solution 2

1.解 a.

寄存器	源指令	目标指令	数据相关类型
R1	①	②	RAW
R1	①	②	WAW
R1	①	③	RAW
R1	②	③	RAW
R2	①	④	WAR
R2	③	④	WAR
R2	④	⑤	RAW
R4	⑤	⑥	RAW

b.时序如下：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
LD R1, 0(R2)	F	D	X	M	W													
DADDI R1, R1, #1		F	s	s	D	X	M	W										
SD 0(R2), R1					F	s	s	D	X	M	W							
DADDI R2, R2, #4								F	D	X	M	W						
DSUB R4, R3, R2									F	s	s	D	X	M	W			
BNEZ R4, Loop												F	s	s	D	X	M	W
LD R1, 0(R2)																	F	D

所需周期：98×16+18=1586

c.时序如下：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
LD R1, 0(R2)	F	D	X	M	W													
DADDI R1, R1, #1		F	D	s	X	M	W											
SD R1, 0(R2)			F	s	D	X	M	W										
DADDI R2, R2, #4					F	D	X	M	W									
DSUB R4, R3, R2						F	D	X	M	W								
BNEZ R4, Loop							F	s	D	X	M	W						
(incorrect instruction)									F	s	s	s	s					
LD R1, 0(R2)										F	D	X	M	W				

所需周期：$9\times98+12=894$

（默认判断 R4 的值在 EX 阶段时，则所需周期为9×98+11=893 ）

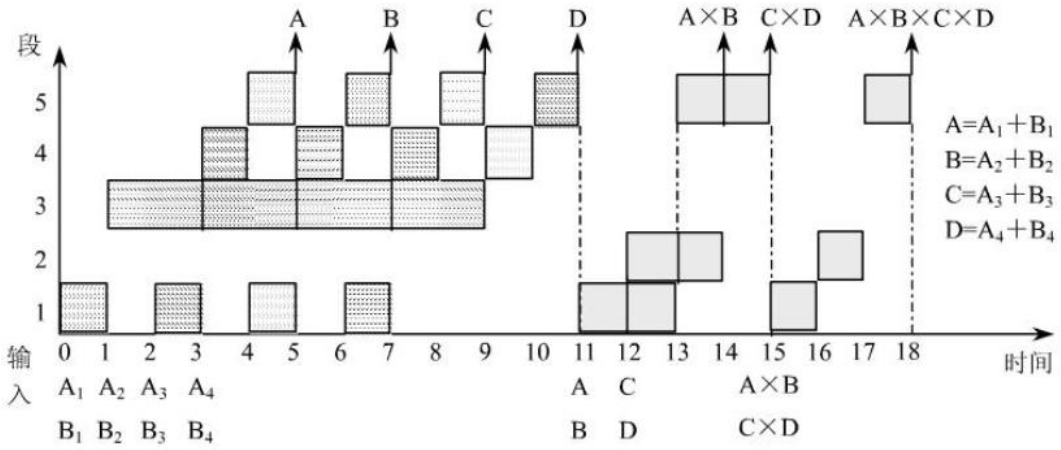
d.时序如下：

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
LD	R1, 0(R2)	F	D	X	M	W													
DADDI	R1, R1, #1		F	D	s	X	M	W											
SD	R1, 0(R2)			F	s	D	X	M	W										
DADDI	R2, R2, #4					F	D	X	M	W									
DSUB	R4, R3, R2						F	D	X	M	W								
BNEZ	R4, Loop							F	s	D	X	M	W						
LD	R1, 0(R2)									F	D	X	M	W					

所需周期：$8\times98+12=796$

（默认判断 R4 的值在 EX 阶段时，则所需周期为$7\times98+11=697$ ）

2.解：时空图如下：



吞吐率：$TP=\dfrac{7}{18\Delta t}$

加速比：$S=\dfrac{29\Delta t}{18\Delta t}=1.61$

效率：$E=\dfrac{4\times5+3\times3}{5\times18}=0.322$

3.解：a.仅考虑数据冒险时：

5 级流水线 $CPI=\frac{6}{5}$；12 级流水线 $CPI=\frac{11}{8}$

加速比：$\frac{I\times\frac{6}{5}\times 1}{I\times\frac{11}{8}\times 0.6}\approx 1.45$

b.考虑分支错误的停顿时：

CPI=分支预测指令 CPI+非分支预测指令 CPI

=0.2 * CPI * 0.95 + 0.2 * (CPI + CPI 额外) * 0.05 + 0.8 * CPI

=CPI + 0.2 * CPI 额外 * 0.05

第一台机器：$CPI=\frac{6}{5}+0.2\times 0.05\times 2=1.22$

第二台机器：$CPI=\frac{11}{8}+0.2\times 0.05\times 5=1.425$