

1. 现代计算机系统需要存储层级的原因在于：快速访问的存储器(如寄存器)速度快但容量小，而缓存和主存速度逐渐降低但容量逐渐增大。通过存储层级的设计，可以在速度和容量之间权衡，使得计算机系统的整体性能达到最优。
2. 过大的页会导致内部碎片，也就是进程可能会请求比实际需要的内存空间更多；而过小的页会导致外部碎片，也就是一个进程的虚拟地址空间被划分为过多的小块，难以找到连续的虚拟内存空间。
3.
 - 1) 位 7 至位 0 分别表示虚拟页号的第 12 位至第 19 位。
 - 2) 如果用户进程能够自由修改自己的页表，可能会访问到不属于自己的内存区域，甚至修改操作系统的内存空间，从而破坏系统的稳定性和安全性。
 - 3) 一个 V/R 位全部为 0 的页表条目被认为是对应的物理页为空闲页，可以被页替换算法选择为牺牲页。
4.
 - 1) 在页表条目中已经存在 X/W/R 位的情况下，PMP 控制寄存器中的 X/W/R 位可以提供物理内存空间精细的访问权限控制。
 - 2) L 位(“lock bit”)可以将该区域设为只读或禁止访问，A 位(“address match bit”)可以匹配上下文中的地址范围，使得用户态程序只能访问特定的内存区域。
5.
 - 1) 一个单级页表系统需要的页表大小为 $2^{64}/4KB*8B=2^{41} B$ ，约为 2TB。
 - 2) 一个单级页表系统对于 S_{v48} 的系统，需要的页表大小为 $2^{48}/4KB*8B=2^{29} B$ ，约为 512MB。
 - 3) 多级页表可以将虚拟地址空间划分为多个子级，每个子级只维护一小部分页表，因此可以大幅降低整个虚拟内存系统的实际页表存储开销。同时，多级页表系统的访问速度也更快，因为只有必要时才需要加载更高层次的页表。