

Generator 函数的语法

- 1.简介
- 2.next 方法的参数
- 3.for...of 循环
- 4.Generator.prototype.throw()
- 5.Generator.prototype.return()
- 6.next()、throw()、return() 的共同点
- 7.yield* 表达式
- 8.作为对象属性的 Generator 函数
- 9.Generator 函数的this
- 10.含义
- 11.应用

1. 简介

基本概念

Generator 函数是 ES6 提供了一种异步编程解决方案，语法行为与传统函数完全不同。本章详细介绍 Generator 函数的语法和 API，它的异步编程应用请看《Generator 函数的异步应用》一章。

Generator 函数有多种理解角度。语法上，首先可以把它理解成，Generator 函数是一个状态机，封装了多个内部状态。

执行 Generator 函数会返回一个遍历器对象，也就是说，Generator 函数除了状态机，还是一个遍历器对象生成函数。返回的遍历器对象，可以依次遍历 Generator 函数内部的每一个状态。

形式上，Generator 函数是一个普通函数，但是有两个特征。一是，`function` 关键字与函数名之间有一个星号；二是，函数体内部使用 `yield` 表达式，定义不同的内部状态（`yield` 在英语里的意思就是“产出”）。

```
function* helloWorldGenerator() {  
  yield 'hello';  
  yield 'world';  
  return 'ending';  
}  
  
var hw = helloWorldGenerator();
```

上面代码定义了一个 Generator 函数 `helloWorldGenerator`，它内部有两个 `yield` 表达式（`hello` 和 `world`），即该函数有三个状态：`hello`，`world` 和 `return` 语句（结束执行）。

然后，Generator 函数的调用方法与普通函数一样，也是在函数名后面加上一对圆括号。不同的是，调用 Generator 函数后，该函数并不执行，返回的也不是函数运行结果，而是一个指向内部状态的指针对象，也就是上一章介绍的遍历器对象（Iterator Object）。

下一步，必须调用遍历器对象的 `next` 方法，使得指针移向下一个状态。也就是说，每次调用 `next` 方法，内部指针就从函数头部或上一次停下来的地方开始执行，直到遇到下一个 `yield` 表达式（或 `return` 语句）为止。换言之，Generator 函数是分段执行的，`yield` 表达式是暂停执行的标记，而 `next` 方法可以恢复执行。

```
hw.next()  
// { value: 'hello', done: false }  
  
hw.next()
```

```
// { value: 'world', done: false }

hw.next()
// { value: 'ending', done: true }

hw.next()
// { value: undefined, done: true }
```

上面代码一共调用了四次 `next` 方法。

第一次调用，Generator 函数开始执行，直到遇到第一个 `yield` 表达式为止。`next` 方法返回一个对象，它的 `value` 属性就是当前 `yield` 表达式的值 `hello`，`done` 属性的值 `false`，表示遍历还没有结束。

第二次调用，Generator 函数从上次 `yield` 表达式停下的地方，一直执行到下一个 `yield` 表达式。`next` 方法返回的对象的 `value` 属性就是当前 `yield` 表达式的值 `world`，`done` 属性的值 `false`，表示遍历还没有结束。

第三次调用，Generator 函数从上次 `yield` 表达式停下的地方，一直执行到 `return` 语句（如果没有 `return` 语句，就执行到函数结束）。`next` 方法返回的对象的 `value` 属性，就是紧跟在 `return` 语句后面的表达式的值（如果没有 `return` 语句，则 `value` 属性的值为 `undefined`），`done` 属性的值 `true`，表示遍历已经结束。

第四次调用，此时 Generator 函数已经运行完毕，`next` 方法返回对象的 `value` 属性为 `undefined`，`done` 属性为 `true`。以后再调用 `next` 方法，返回的都是这个值。

总结一下，调用 Generator 函数，返回一个遍历器对象，代表 Generator 函数的内部指针。以后，每次调用遍历器对象的 `next` 方法，就会返回一个有着 `value` 和 `done` 两个属性的对象。`value` 属性表示当前的内部状态的值，是 `yield` 表达式后面那个表达式的值；`done` 属性是一个布尔值，表示是否遍历结束。

ES6 没有规定，`function` 关键字与函数名之间的星号，写在哪个位置。这导致下面的写法都能通过。

```
function * foo(x, y) { ... }
function *foo(x, y) { ... }
function* foo(x, y) { ... }
function*foo(x, y) { ... }
```

由于 Generator 函数仍然是普通函数，所以一般的写法是上面的第三种，即星号紧跟在 `function` 关键字后面。本书也采用这种写法。

yield 表达式

由于 Generator 函数返回的遍历器对象，只有调用 `next` 方法才会遍历下一个内部状态，所以其实提供了一种可以暂停执行的函数。`yield` 表达式就是暂停标志。

遍历器对象的 `next` 方法的运行逻辑如下。

- （1）遇到 `yield` 表达式，就暂停执行后面的操作，并将紧跟在 `yield` 后面的那个表达式的值，作为返回的对象的 `value` 属性值。
- （2）下一次调用 `next` 方法时，再继续往下执行，直到遇到下一个 `yield` 表达式。
- （3）如果没有再遇到新的 `yield` 表达式，就一直运行到函数结束，直到 `return` 语句为止，并将 `return` 语句后面的表达式的值，作为返回的对象的 `value` 属性值。
- （4）如果该函数没有 `return` 语句，则返回的对象的 `value` 属性值为 `undefined`。

需要注意的是，`yield` 表达式后面的表达式，只有当调用 `next` 方法、内部指针指向该语句时才会执行，因此等于为 JavaScript 提供了手动的“惰性求值”（Lazy Evaluation）的语法功能。

```
function* gen() {  
  yield 123 + 456;  
}
```

上面代码中，`yield` 后面的表达式 `123 + 456`，不会立即求值，只有在 `next` 方法将指针移到这一句时，才会求值。

`yield` 表达式与 `return` 语句既有相似之处，也有区别。相似之处在于，都能返回紧跟在语句后面的那个表达式的值。区别在于每次遇到 `yield`，函数暂停执行，下一次再从该位置继续向后执行，而 `return` 语句不具备位置记忆的功能。一个函数里面，只能执行一次（或者说一个）`return` 语句，但是可以执行多次（或者说多个）`yield` 表达式。正常函数只能返回一个值，因为只能执行一次 `return`；Generator 函数可以返回一系列的值，因为可以有任意多个 `yield`。从另一个角度看，也可以说 Generator 生成了一系列的值，这也就是它的名称的来历（英语中，generator 这个词是“生成器”的意思）。

Generator 函数可以不用 `yield` 表达式，这时就变成了一个单纯的暂缓执行函数。

```
function* f() {  
  console.log('执行了! ')  
}  
  
var generator = f();  
  
setTimeout(function () {  
  generator.next()  
}, 2000);
```

上面代码中，函数 `f` 如果是普通函数，在为变量 `generator` 赋值时就会执行。但是，函数 `f` 是一个 Generator 函数，就变成只有调用 `next` 方法时，函数 `f` 才会执行。

另外需要注意，`yield` 表达式只能用在 Generator 函数里面，用在其他地方都会报错。

```
(function () {  
  yield 1;  
})()  
// SyntaxError: Unexpected number
```

上面代码在一个普通函数中使用 `yield` 表达式，结果产生一个句法错误。

下面是另外一个例子。

```
var arr = [1, [[2, 3], 4], [5, 6]];  
  
var flat = function* (a) {  
  a.forEach(function (item) {  
    if (typeof item !== 'number') {  
      yield* flat(item);  
    } else {  
      yield item;  
    }  
  });  
};  
  
for (var f of flat(arr)){  
  console.log(f);  
}
```

上面代码也会产生句法错误，因为 `forEach` 方法的参数是一个普通函数，但是在里面使用了 `yield` 表达式（这个函数里面还使用了 `yield*` 表达式，详细介绍见后文）。一种修改方法是改用 `for` 循环。

```
var arr = [1, [[2, 3], 4], [5, 6]];  
  
var flat = function* (a) {  
  var length = a.length;
```

```
for (var i = 0; i < length; i++) {
  var item = a[i];
  if (typeof item !== 'number') {
    yield* flat(item);
  } else {
    yield item;
  }
}

for (var f of flat(arr)) {
  console.log(f);
}

// 1, 2, 3, 4, 5, 6
```

另外，`yield` 表达式如果用在另一个表达式之中，必须放在圆括号里面。

```
function* demo() {
  console.log('Hello' + yield); // SyntaxError
  console.log('Hello' + yield 123); // SyntaxError

  console.log('Hello' + (yield)); // OK
  console.log('Hello' + (yield 123)); // OK
}
```

`yield` 表达式用作函数参数或放在赋值表达式的右边，可以不加括号。

```
function* demo() {
  foo(yield 'a', yield 'b'); // OK
  let input = yield; // OK
}
```

与 Iterator 接口的关系

上一章说过，任意一个对象的 `Symbol.iterator` 方法，等于该对象的遍历器生成函数，调用该函数会返回该对象的一个遍历器对象。

由于 Generator 函数就是遍历器生成函数，因此可以把 Generator 赋值给对象的 `Symbol.iterator` 属性，从而使得该对象具有 Iterator 接口。

```
var myIterable = {};
myIterable[Symbol.iterator] = function* () {
  yield 1;
  yield 2;
  yield 3;
};

[...myIterable] // [1, 2, 3]
```

上面代码中，Generator 函数赋值给 `Symbol.iterator` 属性，从而使得 `myIterable` 对象具有了 Iterator 接口，可以被 `...` 运算符遍历了。

Generator 函数执行后，返回一个遍历器对象。该对象本身也具有 `Symbol.iterator` 属性，执行后返回自身。

```
function* gen(){
  // some code
}

var g = gen();
```

```
g[Symbol.iterator]() === g
// true
```

上面代码中，`gen` 是一个 Generator 函数，调用它会生成一个遍历器对象 `g`。它的 `Symbol.iterator` 属性，也是一个遍历器对象生成函数，执行后返回它自己。

2. next 方法的参数

`yield` 表达式本身没有返回值，或者说总是返回 `undefined`。`next` 方法可以带一个参数，该参数就会被当作上一个 `yield` 表达式的返回值。

```
function* f() {
  for(var i = 0; true; i++) {
    var reset = yield i;
    if(reset) { i = -1; }
  }
}

var g = f();

g.next() // { value: 0, done: false }
g.next() // { value: 1, done: false }
g.next(true) // { value: 0, done: false }
```

上面代码先定义了一个可以无限运行的 Generator 函数 `f`，如果 `next` 方法没有参数，每次运行到 `yield` 表达式，变量 `reset` 的值总是 `undefined`。当 `next` 方法带一个参数 `true` 时，变量 `reset` 就被重置为这个参数（即 `true`），因此 `i` 会等于 `-1`，下一轮循环就会从 `-1` 开始递增。

这个功能有很重要的语法意义。Generator 函数从暂停状态到恢复运行，它的上下文状态（context）是不变的。通过 `next` 方法的参数，就有办法在 Generator 函数开始运行之后，继续向函数体内部注入值。也就是说，可以在 Generator 函数运行的不同阶段，从外部向内部注入不同的值，从而调整函数行为。

再看一个例子。

```
function* foo(x) {
  var y = 2 * (yield (x + 1));
  var z = yield (y / 3);
  return (x + y + z);
}

var a = foo(5);
a.next() // Object{value:6, done:false}
a.next() // Object{value:NaN, done:false}
a.next() // Object{value:NaN, done:true}

var b = foo(5);
b.next() // { value:6, done:false }
b.next(12) // { value:8, done:false }
b.next(13) // { value:42, done:true }
```

上面代码中，第二次运行 `next` 方法的时候不带参数，导致 `y` 的值等于 `2 * undefined`（即 `NaN`），除以 3 以后还是 `NaN`，因此返回对象的 `value` 属性也等于 `NaN`。第三次运行 `Next` 方法的时候不带参数，所以 `z` 等于 `undefined`，返回对象的 `value` 属性等于 `5 + NaN + undefined`，即 `NaN`。

如果向 `next` 方法提供参数，返回结果就完全不一样了。上面代码第一次调用 `b` 的 `next` 方法时，返回 `x+1` 的值 6；第二次调用 `next` 方法，将上一次 `yield` 表达式的值设为 12，因此 `y` 等于 24，返回 `y / 3` 的值 8；第三次调用 `next` 方法，将上一次 `yield` 表达式的值设为 13，因此 `z` 等于 13，这时 `x` 等于 5，`y` 等于 24，所以 `return` 语句的值等于 42。

注意，由于 `next` 方法的参数表示上一个 `yield` 表达式的返回值，所以在第一次使用 `next` 方法时，传递参数是无效的。V8 引擎直接忽略第一次使用 `next` 方法时的参数，只有从第二次使用 `next` 方法开始，参数才是有效的。从语义上讲，第一个 `next` 方法用来启动遍历器对象，所以不用带有参数。

再看一个通过 `next` 方法的参数，向 Generator 函数内部输入值的例子。

```
function* dataConsumer() {
  console.log('Started');
  console.log(`1. ${yield}`);
  console.log(`2. ${yield}`);
  return 'result';
}

let genObj = dataConsumer();
genObj.next();
// Started
genObj.next('a')
// 1. a
genObj.next('b')
// 2. b
```

上面代码是一个很直观的例子，每次通过 `next` 方法向 Generator 函数输入值，然后打印出来。

如果想要第一次调用 `next` 方法时，就能够输入值，可以在 Generator 函数外面再包一层。

```
function wrapper(generatorFunction) {
  return function (...args) {
    let generatorObject = generatorFunction(...args);
    generatorObject.next();
    return generatorObject;
  };
}

const wrapped = wrapper(function* () {
  console.log(`First input: ${yield}`);
  return 'DONE';
});

wrapped().next('hello!')
// First input: hello!
```

上面代码中，Generator 函数如果不用 `wrapper` 先包一层，是无法第一次调用 `next` 方法，就输入参数的。

3. for...of 循环

`for...of` 循环可以自动遍历 Generator 函数时生成的 `Iterator` 对象，且此时不再需要调用 `next` 方法。

```
function* foo() {
  yield 1;
  yield 2;
  yield 3;
  yield 4;
  yield 5;
  return 6;
}

for (let v of foo()) {
  console.log(v);
}
```

// 1 2 3 4 5

上面代码使用 `for...of` 循环，依次显示 5 个 `yield` 表达式的值。这里需要注意，一旦 `next` 方法的返回对象的 `done` 属性为 `true`，`for...of` 循环就会中止，且不包含该返回对象，所以上面代码的 `return` 语句返回的 `6`，不包括在 `for...of` 循环之中。

下面是一个利用 Generator 函数和 `for...of` 循环，实现斐波那契数列的例子。

```
function* fibonacci() {
  let [prev, curr] = [0, 1];
  for (;;) {
    yield curr;
    [prev, curr] = [curr, prev + curr];
  }
}

for (let n of fibonacci()) {
  if (n > 1000) break;
  console.log(n);
}
```

从上面代码可见，使用 `for...of` 语句时不需要使用 `next` 方法。

利用 `for...of` 循环，可以写出遍历任意对象（object）的方法。原生的 JavaScript 对象没有遍历接口，无法使用 `for...of` 循环，通过 Generator 函数为它加上这个接口，就可以用了。

```
function* objectEntries(obj) {
  let propKeys = Reflect.ownKeys(obj);

  for (let propKey of propKeys) {
    yield [propKey, obj[propKey]];
  }
}

let jane = { first: 'Jane', last: 'Doe' };

for (let [key, value] of objectEntries(jane)) {
  console.log(`${key}: ${value}`);
}
// first: Jane
// last: Doe
```

上面代码中，对象 `jane` 原生不具备 Iterator 接口，无法用 `for...of` 遍历。这时，我们通过 Generator 函数 `objectEntries` 为它加上遍历器接口，就可以用 `for...of` 遍历了。加上遍历器接口的另一种写法是，将 Generator 函数加到对象的 `Symbol.iterator` 属性上面。

```
function* objectEntries() {
  let propKeys = Object.keys(this);

  for (let propKey of propKeys) {
    yield [propKey, this[propKey]];
  }
}

let jane = { first: 'Jane', last: 'Doe' };

jane[Symbol.iterator] = objectEntries;

for (let [key, value] of jane) {
  console.log(`${key}: ${value}`);
}
// first: Jane
// last: Doe
```

除了 `for...of` 循环以外，扩展运算符（`...`）、解构赋值和 `Array.from` 方法内部调用的，都是遍历器接口。这意味着，它们都可以将 Generator 函数返回的 Iterator 对象，作为参数。

```
function* numbers () {
  yield 1
  yield 2
  return 3
  yield 4
}

// 扩展运算符
[...numbers()] // [1, 2]

// Array.from 方法
Array.from(numbers()) // [1, 2]

// 解构赋值
let [x, y] = numbers();
x // 1
y // 2

// for...of 循环
for (let n of numbers()) {
  console.log(n)
}
// 1
// 2
```

4. Generator.prototype.throw()

Generator 函数返回的遍历器对象，都有一个 `throw` 方法，可以在函数体外抛出错误，然后在 Generator 函数体内捕获。

```
var g = function* () {
  try {
    yield;
  } catch (e) {
    console.log('内部捕获', e);
  }
};

var i = g();
i.next();

try {
  i.throw('a');
  i.throw('b');
} catch (e) {
  console.log('外部捕获', e);
}
// 内部捕获 a
// 外部捕获 b
```

上面代码中，遍历器对象 `i` 连续抛出两个错误。第一个错误被 Generator 函数体内的 `catch` 语句捕获。`i` 第二次抛出错误，由于 Generator 函数内部的 `catch` 语句已经执行过了，不会再捕捉到这个错误了，所以这个错误就被抛出了 Generator 函数体，被函数体外的 `catch` 语句捕获。

`throw` 方法可以接受一个参数，该参数会被 `catch` 语句接收，建议抛出 `Error` 对象的实例。

```
var g = function* () {
  try {
    yield;
  } catch (e) {
    console.log(e);
  }
};
```



```
var i = g();
i.next();
i.throw(new Error('出错了! '));
// Error: 出错了! (...)
```

注意，不要混淆遍历器对象的 `throw` 方法和全局的 `throw` 命令。上面代码的错误，是用遍历器对象的 `throw` 方法抛出的，而不是用 `throw` 命令抛出的。后者只能被函数体外的 `catch` 语句捕获。

```
var g = function* () {
  while (true) {
    try {
      yield;
    } catch (e) {
      if (e !== 'a') throw e;
      console.log('内部捕获', e);
    }
  }
};

var i = g();
i.next();

try {
  throw new Error('a');
  throw new Error('b');
} catch (e) {
  console.log('外部捕获', e);
}
// 外部捕获 [Error: a]
```

上面代码之所以只捕获了 `a`，是因为函数体外的 `catch` 语句块，捕获了抛出的 `a` 错误以后，就不会再继续 `try` 代码块里面剩余的语句了。

如果 Generator 函数内部没有部署 `try...catch` 代码块，那么 `throw` 方法抛出的错误，将被外部 `try...catch` 代码块捕获。

```
var g = function* () {
  while (true) {
    yield;
    console.log('内部捕获', e);
  }
};

var i = g();
i.next();

try {
  i.throw('a');
  i.throw('b');
} catch (e) {
  console.log('外部捕获', e);
}
// 外部捕获 a
```

上面代码中，Generator 函数 `g` 内部没有部署 `try...catch` 代码块，所以抛出的错误直接被外部 `catch` 代码块捕获。

如果 Generator 函数内部和外部，都没有部署 `try...catch` 代码块，那么程序将报错，直接中断执行。

```
var gen = function* gen(){
  yield console.log('hello');
  yield console.log('world');
}

var g = gen();
g.next();
```

```
g.throw();  
// hello  
// Uncaught undefined
```

上面代码中，`g.throw` 抛出错误以后，没有任何 `try...catch` 代码块可以捕获这个错误，导致程序报错，中断执行。

`throw` 方法抛出的错误要被内部捕获，前提是必须至少执行过一次 `next` 方法。

```
function* gen() {  
  try {  
    yield 1;  
  } catch (e) {  
    console.log('内部捕获');  
  }  
}  
  
var g = gen();  
g.throw(1);  
// Uncaught 1
```

上面代码中，`g.throw(1)` 执行时，`next` 方法一次都没有执行过。这时，抛出的错误不会被内部捕获，而是直接在外部抛出，导致程序出错。这种行为其实很好理解，因为第一次执行 `next` 方法，等同于启动执行 Generator 函数的内部代码，否则 Generator 函数还没有开始执行，这时 `throw` 方法抛错只可能抛出在函数外部。

`throw` 方法被捕获以后，会附带执行下一条 `yield` 表达式。也就是说，会附带执行一次 `next` 方法。

```
var gen = function* gen(){  
  try {  
    yield console.log('a');  
  } catch (e) {  
    // ...  
  }  
  yield console.log('b');  
  yield console.log('c');  
}  
  
var g = gen();  
g.next() // a  
g.throw() // b  
g.next() // c
```

上面代码中，`g.throw` 方法被捕获以后，自动执行了一次 `next` 方法，所以会打印 `b`。另外，也可以看到，只要 Generator 函数内部部署了 `try...catch` 代码块，那么遍历器的 `throw` 方法抛出的错误，不影响下一次遍历。

另外，`throw` 命令与 `g.throw` 方法是无关的，两者互不影响。

```
var gen = function* gen(){  
  yield console.log('hello');  
  yield console.log('world');  
}  
  
var g = gen();  
g.next();  
  
try {  
  throw new Error();  
} catch (e) {  
  g.next();  
}  
  
// hello  
// world
```

上面代码中，`throw` 命令抛出的错误不会影响到遍历器的状态，所以两次执行 `next` 方法，都进行了正确的操作。

这种函数体内捕获错误的机制，大大方便了对错误的处理。多个 `yield` 表达式，可以只用一个 `try...catch` 代码块来捕获错误。如果使用回调函数的写法，想要捕获多个错误，就不得不为每个函数内部写一个错误处理语句，现在只在 Generator 函数内部写一次 `catch` 语句就可以了。

Generator 函数体外抛出的错误，可以在函数体内捕获；反过来，Generator 函数体内抛出的错误，也可以被函数体外的 `catch` 捕获。

```
function* foo() {
  var x = yield 3;
  var y = x.toUpperCase();
  yield y;
}

var it = foo();

it.next(); // { value:3, done:false }

try {
  it.next(42);
} catch (err) {
  console.log(err);
}
```

上面代码中，第二个 `next` 方法向函数体内传入一个参数 42，数值是没有 `toUpperCase` 方法的，所以会抛出一个 `TypeError` 错误，被函数体外的 `catch` 捕获。

一旦 Generator 执行过程中抛出错误，且没有被内部捕获，就不会再执行下去了。如果此后还调用 `next` 方法，将返回一个 `value` 属性等于 `undefined`、`done` 属性等于 `true` 的对象，即 JavaScript 引擎认为这个 Generator 已经运行结束了。

```
function* g() {
  yield 1;
  console.log('throwing an exception');
  throw new Error('generator broke!');
  yield 2;
  yield 3;
}

function log(generator) {
  var v;
  console.log('starting generator');
  try {
    v = generator.next();
    console.log('第一次运行next方法', v);
  } catch (err) {
    console.log('捕捉错误', v);
  }
  try {
    v = generator.next();
    console.log('第二次运行next方法', v);
  } catch (err) {
    console.log('捕捉错误', v);
  }
  try {
    v = generator.next();
    console.log('第三次运行next方法', v);
  } catch (err) {
    console.log('捕捉错误', v);
  }
  console.log('caller done');
}

log(g());
// starting generator
// 第一次运行next方法 { value: 1, done: false }
// throwing an exception
// 捕捉错误 { value: 1, done: false }
```

```
// 第三次运行next方法 { value: undefined, done: true }  
// caller done
```

上面代码一共三次运行 `next` 方法，第二次运行的时候会抛出错误，然后第三次运行的时候，Generator 函数就已经结束了，不再执行下去了。

5. Generator.prototype.return()

Generator 函数返回的遍历器对象，还有一个 `return` 方法，可以返回给定的值，并且终结遍历 Generator 函数。

```
function* gen() {  
  yield 1;  
  yield 2;  
  yield 3;  
}  
  
var g = gen();  
  
g.next()           // { value: 1, done: false }  
g.return('foo')    // { value: "foo", done: true }  
g.next()           // { value: undefined, done: true }
```

上面代码中，遍历器对象 `g` 调用 `return` 方法后，返回值的 `value` 属性就是 `return` 方法的参数 `foo`。并且，Generator 函数的遍历就终止了，返回值的 `done` 属性为 `true`，以后再调用 `next` 方法，`done` 属性总是返回 `true`。

如果 `return` 方法调用时，不提供参数，则返回值的 `value` 属性为 `undefined`。

```
function* gen() {  
  yield 1;  
  yield 2;  
  yield 3;  
}  
  
var g = gen();  
  
g.next()           // { value: 1, done: false }  
g.return()         // { value: undefined, done: true }
```

如果 Generator 函数内部有 `try...finally` 代码块，且正在执行 `try` 代码块，那么 `return` 方法会推迟到 `finally` 代码块执行完再执行。

```
function* numbers () {  
  yield 1;  
  try {  
    yield 2;  
    yield 3;  
  } finally {  
    yield 4;  
    yield 5;  
  }  
  yield 6;  
}  
  
var g = numbers();  
g.next() // { value: 1, done: false }  
g.next() // { value: 2, done: false }  
g.return(7) // { value: 4, done: false }  
g.next() // { value: 5, done: false }  
g.next() // { value: 7, done: true }
```

上面代码中，调用 `return` 方法后，就开始执行 `finally` 代码块，然后等到 `finally` 代码块执行完，再执行 `return` 方法。

6. next()、throw()、return() 的共同点

`next()`、`throw()`、`return()` 这三个方法本质上是同一件事，可以放在一起理解。它们的作用都是让 Generator 函数恢复执行，并且使用不同的语句替换 `yield` 表达式。

`next()` 是将 `yield` 表达式替换成一个值。

```
const g = function* (x, y) {
  let result = yield x + y;
  return result;
};

const gen = g(1, 2);
gen.next(); // Object {value: 3, done: false}

gen.next(1); // Object {value: 1, done: true}
// 相当于将 let result = yield x + y
// 替换成 let result = 1;
```

上面代码中，第二个 `next(1)` 方法就相当于将 `yield` 表达式替换成一个值 `1`。如果 `next` 方法没有参数，就相当于替换成 `undefined`。

`throw()` 是将 `yield` 表达式替换成一个 `throw` 语句。

```
gen.throw(new Error('出错了')); // Uncaught Error: 出错了
// 相当于将 let result = yield x + y
// 替换成 let result = throw(new Error('出错了'));
```

`return()` 是将 `yield` 表达式替换成一个 `return` 语句。

```
gen.return(2); // Object {value: 2, done: true}
// 相当于将 let result = yield x + y
// 替换成 let result = return 2;
```

7. yield* 表达式

如果在 Generator 函数内部，调用另一个 Generator 函数，默认情况下是没有效果的。

```
function* foo() {
  yield 'a';
  yield 'b';
}

function* bar() {
  yield 'x';
  foo();
  yield 'y';
}

for (let v of bar()){
  console.log(v);
}
// "x"
// "y"
```

上面代码中，`foo` 和 `bar` 都是 Generator 函数，在 `bar` 里面调用 `foo`，是不会有效果的。

这个就需要用到 `yield*` 表达式，用来在一个 Generator 函数里面执行另一个 Generator 函数。

```
function* bar() {
  yield 'x';
  yield* foo();
  yield 'y';
}

// 等同于
function bar() {
  yield 'x';
  yield 'a';
  yield 'b';
  yield 'y';
}

// 等同于
function* bar() {
  yield 'x';
  for (let v of foo()) {
    yield v;
  }
  yield 'y';
}

for (let v of bar()){
  console.log(v);
}

// "x"
// "a"
// "b"
// "y"
```

再来看一个对比的例子。

```
function* inner() {
  yield 'hello!';
}

function* outer1() {
  yield 'open';
  yield inner();
  yield 'close';
}

var gen = outer1()
gen.next().value // "open"
gen.next().value // 返回一个遍历器对象
gen.next().value // "close"

function* outer2() {
  yield 'open'
  yield* inner()
  yield 'close'
}

var gen = outer2()
gen.next().value // "open"
gen.next().value // "hello!"
gen.next().value // "close"
```

上面例子中，`outer2` 使用了 `yield*`，`outer1` 没使用。结果就是，`outer1` 返回一个遍历器对象，`outer2` 返回该遍历器对象的内部值。

从语法角度看，如果 `yield` 表达式后面跟的是一个遍历器对象，需要在 `yield` 表达式后面加上星号，表明它返回的是一个遍历器对象。这被称为 `yield*` 表达式。

```
let delegatedIterator = (function* () {
  yield 'Hello!';
  yield 'Bye!';
})();

let delegatingIterator = (function* () {
  yield 'Greetings!';
  yield* delegatedIterator;
  yield 'Ok, bye.';
})();

for(let value of delegatingIterator) {
  console.log(value);
}
// "Greetings!
// "Hello!"
// "Bye!"
// "Ok, bye."
```

上面代码中，`delegatingIterator` 是代理者，`delegatedIterator` 是被代理者。由于 `yield* delegatedIterator` 语句得到的值，是一个遍历器，所以要用星号表示。运行结果就是使用一个遍历器，遍历了多个 Generator 函数，有递归的效果。

`yield*` 后面的 Generator 函数（没有 `return` 语句时），等同于在 Generator 函数内部，部署一个 `for...of` 循环。

```
function* concat(iter1, iter2) {
  yield* iter1;
  yield* iter2;
}

// 等同于

function* concat(iter1, iter2) {
  for (var value of iter1) {
    yield value;
  }
  for (var value of iter2) {
    yield value;
  }
}
```

上面代码说明，`yield*` 后面的 Generator 函数（没有 `return` 语句时），不过是 `for...of` 的一种简写形式，完全可以用后者替代前者。反之，在有 `return` 语句时，则需要用 `var value = yield* iterator` 的形式获取 `return` 语句的值。

如果 `yield*` 后面跟着一个数组，由于数组原生支持遍历器，因此就会遍历数组成员。

```
function* gen(){
  yield* ["a", "b", "c"];
}

gen().next() // { value:"a", done:false }
```

上面代码中，`yield` 命令后面如果不加星号，返回的是整个数组，加了星号就表示返回的是数组的遍历器对象。

实际上，任何数据结构只要有 Iterator 接口，就可以被 `yield*` 遍历。

```
let read = (function* () {
  yield 'hello';
  yield* 'hello';
})();

read.next().value // "hello"
read.next().value // "h"
```

上面代码中，`yield` 表达式返回整个字符串，`yield*` 语句返回单个字符。因为字符串具有 `Iterator` 接口，所以被 `yield*` 遍历。

如果被代理的 `Generator` 函数有 `return` 语句，那么就可以向代理它的 `Generator` 函数返回数据。

```
function* foo() {
  yield 2;
  yield 3;
  return "foo";
}

function* bar() {
  yield 1;
  var v = yield* foo();
  console.log("v: " + v);
  yield 4;
}

var it = bar();

it.next()
// {value: 1, done: false}
it.next()
// {value: 2, done: false}
it.next()
// {value: 3, done: false}
it.next();
// "v: foo"
// {value: 4, done: false}
it.next()
// {value: undefined, done: true}
```

上面代码在第四次调用 `next` 方法的时候，屏幕上会有输出，这是因为函数 `foo` 的 `return` 语句，向函数 `bar` 提供了返回值。

再看一个例子。

```
function* genFuncWithReturn() {
  yield 'a';
  yield 'b';
  return 'The result';
}

function* logReturned(genObj) {
  let result = yield* genObj;
  console.log(result);
}

[...logReturned(genFuncWithReturn())]
// The result
// 值为 [ 'a', 'b' ]
```

上面代码中，存在两次遍历。第一次是扩展运算符遍历函数 `logReturned` 返回的遍历器对象，第二次是 `yield*` 语句遍历函数 `genFuncWithReturn` 返回的遍历器对象。这两次遍历的效果是叠加的，最终表现为扩展运算符遍历函数 `genFuncWithReturn` 返回的遍历器对象。所以，最后的数据表达式得到的值等于 `['a', 'b']`。但是，函数 `genFuncWithReturn` 的 `return` 语句的返回值 `The result`，会返回给函数 `logReturned` 内部的 `result` 变量，因此会有终端输出。

`yield*` 命令可以很方便地取出嵌套数组的所有成员。

```
function* iterTree(tree) {
  if (Array.isArray(tree)) {
    for(let i=0; i < tree.length; i++) {
      yield* iterTree(tree[i]);
    }
  } else {
    yield tree;
  }
}
```



```
const tree = [ 'a', [ 'b', 'c'], [ 'd', 'e'] ];

for(let x of iterTree(tree)) {
  console.log(x);
}
// a
// b
// c
// d
// e
```

下面是一个稍微复杂的例子，使用 `yield*` 语句遍历完全二叉树。

```
// 下面是二叉树的构造函数，
// 三个参数分别是左树、当前节点和右树
function Tree(left, label, right) {
  this.left = left;
  this.label = label;
  this.right = right;
}

// 下面是中序（inorder）遍历函数。
// 由于返回的是一个遍历器，所以要用generator函数。
// 函数体内采用递归算法，所以左树和右树要用yield*遍历
function* inorder(t) {
  if (t) {
    yield* inorder(t.left);
    yield t.label;
    yield* inorder(t.right);
  }
}

// 下面生成二叉树
function make(array) {
  // 判断是否为叶节点
  if (array.length == 1) return new Tree(null, array[0], null);
  return new Tree(make(array[0]), array[1], make(array[2]));
}
let tree = make([['a', 'b', ['c']], 'd', [['e', 'f', ['g']]]);

// 遍历二叉树
var result = [];
for (let node of inorder(tree)) {
  result.push(node);
}

result
// ['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f', 'g']
```

8. 作为对象属性的 Generator 函数

如果一个对象的属性是 Generator 函数，可以简写成下面的形式。

```
let obj = {
  * myGeneratorMethod() {
    ...
  }
};
```

上面代码中，`myGeneratorMethod` 属性前面有一个星号，表示这个属性是一个 Generator 函数。

它的完整形式如下，与上面的写法是等价的。

```
let obj = {
  myGeneratorMethod: function* () {
    // ...
  }
};
```

9. Generator 函数的 `this`

Generator 函数总是返回一个遍历器，ES6 规定这个遍历器是 Generator 函数的实例，也继承了 Generator 函数的 `prototype` 对象上的方法。

```
function* g() {}

g.prototype.hello = function () {
  return 'hi!';
};

let obj = g();

obj instanceof g // true
obj.hello() // 'hi!'
```

上面代码表明，Generator 函数 `g` 返回的遍历器 `obj`，是 `g` 的实例，而且继承了 `g.prototype`。但是，如果把 `g` 当作普通的构造函数，并不会生效，因为 `g` 返回的总是遍历器对象，而不是 `this` 对象。

```
function* g() {
  this.a = 11;
}

let obj = g();
obj.next();
obj.a // undefined
```

上面代码中，Generator 函数 `g` 在 `this` 对象上面添加了一个属性 `a`，但是 `obj` 对象拿不到这个属性。

Generator 函数也不能跟 `new` 命令一起用，会报错。

```
function* F() {
  yield this.x = 2;
  yield this.y = 3;
}

new F()
// TypeError: F is not a constructor
```

上面代码中，`new` 命令跟构造函数 `F` 一起使用，结果报错，因为 `F` 不是构造函数。

那么，有没有办法让 Generator 函数返回一个正常的对象实例，既可以用 `next` 方法，又可以获得正常的 `this`？

下面是一个变通方法。首先，生成一个空对象，使用 `call` 方法绑定 Generator 函数内部的 `this`。这样，构造函数调用以后，这个空对象就是 Generator 函数的实例对象了。

```
function* F() {
  this.a = 1;
  yield this.b = 2;
  yield this.c = 3;
}

var obj = {};
var f = F.call(obj);
```

```
f.next(); // Object {value: 2, done: false}
f.next(); // Object {value: 3, done: false}
f.next(); // Object {value: undefined, done: true}

obj.a // 1
obj.b // 2
obj.c // 3
```

上面代码中，首先是 `F` 内部的 `this` 对象绑定 `obj` 对象，然后调用它，返回一个 `Iterator` 对象。这个对象执行三次 `next` 方法（因为 `F` 内部有两个 `yield` 表达式），完成 `F` 内部所有代码的运行。这时，所有内部属性都绑定在 `obj` 对象上了，因此 `obj` 对象也就成了 `F` 的实例。

上面代码中，执行的是遍历器对象 `f`，但是生成的对象实例是 `obj`，有没有办法将这两个对象统一呢？

一个办法就是将 `obj` 换成 `F.prototype`。

```
function* F() {
  this.a = 1;
  yield this.b = 2;
  yield this.c = 3;
}
var f = F.call(F.prototype);

f.next(); // Object {value: 2, done: false}
f.next(); // Object {value: 3, done: false}
f.next(); // Object {value: undefined, done: true}

f.a // 1
f.b // 2
f.c // 3
```

再将 `F` 改成构造函数，就可以对它执行 `new` 命令了。

```
function* gen() {
  this.a = 1;
  yield this.b = 2;
  yield this.c = 3;
}

function F() {
  return gen.call(gen.prototype);
}

var f = new F();

f.next(); // Object {value: 2, done: false}
f.next(); // Object {value: 3, done: false}
f.next(); // Object {value: undefined, done: true}

f.a // 1
f.b // 2
f.c // 3
```

10. 含义

Generator 是实现状态机的最佳结构。比如，下面的 `clock` 函数就是一个状态机。

```
var ticking = true;
var clock = function() {
  if (ticking)
    console.log('Tick!');
  else
    console.log('Tock!');
  ticking = !ticking;
}
```

上面代码的 `clock` 函数一共有两种状态（`Tick` 和 `Tock`），每运行一次，就改变一次状态。这个函数如果用 Generator 实现，就是下面这样。

```
var clock = function* () {
  while (true) {
    console.log('Tick!');
    yield;
    console.log('Tock!');
    yield;
  }
};
```

上面的 Generator 实现与 ES5 实现对比，可以看到少了用来保存状态的外部变量 `ticking`，这样就更简洁，更安全（状态不会被非法篡改）、更符合函数式编程的思想，在写法上也更优雅。Generator 之所以可以不用外部变量保存状态，是因为它本身就包含了一个状态信息，即目前是否处于暂停态。

Generator 与协程

协程（coroutine）是一种程序运行的方式，可以理解成“协作的线程”或“协作的函数”。协程既可以用单线程实现，也可以用多线程实现。前者是一种特殊的子例程，后者是一种特殊的线程。

（1）协程与子例程的差异

传统的“子例程”（subroutine）采用堆栈式“后进先出”的执行方式，只有当调用的子函数完全执行完毕，才会结束执行父函数。协程与其不同，多个线程（单线程情况下，即多个函数）可以并行执行，但是只有一个线程（或函数）处于正在运行的状态，其他线程（或函数）都处于暂停态（suspended），线程（或函数）之间可以交换执行权。也就是说，一个线程（或函数）执行到一半，可以暂停执行，将执行权交给另一个线程（或函数），等到稍后收回执行权的时候，再恢复执行。这种可以并行执行、交换执行权的线程（或函数），就称为协程。

从实现上看，在内存中，子例程只使用一个栈（stack），而协程是同时存在多个栈，但只有一个栈是在运行状态，也就是说，协程是以多占用内存为代价，实现多任务的并行。

（2）协程与普通线程的差异

不难看出，协程适合用于多任务运行的环境。在这个意义上，它与普通的线程很相似，都有自己的执行上下文、可以分享全局变量。它们的不同之处在于，同一时间可以有多个线程处于运行状态，但是运行的协程只能有一个，其他协程都处于暂停状态。此外，普通的线程是抢先式的，到底哪个线程优先得到资源，必须由运行环境决定，但是协程是合作式的，执行权由协程自己分配。

由于 JavaScript 是单线程语言，只能保持一个调用栈。引入协程以后，每个任务可以保持自己的调用栈。这样做的最大好处，就是抛出错误的时候，可以找到原始的调用栈。不至于像异步操作的回调函数那样，一旦出错，原始的调用栈早就结束。

Generator 函数是 ES6 对协程的实现，但属于不完全实现。Generator 函数被称为“半协程”（semi-coroutine），意思是只有 Generator 函数的调用者，才能将程序的执行权还给 Generator 函数。如果是完全执行的协程，任何函数都可以让暂停的协程继续执行。

如果将 Generator 函数当作协程，完全可以将多个需要互相协作的任务写成 Generator 函数，它们之间使用 `yield` 表达式交换控制权。

Generator 与上下文

JavaScript 代码运行时，会产生一个全局的上下文环境（context，又称运行环境），包含了当前所有的变量和对象。然后，执行函数（或块级代码）的时候，又会在当前上下文环境的上层，产生一个函数运行的上下文，变成当前（active）的上下文，由此形成一个上下文环境的堆栈（context stack）。

这个堆栈是“后进先出”的数据结构，最后产生的上下文环境首先执行完成，退出堆栈，然后再执行完成它下层的上下文，直至所有代码执行完成，堆栈清空。

Generator 函数不是这样，它执行产生的上下文环境，一旦遇到 `yield` 命令，就会暂时退出堆栈，但是并不消失，里面的所有变量和对象会冻结在当前状态。等到对它执行 `next` 命令时，这个上下文环境又会重新加入调用栈，冻结的变量和对象恢复执行。

```
function* gen() {  
  yield 1;  
  return 2;  
}  
  
let g = gen();  
  
console.log(  
  g.next().value,  
  g.next().value,  
);
```

上面代码中，第一次执行 `g.next()` 时，Generator 函数 `gen` 的上下文会加入堆栈，即开始运行 `gen` 内部的代码。等遇到 `yield 1` 时，`gen` 上下文退出堆栈，内部状态冻结。第二次执行 `g.next()` 时，`gen` 上下文重新加入堆栈，变成当前的上下文，重新恢复执行。

11. 应用

Generator 可以暂停函数执行，返回任意表达式的值。这种特点使得 Generator 有多种应用场景。

（1）异步操作的同步化表达

Generator 函数的暂停执行的效果，意味着可以把异步操作写在 `yield` 表达式里面，等到调用 `next` 方法时再往后执行。这实际上等同于不需要写回调函数了，因为异步操作的后续操作可以放在 `yield` 表达式下面，反正要等到调用 `next` 方法时再执行。所以，Generator 函数的一个重要实际意义就是用来处理异步操作，改写回调函数。

```
function* loadUI() {  
  showLoadingScreen();  
  yield loadUIDataAsynchronously();  
  hideLoadingScreen();  
}  
  
var loader = loadUI();  
// 加载UI  
loader.next()  
  
// 卸载UI  
loader.next()
```

上面代码中，第一次调用 `loadUI` 函数时，该函数不会执行，仅返回一个遍历器。下一次对该遍历器调用 `next` 方法，则会显示 `Loading` 界面（`showLoadingScreen`），并且异步加载数据（`loadUIDataAsynchronously`）。等到数据加载完成，再一次使用 `next` 方法，则会隐藏 `Loading` 界面。可以看到，这种写法的好处是所有 `Loading` 界面的逻辑，都被封装在一个函数，按部就班非常清晰。

Ajax 是典型的异步操作，通过 Generator 函数部署 Ajax 操作，可以用同步的方式表达。

```
function* main() {
  var result = yield request("http://some.url");
  var resp = JSON.parse(result);
  console.log(resp.value);
}

function request(url) {
  makeAjaxCall(url, function(response){
    it.next(response);
  });
}

var it = main();
it.next();
```

上面代码的 `main` 函数，就是通过 Ajax 操作获取数据。可以看到，除了多了一个 `yield`，它几乎与同步操作的写法完全一样。注意，`makeAjaxCall` 函数中的 `next` 方法，必须加上 `response` 参数，因为 `yield` 表达式，本身是没有值的，总是等于 `undefined`。

下面是另一个例子，通过 Generator 函数逐行读取文本文件。

```
function* numbers() {
  let file = new FileReader("numbers.txt");
  try {
    while(!file.eof) {
      yield parseInt(file.readLine(), 10);
    }
  } finally {
    file.close();
  }
}
```

上面代码打开文本文件，使用 `yield` 表达式可以手动逐行读取文件。

（2）控制流管理

如果有一个多步操作非常耗时，采用回调函数，可能会写成下面这样。

```
step1(function (value1) {
  step2(value1, function(value2) {
    step3(value2, function(value3) {
      step4(value3, function(value4) {
        // Do something with value4
      });
    });
  });
});
```

采用 Promise 改写上面的代码。

```
Promise.resolve(step1)
  .then(step2)
  .then(step3)
  .then(step4)
  .then(function (value4) {
    // Do something with value4
  }, function (error) {
    // Handle any error from step1 through step4
  })
  .done();
```

上面代码已经把回调函数，改成了直线执行的形式，但是加入了大量 Promise 的语法。Generator 函数可以进一步改善代码运行流程。

```
function* longRunningTask(value1) {
  try {
    var value2 = yield step1(value1);
    var value3 = yield step2(value2);
    var value4 = yield step3(value3);
    var value5 = yield step4(value4);
    // Do something with value4
  } catch (e) {
    // Handle any error from step1 through step4
  }
}
```

然后，使用一个函数，按次序自动执行所有步骤。

```
scheduler(longRunningTask(initialValue));

function scheduler(task) {
  var taskObj = task.next(task.value);
  // 如果Generator函数未结束，就继续调用
  if (!taskObj.done) {
    task.value = taskObj.value
    scheduler(task);
  }
}
```

注意，上面这种做法，只适合同步操作，即所有的 `task` 都必须同步的，不能有异步操作。因为这里的代码一得到返回值，就继续往下执行，没有判断异步操作何时完成。如果要控制异步的操作流程，详见后面的《异步操作》一章。

下面，利用 `for...of` 循环会自动依次执行 `yield` 命令的特性，提供一种更一般的控制流管理的方法。

```
let steps = [step1Func, step2Func, step3Func];

function* iterateSteps(steps){
  for (var i=0; i< steps.length; i++){
    var step = steps[i];
    yield step();
  }
}
```

上面代码中，数组 `steps` 封装了一个任务的多个步骤，Generator 函数 `iterateSteps` 则是依次为这些步骤加上 `yield` 命令。

将任务分解成步骤之后，还可以将项目分解成多个依次执行的任务。

```
let jobs = [job1, job2, job3];

function* iterateJobs(jobs){
  for (var i=0; i< jobs.length; i++){
    var job = jobs[i];
    yield* iterateSteps(job.steps);
  }
}
```

上面代码中，数组 `jobs` 封装了一个项目的多个任务，Generator 函数 `iterateJobs` 则是依次为这些任务加上 `yield*` 命令。

最后，就可以用 `for...of` 循环一次性依次执行所有任务的所有步骤。

```
for (var step of iterateJobs(jobs)){
  console.log(step.id);
}
```

再次提醒，上面的做法只能用于所有步骤都是同步操作的情况，不能有异步操作的步骤。如果想要依次执行异步的步骤，必须使用后面的《异步操作》一章介绍的方法。

`for...of` 的本质是一个 `while` 循环，所以上面的代码实质上执行的是下面的逻辑。

```
var it = iterateJobs(jobs);
var res = it.next();

while (!res.done){
  var result = res.value;
  // ...
  res = it.next();
}
```

(3) 部署 `Iterator` 接口

利用 `Generator` 函数，可以在任意对象上部署 `Iterator` 接口。

```
function* iterEntries(obj) {
  let keys = Object.keys(obj);
  for (let i=0; i < keys.length; i++) {
    let key = keys[i];
    yield [key, obj[key]];
  }
}

let myObj = { foo: 3, bar: 7 };

for (let [key, value] of iterEntries(myObj)) {
  console.log(key, value);
}

// foo 3
// bar 7
```

上述代码中，`myObj` 是一个普通对象，通过 `iterEntries` 函数，就有了 `Iterator` 接口。也就是说，可以在任意对象上部署 `next` 方法。

下面是一个对数组部署 `Iterator` 接口的例子，尽管数组原生具有这个接口。

```
function* makeSimpleGenerator(array){
  var nextIndex = 0;

  while(nextIndex < array.length){
    yield array[nextIndex++];
  }
}

var gen = makeSimpleGenerator(['yo', 'ya']);

gen.next().value // 'yo'
gen.next().value // 'ya'
gen.next().done  // true
```

(4) 作为数据结构

`Generator` 可以看作是数据结构，更确切地说，可以看作是一个数组结构，因为 `Generator` 函数可以返回一系列的值，这意味着它可以对任意表达式，提供类似数组的接口。


```
function* doStuff() {  
  yield fs.readFile.bind(null, 'hello.txt');  
  yield fs.readFile.bind(null, 'world.txt');  
  yield fs.readFile.bind(null, 'and-such.txt');  
}
```

上面代码就是依次返回三个函数，但是由于使用了 Generator 函数，导致可以像处理数组那样，处理这三个返回的函数。

```
for (task of doStuff()) {  
  // task是一个函数，可以像回调函数那样使用它  
}
```

实际上，如果用 ES5 表达，完全可以用数组模拟 Generator 的这种用法。

```
function doStuff() {  
  return [  
    fs.readFile.bind(null, 'hello.txt'),  
    fs.readFile.bind(null, 'world.txt'),  
    fs.readFile.bind(null, 'and-such.txt')  
  ];  
}
```

上面的函数，可以用一模一样的 `for...of` 循环处理！两相一比较，就不难看出 Generator 使得数据或者操作，具备了类似数组的接口。