

# Artificial Intelligence 人工智能

## 第2章 知识表示和推理

### 概述、命题逻辑

## ➤ 信息科学有机体系的分支学科：

- ❖ 信息获取(感知与表示)
- ❖ 信息传输(通信与存储)
- ❖ 信息处理(计算与认知)
- ❖ 信息再生(综合与决策)
- ❖ 信息执行(控制与显示)

## ➤ 知识成为由信息到智能的中介。

## ➤ 知识的表示方法主要分为

- ❖ 结构化方法，包括逻辑方法和产生式方法
- ❖ 非结构化方法，包括语义网络和框架等。

## 2.1 概述

- 2.1.1 知识和知识表示
- 2.1.2 知识-策略-智能
- 2.1.3 人工智能对知识表示方法的要求
- 2.1.4 知识的分类
- 2.1.5 知识表示语言问题
- 2.1.6 现代逻辑学的基本研究方法

## 2.1 概述

### 2.1.1 知识和知识表示

- **数据**一般指单独的事实，是信息的载体。
- **信息**由符号组成，如文字和数字，但是对符号赋予了一定的意义，因此有一定的用途或价值。

- **知识**是由经验总结升华出来的，因此知识是经验的结晶。
- 知识在信息的基础上增加了上下文信息，提供了更多的意义，**因此也就更加有用和有价值。**
- **知识**是随着时间的变化而动态变化的，新的知识可以根据规则和已有的知识推导出来。

➤ **知识是经过加工的信息**，它包括事实、信念和启发式规则。

· **事实**：是关于对象和物体的知识。

· **规则**：是有关问题中与事物的行动、动作相联系的因果关系的知识。

· **元知识**：是有关知识的知识，是知识库中的高层知识。

· **常识性知识**：泛指普遍存在而且被普遍认识了客观事实一类知识。

➤ **知识表示**就是研究用机器表示上述这些知识的可行性、有效性的一般方法，可以看作是将知识符号化并输入到计算机的过程和方法。

➤ **知识表示=数据结构+处理机制**

➤ **知识表示的观点：**

❖ 陈述性

❖ 过程性

## 2.1.2 知识-策略-智能

- **策略**——关于如何解决问题的政策方略，
- 包括在什么时间、什么地点、由什么主体采取什么行动、达到什么目标、注意什么事项等等一整套完整而具体的行动计划规划、行动步骤、工作方式和工作方法。



# ■ 智能

- 在给定的问题-问题环境-主体目的的条件下，**智能**就是有针对性地获取问题-环境的**信息**，恰当地对这些**信息**进行处理以提炼**知识**达到认知，在此基础上，把已有的知识与主体的目的信息相结合，合理地产生解决问题的**策略**信息，并利用所得到的策略信息在给定的环境下成功地解决问题达到主体的目的(**行为**)。

## 4个要素 包括

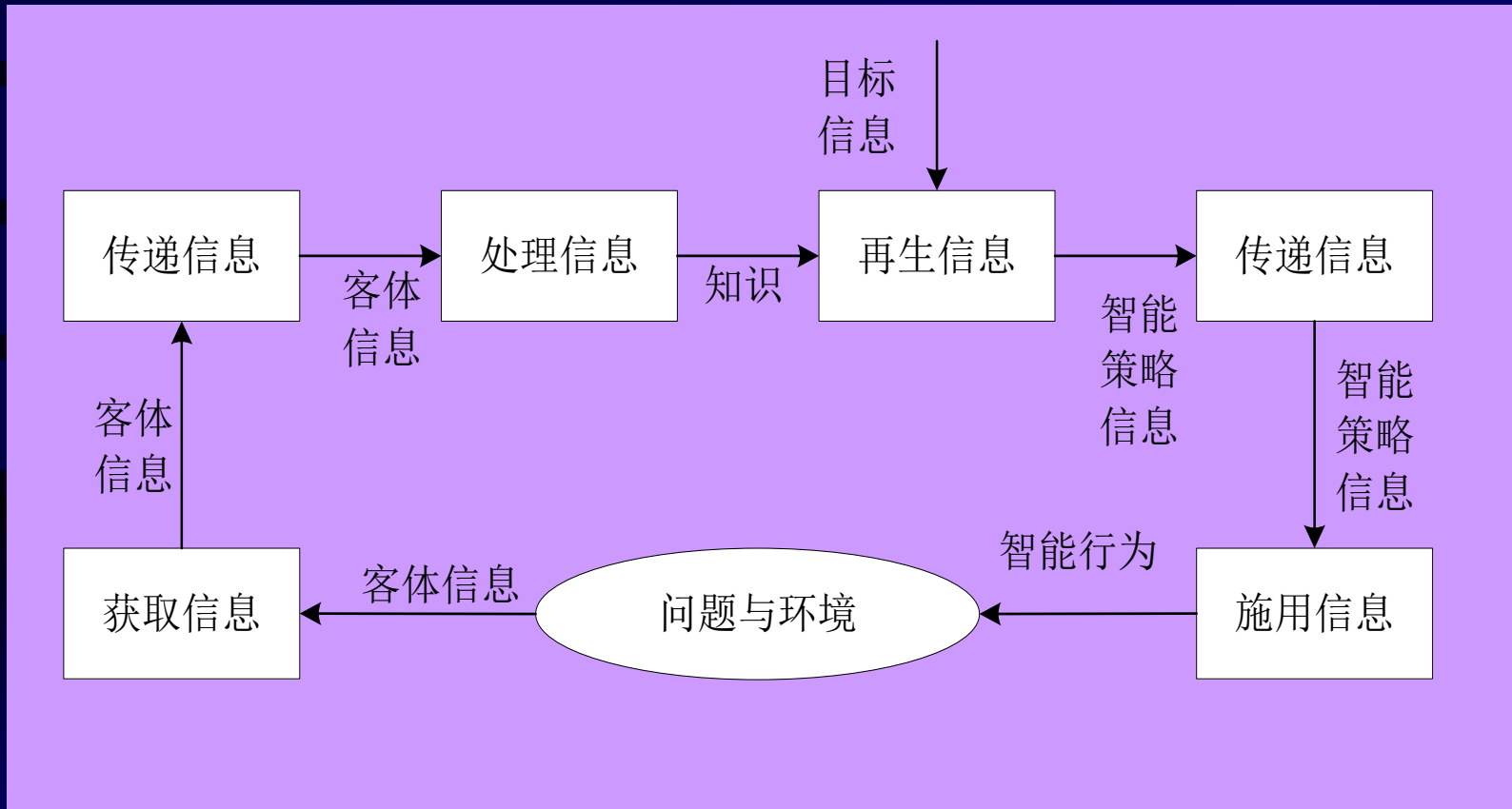
- 信息
- 知识
- 策略
- 行为

## ➤ 4个能力包括

- ❖ 获取有用信息的能力
- ❖ 由信息生成知识(认知)的能力
- ❖ 由知识和目的生成策略(决策)的能力
- ❖ 实施策略取得效果(施效)的能力

- 信息、知识、智能之间的关系：
- 信息是基本资源；
- 知识是对信息进行加工所得到的抽象化产物；
- 策略是由客体信息和主体目标演绎出来的智慧化身，
- 智能是把信息资源加工成知识、进而把知识激活成解决问题的策略并在策略信息引导下具体解决问题的能力。
- 总结：信息经加工提炼而成知识，知识被目的激活而成智能。

- 获取信息的功能由感觉器官完成,
- 传递信息的功能由神经系统完成,
- 处理信息和再生信息的功能由思维器官完成,
- 施用信息的功能由效应器官完成。

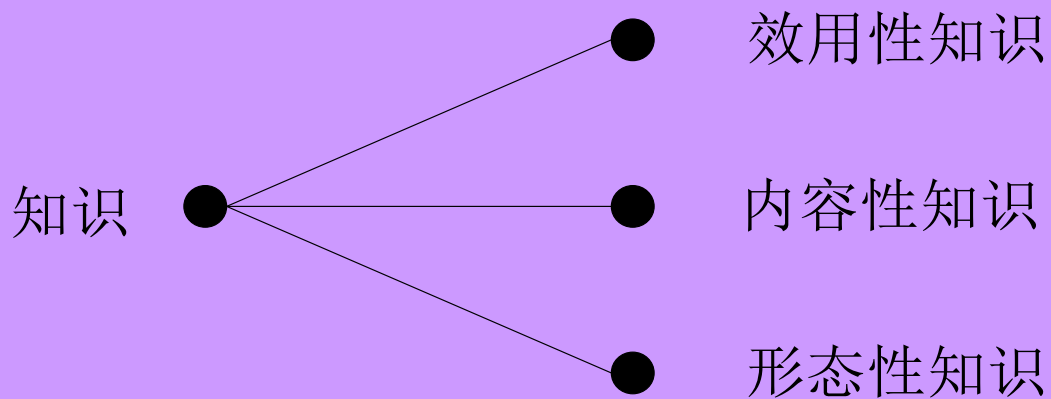


智能中的“信息-知识-策略”关系

## 2.1.3 AI对知识表示方法的要求

- (1) **表示能力**，要求能够正确、有效地将问题求解所需要的各类知识都表示出来。
- (2) **可理解性**，所表示的知识应易懂、易读。
- (3) **便于知识的获取**，使得智能系统能够渐进地增加知识，逐步进化。
- (4) **便于搜索**，表示知识的符号结构和推理机制应支持对知识库的高效搜索，使得智能系统能够迅速地感知事物之间的关系和变化；同时很快地从知识库中找到有关的知识。
- (5) **便于推理**，要能够从已有的知识中推出需要的答案和结论。

## 2.1.4 知识的分类



- 三者的综合，构成了知识的完整概念。

## 2.1.5 知识表示语言问题

- **语法**：语言的语法描述了组成语句的可能的搭配关系。
- **语义**：语义定义了语句所指的世界中的事实。
- 从语法和语义，可以给出使用该语言的Agent的必要的推理机制。
- 基于该推理机制，Agent可以从已知的语句推导出结论，或判断某条信息是不是已蕴涵在现有的知识当中。

# ■ 知识表示语言

- 1) 语法规则和语义解释,
  - 2) 用于演绎和推导的规则。
- 程序设计语言比较善于描述算法和具体的数据结构。
  - 知识表示语言应该支持知识不完全的情况。
  - 不能表达这种不完全性的语言是表达能力不够的语言。



## 2.1.6 现代逻辑学的基本研究方法

逻辑学(logic)是研究人类思维规律的科学，而现代逻辑学则是用数学(符号化、公理化、形式化)的方法来研究这些规律。

# 1. 思维：感知的概念化和理性化

- 通过对概念外延的拓广和对概念内涵的修正，完成思维的最基础的功能——概念化。
- 这一过程将物理对象抽象为思维对象，包括对象本身的表示、对象性质的表示、对象间关系的表示等。

- 在概念化的基础之上，思维进入更加高级的层次——**判断与推理**。
- 判断包括：概念对个体的适用性判断，个体对多个概念同时满足或选择地满足的判断，概念对概念的蕴涵的判断等。
- 推理可说是对概念、判断的思维。
- 这些准则是思维主体对自身思维属性感知并概念化的产物。
- **思维是感知的概念化和理性化**。
- **现代逻辑学的宗旨**——用符号化、公理化、形式化的方法来研究这种概念化、理性化过程的规律与本质。

## 2. 现代逻辑学求助数学——符号化

- 所谓符号化即是用“一种只作整体认读的记号(signs)”——符号(symbols)表示量、数及数量关系。
- 语言化是符号化的初级阶段。
- 现代逻辑学对思维的研究，需要更加彻底的符号化过程。
- 也用字母、符号表示思维的物理对象、概念对象、判断对象等。

### 3. 现代逻辑学追随数学——公理化

- 欧氏几何公理系统中的所有概念都有鲜明的直观背景，其公理、定理也都有强烈的客观意义。
- 像欧氏几何这样的公理系统，常被称为具体公理系统。

始于Aristotle的逻辑学被符号化、公理化，逐步演化为现代逻辑学。

➤ 如 “一个条件命题等价于它的逆否命题”，“全称判断蕴涵特称判断”：

$$(A \rightarrow B) \longleftrightarrow (\neg B \rightarrow \neg A)$$

$$(\neg B \rightarrow \neg A) \rightarrow (A \rightarrow B)$$

$$\forall x A(x) \rightarrow A(t)$$

➤ 现代逻辑学的公理化也更为彻底，它将人们的推理规则也符号化和模式化，它们本质上和公理相同，但为了突出它们在形式上和应用上与公理的区别，称为推理规则模式。

➤ 例如假言推理规则可以表示为如下的规则模式：

$$\frac{A \rightarrow B, A}{B}$$

## 4. 现代逻辑学改造数学——形式化

- 在抽象公理系统中，原始概念的直觉意义被忽略。
- **公理**：一些符号串，约定系统一开始便要接受为定理的是哪些语句。
- 对原始概念和公理，惟一可识别的是它们的表示形式。



- 抽象公理系统一旦建成，它便应当是超脱客观背景的，它可刻画的对象已不限于原来考虑的那些对象，而是与它们有着共同结构的相当广泛的一类对象，因而对它们性质的讨论也必定深刻得多。
- 因此，对一个抽象公理系统，一般会有多种解释。
- 如，布尔代数抽象公理系统。

➤ 所谓形式化，就是彻头彻尾的“符号化 + 抽象公理化”。

➤ 现代逻辑学形式系统如下组成：

(1) 用于将概念符号化的符号语言，通常为  
一形式语言，包括一符号表  $\Sigma$  及语言的  
文法，可生成表示对象的语言成分项，  
表示概念、判断的公式；

(2) 表示思维规律的逻辑学公理模式和推理  
规则模式（抽象公理系统），及其依据它  
们推演可得到的全部定理组成的理论体  
系。

➤ 对形式系统的研究包括：

- (1) **对系统内定理推演的研究**。这类研究被看作是对形式系统的语构(syntax)的研究。
- (2) **语义(semantic)研究**。公理系统、形式系统并不一定针对某一特定的问题范畴，但可以对它作出种种解释——赋予它一定的个体域，赋予它一定的结构，即用个体域中的个体、个体上的运算、个体间的关系去解释系统中的抽象符号。
- (3) **语构与语义关系的研究**。

# 现代科学与逻辑思辩方法

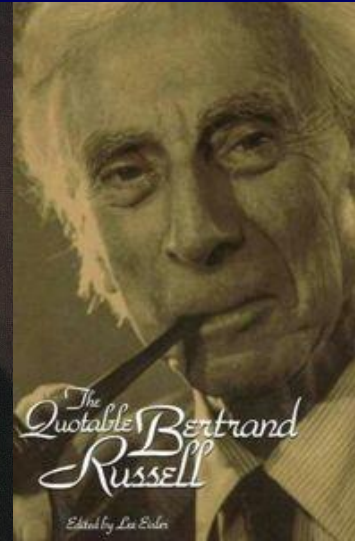
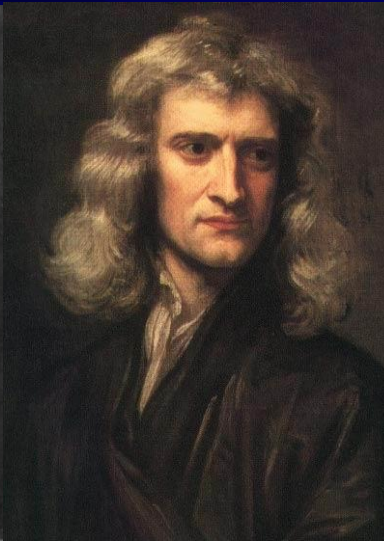
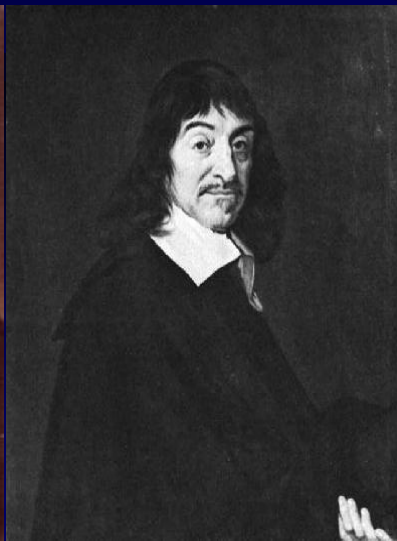
斯宾诺莎（1632-1677）（荷）：伦理学

笛卡尔（1596-1650）（法）：第一哲学的沉思

牛顿（1643-1727）（英）：力学体系

罗素（1872-1970）（英）数理逻辑与现代数学

布劳威尔（1881-1966）（荷）：直觉主义逻辑



## 2.2 命题逻辑

2.2.1 语法

2.2.2 语义

2.2.3 命题演算形式系统PC

## 2.2 命题逻辑

命题——具有真假意义的陈述句。

在特殊的情况下都具有 “真 (True)”  
和 “假 (False)” 的意义句子，都  
是命题。

真值——用T和F表示。

命题有两种类型：

1) 原子命题

2) 复合命题——由联结词、标点符号和原子命题等复合构成的命题。

所有这些命题都应具有确定的真值。

➤ **命题逻辑**就是研究命题和命题之间关系的符号逻辑系统。

➤ 用P、Q、R、S等来表示命题。如：

P：今天下雨

➤ P是命题标识符。

➤ **命题常量**（表示确定的命题的命题标识符），

➤ **命题变元**（只表示任意命题的位置标志的命题标识符）。



- 因为命题变元可以表示任意命题，所以它不能确定真值，故命题变元不是命题。
- 当命题变元P用一个特定的命题取代时，P才能确定真值，这时也称为对P进行指派。
- 当命题变元表示原子命题时，该变元称为原子变元。

## 2.2.1 语法

### 命题逻辑的符号：

- (1) 命题常元：True (T) 和 False (F)；
- (2) 命题符号：P、Q、R等；
- (3) 联结词： $\neg$ （否定）； $\wedge$ （合取）； $\vee$ （析取）； $\rightarrow$ （蕴含）； $\leftrightarrow$ （等价）。
- (4) 括号：（ ）。

## 2.2.2 语义

- 复合命题的意义是命题组成成份的函数。
- 联结词的语义可以定义如下：
  - ✓  $\neg P$ 为真，当且仅当 $P$ 为假。
  - ✓  $P \wedge Q$ 为真，当且仅当 $P$ 和 $Q$ 都为真。
  - ✓  $P \vee Q$ 为真，当且仅当 $P$ 为真，或者 $Q$ 为真。
  - ✓  $P \rightarrow Q$ 为真，当且仅当 $P$ 为假，或者 $Q$ 为真。
  - ✓  $P \leftrightarrow Q$ 为真，当且仅当 $P \rightarrow Q$ 为真，并且 $Q \rightarrow P$ 为真。

例2.1 求公式 $G=((P \wedge (\neg Q)) \rightarrow R)$ 的真值表，其中“=”可读为“代表”。

解：公式G共有 $2^3=8$ 种指派。

**定义2.2** 设 $G$ 是公式， $A_1, \dots, A_n$ ，为 $G$ 中出现的所有原子命题。 $G$ 的一种指派是对 $A_1, \dots, A_n$ 赋予的一组真值，其中每个 $A_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) 或者为T或者为F。

**定义2.3** 公式 $G$ 称为在一种指派下为真，当且仅当 $G$ 按该指派算出的真值为T，否则称为在该指派下为假。

➤ 若在公式中有 $n$ 个不同的原子 $A_1, \dots, A_n$ ，那么该公式就有 $2^n$ 个不同的指派。

**定义 2.4** 公式A称为**永真式**或**重言式** (tautology), 如果对任意指派  $\alpha$ ,  $\alpha$  均**弄真**A, 即  $\alpha(A)=T$ 。公式A称为**可满足的** (satisfiable), 如果存在指派  $\alpha$  使  $\alpha(A)=T$ , 否则称A为**不可满足的** (unsatisfiable), 或**永假式**。

➤ 永真式是可满足的; 当A为永真式(永假式)时,  $\neg A$ 为永假式(永真式)。

**定义2.5** 称公式A逻辑蕴涵公式B，记为  $A \rightarrow B$ ，如果所有弄真A的指派亦必弄真公式B；称公式集 $\Gamma$ 逻辑蕴涵公式B，记为  $\Gamma \rightarrow B$ ，如果弄真 $\Gamma$ 中所有公式的指派亦必弄真公式B。

**定义2.6** 称公式A逻辑等价公式B，记为  $A \leftrightarrow B$ ，如果  $A \rightarrow B$  且  $B \rightarrow A$ 。

**定理2.1** 设A为含有命题变元p的永真式，那么将A中p的所有出现均代换为命题公式B，所得公式(称为A的代入实例)仍为永真式。

**定理2.2** 设命题公式A含有子公式C (C为A中的符号串, 且C为命题公式), 如果  $C \leftrightarrow D$ , 那么将A中子公式C的某些出现 (未必全部) 用D替换后所得公式B满足  $A \leftrightarrow B$ 。

**定理2.3** 逻辑蕴涵关系具有自反性、反对称性及传递性; 逻辑等价关系满足自反性、对称性和传递性。



**定义2.7** 命题公式B称为命题公式A的**合取**  
**(或析取)范式**, 如果  $B \leftrightarrow A$ , 且B呈如下形  
式:

$$C_1 \wedge C_2 \wedge \dots \wedge C_m \text{ (或 } C_1 \vee C_2 \vee \dots \vee C_m \text{)}$$

其中  $C_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 形如  $L_1 \vee L_2 \vee \dots \vee L_n$   
(或  $L_1 \wedge L_2 \wedge \dots \wedge L_n$ ),  $L_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) 为原  
子公式或原子公式的否定, 称  $L_j$  为**文字**。

**定理2.4** 任一命题公式  $\phi$  有其对应的合取  
(析取)范式。

**定义2.8** 命题公式B称为公式A的主合取(或主析取)范式, 如果

- (1) B是A的合取(或析取)范式。
- (2) B中每一子句均有A中命题变元的全部出现, 且仅出现一次。

**定理2.5**  $n$ 元命题公式的全体可以划分为 $2^n$ 个等价类, 每一类中的公式彼此逻辑等价, 并等价于它们共同的主合取范式(或主析取范式)。

## 2. 2. 3命题演算形式系统PC

### 1. 公式

合式公式——

(a)  $p_1, p_2, p_3, \dots$  为命题逻辑的合式公式,

(b) 如果  $A, B$  是公式, 那么  $(\neg A), (A \rightarrow B)$  也是命题逻辑的合式公式,

(c) 命题逻辑的合式公式仅由 (a) (b) 所定义。

## 2. 命题逻辑的形式系统PC

命题逻辑的形式系统PC包括3条公理模式 (A1–A3) 和1条推理规则（即**分离规则**） $r_{mp}$ ：

$$A1. A \rightarrow (B \rightarrow A)$$

$$A2. (A \rightarrow (B \rightarrow C)) \rightarrow ((A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow C))$$

$$A3. (\neg A \rightarrow \neg B) \rightarrow (B \rightarrow A)$$

$$r_{mp} \quad \frac{A, A \rightarrow B}{B}$$

**定义2.9** 称下列公式序列为公式A在PC中的一个**证明** (proof) :

$$A_1, A_2, \dots, A_m (=A)$$

其中 $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 或者是PC的公理, 或者是 $A_j$  ( $j < i$ ), 或者是由 $A_j, A_k$  ( $j, k < i$ ) 使用分离规则所导出, 而 $A_m$ 即公式A。

**定义2.10** 称A为PC中的**定理**，记为 $\vdash_{PC} A$ ，  
如果公式A在PC中有一个证明。

**定义2.11** 设 $\Gamma$ 为一公式集，称以下公式序列为公式A的、以 $\Gamma$ 为前提的**演绎**：

$$A_1, A_2, \dots, A_m = A$$

- 其中 $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 或者是PC的公理，或者是 $\Gamma$ 的成员，或者是 $A_j$  ( $j < i$ )，或者是由 $A_j, A_k$  ( $j, k < i$ ) 使用分离规则所导出，而 $A_m$ 即公式A。

**定义2.12** 称A为前提 $\Gamma$ 的演绎结果，记为 $\Gamma \vdash_{PC} A$ ，如果公式A有以 $\Gamma$ 为前提的演绎。若 $\Gamma = \{B\}$ ，则用 $B \vdash_{PC} A$ 表示 $\Gamma \vdash_{PC} A$ 。

➤ 若 $B \vdash_{PC} A$ ， $A \vdash_{PC} B$ 则记为 $A \vdash\vdash B$ 。

## 例2.2 证明 $\vdash_{\text{PC}} \neg B \rightarrow (B \rightarrow A)$

$\neg B \rightarrow (B \rightarrow A)$  的证明序列如下:

$$(1) \neg B \rightarrow (\neg A \rightarrow \neg B)$$

公理A3

$$(2) (\neg A \rightarrow \neg B) \rightarrow (B \rightarrow A)$$

公理A1

$$(3) ((\neg A \rightarrow \neg B) \rightarrow (B \rightarrow A)) \rightarrow (\neg B \rightarrow ((\neg A \rightarrow \neg B) \rightarrow (B \rightarrow A)))$$

公理A1

$$(4) \neg B \rightarrow ((\neg A \rightarrow \neg B) \rightarrow (B \rightarrow A))$$

$r_{\text{mp}} (2) (3)$

$$(5) (\neg B \rightarrow ((\neg A \rightarrow \neg B) \rightarrow (B \rightarrow A))) \rightarrow ((\neg B \rightarrow (\neg A \rightarrow \neg B)) \rightarrow (\neg B \rightarrow (B \rightarrow A)))$$

公理A2

$$(6) (\neg B \rightarrow (\neg A \rightarrow \neg B)) \rightarrow (\neg B \rightarrow (B \rightarrow A))$$

$r_{\text{mp}} (4) (5)$

$$(7) \neg B \rightarrow (B \rightarrow A)$$

$r_{\text{mp}} (1) (6)$



**定理2.6 (演绎定理)** 对PC中任意公式集  $\Gamma$  和公式  $A, B$ ,  $\Gamma \cup \{A\} \vdash_{PC} B$

当且仅当  $\Gamma \vdash_{PC} A \rightarrow B$

**定理2.7** PC是可靠的, 即对任意公式集  $\Gamma$  及公式  $A$ , 若  $\Gamma \vdash A$ , 则  $\Gamma \models A$ 。  
特别地, 若  $A$  为PC的定理 ( $\vdash A$ ), 则  $A$  永真 ( $\models A$ )

**定理 2.8 (一致性定理)** PC 是一致的 (consistent), 即不存在公式  $A$ , 使得  $A$  与  $\neg A$  均为 PC 之定理。

**定理 2.9 (完全性定理)** PC 是完全的, 即对任意公式集  $\Gamma$  和公式  $A$ , 若  $\Gamma \models A$ , 则  $\Gamma \vdash A$ 。特别地, 若  $A$  永真 ( $\models A$ ), 则  $A$  必为 PC 之定理 ( $\vdash A$ )。