

红黑树（一种结点带颜色的AVL）

满足五个性质

- 1 每个结点非黑即红
- 2 根节点是黑色的
- 3 每个失败节点（叶子结点都是黑色的）
- 4 如果一个结点是红色的，它的两个孩子都是黑色（存在）/ 不能子父都是红色
- 5任意结点从A往下到所有叶子结点的简单路径具有相同数量的黑色结点，其数量定义为黑高

红黑树的插入 设插入序列{12, 1, 9, 2, 0, 11, 7, 19, 4, 15, 18, 5, 14, 13, 10, 16, 6, 3, 8, 17} 假设需要新插入结点x，将其颜色着色为红色，这不会破坏性质1, 2, 3

情况1 新插入的结点x是根节点，则直接着色为黑色

情况2 新插入的结点x的父节点是黑色，直接插入不同调整，满足红黑树的性质 4, 5

情况3 新插入的结点x的父节点是红色的，叔结点也是红色的，破坏了性质4，进行着色处理并回溯 具体的做法是

- 1 一黑带俩红变为一红带俩黑
- 2 $z = z.p.p$ （向上回溯的原因是在着色处理 的过程中可能破坏了性质4）

情况4 x的父红叔黑

- x是父亲的右孩子，父亲是祖父的右孩子（rr），左旋处理并重新着色
- x是父亲的左孩子，父亲是祖父的左孩子（ll），右旋处理并重新着色
- x是父亲的右孩子，父亲是祖父的左孩子，左旋并转到（ll）
- x是父亲的左孩子，父亲是祖父的右孩子，右旋并转到（rr）