

数据管理基础

第6章 关系数据理论

(复习思考题参考答案)

智能软件与工程学院



1. 请举例说明，不好的关系模式设计会带来哪些方面的问题？

□ [例6.1] 再关系Student中存在的问题

- **数据冗余度高**：学生就读的院系、院系系主任的姓名等信息会存在重复存储，浪费大量的存储空间。
- **更新异常**：因为前述的数据冗余存储，在修改学生就读院系、系主任姓名时，对应的update操作需要在相关的元组中被重复执行，既增加了执行上的时间开销，也可能因为修改不彻底而面临数据不一致的危险。
- **插入异常**：在插入还没有开始招生的新院系、或者插入还没有开始选课的新学生元组时，会因为违反‘实体完整性’约束而导致新元组插入失败。
- **删除异常**：在删除学生S7对应的选课元组时，会连带删除掉本不该被删除的课程信息（课程C3）。

<i>Sno</i>	<i>Sdept</i>	<i>Mname</i>	<i>Cno</i>	<i>Grade</i>
S1	计算机	张明	C1	95
S2	计算机	张明	C1	90
S3	计算机	张明	C1	88
S4	计算机	张明	C1	70
S5	计算机	张明	C1	78
S1	计算机	张明	C2	86
S3	计算机	张明	C2	94
S6	数学	李刚	C2	92
S7	数学	李刚	C3	85

复习思考题 2 -- 参考答案

1. 请给出以下函数依赖的定义：

- ① 什么是函数依赖？
- ② 什么是平凡函数依赖？什么是非平凡函数依赖？
- ③ 什么是完全函数依赖？什么是部分函数依赖？
- ④ 什么是传递函数依赖？

□ [定义6.1] 设 $R(U)$ 是一个属性集 U 上的关系模式， X 和 Y 是 U 的子集。若对于 $R(U)$ 的任意一个可能的关系 r ， r 中不可能存在两个元组在 X 上的属性值相等，而在 Y 上的属性值不等，则称“ X 函数确定 Y ”或“ Y 函数依赖于 X ”，记作 $X \rightarrow Y$ 。

□ 在关系模式 $R(U)$ 中，对于 U 的子集 X 和 Y ，

- 如果 $X \rightarrow Y$ 但 $Y \not\subseteq X$ ，则称 $X \rightarrow Y$ 是‘非平凡函数依赖’
- 如果 $X \rightarrow Y$ 但 $Y \subseteq X$ ，则称 $X \rightarrow Y$ 是‘平凡函数依赖’

□ [定义6.2] 在 $R(U)$ 中，如果 $X \rightarrow Y$ ，并且对于 X 的任何一个真子集 X' ，都有 $X' \nrightarrow Y$ ，则称 Y 对 X 完全函数依赖，记作 $X \xrightarrow{F} Y$

➤ 若 $X \rightarrow Y$ ，但 Y 不完全函数依赖于 X ，则称 Y 对 X 部分函数依赖，记作 $X \xrightarrow{P} Y$

□ [定义6.3] 在 $R(U)$ 中，如果 $X \rightarrow Y (Y \not\subseteq X)$ ， $Y \nrightarrow X$ ， $Y \rightarrow Z$ ， $Z \not\subseteq Y$ ，则称 Z 对 X 传递函数依赖 (transitive functional dependency)。记为： $X \xrightarrow{\text{传递}} Z$

复习思考题 3 -- 参考答案

3. 码

- ① 请用函数依赖给出关系的码(key)和超码(superkey)的定义;
- ② 在关系模式中,什么是主属性?什么是非主属性?请设计一个例子关系,并写出该关系的关系模式、函数依赖集、候选码、主属性集,非主属性集;
- ③ 请简要说明下列概念的相互关系:码,主码,主属性,非主属性。

- ① [定义6.4] 设 K 为 $R(U, F)$ 中的属性或属性组合。若 $K \xrightarrow{F} U$, 则 K 称为 R 的一个候选码, 简称‘码’。
 - 如果 $K \rightarrow U$ (可能是部分函数依赖, 也可能是完全函数依赖), 则 K 称为 R 的一个超码。
 - 候选码的超集是超码; 候选码是最小的超码。
- ② 在一个关系中, 所有候选码中的属性都是该关系的主属性; 除了主属性外, 其他属性是这个关系的非主属性。
 - 例如: 在关系 $R(U, F)$ 中, $U = \{A, B, C, D, E\}$, $F = \{A \rightarrow BCD, BD \rightarrow A, C \rightarrow E\}$, 该关系有两个候选码: A 和 BD , 主属性集为 $\{A, B, D\}$, 非主属性集为 $\{C, E\}$ 。
- ③ 在一个关系中, 可能存在若干个候选码。在关系模式 R 的所有候选码中, 可以选择其中的一个做为该关系的主码。码、主码、主属性、非主属性之间的关系可以描述如下:
 - 一个关系可能存在若干个候选码, 但主码最多只能定义一个;
 - 如果 A 是关系 R 的一个主属性, 则至少存在关系 R 的一个码 K , 满足 $A \in K$
 - 如果 A 是关系 R 的一个非主属性, 则对于关系 R 的所有候选码 K , 都有 $A \notin K$

复习思考题 4 -- 参考答案

4. 设有一个图书借阅关系R (借书证号, 身份证号, 书号, 书名, 借阅日期, 归还日期), 其中的数据约束如下:

- ① 借书证号、身份证号分别是借书证、读者的标识属性;
- ② 一个读者只能办理一张借书证, 一张借书证只能对应一个读者;
- ③ 每一本图书都有一个唯一的书号, 不同的图书可能有相同的书名;
- ④ 一个读者可以同时借阅多本图书, 也可以在不同时候借阅同一本图书;
- ⑤ 系统需要记录一本图书每一次被借阅的借阅日期和归还日期, 并保存所有的借阅历史。

请写出在借阅关系R上的非平凡的完全函数依赖。

□ 关系R上的函数依赖集如下 (最小覆盖, 结果不唯一)

{ 借书证号 \rightarrow 身份证号,
身份证号 \rightarrow 借书证号,
书号 \rightarrow 书名,
(书号, 借阅日期) \rightarrow (借书证号, 归还日期),
(书号, 归还日期) \rightarrow 借阅日期 }

复习思考题 5 -- 参考答案

5. 设有一个期末考试监考安排关系R，其中的属性有：课程的课程号(cno)和课程名(cname)，授课教师的工作证编号(tno)和姓名(tname)，监考老师的工作证编号(in_no)，每一场考试的开始时间(s_date)、结束时间(e_date)和考试教室(room)。其中：课程号和工作证编号分别是课程及教师的标识属性，开始时间和结束时间是date类型（含日期和时间）的字段，并且规定：
- ① 每一门课程至少有一位授课教师，也可能安排多位授课教师；
 - ② 一位老师也可以担任多门课程的授课任务；
 - ③ 每一门课的期末考试只安排一场，可分在多个教室中同时进行，除了授课教师外，在每一间考试教室中都必须安排一位或多位监考老师；
 - ④ 同一时间段、同一间教室中只能安排一门课程的考试；
 - ⑤ 一位老师可以担任多门课程的监考任务，但在同一时间段内，一位老师只能在指定的一间教室中监考一门课；
 - ⑥ 授课教师必须参加自己承担授课任务的课程监考（不限定教室）。

R(cno, cname, tno, tname, in_no, s_date, e_date, room)

请找出该关系中的所有函数依赖（非平凡的完全函数依赖）。

□ 发现的函数依赖如下：

**F = { tno → tname, cno → (cname, s_date, e_date), (cno, in_no) → room,
(tno, s_date) → cno, (tno, e_date) → cno, (in_no, s_date) → cno, (in_no, e_date) → cno,
(in_no, s_date) → room, (in_no, e_date) → room, (room, s_date) → cno, (room, e_date) → cno }**

复习思考题 6 -- 参考答案

6. 范式定义

① 请写出下列范式的定义：1NF, 2NF, 3NF, BCNF

② 简要说明，上述各级范式之间的相互关系。

① 各级范式的定义如下：

□ 如果一个关系模式 R 的所有属性都是不可分的基本数据项，则 $R \in 1NF$.

□ [定义6.6] 若关系 $R \in 1NF$ ，并且每一个非主属性都完全函数依赖于任何一个候选码，则 $R \in 2NF$.

□ [定义6.7] 设关系模式 $R(U, F) \in 1NF$ ，若 R 中不存在这样的码 X 、属性组 Y 及非主属性 Z ($Z \notin Y$)，使得 $X \rightarrow Y$ ， $Y \rightarrow Z$ 成立， $Y \nrightarrow X$ ，则称 $R(U, F) \in 3NF$.

□ [定义6.8] 设关系模式 $R(U, F) \in 1NF$ ，若 $X \rightarrow Y$ 且 $Y \not\subseteq X$ 时 X 必含有码，则 $R(U, F) \in BCNF$.

② 如果由所有满足第一范式的关系组成集合，由所有满足第二范式的关系组成集合，……，那么这些范式相互之间的关系可以表示如下：

$$BCNF \subseteq 3NF \subseteq 2NF \subseteq 1NF$$

复习思考题 7 -- 参考答案 (1)

7. 在一个关系模式中，会因为存在下列函数依赖而产生不合理的数据冗余存储和操作异常。请利用函数依赖、候选码等概念的定义来解释其原因。

- ① 存在非主属性A对候选码K的部分函数依赖: $K \xrightarrow{p} A$
- ② 存在非主属性A对候选码K的传递函数依赖: $K \rightarrow X, X \not\subset K, X \nrightarrow K, X \rightarrow A$
- ③ 存在主属性B对候选码K的部分函数依赖: $K \xrightarrow{p} B$;
- ④ 存在主属性B对候选码K的传递函数依赖: $K \rightarrow X, X \not\subset K, X \nrightarrow K, X \rightarrow B$

➤ 设K是关系R的候选码， t_1 、 t_2 是关系R中的元组。根据候选码的定义可知：

a) **If $t_1[k] = t_2[k]$ then $t_1 = t_2$**

b) 对于候选码K的任意一个真子集 K_0 ($K_0 \subset K$)，都有 $K_0 \nrightarrow head(R)$ ，即：在关系R中**允许存在一对不同的元组 $t_1 \neq t_2$ 满足 $t_1[k_0] = t_2[k_0]$**

① 如果存在非主属性A对候选码K的部分函数依赖 $K \xrightarrow{p} A$ ，那么：

- 因为 $K \xrightarrow{p} A$ ，所以至少存在K的一个真子集 $K_0 \subset K$ 并且 $K_0 \rightarrow A$
- 根据候选码的定义可知，在关系R中允许存在一对不同的元组 $t_1 \neq t_2$ 满足 $t_1[k_0] = t_2[k_0]$
- 由 $K_0 \rightarrow A$ 和 $t_1[k_0] = t_2[k_0]$ 可知: $t_1[A] = t_2[A]$
- 所以，允许 $t_1[k_0]$ 与 $t_1[A]$ 之间的取值对应关系重复出现在不同的元组中，因此产生了数据冗余存储。

复习思考题 7 -- 参考答案 (2)

② 存在非主属性A对候选码K的传递函数依赖： $K \rightarrow X, X \not\subseteq K, X \nrightarrow K, X \rightarrow A$

➤ 根据传递函数依赖的定义可知，必存在一个属性集合X，满足：

$$K \rightarrow X, X \not\subseteq K, X \nrightarrow K, X \rightarrow A$$

➤ 那么：

① 因为 $X \nrightarrow K$ ，所以在关系R中，允许存在一对元组 t_1 、 t_2 满足 $t_1[X] = t_2[X]$ 但 $t_1[K] \neq t_2[K]$

② 由 $X \rightarrow A$ 和 $t_1[X] = t_2[X]$ 可知： $t_1[A] = t_2[A]$

③ 由 $t_1[K] \neq t_2[K]$ 可知， t_1 、 t_2 是关系R中的两个不同的元组

④ 所以，允许 $t_1[X]$ 与 $t_1[A]$ 之间的取值对应关系重复出现在不同的元组中，因此产生了数据冗余存储。

➤ 在这里就可以理解，在传递函数依赖的定义里，为什么要有 $X \nrightarrow K$

➤ 如果没有这个限制，也就是说，如果也存在函数依赖 $X \rightarrow K$ ，那么：

- 如果 $t_1[X] = t_2[X]$ ，则 $t_1[K] = t_2[K]$ ，即 t_1 、 t_2 是关系R中的同一个元组
- 这样， $t_1[X]$ 与 $t_1[A]$ 之间的取值对应关系只会出现确定的一个元组中，不会出现重复存储

□ 同理，可以解释③和④。

8. Armstrong公理系统

- ① 请写出三条基本规则：自反律，增广律，传递律
- ② 请写出以下两条扩充规则并证明：分解规则，合并规则
- ③ 请举例说明：利用Armstrong公理系统中的传递律推导得到的函数依赖不一定是传递函数依赖。

9. ‘函数依赖集闭包’与‘属性集闭包’

- ① 什么是函数依赖的逻辑蕴涵？
- ② 什么是函数依赖集闭包？
- ③ 什么是属性集闭包？请写出属性集闭包的计算算法。

10. ‘函数依赖集等价’与‘极小函数依赖集’

- ① 请写出下列概念的定义：函数依赖集等价，极小函数依赖集
- ② 极小函数依赖集的判定方法是什么？请写出极小函数依赖集的计算算法。

复习思考题 11 -- 参考答案 (1)

11. 请利用Armstrong公理系统证明下面的推导过程是否成立？如果不成立，请给出具体的例子关系。

1	$\{ W \rightarrow Y, X \rightarrow Z \} \Rightarrow \{ WX \rightarrow Y \}$	✓
2	$\{ X \rightarrow Y \} \text{ and } Z \subseteq Y \Rightarrow \{ X \rightarrow Z \}$	✓
3	$\{ X \rightarrow Y, X \rightarrow W, WY \rightarrow Z \} \Rightarrow \{ X \rightarrow Z \}$	✓
4	$\{ XY \rightarrow Z, Y \rightarrow W \} \Rightarrow \{ XW \rightarrow Z \}$	✗
5	$\{ X \rightarrow Z, Y \rightarrow Z \} \Rightarrow \{ X \rightarrow Y \}$	✗
6	$\{ X \rightarrow Y, XY \rightarrow Z \} \Rightarrow \{ X \rightarrow Z \}$	✓
7	$\{ X \rightarrow Y, Z \rightarrow W \} \Rightarrow \{ XZ \rightarrow YW \}$	✓
8	$\{ XY \rightarrow Z, Z \rightarrow X \} \Rightarrow \{ Z \rightarrow Y \}$	✗
9	$\{ X \rightarrow Y, Y \rightarrow Z \} \Rightarrow \{ X \rightarrow YZ \}$	✓
10	$\{ XY \rightarrow Z, Z \rightarrow W \} \Rightarrow \{ X \rightarrow W \}$	✗

复习思考题 11 -- 参考答案 (2)

1. 答: $W \rightarrow Y, X \rightarrow Z \Rightarrow WX \rightarrow Y$ 成立

增广律: $W \rightarrow Y \Rightarrow WX \rightarrow YX$

自反律: $YX \rightarrow Y$

传递律: $WX \rightarrow YX, YX \rightarrow Y \Rightarrow WX \rightarrow Y$

2. 答: $X \rightarrow Y$ and $Z \subseteq Y \Rightarrow X \rightarrow Z$ 成立

自反律: $Z \subseteq Y \Rightarrow Y \rightarrow Z$

传递律: $X \rightarrow Y, Y \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow Z$

3. 答: $X \rightarrow Y, X \rightarrow W, WY \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow Z$ 成立

合并规则: $X \rightarrow W, X \rightarrow Y \Rightarrow X \rightarrow WY$

传递律: $X \rightarrow WY, WY \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow Z$

6. 答: $X \rightarrow Y, XY \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow Z$ 成立

增广律: $X \rightarrow Y \Rightarrow XX \rightarrow XY$ 即 $X \rightarrow XY$

传递律: $X \rightarrow XY, XY \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow Z$

7. 答: $X \rightarrow Y, Z \rightarrow W \Rightarrow XZ \rightarrow YW$ 成立

增广律: $X \rightarrow Y \Rightarrow XZ \rightarrow YZ$

增广律: $Z \rightarrow W \Rightarrow YZ \rightarrow YW$

传递律: $XZ \rightarrow YZ, YZ \rightarrow YW \Rightarrow XZ \rightarrow YW$

9. 答: $X \rightarrow Y, Y \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow YZ$ 成立

传递律: $X \rightarrow Y, Y \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow Z$

合并规则: $X \rightarrow Y, X \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow YZ$

复习思考题 11 -- 参考答案 (3)

4. 答: $XY \rightarrow Z, Y \rightarrow W \Rightarrow XW \rightarrow Z$ 不成立

X	Y	Z	W
1	1	1	1
1	2	2	1

8. 答: $XY \rightarrow Z, Z \rightarrow X \Rightarrow Z \rightarrow Y$ 不成立

X	Y	Z
1	1	1
1	4	1

5. 答: $X \rightarrow Z, Y \rightarrow Z \Rightarrow X \rightarrow Y$ 不成立

X	Y	Z
2	2	2
2	3	2
3	4	1

10. 答: $XY \rightarrow Z, Z \rightarrow W \Rightarrow X \rightarrow W$ 不成立

X	Y	Z	W
1	1	1	1
1	2	2	2

复习思考题 12/13 -- 参考答案

12. 设 $F = \{ A \rightarrow C, AC \rightarrow D, E \rightarrow AD, E \rightarrow H \}$, 请给出 **F** 的极小函数依赖集。

□ 极小函数依赖集的计算结果是:

$$\{ A \rightarrow C D, \quad E \rightarrow A H \}$$

13. $M = \{ ABD \rightarrow AC, C \rightarrow BE, AD \rightarrow BF, B \rightarrow E \}$, 请计算**M**的极小函数依赖集。

□ 极小函数依赖集的计算结果是:

$$\{ A D \rightarrow C F, \quad C \rightarrow B, \quad B \rightarrow E \}$$

复习思考题 14 -- 参考答案

14. 给定关系模式 $R(A,B,C,D,E,F)$ 及其上的函数依赖集: $S = \{ A \rightarrow E, B \rightarrow ADE, DF \rightarrow AC, ADF \rightarrow B \}$

- ① 请直接写出与 S 等价的极小函数依赖集;
- ② 请直接写出关系模式 R 的所有候选码、主属性集、非主属性集;
- ③ 请使用3NF模式分解算法对关系 R 进行分解, 并满足无损联接性和依赖保持性;
- ④ 上题分解结果是否满足BCNF? 如果不满足, 请将其继续分解到满足BCNF并说明理由。

① 答: $\{ A \rightarrow E, B \rightarrow AD, DF \rightarrow BC \}$

② 答: 有两个候选码: $\{B, F\}$ 和 $\{D, F\}$

③ 答: 分解结果是 $R_1(A, E) \quad R_2(A, B, D) \quad R_3(B, C, D, F)$

④ 答: 在上述分解结果中, R_1 和 R_2 满足BCNF, 但 R_3 不满足BCNF。到BCNF的分解方法如下:

R_3 的候选码是 $\{B, F\}$ 和 $\{D, F\}$, 函数依赖 $B \rightarrow D$ 不满足BCNF, 故将原关系 R_3 分解为 $R_{31}(B, D)$ 和 $R_{32}(B, C, F)$ 。又因为关系 R_2 包含有关系 R_{31} 中的所有属性, 不需要保留新分解得到的关系 R_{31} , 用关系 R_{32} 替代上一步分解中的关系 R_3 , 最终得到满足BCNF的分解结果如下:

- $R_1(A, E) \quad \text{FDs: } \{ A \rightarrow E \}$
- $R_2(A, B, D) \quad \text{FDs: } \{ B \rightarrow AD \}$
- $R_3(B, C, F) \quad \text{FDs: } \{ BF \rightarrow C \}$

该分解满足无损连接性, 但不保持函数依赖。

复习思考题 15 -- 参考答案

15. 给定关系 $R(A,B,C,D,E,F,G)$ 及其上的函数依赖集：(不需要写计算过程)

$M = \{ ABC \rightarrow DEF, AC \rightarrow BG, D \rightarrow F, E \rightarrow GC \}$

- ① 请直接写出与 M 等价的极小函数依赖集；
- ② 请直接写出关系 R 的所有候选码、主属性集、非主属性集；
- ③ 请使用 3NF 模式分解算法对关系 R 进行分解，并满足无损联接性和依赖保持性；
- ④ 上述的分解结果是否满足 BCNF？如满足 BCNF，请简单说明理由；否则，请将其继续分解到满足 BCNF。

① 答： $\{ AC \rightarrow BDE, D \rightarrow F, E \rightarrow GC \}$

② 答：有两个候选码： $\{A, C\}$ 和 $\{A, E\}$

③ 答： $R_1(\{A, B, C, D, E\}, \{AC \rightarrow BDE, E \rightarrow C\})$ $R_2(\{D, F\}, \{D \rightarrow F\})$ $R_3(\{C, E, G\}, \{E \rightarrow GC\})$

④ 答：在上述分解结果中， R_2 和 R_3 满足 BCNF，但 R_1 不满足 BCNF。到 BCNF 的分解方法如下：

R_1 的候选码是 $\{A, C\}$ 和 $\{A, E\}$ ， R_1 中的函数依赖 $E \rightarrow C$ 不满足 BCNF，故将原关系 R_1 分解为 $R_{11}(\{C, E\}, \{E \rightarrow C\})$ 和 $R_{12}(\{A, B, D, E\}, \{AE \rightarrow BD\})$ 。

又因为关系 R_3 包含有关系 R_{11} 中的所有属性，不需要保留新分解得到的关系 R_{11} ，用关系 R_{12} 替代上一步分解中的关系 R_1 ，最终得到满足 BCNF 的分解结果如下：

$R_1(\{A, B, D, E\}, \{AE \rightarrow BD\})$ $R_2(\{D, F\}, \{D \rightarrow F\})$ $R_3(\{C, E, G\}, \{E \rightarrow GC\})$

该分解满足无损连接性，但不保持函数依赖。

复习思考题 16 -- 参考答案

16. 设有一个机场跑道使用调度管理系统，其关系模式如下：

机场编号 跑道编号 飞机编号 使用开始时间 使用结束时间

R (ano, lno, pno, s_time, e_time)

其中：

- 机场编号ano和飞机编号pno分别是机场和飞机的标识属性；
- 在一个机场中，可能有多条用于飞机起降的跑道，每条跑道都有一个唯一的编号lno；分属于不同机场的跑道，可能有相同的跑道编号；
- 每一条跑道每次只能供一架飞机使用（供飞机起降用）；
- 使用开始时间和使用结束时间的数据类型是时间戳(timestamp)。
- ① 根据上述描述，请写出关系R上的极小函数依赖集。（不需要写计算过程）
- ② 关系R最高能够满足哪个范式的定义？请简单说明理由。

① 答：{ (sno, lno, s_time) → (pno, e_time),
(sno, lno, e_time) → s_time,
(pno, s_time) → (sno, lno, e_time)
(pno, e_time) → s_time }

① 答：满足BCNF。理由：该关系有四个候选码(sno,lno,s_time), (sno,lno,e_time), (pno,s_time) 和 (pno,e_time)，所有的函数依赖都满足BCNF的定义。

复习思考题 17 -- 参考答案 (1)

17. 设有一个大学生创新项目管理关系 $P(pno, mgrno, sno, pyear, ps)$

其属性包括：项目的编号 pno 、执行年份 $pyear$ 、验收等级 ps ，项目负责学生的学号 $mgrno$ ，项目参与学生的学号 sno 。其中：

①项目编号和学号分别是项目和学生的标识属性；②每个项目都有唯一的一名负责的学生，以及可能的若干名参与的学生；③每个项目的执行周期只有一年；④一个学生可以负责或参与过若干个项目，但每一年最多只能负责或参与一个项目。

① 请写出该关系上的极小函数依赖集（直接写出结果）

② 该关系最高能够满足到第几范式？请简单说明理由；

③ 关系 P 是否满足 $3NF$ ？如不满足，请用到 $3NF$ 的模式分解算法直接对其进行模式分解；

④ 上述分解结果是否满足 $BCNF$ ？如不满足，请将其进一步分解到满足 $BCNF$ 。

复习思考题 17 -- 参考答案 (2)

① 答：{ $pno \rightarrow (mgrno, pyear, ps)$, $(mgrno, pyear) \rightarrow pno$, $(sno, pyear) \rightarrow pno$ }

② 答：首先寻找该关系上的候选码，共找到2个候选码： $(sno, pyear)$ 和 (sno, pno)
存在非主属性 ps 对候选码 (sno, pno) 的部分函数依赖，所以不满足2NF，最高只能满足1NF。

③ 答：不满足3NF。利用到3NF的模式分解算法直接分解的结果如下：

关系模式	函数依赖集	候选码
$R_1 (pno, mgrno, pyear, ps)$	$pno \rightarrow (mgrno, pyear, ps)$ $(mgrno, pyear) \rightarrow pno$	pno $(mgrno, pyear)$
$R_2 (pno, pyear, sno)$	$pno \rightarrow pyear$ $(sno, pyear) \rightarrow pno$	(pno, sno) $(sno, pyear)$

④ 答： $R_1 \in BCNF$, $R_2 \notin BCNF$ 。可将 R_2 进一步分解为 $R_{21}(pno, pyear)$ 和 $R_{22}(pno, sno)$ 这两个子关系，由于 $head(R_{21}) \subseteq head(R_1)$ ，新分解出来的关系 R_{21} 是多余的，可以略去。最终到BCNF的分解结果如下：

关系模式	函数依赖集	候选码
$R_1 (pno, mgrno, pyear, ps)$	$pno \rightarrow (mgrno, pyear, ps)$ $(mgrno, pyear) \rightarrow pno$	pno $(mgrno, pyear)$
$R_{22} (pno, sno)$		(pno, sno)