

或是往流水线中插入一个气泡。这些机制包括对 4.2.5 节中描述的基本时钟寄存器的小扩展。假设每个流水线寄存器有两个控制输入：暂停(stall)和气泡(bubble)。这些信号的设置决定了当时钟上升时该如何更新流水线寄存器。在正常操作下(图 4-65a)，这两个输入都设为 0，使得寄存器加载它的输入作为新的状态。当暂停信号设为 1 时(图 4-65b)，禁止更新状态。相反，寄存器会保持它以前的状态。这使得它可以指令阻塞在某个流水线阶段中。当气泡信号设置为 1 时(图 4-65c)，寄存器状态会设置成某个固定的复位配置(reset configuration)，得到一个等效于 nop 指令的状态。一个流水线寄存器的复位配置的 0、1 模式是由流水线寄存器中字段的集合决定的。例如，要往流水线寄存器 D 中插入一个气泡，我们要将 icode 字段设置为常数值 INOP(图 4-26)。要往流水线寄存器 E 中插入一个气泡，我们要将 icode 字段设为 INOP，并将 dstE、dstM、srcA 和 srcB 字段设为常数 RNONE。确定复位配置是硬件设计师在设计流水线寄存器时的任务之一。在此我们不讨论细节。我们会将气泡和暂停信号都设为 1 看成是出错。

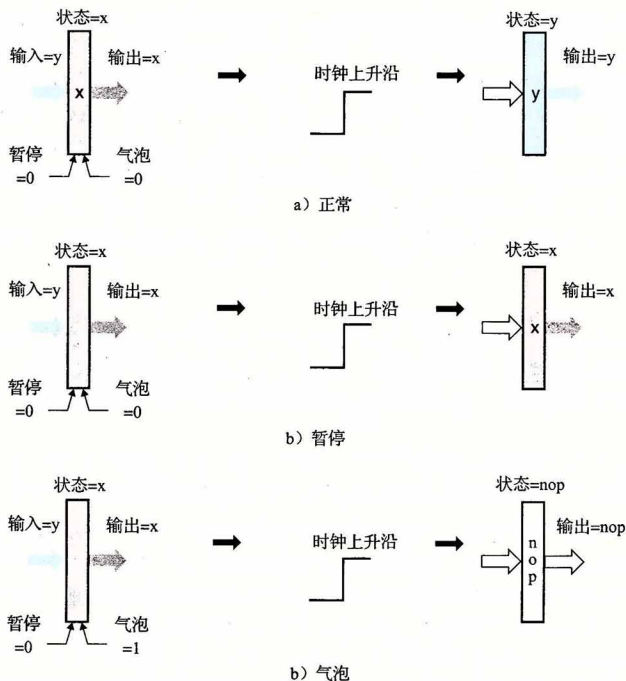


图 4-65 附加的流水线寄存器操作。a) 在正常条件下，当时钟上升时，寄存器的状态和输出被设置成输入的值；b) 当运行在暂停模式中时，状态保持为先前的值不变；c) 当运行在气泡模式中时，会用 nop 操作的状态覆盖当前状态

图 4-66 中的表给出了各个流水线寄存器在三种特殊情况下应该采取的行动。对每种情况的处理都是对流水线寄存器正常、暂停和气泡操作的某个组合。在时序方面，流水线寄存器的暂停和气泡控制信号是由组合逻辑块产生的。当时钟上升时，这些值必须是合法的，使得当下一个时钟周期开始时，每个流水线寄存器要么加载，要么暂停，要么产生气