

(1)

(2)

由上图可知，双发射流水线的迭代周期为 23 个

(3)

```
fld f2,0(a0)
```

```
fddiv.d f8,f0,f2
```

```
fadd.d f4,f0,f4
```

$$\text{fsd } f_{4,0}(a_1)$$

```
addi a0,a0,8
```

fadd.d f10,f8,f2

fsd f10,0(a0)

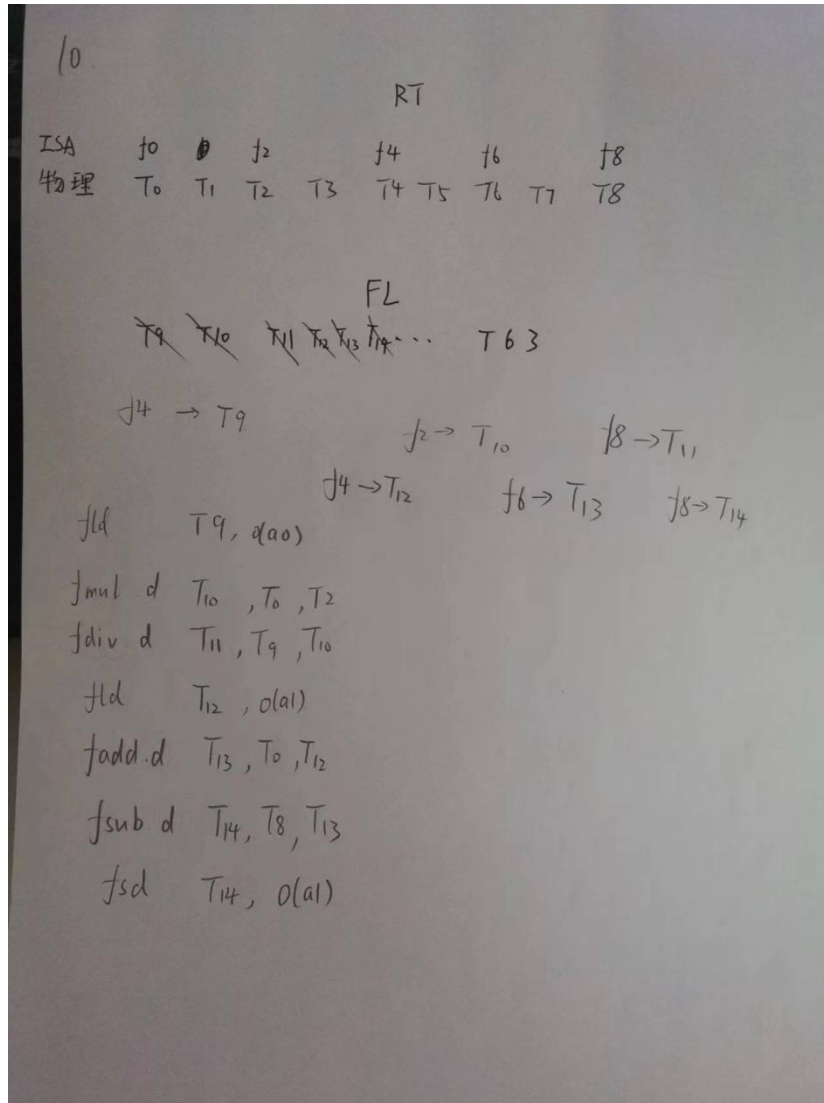
```
addi a1,a1,8
```

```
sub x20,x4,a0
```

bnz x20,Loop

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
流水线1	f1d	f2,0ld	ld	ld	fdiv	div	div	div	div	div	div	div	div	div	div	fadd f10 fadd	fadd	fsd f10	fsd/sub	brnz	brnz	
流水线2	f4,f0ld	ld	ld	fmul	mul/faddmul/faddmul/faddmul/fsd	fsd f4	addi a0 s	s	s	s	s	s	s	s	s	fadd f10 fadd	fadd	fsd f10	fsd/sub	brnz	brnz	

10.



11. (1) 显式重命名确保物理寄存器堆具有的真实寄存器数目比 ISA 定义的寄存器数目更多。

显式重命名的实现一般需要引入两种硬件，一种是空闲列表，用于维护物理寄存器的空闲信息状态，一种是重命名列表，用于维护物理寄存器和 ISA 寄存器之间的映射关系。

优点：读取数据较为简单；缺点：需要额外的物理寄存器

(2) 隐式重命名中，物理实现的寄存器数量和 ISA 规定保持一致，但其中仅存放已经最终写回的指令结果。

优点：需要的物理寄存器数目少；缺点：每个操作数需要保存在 ROB 和 ARF 两个位置，读取数据的复杂程度更高。

两者区别：显式方案提供更多的物理寄存器，而隐式方案将推测值暂存在重排序缓冲区或者其他结构中。