链滴

# 数据库索引，你要了解的都在这里！

作者：jianzh5
原文链接：https://ld246.com/article/1588058366745
来源网站：链滴
许可协议：署名-相同方式共享 4.0 国际 (CC BY-SA 4.0)

# 概述

在关系数据库中，索引是一种单独的、物理的对数据库表中一列或多列的值进行排序的一种存储结构它是某个表中一列或若干列值的集合和相应的指向表中物理标识这些值的数据页的逻辑指针清单。一话简单来说，索引的出现其实就是为了提高数据查询的效率，就像书的目录一样。

比如你在一本 500 页的书中，快速检索出其中的某一个知识点，你肯定会首先查询目录，借助目录定到知识点所在的书页。如果不借助目录，那你估计得找好久。那么对于关系数据库的表而言，索引其就是它的“目录”。

# 常见的索引类型

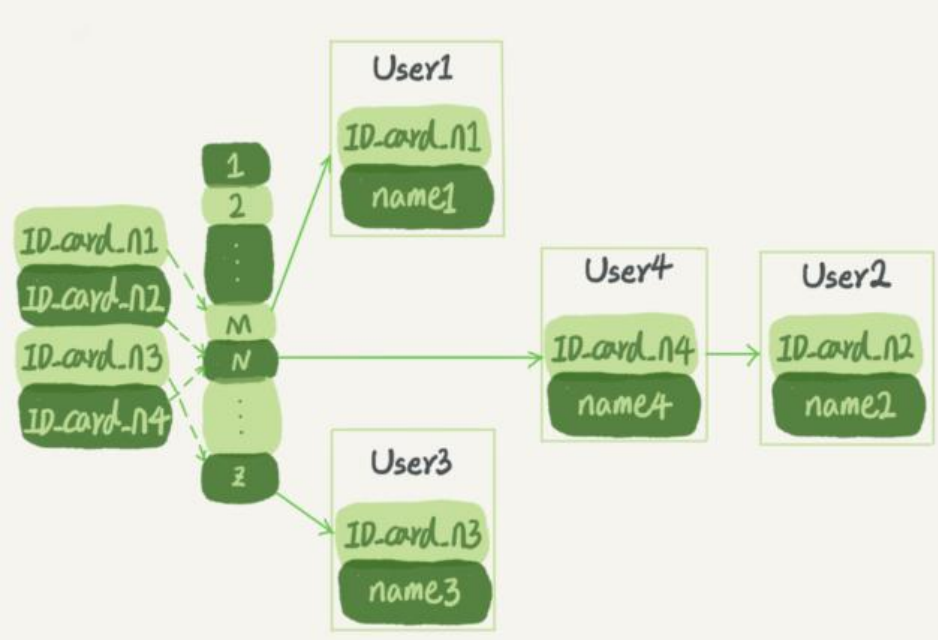
索引的出现是为了提高查询效率，但是实现索引的方式却有很多种，所以这里也就引入了索引模型的念。可以用于提高读写效率的数据结构很多，这里主要讲三种常见、也比较简单的数据结构：**哈希表**、**序数组** 和 **搜索树**。

## 哈希表

哈希表是一种以键 - 值（key-value）存储数据的结构，我们只要输入待查找的值即 key，就可以找其对应的值即 Value。哈希的思路很简单，把值放在数组里，用一个哈希函数把 key 换算成一个确定位置，然后把 value 放在数组的这个位置。

不可避免地，多个 key 值经过哈希函数的换算，会出现同一个值的情况。处理这种情况的一种方法是拉出一个链表。

假设，你现在维护着一个身份证信息和姓名的表，需要根据身份证号查找对应的名字，这时对应的哈索引的示意图如下所示：




图中，User2 和 User4 根据身份证号算出来的值都是 N，但没关系，后面还跟了一个链表。假设，时候你要查 ID_card_n2 对应的名字是什么，处理步骤就是：首先，将ID_card_n2 通过哈希函数算出 N；然后，按顺序遍历，找到 User2。

需要注意的是，图中四个 ID_card_n 的值并不是递增的，这样做的好处是增加新的 User时速度会很，只需要往后追加。但缺点是，因为不是有序的，所以哈希索引做区间查询的速度是很慢的。

你可以设想下，如果你现在要找身份证号在 [ID_card_X, ID_card_Y] 这个区间的所有用户，就必须全扫描一遍了。

所以，**哈希表这种结构适用于只有等值查询的场景**，比如 Memcached 及其他一些NoSQL 引擎。

## 有序数组

而有序数组在等值查询和范围查询场景中的性能就都非常优秀。还是上面这个根据身份证号查名字的子，如果我们使用有序数组来实现的话，示意图如下所示：

这里我们假设身份证号没有重复，这个数组就是按照身份证号递增的顺序保存的。这时候如果你要查 I_card_n2 对应的名字，用二分法就可以快速得到，这个时间复杂度是O(log(N))。

同时很显然，这个索引结构支持范围查询。你要查身份证号在 [ID_card_X, ID_card_Y] 区间的 User 可以先用二分法找到 ID_card_X（如果不存在 ID_card_X，就找到大于ID_card_X 的第一个 User），后向右遍历，直到查到第一个大于 ID_card_Y 的身份证号，退出循环。

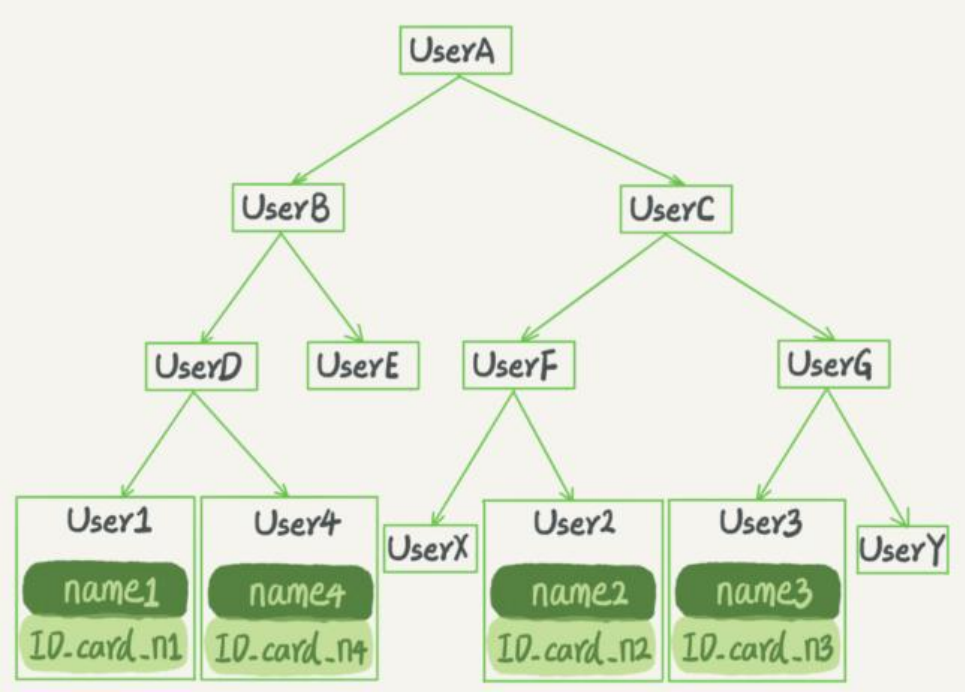
如果仅仅看查询效率，有序数组就是最好的数据结构了。但是，在需要更新数据的时候就麻烦了，你

中间插入一个记录就必须得挪动后面所有的记录，成本太高。

所以，**有序数组索引只适用于静态存储引擎**，比如你要保存的是 2017 年某个城市的所有人口信息，类不会再修改的数据。

## 搜索树

二叉搜索树也是课本里的经典数据结构了。还是上面根据身份证号查名字的例子，如果我们用二叉搜树来实现的话，示意图如下所示：




二叉搜索树的特点是：每个节点的左儿子小于父节点，父节点又小于右儿子。这样如果你要查 ID_card n2 的话，按照图中的搜索顺序就是按照 UserA -> UserC -> UserF ->User2 这个路径得到。这个时复杂度是 O(log(N))。

当然为了维持 O(log(N)) 的查询复杂度，你就需要保持这棵树是平衡二叉树。为了做这个保证，更新时间复杂度也是 O(log(N))。

树可以有二叉，也可以有多叉。多叉树就是每个节点有多个儿子，儿子之间的大小保证从左到右递增二叉树是搜索效率最高的，但是实际上大多数的数据库存储却并不使用二叉树。其原因是，索引不止在内存中，还要写到磁盘上。

你可以想象一下一棵 100 万节点的平衡二叉树，树高 20。一次查询可能需要访问 20 个数据块。在械硬盘时代，从磁盘随机读一个数据块需要 10 ms 左右的寻址时间。也就是说，对于一个 100 万行表，如果使用二叉树来存储，单独访问一个行可能需要 20 个 10

ms 的时间，这个查询可真够慢的。

为了让一个查询尽量少地读磁盘，就必须让查询过程访问尽量少的数据块。那么，我们就不应该使用叉树，而是要使用“N 叉”树。这里，“N 叉”树中的“N”取决于数据块的大小。

以 InnoDB 的一个整数字段索引为例，这个 N 差不多是 1200。这棵树高是 4 的时候，就可以存 1200 的 3 次方个值，这已经 17 亿了。考虑到树根的数据块总是在内存中的，一个 10 亿行的表上一个整字段的索引，查找一个值最多只需要访问 3 次磁盘。其实，树的第二层也有很大概率在内存中，那么问磁盘的平均次数就更少了。

N 叉树由于在读写上的性能优点，以及适配磁盘的访问模式，已经被广泛应用在数据库引擎中了。

不管是哈希还是有序数组，或者 N 叉树，它们都是不断迭代、不断优化的产物或者解决方案。数据技术发展到今天，跳表、LSM 树等数据结构也被用于引擎设计中，这里我就不再一一展开了。

你心里要有个概念，数据库底层存储的核心就是基于这些数据模型的。每碰到一个新数据库，我们需先关注它的数据模型，这样才能从理论上分析出这个数据库的适用场景。

# InnoDB 的索引模型

在 MySQL 中，索引是在存储引擎层实现的，所以并没有统一的索引标准，即不同存储引擎的索引的作方式并不一样。而即使多个存储引擎支持同一种类型的索引，其底层的实现也可能不同。由于 InnoB 存储引擎在 MySQL 数据库中使用最为广泛，所以下面我就以 InnoDB 为例，和你分析一下其中的引模型。

在 InnoDB 中，表都是根据主键顺序以索引的形式存放的，这种存储方式的表称为索引组织表。又因前面我们提到的，InnoDB 使用了 B+ 树索引模型，所以数据都是存储在 B+树中的。

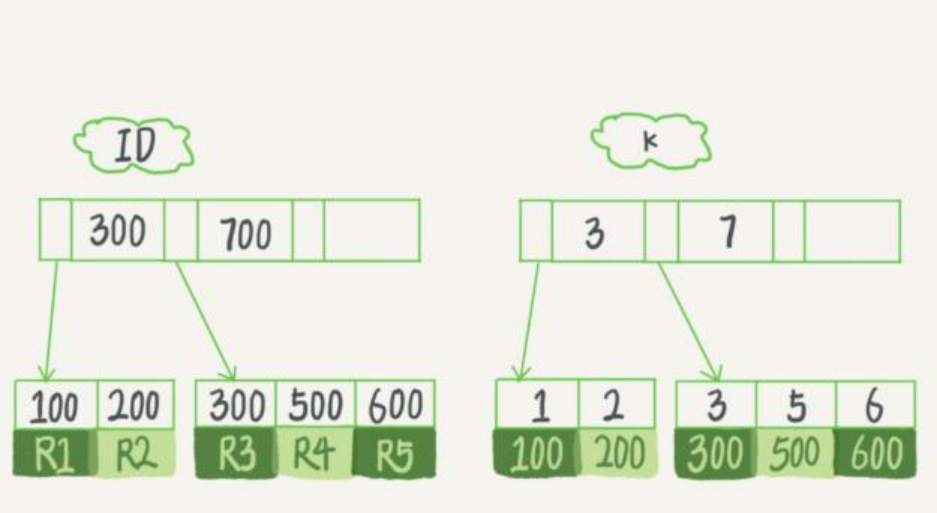
每一个索引在 InnoDB 里面对应一棵 B+ 树。

假设，我们有一个主键列为 ID 的表，表中有字段 k，并且在 k 上有索引。

这个表的建表语句是：

```
mysql> create table T(
id int primary key,
k int not null,
name varchar(16),
index (k))engine=InnoDB;
```

表中 R1~R5 的 (ID,k) 值分别为 (100,1)、(200,2)、(300,3)、(500,5) 和 (600,6)，两棵树的示例示意如下。




从图中不难看出，根据叶子节点的内容，索引类型分为主键索引和非主键索引。

主键索引的叶子节点存的是整行数据。在 InnoDB 里，主键索引也被称为聚簇索引（clustered inde）。

非主键索引的叶子节点内容是主键的值。在 InnoDB 里，非主键索引也被称为二级索引（secondary i

dex）。

根据上面的索引结构说明，我们来讨论一个问题：**基于主键索引和普通索引的查询有什么区别？**

如果语句是 select * from T where ID=500，即主键查询方式，则只需要搜索 ID 这棵B+ 树；

如果语句是 select * from T where k=5，即普通索引查询方式，则需要先搜索 k 索引树，得到 ID 值为 500，再到 ID 索引树搜索一次。这个过程称为**回表**。

也就是说，基于非主键索引的查询需要多扫描一棵索引树。因此，我们在应用中应该尽量使用主键查。

## 索引维护

B+ 树为了维护索引有序性，在插入新值的时候需要做必要的维护。以上面这个图为例，如果插入新行 ID 值为 700，则只需要在 R5 的记录后面插入一个新记录。如果新插入的ID 值为 400，就相对麻了，需要逻辑上挪动后面的数据，空出位置。

而更糟的情况是，如果 R5 所在的数据页已经满了，根据 B+ 树的算法，这时候需要申请一个新的数页，然后挪动部分数据过去。这个过程称为页分裂。在这种情况下，性能自然会受影响。

除了性能外，页分裂操作还影响数据页的利用率。原本放在一个页的数据，现在分到两个页中，整体间利用率降低大约 50%。

当然有分裂就有合并。当相邻两个页由于删除了数据，利用率很低之后，会将数据页做合并。合并的程，可以认为是分裂过程的逆过程。

基于上面的索引维护过程说明，我们来讨论一个案例：

你可能在一些建表规范里面见到过类似的描述，要求建表语句里一定要有自增主键。当然事无绝对，们来分析一下哪些场景下应该使用自增主键，而哪些场景下不应该。

自增主键是指自增列上定义的主键，在建表语句中一般是这么定义的： NOT NULL PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT。

插入新记录的时候可以不指定 ID 的值，系统会获取当前 ID 最大值加 1 作为下一条记录的ID 值。

也就是说，自增主键的插入数据模式，正符合了我们前面提到的递增插入的场景。每次插入一条新记，都是追加操作，都不涉及到挪动其他记录，也不会触发叶子节点的分裂。

而有业务逻辑的字段做主键，则往往不容易保证有序插入，这样写数据成本相对较高。

除了考虑性能外，我们还可以从存储空间的角度来看。假设你的表中确实有一个唯一字段，比如字符类型的身份证号，那应该用身份证号做主键，还是用自增字段做主键呢？

由于每个非主键索引的叶子节点上都是主键的值。如果用身份证号做主键，那么每个二级索引的叶子点占用约 20 个字节，而如果用整型做主键，则只要 4 个字节，如果是长整型（bigint）则是 8 个字。

**显然，主键长度越小，普通索引的叶子节点就越小，普通索引占用的空间也就越小。**

所以，从性能和存储空间方面考量，自增主键往往是更合理的选择。

有没有什么场景适合用业务字段直接做主键的呢？还是有的。比如，有些业务的场景需求是这样的：

1. 只有一个索引；
2. 该索引必须是唯一索引。

你一定看出来了，这就是典型的 KV 场景。由于没有其他索引，所以也就不用考虑其他索引的叶子节大小的问题。

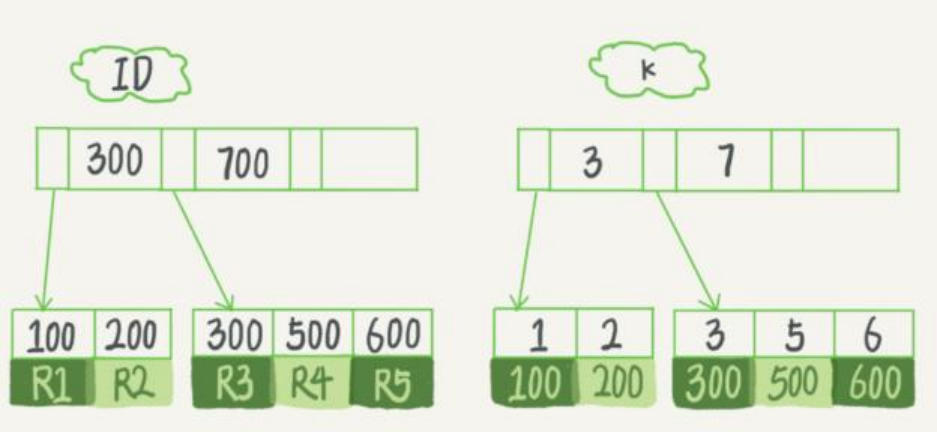
这时候我们就要优先考虑上一段提到的“尽量使用主键查询”原则，直接将这个索引设置为主键，可避免每次查询需要搜索两棵树。

# 索引原则

介绍索引原则前我们先来看一个例子：

在下面这个表 T 中，如果我执行 select * from T where k between 3 and 5，需要执行几次树的搜操作，会扫描多少行？

```
mysql> create table T (
ID int primary key,
k int NOT NULL DEFAULT 0,
s varchar(16) NOT NULL DEFAULT '',
index k(k))
engine=InnoDB;
insert into T values(100,1, 'aa'),(200,2,'bb'),(300,3,'cc'),(500,5,'ee'),(600,6,'ff'),(700,7,'gg')
```




现在，我们一起来看看这条 SQL 查询语句的执行流程：

1. 在 k 索引树上找到 k=3 的记录，取得 ID = 300；
2. 再到 ID 索引树查到 ID=300 对应的 R3；
3. 在 k 索引树取下一个值 k=5，取得 ID=500；
4. 再回到 ID 索引树查到 ID=500 对应的 R4；
5. 在 k 索引树取下一个值 k=6，不满足条件，循环结束。

在这个过程中，回到主键索引树搜索的过程，我们称为回表。可以看到，这个查询过程读了 k 索引树 3 条记录（步骤 1、3 和 5），回表了两次（步骤 2 和 4）。

在这个例子中，由于查询结果所需要的数据只在主键索引上有，所以不得不回表。那么，有没有可能过索引优化，避免回表过程呢？

# 覆盖索引

如果执行的语句是 select ID from T where k between 3 and 5，这时只需要查 ID 的值，而 ID 的已经在 k 索引树上了，因此可以直接提供查询结果，不需要回表。也就是说，在这个查询里面，索引 k 已经“覆盖了”我们的查询需求，我们称为覆盖索引。

**由于覆盖索引可以减少树的搜索次数，显著提升查询性能，所以使用覆盖索引是一个常用的性能优化段。**

需要注意的是，在引擎内部使用覆盖索引在索引 k 上其实读了三个记录，R3~R5（对应的索引 k 上记录项），但是对于 MySQL 的 Server 层来说，它就是找引擎拿到了两条记录，因此 MySQL 认为描行数是 2。

基于上面覆盖索引的说明，我们来讨论一个问题：在一个市民信息表上，是否有必要将身份证号和名建立联合索引？

假设市民信息表的建表语句如下：

```
CREATE TABLE `tuser` (
  `id` int(11) NOT NULL,
  `id_card` varchar(32) DEFAULT NULL,
  `name` varchar(32) DEFAULT NULL,
  `age` int(11) DEFAULT NULL,
  `ismale` tinyint(1) DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  KEY `id_card` (`id_card`),
  KEY `name_age` (`name`,`age`)
) ENGINE=InnoDB
```

我们知道，身份证号是市民的唯一标识。也就是说，如果有根据身份证号查询市民信息的需求，我们要在身份证号字段上建立索引就够了。而再建立一个（身份证号、姓名）的联合索引，是不是浪费空？

如果现在有一个高频请求，要根据市民的身份证号查询他的姓名，这个联合索引就有意义了。它可以这个高频请求上用到覆盖索引，不再需要回表查整行记录，减少语句的执行时间。

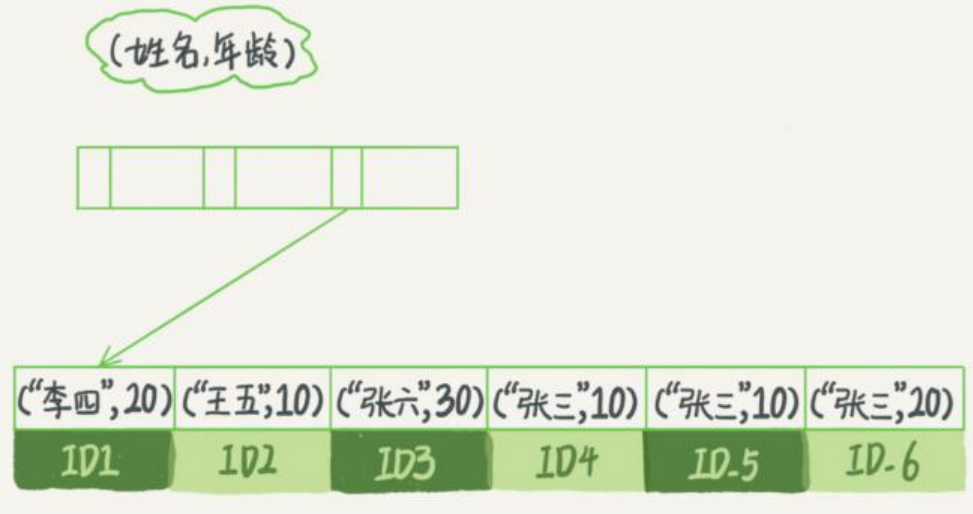
当然，索引字段的维护总是有代价的。因此，在建立冗余索引来支持覆盖索引时就需要权衡考虑了。正是业务 DBA，或者称为业务数据架构师的工作。

## 最左前缀原则

看到这里你一定有一个疑问，如果为每一种查询都设计一个索引，索引是不是太多了。如果我现在要照市民的身份证号去查他的家庭地址呢？虽然这个查询需求在业务中出现的概率不高，但总不能让它全表扫描吧？反过来说，单独为一个不频繁的请求创建一个（身份证号，地址）的索引又感觉有点浪。应该怎么做呢？

这里，我先和你说结论吧。B+ 树这种索引结构，可以利用索引的“最左前缀”，来定位记录。

为了直观地说明这个概念，我们用（name，age）这个联合索引来分析。




可以看到，索引项是按照索引定义里面出现的字段顺序排序的。

当你的逻辑需求是查到所有名字是“张三”的人时，可以快速定位到 ID4，然后向后遍历得到所有需的结果。

如果你要查的是所有名字第一个字是“张”的人，你的 SQL 语句的条件是"where name like ‘张 %"。这时，你也能够用上这个索引，查找到第一个符合条件的记录是 ID3，然后向后遍历，直到不满条件为止。

可以看到，不只是索引的全部定义，只要满足最左前缀，就可以利用索引来加速检索。这个最左前缀以是联合索引的最左 N 个字段，也可以是字符串索引的最左 M 个字符。

基于上面对最左前缀索引的说明，我们来讨论一个问题：**在建立联合索引的时候，如何安排索引内的段顺序。**

这里我们的评估标准是，索引的复用能力。因为可以支持最左前缀，所以当已经有了 (a,b)这个联合引后，一般就不需要单独在 a 上建立索引了。因此，**第一原则是，如果通过调整顺序，可以少维护一索引，那么这个顺序往往就是需要优先考虑采用的。**

所以现在你知道了，这段开头的问题里，我们要为高频请求创建 (身份证号，姓名）这个联合索引，用这个索引支持“根据身份证号查询地址”的需求。

那么，如果既有联合查询，又有基于 a、b 各自的查询呢？查询条件里面只有 b 的语句，是无法使用 (,b) 这个联合索引的，这时候你不得不维护另外一个索引，也就是说你需要同时维护 (a,b)、(b) 这两索引。

这时候，我们要考虑的原则就是**空间**了。比如上面这个市民表的情况，name 字段是比age 字段大的那我就建议你创建一个（name,age) 的联合索引和一个 (age) 的单字段索引。

## 索引下推

上一段我们说到满足最左前缀原则的时候，最左前缀可以用于在索引中定位记录。这时，你可能要问那些不符合最左前缀的部分，会怎么样呢？

我们还是以市民表的联合索引（name, age）为例。如果现在有一个需求：检索出表中“名字第一个是张，而且年龄是 10 岁的所有男孩”。那么，SQL 语句是这么写的：

```
mysql> select * from tuser where name like '张 %' and age=10 and ismale=1;
```

你已经知道了前缀索引规则，所以这个语句在搜索索引树的时候，只能用 “张”，找到第一个满足条的记录 ID3。当然，这还不错，总比全表扫描要好。

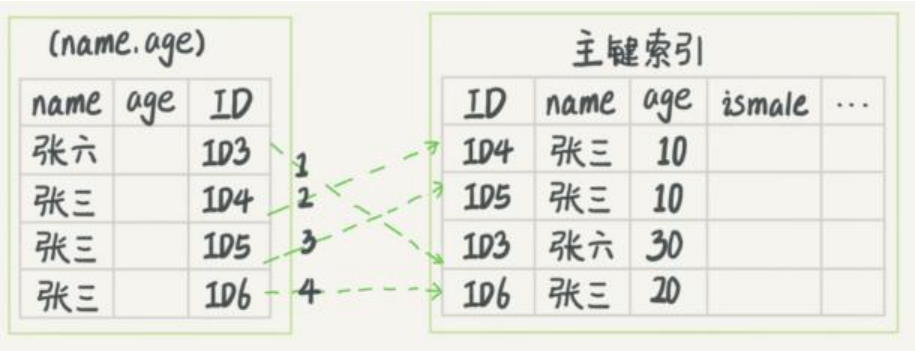
然后呢？

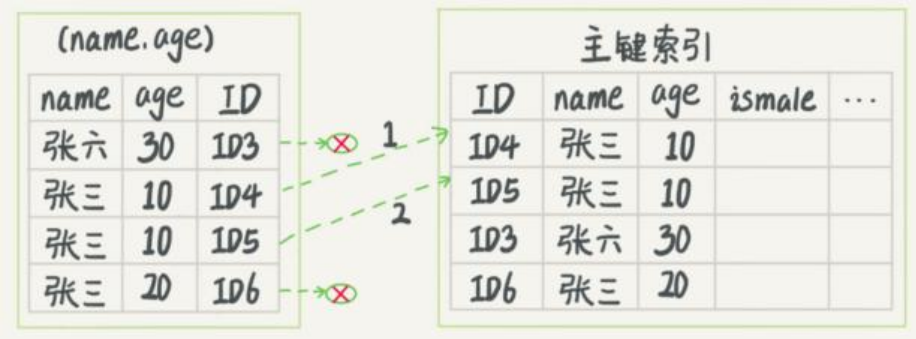
当然是判断其他条件是否满足。

在 MySQL 5.6 之前，只能从 ID3 开始一个个回表。到主键索引上找出数据行，再对比字段值。

而 MySQL 5.6 引入的索引下推优化（index condition pushdown)， 可以在索引遍历过程中，对索中包含的字段先做判断，直接过滤掉不满足条件的记录，减少回表次数。

下面是这两个过程的执行流程图。




第一张图在 (name,age) 索引里面我特意去掉了 age 的值，这个过程 InnoDB 并不会去看age 的值只是按顺序把“name 第一个字是’ 张’ ” 的记录一条条取出来回表。因此，需要回表 4 次。

第二张图和第一张图的区别是，InnoDB 在 (name,age) 索引内部就判断了 age 是否等于 10，对于等于 10 的记录，直接判断并跳过。在我们的这个例子中，只需要对 ID4、ID5 这两条记录回表取数判断，就只需要回表 2 次。