲义

# 列表

课件的每一页，配上讲这一页时说的话。幻灯片是网页原生渲染的，文字可以选中、可以搜索，也可以直接打印。


第 1 页 · Lists

> 这一讲讲列表。它是 Python 里最常用的容器，也是你遇到的第一个「一个东西可以被两个名字共享」的类型。
>
> 前四讲里的整数、浮点数、字符串都不会出现这种情况，所以列表的很多行为会让人意外。这一讲的后半程专门处理这些意外。

PART II

# Built-in Data Structures

RECAP · LECTURES 1-4

## Where we left off

- A variable is **a name pointing at a value**, not a box. `id()` gives the address, `is` asks whether two names point at the same thing
- A function wraps logic. **`print` is for people, `return` is for the program**
- `for` takes items one at a time; `while` runs until a condition holds
- Since L4, every function carries type hints: `def bmi(w: float, h: float) -> float:`

**第一条是今天的关键。** 今天这一讲，一大半内容是它的直接后果。

3

第 3 页 · Where we left off

> 到上一讲为止，你已经能写出包含输入、判断、循环和函数的完整程序，但处理的都是单个的值：一个整数、一个字符串、一个布尔值。
>
> 从这一讲起，处理对象变成一批值。这不只是「变量变多了」，而是需要一套新的思考方式：怎么存、怎么取、怎么遍历、以及改动一批数据时会发生什么。
>
> 第 3 讲讲变量时建立的那个模型——**名字指向值，赋值改的是箭头指向哪里**——今天会变成理解一切的关键。在数和字符串上，这个模型看起来是多余的；在列表上，不用这个模型就寸步难行。

## Something from daily life first

**You and your roommate share one shopping list.**

They add soy sauce on their phone. You do nothing at all —

yet when you open yours, soy sauce is on it too.


*两个人打开的是同一份，不是各自的副本*

你们看的是同一份清单，各自手里的只是一个入口。



第 4 页 · Something from daily life first

> 先说一件和代码无关的事。
>
> 你和室友共享一份购物清单。他在自己手机上加了一样「酱油」，你什么都没做，打开一看，你的清单上也多了一样。
>
> 这件事一点也不奇怪，因为你们看的是同一份清单，各自手机上的只是一个入口，不是各自的副本。记住这个场景——等下同样的事情在 Python 里发生时，很多人会觉得莫名其妙。

## Now look at two snippets

**A**

```
x = 1
x2 = x
x2 = x2 + 1

print(x)
```

**B**

```
nums = [1]
nums2 = nums
nums2.append(1)

print(nums)
```

两段代码结构完全相同。**打印出来会一样吗？**



第 5 页 · Now look at two snippets

现在看两段代码，它们的结构一模一样：定义一个东西，把它赋给第二个名字，通过第二个名字做修改，再打印第一个。

左边操作的是整数 x，右边操作的是列表 nums。

左边打印 1，这一点几乎所有人都同意。右边打印什么？这一页不给答案——你先在心里定一个，等讲完别名那一节再回来对照。

## 随堂小测 · 第 1 轮

### 扫码作答 —— 这一轮一题

1 B 打印出什么？

这一题现在不公布答案。讲到别名与拷贝那一节再回来。

https://taohuang.info/cs1602/zh/quiz/5





> 开场先收一道题，不公布。等讲完别名与拷贝，再把这一轮的分布放出来对照。
>
> 第 1 题就是刚才那个问题。
>
> 扫码作答，今天暂时不公布答案。等讲到别名那一节，我会回到这里把全班的分布放出来，那时候你自己就知道答案了。
>
> 现在选错没有关系——这道题的作用是让你先形成一个判断，有了判断，后面的解释才有落点。

## 今天

**Why did b change when I only touched a?**

A shared shopping list, in code.





> 这一讲从头到尾在回答一个问题：我只动了 b，为什么 a 也变了？
>
> 答案和刚才那份共享购物清单是同一回事，只是发生在代码里。在此之前，我们要先把列表本身讲清楚：怎么建、怎么取、怎么改、怎么切。

## AI policy — Level 0: No AI-generated code

- Weeks 1–7
  - Do not let an AI write or autocomplete code for you. Turn off AI completion in your editor.
  - You may ask an AI to explain a concept, look something up in the docs, or make sense of an error message.

8

第 8 页 · AI policy — Level 0: No AI-generated code

> 第 1 到 7 周执行 AI 政策的第 0 级：不允许 AI 生成或补全代码。请关闭编辑器里的补全功能。
>
> 可以用 AI 解释概念、查文档、读报错，但不能让它替你写代码。这七周要建立的是代码直觉和调试能力，这两样只能靠自己写、自己出错、自己排查获得。
>
> 每一讲都会放这一页。一学期只说两次的规则等于没有规则。

PART 1 OF 9

# Why you need a container

## Five scores, five variables — it works

```python
score1 = 87
score2 = 92
score3 = 65
score4 = 78
score5 = 90

total = score1 + score2 + score3 + score4 + score5
print("average:", total / 5)
```

Five variables, five names.

10

第 10 页 · Five scores, five variables — it works

> 先看没有列表的时候会怎么写。
>
> 五个成绩，五个变量：score1 到 score5。要求平均分，就把五个加起来除以五。代码能跑，逻辑也没错。
>
> 这种写法在变量个数很少、而且固定不变的时候是可以接受的。问题出在下一页。

## Then the requirements change

- Find the highest score
  - if score1 > score2 and score1 > score3 and ... — 100 comparisons
- Drop the lowest one and re-average
  - which variable do you delete?
- Read the scores from a file, count unknown until you read it
  - you cannot even name the variables in advance

更麻烦的是：**写代码的时候，你并不知道会有多少个。**





现在需求变了，而且是很自然的变化。

如果是五十个成绩呢？你要写五十个变量名，加法要写五十项。如果要求最高分，要写一长串比较。如果要按分数排序，用五十个独立变量几乎没法做。

更关键的一点是：数量往往在写代码的时候还不知道。文件里有多少行、用户会输入多少个数字，这些都要等程序跑起来才清楚。而变量名必须在写代码时就定下来。

所以需要的不是更多变量，而是一个能装一批值、并且数量可以在运行时决定的东西。

## The list 列表

One name, any number of values.

```
scores = [87, 92, 65, 78, 90]

print("count:  ", len(scores))
print("avg:  ", sum(scores) / len(scores))
print("highest:", max(scores))
```

One name for the whole batch, however many there are.





> 这个东西就是列表。
>
> 一个名字管一批值，多少个都行。取第几个用方括号加下标，求个数用 len，求和用 sum，求平均就是 sum 除以 len。
>
> 和上一页对比：五十个成绩和五个成绩，这段代码一个字都不用改。

## Data structure 数据结构

- A data structure = how data is represented + what you can do to it
  - representation — a list keeps its items in order, numbered from 0
  - operations — add, remove, look up, slice, sort
- This course covers four: list, tuple, dict, set
  - today is the first, and the one the other three are compared against

**数据结构 = 怎么存 + 能对它做什么。**

13

第 13 页 · Data structure 数据结构

> 列表属于「数据结构」。这个词在这门课里会反复出现，含义是：一种组织数据的方式，附带一组针对它的操作。
>
> 组织方式决定了哪些操作快、哪些操作慢，所以选对数据结构往往比优化代码更能解决问题。Part II 的四讲讲的就是四种常见的数据结构和它们各自适合的场景。

PART 2 OF 9

# Building a list, and reading it back

## Square brackets and commas make a list

```python
list1 = ["Hello", "world"]          # two strings
list2 = [1, 3, 9, 7]                # four integers
list3 = [1.0, 2.0, 3.0, 1e-3]       # four floats
mixed = [1, "two", 3.0, True]       # types may be mixed
nested = ["I", "am", [1, 2, 3]]     # a list inside a list
```

方括号，逗号分隔。写成 {} 或者用分号都不行。

15

第 15 页 · Square brackets and commas make a list

> 列表的字面量写法是方括号加逗号。
>
> 里面可以是整数、浮点数、字符串，也可以是另一个列表。空列表就是一对空方括号。
>
> 注意逗号是分隔符，最后一项后面可以多写一个逗号，Python 不介意——这在列表要分多行写的时候很有用，加一项只需要加一行，不用改上一行。

## Whatever is inside, the type is list

**type and len**

```
1  list1 = ["Hello", "world"]
2  list3 = [1.0, 2.0, 3.0, 1e-3]
3  nested = ["I", "am", [1, 2, 3]]
4
5  print(type(list1), len(list1))
6  print(type(list3), len(list3))
7  print(type(nested), len(nested))
```

output

```
<class 'list'> 2
<class 'list'> 4
<class 'list'> 3
```

`nested` has length **3**. The inner list counts as one item.





> 不管里面装的是什么，列表本身的类型都是 list。
>
> type 告诉你一个东西是什么类型，len 告诉你它有几项。注意最后一个例子：nested 里面有一个列表，但 len 数出来是 3——里面那个列表整个算一项，不会被展开。
>
> 这一点在处理嵌套结构时经常被弄错。

# The list() constructor 构造函数

**list()**

```
1  print(list("Python"))    # split up
2  print(list(range(5)))    # a range
3  print(list(range(2, 11, 3)))
4  print(list())             # empty
```

**output**

```
['P', 'y', 't', 'h', 'o', 'n']
[0, 1, 2, 3, 4]
[2, 5, 8]
[]
```

Anything you can take items out of one by one can go through `list()`. Such a thing is called an **iterable** 可迭代对象.

17

第 17 页 · The list() constructor 构造函数

除了字面量，还可以用 list() 来构造。

list() 不带参数得到空列表。带一个字符串，会把字符串拆成一个个字符——这是因为字符串本身就是可以逐项取出的。带一个 range，会把 range 展开成实际的列表。

range 本身不是列表，它只在需要的时候逐个产生数字，所以 print(range(5)) 打印出来的不是 [0,1,2,3,4]。要看到内容就用 list 包一层。

## Items are numbered from 0

A list is ordered. Each item is found by its index.

```
a = ["red", "green", "blue", "yellow"]

print(a[0])      # red      — the first
print(a[1])      # green
print(a[3])      # yellow   — the last, len(a) - 1
```

下标从 **0** 起。最后一项是 `len(a) - 1`，写 `len(a)` 就越界。

18

第 18 页 · Items are numbered from 0

> 取第几个用方括号。下标从 0 开始，不是从 1 开始。
>
> 第一项是 a[0]，第二项是 a[1]，最后一项是 a[len(a)-1]。这个约定在几乎所有编程语言里都一样，理由和历史上下标表示「距离开头有多远」有关：第一项距离开头 0 个位置。
>
> 从 0 开始是新手最容易出错的地方之一。凡是涉及「第几个」的循环，写完先用一个三四项的小列表试一遍边界。

# A negative index counts back from the end

**negative index**

```
a = ["red", "green", "blue", "yellow"]

print(a[-1])     # the last item
print(a[-2])     # the one before it
print(a[-len(a)])  # same as a[0]
```

output

```
yellow
blue
red
```

`a[-1]` is the last item; negative indices count back from the end.

19

第 19 页 · A negative index counts back from the end

负数下标从末尾往前数。a[-1] 是最后一项，a[-2] 是倒数第二项。

这个写法很常用，因为取最后一项不需要先知道长度。对比一下：a[len(a)-1] 和 a[-1] 结果相同，后者更短也更不容易写错。

注意负数下标是从 -1 开始的，没有 -0——因为 -0 和 0 是同一个数，那会是第一项。

## Out of range raises IndexError

**what you will see, a lot**

```
1  a = ["red", "green", "blue", "yellow"]
2  print(a[4])
```

**traceback**

```
Traceback (most recent call last):
  File "example.py", line 2, in <module>
    print(a[4])
          ~^^^
IndexError: list index out of range
```

**IndexError 是最常见的错误之一。** 遇到它，先确认列表的长度。

20

第 20 页 · Out of range raises IndexError

> 下标越界会报 IndexError。
>
> 一个有 6 项的列表，合法的下标是 0 到 5，以及 -1 到 -6。写 a[6] 就会出错，报错信息是 list index out of range。
>
> 这是好事：它在出错的地方立刻停下，而不是给你一个错误的值继续往下跑。记住这个行为，因为下一节的切片**不是**这样——切片越界不报错，这个差别坑过很多人。

## in and not in ask whether it is there

**membership**

```
1  fruit = ["apple", "pear", "banana"]
2
3  print("apple" in fruit)
4  print("durian" in fruit)
5  print("durian" not in fruit)
6  print([1, 2] in [1, 2, 3])   # an ITEM?
```

output

```
True
False
True
False
```

最后一行是 `False`。**`in` 比较的是元素，不是片段。**

21

第 21 页 · in and not in ask whether it is there

> in 判断一个值在不在列表里，not in 反过来。结果是 True 或 False。
>
> 它比自己写循环去比对简洁得多，而且意图更清楚。
>
> 有一点要注意：in 判断的是「值相等」，不是「同一个对象」。两个内容相同的列表互相比较，in 也会认为存在。
>
> 另外，对列表用 in 需要从头扫到尾，列表越长越慢。第 6 讲会讲到集合，那里的 in 几乎和长度无关。

# Walking through a list

## for x in a gives you the item itself

for-in

```
1  fruit = ["apple", "orange", "pear"]
2
3  for x in fruit:
4      print(x, "has", len(x), "letters")
```

output

```
apple has 5 letters
orange has 6 letters
pear has 4 letters
```

Lists, strings, tuples and dicts can all be walked this way. Collectively: **iterables**.

23

第 23 页 · for x in a gives you the item itself

> 遍历列表最直接的写法是 for x in a。
>
> 每一轮循环，x 会依次取到列表里的一项。注意 x 拿到的是元素本身，不是下标——这和 C 或 Java 里习惯的「用下标循环」不一样。
>
> 如果你只需要每一项的值，这就是最好的写法：短、清楚、不会下标越界。

# One loop, two ways to write it

**INDEX BY HAND**

```
i = 0
while i < len(fruit):
    print(fruit[i])
    i += 1
```

**PYTHONIC**

```
for x in fruit:
    print(x)
```

Both do the same job. The right one removes three chances to get it wrong: the start, the end, and `i += 1`.



第 24 页 · One loop, two ways to write it

同一个循环的两种写法，放在一起对比。

左边用下标：先生成 0 到 len(a)-1，再用 a[i] 取值。右边直接遍历元素。两种写法结果一样，右边更简洁，也不可能下标越界。

什么时候必须用左边那种？当你需要知道「这是第几项」的时候。但即使那样，也有更好的写法——下一页。

## Need the index too? Use enumerate

**enumerate**

```
1  fruit = ["apple", "orange", "pear"]
2
3  for i, x in enumerate(fruit):
4      print(i, x)
```

output

```
0 apple
1 orange
2 pear
```

When you need the index, reach for `enumerate` — **not `for i in range(len(a))`**.

25

第 25 页 · Need the index too? Use enumerate

> 既要元素又要下标时，用 enumerate。
>
> 它每一轮返回两个东西：下标和元素，所以循环变量写成 for i, x in enumerate(a)。
>
> 对比上一页用 range(len(a)) 再取 a[i] 的写法，enumerate 更短，而且不会出现「下标和列表对不上」的问题。
>
> 如果想让编号从 1 开始，可以写 enumerate(a, 1)，这在打印给人看的清单时很常用。

PART 4 OF 9 · THE KEY SECTION

# So what is a list, really?

## An array 数组: same type, laid out end to end

- Every item is the same type, so every item takes the same number of bytes
- The items sit in consecutive memory, one after another
- So the address of item i is: start + size x i
  - one multiplication and one addition — the computer jumps straight there

下标从 0 起的理由在这里：**第 0 项的地址就是起始地址。**

27

第 27 页 · An array 数组: same type, laid out end to end

> 这里要解释一个容易混淆的词：数组。
>
> 在 C、Java 这些语言里，数组是一段连续的内存，里面的每一项类型相同、大小相同，所以可以直接按下标算出地址，取第几项的速度和位置无关。
>
> Python 的列表不是这样。它更灵活，代价是内部结构更复杂。下一页说明区别在哪。

## But a Python list holds anything at all

These have completely different sizes. The array trick cannot work.

```
mixed = [4, "a", 3.14, True, [1, 2], None]

for x in mixed:
    print(type(x).__name__, end="  ")
```

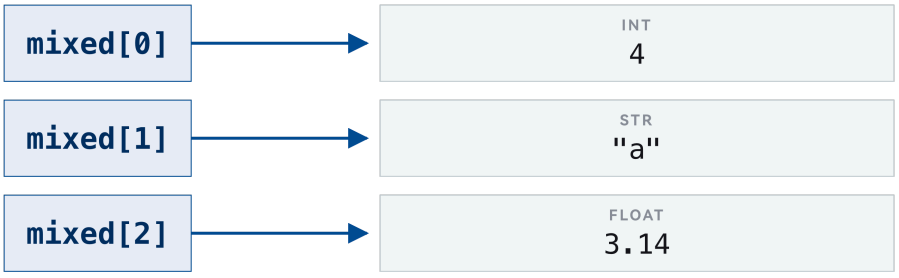
Different sizes means the address cannot be computed. So how does Python manage it?

28

第 28 页 · But a Python list holds anything at all

> Python 的列表可以装任何东西，而且同一个列表里可以混着放：整数、字符串、浮点数、甚至另一个列表。
>
> 这在 C 的数组里是做不到的——那里所有元素必须是同一种类型。
>
> 问题来了：既然元素大小不一样，Python 怎么还能按下标快速取到第几项？答案在下一页，而它也正是这一讲后半程所有「意外」的根源。

# A list stores addresses, not data




*the slots are all the same size — they hold addresses, not values*

**An address is a fixed size.** So the array holding the addresses is uniform after all.



第 29 页 · A list stores addresses, not data

> 关键在于：列表里存的不是数据本身，而是数据的地址。
>
> 无论元素是一个小整数还是一个很长的字符串，列表格子里放的都是一个固定大小的地址。所以格子大小统一，按下标取值依然很快；同时元素类型可以随意，因为真正的数据放在别处。
>
> 这个设计解释了三件事：为什么列表能装混合类型、为什么两个名字可以指向同一个列表、以及为什么拷贝一个列表时「里面那一层」不会跟着复制。后面两条马上就会遇到。

## Which makes this legal, if strange

Each slot holds an address; that address may point at another list.

```
deep = [[[[[[1]]]]]]

print(deep[0][0][0][0][0][0])
print(len(deep))
```

An address can point at a list of addresses, and so on down.





> 因为存的是地址，所以这样写完全合法：一个列表里同时放整数、字符串和另一个列表。
>
> 能这么写不代表应该这么写。混合类型的列表在处理时很麻烦——你没法对它统一做加法，也没法直接排序。实际写代码时，一个列表通常应该装同一类东西。

## id() gives you that address

id()

```
1  a = [1, 2, 3]
2  print("id of a: ", id(a))
3  print("id of a[0]:", id(a[0]))
4
5  b = a
6  print("id of b: ", id(b))
7  print("a is b:  ", a is b)
```

output

```
id of a:  4312602432
id of a[0]: 4324107032
id of b:  4312602432
a is b:   True
```

`id(x)` is where `x` lives. **The number differs every run; which ones match does not.**





> id() 返回一个对象的身份标识，在 CPython 里就是它的内存地址。
>
> 这个函数平时不用，但它是观察「两个名字是不是指向同一个东西」最直接的工具：id 相同就是同一个对象，不同就是两个对象。
>
> 接下来几页会反复用它来验证，而不是靠猜。

# Changing a list

## A list is mutable: you change it in place

**mutable**

```
1  a = [1, 2, 3]
2  print("before:", a, id(a))
3
4  a[0] = 99
5  print("after: ", a, id(a))
```

**output**

```
before: [1, 2, 3] 4369422144
after:  [99, 2, 3] 4369422144
```

内容变了，地址没变。**这就是「修改」。**

33

第 33 页 · A list is mutable: you change it in place

> 列表是可变的：你可以在不换对象的前提下改动它的内容。
>
> 看这段代码的输出：改动前后，列表的内容变了，但 id 没变。也就是说，还是同一个列表，只是里面第 0 项换了。
>
> 这一点和字符串正相反。字符串是不可变的，s[0] = 'x' 会直接报错，任何「修改」字符串的操作实际上都在造一个新字符串。这个区别在第 6 讲会正式对比。

# append adds one item at the end

append

```
1  a = [1, 2, 3]
2  a.append(4)
3  print(a)
4
5  a.append([5, 6])   # ONE item, a list
6  print(a)
7  print(len(a))
```

output

```
[1, 2, 3, 4]
[1, 2, 3, 4, [5, 6]]
5
```

append 一次只加一项。传进去的是列表，那也只算一项。





> append 在末尾加一项。
>
> 注意它加的是「一项」：如果你传进去一个列表，那整个列表会作为一项被放进去，而不是把里面的元素铺开。
>
> 同样注意 id 没变——append 是在原列表上改，不是造一个新列表。这一点决定了它和下一页的 + 有本质区别。

## append, extend and + are three different things

**append — ONE item**

```
a = [1, 2]
a.append([3, 4])
print(a)
print(len(a))
```

**output**

```
[1, 2, [3, 4]]
3
```

**extend — EACH item**

```
a = [1, 2]
a.extend([3, 4])
print(a)
print(len(a))
```

**output**

```
[1, 2, 3, 4]
4
```

`append` 加一项，`extend` 逐项加，`a + b` 也逐项，**但另造一个新列表。**

35

第 35 页 · append, extend and + are three different things

> 把三种「加东西」的方式放在一起对比，这是这一节的重点。
>
> append 加一项，传进去的东西整个作为一个元素。extend 把参数里的每一项分别加进来，所以传一个三元素的列表会多出三项。加号造一个新列表，原来的两个都不变。
>
> 记法：append 和 extend 都在原地改，加号不改原来的。选哪个取决于你想不想保留原列表。

# a + b builds a new list; extend does not

**in place or not**

```
1  a = [1, 2]
2  print("a starts at", id(a))
3
4  a.extend([3, 4])
5  print("extend", id(a))   # same list
6
7  a = a + [5, 6]
8  print("plus  ", id(a))   # a new one
```

**output**

```
a starts at 4308817728
extend 4308817728
plus   4392368384
```

**Changed in place, or newly built?** Today keeps coming back to that.



第 36 页 · a + b builds a new list; extend does not

> 这一页用 id 验证上一页的说法。
>
> a + b 之后，结果的 id 和 a 不同——说明它是一个新列表，a 本身没变。a.extend(b) 之后，a 的 id 不变——说明是在原列表上加。
>
> 这个差别在函数里尤其要紧：如果你把一个列表传进函数，函数里用 extend，调用方的列表会跟着变；用加号则不会。第 4 讲讲函数时提到的「副作用」，这里是最典型的一例。

## Every in-place method returns None

**what do they return?**

```
a = [3, 1, 2]

print(a.append(4))
print(a.sort())
print(a.reverse())
print(a.insert(0, 9))
print(a)          # but a DID change
```

output

```
None
None
None
None
[9, 4, 3, 2, 1]
```

**全是 None。** 改的就是原列表，没有新对象可以返回。

37

第 37 页 · Every in-place method returns None

> 所有原地修改的方法都返回 None。
>
> append、extend、sort、reverse、insert、remove 都是如此。它们的工作是改动原对象，没有东西可返回，Python 就统一返回 None。
>
> 这个设计是有意的：如果 append 返回列表本身，你就无法从返回值判断这个方法到底改没改原对象。统一返回 None，等于在语法层面提醒你「这是原地操作」。

## Which makes a = a.append(x) a bug

**错**

```
a = [1, 2, 3]
a = a.append(4)
print(a)

# a is None; list lost
```

**对**

```
a = [1, 2, 3]
a.append(4)
print(a)

# [1, 2, 3, 4]
```

append added the 4, then returned None — and that None was bound back to a. `sort`, `reverse`, `remove`, `insert`: all the same.

In-place methods return `None`. The ones that return a new object leave the original alone.





上一页那条规则会以这个形式坑人：a = a.append(x)。

写的人以为「把 x 加进去，再把结果赋回给 a」。实际发生的是：append 先把 x 加进列表（这一步是对的），然后返回 None，接着 None 被赋给了 a。于是 a 从一个列表变成了 None，原来的列表反而丢了。

而且这个错误不会当场报错，要等到下一次用 a 的时候才炸，报错信息还指向别的地方。这类「错在这里、炸在那里」的问题最难查。

正确写法就是 a.append(x)，不要赋值。

## The in-place family

- append(x) · insert(i, x) · extend(it) · remove(x) · sort() · reverse() · clear()
  - all change the list itself, all return None
- pop(i) is the exception — it removes AND hands the item back
  - so x = a.pop() is correct, and useful
- sorted(a) · reversed(a) · a + b · a[:] build something new instead

写成 `a = a.append(x)`，a 就变成了 `None`，**原来的列表反而丢了**。

39

第 39 页 · The in-place family

> 原地修改的方法可以归成一族，记住它们的共同点比记住每一个更有用。
>
> append 加一项，extend 加一批，insert 在指定位置插入，remove 按值删除第一个匹配项，pop 按下标取出并删除，sort 排序，reverse 反转，clear 清空。
>
> 这些方法都改原对象、都返回 None。其中 pop 是唯一的例外——它返回被取出的那一项，因为那确实是有用的东西。
>
> 如果你要的是「排好序的新列表而不动原来的」，用 sorted(a)；要「反转的新列表」，用 a[::-1] 或 list(reversed(a))。

# Slicing 切片

## a[i:j] takes i up to j, but not j

slice

```
1  a = [10, 20, 30, 40, 50, 60]
2
3  print(a[1:4])
4  print(a[0:3])
5  print(a[:3])      # 0 can be omitted
6  print(a[2:])     # end omitted
7  print(a[:])       # both — the whole list
```

output

```
[20, 30, 40]
[10, 20, 30]
[10, 20, 30]
[30, 40, 50, 60]
[10, 20, 30, 40, 50, 60]
```

**左闭右开。** a[1:4] 取的是第 1、2、3 项，不含第 4 项，长度是 4−1。

41

第 41 页 · a[i:j] takes i up to j, but not j

> 切片用 a[i:j]，取从第 i 项到第 j 项，但**不包含**第 j 项。
>
> 这叫左闭右开。它有一个好处：切出来的长度正好是 j 减 i，不用做加一减一的调整。另一个好处是 a[:i] 和 a[i:] 正好把列表分成两段，不重不漏。
>
> 开头的 0 可以省略，结尾省略表示到末尾，两个都省略就是整个列表。

# a[start:stop:step] adds a stride

step

```
1  a = [10, 20, 30, 40, 50, 60]
2
3  print(a[::2])      # every other one
4  print(a[1::2])
5  print(a[::-1])    # backwards
```

output

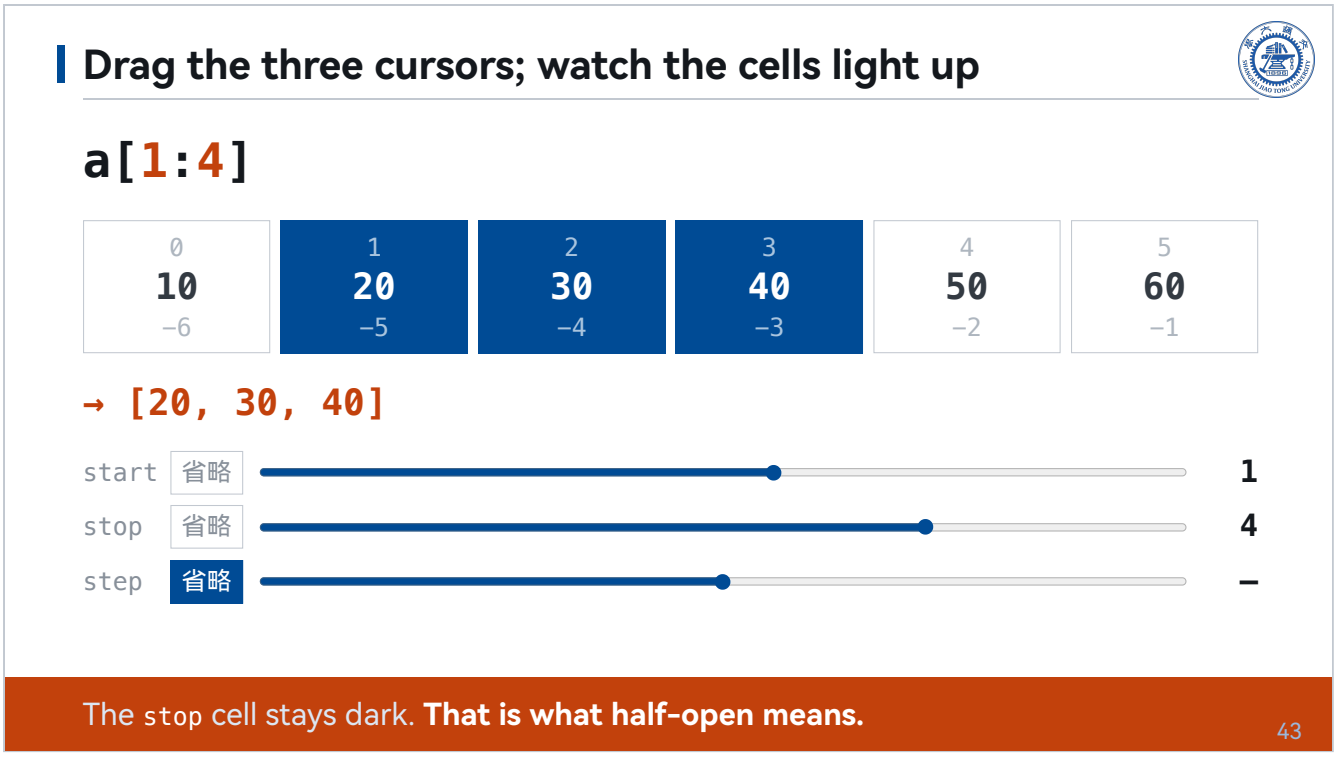
```
[10, 30, 50]
[20, 40, 60]
[60, 50, 40, 30, 20, 10]
```

`a[::-1]` gives a reversed copy. Worth committing to memory.





> 在冒号后面再加一个冒号可以指定步长：a[start:stop:step]。
>
> a[::2] 每隔一个取一个，a[1::2] 从第二项开始每隔一个取一个。
>
> a[::-1] 步长为负，等于把列表倒过来。这个写法很常见，值得记住。注意它造的是一个新列表，和 a.reverse() 不同——后者在原地反转、返回 None。




第 43 页 · Drag the three cursors; watch the cells light up

> 这一页可以自己动手。拖动下面三个游标，上面亮起来的格子就是切出来的部分，右边显示结果。
>
> 先试一件事：把 stop 拖到 4，看看第 4 格亮不亮。它不亮——这就是左闭右开。
>
> 再试第二件事：把 stop 拖到 9。这个列表只有 6 项，切到 9 却什么错都不报，只是给你到末尾为止的部分。这是下一页要讲的内容，先在这里看见它。
>
> 最后把 step 拖到 -1，看看发生什么。
>
> （导出的 PDF 上是静态的一帧，要拖动请到课程网站的课件页。）

## A slice never complains about going too far

**no IndexError**

```
1  a = [10, 20, 30]
2
3  print(a[1])        # fine
4  print(a[1:99])     # no error
5  print(a[99:])      # empty, no error
6  print(a[5:2])      # also empty
```

output

```
20
[20, 30]
[]
[]
```

**切片不会因为越界而报错**，它会安静地返回一个较短的列表或空列表。

44

第 44 页 · A slice never complains about going too far

> 切片越界不报错。
>
> 上面刚讲过 a[6] 会抛 IndexError，但 a[1:99] 不会——它安安静静地给你从第 1 项到末尾的部分。甚至 a[99:] 也不报错，只是返回一个空列表。
>
> 这个设计在很多场合很方便，比如取「前十项，不足十项就有多少给多少」，直接写 a[:10] 就行，不用先判断长度。
>
> 但它也意味着：切片写错了不会当场告诉你，你会拿到一个空列表或者少几项的结果，然后在后面某个地方才发现不对。不报错不等于对——这句话在第 12 讲讲编码时还会再说一次。

# You can assign to a slice

**slice assignment**

```
a = [1, 2, 3, 4, 5]
a[1:3] = [20, 30]        # same length
print(a)
a[1:3] = [7, 7, 7, 7]    # length may differ
print(a)
a[1:5] = []              # deletes
print(a)
```

output

```
[1, 20, 30, 4, 5]
[1, 7, 7, 7, 7, 4, 5]
[1, 4, 5]
```

The right side of a slice assignment must be iterable — `a[1:3] = 20` raises.





> 切片不仅能读，还能赋值。
>
> a[1:3] = [20, 30] 把第 1、2 项换成新的两项。有意思的是两边长度不必相等：a[1:3] = [7,7,7,7] 会用四项替换掉两项，列表因此变长。赋一个空列表则等于删除那一段。
>
> 注意右边必须是一个可迭代的东西，a[1:3] = 20 会报错，因为 20 不能被逐项取出。

## A slice always builds a new list

**is vs ==**

```
a = [1, 2, 3]
b = a          # the same list
c = a[:]       # a NEW list, same items

print("a is b:", a is b)
print("a is c:", a is c)
print("a == c:", a == c)
```

output

```
a is b: True
a is c: False
a == c: True
```

`==` 比较内容，`is` 比较是否为同一个对象。**这两者不能混用。**





> 切片总是造一个新列表。
>
> 看 id：切片结果和原列表的 id 不同。所以 a[:] 是一个常见的写法，意思是「整个切一份」，得到一个内容相同但独立的新列表。
>
> 这一点马上会用到——它是拷贝列表最短的写法之一。

## And slicing is fast

**copying 2,000,000 items**

```
from time import perf_counter as now
f = list(range(2_000_000))

t = now(); g = [x for x in f]; loop = now() - t
t = now(); h = f[:];           sl = now() - t

print(f"loop {loop*1000:5.1f} ms")
print(f"a[:] {sl*1000:5.1f} ms")
```

output

```
loop   8.7 ms
a[:]   2.6 ms
```

To copy a whole list, `a[:]` is about three times faster than a loop you write yourself.

47

第 47 页 · And slicing is fast

> 切片比自己写循环快。
>
> 片子上这个测量是构建时真实跑出来的：同样是复制一个列表，切片比 for 循环加 append 快大约三倍。
>
> 原因是切片在 C 那一层一次性完成，而循环每一轮都要回到 Python 解释器执行一次 append。
>
> 但请注意一点：这是常数倍的差别，不是数量级的差别。两种写法处理 n 项都需要正比于 n 的时间。真正能带来数量级差别的是换算法，不是换写法——第 11 讲会讲这件事。

PART 7 OF 9 · TODAY IS RIGHT HERE

# Two names, one list

## Back to the opening question

**x2 = x2 + 1 左边没变，nums2.append(1) 右边变了。**

The same thing as that shared shopping list.



第 49 页 · Back to the opening question

> 现在回到开场那个问题。
>
> b = a 到底做了什么？答案是：它复制的是箭头，不是列表。赋值只是让第二个名字指向同一个对象，并没有产生新的列表。
>
> 这就是那份共享购物清单：两个入口，一份清单。通过任何一个入口修改，另一个入口看到的都是修改后的结果。

# b = a copies the arrow, not the list

**aliasing**

```
1  a = [1, 2, 3]
2  b = a          # the SAME list
3
4  b.append(4)
5
6  print("a =", a)
7  print("b =", b)
8  print("same object?", a is b)
```

**output**

```
a = [1, 2, 3, 4]
b = [1, 2, 3, 4]
same object? True
```

**`b = a` 复制的是箭头。** `a` 和 `b` 是同一个列表的两个名字。





> 用 id 验证：b = a 之后，a 和 b 的 id 相同，说明它们是同一个对象。
>
> 所以 b.append(4) 之后 a 也变成了四项——因为根本就只有一个列表。

# One list, two names


*b = a made a second arrow to the same object*

The reason it works this way: lists can be huge, and copying one on every assignment would cost far too much.



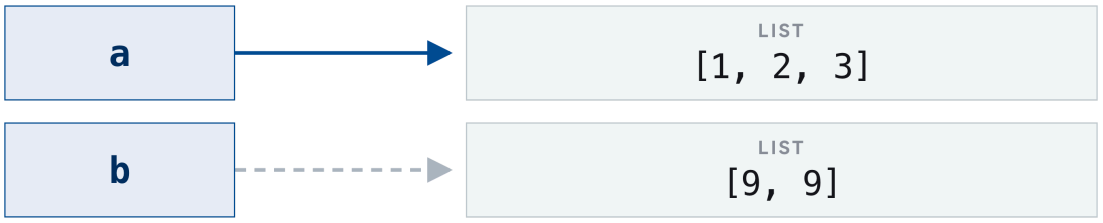
第 51 页 · One list, two names

画成图更清楚：两个名字，两支箭头，指向同一个列表。

赋值语句 b = a 做的事情是「让 b 也指向 a 指的那个东西」，而不是「把 a 的内容抄一份给 b」。

这个模型对后面所有可变类型都适用——字典、集合、以及第 9 讲自定义的类，规则完全一样。现在花时间把它想清楚，后面会省下很多调试时间。

## Mutating, or rebinding




*b = [9, 9] pointed b at a NEW object; a never moved*

`b.append(4)` 修改对象，`b = [9, 9]` 重新绑定。**前者影响 a，后者不会。**





这里要区分两件容易混淆的事：修改和重新绑定。

b.append(4) 是修改：动的是列表本身，a 和 b 指的还是同一个对象，所以 a 看得到这个改动。

b = [9, 9] 是重新绑定：它没有动原来的列表，只是让 b 改指向一个新列表。a 仍然指着老的那个，因此 a 不受影响。

判断办法很简单：看等号左边。左边是一个纯变量名，那是重新绑定；左边带方括号或者调用的是方法，那是修改。

## Getting a copy of your own

**copying**

```
1  a = [1, 2, 3]
2  b = a[:]       # slice
3  c = a.copy()   # clearest
4  d = list(a)    # constructor
5  a.append(99)
6
7  print("a =", a)
8  print("b =", b)
9  print("c =", c)
```

**output**

```
a = [1, 2, 3, 99]
b = [1, 2, 3]
c = [1, 2, 3]
```

Three ways to get a copy of your own: `a[:]`, `a.copy()`, `list(a)`.

53



> 要得到一个独立的副本，有三种等价的写法：a.copy()、a[:]、list(a)。
>
> 三者都造一个新列表，之后改动其中一个不会影响另一个。用哪个看习惯，a.copy() 意图最明显。
>
> 但下一页会说明，这种拷贝只解决了一半问题。

## But a copy goes only one level deep

**shallow copy**

```
a = [[1, 2], [3, 4]]
b = a.copy()

b[0][0] = 99      # reaching INSIDE

print("a =", a)
print("b =", b)
print("a[0] is b[0]:", a[0] is b[0])
```

**output**

```
a = [[99, 2], [3, 4]]
b = [[99, 2], [3, 4]]
a[0] is b[0]: True
```

The outer level was copied; the inner level was not. **This is a shallow copy** 浅拷贝.

54

第 54 页 · But a copy goes only one level deep

> 拷贝只复制最外面那一层。
>
> 如果列表里装的是另一个列表，那么复制出来的新列表里，存的仍然是指向同一个内层列表的地址。也就是说，外层是两个了，内层还是共享的。
>
> 所以改 b[0][0] 的时候，a[0][0] 也跟着变。这叫浅拷贝——它拷贝了箭头，没有拷贝箭头指向的东西。
>
> 这是这一讲最容易出错的地方，也是最难自己发现的地方，因为程序不会报错，只会给出一个你没预料到的结果。

# Deep copy 深拷贝

- copy() duplicates one level. The nested objects are still shared.
- copy.deepcopy() follows the whole chain of addresses and duplicates all of it.
  - import copy → d = copy.deepcopy(a)
- 浅拷贝复制的是外层那一排格子，格子里的地址原样搬过去，所以内层对象仍然是共用的。
- 深拷贝沿着每一个地址往下走，把每一层都复制一份，得到的结构和原来完全独立。

`copy` duplicates one level; `deepcopy` follows the chain of addresses all the way down.





> 要连内层一起复制，用 copy 模块的 deepcopy。
>
> 深拷贝会递归地把每一层都复制一遍，所以得到的新结构和原来完全独立，改哪一层都互不影响。
>
> 代价是慢，而且如果结构里有循环引用需要额外处理（deepcopy 自己能处理）。所以不要养成一律用 deepcopy 的习惯：只装基本类型的列表，浅拷贝就够了。

# deepcopy, checked

**copy vs deepcopy**

```python
import copy
a = [[1, 2], [3, 4]]
shallow = a.copy()
deep = copy.deepcopy(a)

a[0][0] = 99
print("a       =", a)
print("shallow =", shallow)   # followed
print("deep    =", deep)      # separate
```

output

```
a       = [[99, 2], [3, 4]]
shallow = [[99, 2], [3, 4]]
deep    = [[1, 2], [3, 4]]
```

嵌套结构要备份，**只有 deepcopy 是可靠的**。





> 用代码验证：改动 a 里面那个嵌套列表之后，shallow 跟着变了，deep 没有变。
>
> 三行输出并排放在一起，差别一眼就能看到。遇到「明明只改了一个却两个都变了」的情况，回来看这一页。

## A Grid Built With *

**[[0]*3]*3**

```
grid = [[0] * 3] * 3     # looks fine
grid[0][0] = 1
print(grid)

good = [[0] * 3 for _ in range(3)]
good[0][0] = 1
print(good)
```

output

```
[[1, 0, 0], [1, 0, 0], [1, 0, 0]]
[[1, 0, 0], [0, 0, 0], [0, 0, 0]]
```

* 3 复制的是三个箭头，都指向同一行。**改一行等于改三行。**

57

第 57 页 · A Grid Built With `*`

这是嵌套列表最经典的一个事故：用乘法造二维表格。

[[0] * 3] * 3 看起来是「三行三列的零」，打印出来也确实是 [[0,0,0],[0,0,0],[0,0,0]]。但把 grid[0][0] 改成 1 之后，三行的第一个元素全变成了 1。

原因是外层的乘法只是把同一个内层列表的地址重复了三次，所以三行其实是同一行。

正确写法是用列表推导：[[0] * 3 for _ in range(3)]。这里每一轮循环都会执行一次 [0] * 3，因此产生三个不同的列表。

内层的 [0] * 3 为什么没问题？因为 0 是整数，不可变，共享同一个 0 不会造成任何后果。问题只出在可变对象上。

## Three minutes with the person next to you

**一个函数接收一个列表作为参数。你想在函数内部排序，但不希望调用方的那个列表被改动。应该怎么写？**

Two answers are correct here. Find both.

58

第 58 页 · Three minutes with the person next to you

> 花三分钟和旁边的同学讨论一下这个问题。
>
> 讨论比自己想更有效，因为你需要把想法说出来——而说不清楚通常意味着还没想明白。
>
> 这也是之后团队项目的基本工作方式。

PART 8 OF 9

# Deleting while you iterate

## This looks right. It is not.

one 2 survives

```
1  a = [1, 2, 2, 3]
2
3  for x in a:
4      if x == 2:
5          a.remove(x)
6
7  print(a)
```

output

```
[1, 2, 3]
```

Remove an item and everything after it shifts left, while the index keeps climbing — **so the second 2 is skipped**.

60

第 60 页 · This looks right. It is not.

> 这段代码看起来对，实际不对：一边遍历列表一边删除元素。
>
> 问题在于删除会让后面的元素往前挪一位，而循环的内部计数器仍然照常往后走，于是每删一个就会跳过一个。结果是有些该删的没被删掉。
>
> 这个错误的特点是「有时候看起来是对的」：如果要删的元素不相邻，可能恰好没问题；一旦相邻，就漏。这种时对时错的 bug 比稳定出错的更难查。

## Three ways that actually work

```python
# 1. build a new list — clearest
a = [x for x in a if x != 2]

# 2. loop over a copy, delete from the original
for x in a[:]:
    if x == 2:
        a.remove(x)

# 3. mark instead of delete, clean up afterwards
a = [None if x == 2 else x for x in a]
```

**不要一边遍历一边删除。** 新建一个列表最清楚，也最不容易出错。

61

第 61 页 · Three ways that actually work

三种确实可行的写法。

第一种是建一个新列表，用列表推导把要保留的挑出来。这种写法最清楚，通常也是首选。

第二种是遍历一份拷贝、在原列表上删：for x in a[:] 里的 a[:] 是副本，遍历它的时候改动 a 不会影响循环。

第三种是先标记后清理：先把要删的位置标出来，遍历结束后统一处理。

一般情况下用第一种。记住这条规则：**不要在遍历一个列表的同时修改它的长度。**

# List comprehension 列表推导

## The same thing, four lines shorter

**WITH A LOOP**

```
squares = []
for x in range(10):
    squares.append(x**2)
print(squares)
```

**WITH A COMPREHENSION**

```
squares = [x**2 for x in range(10)]
print(squares)
```

Read it left to right: for every `x` in `range(10)`, take $x^2$.

63

第 63 页 · The same thing, four lines shorter

同一件事的两种写法：左边用循环，右边用列表推导。

右边这行的读法是从左往右念：「对 range(10) 里的每一个 x，取 x 的平方」。先会读，再会写。

推导式不是必需的语法，任何推导式都能改写成循环。它的价值在于把「造一个新列表」这件事表达成一行，读的人一眼就知道结果是一个列表。

# The shape of a comprehension

- [ expression for target in iterable if condition ]
  - expression — what to put in the new list
  - for … in — where the values come from
  - if … — optional, keeps only the ones that pass
- The result is always a NEW list. The source is untouched.

Three parts: **what to take · where from · which ones**.





> 列表推导的结构固定：方括号里放三部分——表达式、for 目标 in 可迭代对象、可选的 if 条件。
>
> 执行顺序和书写顺序不同：先跑 for，再判断 if，最后算表达式。所以读的时候先看中间那一段，就知道循环的是什么。

# Adding a condition

**filtering**

```
1  nums = [3, -1, 4, -1, 5, -9, 2, 6]
2
3  print([x for x in nums if x > 0])
4  print([x * x for x in nums if x > 0])
5  print([abs(x) for x in nums])
```

**output**

```
[3, 4, 5, 2, 6]
[9, 16, 25, 4, 36]
[3, 1, 4, 1, 5, 9, 2, 6]
```

Filtering and transforming can share a line, but one job per line reads better.





加上条件之后，只有满足条件的项才会进入结果。

注意 if 的位置：写在 for 后面是过滤，决定某一项要不要进结果；写在最前面（配 else）是选择，每一项都会进结果，只是取值不同。这两种形式很容易混。

过滤写法里没有 else，因为「不满足就不要」，没有第二个取值。

## When not to reach for one

- Two levels of nesting — write the loop instead
  - [[y for y in row] for row in grid] is already at the limit
- The expression needs more than one line to understand
- You are doing it for the side effect, not the result
  - a comprehension whose value you throw away should be a for loop

**推导式的目的是更清楚，不是更短。** 写出来不清楚就拆成循环。





> 推导式不是越多越好，有三种情况不该用它。
>
> 第一，逻辑复杂到需要嵌套两三层 for 和多个 if 的时候。那时候写成普通循环反而更容易读懂。
>
> 第二，循环体里要做的事情不止「算一个值」，比如还要打印、写文件、或者更新别的变量。推导式的用途是造一个新列表，不是执行一串动作。
>
> 第三，结果根本用不到的时候。只为了副作用而写一个推导式，会造出一个没人用的列表，白白占内存。
>
> 判断标准：写完念一遍，念不顺就改回循环。


第 67 页 · 随堂小测 · 第 2 轮

第二轮小测，六道题，把今天几段各收一次。我一题一题地放，每题答完当场公布。

第 1 题检查你有没有把下标和边界搞清楚。

这类题的正确做法是在纸上把列表的每一项和它的下标写出来，正数下标写在上面，负数下标写在下面，然后按题目数一遍。凭感觉答很容易差一位。

【第 2 题 · append 和 extend 的区别】

这一题检验 append 和 extend 的区别。

如果选错，回到那一页重新看一遍两者的输出。一个记法是看参数被怎么对待：append 把参数当作一个整体，extend 把参数拆开。

【第 3 题 · 就地修改的返回值是什么】

这一题只有一个考点：**就地修改的方法返回 None。**

append、extend、sort、reverse、remove、insert 全都如此。它们改的是原来那个列表，没有新东西可以交回来，所以返回 None。

写成 a = a.append(x) 是初学阶段最常见的一个错误：列表确实被改了，但 a 随即被绑到了 None 上，原来那个列表就找不回来了。

【第 4 题 · 用 * 造矩阵的陷阱】

这一题考的就是上一页那个陷阱。

答对了说明你真的理解了「乘法复制的是地址」。答错也没关系，回去把上一页的两种写法各跑一遍，对比 id 的输出，比看讲解更直观。

【第 5 题 · b = a 和 c = a[:] 的 id】

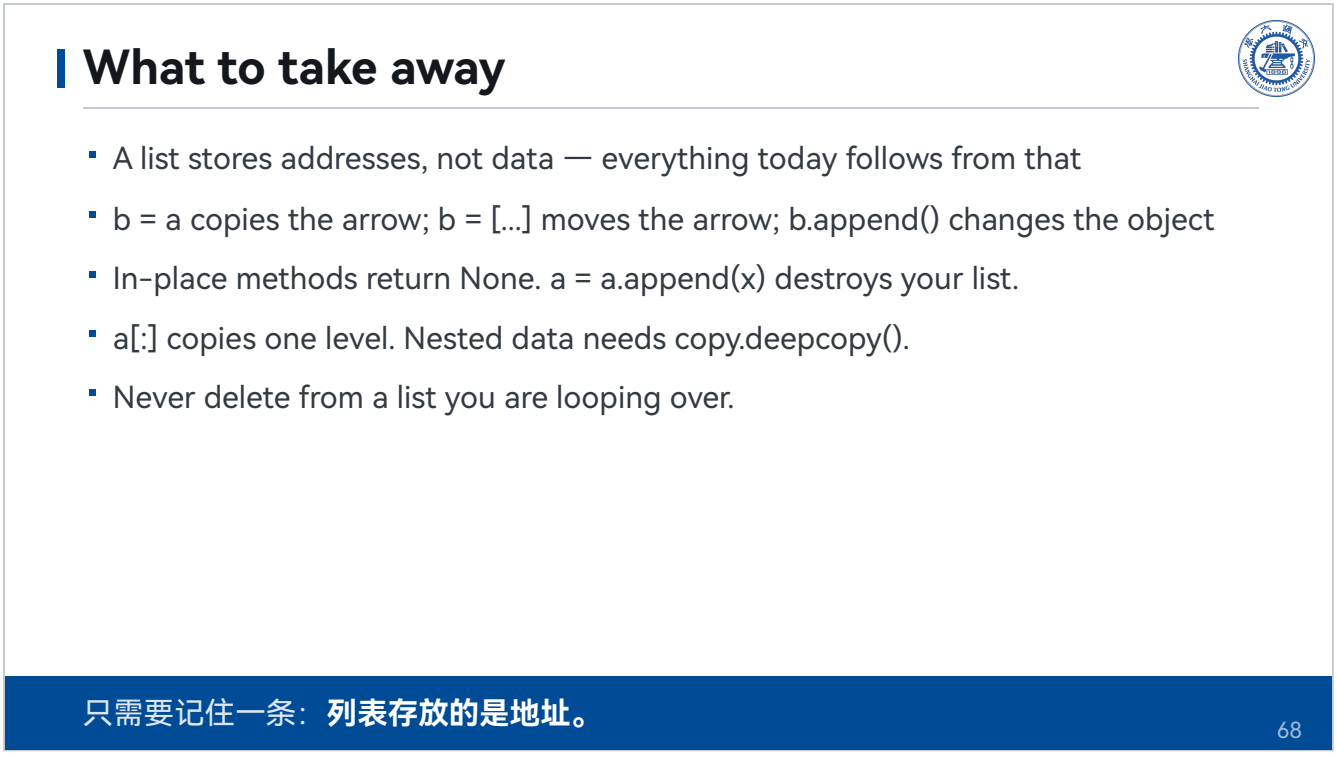
这一题把这一节的两条结论合在一起考：b = a 复制的是箭头，两个名字指向同一个列表，所以 id 相同；c = a[:] 是切片，切片永远造一个新列表，所以 id 不同。

答完这一题，就可以回头看开场那道题了——它问的是同一件事。

【第 6 题 · 边遍历边删】

这一题考边遍历边删。

如果选错，把那段代码在自己机器上跑一遍，在循环里加一行 print 把每一轮的 x 和当前的列表都打出来，跳过是怎么发生的就看得很清楚了。




第 68 页 · What to take away

这一讲要记住的东西集中在这一页。

列表存的是地址不是数据；b = a 复制的是箭头；切片和 copy 只复制最外层；嵌套结构要用 deepcopy；原地方法返回 None；不要边遍历边删。

其中前两条是根，其余都是它们的推论。如果只能记住一句话，记住：赋值不复制对象。

LAB 5

## Lab 5 — 六道题，列表实战

- **5-1** 成绩统计（热身）
- **5-2** 手写 max —— 不许调内置的那个
- **5-3** 有序去重：去掉重复元素但保持原来的先后
- **5-4** 矩阵转置
- **5-5** 找出并修正 Bug
- **5-6** 拷贝实验 —— 今天三个坑的正面交锋

另有 **B 段**和 **C 段**（命令行，**期末要考**）。**其中三道是刻意安排的陷阱题** —— 先自己踩进去，再自己爬出来。

69

第 69 页 · Lab 5 — 六道题，列表实战

A 段六道题，覆盖列表的增删改查、切片、拷贝和嵌套结构。

其中三道是刻意安排的陷阱题，对应今天讲过的三个坑：原地方法的返回值、浅拷贝、边遍历边删。先自己踩进去，再自己爬出来，比听讲印象深得多。

5-2 要求手写 max，不许调内置的那个。这类题的意义不在于「重新发明轮子」，而在于逼你把「遍历 + 维护一个当前最好值」这个套路写熟——后面找最小值、找第二大、找出现次数最多的，都是同一个骨架。

5-4 矩阵转置会用到嵌套列表，也是今天那个「用 * 造矩阵」陷阱的正面应用。

A 段之外还有 B 段和 C 段，三段同时开放。C 段是命令行基本功，期末要考。

交到「小作业 2」——它覆盖第 4 到 6 周，10 月 27 日截止。

## Next time

**A list can do almost everything. So why does Python have three more?**

Next time: tuple, dict and set — and the one question that decides which of the four you should reach for.





> 下一讲讲元组、字典、字符串和集合。
>
> 列表几乎什么都能做，那为什么 Python 还要另外三种容器？因为「能做」和「适合做」是两回事。下一讲会给你一个判断依据：拿到一个具体问题，该选哪一种。