

## 第 3 章 关系数据库理论

### 3.1 知识图谱

#### 1. 学习内容

关系数据库理论的学习内容主要包括关系数据模型的三个组成要素,即关系数据模型所采用的数据结构、关系操作能力的表达方法、关系模型对于存储在数据库中的数据具有的约束能力;用关系代数表达式或关系演算表达式表达数据库操作。

#### 2. 知识点

本章涉及的知识点主要包括:

- (1) 关系模型中关系、关系模式、关系实例、关系数据库的概念。
- (2) 关系模型的三种完整性约束规则。
- (3) 关系代数的操作运算符及运算规则。
- (4) 用关系代数表达式表达数据库操作的方法。
- (5) 关系演算中关系的表达,关系演算公式的定义。
- (6) 用关系演算表达式表达数据库查询操作的方法。

#### 3. 知识点概念图

知识点涉及的概念及其概念间内涵可用概念图呈现,如图 3-1 所示。

#### 4. 概念图解读

关系数据模型是目前大多数 DBMS 所采用的数据模型,用“关系”数据结构描述数据库模式,对关系进行查询和更新操作,对关系的操作结果进行实体完整性、参照完整性和用户定义完整性约束。

关系概念建立在集合论中笛卡儿积的概念基础之上,关系是元组的集合,某一时刻元组的集合称为关系实例,即该时刻关系的值。关系的逻辑结构用关系模式描述,包括关系名称、包含的属性、属性的域、属性向域的映像以及属性之间的数据依赖 5 个要素。

关系操作可用关系代数和关系演算表达,关系代数和关系演算在表达能力上是等价的。

关系代数用对关系的代数运算表达关系操作,关系代数运算包括传统的集合运算和专门的关系运算。传统的集合运算包括并、差、交、广义笛卡儿积等,专门的关系运算包括投影、选择、连接、除、重命名等,其中选择、投影、并、差、广义笛卡儿积是 5 种基本代数运算。包含关系代数运算符、关系名变量、元组集合常量,以及辅助代数运算的算术运算符、比较运算符和逻辑运算符的关系代数操作序列构成一个关系代数表达式,可表达数据库操作。

关系演算用关系操作的结果应满足的谓词条件表达关系操作,在关系演算表达式中,主要

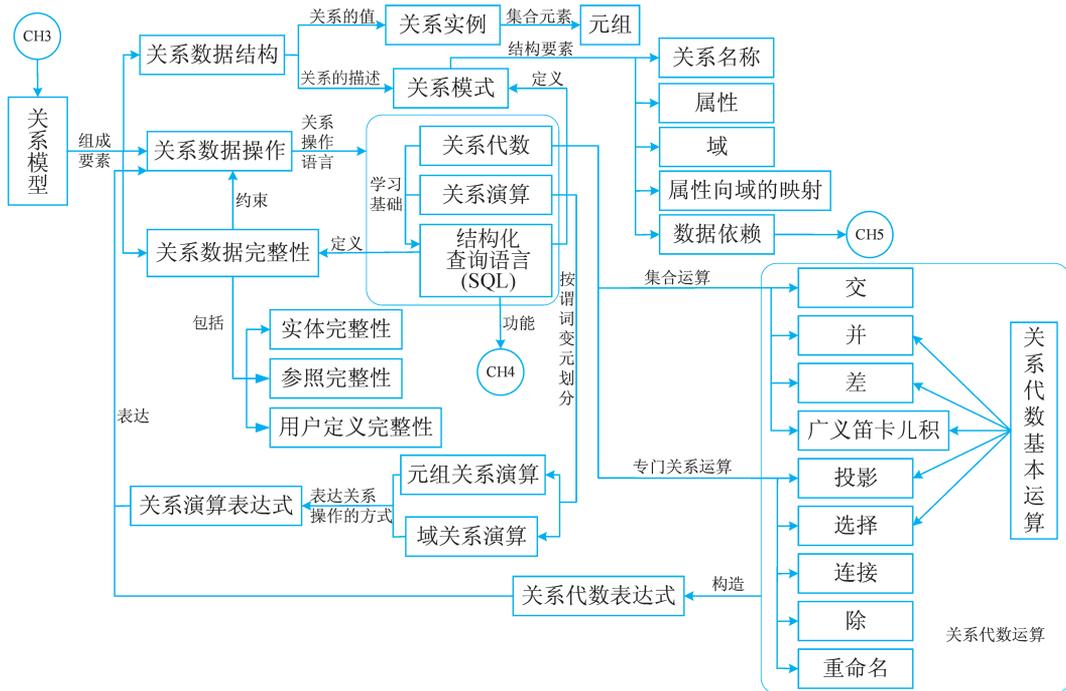


图 3-1 关系数据库理论知识点概念图

使用比较运算符、量词和逻辑运算符等构造谓词条件。根据谓词变元的不同,关系演算分为元组关系演算和域关系演算。

实际的关系数据库管理系统(RDBMS)产品使用 SQL 定义数据库的三级模式结构及完整性约束,实现数据库的查询、更新和控制等操作。SQL 吸纳了关系代数的概念和关系演算的逻辑思想,关系代数和关系演算是 SQL 学习的基础。

## 3.2 习题

### 一、填空题

1. 关系数据模型的三个组成要素是关系数据结构、\_\_\_\_\_、关系的完整性约束。
2. 关系模型用单一的数据结构,即\_\_\_\_\_,描述实体以及实体之间的联系。
3. 关系数据模型中的关系可用二维表表示,表中的一行对应关系的一个\_\_\_\_\_,表中的一列对应关系的一个\_\_\_\_\_。
4. 关系模型有\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_三类完整性约束,其中\_\_\_\_\_完整性和\_\_\_\_\_完整性是关系数据库必须满足的完整性约束条件,应该由 RDBMS 默认支持。
5. 在关系数据库中,实体完整性通过定义关系的\_\_\_\_\_实现。
6. 在关系数据库中,两个关系中数据间的参照关系是通过定义\_\_\_\_\_实现的。
7. 包含在任何一个候选键中的属性称为\_\_\_\_\_。
8. 关系数据模型的实体完整性约束规则要求,关系的主属性\_\_\_\_\_。
9. 根据参照完整性约束规则,外键的值或者等于对应主键的关系中某个元组主键的值,或者取\_\_\_\_\_。

10. 在关系  $A(S, SN, D)$  和  $B(D, CN, NM)$  中,  $S$  是  $A$  的主键,  $A$  中的属性  $D$  与  $B$  中的主键  $D$  相对应, 则  $D$  在  $A$  中称为\_\_\_\_\_, 且  $D$  的取值可以为 NULL 值。

11. 对于关系: 学生(学号, 姓名, 性别, 专业号, 年龄), 将属性“年龄”的取值范围定义在 18~30 岁属于\_\_\_\_\_完整性约束。

12. 设有学生关系  $S$ (学号, 姓名, 班级) 和学生选课关系  $SC$ (学号, 课程号, 成绩), 为实现参照完整性, 应定义关系  $SC$  中的“学号”为该关系的\_\_\_\_\_。

13. 对于关系: 教学(学号、教工号、课程号), 若每名学生可以选修多门课程, 每门课程可以由多名学生选修, 每位老师只能讲授一门课程, 每门课程可以由多位老师讲授, 那么该关系的候选键是\_\_\_\_\_。

14. 假定关系“列车时刻表”中的属性有车次、始发站、发车时间、终点站、到达时间, 且每辆列车有唯一的始发站和终点站, 则该关系的主键是\_\_\_\_\_。

15. 关系模式的候选键可以有 1 个或多个, 而主键只能有\_\_\_\_\_个。

16. 关系操作的结果是一个\_\_\_\_\_。

17. 早期的关系操作能力通常用\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的方式表示。

18. 关系代数运算中的 5 种基本操作包括\_\_\_\_\_、差、笛卡儿积、投影和选择。

19. 在关系代数运算中, 使用\_\_\_\_\_运算可从关系中得到满足条件的元组; 如果只对关系中的某些属性感兴趣, 则可用关系代数的\_\_\_\_\_运算选择这些属性。

20. 对于学生关系  $S(S\#, SNAME, SEX, AGE)$ , 若要用关系代数表达查询得到的某名学生的基本信息, 需使用\_\_\_\_\_运算。

21. 设关系  $R$  和  $S$  分别有  $m$  和  $n$  个元组,  $k_1$  和  $k_2$  个属性, 若它们有  $k_3$  个相同的属性, 则  $R \times S$  的元组个数是\_\_\_\_\_, 属性个数是\_\_\_\_\_;  $R \bowtie S$  的属性个数是\_\_\_\_\_。

22. 在关系代数中, 从两个关系的笛卡儿积中选取它们属性间满足一定条件的元组的操作, 称为\_\_\_\_\_操作。

23. 关系  $R$  和  $S$  做自然连接的前提条件是  $R$  和  $S$  有相同的\_\_\_\_\_。

24. 对图 3-2 中的关系  $R$  和  $S$  进行  $R \bowtie_{B<D} S$  运算, 则运算结果中含有\_\_\_\_\_个元组。

$R$		$S$																				
<table style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"><math>A</math></td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"><math>B</math></td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"><math>C</math></td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">4</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">6</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">7</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">8</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">9</td></tr> </table>	$A$	$B$	$C$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\bowtie_{B<D}$	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"><math>D</math></td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"><math>E</math></td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">6</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">7</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">8</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">9</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">10</td></tr> </table>	$D$	$E$	5	6	7	8	9	10
$A$	$B$	$C$																				
1	2	3																				
4	5	6																				
7	8	9																				
$D$	$E$																					
5	6																					
7	8																					
9	10																					

图 3-2 关系  $R$  与  $S$  的连接运算

25. 对关系  $R(A, B, C, D)$  和  $S(A, C, D, E)$  进行自然连接运算  $R \bowtie S$  后, 结果关系中有\_\_\_\_\_个属性。

26. 若把自然连接结果中舍弃的悬浮元组保留下来, 并在这些悬浮元组新增的属性上赋空值 NULL, 则这种连接称作\_\_\_\_\_。若只保留连接运算符左边关系中的悬浮元组, 需要进行\_\_\_\_\_操作; 若只保留连接运算符右边关系中的悬浮元组, 则需要进行\_\_\_\_\_操作。

27. 关系  $R$  与  $S$  的实例如图 3-3 所示, 关系  $R$  与  $S$  的左外连接、右外连接和完全外连接的元组个数分别为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。

A	B	C
1	2	3
2	1	4
3	4	4
4	6	7

A	B	D
1	9	1
2	1	8
3	4	4
4	8	3

图 3-3 关系 R 与 S 的实例 1

28. 对图 3-4 中的关系 R 进行关系代数运算后的结果如同关系 S, 则对应的关系代数表达式为\_\_\_\_\_。

商品编号	商品名	单价
01020210	手绢	2
01020211	毛巾	18
01020212	毛巾	8
01020213	钢笔	5
02110200	钢笔	8

商品编号	商品名	单价
01020211	毛巾	18
01020212	毛巾	8
02110200	钢笔	8

图 3-4 关系 R 与 S 的实例 2

29. 根据谓词变元不同, 关系演算分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

## 二、选择题

- 关于关系性质的描述, 错误的是\_\_\_\_\_。
  - 关系中任意两个元组的值不能完全相同
  - 关系中任意两个属性的值不能完全相同
  - 关系中任意两个元组可以交换顺序
  - 关系中任意两个属性可以交换顺序
- 下列概念模型与关系模型的对应概念, 错误的是\_\_\_\_\_。
  - 联系→关系模式
  - 实体型→关系实例
  - 关键字→候选键
  - 属性→属性
- 关系模型的数据结构是\_\_\_\_\_。
  - 层次结构
  - 关系结构
  - 网状结构
  - 树结构
- 在关系数据库中, 实现关系中任意两个元组不能相同的约束是依据关系的\_\_\_\_\_。
  - 外键
  - 属性
  - 候选键
  - 列
- 以下关于外键和对应的主键之间的关系, 正确的是\_\_\_\_\_。
  - 外键并不一定与对应的主键同名

- B. 外键一定要与对应的主键同名  
 C. 外键一定要与对应的主键同名而且唯一  
 D. 外键一定要与对应的主键同名,但并不一定唯一
6. 下面关于主键的描述,正确的是\_\_\_\_\_。
- A. 不同的元组可以具有相同的主键值  
 B. 关系中的主键可以包含一个或多个属性  
 C. 关系中主键只可以是一个属性  
 D. 关系中的主键的数据类型必须定义为自动编号或文本
7. 在关系数据库中,关系与关系之间的参照是通过定义\_\_\_\_\_实现的。
- A. 主键                      B. 外键                      C. 主属性                      D. 值域
8. 在一个关系中,任意候选键中都不包含的属性称为\_\_\_\_\_。
- A. 主属性                      B. 非主属性                      C. 主关键字                      D. 主键
9. 若一个关系的元组的某属性(或属性组)的取值需与另一个关系的某个元组的主键值对应,则称该属性(或属性组)为这个关系的\_\_\_\_\_。
- A. 候选键                      B. 主键                      C. 外键                      D. 连接键
10. 关系模式中,一个候选键\_\_\_\_\_。
- A. 可由多个任意属性组成  
 B. 只需由一个属性组成  
 C. 可由一个或多个其值能唯一标识该关系中一个元组的属性组成  
 D. 必须由多个属性组成
11. 设有关系模式  $EMP$ (职工号,姓名,年龄,技能),假设职工号唯一,每个职工有多项技能,则关系  $EMP$  的候选键是\_\_\_\_\_。
- A. 职工号                      B. 姓名,技能                      C. 技能                      D. 职工号,技能
12. 若关系  $R(A, B, C, D)$  的主键为全键,则关系  $R$  的主键是\_\_\_\_\_。
- A. 由属性  $A, B, C, D$  组成的属性组  
 B. 在属性  $A, B, C, D$  中任选一个  
 C. 在属性组  $AB, AC, AD, BC, BD, CD$  中任选一个  
 D. 在属性组  $ABC, ACD, ABD, BCD$  中任选一个
13. 在关系模式  $EMP$ (职工号,姓名,年龄,技能)中,假设职工号唯一,每个职工只能申报一项技能,则  $EMP$  表的主键是\_\_\_\_\_。
- A. 职工号                      B. 姓名,技能                      C. 技能                      D. 职工号,技能
14. 对于关系模式:学生(宿舍编号,宿舍地址,学号,姓名,性别,出生日期,专业),若每个宿舍可住多人,则候选键是\_\_\_\_\_。
- A. 宿舍编号                      B. 学号                      C. 宿舍地址,姓名                      D. 宿舍编号,学号
15. 关系中的主键不允许取空值,其受\_\_\_\_\_约束规则约束。
- A. 实体完整性                      B. 参照完整性  
 C. 用户定义完整性                      D. 数据完整性
16. 若关系  $SC(SNO, CNO, GRADE)$  的主键是  $(SNO, CNO)$ , 则\_\_\_\_\_。
- A. 只有  $SNO$  不能取空值                      B. 只有  $CNO$  不能取空值  
 C. 只有  $GRADE$  不能取空值                      D.  $SNO$  与  $CNO$  都不能取空值

17. 若要求关系：学生(学号,姓名,所在系)中“所在系”属性的值来源于另一个关系：系别(系名,主任)的“系名”属性值,则这一约束属于\_\_\_\_\_。

- A. 实体完整性约束                      B. 参照完整性约束  
C. 用户定义完整性约束                D. 不属于任何约束

18. 若要求关系：学生(学号,姓名,性别)中“学号”属性的值是8个数字组成的字符串,则其规则属于\_\_\_\_\_。

- A. 实体完整性约束                      B. 参照完整性约束  
C. 用户定义完整性约束                D. 关键字完整性约束

19. 对于图3-5中的供应商关系S和零件关系P,主键分别是“供应商号”和“零件号”,零件关系P的属性“供应商号”是外键,属性“颜色”的取值范围为(红,白,蓝)。

关系S			关系P		
供应商号	供应商名	所在城市	零件号	颜色	供应商号
B01	红星	北京	010	红	B01
S10	宇宙	上海	201	蓝	T20
T20	黎明	天津	312	白	S10
Z01	立新	重庆			

图3-5 关系S与P的实例

(1) 向关系P中插入如下新元组,允许被插入的有\_\_\_\_\_。

- I. ('201','白','S10')    II. ('301','红','T11')    III. ('301','绿','B01')

- A. 只有 I                      B. 只有 I 和 II                      C. 只有 II                      D. 都不能

(2) 删除关系S中的如下元组,可能被限制删除的有\_\_\_\_\_。

- I. ('S10','宇宙','上海')    II. ('Z01','立新','重庆')

- A. 只有 I                      B. 只有 II                      C. 都可以                      D. 都不可以

(3) 如下更新操作能够被执行的有\_\_\_\_\_。

- I. 将S表中的供应商号的值'Z01'修改为'Z30'

- II. 将P表中的供应商号的值'B01'修改为'B02'

- A. 只有 I                      B. 只有 II                      C. 都可以                      D. 都不可以

20. 关系DML以关系为操作对象,操作后的结果是\_\_\_\_\_。

- A. 元组                      B. 关系                      C. 属性                      D. 域

21. 关系数据模型上的关系操作表示方式包括\_\_\_\_\_。

- A. 关系代数和集合运算                      B. 关系代数和关系演算  
C. 关系演算和谓词演算                      D. 关系代数和谓词演算

22. 5种基本关系代数运算是\_\_\_\_\_。

- A.  $\cup, -, \times, \pi$  和  $\sigma$                       B.  $\cup, -, \bowtie, \pi$  和  $\sigma$   
C.  $\cup, \cap, \times, \pi$  和  $\sigma$                       D.  $\cup, \cap, \bowtie, \pi$  和  $\sigma$

23. 在关系代数的专门关系运算中,从关系中筛选满足条件的元组的操作称为\_\_\_\_\_。

- A. 选择                      B. 投影                      C. 连接                      D. 扫描



A	B	C
2	6	7
7	2	3

A

C	B
7	6
3	4
3	2

B

A
3
2
7
4

C

B	C
6	7
6	7
2	3
4	3

D

30. 如果关系  $R$  中有 4 个属性和 3 个元组, 关系  $S$  中有 3 个属性和 5 个元组, 则  $R \times S$  的属性个数和元组个数分别是\_\_\_\_\_。
- A. 7 和 8                      B. 7 和 15                      C. 12 和 8                      D. 12 和 15
31. 在关系代数中, 从两个关系的笛卡儿积中选取它们属性间满足一定条件的元组的操作, 称为\_\_\_\_\_。
- A. 并                      B. 选择                      C. 除                      D. 连接
32. 进行自然连接运算的两个关系必须具有\_\_\_\_\_。
- A. 相同属性个数    B. 公共属性                      C. 相同关系名                      D. 相同关键字
33. 设有关系  $R(A, B)$  和  $S(C, D, E)$ , 那么  $R \bowtie_{A < D} S$  等价于\_\_\_\_\_。
- A.  $\sigma_{A < D}(R \times S)$     B.  $\sigma_{A < D}(R \cap S)$                       C.  $\sigma_{A < D}(R \bowtie S)$                       D.  $\sigma_{A < D}(R \cup S)$
34. 学生选课数据库中的关系模式如下:

学生(学号, 姓名, 性别)  
 课程(课程编号, 课程名称, 学时)  
 成绩(学号, 课程编号, 分数)

- (1) 若要查询选修课程名称为“数据库原理与应用”, 且分数低于 60 的学生姓名和分数, 则需使用的关系代数运算包括\_\_\_\_\_。
- A. 选择、投影、连接                      B. 选择、投影  
 C. 选择、连接                      D. 投影、连接
- (2) 查询“至少一门课程成绩在 60 分以上的学生姓名”的关系代数表达式不能是\_\_\_\_\_。
- A.  $\pi_{\text{姓名}}(\sigma_{\text{分数} > 60}(SC) \bowtie S)$                       B.  $\pi_{\text{姓名}}(\sigma_{\text{分数} > 60}(S \bowtie SC))$   
 C.  $\pi_{\text{姓名}}(\pi_{\text{学号, 姓名}}(S) \bowtie (\sigma_{\text{分数} > 60}(SC)))$                       D.  $\pi_{\text{分数} > 60}(\pi_{\text{姓名}}(S) \bowtie SC)$
35. 把关系  $R$  和  $S$  进行自然连接时舍弃的元组保留到结果关系中的操作称为\_\_\_\_\_。
- A. 连接                      B. 笛卡儿积                      C. 外部并                      D. 外连接
36. 对于图 3-8 中的关系  $R$  与  $S$ , 关系  $T$  中元组是通过  $R$  与  $S$  的\_\_\_\_\_操作得来的。

A	B	D
1	2	4
2	4	6
1	1	7

D	E
7	5
6	7
8	4

A	B	D	E
2	4	6	7
1	1	7	5
NULL	NULL	8	4

图 3-8 关系  $R, S, T$  的实例

- A. 自然连接      B. 全外连接      C. 右外连接      D. 左外连接

37. 学校数据库中有学生和宿舍两个关系:

学生(学号,姓名)  
宿舍(楼名,房间号,床位号,学号)

假设有的学生不住宿,床位也可能空闲。如果要查询所有学生住宿和宿舍分配的情况,包括没有住宿的学生和空闲的床位,则应对这两个关系进行\_\_\_\_\_操作。

- A. 全外连接      B. 左外连接      C. 右外连接      D. 自然连接

38. 在图 3-9 中,关系 R 的属性 A 是主键,属性 B 是外键且参照关系 S 的主键 B。

A	B	C
a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	5
a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	6
a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>	8
a <sub>4</sub>	b <sub>4</sub>	12

B	E
b <sub>1</sub>	3
b <sub>2</sub>	7
b <sub>3</sub>	10
b <sub>4</sub>	2
b <sub>5</sub>	2

图 3-9 关系 R 和 S 的实例

- (1) 操作结果为图 3-10 的关系代数操作是\_\_\_\_\_。  
 A.  $R \bowtie_{C<E} S$       B.  $R \bowtie_{C>E} S$       C.  $R \bowtie_{R.B=S.B} S$       D.  $R \bowtie S$
- (2) 操作结果为图 3-11 的关系代数操作是\_\_\_\_\_。  
 A.  $R \bowtie_{C<E} S$       B.  $R \bowtie_{C>E} S$       C.  $R \bowtie_{R.B=S.B} S$       D.  $R \bowtie S$

A	R.B	C	S.B	E
a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	5	b <sub>2</sub>	7
a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	5	b <sub>3</sub>	10
a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	6	b <sub>2</sub>	7
a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	6	b <sub>3</sub>	10
a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>	8	b <sub>3</sub>	10

图 3-10 关系 R 和 S 的操作结果 1

A	B	C	E
a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	5	3
a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	6	7
a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>	8	10
a <sub>4</sub>	b <sub>4</sub>	12	2

图 3-11 关系 R 和 S 的操作结果 2

39. 能直接做除运算  $R \div S$  的关系 R 和 S 是\_\_\_\_\_。  
 A.  $R(A,B,C)$ ,  $S(B)$       B.  $R(A,B,C)$ ,  $S(B,D)$   
 C.  $R(A,B,C)$ ,  $S(D,E)$       D.  $R(A,B)$ ,  $S(A,B,C)$
40. 关系演算用\_\_\_\_\_表达关系操作要求。  
 A. 谓词      B. 关系的运算      C. 元组      D. 域

41. 下列与关系代数的基本运算等价的元组关系演算表达式,表达不正确的是\_\_\_\_\_。

- A.  $R \cup S = \{t \mid R(t) \vee S(t)\}$
- B.  $R - S = \{t \mid R(t) \wedge \neg S(t)\}$
- C.  $\sigma_{F'}(R) = \{t \mid R(t) \wedge F'\}$
- D.  $\pi_{i_1, i_2, \dots, i_k}(R) = \{t^{(k)} \mid (\exists u)(R(u) \wedge t[1]=u[i_1] \wedge t[2]=u[i_2] \wedge \dots \wedge t[k]=u[i_k])\}$

42. 对于图 3-12 中的关系 R 和 S,元组关系演算表达式  $\{t \mid R(t) \wedge (\forall u)(S(u) \rightarrow t[3] > u[1])\}$  的运算结果是\_\_\_\_\_。

A	B	C
1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12

A	B	C
3	7	11
4	5	6
5	9	13
6	10	14

图 3-12 关系 R 和 S 的实例

A	B	C
1	2	3
4	5	6

A	B	C
3	7	11
4	5	6

A	B	C
7	8	9
10	11	12

A	B	C
5	9	13
6	10	14

### 三、简答题

1. 名词解释: 属性,域,元组,候选键,主键,外键。
2. 简述关系模型的三个组成要素。
3. 简述关系模型的完整性约束规则。在参照完整性约束规则中,为什么外键属性的值也可以为空? 什么情况下它不可以为空?
4. 关系代数的基本运算有哪些? 如何用这些基本运算表示其他运算?
5. 说明关系的笛卡儿积、等值连接和自然连接的联系。
6. 假设有关系  $R(a, b)$  和  $S(c, d)$ ,试把如下元组关系演算表达式用等价的关系代数表达式表示:

$$\{t \mid R(t) \wedge (\exists u)(S(u) \wedge u[1] \neq t[2])\}$$

7. 关系 R 和 S 的半连接(semijoin)写作  $R \bowtie S$ ,它表示由 R 中满足如下条件的元组 t 组成的集合: t 至少跟 S 中的一个元组在 R 和 S 的公共属性上相同。用三种不同的关系代数表达式给出  $R \bowtie S$  的等价表示。

8. 设有关系 R 和 S,如图 3-13 所示,给出  $\pi_C(S)$ 、 $\sigma_{B < C}(R)$ 、 $\sigma_{A=C}(R \times S)$ 、 $R \bowtie S$ 、 $R \bowtie_{R.B < S.B} S$  运算的结果。

A	B
a	b
c	b
d	c

B	C
b	c
e	a
b	d

图 3-13 关系 R 和 S 的实例

9. 设有关系  $R(A, B)$  和  $S(A, C)$ , 使用常量 NULL 分别书写  $R$  与  $S$  的左外连接、右外连接和完全外连接的元组关系演算表达式。

#### 四、查询实现题

1. 有一个学校教务管理系统中的数据库, 数据库中有 6 个关系, 分别是学生关系  $STUDENT$ 、班级关系  $CLASS$ 、课程关系  $LESSON$ 、教师关系  $TEACHER$ 、班级所选修课程信息的班级选课关系  $SELECTION$ , 以及学生所选修课程成绩的学生成绩关系  $GRADE$ 。表中主外键见标识, 学分、分数、上课年度属性为 INT 类型, 其余为 CHAR 类型。

$STUDENT$ (学号, 姓名, 性别, 班级号)

$CLASS$ (班级号, 所在院系, 所属专业, 班长学号)

$LESSON$ (课程号, 课程名, 教材名, 学分)

$TEACHER$ (教师编号, 姓名, 所在院系)

$SELECTION$ (班级号, 课程号, 教师编号, 上课年度, 上课学期)

$GRADE$ (学号, 课程号, 分数)

试分别用关系代数、元组关系演算表达式表达如下查询操作:

- (1) 查询“数据库”课程的课程号及相应教材。
- (2) 查询所有班长的学号、姓名、所在班级号和所属专业。
- (3) 查询选修了“数据库”或“软件工程”课程的班级号及所属专业。
- (4) 查询学过“陈卫”老师讲的“数据结构”课程的班级号和上课年度。
- (5) 查询至少选修了“王武”同学所学过的所有课程的学生学号。
- (6) 查询“软件学院”没讲授过“数据库”课程的教师编号。
- (7) 查询 2020 年度讲授过两门和两门以上课程的教师编号和所教授的课程号。

2. 设有一个供应商-零部件-工程数据库, 包括  $S$ 、 $P$ 、 $J$  和  $SPJ$  这 4 个关系模式, 数据库模式如下。

$S$  ( $Sno$ ,  $Sname$ ,  $Status$ ,  $City$ )

$P$  ( $Pno$ ,  $Pname$ ,  $Color$ ,  $Weight$ )

$J$  ( $Jno$ ,  $Jname$ ,  $City$ )

$SPJ$  ( $Sno$ ,  $Pno$ ,  $Jno$ ,  $Qty$ )

其中:

- 供应商关系  $S$  有供应商代码( $Sno$ )、供应商姓名( $Sname$ )、供应商状态( $Status$ )、供应商所在城市( $City$ )等属性,  $Sno$  为主键。
- 零部件关系  $P$  有零部件代码( $Pno$ )、零部件名称( $Pname$ )、颜色( $Color$ )、质量( $Weight$ )等属性,  $Pno$  为主键。
- 工程项目关系  $J$  有工程项目代码( $Jno$ )、工程项目名称( $Jname$ )、工程项目所在城市( $City$ )等属性,  $Jno$  为主键。
- 供应情况关系  $SPJ$  有供应商代码( $Sno$ )、零部件代码( $Pno$ )、工程项目代码( $Jno$ )、供应数量( $Qty$ )等属性,  $Qty$  表示某供应商给某项工程供应某种零部件的数量,  $Sno$ 、 $Pno$ 、 $Jno$  共同构成关系的主键, 又分别是关系的外键。

供应商-零部件-工程数据库实例如图 3-14 所示。

关系S

<i>Sno</i>	<i>Sname</i>	<i>Status</i>	<i>City</i>
S1	松林	20	天津
S2	昭和	10	北京
S3	爱信宏达	30	上海
S4	凯吉	20	天津
S5	中昌	30	上海

关系P

<i>Pno</i>	<i>Pname</i>	<i>Color</i>	<i>Weight</i>
P1	变速箱	红	12
P2	减震器	绿	17
P3	转向器	蓝	14
P4	发动机	红	14
P5	制动器	蓝	40
P6	离合器	红	30

关系J

<i>Jno</i>	<i>Jname</i>	<i>City</i>
J1	比亚迪	上海
J2	一汽	长春
J3	通用	上海
J4	捷加	天津
J5	佳华	唐山
J6	利宝来	北京
J7	伟世通	南京

关系SPJ

<i>Sno</i>	<i>Pno</i>	<i>Jno</i>	<i>QTY</i>
S1	P1	J1	200
S1	P1	J3	100
S1	P1	J4	700
S1	P2	J2	100
S2	P3	J1	400
S2	P3	J2	200
S2	P3	J4	500
S2	P3	J5	400
S2	P5	J1	400
S2	P5	J2	100
S3	P1	J1	200
S3	P3	J1	200
S4	P5	J1	100
S4	P6	J3	300
S4	P6	J4	200
S5	P2	J4	100
S5	P3	J1	200
S5	P6	J2	200
S5	P6	J4	500

图 3-14 供应商-零部件-工程数据库实例

试分别用关系代数、元组关系演算表达式表达如下查询操作。

- (1) 检索上海供应商供应的所有零部件的代码。
- (2) 检索使用上海供应商供应的零部件的工程项目名称。
- (3) 检索给项目代码为 J1 的工程供应代码为 P1 的零部件的供应商代码。
- (4) 检索给项目代码为 J1 的工程供应红色零部件的供应商代码。
- (5) 检索项目代码为 J2 的工程使用的各种零部件的名称及其数量。
- (6) 检索没有使用天津供应商供应的零部件的工程项目代码。
- (7) 检索至少使用了供应商代码为 S1 的供应商所供应的全部零部件的工程项目代码。

3. 已知某公司数据库包含如下四个基本表。

*Department* (Dept\_No, Dept\_Name, Location) 存储员工所在部门的编号、名称和办公场所；

*Employee* (Emp\_No, Emp\_Name, Dept\_No) 存储员工的编号、姓名和所在部门编号；

*Project* (Pro\_No, Pro\_Name, Budget) 存储员工所参与的工程项目编号、名称和工程预算, 预算单位是万元；

*Works* (Emp\_No, Pro\_No, Job) 存储员工的编号、所参与的工程项目编号和员工在工程项目中承担的工作。

试分别用关系代数、元组关系演算表达式表达如下查询操作：

- (1) 查询参与预算大于 500 万元的工程项目的员工所在部门编号。
- (2) 查询员工“王广”和“王丽”都参与的预算超出 10 万元的工程项目名称。
- (3) 查询所在部门编号为 D2 的员工没有参与的工程项目编号及名称。
- (4) 查询所有部门都参与的工程项目编号和名称。
- (5) 查询所在部门编号为 D2 的所有员工的编号、姓名, 及其参加的工程项目编号和承担的工作。

### 3.3 参考答案

#### 一、填空题

1. 关系数据操作    2. 关系    3. 元组、属性
4. 实体完整性、参照完整性、用户定义完整性、实体、参照    5. 主键
6. 外键    7. 主属性    8. 不可为空    9. 空值(NULL)    10. 外键
11. 用户定义    12. 外键    13. (学号, 教工号)
14. 车次    15. 1    16. 关系(集合)    17. 关系代数、关系演算
18. 并    19. 选择、投影    20. 选择    21.  $m \times n, k_1 + k_2, k_1 + k_2 - k_3$
22. 连接    23. 属性(或属性组)    24. 6    25. 5
26. 外连接、左外连接、右外连接    27. 4、4、6    28.  $\sigma_{\text{单价}>5}(R)$  或  $\sigma_{\text{单价}\geq 8}(R)$
29. 元组关系演算、域关系演算

## 二、选择题

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	B	B	B	C	A	B	B	B	C	C
题号	11	12	13	14	15	16	17	18	19(1)-(2)	
答案	D	A	A	B	A	D	B	C	D	A
题号	19(3)	20	21	22	23	24	25	26(1)-(3)		
答案	A	B	B	A	A	A	A	C	AB	ABCD
题号	27	28	29(1)-(2)		30	31	32	33	34(1)-(2)	
答案	B	C	A	B	B	D	B	A	A	D
题号	35	36	37	38(1)-(2)		39	40	41	42	
答案	D	C	A	A	D	A	A	B	C	

## 三、简答题

1. 对属性、域、元组、候选键、主键、外键等名词进行解释。

答：属性(Attribute),对关系中元组分量的描述,用属性名表示,与定义关系的域对应。其反映的是关系所描述的实体的属性,或实体间联系的属性。在同一关系中,属性名不能相同。

域(Domain),属性的取值范围,是一组具有相同数据类型的值的集合。不同的属性可以有相同的域,且关系数据模型要求所有的域都是原子数据的集合。

元组(Tuple),关系是给定一组域上的笛卡儿积的某个有一定语义的子集,其中每一个元素称为一个 $n$ 元组( $n$ -tuple),简称为元组(tuple)。

候选键(Candidate Key),若关系中的某一属性或属性集能唯一标识一个元组,而其任意一个真子集无此性质,则称该属性或属性集为关系的候选键。因此,候选键是能唯一标识一个元组的最小属性集,且每个关系都至少存在一个候选键。

主键(Primary Key),主键是数据库设计者选中用来在DBMS中区分一个关系中不同元组的候选键。主键的选择会影响某些实现问题,例如索引文件的建立等。

外键(Foreign Key),若关系 $R$ 的一个属性(集) $F$ 与关系 $S$ 的主键 $K_s$ 对应,即关系 $R$ 中的某个元组的 $F$ 上的值来自关系 $S$ 中某个元组的 $K_s$ 上的值,则称该属性(集) $F$ 为关系 $R$ 的外键。其中,关系 $R$ 为参照关系(Referencing Relation,或引用关系),关系 $S$ 为被参照关系(Referenced Relation)或目标关系(Target Relation),目标关系的主键 $K_s$ 和参照关系 $R$ 的外键 $F$ 的命名可以不同,但必须定义在同一(或同一组)域上。关系 $R$ 和关系 $S$ 可以是同一个关系。

2. 简述关系模型的三个组成要素。

答：关系模型作为一种数据模型,包括数据结构、数据操作和完整性约束三个组成要素。

(1) 关系模型用关系结构描述实体以及实体之间的联系。关系数据结构来自集合论中关系的概念,是给定一组域上的笛卡儿积的某个有一定语义的子集。

(2) 关系模型的关系操作能力通常用关系代数 (Relational Algebra) 和关系演算 (Relational Calculus) 的方式表达。目前使用的是一种结构化的查询语言 SQL, 它不仅具有丰富的数据操纵功能, 而且具有数据定义和控制功能。

(3) 关系模型有三类完整性约束: 实体完整性、参照完整性和用户定义完整性。实体完整性和参照完整性是关系模型必须满足的完整性约束条件, 被称为关系的两个不变性, 一般由关系数据库管理系统 (RDBMS) 自动支持。用户定义完整性是针对具体应用定义的约束条件, 体现了具体应用领域对数据的语义要求。

3. 简述关系模型的完整性约束规则。说明参照完整性约束规则为什么允许外键属性的值可以为空, 什么情况下其值不能空。

答: 实体完整性和参照完整性是关系的两个不变性, 是关系模型必须满足的完整性约束条件, 一般由 RDBMS 提供支持, 要求对关系的操作遵循如下完整性约束规则。

- 实体完整性约束规则: 若属性  $A$  是关系  $R$  的主属性, 则属性  $A$  的值不能为空值。
- 参照完整性约束规则: 若属性 (或属性集)  $F$  是关系  $R$  的外键, 它与关系  $S$  的主键  $K_S$  对应, 则  $R$  中元组在  $F$  上的取值只能有两种可能, 即或者取空值, 或者等于  $S$  中某个元组的  $K_S$  值。

外键不是候选键, 是可以为空的, 参照完整性只是要求当其有值时, 其值必须是相应主键的某个值。但当外键属性是构成候选键的主属性时, 根据实体完整性约束规则, 其值是不允许为空的。

4. 说明关系代数有哪些基本运算, 并用这些基本运算表示关系代数的其他运算。

答: 关系代数有 5 种基本运算操作: 并、差、笛卡儿积、投影和选择运算。其他运算, 如交、连接和除等, 可利用这些基本运算表达。

交:  $R \cap S = R - (R - S)$  或  $R \cap S = S - (S - R)$

连接:  $R \bowtie_F S = \sigma_F(R \times S)$

连接运算是在两个关系的广义笛卡儿积中选取满足条件  $F$  的元组,  $F$  是逻辑表达式,  $F$  若形为  $R.A \theta S.B$ , 则是  $\theta$  连接; 若形为  $R.A = S.B$ , 则是等值连接; 若在等值连接的结果上再做投影去掉重复列, 则为自然连接。

除:  $R \div S = \pi_X(R) - \pi_X((\pi_X(R) \times S) - R)$

$X$  是在  $R$  中但不在  $S$  中的属性组, 即除运算结果中包含的属性。

5. 说明关系的笛卡儿积、等值连接和自然连接的联系。

答: 关系的笛卡儿积是两个关系上的基本运算, 是连接运算的基础。

等值连接是在笛卡儿积运算的结果上选取两个关系在某些属性上值相等的元组, 计算等价式为

$$R \bowtie_{A=B} S \equiv \sigma_{R.A=S.B}(R \times S)$$

其中,  $A$  和  $B$  分别是  $R$  和  $S$  上可包含多个属性的属性个数相等且可比的属性组, 若包含的属性个数有  $k$  个, 则  $A=B$  表示  $R.A_1 = S.B_1 \wedge R.A_2 = S.B_2 \wedge \cdots \wedge R.A_k = S.B_k$ 。

自然连接是在两个关系的公共属性上进行等值连接, 并去掉连接结果中的重复属性, 计算等价式为

$$R \bowtie S \equiv \pi_{Z_1, Z_2, \dots, Z_m}(R \bowtie_{A=A} S) \text{ 或 } R \bowtie S \equiv \pi_{Z_1, Z_2, \dots, Z_m}(\sigma_{R.A=S.A}(R \times S))$$

其中  $A$  是两个关系的公共属性,  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$  是从  $R \bowtie_{A=A} S$  中去掉重复属性  $S.A_1, S.A_2, \dots, S.A_k$  后的属性。

6. 对于关系  $R(a, b)$  和  $S(c, d)$ , 用等价的关系代数表达式表示如下元组关系演算表达式:

$$\{t \mid R(t) \wedge (\exists u)(S(u) \wedge u[1] \neq t[2])\}$$

答: 表达式中涉及  $R$  和  $S$  两个关系中元组的属性值比较, 需要用条件连接, 结果元组来自关系  $R$ , 需要对连接结果在  $R$  的属性上进行投影, 则等价的关系代数表达式可为

$$\pi_{a,b}(\sigma_{R.b \neq S.c}(R \times S))$$

7. 用三种不同的关系代数表达式给出关系  $R$  和  $S$  的半连接  $R \bowtie S$  的等价表示。

答: 假设关系  $R$  和  $S$  的属性集分别为  $A_R$  和  $A_S$ , 公共属性集为  $A = A_R \cap A_S$ , 则  $R \bowtie S$  可用以下三种形式表示:

$$R \bowtie S = \pi_{A_R}(\sigma_{R.A=S.A}(R \times S))$$

$$R \bowtie S = \pi_{A_R}(R \bowtie_{R.A=S.A} S)$$

$$R \bowtie S = \pi_{A_R}(R \bowtie S)$$

8. 图 3-13 中关系  $R$  和  $S$  的  $\pi_C(S)$ 、 $\sigma_{B < 'c'}(R)$ 、 $\sigma_{A=C}(R \times S)$ 、 $R \bowtie S$ 、 $R \bowtie_{R.B < S.B} S$  运算的结果如图 3-15 所示。

答:

C
c
a
d

A	B
a	b
c	b

A	R.B	S.B	C
a	b	e	a
c	b	b	c
d	c	b	d

A	B	C
a	b	c
a	b	d
c	b	c
c	b	d

A	R.B	S.B	C
a	b	e	a
c	b	e	a
d	c	e	a

图 3-15 图 3-13 中关系  $R$  和  $S$  的运算结果

9. 设有关系  $R(A, B)$  和  $S(A, C)$ , 使用常量 NULL 分别书写  $R$  与  $S$  的左外连接、右外连接和完全外连接的元组关系演算表达式。

答: 左外连接:

$$\{t^{(3)} \mid ((\exists u)(R(u) \wedge ((\exists v)(S(v) \wedge u[1]=v[1] \wedge t[1]=u[1] \wedge t[2]=u[2] \wedge t[3]=v[2])) \vee ((\forall v)(S(v) \wedge u[1] \neq v[1] \wedge t[1]=u[1] \wedge t[2]=u[2] \wedge t[3]=\text{NULL}))))))\}$$

右外连接:

$$\{t^{(3)} \mid ((\exists v)(S(v) \wedge ((\exists u)(R(u) \wedge v[1]=u[1] \wedge t[1]=v[1] \wedge t[2]=u[2] \wedge t[3]=v[2])) \vee ((\forall u)(R(u) \wedge v[1] \neq u[1] \wedge t[1]=v[1] \wedge t[2]=\text{NULL} \wedge t[3]=v[2]))))\}$$

完全外连接:

$$\{t^{(3)} | ((\exists u)(R(u)((\exists v)(S(v) \wedge u[1]=v[1] \wedge t[1]=u[1] \wedge t[2]=u[2] \wedge t[3]=v[2])) \vee ((\forall v)(S(v) \wedge u[1] \neq v[1] \wedge t[1]=u[1] \wedge t[2]=u[2] \wedge t[3]=\text{NULL})))) \vee ((\exists v)(S(v)((\forall u)(R(u) \wedge v[1] \neq u[1] \wedge t[1]=v[1] \wedge t[2]=\text{NULL} \wedge t[3]=v[2]))))\}$$

#### 四、查询实现题

1. 分别用关系代数、元组关系演算表达式表达学校教务管理系统中的数据库查询操作。

(1) 查询“数据库”课程的课程号及相应教材。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{\text{课程号,教材名}}(\sigma_{\text{课程名}='数据库'}(\text{LESSON}))$$

元组关系演算表达式:

$$\{t^{(2)} | ((\exists u)(\text{LESSON}(u) \wedge u[2]='数据库' \wedge t[1]=u[1] \wedge t[2]=u[3])\}$$

(2) 查询所有班长的学号、姓名、所在班级号和所属专业。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{\text{学号,姓名,STUDENT.班级号,所属专业}}(\text{STUDENT} \bowtie_{\text{STUDENT.学号=CLASS.班长学号}} \text{CLASS})$$

元组关系演算表达式:

$$\{t^{(4)} | ((\exists u)(\exists v)(\text{STUDENT}(u) \wedge \text{CALSS}(v) \wedge u[1]=v[4] \wedge t[1]=u[1] \wedge t[2]=u[2] \wedge t[3]=u[4] \wedge t[4]=v[3])\}$$

(3) 查询选修了“数据库”或“软件工程”课程的班级号及所属专业。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{\text{班级号,所属专业}}(\sigma_{\text{课程名}='数据库' \vee \text{课程名}='软件工程'}(\text{LESSON}) \bowtie \text{SELECTION} \bowtie \text{CLASS})$$

元组关系演算表达式:

$$\{t^{(2)} | ((\exists u)(\exists v)(\exists w)(\text{CLASS}(u) \wedge \text{SELECTION}(v) \wedge \text{LESSON}(w) \wedge u[1]=v[1] \wedge v[2]=w[1] \wedge (w[2]='数据库' \vee w[2]='软件工程') \wedge t[1]=u[1] \wedge t[2]=u[3])\}$$

(4) 查询学过“陈卫”老师讲的“数据结构”课程的班级号和上课年度。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{\text{班级号,上课年度}}(\sigma_{\text{姓名}='陈卫' \wedge \text{课程名}='数据结构'}(\text{LESSON} \bowtie \text{SELECTION} \bowtie \text{TEACHER}))$$

或

$$\pi_{\text{班级号,上课年度}}(\sigma_{\text{姓名}='陈卫'}(\text{TEACHER}) \bowtie \text{SELECTION} \bowtie (\sigma_{\text{课程名}='数据结构'}(\text{LESSON})))$$

元组关系演算表达式:

$$\{t^{(2)} | ((\exists u)(\exists v)(\exists w)(\text{SELECTION}(u) \wedge \text{TEACHER}(v) \wedge \text{LESSON}(w) \wedge u[3]=v[1] \wedge u[2]=w[1] \wedge v[2]='陈卫' \wedge w[2]='数据结构' \wedge t[1]=u[1] \wedge t[2]=u[4])\}$$

(5) 查询至少选修了“王武”同学所学过的所有课程的学生学号。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{\text{学号,课程号}}(\text{GRADE}) \div (\pi_{\text{课程号}}(\pi_{\text{学号}}(\sigma_{\text{姓名}='王武'}(\text{STUDENT})) \bowtie \text{GRADE}))$$

元组关系演算表达式:

$$\{t^{(1)} | ((\exists u)(\text{STUDENT}(u) \wedge (\forall v)(\text{GRADE}(v) \wedge ((\exists w)(\text{STUDENT}(w) \wedge v[1]=w[1] \wedge w[2]='王武') \rightarrow (\exists x)(\text{GRADE}(x) \wedge x[1]=u[1] \wedge x[2]=v[2])) \wedge t[1]=u[1])\}$$

(6) 查询“软件学院”没讲授过“数据库”课程的教师编号。

答: 关系代数表达式:

$\pi_{\text{教师编号}}(\sigma_{\text{所在院系}='软件学院'}(TEACHER)) - \pi_{\text{教师编号}}(\sigma_{\text{课程名}='数据库'}(LESSON) \bowtie SELECTION)$   
或

$\pi_{\text{教师编号}}(\sigma_{\text{所在院系}='软件学院'}(TEACHER)) - \pi_{\text{教师编号}}(\sigma_{\text{课程名}='数据库'}(LESSON \bowtie SELECTION))$   
元组关系演算表达式:

$\{t^{(1)} \mid (\exists u)(TEACHER(u) \wedge u[3]='软件学院' \wedge (\forall v)(SELECTION(v) \wedge (v[3]=u[1] \rightarrow \neg(\exists w)(LESSON(w) \wedge w[2]='数据库' \wedge v[2]=w[1]))) \wedge t[1]=u[1])\}$

或

$\{t^{(1)} \mid (\exists u)(\exists w)(TEACHER(u) \wedge u[3]='软件学院' \wedge LESSON(w) \wedge w[2]='数据库' \wedge (\neg(\exists v)(SELECTION(v) \wedge v[3]=u[1] \wedge v[2]=w[1])) \wedge t[1]=u[1])\}$

(7) 查询 2020 年度讲授过两门和两门以上课程的教师编号和所教授的课程号。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{S1.教师编号, S1.课程号}(\sigma_{S1.课程号 \neq S2.课程号 \wedge S1.上课年度 = 2020 \wedge S2.上课年度 = 2020}(\rho_{S1}(SELECTION) \bowtie_{S1.教师编号 = S2.教师编号}(\rho_{S2}(SELECTION))))$$

注: 其中 S1、S2 可以有一个为 SELECTION, 若属性也作了修改, 则前面的属性也相应地修改。

元组关系演算表达式:

$\{t^{(2)} \mid (\exists u)(\exists v)(SELECTION(u) \wedge SELECTION(v) \wedge u[4]=2020 \wedge v[4]=2020 \wedge u[3]=v[3] \wedge u[2] \neq v[2] \wedge t[1]=u[3] \wedge t[2]=u[2])\}$

2. 分别用关系代数、元组关系演算表达式表达对供应商-零部件-工程数据库的查询操作。

(1) 检索上海供应商供应的所有零部件的代码。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{Pno}(\sigma_{City='上海'}(S) \bowtie SPJ)$$

元组关系演算表达式:

$\{t^{(1)} \mid (\exists u)(\exists v)(S(u) \wedge SPJ(v) \wedge u[4]='上海' \wedge u[1]=v[1] \wedge t[1]=v[2])\}$

(2) 检索使用上海供应商供应的零部件的工程项目名称。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{Jname}(\sigma_{City='上海'}(S) \bowtie SPJ \bowtie J)$$

元组关系演算表达式:

$\{t^{(1)} \mid (\exists u)(\exists v)(\exists w)(S(u) \wedge SPJ(v) \wedge J(w) \wedge u[4]='上海' \wedge u[1]=v[1] \wedge w[1]=v[3] \wedge t[1]=w[2])\}$

(3) 检索给项目代码为 J1 的工程供应代码为 P1 的零部件的供应商代码。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{Sno}(\sigma_{Jno='J1' \wedge Pno='P1'}(SPJ))$$

元组关系演算表达式:

$\{t^{(1)} \mid (\exists u)(SPJ(u) \wedge u[3]='J1' \wedge u[2]='P1' \wedge t[1]=u[1])\}$

(4) 检索给项目代码为 J1 的工程供应红色零部件的供应商代码。

答: 关系代数表达式:

$$\pi_{Sno}(\sigma_{Color='红色'}(P) \bowtie (\sigma_{Jno='J1'}(SPJ)))$$

或

$$\pi_{Sno}(\sigma_{Jno='J1' \wedge Color='红色'}(SPJ \bowtie P))$$

元组关系演算表达式：

$$\{t^{(1)} | (\exists u)(\exists v)(SPJ(u) \wedge P(v) \wedge u[3] = 'J2' \wedge u[2] = v[1] \wedge v[3] = '红色' \wedge t[1] = u[1])\}$$

(5) 检索项目代码为 J2 的工程使用的各种零部件的名称及其数量。

答：关系代数表达式：

$$\pi_{Pname,Qty}(\sigma_{Jno='J2'}(SPJ) \bowtie P)$$

元组关系演算表达式：

$$\{t^{(2)} | (\exists u)(\exists v)(SPJ(u) \wedge P(v) \wedge u[3] = 'J2' \wedge u[2] = v[1] \wedge t[1] = v[2] \wedge t[2] = u[4])\}$$

(6) 检索没有使用天津供应商供应的零部件的工程项目代码。

答：关系代数表达式：

$$\pi_{Jno}(J) - \pi_{Jno}(\pi_{Sno}(\sigma_{City='天津'}(S)) \bowtie SPJ)$$

元组关系演算表达式：

$$\{t^{(1)} | (\exists u)(J(u) \wedge (\forall v)(SPJ(v) \wedge (u[1] = v[3] \rightarrow \neg (\exists w)(S(w) \wedge w[1] = v[1] \wedge w[4] = '天津')))) \wedge t[1] = u[1])\}$$

注：常见错误表达式如下。

$$\{t^{(1)} | (\exists u)(J(u) \wedge (\forall v)(SPJ(v) \wedge (u[1] = v[3] \rightarrow (\exists w)(S(w) \wedge w[1] = v[1] \wedge w[4] \neq '天津')))) \wedge t[1] = u[1])\}$$

(7) 检索至少使用了供应商代码为 S1 的供应商所供应的全部零部件的工程项目代码。

答：关系代数表达式：

$$\pi_{Sno,Pno,Jno}(SPJ) \div \pi_{Sno,Pno}(\sigma_{Sno='S1'}(SPJ))$$

注：若关系代数表达式书写为

$$\pi_{Pno,Jno}(SPJ) \div \pi_{Pno}(\sigma_{Sno='S1'}(SPJ))$$

则此表达式检索出的工程是其所使用的零件包括所有供应商所供应的、具有与 S1 所供应零件相同的零件。

元组关系演算表达式：

$$\{t^{(1)} | (\exists u)(SPJ(u) \wedge (\forall v)(SPJ(v) \wedge (v[1] = 'S1' \rightarrow (\exists w)(SPJ(w) \wedge w[1] = v[1] \wedge w[2] = v[2] \wedge w[3] = u[3]))) \wedge t[1] = u[3])\}$$

注：若 S1 没有对各工程提供任何零件，则表达式检索的结果就是所有的有供应商供应零件的工程号；若认为所有的工程都符合语义，则可将表达式改为如下形式。

$$\{t^{(1)} | (\exists u)(J(u) \wedge (\forall v)(SPJ(v) \wedge (v[1] = 'S1' \rightarrow (\exists w)(SPJ(w) \wedge w[1] = v[1] \wedge w[2] = v[2] \wedge w[3] = u[1]))) \wedge t[1] = u[1])\}$$

3. 分别用关系代数、元组关系演算表达式表达对某公司数据库的查询操作。

(1) 查询参与预算大于 500 万元的工程项目的员工所在部门编号。

答：关系代数表达式：

$$\pi_{Dept\_No}(\sigma_{Budget>500}(Employee \bowtie Works \bowtie Project))$$

或

$$\pi_{Dept\_No}(\sigma_{Budget>500}(Project) \bowtie Works \bowtie Employee)$$

元组关系演算表达式：

$$\{t^{(1)} | (\exists u)(\exists v)(\exists w)(Employee(u) \wedge Works(v) \wedge Project(w) \wedge u[1] = v[1] \wedge v[2] = w[1] \wedge w[3] > 500 \wedge t[1] = u[3])\}$$

(2) 查询员工“王广”和“王丽”都参与的预算超出 10 万元的工程项目名称。

答：关系代数表达式：

$$\pi_{Pro\_Name}(\pi_{Pro\_No, Pro\_Name}(\sigma_{Budget > 10 \wedge Emp\_Name = '王广'}(Employee \bowtie Works \bowtie Project))) \cap \\ \pi_{Pro\_No, Pro\_Name}(\sigma_{Budget > 10 \wedge Emp\_Name = '王丽'}(Employee \bowtie Works \bowtie Project))$$

或

$$\pi_{Pro\_Name}(\sigma_{Budget > 10}((\pi_{Pro\_No}(\sigma_{Emp\_Name = '王广'}(Employee)) \bowtie Works) \cap \\ \pi_{Pro\_No}(\sigma_{Emp\_Name = '王丽'}(Employee)) \bowtie Works)) \bowtie Project))$$

元组关系演算表达式：

$$\{t^{(1)} \mid (\exists u)(\exists v)(\exists w)(\exists x)(\exists y)(Employee(u) \wedge Works(v) \wedge Project(w) \wedge Employee(x) \wedge \\ Works(y) \wedge u[1] = v[1] \wedge v[2] = w[1] \wedge y[2] = w[1] \wedge x[1] = y[1] \wedge \\ w[3] > 10 \wedge u[2] = '王广' \wedge x[2] = '王丽' \wedge t[1] = w[2])\}$$

(3) 查询所在部门编号为 D2 的员工没有参与的工程项目编号及名称。

答：关系代数表达式：

$$\pi_{Pro\_No, Pro\_Name}(Project) - \pi_{Pro\_No, Pro\_Name}(\sigma_{Dept\_No = 'D2'}(Employee \bowtie Works \bowtie Project))$$

或

$$\pi_{Pro\_No, Pro\_Name}((\pi_{Pro\_No}(Project) - \pi_{Pro\_No}(\sigma_{Dept\_No = 'D2'}(Employee \bowtie Works))) \bowtie Project)$$

元组关系演算表达式：

$$\{t^{(2)} \mid (\exists u)(Project(u) \wedge (\forall v)(Works(v) \wedge (v[2] = u[1] \rightarrow \neg (\exists w)(Employee(w) \wedge \\ w[3] = 'D2' \wedge v[1] = w[1]))) \wedge t[1] = u[1] \wedge t[2] = u[2])\}$$

或

$$\{t^{(2)} \mid (\exists u)(\exists w)(Project(u) \wedge Employee(w) \wedge w[3] = 'D2' \wedge (\neg (\exists v)(Works(v) \wedge \\ v[2] = u[1] \wedge v[1] = w[1]))) \wedge t[1] = u[1] \wedge t[2] = u[2])\}$$

(4) 查询所有部门都参与的工程项目编号和名称。

答：关系代数表达式：

$$\pi_{Pro\_No, Pro\_Name, Dept\_No}(Employee \bowtie Works \bowtie Project) \div \pi_{Dept\_No}(Department)$$

元组关系演算表达式：

$$\{t^{(2)} \mid (\exists u)(\forall w)(\exists v)(\exists x)(Project(u) \wedge Department(w) \wedge Employee(v) \wedge Works(x) \wedge \\ w[1] = v[3] \wedge v[1] = x[1] \wedge x[2] = u[1] \wedge t[1] = u[1] \wedge t[2] = u[2])\}$$

(5) 查询所在部门编号为 D2 的所有员工的编号、姓名，及其参加的工程项目编号和承担的工作。

答：关系代数表达式：

$$\pi_{Emp\_No, Emp\_Name, Pro\_No, Job}((\sigma_{Dept\_No = 'D2'}(Employee)) \bowtie Works)$$

元组关系演算表达式：

$$\{t^{(4)} \mid (\exists u)(Employee(u) \wedge u[3] = 'D2' \wedge t[1] = u[1] \wedge t[2] = u[2] \wedge \\ ((\exists v)(Works(v) \wedge u[1] = v[1] \wedge t[3] = v[2] \wedge t[4] = v[3]) \vee \\ (\forall v)(Works(v) \wedge v[1] \neq u[1] \wedge t[3] = NULL \wedge t[4] = NULL)))\}$$