Redis通用命令（三）(38~43)

一、基于优先级队列的过期任务处理（深入展开）

1. 核心思路（Why）

在 Redis 中，**过期 key 的管理本质上是一个“按时间排序的任务调度问题”**。
最直观的做法是：

> 每个 key 设置一个过期时间，到点就删除。

但问题在于：

- Redis 可能同时维护 **百万级 key**
- 不可能在每一毫秒遍历所有 key 去判断是否过期

因此引入了一个**“只关心最早到期者”的思想**，这正是**优先级队列（最小堆）**最擅长的场景。

> **队列中只维护“设置了过期时间的 key”，并按过期时间升序排列**

---

2. 数据结构层面的含义（What）

优先级队列中的每一个元素，逻辑上至少包含：

```
代码块
1   {
2       key 指针
3       过期时间（绝对时间戳）
4   }
```

- 排序依据：过期时间
- 队首元素：**最早会过期的 key**

这意味着：

- 如果队首都没过期
- 那队列中**所有 key 都不可能过期**

---

3. 触发机制（When）

Redis 并不是“专门开一个线程盯着时间走”，而是**通过事件驱动触发检查**，主要来源包括：

1. **定期任务（serverCron）**
2. **客户端访问 key（惰性检查）**
3. **事件循环的空闲时间片**

当触发过期检查时：

- Redis 只看优先级队列的 **队首**
- 对比：
  - 当前时间
  - key 的过期时间

判断是否过期

---

4. 处理流程（How）

一个典型的逻辑过程是：

代码块

```
while (队列非空) {
    取队首 key
    if (当前时间 >= 过期时间) {
        删除 key
        从队列中移除
    } else {
        break; // 队首未过期，后面一定也没过期
    }
}
```

📌 这里的 `break` 非常关键，它直接保证了：

> **不会无意义地扫描后续元素**

---

5. 优化细节（Why Redis 能扛住高并发）

你提到的优化点非常重要，我逐条展开：

① 限制单次检查数量

- 每次最多检查 N 个 key
- 防止：

- 大量 key 同时过期
- 主线程被“清空任务”阻塞

这是典型的 **“渐进式处理”思想**。

---

② 新 key 插入策略

- 新增带过期时间的 key：
  - 直接按过期时间插入队列
- 时间复杂度：
  - O(log n)

这是完全可以接受的，因为：

- 设置过期时间本身不是高频操作
- 远比全量扫描划算

---

③ 队首未过期即停止

这是整个设计的**灵魂点**：

> **Redis 从来不做“无意义判断”**

如果最早的都没过期，其余的就一定安全。

---

6. 核心优势总结（升维）

这一设计的本质优势是：

- 将 **“N 个 key 的过期判断”**
- 降维为 **“1 个 key 的时间比较”**

也正因为如此，Redis 才能做到：

> 在高并发 + 大 key 数量的情况下，过期机制几乎不成为性能瓶颈

二、基于时间轮的过期任务处理（深入展开）

---

1. 时间轮的本质思想

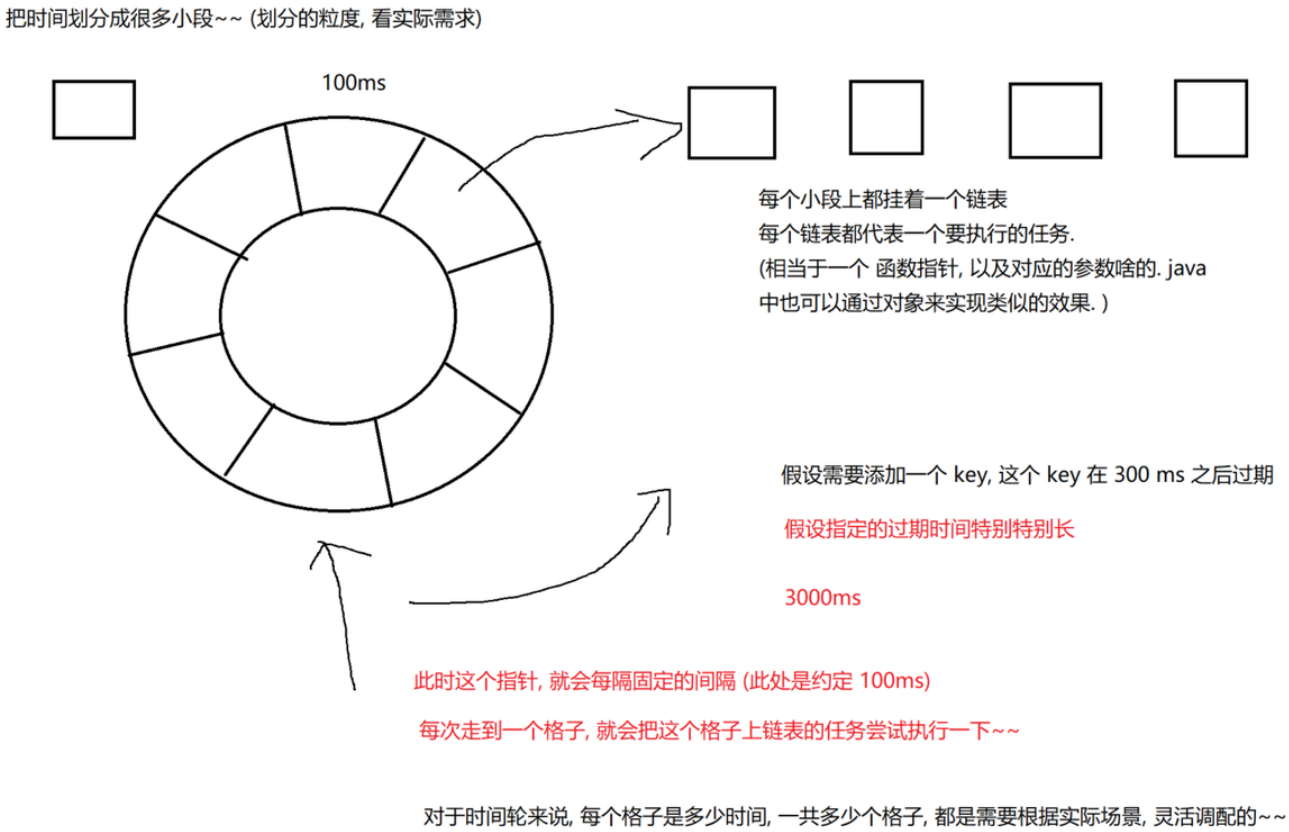
时间轮（Timing Wheel）解决的是另一类问题：

> **“我不需要精确到毫秒，只要近似正确即可”**

它通过 **空间换时间** 的方式，把时间离散化。

---

2. 结构拆解（What）



假设：

- 时间轮有 `N` 个槽
- 每个槽代表 `Δt`（如 100ms）

那么整个时间轮能表示的时间范围是：

代码块

```
N × Δt
```

每个槽内部是：

- 链表 / 数组
- 存放“应该在这个时间段触发的任务”

---

3. 指针驱动模型（How）

- 系统维护一个“当前指针”
- 每 `Δt`：
  - 指针向前移动一格
  - 执行该槽中的所有任务

📌 执行时通常还会再次校验：

- 是否真的到期（防止时间误差）

---

4. 任务添加逻辑（Example）

你给的例子非常好，我补充完整过程：

- 当前指针：slot 0
- 时间精度：100ms
- key 需要在 300ms 后过期

则：

```
代码块
1    目标槽位 = (当前指针 + 3) % 槽数量
```

然后把 key 放入该槽的任务列表。

---

5. 时间轮的优势

- 插入：O(1)
- 触发：O(1)
- 不需要排序
- 非常适合：
  - 网络超时
  - 心跳检测
  - 延迟队列

---

6. 为什么 Redis 没用时间轮？

这是一个**非常好的“反问点”**：

Redis 的场景特点：

- key 数量极大
- TTL 分布非常散
- 对时间精度要求相对较高
- 更关注：
  - 内存占用
  - 实现复杂度
  - 稳定性

时间轮的劣势：

- 时间精度受限
- 槽位数量固定
- 超长 TTL 需要多轮处理
- 实现复杂度高

📌 **所以 Redis 选择了：**

> 惰性删除 + 定期抽样
> 而不是时间轮

三、Redis 核心基础与数据类型（深入展开）

1. 事件循环（Redis 的“心脏”）

Redis 是典型的：

> **单线程 + 事件驱动模型**

事件循环负责：

- 网络 IO
- 命令执行
- 过期 key 处理
- 定期维护任务

优势非常明确：

- 无锁
- 无上下文切换
- 逻辑简单
- 延迟可预测

---

2. 基础命令的真实语义

`keys`

- 会遍历整个 keyspace
- O(n)
- **生产环境禁用**

`exists`

- 字典查找
- O(1)
- 不关心 value 内容

`del`

- 删除 key 的 entry
- 释放 value 内存
- 大对象可能异步释放

`expire`

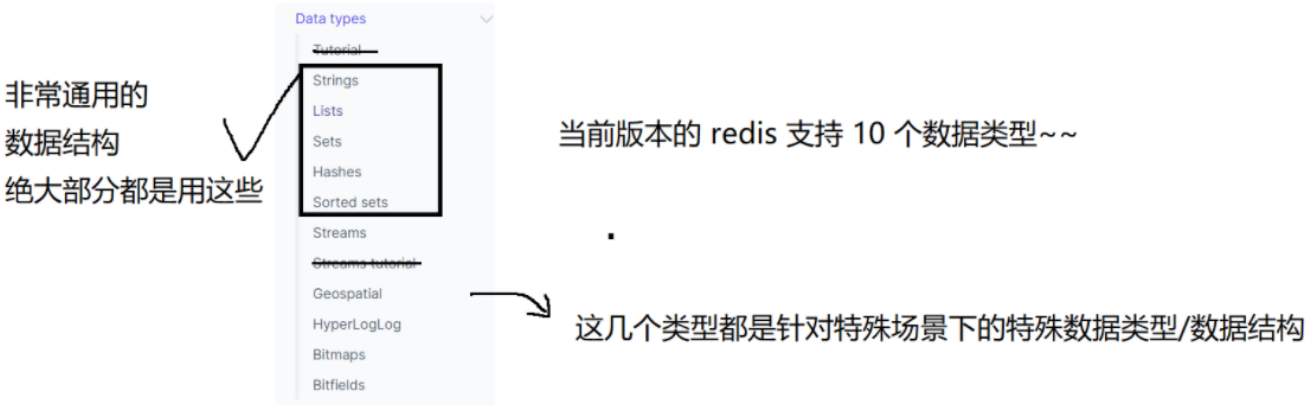
- 只做一件事：
  - 记录过期时间
  - 加入过期管理结构

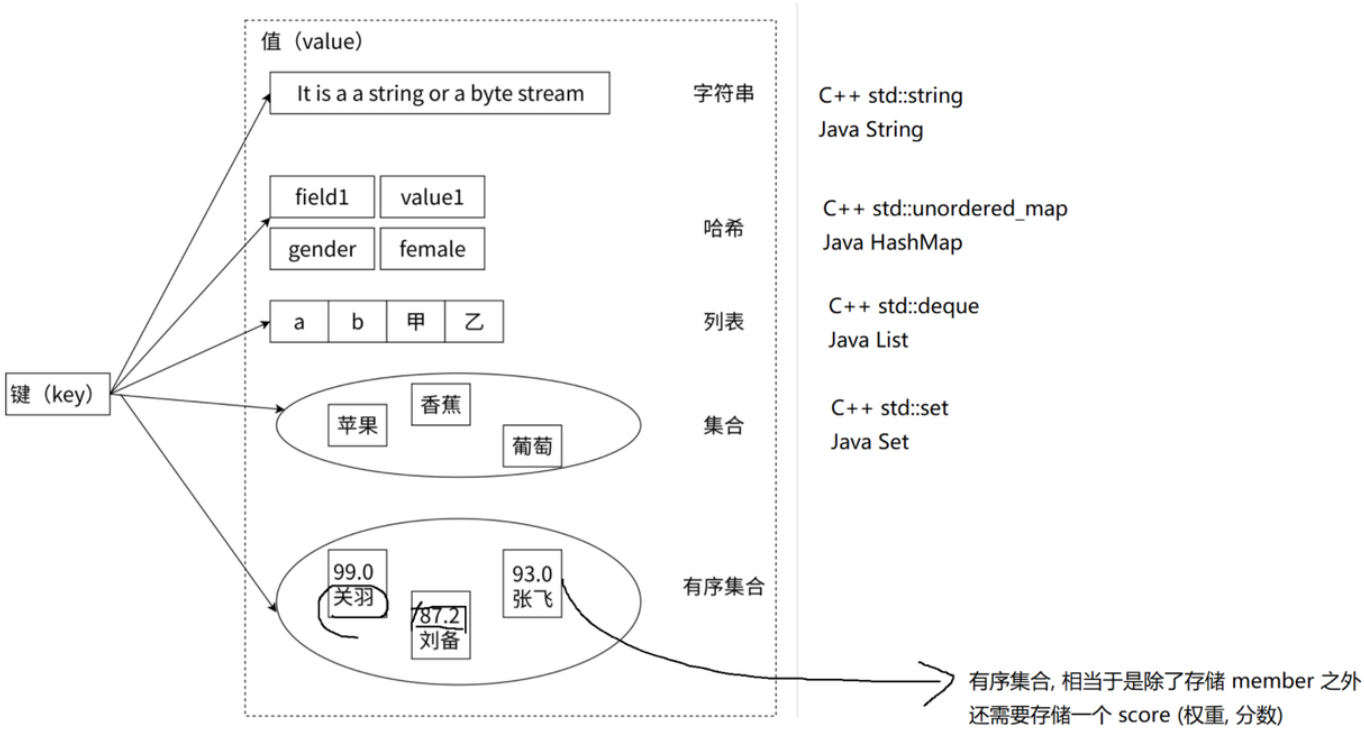
---

3. 数据类型与编码（Why 这么复杂）

Redis 的核心理念是：

> **同一种逻辑类型 ≠ 只有一种物理实现**





Redis底层在实现上述数据结构的时候，会在源码层面，针对上述实现进行特定的优化，来达到节省时间/节省空间效果.

内部的具体实现的数据结构，还会有变数. 编码方式

redis承诺，现在我这有个hash表，你进行查询，插入，删除操作，都保证O(1)

但是，这个背后的实现，不一定就是一个标准的hash表.

可能再特定场景下，使用别的数据结构实现.但是仍然保证时间复杂度符合承诺!!!

---

string → SDS

- 记录长度
- O(1) 获取 size

- 防止缓冲区溢出

---

list / hash / zset 的编码切换

这是 Redis 极其重要的一点：

- 小数据 → 紧凑结构（ziplist）
- 大数据 → 高效结构（dict / skiplist）

目的只有一个：

> **用最小的内存，满足当前规模的性能需求**

四、核心设计思想（升维总结）

1. 过期处理的设计哲学

Redis 不追求：

> “key 一过期就立刻删除”

而追求：

> **系统整体吞吐量最大化**

---

2. 数据结构是“活的”

- 会变
- 会升级
- 会退化

而不是一次选型定终身。

---

3. 单线程 ≠ 性能低

恰恰相反：

- 单线程让一切变得可控
- 延迟稳定
- 更适合内存数据库

总结

> **Redis 的所有设计，都不是为了“理论完美”，而是为了“在真实高并发场景下，稳定、快速、可预测地运行”**