疑问量词的形式表达与推理模式*

周家发

1. 引言

对疑问句的研究一向是形式语义学的一个难点，这是因为经典形式语义学基本上是真值条件语义学，而对于疑问句来说，并无一种直观且毫无争议的真值定义。因此不同学者为疑问句提出了不同的理论框架，各有优劣。本文将提出一套形式化的理论框架，把传统的真值概念加以扩充，并把疑问句处理成包含一种特殊量词－“疑问量词”的量化句。利用这个框架，我们可以统一解释疑问句的多种语义现象。本文的讨论范围也包括某些较少学者问津的课题，包括“非穷尽疑问量词”和“疑问程度”(这个课题主要由汉语学者提出)。此外，本文也会探讨某些涉及疑问量词的推理模式(包括逻辑推理和梯级推理)，扩充了逻辑语义学所研究的“自然逻辑”(Natural Logic)以及语用学所研究的“语用推理”的范围。

*本文是蒋严(主编)《走近形式语用学》(上海教育出版社 2011 年出版)中一篇论文的作者手稿，本文的最终刊印本载于《走近形式语用学》第 175－261 页。

2. 文献回顾

2.1 整体理论框架

不同学者从不同学科角度(句法学、语义学、语用学、逻辑学等)为疑问句提出了各种理论框架。为免使讨论过于庞杂，以下只集中讨论几种与本文最有关系的语义理论。根据 Groenendijk and Stokhof (下称 G&S)(1989)的分析，疑问句的语义理论大致上可区分为两大派别－“范畴派”(categorial approach)与“命题派”(propositional approach)。在“范畴派”的理论框架下，疑问句的语义并不圆满，需要一个“成分解答”(constituent answer)才能圆满。由于不同的成分解答属于不同的语义类别，这个学派认为疑问句没有统一的语义类别。“范畴派”的理论有多种表现形式，以下简介较有代表性的两套理论，即 Krifka (2001a, 2004)和 Gutierrez-Rexach (下称 G-R)(1997, 1999)的理论。Krifka (2001a, 2004)的理论是建基于“结构化意义语义学”(Structured Meaning Semantics)，他把疑问句的语义所指看成一种“函项，当把这些函项作用于其解答的语义所指后，便会得到一个命题”[1]。在这个框架下，疑问句相当于 λ 表达式，而回答问题便相当于“λ 还原”。G-R (1997, 1999)的理论则是建基于“广义量词理论”(Generalized Quantifier Theory)，他把疑问词看成“广义量词”(generalized quantifier)。由于疑问句被看成函项而非命题，因此疑问词的语义类型较一般广义量词的语义类型高。举例说，一般名词短语的语义类型为(et)t，而疑问词“who”的语义类型则是((et)et)t，其中多出的“et”对应着这种疑问句的解答－名词短语，因为一个含“who”的问句需要加上一个名词短语才能变成命题。在 G-R (1997, 1999)的理论框架下，某些与疑问句相关的现象可以从广义量词理论的角度得到解释，例如“多重疑问句”(multiple question)中的疑问词便可以解释为“多式量词”(polyadic quantifier)(详见下文 3.6 小节)。此外，这个理论发现疑问词也具有某些量词性质，例如“守恒性”(conservativity)、“单调性”(monotonicity)、“相交性”(intersectivity)等，这些性质正是广义量词理论深入研究的课题。

跟“范畴派”不同，“命题派”假设疑问句有统一的语义类型，而且这个语义类型也就是命题的语义类型。“命题派”的理论也可以表现为多种形式，以下简介 Karttunen (1977)、G&S (1984)以及 Nelken and Francez (下称 N&F)(2000a, 2002)的理论。Karttunen (1977)的理论尝试把蒙太格语法推广至疑问句，这套理论把间接疑问句看成比直接疑问句更基本，并透过“原始问题”(proto-question)的概念从陈述句推导出间接疑问句。在语义上，这套理论把疑问句解释成其真解答集合。G&S (1984)的理论也把间接疑问句处理成较基本的疑问句，但这套理论采用“两体类型论”(Two-Sorted Type Theory)的形式语言。在语义上，这套理论把疑问句解释成“可能世界论域”的“划分”(partition)，这个划分中的每个“等价

---

[1] 译自 Krifka (2001a), (2), p. 288，原文为“functions that, when applied to the meaning of the answer, yield a proposition”。

类”(equivalence class)对应着疑问句的某个可能解答，因此 G&S (1984)的理论具有内涵语义学的性质。

跟前述两套理论不同，N&F (2000a, 2002)的理论把直接疑问句处理成较基本的疑问句，并且采用一阶谓词逻辑的语言，加上一个特殊符号“?”以构成疑问句。尽管 N&F (2000a, 2002)沿用 G&S (1984)的某些理论假设，N&F (2000a, 2002)的理论框架却是建基于外延语义学而非内涵语义学。在语义上，这套理论采用一种“双格”(bilattice)模型，把陈述句和疑问句视为具有相同的语义类型，换句话说，陈述句和疑问句的语义所指同为真值。不过，为区分陈述句与疑问句，这套理论采用五个真值，这些真值又可归为两大类。陈述句共有三个真值：t、f 和 uk。请注意这里的“t”和“f”跟传统的两个真值不同，因为它们不是指事实上的真假，而是指“已知为真”和“已知为假”；而“uk”则是指“不知真假”。至于疑问句，N&F (2000a, 2002)借用 Ginzburg (1995)的“resolvedness”概念(本文译作“圆满解决”，以下简称“圆解”)，假设疑问句共有两个真值：r (代表“圆解”)和 ur (代表“不圆解”)。N&F (2000a, 2002)还为这五个真值定义了各种布尔运算，包括“并”(join)、“交”(meet)和“补”(complement)，因而构成一个“双格”[2]。

2.2 穷尽性

“穷尽性”(exhaustivity)是有关何为圆满解答的概念。根据文献，我们可以归纳出两种最重要的穷尽性：“强穷尽性”(strong exhaustivity)与“非穷尽性”(non-exhaustivity)。非穷尽性只要求解答包含至少一项真信息且不包含任何假信息，而强穷尽性则要求解答包含所有真信息，而且只包含真信息(即“刚好”包含所有真信息)。换句话说，强穷尽解答跟非穷尽解答的区别在于，前者是唯一且完全的，而后者则不是。举例说，如果已知 John 和 Mary 刚好是唱歌者，那么对于问题“Who sang”来说，“precisely John and Mary”就是强穷尽解答，而 “John”则是非穷尽解答。

文献中还提到第三种穷尽性－“弱穷尽性”(weak exhaustivity)。G&S (1993)提供了一个很好的例子以说明强穷尽性与弱穷尽性的区别[3]：

(1) a. John knows which girl(s) sleep(s).
b. Of every girl who sleeps, John knows that she is a girl who sleeps.
c. Of no girl who doesn't sleep, John believes that she is a girl who sleeps.

[2] 根据 Arieli and Avron (1996)，“双格”是一种同时包含两个“偏序”(partial order)的代数结构，因此“双格”最适宜用来作为上述两大类真值的数学模型。不过就本文的主旨而言，我们无需深入探讨这种代数结构的数学性质。上述布尔运算的定义详见下文。

[3] G&S (1993), (47) a, b, c。

根据 G&S (1993)，在强穷尽性下，(1a)应衍推(1b)和(1c)，而在弱穷尽性下，(1a)只衍推(1b)。这个例子显示，弱穷尽解答除包含所有真信息外，还可能包含某些假信息。

不同学者采用不同的穷尽性概念。在上一小节介绍的各种理论框架中，几乎全部都采用强穷尽性，惟有 Karttunen (1977)采用弱穷尽性而 Krifka (2001a, 2004)则采用非穷尽性。

Beck and Rullman (下称 B&R)(1999)在穷尽性方面采纳一种灵活变通的观点，他们认为强穷尽解答、弱穷尽解答和非穷尽解答在不同情况下都可能成为圆满解答。试看以下间接疑问句[4]：

(2) John knows where you can buy the New York Times.

只要 John 能提供一个可买到 New York Times 的部分地点清单，上句便应被视为真的。

Higginbotham (1993)和 B&R (1999)列出了自然语言中某些(非)穷尽标记，并指出含有这些标记的疑问句具有当然的(非)穷尽性。举例说，"for example"和"all"便使以下疑问句分别具有非穷尽性和强穷尽性(其中(4)是美国南部的方言)[5]：

(3) Who for example did John see?
(4) Who-all did John see?

(3)显然只要求回答者提供一个 John 所见人士的部分清单，回答者不仅无需提供一个长而完整的清单，而且这样的解答也是不恰当的。

2.3 疑问程度

"疑问程度"(degree of interrogation)主要是汉语学者研究的课题。汉语有多种构成疑问句的方法。根据邵敬敏(1996)，除了"标准"疑问句，即特指问句、"吗"字疑问句、正反问句和选择问句外，还有反问句、"吧"字疑问句、附加问句、非疑问形式加"呢"、叹词疑问句、回声问句、设问句以及某些混合类型的疑问句。如何描述这些疑问句之间的差别是汉语语言学的重要课题，其中一个方法就是根据疑问程度来为疑问句分类。

[4] B&R (1999), (77), p. 280。
[5] Higginbotham (1993), (72) – (73)。

根据徐杰、张林林(下称徐张)(1985)，疑问程度表达发问者对解答不确定的程度。疑问程度越高，发问者对解答越不确定。徐张(1985)把疑问程度表达为一个百分数，并选择了四个百分点(100%、80%、60%、40%)，用来作为各类汉语疑问句的参数。邵敬敏(1996)则把疑问程度看成一对分数，分别代表发问者的“信”与“疑”。他假设“信”与“疑”是互补的概念，因此上述两个分数相加等于 1。他把不同的分数对作为汉语各类疑问句的参数。下表比较徐张(1985)与邵敬敏(1996)所设定的参数[6]：

表 1

疑问句的类别	**徐张(1985) 设定的参数**	**邵敬敏(1996) 设定的参数**
特指问句	100%	<0, 1>
“吗”字疑问句	80%	<1/4, 3/4>
正反问句	80%	<1/2, 1/2>
选择问句	60%	<1/2, 1/2>
“吧”字疑问句	40%	<3/4, 1/4>
附加问句	40%	-
反问句	-	<1, 0>

上表显示徐张(1985)和邵敬敏(1996)都认为特指问句代表发问者对解答完全不确定，而“吧”字疑问句则代表发问者对解答较为确定。尽管两者设定的具体参数值互有差异，但他们对汉语各种疑问句疑问程度的排序结果大致上是相同的。

2.4 疑问句推理

G&S (1997)指出，一个具备“实质充分性”(material adequacy)的疑问句语义理论应包含以下三个概念：“答问关系”(answerhood)、“衍推关系”(entailment)和“等价关系”(equivalence)。在这三个概念中，衍推关系和等价关系与疑问句的推理有关。不过，并非所有学者都研究疑问句推理的问题。

G&S (1989, 1997)讨论了疑问句衍推关系和等价关系的一些例子，但没有对疑问句的推理模式作系统研究。G-R (1997)也讨论了疑问句的某些推理模式，但这些推理主要是从疑问量词的某些性质直接推出来的结果。举例说，从守恒性的定义我们可以马上得到以下等价关系[7]：

---

[6] 事实上，徐张(1985)共研究了十种疑问句。但为简化讨论，下表只包括六种本文会讨论到的疑问句。

[7] G-R (1997), (34a), p. 429。

(5) Which roses are red? ⇔ Which roses are roses and are red?

G-R (1997)也讨论了疑问量词的单调性问题，并且定义了一个“subsumption”的概念，用来解释疑问量词的单调递减性。不过，G-R (1997)的目的是用疑问量词的递减性来解释疑问句的“负极允准”(negative polarity licensing)特性，而非研究疑问句之间的单调性推理。

N&F (2000a, 2002)沿袭 G&S (1997)的“实质充分性”标准，把“答问关系”、“疑问句衍推关系”与“陈述句衍推关系”统一称为“广义衍推关系”(generalized entailment)。N&F (2000b)还为疑问句建构了一个包含“相继式演算”(sequent calculus)的逻辑系统，并且构拟了一种用于证明的“表列法”(tableau method)。N&F (2000b)更指出，他们的外延性框架较 G&S (1984)的内涵性框架优越。作为回应，Groenendijk (2003)讨论了如何在 G&S (1984)的内涵性框架下为答问关系和衍推关系作出逻辑定义。不过，他没有像 N&F (2000b)那样建构疑问句的逻辑系统。

以上介绍的 N&F (2000b)的疑问句逻辑是谓词逻辑的推广，基本上属于数理逻辑的范畴。但除了数理逻辑外，当代语义学也很重视对“自然逻辑”的研究，“自然逻辑”是指以贴近自然语言的形式语言为基础推导出来的逻辑推理。根据 van Benthem (2008)，自然逻辑主要包括传统的“三段论推理”和当代的“单调性推理”。不过，在传统逻辑中，除了三段论推理外，“对当推理”也是十分重要的推理。Keenan (2003, 2008)则提出了一些新的自然逻辑推理模式，本文称为“对偶性推理”。此外，由 Fillmore *et al* (1988)和 Kay (1990)建构的“梯级模型“(Scalar Model)揭示了日常语言中一种常见的语用推理—“梯级推理“(scalar reasoning)。不过，以上这些理论只针对陈述句，对疑问句的自然逻辑研究尚未起步，本文的主旨正是要填补这个空白。

3. 基本框架 FIVE

3.1 理论基础

在本节，我们将提出一个疑问句的基本形式框架，这个框架是基于 N&F (2000a, 2002)的理论框架，但加上较大规模的修改。选择 N&F (2000a, 2002)的框架作为理论基础的原因是他们的框架具有外延性质，因而较 G&S (1984)的内涵性框架易于处理。正如 N&F (2000a, 2002)所指出的，多重疑问句、带量词的疑问句、并列疑问句等等，在他们的模型中都易于处理。相比之下，在 G&S (1984)的模型中处理这些问题就复杂得多，这是因为我们要处理的对象是可能世界论域的划分，而这是一种较少学者研究的数学对象。

跟“范畴派”的理论比较，N&F (2000a, 2002)的理论还有另一个优点。由于 N&F (2000a, 2002)的理论对陈述句和疑问句的真值有清晰的定义，因此疑问句之间衍推和等价关系的定义便变得很简单。相比之下，“范畴派”理论把疑问句解释成函项。尽管我们可以把衍推关系定义为集合之间的包含关系(函项可被看成集合)，这种定义只适用于具有同一种语义类型的东西。由于疑问句可能分属不同的语义类型，因此我们不知道如何为疑问句之间的一般衍推关系作出恰当的定义。

不过，“范畴派”理论也有其优点。Krifka (2001a, 2004)指出在某些方面，尤其是有关解答的焦点问题，他的理论较“命题派”理论优越。此外，G-R (1997, 1999)基于广义量词理论的框架也有其吸引人之处，这是因为疑问词的确具有普通广义量词的某些特征。此外，G-R (1997, 1999)涵盖了英语的大部分疑问词，而 N&F (2000a, 2002)却只研究了“which”。考虑到上述这些优点，我们会把 G-R (1997, 1999)理论的某些元素纳入本文的理论框架内。

3.2 研究范围与假设

为简化研究，我们只考虑在外延性(extensional)和静态(static)背景下含非统指谓语(non-collective predicate)的直接疑问句。我们的研究范围包括列于表 1 的各种疑问句，但会把注意力集中于特指问句。至于疑问词，我们只研究具有名词或限定词功能的疑问词(例如“who”、“how many”)。这意味着本文将集中研究由个体(包括人及其他事物)和数量组成的论域，“where”、“how”等疑问词会被视为作用于其他论域(例如时间论域、方式论域)的算子(operator)，因此不在本文的研究范围内。至于是非／选择问句，我们只研究以名词或限定词作为焦点的疑问句。

正如 G&S (1984)所指出的，疑问句的预设是一个复杂的问题，可能涉及句法、语义和语用因素。为简化研究，我们一般不讨论疑问句的预设。据此，我们

假设特指问句的疑问词中心语的单复数并不预设该疑问句谓语所指个体的单复数(甚至不预设这些个体的存在性)。比如说，特指问句

(6) Which boys does the teacher love?

并不预设“boys loved by the teacher”是多于一个个体的集合(甚至不预设这个集合非空)，因此像“Nobody”这样的解答应被视为(6)的可接受解答。

另一方面，我们认为含明确数词的疑问词带有预设。比如说，特指问句

(7) Which two boys does the teacher love?

便预设“boys loved by the teacher”的数目为二(或至少二，视乎我们把这句解释为强穷尽还是非穷尽疑问句)。因此，为避免处理预设问题，我们不考虑“which n”这类疑问词。

我们沿袭 N&F (2000a, 2002)的理论，假设陈述句与疑问句具有相同的语义类型，并且有五个真值，这些真值可归纳为两大类。为方便起见，以下把这个包含五个真值的系统称为 FIVE。考虑到下文需要引入一个包含无穷多个真值的模型，我们用数字表示这五个真值。因此，陈述句有 1、0 和 0.5 这三个真值，而疑问句则有 1 和 0 这两个真值。在这个假设下，我们实际上并不直接处理疑问句，而是处理与疑问句的“圆解性”(resolvedness)相关的命题，这是因为只有命题才有真值。举例说，与疑问句“Who sang”的圆解性相关的命题就是“The question ‘Who sang’ is resolved”。事实上，疑问句的每一个语义理论都采取某种间接策略把疑问句转化为某种可用数学方法处理的对象。各种理论的差异在于它们采用不同的对象：命题、命题集合、可能世界论域的划分、函项等等。

由于陈述句的三个真值跟交谈者(包括回答者和发问者)的知识有关，我们在这里作出一个“准确知识假设”，即交谈者的知识是真实情况的准确反映(但这里并不假设交谈者知道所有真实情况)。在这个假设下，我们不考虑弱穷尽性的问题，因为正如上文第 2.2 小节所指出的，一个弱穷尽解答可能包含不真实的信息。

此外，我们还对论域及其内的元素作以下假设。为简化推理，我们假设所有交谈者都知道论域包含哪些元素，并且知道这些元素的专名(以小写字母代表)。换句话说，本文并不处理“Who / What is x”，因为我们假设这类疑问句的答案是既有知识。如果我们需要处理这类疑问句并且放弃前述最后一个假设，那么我们便要把专名和代表论域中各元素的符号区分开来。

3.3 基本符号

在本小节，我们引入一些必要的符号。我们用[p]代表 p 的真值，其中 p 可以是陈述句或疑问句，且具有以下性质：

(8) $$[p] \in \begin{cases} \{1, 0.5, 0\}, & \text{若}p\text{是陈述句} \\ \{1, 0\}, & \text{若}p\text{是疑问句} \end{cases}$$

为方便下文的讨论，我们定义以下实数集合(在第四节我们会扩大这个集合的范围)：

(9) $$UC = \{0.5\}$$

其中 UC 代表“uncertain”(不确定)的缩写。此外，我们还需要对集合概念作一些修改。在二值论域中，对于每一个概念，我们都有两个互补的集合，例如 A 和 ~A。在三值论域中，我们需要三个新概念：A_1、A_0 和 A_{uc}，其定义如下：

(10) $$A_1 = \{x \in U: [x \in A] = 1\}$$
(11) $$A_0 = \{x \in U: [x \in A] = 0\}$$
(12) $$A_{uc} = \{x \in U: [x \in A] \in UC\}$$

请注意集合 A 与 A_1 的分别：A 包含所有**事实上**属于 A 的元素，而 A_1 则包含所有**已知**属于 A 的元素。上述三值集合与传统的二值集合存在以下关系：

(13) $$A_1 \subseteq A;\ A_0 \subseteq \sim A$$
(14) $$A \subseteq A_1 \cup A_{uc};\ \sim A \subseteq A_0 \cup A_{uc}$$

以下实例说明如何根据一个语义模型计算陈述句的真值。首先定义语义模型 M_1 (在以下定义中，U 是论域，PERSON、LOVE 等是谓词 / 关系常项)：

U = {a, b, j, m}
PERSON = {1/a, 1/b, 1/j, 1/m}
BOY = {0/a, 0.5/b, 1/j, 0/m}
GIRL = {1/a, 0/b, 0/j, 1/m}
SING = {1/a, 1/b, 1/j, 0.5/m}
LOVE = {0/<a, a>, 1/<a, b>, 1/<a, j>, 0/<a, m>, 1/<b, a>, 0/<b, b>, 0.5/<b, j>, 0.5/<b, m>, 0/<j, a>, 0/<j, b>, 0/<j, j>, 0/<j, m>, 0/<m, a>, 0/<m, b>, 1/<m, j>, 0/<m, m>}

在上述定义中，我们借用了模糊数学中常用的简记法。比如说，BOY 中的“0/a”代表[a $\in$ BOY] = 0。因此，上述定义中 BOY 一行其实是以下定义的简写：

$$\mathrm{BOY}_1 = \{j\},\ \mathrm{BOY}_0 = \{a, m\},\ \mathrm{BOY}_{uc} = \{b\}$$

接着我们根据 M_1 计算以下句子的真值：

(15) Nobody sang.

(16) Every boy sang.

(17) More boys than girls sang.

(18) Every girl loves John.

根据附录 A，我们可以把以上四句写成以下三分结构(以及相关的真值条件)：

(19) $\mathit{nobody}(-)(\mathrm{SING}) \Leftrightarrow \mathrm{PERSON} \cap \mathrm{SING} = \varnothing$

(20) $\mathit{every}(\mathrm{BOY})(\mathrm{SING}) \Leftrightarrow \mathrm{BOY} \subseteq \mathrm{SING}$

(21) $(\mathit{more} \ldots \mathit{than} \ldots)(\mathrm{BOY}, \mathrm{GIRL})(\mathrm{SING}) \Leftrightarrow |\mathrm{BOY} \cap \mathrm{SING}| > |\mathrm{GIRL} \cap \mathrm{SING}|$

(22) $\mathit{every}(\mathrm{GIRL})(\ [\mathit{John}(-)]_2(\mathrm{LOVE})) \Leftrightarrow \mathrm{GIRL} \subseteq \{x_1: \mathrm{LOVE}(x_1, j)\}$

从 M_1 得到的是三值论域下的集合，即 BOY_1、BOY_0、BOY_{uc} 等，可是上列真值条件所涉及的集合却是二值的。如何解决这个矛盾？具体地说，由于 BOY_{uc} 包含着元素“b”而 SING_{uc} 包含着元素“m”，在计算(20)的真值时，如何处置“b”和“m”？本文采用“超级赋值理论”(Supervaluation Theory)所用的方法，这种方法的特点是，依次把真值 1 和 0 指派给[b $\in$ BOY]和[m $\in$ SING]。如果在任何可接受指派下，[BOY $\subseteq$ SING]都取真值 1，[(20)] = 1；如果在任何可接受指派下，[BOY $\subseteq$ SING]都取真值 0，[(20)] = 0；如果在不同可接受指派下，[BOY $\subseteq$ SING]有时取真值 1，有时取真值 0，[(20)] = 0.5。为简化讨论，我们假设[b $\in$ BOY]和[m $\in$ SING]的四种可能指派都是可接受指派，下表列出在这四种指派下计算[BOY $\subseteq$ SING]真值的步骤：

指派	BOY	SING	[BOY $\subseteq$ SING]
[b $\in$ BOY] = 1; [m $\in$ SING] = 1	{b, j}	{a, b, j, m}	1
[b $\in$ BOY] = 1; [m $\in$ SING] = 0	{b, j}	{a, b, j}	1
[b $\in$ BOY] = 0; [m $\in$ SING] = 1	{j}	{a, b, j, m}	1
[b $\in$ BOY] = 0; [m $\in$ SING] = 0	{j}	{a, b, j}	1

由于在所有可接受指派下，[BOY $\subseteq$ SING]都取真值 1，所以[(20)] = 1。利用相同

方法，还可求得[(19)] = 0，[(21)] = 0.5，[(22)] = 1。

3.4 强穷尽单式疑问量词

3.4.1 圆解性条件

在本小节，我们将考察含强穷尽疑问词和不及物动词的特指问句(constituent question)。根据 G-R (1997, 1999)，可以把这些疑问词处理成单式疑问量词。但跟 G-R (1997, 1999)不同，我们假设这些疑问量词跟相应陈述量词具有相同的语义类型。举例说，由于“who”充当名词短语的角色，这个疑问量词具有(et)t (亦即<1>)的语义类型。跟其他<1>型量词相似，以“who”为主语的简单疑问句可被表达为以下三分结构：

(23) $$who(–)(A)$$

如何推导(23)的真值条件(更准确地说应为“圆解性条件”resolvedness condition)？根据强穷尽性的定义，(23)是圆解的当且仅当对论域 U 中每一个元素 x 而言，我们都知道 x 是否人且属于 A。换句话说，不存在任何元素 x，使得我们不知道 x 是否人且属于 A。因此，(23)的圆解性条件可以写成

(24) $$who(–)(A) \Leftrightarrow (\mathrm{PERSON} \cap A)_{uc} = \varnothing$$ [8]

上述条件反映了以下直观：$(\mathrm{PERSON} \cap A)_{uc}$代表我们对(23)不确定的范围，如果这个范围是空的，那么这个问题便不复存在，因此是圆解的。

其他强穷尽单式疑问量词的圆解性条件载于附录 B，这里有必要解释一下附录 B 上的部分疑问量词。根据 G-R (1997, 1999)，“$what_d$”和“*which*”是两个很不同的疑问量词，前者独立于语境，而后者则对语境敏感。因此根据 Westerståhl (1984)，“*which*”像“*the*”那样，其圆解性条件涉及一个“语境集”(以 X 表示)，这个语境集的作用是限制这个疑问量词的第一论元。不过，由于“what”在用作限定词时，其分布比“which”受较多限制(例如可以说“what colour”、“what animal”，但不可以说“*what boy”)，“which”有时起着“what”的作用。此外，由于在自然语言中几乎所有量化都是限制性量化，“$what_d$”与“*which*”的差别实际上并不那么大。因此，在以下讨论中，我们一般把“*which*”的圆解性条件(以及圆满解答的公式)写成跟“$what_d$”的一样，这样做也可以使公式较为简洁。

3.4.2 圆满解答与焦点

[8] 请注意本文有时会沿用某些学者的简记法，把“[*who*(–)(A)] = 1”简记作“*who*(–)(A)”。

本文提出两个“圆满解答”(resolved answer)的概念。请注意在本文中，只有当疑问句圆解时，才有圆满解答可言。对于一个典型的特指问句而言，其圆满解答有详略两种形式。简略形式表现为一个名词短语或数字，我们把这个形式称为“成分解答”(constituent answer)，简记作 CA；详尽形式则表现为一个完整的句子，我们把这个形式称为“句子解答”(sentential answer)，简记作 SA。

对于强穷尽单式疑问量词来说，容易表述其 CA 的公式，这是因为这些公式跟疑问量词的圆解性条件在形式上非常接近。举例说，设[*who*(–)(A)] = 1，那么 $(\text{PERSON} \cap \text{A})_{uc} = \varnothing$，所以可以把这个疑问句的 CA 公式写成[9]：

(25) $$\text{CA} = \text{PERSON} \cap \text{A}$$

借用模糊数学的概念，我们把上式中的这种集合称为“明晰集合”(crisp set)，即集合 A 是明晰的当且仅当对论域 U 中所有元素 x，都有 $\text{A}_{uc} = \varnothing$。请注意若某疑问句的 CA 表现为一个集合，这个集合必为明晰集合。其他强穷尽单式疑问量词的 CA 公式载于附录 B。

由于 SA 只是把 CA 写成完整句子的结果，我们可以利用这个关系来表述 SA。设 Q(#)(P)为特指问句，其中 Q 为疑问量词，其 CA 在当前语义模型下的具体值为 Y，其中 Y 为实数或明晰集合，那么可以把 SA 表述为

(26) $$\text{Q}^{\text{Y}}(\#)(\text{P})$$

在上式中，Q^{Y} 代表与疑问量词 Q 对应且包含 Y 的陈述量词。有关各个疑问量词所对应的陈述量词，请参阅附录 D。请注意(26)除了 Q^{Y} 外，其余部分跟原来的特指问句 Q(#)(P)具有完全相同的形式。

举例说，设有疑问句“Who sang”，其三分结构为“*who*(–)(SING)”，并且在当前语义模型下，其 CA 的具体值为{j}，那么根据附录 D，$who^{\{j\}}$ = (*nobody except John*)，因此根据(26)，这个疑问句的 SA 就是

(27) (*nobody except John*)(–)(SING)

上式用自然语言表达就是[10]

(28) Nobody except John sang.

---

[9] 当$(\text{PERSON} \cap \text{A})_{uc} = \varnothing$时，$(\text{PERSON} \cap \text{A})_1 = \text{PERSON} \cap \text{A}$。

[10] 也可表达为“Precisely John sang”，有时更会略去”precisely”一词。

接着讨论 SA 的焦点问题。Krifka (2001a, 2004)研究了 SA 的焦点结构与“问答一致性”(question-answer congruence)的关系。请看以下例句[11]($[\ ]_F$代表句子的焦点)：

(29) a. Who read Die Kinder der Finsternis?
b. $[\text{Mary}]_F$ read Die Kinder der Finsternis.
c. *Mary read $[\text{Die Kinder der Finsternis}]_F$.

根据 Krifka (2001a, 2004)，(b)与(a) “一致”(congruent)，因而是恰当的解答；而(c)与(a)却不一致，因而是不恰当的解答。Krifka (2001a, 2004)并且提出了达到问答一致性的各种条件。

本文不拟覆述 Krifka (2001a, 2004)的结果，只想在这里提出一个特指问句与其 SA 一致的必要条件。根据徐杰(2001)，在很多语言(包括汉语和英语)中，疑问词是所在特指问句的当然焦点。因此，从(29)可以总结出，仅当一个特指问句与其 SA 以同一个句法成分作为焦点时，该疑问句与其 SA 一致。

3.4.3 计算范例

以下提供一个计算范例以说明上述概念和公式的运用。以下是一个语义模型 M_2：

$$U = \{a, b, c, d\}$$
$$\text{PERSON} = \{1/a, 0/b, 0.5/c, 1/d\}$$
$$\text{SING} = \{1/a, 1/b, 0/c, 1/d\}$$

我们考虑疑问句“Who sang”，其三分结构为“*who*(–)(SING)”。我们首先就 U 中每个元素 x，计算$[x \in \text{PERSON} \cap \text{SING}]$。利用前述超级赋值理论的方法，容易求得$[a \in \text{PERSON} \cap \text{SING}] = 1$，$[b \in \text{PERSON} \cap \text{SING}] = 0$，$[c \in \text{PERSON} \cap \text{SING}] = 0$，$[d \in \text{PERSON} \cap \text{SING}] = 1$。根据上述计算结果，$(\text{PERSON} \cap \text{SING})_{uc} = \varnothing$，由此根据(24)，可知$[\textit{who}(–)(\text{SING})] = 1$。以下是 CA 和 SA 的计算：

	CA	
=	$\text{PERSON} \cap \text{SING}$	根据(25)
=	$\{a, d\}$	

[11] 选自 Krifka (2001a), (19), p. 292，略有改编。

SA

= $\quad who^{\{a, d\}}(–)(\text{SING})$ 根据(26)

= $\quad$ (*nobody except a and d*)(–)(SING) 根据附录 D

上述计算结果显示，强穷尽性并不要求我们必须成为全知者才能圆满解决一个问题。在上例中，只要我们知道“c”没有唱歌，那么是否知道“c”是人都无关宏旨，我们唯一要知的是任一元素是否属于 PERSON ∩ SING。

3.4.4 合取疑问句

G&S (1989)讨论了疑问句的并列，并指出这是自然语言中的常见现象。在下文中，我们会看到某些复杂疑问句可被理解为并列疑问句。在本小节，我们首先讨论一种并列疑问句—“合取疑问句”(conjoined interrogative)。在本文的框架下，合取疑问句的圆解性条件可被简单定义为其合取项圆解性条件的合取。举例说，合取疑问句

(30) Which boys sang and which girls danced?

的圆解性条件便可以写成

(31) $$(\text{BOY} \cap \text{SING})_{uc} = \varnothing \wedge (\text{GIRL} \cap \text{DANCE})_{uc} = \varnothing$$

3.4.5 把交谈者视为整体的观点

在进一步讨论前，有必要澄清“发问者”和“回答者”的概念。一般假设发问者和回答者在一个问答过程中各自扮演不同的角色：前者要求信息，而后者则提供信息。不过，在疑问程度低的场合中(例如发问者对答案已颇为确定的场合)，发问者事实上也在提供信息。在某些场合中，发问者和回答者更加是难以截然分开。比如说，如果发问者是在与其他交谈者的讨论中自己找到答案，那么便不易确定谁是回答者了。

为避免上述困难，我们把所有交谈者视为一个整体。采取这个观点后，便可以忘记各个交谈者的特定角色。当我们说一个疑问句根据某语义模型为圆解时，我们是把语义模型视为全体交谈者的整体知识。我们不再关心某一知识属于哪一位交谈者，这些知识可能仅属于回答者(在这个情况下发问者对答案一无所知)，也可能部分来自发问者，部分来自其他交谈者。

3.5 强穷尽迭代多式疑问量词

3.5.1 单称词项与疑问量词的迭代

当疑问句的谓语是二元或多元谓词时，有关疑问量词便是多式疑问量词。很多多式疑问量词都可被分析成陈述量词与疑问量词进行“迭代”的结果，我们首先考察疑问量词与“单称词项”(singular term)(包括单数专有名词和单数有定摹状词)进行迭代的情况，试看以下疑问句：

(32) Which girls love John?
(33) Which girls does John love?

(32)和(33)都可表达为迭代量词，其中“*John*(–)”取窄域，“*which*(GIRL)”取宽域。这两句的分别仅在于“John”在二元谓词“love”中所处的论元位置。根据附录 A，可以写出(32)和(33)的三分结构及其圆解性条件如下：

(34) $\mathit{which}(\mathrm{GIRL})([\mathit{John}(–)]_2(\mathrm{LOVE})) \Leftrightarrow (\mathrm{GIRL} \cap \{x\text{: LOVE}(x, j)\})_{uc} = \varnothing$
(35) $\mathit{which}(\mathrm{GIRL})([\mathit{John}(–)]_1(\mathrm{LOVE})) \Leftrightarrow (\mathrm{GIRL} \cap \{y\text{: LOVE}(j, y)\})_{uc} = \varnothing$

上例显示如果疑问句包含单称词项，那么无论这些单称词项与疑问量词各自充当什么句法成分，疑问量词都取宽域。

3.5.2 个体解

如果疑问句包含其他陈述量词，则情况会较为复杂，这是因为这些陈述量词与疑问量词的不同辖域结构可能产生不同的解读，试看以下疑问句[12]：

(36) Which girls does every boy love?

根据文献，(36)至少有三种不同解读：个体解、串列解和函项解。在“个体解”(individual reading)下，(36)可改写为

(37) Which girls are such that every boy loves them?

由于(37)与(33)的差别仅在于“*John*(–)”为“*every*(BOY)”取代，(37)的三分结构和圆解性条件跟(35)非常相似：

[12] 由于全称量化与合取具有相似性，(36)的辖域歧义也会出现于合取疑问句中，例如下句：

Which girls do John and Bill love?

为简化讨论，本文只考虑(36)。惟请注意，(36)的分析结果同样适用于上述合取疑问句。

(38) $$which(\text{GIRL})([every(\text{BOY})]_1(\text{LOVE})) \Leftrightarrow (\text{GIRL} \cap \{y: \text{BOY} \subseteq \{x: \text{LOVE}(x, y)\}\})_{uc} = \varnothing$$

因此我们无须深入讨论“个体解”的情况。

3.5.3 串列解

根据文献，在“串列解”(list reading)下，(36)通常被理解成等同于[13]：

(39) For each boy x, which girls does x love?

这个疑问句的一个可能 CA 是

(40) John loves Mary, Bill Susan and Ann, Peter no girl.

即一个显示每名男孩 x 爱哪些女孩的串列。有一点要注意的是，如要令(39)圆解，首先必须知道哪些人是男孩，因为(39)的圆满解答要求提供一个以男孩的名字为“索引”的串列。因此我们认为，(36)的“串列解”应被处理成以下合取疑问句：

(41) Who are the boys and for each boy x, which girls does x love?

请注意(41)的后半部跟(39)相同。

在文献中，(39)一般被处理成迭代量词，其中“*which*(GIRL)”取窄域，“*every*(BOY)”取宽域。由于我们假设疑问句与陈述句具有相同的语义类型，量词的迭代公式(附录 A 的(A40) – (A41))也适用于这类以疑问量词取窄域的疑问句。利用上述公式，首先求得

(42) $$[which(\text{GIRL})]_2(\text{LOVE}) = \{x: which(\text{GIRL})(\{y: \text{LOVE}(x, y)\})\}$$

接着把“*every*(BOY)”作用于(42)，得

(43) $$every(\text{BOY})([which(\text{GIRL})]_2(\text{LOVE})) \Leftrightarrow \text{BOY} \subseteq \{x: which(\text{GIRL})(\{y: \text{LOVE}(x, y)\})\}$$

[13] 在文献上，(39)一般称为“偶串列解”(pair-list reading)。由于考虑到某些疑问句(例如“What books does each teacher recommend to each student”)可能涉及由“n 元组”组成的串列(而非“偶串列”)，我们采用概括性较高的名称“串列解”。

利用(43)，可以写出(41)的圆解性条件如下[14]：

(44) $BOY_{uc} = \varnothing \wedge BOY \subseteq \{x: \mathit{which}(GIRL)(\{y: LOVE(x, y)\})\}$

(41)的 CA 可以表达为一个由有序偶<x, S>组成的集合，其中 x 为男孩而 S 则是 x 所爱女孩的集合，即

(45) $CA = \{<x, S>: x \in BOY \wedge S = GIRL \cap \{y: LOVE(x, y)\}\}$

3.5.4 函项解

根据 G&S (1984)，“函项解”(functional reading)是跟前两种解读不同的解读，他们提出使用“一元斯科林函项”(Skolem Function of arity 1)(记作 SF^1)来表达这种解读。根据他们的分析，在“函项解”下(36)等同于以下疑问句：

(46) Which function $f \in SF^1$ is such that every boy x loves f(x, GIRL)?

这个疑问句的一个可能 CA 是

(47) His sisters.

这里“sister”被视为某个 SF^1，即一个形式为 f(x, S)的函项，其中 x 是 U 的元素，S 是 U 上的一个非空集合，这个函项输出 S 的一个随 x 而变化的元素。根据上述定义，f(x, GIRL)是一个女孩，这个女孩是谁，视 x 而定。根据(46)，(36)的“函项解”可被表达成迭代量词，其中“*every*(BOY)”取窄域，“*which*(SF^1)”取宽域。以下是(46)的三分结构：

(48) $\mathit{which}(SF^1)(\{f: \mathit{every}(BOY)(\{x: LOVE(x, f(x, GIRL))\})\})$

请注意(48)是一种以“which”为疑问词的特指问句，因此(46)的圆解性条件和 CA 公式可以根据附录 B 容易推导出来。

3.5.5 共同数值解

跟(36)类似，我们发现以下疑问句也有至少三种解读，但其情况又跟(36)略有不同。

14 (44)的第一个合取项本应写成$(PERSON \cap BOY)_{uc} = \varnothing$，但根据常识，$BOY \subseteq PERSON$，所以可以把它简化为 $BOY_{uc} = \varnothing$。

(49) How many books did every boy read?

上句的首两个解读就是前述的“个体解”和“串列解”。在这两种解读下，(49)分别等同于

(50) How many books were such that every boy read them?
(51) Who are the boys and for each boy x, how many books did x read?

(49)的特殊之处在于它的第三个解读，这个解读等同于

(52) Which natural number n is such that every boy read (exactly) n books?

这个解读要求一个满足上句中“such that”之后所述条件的共同数值 n，所以我们把它称为“共同数值解”(common number reading)，这个解读在两方面跟“函项解”有相似之处。第一，上述共同数值 n 和(46)中的函项 f 都是概括“every boy”的某种共同特征的抽象事物。第二，这两种解读都可表达为以疑问量词取宽域的迭代量词。以下是(52)的三分结构：

(53) *which*(N)({n: *every*(BOY)({x: (*exactly n*)(BOOK)({y: READ(x, y)})})})

同样，(53)的圆解性条件和 CA 公式可以根据附录 B 容易推导出来。

3.6 强穷尽非迭代多式疑问量词

3.6.1 概括疑问量词

很多学者都有研究“多重疑问句”(multiple question)，即包含多于一个疑问量词的疑问句。学者研究得最多的多重疑问句是以下这种“配列疑问句”(matching question)：

(54) Which boys love which girls?

(54)要求一个由有序偶<x, y>组成的集合，其中 x 是男孩，y 是女孩，并且 x 爱 y。鉴于这种“配列疑问句”跟 3.5.3 小节讨论的“串列解疑问句”有相似之处，很多学者都认为可以用相同的方式处理这两种疑问句。不过，我们认为这两种疑问句有一个重要的差别。对于(41)这种“串列解疑问句”来说，只要 Peter 是男孩，即使他不爱任何女孩，也要在解答中讲明“Peter (loves) no girl”(请看(40))；但对于(54)这种“配列疑问句”来说，如果 Peter 不爱任何女孩，便无需在解答中加上这个信

息。

我们采用 Keenan (1996)的办法，把“配列疑问句”处理成包含概括疑问量词的疑问句。概括量词是以 n 元谓词(亦即由“有序 n 元组”组成的集合)作为论元的多式量词。以(54)为例，这个疑问句等同于

(55) Which boy-girl pairs <x, y> are such that x loves y?

根据附录 A，可以把(55)表达为

(56) $$\mathrm{Res}^2(\mathit{which})(\mathrm{BOY} \times \mathrm{GIRL})(\mathrm{LOVE})$$

利用 Res 的定义(A42)以及“*which*”的圆解性条件，可以推导出(56)的圆解性条件如下：

(57) $$((\mathrm{BOY} \times \mathrm{GIRL}) \cap \mathrm{LOVE})_{uc} = \varnothing$$

某些学者(包括 G-R (1997, 1999)、N&F (2000a, 2002))认为“配列疑问句”可以表达为含有迭代疑问量词的疑问句。比如说，他们认为(54)可以表达为

(58) $$\mathit{which}(\mathrm{BOY})([\mathit{which}(\mathrm{GIRL})]_2(\mathrm{LOVE}))$$

现在让我们看看在本文的框架下，这是否正确。由于在(42)我们已求得$[\mathit{which}(\mathrm{GIRL})]_2(\mathrm{LOVE})$，只需把“*which*(BOY)”作用于(42)，得到：

(59) $$\mathit{which}(\mathrm{BOY})(\{x: \mathit{which}(\mathrm{GIRL})(\{y: \mathrm{LOVE}(x, y)\})\})$$

根据附录 B，[(59)] = 1 当且仅当

(60) $$(\mathrm{BOY} \cap \{x: \mathit{which}(\mathrm{GIRL})(\{y: \mathrm{LOVE}(x, y)\})\})_{uc} = \varnothing$$

可是，(60)是一个非常弱的条件。事实上，可以证明以下定理(本文定理的证明见附录 K)：

定理 1： 在 FIVE 下，$\mathrm{BOY}_{uc} = \varnothing \Rightarrow (\mathrm{BOY} \cap \{x: \mathit{which}(\mathrm{GIRL})(\{y: \mathrm{LOVE}(x, y)\})\})_{uc} = \varnothing$。

定理 1 告诉我们，只要疑问句“Who are the boys”是圆解的，则(58)也是圆解的。

换句话说，只要我们知道谁是男孩，即使对谁爱谁一无所知，(58)也是圆解的！这当然不是我们希望得到的结果。由此我们得到结论，“配列疑问句”不能表达为疑问量词的迭代，至少在本文的理论框架下是如此。

3.6.2 分枝疑问量词

在附录 A 中，我们指出 Liu (1997)认为分枝量词是自然语言中的一种常见现象。根据她的研究，分枝运算也可应用于疑问量词，例如下句便有一种“*all-all* 分枝”解读[15]：

(61) Who did most of the teachers criticize?

在上述解读下，上句等同于：就某一群特定的老师而言(这群老师占全体老师的多数)，他们中的每一个都批评了哪一群人中的每一个？

如何推导(61)的圆解性条件？请注意我们不能直接套用附录 A 的(A50)，这是因为那条公式使用了两个“∃”量词，而我们却容许上述疑问句的解答为空集，这跟其中一个“∃”相矛盾。为了解决这个矛盾，可以把“$what_d$”(这里利用 $who(–) \equiv what_d(\text{PERSON})$这个关系)和“*most*”分别代入(A50)的 Q_1 和 Q_2 (假设疑问量词取宽域)，然后把(A50)的第一个“∃”删去，从而得到

(62)
$$\begin{gathered} all\text{-}all\text{-}\mathrm{Br}^2(what_d, most)(\text{PERSON}, \mathrm{T})(\mathrm{C}^{-1}) \Leftrightarrow \\ \mathrm{W}_1 \subseteq \text{PERSON} \wedge (\mathrm{W}_1)_{uc} = \varnothing \wedge \exists \mathrm{W}_2\ (\mathrm{W}_2 \subseteq \mathrm{T} \wedge |\mathrm{W}_2| / |\mathrm{T}| > 0.5 \\ \wedge <\mathrm{W}_1, \mathrm{W}_2>\text{是使得}\mathrm{W}_1 \times \mathrm{W}_2 \subseteq \mathrm{C}^{-1}\text{成立的极大集合对}) \end{gathered}$$

这里要对上式作几点说明。首先，由于我们以充当宾语的“who”取宽域，(61)的主、宾语在上式中对调了次序，所以上式要用谓词 C (代表“criticize”)的逆 C^{-1} (代表“be criticized”)。其次，在上式中，“极大”体现了解答的强穷尽性，这个条件规定解答必须是满足“*all-all* 条件”的极大集。

可是上式仍不是我们要求的公式，这是因为上式含有不受约束的变项 W_1，而且其形式跟附录 B 的圆解性条件不一样。由于在上式中，“$W_1 \subseteq$ PERSON”和“$\exists W_2(...)$”可被看成 W_1 的限制条件，可以把上式改为：

(63)
$$\begin{gathered} all\text{-}all\text{-}\mathrm{Br}^2(what_d, most)(\text{PERSON}, \mathrm{T})(\mathrm{C}^{-1}) \Leftrightarrow \\ \{x\text{: } x \in \mathrm{W}_1 \wedge \mathrm{W}_1 \subseteq \text{PERSON} \wedge \exists \mathrm{W}_2\ (\mathrm{W}_2 \subseteq \mathrm{T} \wedge |\mathrm{W}_2| / |\mathrm{T}| > 0.5 \\ \wedge <\mathrm{W}_1, \mathrm{W}_2>\text{是使得}\mathrm{W}_1 \times \mathrm{W}_2 \subseteq \mathrm{C}^{-1}\text{成立的极大集合对})\}_{uc} = \varnothing \end{gathered}$$

---

15 Liu (1997), Ch. 6, (39b), p. 126。

上式就是(61)的圆解性条件。

3.6.3 累指疑问量词

G-R (1999)讨论了以下疑问句，并认为下句有一种累指解[16]：

(64) Which boys did the dogs bite?

在这种解读下，(64)期望以下这类解答[17]：

(65) Fido and Lassie bit John and Bill.

(65)的意思为 Fido 和 Lassie 是咬了男孩的狗，而 John 和 Bill 则是被狗咬了的男孩，但没有说明谁被哪只狗咬。根据附录 A，可以把(64)中的量词处理成"*some-some* 分枝量词"。仿照上一小节的处理方法，只要把附录 A 的(A53)作适当修改，便可得到(64)的圆解性条件：

(66)
$$\begin{gathered}\textit{some-some}\text{-Br}^2(\textit{which, the})(\text{BOY, DOG})(\text{BITE}^{-1}) \Leftrightarrow \\ \{x\text{: } x \in W_1 \wedge W_1 \subseteq \text{BOY: } \exists W_2\ (X \cap \text{DOG} \subseteq W_2 \wedge \langle W_1, W_2\rangle \text{是使得} \\ \forall x_1 \in W_1\ \exists x_2 \in W_2\ (\text{BITE}^{-1}(x_1, x_2)) \wedge \forall x_2 \in W_2\ \exists x_1 \in W_1\ (\text{BITE}^{-1}(x_1, x_2)) \\ \text{成立的极大集合对})\}_{\text{uc}} = \varnothing\end{gathered}$$

理论上，我们还可以讨论含分枝解或累指解的多重疑问句，但这可能同时涉及"分枝"和"概括"这两种运算。由于这将牵涉复杂的问题，本文不拟讨论这些疑问句。

3.7 强穷尽选择问句与是非问句

3.7.1 选择问句

至今我们只讨论了特指问句，本小节将讨论其余两种常用的疑问句："选择问句"(alternative question)和"是非问句"(polar question)。事实上，选择问句可以改写为以"which of"作为疑问词的特指问句，例如[18]：

(67) Does John or Bill love Mary? ≡ Which of John and Bill loves Mary?

---

16 G-R (1999), (37b), p. 12。

17 选自 G-R (1999), (44a), p. 13，略有改编。

18 (67)左端的疑问句有歧义，既可看成选择问句，又可看成含析取名词短语的是非问句。在汉语中，可以使用选择疑问句标记"还是"或者析取标记"或"来消解(67)的部分歧义。

因此，选择问句的语义跟含疑问量词“$what_d$”的特指问句很相似，这些疑问量词的第一论元就是由相应选择问句所提供的选项组成的集合。举例说，(67)的三分结构和圆解性条件便可以写成

(68) $what_d(\{j, b\})(\{x: LOVE(x, m)\}) \Leftrightarrow (\{j, b\} \cap \{x: LOVE(x, m)\})_{uc} = \varnothing$

在自然语言中，选择问句可分为两大类，各自对应着两类析取命题：“相容”(inclusive)选择问句和“不相容”(exclusive)选择问句，前者容许解答包含多于一个选项，而后者只容许解答包含一个选项，例子如

(69) Did Obama or McCain win the presidential election?

以上把选择问句分析成包含“which of”的特指问句，主要是就“相容选择问句”而言的。本文无意为“不相容选择问句”作独立的语义分析，只是假设“相容选择问句”是选择问句的基本类别，个别选择问句所含有的不相容语义可用语用因素或世界知识来解释。

3.7.2 是非问句

是非问句类似一个含两个选项(“yes” / “no”)的“不相容”选择问句，但这样理解是非问句却不太直观。让我们回顾选择问句(67)和以下的是非问句(70)：

(67) Does John or Bill love Mary?
(70) Does John love Mary?

(67)的圆解性条件(68)实际是对两个真值[LOVE(j, m)]和[LOVE(b, m)]的运算。如果把这个观点套用于(70)，那么(70)的圆解性条件也将是对两个真值[LOVE(j, m)]和[~LOVE(j, m)]的运算。可是从直观上说，(70)只是在求真值[LOVE(j, m)]，与[~LOVE(j, m)]无直接关系。由此可见，上述观点把是非问句的语义分析复杂化了[19]。为避免这个问题，我们把是非问句处理成一种带有特殊算子“*whether*”的疑问句，这个算子的作用是询问是非问句的相关陈述句的真值。举例说，(70)的相关陈述句就是“John loves Mary”。

我们把(70)的形式化表达式写成

[19] 我们并不排除自然语言中有包含命题正反形式的选择问句，例如徐杰(2001)便指出“你去还是不去”是真正的选择问句，并且认为这句跟正反问句“你去不去”互相独立，两者不可混淆。

(71) $whether(\text{LOVE}(j, m))$

请注意这里应把“*whether*”看成一个作用于命题“LOVE(j, m)”的算子而非疑问量词。由于一个是非问句是圆解的当且仅当其相关陈述句已知为真或假，容易写出是非问句的圆解性条件如下：设 *whether*(p)为是非问句，p 为相关的陈述句，那么

(72) $[whether(p)] = 1 \Leftrightarrow [p] \notin UC$

不过，上述表达式没有反映是非问句的焦点结构。根据温锁林、雒自清(下称温雒)(2000)和尹洪波(2008)，汉语的是非问句像特指问句那样都有焦点，这个焦点可根据语境、重音或焦点标记“是”来确定，如以下例句所示[20]：

(73) 是[你们]$_F$昨天去找李先生的吗？

如果焦点落在宾语上，有时还要把句子改写为“伪分裂句”(pseudo-cleft sentence)，以便用“是”字突出焦点[21]：

(74) 你昨天去找的是[李先生]$_F$吗？

我们认为上述分析也适用于英语的是非问句。举例说，在英语中也可以用分裂句来突出焦点：

(75) Is it [Mary]$_F$ who is loved by John?

为了反映是非问句的焦点结构，以下借用 Krifka (2006)表达句子焦点结构的方法。在 Krifka (2006)的结构化意义语义学框架下，句子的焦点结构被表达为三元组<F, A, B>，其中 F 为焦点、A 为选项集(alternative set)，而 B 则是背景，表现为从句子中抽去焦点后的 λ 表达式。在本文中，我们略去 A，并把 B 写成集合而非 λ 表达式[22]，F 也会被表达为集合。这样，F 与 B 的关系就是 $F \subseteq B$。以(75)为例，该句的 F 和 B 分别是{m}和{x: LOVE(j, x)}，因此(75)的形式化表达式和圆解性条件便是

(76) $[whether(\{m\} \subseteq \{x: \text{LOVE}(j, x)\})] = 1 \Leftrightarrow [\{m\} \subseteq \{x: \text{LOVE}(j, x)\}] \notin UC$

---

[20] 温雒(2000)，(4 A1)，p.37。
[21] 温雒(2000)，(5 A2)，p.37。
[22] λ 表达式实质上是一个函项，而在集合论中，函项又可被看成集合。

接着讨论是非问句的两种解答，设 *whether*(p)为是非问句，p 为相关的陈述句，那么 *whether*(p)的 CA 公式可以表达为

(77) $$CA = [p]$$

在自然语言中，这个值可以表现为不同的词项，例如英语的“yes”(对应着[p] = 1)和“no”(对应着[p] = 0)。*whether*(p)的 SA 公式则可表达为

(78) $$SA = \begin{cases} p, & 若[p] = 1 \\ \sim p, & 若[p] = 0 \end{cases}$$

在自然语言中，是非问句的 SA 常常表现为前述(77)和(78)结合的形式，例如(70)的一个可能 SA 便是

(79) No, John does not love Mary.

不过，这种结合形式不是必需的，所以本文仅以(78)作为是非问句的 SA 公式。

3.7.3 汉语的“吗”字疑问句与正反问句

汉语有两种标准的是非问句：以句末助词“吗”为标志的“吗”字疑问句和以“A 不 A”格式(其中 A 代表谓语，“不”为否定词，在某些情况下“不”可为另一个否定词“没”取代)为标志的“正反问句”(A-not-A question)[23]。表面上，正反问句跟以“A”和“不 A”为选项的选择问句很相似。可是，徐杰(2001)认为应把正反问句视为通过一种特殊形态变化产生的是非问句，这种形态变化就是“正反重叠”，即重叠谓语并在重叠项之间插入否定语素。换句话说，正反问句跟“吗”字疑问句的区别在于，它们是透过重叠而非添加句末助词产生的是非问句。

为支持其论点，徐杰(2001)指出中国部分少数民族语言和方言是以“正正重叠”的方式构造是非问句，例如[24]：

(80) 你去去？ (= 你去吗？) (彝语)
(81) 这是是你的东西？ (= 这是你的东西吗？) (招远话)
(82) 你会会？ (= 你会吗？) (长岛话)
(83) 你看扫得干干净？ (= 你看扫得干净吗？) (于都客家话)

---

[23] 汉语还有第三种是非问句－仅用升调及／或问号而无其它疑问标记的疑问句。可是，这类是非问句常常出现于反问句或设问句中，在标记性(markedness)方面它们跟普通是非问句有点不同，因此本文不把这类疑问句归入标准是非问句之列。

[24] 徐杰(2001), Ch. 7, (24), p. 178; (35), p. 180; (39), p.180; (50), p. 181。

当然，汉语有些方言跟普通话一样也是以“正反重叠”的方式构造是非问句，例如：

(84) 你去唔去？ (= 你去吗？) (广州话)

从语言类型学的角度看，我们应把(80) – (84)视为同一类语言现象。由于(80) – (83)在表面上跟选择问句毫不相象，把正反问句看成是非问句而非选择问句是较为合适的。

黄正德(1988)也研究了正反问句的性质问题[25]，他认为特指问句与正反问句的深层结构都有一个[+Q]属性，对于特指问句而言，这个[+Q]出现在名词性或副词性短语中，表现为疑问词；对于正反问句而言，[+Q]则出现在功能语类 INFL 中，表现为“正反重叠”。因此特指问句与正反问句的区别仅在于，前者询问名词性或副词性短语的内容，后者则询问 INFL 的内容。由于生成语法在某个时期曾把句子视为以 INFL 为中心语的短语(即所谓 IP)，“询问 INFL 的内容”的意思就是就全句提问，也就是是非问句的语义功能。因此，尽管黄正德(1988)基于正反问句与“吗”字疑问句在句末助词选择上的差异而主张把这两种疑问句视为不同类，但从语义上看，这两种疑问句的差别其实不大，都应被归入是非问句。

黄正德(1988)也引用了一些方言的例子，指出某些方言在主语和谓语之间(也就是前述的 INFL 位置)使用一些特殊词语来构成疑问句，正好对应着普通话中同一句法位置的“正反重叠”，例如以下闽南话的“kam” (相当于早期白话的“可”字)和苏州话的“阿”字[26]：

(85) li kam beh lai? (= 你可要来？) (闽南话)
(86) 耐阿晓得？ (= 你知道吗？) (苏州话)

黄正德(1988)引用上述例子，是要佐证他的 INFL 位置[+Q]属性说。可是，在我们看来，这些例子却正好显示正反问句与是非问句具有交叉重叠的关系。一方面，前述特殊词语“可”、“阿”等都属于虚词，因此它们虽非位于句末，但却跟同属虚词的句末助词“吗”相近，而跟形态变化形式“正反重叠”不相近。另一方面，某些方言中含特殊词语的疑问句究竟是相当于普通话的正反问句还是“吗”字疑问句，有时不易分辨。邵敬敏(1996)便提到上海话的“o 伐”字，例见以下句子[27]：

(87) 伊吃饭o伐？(= 你吃饭吗？) (上海话)

[25] 黄正德(1988)把正反问句分为“A 不 AB”和“AB 不 A”型两类，并认为这两类正反问句各由不同的句法规则生成，这里只介绍他关于“A 不 AB”型正反问句的理论。
[26] 黄正德(1988), (102), (104a), p.258。
[27] 邵敬敏(1996), p.113。

《简明吴方言词典》认为“o 伐”字相当于普通话的“吗”字，而邵敬敏(1996)却认为含“o 伐”字的疑问句相当于正反问句。不论谁是谁非，“吗”字疑问句与正反问句的界限显然是模糊的，因此把它们归为同一类应比分作两类较为恰当。

3.8 非穷尽疑问量词

3.8.1 圆解性条件与圆满解答

在本小节，我们把本文的理论框架扩展至非穷尽疑问量词。尽管如 2.2 小节所述，很多强穷尽疑问量词在某些情况下具有非穷尽语义，本小节将只集中讨论带有外显非穷尽标记的疑问词，例如“who … for example”，这个疑问词将被表达为非穷尽疑问量词“(*at least who*)”，其三分结构为

(88) $(\textit{at least who})(–)(A)$

跟“*who*(–)(A)”不同，(88)在以下两种情况下有圆满解答：(1) U 有至少一个元素已知属于 PERSON ∩ A；(2) U 中所有元素都已知为不属于 PERSON ∩ A。据此可以把(88)的圆解性条件确定为：

(89) $(\textit{at least who})(–)(A) \Leftrightarrow (\text{PERSON} \cap A)_1 \neq \varnothing \vee (\text{PERSON} \cap A)_0 = U$

请注意上式右端的两个析取项分别表达上面的(1)和(2)。

接着推导(88)的 CA 公式。由于对非穷尽疑问句而言，其 CA 并不唯一，以下将提供所有可能 CA，把它们组成一个集合，例如(88)的 CA 便可以表达为[28]：

(90) $$\text{CA} \in \begin{cases} \{Y: \varnothing \neq Y \subseteq (\text{PERSON} \cap A)_1\}, & \text{若}(\text{PERSON} \cap A)_1 \neq \varnothing; \\ \{\varnothing\}, & \text{若}(\text{PERSON} \cap A)_1 = \varnothing \end{cases}$$

上式是一个“分段定义函数”(piecewise-defined function)，说明在两个不同情况下 CA 的形式。这个函数是说，如果$(\text{PERSON} \cap A)_1 = \varnothing$，即没有人属于 A，那么 CA 应为“nobody”，在集合论上记作∅。如果$(\text{PERSON} \cap A)_1 \neq \varnothing$，那么$(\text{PERSON} \cap A)_1$的每个非空子集，即任何满足 $\varnothing \neq Y \subseteq (\text{PERSON} \cap A)_1$ 的集合 Y，都是可接受的 CA，所以我们把这些 Y 组成一个集合，而 CA 可以是这个集合中的任何一个成员。其他非穷尽疑问量词的圆解性条件及 CA 公式载于附录 C。

[28] 请注意(90)中的“CA ∈ {∅}”实际上等同于“CA = ∅”，这里为了统一表达方式，所以采取前一种写法。

这里有必要解释一下附录 C 中的四个疑问量词："(*at least how many*)"、"(*at most how many*)"、"(*more than how many*)"和"(*fewer than how many*)"。B&R (1999) 研究了上列首两个疑问量词，认为它们具有非穷尽性，因为这些疑问量词容许多于一个 CA。不过，由于语用方面的限制，这些 CA 的选择实际上是有限制的。试看以下疑问句[29]：

(91) How many people were there at least?

上述疑问句虽然容许多于一个 CA，但并非任何自然数都是可接受的 CA。一般来说，这类疑问句的解答都有一个可接受的范围，而这个范围是由语用因素确定的。其实，其他疑问句也有类似的情况。以"Who sang"为例，虽然如前所述，这个疑问句的 CA 是 PERSON ∩ SING，但这并不是说这个 CA 包含世界上所有唱歌的人，而是仅包含某个论域内唱歌的人。同理，(91)的 CA 也并非包含所有满足以下不等式的自然数 n：

(92) $$n \leq |\text{PERSON} \cap \{x\text{: x was there}\}|$$

而是仅包含某个可接受范围内满足上式的自然数，在附录 C 我们把这个可接受范围记作 N*，而包含"(*at least how many*)"的疑问句的的圆解性条件和 CA 公式都包含这个 N*。除了"(*at least how many*)"外，上述其余三个疑问量词也是如此。

最后考虑(88)的 SA，我们可以使用其 CA 在某语义模型下的具体值 Y 以及附录 D 求出。不过，正如 CA 一样，非穷尽疑问句的 SA 也可能不唯一，表现为一个由命题组成的集合。

3.8.2 计算范例

以下提供一个计算范例以说明上述概念和公式的应用。首先定义语义模型 M_3：

$$U = \{a, b, c, d\}$$
$$\text{PERSON} = \{1/a, 0/b, 1/c, 1/d\}$$
$$\text{SING} = \{1/a, 1/b, 0.5/c, 1/d\}$$

设有疑问句"Who sang for example"，其三分结构为"(*at least who*)(–)(SING)"。我们首先就 U 中每个元素 x，计算[x ∈ PERSON ∩ SING]如下：[a ∈ PERSON ∩ SING] = 1，[b ∈ PERSON ∩ SING] = 0，[c ∈ PERSON ∩ SING] = 0.5，[d ∈

[29] B&R (1999), (98b), p. 288。原文为德语并有英译，为便于行文，这里只引用其英译。

PERSON $\cap$ SING] = 1。根据以上计算结果，有(PERSON $\cap$ SING)$_1$ = {a, d} $\neq \varnothing$，由此根据(89)，可知[(*at least who*)(–)(SING)] = 1。其次，由于

(93) $\{Y \subseteq U: \varnothing \neq Y \subseteq (\text{PERSON} \cap \text{SING})_1\} = \{\{a\}, \{d\}, \{a, d\}\}$

根据(90)，我们有

(94) $CA \in \{\{a\}, \{d\}, \{a, d\}\}$

利用(94)以及附录 D，可以求出“(*at least who*)(–)(SING)”的 SA 为

(95) SA $\in$ {*a*(–)(SING), *d*(–)(SING), (*a and d*)(–)(SING)}

在附录 B 和 C 中，我们列出了一些疑问量词，这些疑问量词之间的关系可以概括为以下定理：

定理 2： (a) *who*(–)(~A) ≡ (*everybody except who*)(–)(A)
(b) $what_n$(–)(~A) ≡ (*everything except* $what_n$)(–)(A)
(c) $what_d$(A)(~B) ≡ (*all except* $what_d$)(A)(B)
(d) *which*(A)(~B) ≡ (*all except which*)(A)(B)
(e) (*how many*)(A)(~B) ≡ (*all except how many*)(A)(B)
(f) (*what proportion of*)(A)(~B) ≡ (*all except what proportion of*)(A)(B)
(g) *who*(–)(A) ≡ $what_d$(PERSON)(A)
(h) $what_n$(–)(A) ≡ $what_d$(THING)(A)
(i) *which*(A)(B) ≡ $what_d$(X $\cap$ A)(B)
(j) (*at least who*)(–)(A) ≡ (*at least* $what_d$)(PERSON)(A)
(k) (*at least* $what_n$)(–)(A) ≡ (*at least* $what_d$)(THING)(A)
(l) (*at least which*)(A)(B) ≡ (*at least* $what_d$)(X $\cap$ A)(B)

3.8.3 析取疑问句与选答解

G&S (1989)认为除了合取疑问句外，疑问句还有另一种并列形式ー“析取疑问句”(disjoined interrogative)，尽管并非所有学者都认为这是自然语言中一种重要(或甚至真正存在)的现象。根据 G&S (1989)，析取疑问句让人选择解答哪一个析取项。因此，析取疑问句的解答并不唯一，从这一点看这类疑问句也具有非穷尽性。比如说，以下疑问句便有三种可能解答[30]：

[30] G&S (1989), (6), p. 431。

(96) Whom does John love? Or, whom does Mary love?
- John loves Suzy and Bill.
- Mary loves Bill and Peter.
- John loves Suzy and Bill, and Mary loves Bill and Peter.

不过由于上句的两个析取项包含强穷尽疑问量词“*who*”，这两个析取项本身又是强穷尽疑问句。

在本文的框架下，析取疑问句的圆解性条件可被简单定义为其析取项圆解性条件的析取。举例说，(96)的圆解性条件便可以写成

(97)
$$(\mathrm{PERSON} \cap \{x \in U: \mathrm{LOVE}(j, x)\})_{uc} = \varnothing$$
$$\vee\ (\mathrm{PERSON} \cap \{x \in U: \mathrm{LOVE}(m, x)\})_{uc} = \varnothing$$

请注意(97)是非穷尽性与强穷尽性的特殊结合，其中非穷尽性由析取词“$\vee$”体现，强穷尽性则由圆解性条件“$(\ldots)_{uc} = \varnothing$”体现。

非穷尽性也可见于某些包含析取名词短语的疑问句，例如[31]：

(98) Whom does John or Mary love?

根据 G&S (1989)，(98)至少有两种解读。在其中一种解读(即个体解)下，(98)等同于

(99) Who are such that John or Mary loves them?

在另一种解读下，(98)等同于(96)，即一个析取疑问句。

G&S (1989)还讨论了另一类疑问句[32]：

(100) What did (exactly) two of John’s friends give him for Christmas?

跟(98)相似，(100)也有两种解读，这里要讨论的是其“选答解”(choice reading)。在这种解读下，(100)等同于

[31] G&S (1989), (7), p. 431。
[32] 选自 G&S (1989), (8), p. 431，略有改编。

(101) Name any two of John's friends and for each such friend x, what did x give John for Christmas?

在上述解读下，(100)的解答是从 John 的已知朋友集合中选择一个二元子集，然后针对这个子集作出解答，故称"选答解"。请注意(101)的后半部与(41)的后半部很相似，所以"选答解疑问句"其实包含着"串列解疑问句"的因素。另一方面，由于这种"选答解疑问句"包含"选答"成分，所以它们又像析取疑问句那样具有非穷尽性。此外，(101)也预设了 John 有至少两个朋友。由此可见，(101)的语义颇为复杂。鉴于"选答解疑问句"不是自然语言中一种重要(或甚至真正存在)的现象，我们不拟探讨(101)的形式表达[33]。

[33] G-R (1997)和 Krifka (2001b)都认为"选答解疑问句"在自然语言中是颇为少见的现象，一般只出现于课堂问答／考试或问答游戏中。

4. 扩充框架 INFINITY

4.1 从 FIVE 到 INFINITY

前面我们通过把二值逻辑系统扩充为包含五个真值的“双格”，为陈述句和疑问句建构了一个框架－FIVE。在本节，我们将通过把真值模糊化，继续扩充这个框架。我们将放弃陈述句有三个真值{0, 0.5, 1}以及疑问句有两个真值(或称圆解值){0, 1}的假设，并提出新的假设：陈述句和疑问句都以区间[0, 1]作为其真值的取值范围，这个扩充的框架将称为 INFINITY。

透过采纳无限多的真值，可以大大提高本文理论框架的表达力。在 FIVE 中，陈述句可根据其真值划归三个子集：已知为真、已知为假和不知真假的命题集合。在 INFINITY 中，陈述句的真值更为细致，能反映陈述句的各种确定程度。

相应地，疑问句的圆解值也模糊化为无限多个值。因此，疑问句的圆解性已不只两种可能情况，而是有多种不同圆解程度的疑问句。

请注意这里所说的模糊性(vagueness)可以来自两方面：疑问句所包含的谓词和疑问句的可能解答的确定程度。前者的例子如“Who is fat”，在这个疑问句中，“fat”是模糊谓词；后者的例子如“Who sang”，这个疑问句虽然并不包含任何模糊谓词，可是，对这句的可能解答(例如“John sang”、“Bill sang”等)的确定程度却可以是模糊的。以下将主要讨论第二种模糊性。

前面我们讨论了各种疑问句的圆解性条件，把 FIVE 扩充为 INFINITY 后，这些圆解性条件基本维持不变，只需把前面 UC 的定义(9)作如下修改便行了：

(102) $$UC = (0, 1)$$

其中(0, 1)是一个“开区间” (open interval)，包含[0, 1]中所有不等于 1 或 0 的实数。不过，这些圆解性条件只告诉我们疑问句的圆解值在甚么情况下取值为 1。对于圆解值不为 1 的情况，我们需要一种计算圆解值的数值方法。

4.2 特指问句的圆解值

本小节讨论在 INFINITY 下计算特指问句 Q(#)(P)圆解值的方法。在模糊性的形式化研究方面，存在两大理论：由 Zadeh (1965)、Goguen (1969)、Glöckner (2006)、Bergmann (2008)等人发展起来的“模糊数学／逻辑”以及由 Fine (1975)、Kamp (1975)、Keefe (2000)等人发展起来的“超级赋值理论”。前者虽然有数值化

和易于操作的优点，但却不能正确表达某些涉及模糊概念的恒真语句(详见 Keefe (2000)的论述)；后者克服了前者的上述缺点，但传统的超级赋值理论甚少考虑数值化的问题，难以表达无限多的真值。不过，Fermüller and Kosik (2006)指出这两套表面上互不相容的理论其实可以互相融合，本文尝试把 Fermüller and Kosik (2006)的构想转化为现实。

上文介绍了一套在 FIVE 下计算陈述句及疑问句真值的方法，当我们把 FIVE 扩充为 INFINITY 后，这套方法便不再适用，因为现在我们有无限多个真值。但我们无须抛弃上文使用的方法，这是因为我们可以借用 Glöckner (2006)的模糊数值计算方法。利用这套方法，便可以把 INFINITY 下的计算化约为 FIVE 下的计算，具体步骤如下。[34]

设 γ 为[0, 1]内的实数，这个实数称为“截割水平”(cut level)，“截割水平”的作用就是把无限多的真值化约为 1、0.5、0 这三个真值。设 $x \in [0, 1]$，在选定 γ 后，可以用以下“三值截割”(three-valued cut)公式把 x 转换为 $t_\gamma(x)$ [35]：若 $\gamma > 0$，

(103)
$$t_\gamma(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0.5 + 0.5\gamma \\ 0.5, & 0.5 - 0.5\gamma < x < 0.5 + 0.5\gamma \\ 0, & x \leq 0.5 - 0.5\gamma \end{cases}$$

若 $\gamma = 0$，则

(104)
$$t_\gamma(x) = \begin{cases} 1, & x > 0.5 \\ 0.5, & x = 0.5 \\ 0, & x < 0.5 \end{cases}$$

把 x 转化为 $t_\gamma(x)$后，便可以把模糊集合 X 转化为三值集合 X_γ [36]，然后利用前面介绍的超级赋值理论计算特指问句 Q(#)(P)在不同截割水平 γ 下的圆解值 $[Q_\gamma(\#)(P)]$。最后需要把所有这些数值总合为一个数值。根据 Glöckner (2006)，有多种总合的方法，其中一种方法就是使用标准的定积分(definite integral)公式：

(105)
$$[Q(\#)(P)] = \int_{[0, 1]} [Q_\gamma(\#)(P)]d\gamma$$

(105)虽然写成积分形式，但在实际计算中，往往只需考虑有限个 γ 值，而且

[34] Glöckner (2006)的理论虽然以模糊数学为基础，但我们认为，他的数值计算方法在本质上独立于模糊数学的理论框架，所以可以与超级赋值理论融合。
[35] Glöckner (2006), Ch. 7, Def. 7.11, p. 187。
[36] 模糊集合 X 与三值集合 X_γ 的区别在于，对 U 中任何元素 x，$[x \in X]$的值可以取[0, 1]内任何实数，而$[x \in X_\gamma]$的值只可以是 1、0 或 0.5。

$[Q_\gamma(\#)(P)]$在每个 γ 值下为常数，因此上述积分运算常可化约为求和(summation)运算，实际等于求$[Q_\gamma(\#)(P)]$的加权平均数(weighted average)。

至于 Q(#)(P)的 CA，由于现在处理的是模糊集合，我们可以考虑在某一截割水平下的 CA_γ。举例说，设有疑问句“*who*(–)(A)”，那么我们有

(106) $$CA_\gamma = \{x \in U: [x \in PERSON_\gamma \cap A_\gamma] = 1\}$$

4.3 计算范例

以下提供一个计算范例以说明如何在 INFINITY 下计算特指问句的圆解值。首先定义语义模型 M_4：

U = {a, b, c, d}
PERSON = {0.4/a, 0.8/b, 0.5/c, 1/d}
SING = {0.7/a, 1/b, 0/c, 1/d}

设有疑问句“Who sang”，其三分结构为“*who*(–)(SING)”。首先利用(103)或(104)计算不同截割水平 γ 下的圆解值$[who_\gamma(–)(SING)]$。当 $0 \le \gamma \le 0.2$ 时，我们有 $t_\gamma(0) = 0, t_\gamma(0.4) = 0, t_\gamma(0.5) = 0.5, t_\gamma(0.7) = 1, t_\gamma(0.8) = 1, t_\gamma(1) = 1$，因此在这个截割水平下，$M_4$ 的两个谓词常项 PERSON 和 SING 变成以下两个三值集合：$PERSON_\gamma$ = {0/a, 1/b, 0.5/c, 1/d}和 $SING_\gamma$ = {1/a, 1/b, 0/c, 1/d}。利用前述的超级赋值理论，可求得$[who_\gamma(–)(SING)] = 1$。

当 $0.2 < \gamma \le 0.4$ 时，我们有 $t_\gamma(0) = 0, t_\gamma(0.4) = 0.5, t_\gamma(0.5) = 0.5, t_\gamma(0.7) = 1, t_\gamma(0.8) = 1, t_\gamma(1) = 1$，因此在这个截割水平下，我们有三值集合 $PERSON_\gamma$ = {0.5/a, 1/b, 0.5/c, 1/d}和 $SING_\gamma$ = {1/a, 1/b, 0/c, 1/d}。利用超级赋值理论，可求得$[who_\gamma(–)(SING)] = 0$。

当 $0.4 < \gamma \le 0.6$ 时，我们有 $t_\gamma(0) = 0, t_\gamma(0.4) = 0.5, t_\gamma(0.5) = 0.5, t_\gamma(0.7) = 0.5, t_\gamma(0.8) = 1, t_\gamma(1) = 1$，因此在这个截割水平下，我们有三值集合 $PERSON_\gamma$ = {0.5/a, 1/b, 0.5/c, 1/d}和 $SING_\gamma$ = {0.5/a, 1/b, 0/c, 1/d}。利用超级赋值理论，可求得$[who_\gamma(–)(SING)] = 0$。

当 $0.6 < \gamma \le 1$ 时，我们有 $t_\gamma(0) = 0, t_\gamma(0.4) = 0.5, t_\gamma(0.5) = 0.5, t_\gamma(0.7) = 0.5, t_\gamma(0.8) = 0.5, t_\gamma(1) = 1$，因此在这个截割水平下，我们有三值集合 $PERSON_\gamma$ = {0.5/a, 0.5/b, 0.5/c, 1/d}和 $SING_\gamma$ = {0.5/a, 1/b, 0/c, 1/d}。利用超级赋值理论，可求得$[who_\gamma(–)(SING)] = 0$。

最后，把以上结果总合为一个数值：

$$
\begin{aligned}
& [\textit{who}(–)(\text{SING})] \\
= \quad & \textstyle\int_{[0,\,1]} [\textit{who}_\gamma(–)(\text{SING})]d\gamma && \text{根据(105)} \\
= \quad & 1 \times (0.2 – 0) + 0 \times (0.4 – 0.2) + 0 \times (0.6 – 0.4) + 0 \times (1 – 0.6) \\
= \quad & 0.2
\end{aligned}
$$

上述计算结果是合理的，因为在 M_4 中，有这么一个元素“a”，我们非常不确定它是不是人，但却有点确定它是唱歌者，因此我们对“a”是否唱歌的人非常不确定，这导致疑问句“Who sang”只有很低的圆解值。

根据(106)，在 M_4 下“Who sang”的 $CA_\gamma = \{x \in U: [x \in PERSON_\gamma \cap SING_\gamma] = 1\}$，下表列出在不同截割水平 γ 下的 CA_γ：

γ	**CA_γ**
$0 \le \gamma \le 0.6$	{b, d}
$0.6 < \gamma \le 1$	{d}

上表显示随着 γ 值增加，CA_γ 的元素个数可能有所减少，因此截割水平反映了一种对解答的“审慎程度”(cautiousness)，即 γ 值越大，我们对应把哪些元素归入 CA 越审慎。

4.4 是非问句的圆解值

我们可以把 4.2 小节介绍的数值计算方法推广至是非问句 *whether*(p)。设[p] = 0.5，根据(103)和(104)，对 $0 \le \gamma \le 1$，我们有 $t_\gamma(0.5) = 0.5$，因此根据(72)，有[$\textit{whether}_\gamma$(p)] = 0。由此根据(105)，有[*whether*(p)] = 0。

设[p] > 0.5，根据(103)和(104)，当 $0 \le \gamma \le 2([p] – 0.5)$时，我们有 $t_\gamma([p]) = 1$，因此在这个截割水平下，[$\textit{whether}_\gamma$(p)] = 1。当 $2([p] – 0.5) < \gamma \le 1$ 时，我们有 $t_\gamma([p]) = 0.5$，因此在这个截割水平下，[$\textit{whether}_\gamma$(p)] = 0。由此根据(105)，有[*whether*(p)] = 2([p] – 0.5)。

设[p] < 0.5，根据(103)和(104)，当 $0 \le \gamma \le 2(0.5 – [p])$时，我们有 $t_\gamma([p]) = 0$，因此在这个截割水平下，[$\textit{whether}_\gamma$(p)] = 1。当 $2(0.5 – [p]) < \gamma \le 1$ 时，我们有 $t_\gamma([p]) = 0.5$，因此在这个截割水平下，[$\textit{whether}_\gamma$(p)] = 0。由此根据(105)，有[*whether*(p)] = 2(0.5 – [p])。

我们可以把以上结果总结为

$$
(107)\qquad [\mathit{whether}(p)] = \begin{cases} 2([p] - 0.5), & [p] > 0.5 \\ 0, & [p] = 0.5 \\ 2(0.5 - [p]), & [p] < 0.5 \end{cases}
$$

请注意上式是(72)的推广。

4.5 疑问程度的形式表达

把真值模糊化后，我们便有一个形式表达“疑问程度”概念的方法。正如我们在 2.3 小节指出的，汉语有多种表达不同疑问程度的疑问句形式。比如说，以下两个疑问句的命题内容基本上是相同的[37]：

(108) 张三吃面吗？
(109) 张三吃面吧？

这两个疑问句的唯一分别是，在(108)的语境中，“张三吃面”是一个完全不确定的信息；而在(109)的语境中，“张三吃面”一事却是颇为确定的，提出该问题只是为了确认此一事实。

上述的(109)相当于英语中带有偏向性的疑问句(biased question)，Asher and Reese (2007)认为这类疑问句可被看成由两种言语行为加叠而成的“复杂言语行为”(complex speech act)，例如(109)便是疑问与断定加叠而成的结果。当然由于疑问与断定是不同性质的言语行为，两者加叠使得(109)既非纯粹的疑问，亦非纯粹的断定，因此其疑问程度及确定程度低于典型的疑问句和陈述句。

在 INFINITY 下，我们可以透过为(109)增添一个附加语义，以区分(108)和(109)，这个附加语义的作用就是反映(109)的疑问程度。我们将采用邵敬敏(1996)的办法，把“吧”字疑问句的“信”与“疑”分别设定为 3/4 和 1/4，即假设与“吧”字疑问句相关的陈述句的真值至少为 0.75，因此(109)的附加语义是：

$$
(110)\qquad [\text{EAT-NOODLE}(zs)] \geq 0.75
$$

请注意根据(107)，上式保证(109)的圆解值至少为 $2 \times (0.75 - 0.5) = 0.5$，这一点使“吧”字疑问句跟一般是非问句很不同，因为是非问句的圆解值可以在 0 至 1 之

[37] 选自徐张(1985), p. 71，略有改编。

间取值。

利用表 1 提供的数据，便可以把上述分析推广至汉语的各种疑问句，有关结果载于附录 E。不过，我们有必要在这里澄清几点。表 1 列出了七种疑问句的疑问程度，但我们认为，只有在对比命题内容相同的疑问句(例如(108)和(109))时，谈论疑问程度才是有意义的。在表 1 列出的七种疑问句中，“吗”字疑问句与“吧”字疑问句形成对比，而正反问句则与“附加问句”(tag question)形成对比，例见以下疑问句[38]：

(111) 你吃不吃面？
(112) 你吃的面，是不是？

请注意上列四类疑问句都属于是非问句。反之，特指问句和选择问句则没有其它疑问句跟它们形成对比，因此我们不讨论这两类疑问句的疑问程度。

至于“反问句”(rhetorical question)，我们认为其附加语义可以表述为

(113) $$[\sim p] \approx 1$$

其中~p 代表反问句的相关命题的否定，“≈”则代表“接近”[39]。以下讨论部分反问句的“相关命题”。由“吗”字疑问句构成的反问句，例如[40]

(114) 你们能反到天上去吗？
(115) 这不是简单极了吗？

的“相关命题”就是把“吗”字略去后所得的陈述句。比如说，(114)和(115)的“相关命题”就分别是“你们能反到天上去”和“这不是简单极了”。 由此根据(113)，(114)和(115)近似表达以下意思：

(116) 你们不可能反到天上去。
(117) 这是简单极了。

至于由特指问句构成的反问句，我们认为这类反问句中的疑问词可被分析成不定代词，所以这类反问句的“相关命题”就是以这些不定代词取代疑问词后所得的陈述句。举例说，在以下反问句

[38] 徐张(1985), p. 71。
[39] 邵敬敏(1996)把反问句的确定程度定为 1，我们则认为由于反问句具有疑问句的形式，这类疑问句的确定程度并非完全等于 1，而应是接近 1。
[40] 选自邵敬敏(1996), Ch. 11, (54), (60), p. 170，略有改编。

(118)　他有甚么障碍跳不过？

(119)　他怎么会跳不过三号障碍？

中，疑问词“甚么”和“怎么”均可被分析成不定代词，分别为“某个”和“因某个理由”，所以这两个反问句的“相关命题”分别是“他有某个障碍跳不过”和“他会因某个理由跳不过三号障碍”。 由此根据(113)，(118)和(119)近似表达以下意思：

(120)　他没有(一个)障碍跳不过。

(121)　他没有理由会跳不过三号障碍。

汉语还有一种仅以升调及／或问号为标记的是非问句构成的反问句，根據殷树林(2006)，这类反问句常常带有某些加强反问语气的词语，例如“难道”、“莫非”、“岂”等，这类反问句的“相关命题”就是略去升调及／或问号以及这些词语后所得的陈述句。例如

(122)　难道是爸爸骗了你？

的“相关命题”就是“是爸爸骗了你”。 由此根据(113)，(122)近似表达以下意思：

(123)　不是爸爸骗了你。

5. 推理模式

5.1 研究范围

本节将讨论疑问句的推理模式。在介绍各种疑问推理前，须先界定本节的研究范围。首先，尽管本文定义了一套以三分结构为特征、可用来表述陈述句和疑问句的形式语言，以及各种疑问句的语义解释和计算真值的数值方法，而且还使用形式化的方法来证明某些疑问句的推理模式(详见附录 K)，但本文的主旨并非建构问题逻辑系统或计算推理系统。因此本节不拟讨论一般逻辑学“模型论”(Model Theory)和“证明论”(Proof Theory)所研究的课题，例如问题逻辑系统的“公理化”(axiomatization)和“元逻辑性质”(metalogical property)、问题逻辑与谓词逻辑的关系、问题推理的一般证明方法等，也不拟讨论疑问句推理的计算语义学理论或电脑实现问题。

本文的着眼点是自然逻辑，在 2.4 小节，我们提过自然逻辑的推理包括传统的三段论推理和对当推理以及当代的单调性推理和对偶性推理。以上这些推理都是本节的研究对象。此外，本节还会把上一章讨论过的“梯级推理”推广至疑问句，这些推理可归入语用推理的范畴。

其次，根据 Bergmann (2008)，模糊逻辑至少有两个不同的衍推概念。第一个概念简单称为“衍推”(entailment)，只适用于真值为 1 的命题，其定义如下：设 p、p’为命题，则

(124) p衍推p’当且仅当对任何模型而言，$[p] = 1 \Rightarrow [p'] = 1$

上述定义实际上就是谓词逻辑中常用的衍推定义。第二个概念称为“程度衍推”(degree-entailment)，比前一个概念更为一般，其定义如下：设 p, p’为命题，则

(125) p程度衍推p’当且仅当对任何模型而言，$[p] < [p']$

因此，这个概念适用于真值不为 1 的命题，例如模糊命题。不过由于(125)比(124)包含更多可能情况，“程度衍推”的证明比普通“衍推”的证明困难得多，因此本文只会研究衍推的问题。

5.2 疑问衍推关系与等价关系

正如上一小节所述，我们把疑问衍推关系(沿用谓词逻辑的衍推符号“⇒”)的

定义建基于(124)：设 q 和 q'为疑问句，则

(126) $q \Rightarrow q'$当且仅当对任何模型而言，$[q] = 1 \Rightarrow [q'] = 1$

其中 q 称为"前提"(premise)，q'称为"后承"(consequence)。从(126)，容易得到疑问等价关系(沿用谓词逻辑的等价符号"⇔")的定义：

(127) $q \Leftrightarrow q'$当且仅当对任何模型而言，$[q] = 1 \Leftrightarrow [q'] = 1$

根据上述定义，可以推导出疑问句之间的某些推理关系。首先我们有以下疑问衍推关系和等价关系：

定理 3： $what_d(A)(B) \Rightarrow (at\ least\ what_d)(A)(B)$
定理 4： $what_d(A)(B) \Rightarrow whether(some(A)(B))$
定理 5： $whether(p) \Leftrightarrow whether(\sim p)$

请注意我们可以利用定理 2 中各疑问量词的关系把定理 3 和 4 中的"$what_d$"改为其他疑问量词，但要作适当调整，以下其他定理也是如此。比如说，如果把定理 4 中的"$what_d$"改为"(*all except which*)"，便要把"⇒"右端的"*some*(A)(B)"相应改为"(*some of the*)(A)(~B)"。

从上述定理(及其推广)可以得到以下疑问推理实例：

(128) Which boy sang? ⇒ At least which boy sang?
(129) What animal does John like? ⇒ Does John like any animal?
(130) 张三唱歌了吗？ ⇔ 张三没有唱歌吗？

这里有必要对上面的例子作一些解释。首先，在(129)中，"any"应被视为等同于"some"。其次，我们在(130)中使用汉语的例子，这是因为根据某些对比语言学研究，汉语"否定疑问句"[41]的解答必须针对否定词。因此，如果"张三"确有唱歌，那么对(130)中的否定疑问句的解答应为"不"，就这一方面而言，汉语较符合逻辑。此外，(130)应被视为含有否定谓语的普通"否定疑问句"而非"反问句"，否则(130)的等价关系便不成立。

5.3 答问关系

[41] "否定疑问句"中的"否定"是指"内部否定"，即对谓语的否定。在下文 5.6.1 小节，我们会证明疑问句不可能有"外部否定"。

N&F (2000b, 2002)把"答问关系"(answerhood)解释成一种陈述-疑问衍推关系。设 p 为陈述句，q 为疑问句，那么根据他们的理论，

(131)　　如果p是q的SA，则$p \Rightarrow q$，即对任何模型而言，$[p] = 1 \Rightarrow [q] = 1$

换句话说，疑问句是其圆满句子解答的后承。举例说，我们有以下定理：

定理 6:　$what_d^{Y}(A)(B) \Rightarrow what_d(A)(B)$，其中 Y 为明晰集合
定理 7:　$(at\ least\ what_d)^{Y}(A)(B) \Rightarrow (at\ least\ what_d)(A)(B)$，其中 Y 为明晰集合
定理 8:　$p \Rightarrow whether(p)$

以下是上述定理的实例：

(132)　No boy sang. ⇒ Which boy sang?
(133)　John sang. ⇒ At least which boy sang?
(134)　John did not sing. ⇒ Did John sing?

根据(131)，"p ⇒ q"是"p 是 q 的 SA"的必要条件。换句话说，可以透过证明"p ~⇒ q"来证明"p 不是 q 的 SA"。比如说，由于[42]

(135)　John was a person who sang. ~⇒ Who sang?

为证明(135)，我们构造以下语义模型：

U = {j, m}
PERSON = {1/j, 1/m}
SING = {1/j, 0.5/m}

利用超级赋值理论，一方面可以求得$[j \in PERSON \cap SING] = 1$。由此根据(A28)，得$[John(–)(PERSON \cap SING)] = 1$。另一方面亦可求得$[m \in PERSON \cap SING] = 0.5$，因此$(PERSON \cap SING)_{uc} \neq \varnothing$，由此根据附录 B，得$[who(–)(SING)] \neq 1$。综合以上结果，(135)得证。

[42] (135)显示了陈述量词与疑问量词无标记语义的不对称性，这种不对称性是由于广义量词理论和 G&S (1984)的强穷尽疑问句理论各有不同假设而造成的。举例说，在广义量词理论下，"*John*"的无标记语义是"at least John"；而在 G&S (1984)的理论下，"*who*"的无标记语义却是"exactly who"。

总括而言，N&F (2002)统一了陈述句衍推关系、疑问句衍推关系和答问关系这三种关系，统称为“广义衍推关系” (generalized entailment)。不过，正如 N&F (2002)指出的，陈述-疑问衍推关系这个概念过于宽泛，把一些非答问关系也包括进去。举例说，N&F (2002)证明了，若 p 为命题，则[43]

(136) $$p \vee \sim p \Rightarrow \textit{whether}(p)$$

这个衍推关系显然并不代表任何答问关系，因为我们不会接受“John either sang or did not sing”作为“Did John sing”的一个圆满解答。

其实，N&F (2002)举出的例子还不是最严重的例子，因为“$p \vee \sim p$”尚可被看成对“*whether*(p)”的某种“真但无意义的”解答。更严重的是，任何“准矛盾命题” (quasi-contradiction)，即真值永不为 1 的命题，例如“$p \wedge \sim p$”，都满足以下衍推关系(其中 q 代表任意疑问句)：

(137) $$p \wedge \sim p \Rightarrow q$$

这是因为[$p \wedge \sim p$]永不为 1，因此根据“$\Rightarrow$”的定义，(137)必然真。上述例子显示，我们不能以“$p \Rightarrow q$”作为“p 是 q 的 SA”的充分条件，因此我们只能把(131)写成单向条件而非双向条件。

5.4 三段论推理

接着讨论包含多于一个前提的衍推关系，在逻辑学上这类推理一般称为“三段论”(更确切地说，应为“多段论”)。有关三段论的简介，请参阅附录 F。在本小节，我们研究疑问三段论，这类三段论的前提可包含陈述句或疑问句，而其后承则必须为疑问句。基于(126)，可以把疑问三段论定义如下：设 $p_1 \ldots p_n$ 为陈述句，$q_1 \ldots q_m$、q’为疑问句，那么

(138) $p_1 \wedge \ldots \wedge p_n \wedge q_1 \wedge \ldots \wedge q_m \Rightarrow q'$当且仅当对任何模型而言，
$[p_1] = 1 \wedge \ldots \wedge [p_n] = 1 \wedge [q_1] = 1 \wedge \ldots \wedge [q_m] = 1 \Rightarrow [q'] = 1$

从上述定义，可以推导出以下疑问三段论模式：

定理 9： (给定条件：$A \subseteq M$)
$\textit{what}_d(M)(B) \wedge \textit{what}_d(M)(A) \Rightarrow \textit{what}_d(A)(B)$

定理 10： $(\textit{what proportion of})(A)(B) \wedge (\textit{what proportion of})(A \cap B)(C) \Rightarrow$

[43] N&F (2002), (10), p. 53。

$(\textit{what proportion of})(A)(B \cap C)$

定理 9 和 10 中的推理模式在形式上分别类似于附录 F 中提到的某个传统三段论格式(F1)和 Zadeh (1983)提出的“交积三段论”(F3)。惟请注意，定理 9 的推理模式依赖于一个给定条件，而这个给定条件实际上相当于一个附加前提，其地位类似某些传统三段论的“存在假设”(参见 F1)。

此外，如果把定理 9 中的集合 A 改为独元集{x}，便可得到该定理的变体：

定理 11： (给定条件：$x \in M$)

$$what_d(M)(B) \Rightarrow whether(x(–)(B))$$

以下是定理 9－11 的实例：

(139) (给定条件：All boys are persons.)

Who sang? ∧ Who are the boys? ⇒ Which boy sang?

(140) What proportion of students are single?

∧ What proportion of single students are male?

⇒ What proportion of students are single and male?

(141) (给定条件：John is a boy.)

Which boys sang? ⇒ Did John sing?

以上只是对疑问三段论的初步探讨，至于如何找出所有有效的疑问三段论，尚有待深入研究。

5.5 单调性推理

5.5.1 强穷尽疑问量词

单调性是广义量词理论深入研究的一种量词性质，根据这种性质，可以推导出单调性推理，有关这类推理的简介，请参阅附录 G。G-R (1997)研究了疑问量词单调性的问题，他提出所有疑问量词都在其谓词性论元上呈递减性，藉以解释疑问句的负极允准性质，因为根据某些学者，递减性是所有负极允准语境的共同特征。

G-R (1997)把疑问量词的递减性定义为[44]：设 Q 为<1>型疑问量词，那么 Q 是递减的当且仅当

[44] 选自 G-R (1997)的定义 39 及 40，略有改编。G-R (1997)使用“subsumption”这个术语来指称两个疑问句的 CA 之间的母集关系。

(142) $\forall A, A' \subseteq U$ (给定$A \supseteq A'$，则Q(–)(A)的CA $\supseteq$ Q(–)(A')的CA)

根据上述定义，“*who*”是递减的，这可以从以下事实得到验证：设吸雪茄烟是吸烟行为的子类，那么“Who smoked”的 CA 就是“Who smoked cigars”的 CA 的母集。从另一角度看，“Who smoked cigars”是比“Who smoked”更具体的疑问句。因此，在 G-R (1997)的定义下，疑问量词的递减性反映了如下事实：当你把某疑问句的论元换成其子集时，你会得到一个更具体的疑问句。

可是，G-R (1997)的上述定义(142)跟广义量词理论一般的递减性定义(G2)在形式上不相同，而且跟本文采用的疑问句衍推关系的定义不相容。因此，我们不采纳 G-R (1997)的上述定义，并假设疑问量词的单调性定义跟陈述量词相似。举例说，<1>型疑问量词的递增和递减性定义便应分别具有(G1)和(G2)的形式，只需把(G1)和(G2)中的 Q 重新理解为疑问量词便可。

根据周家发(2006)，带有“exactly”语义的陈述量词，例如“(*exactly n*)”，在其所有论元上都是非单调的。由于所有强穷尽单式疑问量词都有“exactly”的语义，它们在其所有论元上也应是非单调的，即

定理 12： (a) *who*, (*everybody except who*), $what_n$, (*everything except* $what_n$) ∈ MON–
(b) $what_d$, (*all except* $what_d$), *which*, (*all except which*), *whose*, (*how many*), (*all except how many*), (*what proportion of*), (*all except what proportion of*) ∈ –MON–
(c) (*how many more … than …*), (*how many times as many … as*) ∈ – –MON–

5.5.2 非穷尽疑问量词

本小节讨论非穷尽单式疑问量词的单调性，首先考虑附录 C 中首五个疑问量词。虽然这些疑问量词都带有“at least”的语义，但它们的语义较陈述量词“(*at least n*)”复杂。比如说，疑问句“(*at least who*)(–)(A)”便等同于

(143) Name at least one person belonging to A if there is some such person, or answer “nobody” if there is no such person.

因此之故，这些疑问量词在其所有论元上都是非单调的，即

定理 13： (*at least who*), (*at least what$_n$*) ∈ MON–
(*at least what$_d$*), (*at least which*), (*at least whose*) ∈ –MON–

由于上述疑问量词不具有单调性，因而不能推导出有效的单调性推理。举例说，以下推理便是无效的：

(144) (给定条件：All boys are children.)
At least which boys sang? ~⇒ At least which children sang?

(144)之所以无效，是因为可能存在以下情况：有关孩子由一群男孩和一群女孩组成，已知没有男孩唱歌，但不知是否有女孩唱歌。在这个条件下，(144)的前提是圆解的，但其后承却是不圆解的。

接着考虑附录 C 中其余四个疑问量词。如前所述，含有这四个疑问量词的疑问句的解答都有一个由语用因素决定的可接受范围。现设疑问句“(*at least how many*)(A)(B)”的可接受范围是 N*，当我们把 A 换成其母集／子集 A’后，所得新疑问句“(*at least how many*)(A’)(B)”的可接受范围可能不再是原来的N*。在这种情况下，我们无法进行单调性推理。如要令单调性推理得以进行，便要假设在把 A 换成 A’后，可接受范围保持不变。由此我们有以下定理：

定理 14： 在可接受范围保持不变的条件下，
(a) (*at least how many*), (*more than how many*) ∈ ↑MON↑
(b) (*at most how many*), (*fewer than how many*) ∈ ↓MON↓

我们不能把上述语用性限制条件看成这些疑问量词的缺陷，因为陈述量词的单调性推理其实也是受制于语用性限制条件的。以“Every student is doing exercises”为例，根据“*every*”的左递减性(见(G4))，上句衍推“Every primary student is doing exercises”，可是如果论域中根本没有小学生，则上述衍推尽管从逻辑上说是没有问题的，但从语用上说却是相当蹩扭的。

以下是应用上述定理进行单调性推理的一个实例：

(145) (给定条件：All boys are children.)
At least how many boys sang? ⇒ At least how many children sang?

请注意要令上述推理有效，必须假设上列两个疑问句的解答都在同一个可接受范围内。

5.6 对当推理

5.6.1 疑问句外部否定的不可能性

对当推理是古典逻辑学家研究的一个课题，有关对当推理的简介，参见附录 H。为推导含疑问量词的对当推理，须先为疑问句定义相关概念，例如疑问句之间的矛盾关系。根据陈述句中的相应定义，可以作如下定义：设 q、q’为疑问句：

(146) q与q’之间具有矛盾关系当且仅当q $\Leftrightarrow$ ~q’，
即对任何模型而言，$[q] = 1 \Leftrightarrow [q'] = 0$

换句话说，两个疑问句互相矛盾当且仅当其中一个是另一个的外部否定。可是，在自然语言中不可能找到一对疑问句满足上述定义。为验证这一点，假设“*nwho*(–)(A)”是“*who*(–)(A)”的外部否定，由此我们有

定理 15： $[nwho(–)(A)] = 1 \Leftrightarrow (\text{PERSON} \cap A)_{uc} \neq \varnothing$

因此，“*nwho*(–)(A)”等同于

(147) Name at least one member x such that it is not known whether x is a person belonging to A.

但(147)似乎并不对应着任何自然语言疑问句，我们不难把上述结果推广至其他疑问量词。

5.6.2 弱对当推理

上一小节显示，疑问句矛盾关系的定义(146)包含过强的条件，因此需要定义一个较弱的矛盾关系，这个定义是透过疑问句的 SA 之间的矛盾关系来间接定义疑问句之间的矛盾关系。具体地说，设 Q(#)(P)、Q’(#’)(P’)为疑问句，则

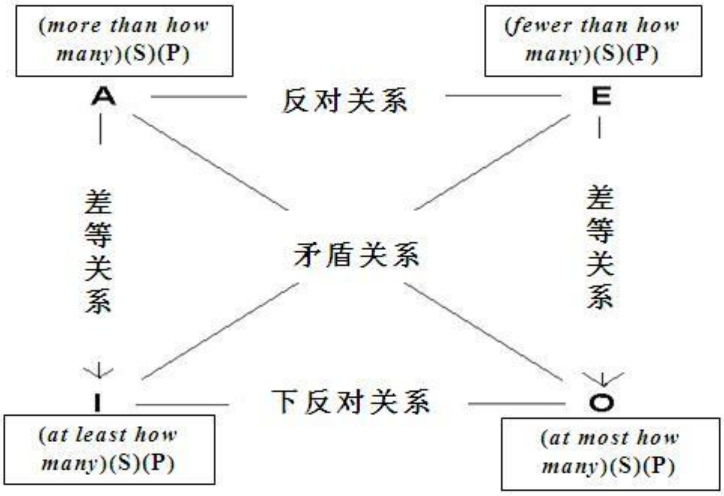
(148) Q(#)(P)与Q’(#’)(P’)之间具有弱矛盾关系，
记作$Q(\#)(P) \equiv_w \sim Q'(\#')(P')$，当且仅当对任何模型
以及Q(#)(P)和Q’(#’)(P’)的CA的所有共同可能值Y而言，
$[Q^Y(\#)(P)] = 1 \Leftrightarrow [Q'^Y(\#')(P')] = 0$

请注意这里的下标“w”表示这是一个“弱”概念(这里把相应的“强”概念作为无标记概念)。弱差等关系、弱反对关系和弱下反对关系等概念也可作类似定义。

根据上述定义，我们有以下定理：

定理 16： 在疑问句“(*more than how many*)(A)(B)”、“(*fewer than how many*)(A)(B)”、“(*at least how many*)(A)(B)”和“(*at most how many*)(A)(B)”皆可接受的 CA 范围内，上述四个疑问句构成一个“弱”对当方阵，分别位于方阵上的 A 角、E 角、I 角和 O 角。

以下是上述定理所定义的“弱”对当方阵：



请注意正如“波爱修斯对当方阵”的有效性依赖于预设 S ≠ ∅，上述“弱”对当方阵的有效性也依赖于以下预设：存在至少一个四个疑问句皆可接受的 CA。

上述方阵上的“弱”对当关系实际上就是这些疑问句的解答之间的对当关系。举例说，由于“(*at least how many*)(A)(B)”与“(*fewer than how many*)(A)(B)”之间的弱矛盾关系，我们知道前面出现过的(91)和以下的(149)的解答处于矛盾关系：

(91) How many people were there at least?
(149) Fewer than how many people were there?

即对(91)和(149)皆可接受的任何 CA (設為 n)而言，如果 n 是(91)的真解答，则 n 就是(149)的假解答，反之亦然。

5.7 对偶性推理

对偶性推理乃建基于三个否定概念，有关对偶性推理的简介，请参阅附录 I。正如在 5.6 小节所做的，我们也要为这三个否定概念定义相关的弱概念。由于“外部否定”与“矛盾关系”是同一个概念，无需再探讨这个概念。至于“内部否定”，我们有以下定义：设 Q(#)(P)和 Q’(#’)(P’)为疑问句，则

(150) $Q(\#)(P)$与$Q'(\#')(P')$互为弱内部否定，

记作$Q(\#)(P) \equiv_w Q'{\sim}(\#')(P')$，当且仅当对所有模型以及

$Q(\#)(P)$和$Q'(\#')(P')$的CA的所有共同可能值Y而言，

$Q^Y(\#)(P)$与$Q'^Y(\#')(P')$互为内部否定。

根据上述定义，我们有以下定理：设 Q 为疑问量词，则

定理 17： $Q{\sim}(\#)(P) \equiv Q(\#)({\sim}P)$

请注意上式跟陈述量词内部否定的定义具有完全相同的形式。由此有以下定理：

定理 18：

(a) *who*~(–)(A) $\equiv_w$ (*everybody except who*)(–)(A)

(b) *what$_n$*~(–)(A) $\equiv_w$ (*everything except what$_n$*)(–)(A)

(c) *what$_d$*~(A)(B) $\equiv_w$ (*all except what$_d$*)(A)(B)

(d) *which*~(A)(B) $\equiv_w$ (*all except which*)(A)(B)

(e) (*how many*)~(A)(B) $\equiv_w$ (*all except how many*)(A)(B)

(f) (*what proportion of*)~(A)(B) $\equiv_w$ (*all except what proportion of*)(A)(B)

最后，我们还有一个“对偶”概念，这个概念是外部否定与内部否定的结合。由于定理 16 与 18 中的疑问量词没有交叉重叠，可以推断自然语言中不存在互为对偶的简单疑问量词。

利用(150)和定理 18，可以马上得到包含一层疑问量词的弱对偶性推理，例如：

(151) Who did not sing? $\Leftrightarrow_w$ Everybody except who sang?

(152) What proportion of the boys sang? $\Leftrightarrow_w$ All except what proportion of the boys did not sing?

上面的下标“w”表示这些是弱等价关系，即“$\Leftrightarrow_w$”两端的疑问句共享相同的正确解答。

我们还可以推导出同时包含疑问量词和陈述量词的弱推理。应用附录 I 的推理模式(I7)，我们有以下弱推理：

(153) How many boys have got a prize?

$\Leftrightarrow_w$ All except how many boys have got no prize?

请注意(153)用到以下事实："(*how many*)"与"(*all except how many*)"互为弱内部否定，而"*a*"(这个量词等同于"*some*")则与"*no*"互为外部否定。

我们也可以推导出包含三层量词的弱对偶性推理。为此，要用到 3.5.5 小节的一个结果。根据(53)，在共同数值解下，疑问句(49)可分析为包含三重迭代量词。对(49)略作修改，并应用推理模式(I11)，我们有以下推理：

(154) *which*(N)({n: *every*(BOY)({x: (*at least n*)(BOOK)({y: READ(x, y)})})}) $\Leftrightarrow_w$
which(N)({n: *no*(BOY)({x: (*fewer than n*)(BOOK)({y: READ(x, y)})})})

用日常语言表达上述弱推理就是

(155) At least how many books did every boy read?
$\Leftrightarrow_w$ Fewer than how many books did no boy read?

请注意如要(155)为有效推理，必须在共同数值解下理解这两个疑问句，并且假设这两个疑问句有共同的可接受 CA。

5.8 梯级推理

5.8.1 表示高可能性的疑问句

梯级推理是指可以用梯级模型解释的推理，我们认为，可以把梯级推理看成命题可能性的比较关系，详细内容请参阅附录 J。根据附录 J，"连…都 p"与"何况 q"常可组成"连…都 p，何况 q"对举格式，但须满足(J5)中的条件，即 p 的可能性比 q 的可能性低。根据附录 E，汉语某些疑问句表示相关陈述句或其否定具有高确定性。由于"确定性"与"可能性"密切相关，根据(J5)，我们预期这些疑问句可以像"何况 q"那样与"连...都 p"对举。这一点对于反问句来说尤其如此，因为根据附录 E，反问句断定其相关命题的否定的可能性接近 1。

沿用附录 J 中的跳高例子，我们有以下"连…都 p"与多种反问句对举的例子(以下假设三号障碍是最难的障碍)：

(156) 他连三号障碍都跳得过，难道会跳不过二号障碍吗？
(157) 他连三号障碍都跳得过，怎么会跳不过二号障碍？
(158) 他连三号障碍都跳得过，有甚么障碍跳不过？

附录 J 说过，“让步复句 / 假设让步复句”与“因果复句 / 假设条件复句”可以构成多重复句，分别表达相对低可能性和相对高可能性。由此可以推断，反问句应可出现于这类多重复句中，作为“因果复句 / 假设条件复句”的一部分。事实的确如此，请看以下例句：

(159) 即使他这么努力，也考不到A级。假如他不努力，怎么可能考到A级？

汉语的“吧”字疑问句和附加问句尽管不表示完全的确定性，但如前所述，这两类疑问句断定其相关命题具有较高的可能性，足以令它们适合与“连…都 p”对举，这个推断可用以下例句来证实：

(160) 他连三号障碍都跳得过，二号障碍应不成问题吧？
(161) 他连三号障碍都跳得过，二号障碍应不成问题，是不是？

请注意上述两句中的“吧”或“是不是”不可改为“吗”，这进一步佐证了与“连…都 p”对举的句子应表达高确定性，跟“吗”字疑问句所表达的低确定性不相容：

(162) *他连高栏都跳得过，中栏应不成问题吗？

5.8.2 表示低可能性的疑问句

上文曾指出，反问句断定其相关命题的否定的可能性接近 1。反过来看，我们也可以说，反问句断定其相关命题的可能性接近 0，即反问句的相关命题表达低可能性。附录 J 也说过，“连...都”句、让步复句 / 假设让步复句以及包含主观量副词“都”和“还”的句子均表达相对低可能性，由此可以推断，上述这些句式应可作为反问句的相关命题。

以下提供一些例句以证实这个推断，首先是“连...都”句的例子。

(163) 他久经战阵，赢得奖牌无数，难道会连一号障碍都跳不过？

在分析上句时，要注意区分不同的层面。上句是一个因果复句，包含三个分句，其中第三个分句是反问句，“(他)会连一号障碍都跳不过”就是这个反问句的相关命题。从这个相关命题的层面看，“(他)会连一号障碍都跳不过”表达相对低可能性；但从整个反问句的层面看，“难道会连一号障碍都跳不过”由于是其相关命题的否定，所以表达相对高可能性，请注意这一点正好与因果复句的性质相吻合，因为正如附录 J 所指出的，因果复句应表达相对高可能性。

接着是让步复句 / 假设让步复句的例子：

(164)　怎么他这么努力，也考不到A级？

请注意上述反问句是以让步复句“他这么努力，也考不到 A 级”作为相关命题，尽管这个让步复句没有使用“虽然”，这是汉语常用来表达复句的“意合法”。

最后是包含主观量副词句子的例子，这里只提供“还”的例子：

(165)　钱这么少还买得起两件牛仔裤？

李宇明(2000)指出，“还”作为主观量副词，经常以反问句作为语境，本文印证了他的论述。

总括而言，本小节显示，透过把疑问程度理解为确定性(或可能性)程度，我们可以把疑问程度与梯级推理的理论加以结合，从而发现汉语某些虚词 / 句式与疑问句的微妙关系。

6. 总结

我们为疑问句建构了一个形式化的理论框架，涵盖了一般直接疑问句语义理论通常研究的课题。我们也把这个框架扩展至非穷尽疑问量词以及含有无限多个真值的模型，为疑问句的非穷尽性以及汉语的疑问程度提供了形式化描述。

本文的框架是以 N&F (2000a, 2002)的“双格”模型为基础，并加入 G-R (1997, 1999)的广义量词理论元素，因而兼具两者的一些优点。一方面，一直以来很多学者都把疑问词视为量词的一种，生成语法便把疑问词称为“准量词”(quasi-quantifier)。此外，近年来电脑科学上的某些理论都用到广义量词理论，例如 Badia (2009)便提出把广义量词应用于电脑“查询语言”(query language)，乃至具有人机对话特征的“问答系统”(question answering system)中，他正是采纳 G-R (1997, 1999)的理论研究问答系统。由此可见，把疑问句语义学与广义量词理论结合有一定的应用价值。

另一方面，由于在 N&F (2000a, 2002)的理论下，疑问句具有真值，这对于研究疑问句推理，尤其是陈述句与疑问句之间的推理(即前文提到的“答问关系”)，确有其优胜之处。虽然本文没有建构问题逻辑系统，但本文的研究丰富了“自然逻辑”以至语用推理的内容，尤其是有关疑问句的“弱”推理和梯级推理，更是以往学者未曾涉猎的课题。

然而，本文的研究仍有其不足之处，并未涵盖某些类型的疑问句推理，这些推理涉及间接疑问句与陈述句之间的推理，例如[45]

(166) John knows whether Mary sleeps. $\wedge$ Mary sleeps.
$\Rightarrow$ John knows that Mary sleeps.

(167) John wonders whether Mary sleeps. $\wedge$ Mary sleeps.
~$\Rightarrow$ *John wonders that Mary sleeps.

此外，还有另一种涉及“量化可变性”(quantificational variability)概念的间接疑问句推理，上文(1)的例句就是这种推理的范例。由于本文的框架只涵盖直接疑问句，因此无法处理上述两类间接疑问句推理。虽然如此，本文已为这些问题的研究奠定了坚实的基础。

[45] G&S (1993), (16), (18)。

附录 A
广义量词简介

A.1 基本概念

由 Barwise and Cooper (1981)发展起来的广义量词理论推广了谓词逻辑中“量词”的概念。谓词逻辑只研究两个量词：“全称量词”和“存在量词”，其意义分别相当于“(论域中)所有个体”和“至少有一个(论域中的)个体”，但自然语言可表达的量远不只这两个，因此谓词逻辑的表达力非常有限。广义量词理论则把量词概念加以推广，以提高形式语言的表达力。为方便行文，本文把“广义量词”简称为“量词”。

简单地说，量词可被看成一种以谓词作为论元的“高阶谓词”。以不同数目、不同“元数”(arity)的谓词(亦即集合)作为论元，便可得到不同的量词。Keenan and Westerståhl (下称 K&W)(1997)采用一种特殊的方法标示量词的类别，他们把任意量词的类型表达为一个自然数序列$<n_1, ... , n_k>$，其中 k 为量词所含论元的数目，而 $n_1 ... n_k$ 则为每个论元的“元数”。举例说，序列<1,3>便代表这个量词包含两个论元，其中第一个论元是“一元谓词”，第二个论元是“三元谓词”。如果上述序列中所有数字都是 1，我们便说有关量词是“单式量词”(monadic quantifier)，否则就是“多式量词”(polyadic quantifier)。以下对几种常见的量词作一些简介。

A.2 <1,1>型量词

我们先从最重要的“<1,1>型量词”说起，这种量词以两个一元谓词作为其论元，因此可以把含<1,1>型量词的命题表达为以下“三分结构”(tripartite structure)的形式：

(A1) Q(A)(B)

其中 Q、A、B 分别为<1,1>型量词及其第一论元(又称“名词性论元”或“左论元”)和第二论元(又称“谓词性论元”或“右论元”)。从句法角度看，上式中的 Q、A 和 B 分别对应着句子的限定词(determiner)、主语(略去限定词后的部分)和谓语。举例说，语句

(A2) Every boy sang.

便可以表达为

(A3) $every(\mathrm{BOY})(\mathrm{SING})$

量词的语义可以由其“真值条件”(truth condition)来界定，以下列出部分<1,1>型量词的真值条件(在下式中，n 和 r 分别代表自然数和[0, 1]内的有理数，j 代表“John”这个个体)：

(A4) $every(A)(B) \Leftrightarrow A \subseteq B$

(A5) $some(A)(B) \Leftrightarrow A \cap B \neq \varnothing$

(A6) $no(A)(B) \Leftrightarrow A \cap B = \varnothing$

(A7) $(exactly\ n)(A)(B) \Leftrightarrow |A \cap B| = n$

(A8) $(all\ \ldots\ except\ n)(A)(B) \Leftrightarrow |A - B| = n$

(A9) $(at\ least\ n)(A)(B) \Leftrightarrow |A \cap B| \geq n$

(A10) $(at\ most\ n)(A)(B) \Leftrightarrow |A \cap B| \leq n$

(A11) $(more\ than\ n)(A)(B) \Leftrightarrow |A \cap B| > n$

(A12) $(fewer\ than\ n)(A)(B) \Leftrightarrow |A \cap B| < n$

(A13) $(exactly\ r)(A)(B) \Leftrightarrow |A \cap B| / |A| = r$

(A14) $(all\ \ldots\ except\ r)(A)(B) \Leftrightarrow |A - B| / |A| = r$

(A15) $(no\ \ldots\ except\ John)(A)(B) \Leftrightarrow A \cap B = \{j\}$

(A16) $(all\ \ldots\ except\ John)(A)(B) \Leftrightarrow A - B = \{j\}$

(A17) $the(A)(B) \Leftrightarrow X \cap A \subseteq B$ [46]

(A18) $(some\ of\ the)(A)(B) \Leftrightarrow (X \cap A) \cap B \neq \varnothing$

(A19) $(none\ of\ the)(A)(B) \Leftrightarrow (X \cap A) \cap B = \varnothing$

(A20) $John's(A)(B) \Leftrightarrow \mathrm{POSSESS}_j \cap A \subseteq B$ [47]

(A21) $(precisely\ John's)(A)(B) \Leftrightarrow \mathrm{POSSESS}_j \cap A = B$

A.3 <1>型量词

“<1>型量词”的特点是量词本身已包含名词性成分，比如“everybody”中的“body”，所以这类量词只需要一个一元谓词作为其论元。在句法上，这个论元对应着句子的谓语。我们可以把上述三分结构推广应用于<1>型量词，由于这类量词只需要一个论元，我们可以把三分结构的第一论元位置写成空形式(记作“–”)，如下式所示：

---

[46] 本文假设“the”等同于“every ... salient in the context”，并假设“salient in the context”为“相交形容词”(intersective adjective)，用 X (即“语境集” context set)表示。在这种分析下，“the”等同于“部分格结构”(partitive construction) “all of the”。此外，本文不考虑“the”的预设问题。

[47] $\mathrm{POSSESS}_x = \{y: \mathrm{POSSESS}(x, y)\}$，这里二元谓词 POSSESS 代表领属关系，我们采纳 Langacker (1991)的观点，对领属关系采取宽泛的定义。此外，本文不考虑可能出现于“所有格结构”(possessive construction)的“关系名词”(relational noun)，例如“father”、“friend”等，因为这些关系名词的语义涉及较复杂的问题。

(A22) $Q(–)(A)$

举例说，语句

(A23) Nobody sang.

便可以表达为

(A24) *nobody*(–)(SING)

以下是部分<1>型量词的真值条件：

(A25) $everybody(–)(A) \Leftrightarrow \text{PERSON} \subseteq A$

(A26) $somebody(–)(A) \Leftrightarrow \text{PERSON} \cap A \neq \varnothing$

(A27) $nobody(–)(A) \Leftrightarrow \text{PERSON} \cap A = \varnothing$

(A28) $John(–)(A) \Leftrightarrow j \in A$

(A29) $(nobody\ except\ John)(–)(A) \Leftrightarrow \text{PERSON} \cap A = \{j\}$

(A30) $(everybody\ except\ John)(–)(A) \Leftrightarrow \text{PERSON} – A = \{j\}$

A.4 $<1^2,1>$型结构化量词

“结构化量词”(structured quantifier)是指包含两个以上论元的单式量词。Beghelli (1994)讨论了多种结构化量词，这里只介绍最常见的“$<1^2,1>$型结构化量词”，这类量词以三个一元谓词作为论元。在句法上，前两个论元与量词构成一个复杂的主语，最后一个谓词则对应着谓语。如要把三分结构推广应用于这类量词，可以把前两个论元写成“有序偶”(ordered pair)的形式，如下式所示：

(A31) $Q(A, B)(C)$

举例说，语句

(A32) More boys than girls sang.

便可以表达为

(A33) (*more … than …*)(BOY, GIRL)(SING)

以下是部分$<1^2,1>$型结构化量词的真值条件：

(A34) $(more \dots than \dots)(A, B)(C) \Leftrightarrow |A \cap C| > |B \cap C|$

(A35) $(exactly\ n\ more \dots than \dots)(A, B)(C) \Leftrightarrow |A \cap C| - |B \cap C| = n$

(A36) $(exactly\ r\ times\ as\ many \dots as \dots)(A, B)(C) \Leftrightarrow |A \cap C| / |B \cap C| = r$

A.5 迭代多式量词

如果一个句子包含主、宾语和及物动词，我们可以把这个句子的量词看成复合量词。举例说，语句

(A37) Every girl loves John.

便可以表达为

(A38) (*every* … *John* …)(GIRL, –)(LOVE)

请注意由于 LOVE 是二元谓词，上式中的复合量词“(*every* … *John* …)”具有<1,2>的类型，因此是一个多式量词。此外，根据 K&W (1997)，(A37)亦可被理解成由两个量词“*every*(GIRL)”[48]和“*John*(–)”构成“迭代多式量词”(iterated polyadic quantifier)的量化句，因此我们可以把(A38)改写为以下迭代三分结构形式[49]：

(A39) *every*(GIRL)([*John*(–)]$_2$(LOVE))

请注意上式同时包含了“辖域”和“语法关系”这两方面的信息，这是为了解决多重量化句可能出现的“辖域歧义”(scope ambiguity)问题。一方面，在上式中内层三分结构“[*John*(–)]$_2$(LOVE)”被置于外层三分结构“*every*(GIRL)(…)”之内，这显示在(A37)中，“John”取窄域而“every girl”则取宽域。另一方面，上式中的下标“2”表示“John”是“love”的第二论元(即宾语)，而“every girl”则是“love”的主语。结合以上两者，我们看到(A39)起着一种“解歧”(disambiguation)作用，即在(A39)的分析下，(A37)具有“主语取宽域，宾语取窄域”的解读。

迭代量词的真值条件可以根据所含量词的真值条件推导出来，其推导公式如下：设 $P(x_1, \dots x_{n+1})$为 $n + 1$ 元谓词，则对 $1 \le i \le n + 1$，有

---

48 前面说过“*every*”是一个<1,1>型量词，当这个量词与一元谓词 GIRL 结合后，便形成一个<1>型量词“*every*(GIRL)”。由此可见，在广义量词理论中，量词是可以层层套迭的。

49 严格地说，(A39)只是下式的缩写：

every({z: GIRL(z)})({x: *John*(–)({y: LOVE(x, y)})})

在本文中，我们将视乎行文的需要，采用较详细或较简略的三分结构形式。

(A40) $[Q(\#)]_i(P) = \{<x_1, \ldots x_{i-1}, x_{i+1}, \ldots x_{n+1}>: Q(\#)(Px_1, \ldots x_{i-1}, x_{i+1}, \ldots x_{n+1})\}$

其中“#”因应不同类型的量词而可能表现为“–”(如 Q 为<1>型量词)、一元谓词(如 Q 为<1,1>型量词)或一元谓词的有序偶(如 Q 为$<1^2,1>$型结构化量词)，而

(A41) $Px_1, \ldots x_{i-1}, x_{i+1}, \ldots x_{n+1} = \{x_i: P(x_1, \ldots x_{n+1})\}$

利用(A40)和(A41)，可以求得(A39)的真值条件，首先求“$[John(–)]_2$(LOVE)”的语义所指如下：

$[\mathit{John}(–)]_2(\text{LOVE})$
= $\{x_1: \mathit{John}(–)(\text{LOVE}x_1)\}$ 根据(A40)
= $\{x_1: \mathit{John}(–)(\{x_2: \text{LOVE}(x_1, x_2)\})\}$ 根据(A41)
= $\{x_1: j \in \{x_2: \text{LOVE}(x_1, x_2)\}\}$ 根据(A28)
= $\{x_1: \text{LOVE}(x_1, j)\}$

以上结果显示“$[John(–)]_2$(LOVE)”的语义所指是一个由“爱 John 者”组成的集合。接着，利用“*every*”的真值定义以及上述中间结果，便可求得(A39)的真值条件如下：

$\mathit{every}(\text{GIRL})([\mathit{John}(–)]_2(\text{LOVE}))$
$\Leftrightarrow$ $\text{GIRL} \subseteq \{x_1: \text{LOVE}(x_1, j)\}$ 根据(A4)

K&W (1997)也讨论了多种“非迭代多式量词”(non-iterated polyadic quantifier)，以下介绍几种和本文相关的量词。

A.6 概括量词

“概括量词”(resumptive quantifier)是由单式量词经“概括”运算而得的结果，单式量词与概括量词的区别在于，前者表达一元谓词之间的关系，而后者则表达 n 元谓词之间的关系。以下是概括运算应用于<1,1>型量词 Q 的公式：

(A42) $\text{Res}^n(Q_U)(A)(B) \Leftrightarrow {Q_U}^n(A)(B)$

在上式中，Res 代表概括运算，A、B 代表 n 元谓词，Q 的下标 U 或 U^n 告诉我们 Q 是定义在论域 U 或 U^n，即 Q 是以一元谓词或 n 元谓词作为论元。上式显示，概括运算的作用是把 Q 的论元从一元谓词提升为 n 元谓词，即 Q 从<1,1>型量词提升为<n,n>型量词，而论元之间的逻辑关系不变。

以下提供一个例子，请看以下例句：

(A43)　　No student is waiting for any student except John for Bill.

上句可被理解成描述“有序偶”的情况，即在所有由学生组成的有序偶中，除了<j, b>外，没有其他有序偶属于 WAIT-FOR 这个二元集合。因此我们可以把上句看成对(A15)中单式量词“(*no ... except John*)”进行概括的结果，其表达式和真值条件如下：

(A44)
$$\mathrm{Res}^2(\textit{no ... except} <\textit{John, Bill}>)(\mathrm{STUDENT}^2)(\text{WAIT-FOR})$$
$$\Leftrightarrow \mathrm{STUDENT}^2 \cap \text{WAIT-FOR} = \{<j, b>\}$$

请注意在上式中，$\mathrm{STUDENT}^2$ 是 STUDENT × STUDENT 的简写，即由所有有序偶<x, y>组成的集合，其中 $x, y \in$ STUDENT。

A.7 分枝量词

“分枝量词”(branching quantifier)是“非迭代多式量词”的另一种。“迭代量词”的特点是，参与迭代运算的各个量词形成一个辖域结构，处于窄域的量词在逻辑上可能依存于处于宽域的量词。以下句为例

(A45)　Every girl loves some boy.

如果把上句分析成以下三分结构：

(A46)
$$\textit{every}(\mathrm{GIRL})([\textit{some}(\mathrm{BOY})]_2(\mathrm{LOVE}))$$

那么处于窄域的“$[\textit{some}(\mathrm{BOY})]_2$”便依存于处于宽域的“*every*(GIRL)”，即上句中“boy”的所指会随着“girl”的所指而变化。由于上式的量词排在一条直线上，这种量词又称为“线性量词”(linear quantifier)。

跟迭代量词不同，参与分枝运算的各个量词之间各自独立，互不依存。Liu (1997)研究了分枝量词的问题，指出分枝量词在自然语言中普遍存在，请看以下例句[50]：

[50] 在下句中，“four of the exams”表现为一个“部分格结构”，这是要令这个短语具有“特指性”(specificity)，从而可以独立于该句的主语。由于“部分格结构”的语义表达较复杂，这里把“four of the exams”当作“four exams”处理。

(A47)　(Exactly) two students passed (exactly) four of the exams.

上句除了可分析成含迭代量词的量化句外，还有一种“分枝解读”，这种解读可以表达为

(A48)
$$\left.\begin{matrix}[(\textit{exactly}\ 2)(\text{STUDENT})]_1\\ [(\textit{exactly}\ 4)(\text{EXAM})]_2\end{matrix}\right.\ (\text{PASS})$$

在上式中，“$[(\textit{exactly } 2)(\text{STUDENT})]_1$”与“$[(\textit{exactly } 4)(\text{EXAM})]_2$”被写成并列形式，表示它们的辖域互不统属。在分枝解读下，(A47)的意思是，有(刚好)两名学生和(刚好)四场考试，这些学生中的每一个都通过了这些考试中的每一场，以下把这种“每一...每一”关系称为“*all-all* 条件”。

如何表达分枝量词的真值条件？根据 Sher (1990)，分枝运算有多种类型，其中最重要的是“*all-all* 分枝”，以下是这种运算应用于两个<1,1>型量词的公式：

(A49)
$$\begin{gathered}\textit{all-all}\text{-Br}^2(Q_1, Q_2)(A_1, A_2)(B) \Leftrightarrow\\ \exists W_1\ \exists W_2\ (W_1 \subseteq A_1 \wedge W_2 \subseteq A_2 \wedge Q_1(A_1)(W_1) \wedge Q_2(A_2)(W_2)\\ \wedge <W_1, W_2>\text{是使得}W_1 \times W_2 \subseteq B\text{成立的极大集合对})\end{gathered}$$

在上式中，$W_1 \times W_2 \subseteq B$ 体现了前述的“*all-all* 条件”，上式的最后一个合取项是说$<W_1, W_2>$是满足这个“*all-all* 条件”的“极大”(maximal)集合对，这里“极大”的意思是，不存在 W_1 和 W_2 的真母集 V_1 和 V_2 使得$<V_1, V_2>$满足“*all-all* 条件”。Sher (1990)加入这个条件是要令(A49)也适用于非递增量词。

上式包含一阶谓词变项 W_1 和 W_2，而且两个量词“∃”呈线性排列，所以上式实质上是用“二阶线性量词”来模拟“分枝量词”。由于上式具有线性，我们又可以把上式改写为以下形式：

(A50)
$$\begin{gathered}\textit{all-all}\text{-Br}^2(Q_1, Q_2)(A_1, A_2)(B) \Leftrightarrow\\ \exists W_1\ (W_1 \subseteq A_1 \wedge Q_1(A_1)(W_1) \wedge \exists W_2\ (W_2 \subseteq A_2 \wedge Q_2(A_2)(W_2)\\ \wedge <W_1, W_2>\text{是使得}W_1 \times W_2 \subseteq B\text{成立的极大集合对}))\end{gathered}$$

根据(A50)，可以求得(A47)的真值条件如下：

(A51)
$$\begin{gathered}\textit{all-all}\text{-Br}^2(\textit{exactly } 2, \textit{exactly } 4)(S, E)(P) \Leftrightarrow\\ \exists W_1\ (W_1 \subseteq S \wedge |W_1| = 2 \wedge \exists W_2\ (W_2 \subseteq E \wedge |W_2| = 4\end{gathered}$$

$\wedge$ $<W_1, W_2>$是使得$W_1 \times W_2 \subseteq P$成立的极大集合对))

A.8 累指量词

K&W (1997)还研究了一种“累指量词”(cumulative quantifier)，典型的例子为

(A52) (Exactly) 8 examiners interviewed (exactly) 100 candidates.

上句的一种解读是共有(刚好)八名主考员和(刚好)100 名考生，每名主考员会见了至少一名考生；每名考生被至少一名主考员会见，以下把这种“每一...至少一...；每一...至少一...”关系称为“*some-some* 条件”。

K&W (1997)提出一种“累指”运算用来表达上述解读，但根据 Sher (1990)，累指运算可以看成分枝运算的一种ー“*some-some* 分枝”，以下是这种运算应用于两个<1,1>型量词的公式：

(A53) $$\textit{some-some-}\mathrm{Br}^2(Q_1, Q_2)(A_1, A_2)(B) \Leftrightarrow$$
$$\exists W_1 (W_1 \subseteq A_1 \wedge Q_1(A_1)(W_1) \wedge \exists W_2 (W_2 \subseteq A_2 \wedge Q_2(A_2)(W_2) \wedge <W_1, W_2>\text{是}$$
$$\text{使得}\forall x_1 \in W_1\, \exists x_2 \in W_2\, (B(x_1, x_2)) \wedge \forall x_2 \in W_2\, \exists x_1 \in W_1\, (B(x_1, x_2))$$
$$\text{成立的极大集合对}))$$

请注意上式的最后一个合取项体现了前述的“*some-some* 条件”。根据(A53)，可以求得(A52)的真值条件如下：

(A54) $$\textit{some-some-}\mathrm{Br}^2(\textit{exactly 8}, \textit{exactly 100})(E, C)(I) \Leftrightarrow$$
$$\exists W_1 (W_1 \subseteq E \wedge |W_1| = 8 \wedge \exists W_2 (W_2 \subseteq C \wedge |W_2| = 100 \wedge <W_1, W_2>\text{是使得}$$
$$\forall x_1 \in W_1\, \exists x_2 \in W_2\, (I(x_1, x_2)) \wedge \forall x_2 \in W_2\, \exists x_1 \in W_1\, (I(x_1, x_2))$$
$$\text{成立的极大集合对}))$$

附录 B
强穷尽单式疑问量词的圆解性条件与成分解答[51]

三分结构	圆解性条件	成分解答
who(–)(A)	$(\mathrm{PERSON} \cap A)_{uc} = \varnothing$	$CA = \mathrm{PERSON} \cap A$
(*everybody except who*)(–)(A)	$(\mathrm{PERSON} - A)_{uc} = \varnothing$	$CA = \mathrm{PERSON} - A$
$what_n$(–)(A)	$(\mathrm{THING} \cap A)_{uc} = \varnothing$	$CA = \mathrm{THING} \cap A$
(*everything except* $what_n$)(–)(A)	$(\mathrm{THING} - A)_{uc} = \varnothing$	$CA = \mathrm{THING} - A$
$what_d$(A)(B)	$(A \cap B)_{uc} = \varnothing$	$CA = A \cap B$
(*all except* $what_d$)(A)(B)	$(A - B)_{uc} = \varnothing$	$CA = A - B$
which(A)(B)	$((X \cap A) \cap B)_{uc} = \varnothing$	$CA = (X \cap A) \cap B$
(*all except which*)(A)(B)	$((X \cap A) - B)_{uc} = \varnothing$	$CA = (X \cap A) - B$
whose(A)(B)	$\{x \in U: \mathrm{POSSESS}_x \cap A \subseteq B\}_{uc} = \varnothing$	$CA = \{x \in U: \mathrm{POSSESS}_x \cap A \subseteq B\}$
(*how many*)(A)(B)	$\{n \in N: n = \lvert A \cap B\rvert\}_{uc} = \varnothing$	$CA = \lvert A \cap B\rvert$
(*all except how many*)(A)(B)	$\{n \in N: n = \lvert A - B\rvert\}_{uc} = \varnothing$	$CA = \lvert A - B\rvert$
(*what proportion of*)(A)(B)	$\{r \in R: r = \lvert A \cap B\rvert / \lvert A\rvert\}_{uc} = \varnothing$	$CA = \lvert A \cap B\rvert / \lvert A\rvert$
(*all except what proportion of*)(A)(B)	$\{r \in R: r = \lvert A - B\rvert / \lvert A\rvert\}_{uc} = \varnothing$	$CA = \lvert A - B\rvert / \lvert A\rvert$
(*how many more … than …*)(A, B)(C)	$\{n \in N: n = \lvert A \cap C\rvert - \lvert B \cap C\rvert\}_{uc} = \varnothing$	$CA = \lvert A \cap C\rvert - \lvert B \cap C\rvert$
(*how many times as many …as …*)(A, B)(C)	$\{r \in R: r = \lvert A \cap C\rvert / \lvert B \cap C\rvert\}_{uc} = \varnothing$	$CA = \lvert A \cap C\rvert / \lvert B \cap C\rvert$

[51] 在下表中，U、N 和 R 分别代表个体论域、自然数集和有理数集。“*what*”的下标“n”和“d”是用来区分用作名词的“what”和用作限定词的“what”。

附录 C
非穷尽单式疑问量词的圆解性条件与成分解答[52]

三分结构	圆解性条件	成分解答
(*at least who*)(–)(A)	$(\mathrm{PERSON} \cap \mathrm{A})_1 \neq \varnothing \vee (\mathrm{PERSON} \cap \mathrm{A})_0 = \mathrm{U}$	$\mathrm{CA} \in \{\mathrm{Y}: \varnothing \neq \mathrm{Y} \subseteq (\mathrm{PERSON} \cap \mathrm{A})_1\}$，若$(\mathrm{PERSON} \cap \mathrm{A})_1 \neq \varnothing$; $\mathrm{CA} \in \{\varnothing\}$，若$(\mathrm{PERSON} \cap \mathrm{A})_1 = \varnothing$
(*at least what$_n$*)(–)(A)	$(\mathrm{THING} \cap \mathrm{A})_1 \neq \varnothing \vee (\mathrm{THING} \cap \mathrm{A})_0 = \mathrm{U}$	$\mathrm{CA} \in \{\mathrm{Y}: \varnothing \neq \mathrm{Y} \subseteq (\mathrm{THING} \cap \mathrm{A})_1\}$，若$(\mathrm{THING} \cap \mathrm{A})_1 \neq \varnothing$; $\mathrm{CA} \in \{\varnothing\}$，若$(\mathrm{THING} \cap \mathrm{A})_1 = \varnothing$
(*at least what$_d$*)(A)(B)	$(\mathrm{A} \cap \mathrm{B})_1 \neq \varnothing \vee (\mathrm{A} \cap \mathrm{B})_0 = \mathrm{U}$	$\mathrm{CA} \in \{\mathrm{Y}: \varnothing \neq \mathrm{Y} \subseteq (\mathrm{A} \cap \mathrm{B})_1\}$，若$(\mathrm{A} \cap \mathrm{B})_1 \neq \varnothing$; $\mathrm{CA} \in \{\varnothing\}$，若$(\mathrm{A} \cap \mathrm{B})_1 = \varnothing$
(*at least which*)(A)(B)	$((\mathrm{X} \cap \mathrm{A}) \cap \mathrm{B})_1 \neq \varnothing \vee ((\mathrm{X} \cap \mathrm{A}) \cap \mathrm{B})_0 = \mathrm{U}$	$\mathrm{CA} \in \{\mathrm{Y}: \varnothing \neq \mathrm{Y} \subseteq ((\mathrm{X} \cap \mathrm{A}) \cap \mathrm{B})_1\}$，若$((\mathrm{X} \cap \mathrm{A}) \cap \mathrm{B})_1 \neq \varnothing$; $\mathrm{CA} \in \{\varnothing\}$，若$((\mathrm{X} \cap \mathrm{A}) \cap \mathrm{B})_1 = \varnothing$
(*at least whose*)(A)(B)	$\{x: \mathrm{POSSESS}_x \cap \mathrm{A} \subseteq \mathrm{B}\}_1 \neq \varnothing \vee \{x: \mathrm{POSSESS}_x \cap \mathrm{A} \subseteq \mathrm{B}\}_0 = \mathrm{U}$	$\mathrm{CA} \in \{\mathrm{Y}: \varnothing \neq \mathrm{Y} \subseteq \{x: \mathrm{POSSESS}_x \cap \mathrm{A} \subseteq \mathrm{B}\}_1\}$，若$\{x: \mathrm{POSSESS}_x \cap \mathrm{A} \subseteq \mathrm{B}\}_1 \neq \varnothing$; $\mathrm{CA} \in \{\varnothing\}$，若$\{x: \mathrm{POSSESS}_x \cap \mathrm{A} \subseteq \mathrm{B}\}_1 = \varnothing$
(*at least how many*)(A)(B)	$\{n \in \mathrm{N}^*: n \leq \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \rvert\}_1 \neq \varnothing$	$\mathrm{CA} \in \{n \in \mathrm{N}^*: n \leq \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \rvert\}_1$
(*at most how many*)(A)(B)	$\{n \in \mathrm{N}^*: n \geq \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \rvert\}_1 \neq \varnothing$	$\mathrm{CA} \in \{n \in \mathrm{N}^*: n \geq \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \rvert\}_1$
(*more than how many*)(A)(B)	$\{n \in \mathrm{N}^*: n < \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \rvert\}_1 \neq \varnothing$	$\mathrm{CA} \in \{n \in \mathrm{N}^*: n < \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \rvert\}_1$
(*fewer than how many*)(A)(B)	$\{n \in \mathrm{N}^*: n > \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \rvert\}_1 \neq \varnothing$	$\mathrm{CA} \in \{n \in \mathrm{N}^*: n > \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \rvert\}_1$

[52] 在下表中，N*代表“可接受”自然数集合，详见 3.8.1 小节的解释。

附录 D

疑问量词与陈述量词的对应关系[53]

疑问量词 **Q(#)(P)**	陈述量词 **Q^{Y}(#)(P)，其中 Y 为 Q(#)(P)的 CA**
who(–)(A)	(*nobody except Y*)(–)(A)
(*everybody except who*)(–)(A)	(*everybody except Y*)(–)(A)
$what_n$(–)(A)	(*nothing except Y*)(–)(A)
(*everything except* $what_n$)(–)(A)	(*everything except Y*)(–)(A)
$what_d$(A)(B)	(*no … except Y*)(A)(B)
(*all except* $what_d$)(A)(B)	(*all … except Y*)(A)(B)
which(A)(B)	(*no … except Y*)(A)(B)
(*all except which*)(A)(B)	(*all … except Y*)(A)(B)
whose(A)(B)	(*precisely Y's*)(A)(B)
(*how many*)(A)(B)	(*exactly Y*)(A)(B)
(*all except how many*)(A)(B)	(*all except Y*)(A)(B)
(*what proportion of*)(A)(B)	(*exactly Y*)(A)(B)
(*all except what proportion of*)(A)(B)	(*all except Y*)(A)(B)
(*how many more … than …*)(A, B)(C)	(*exactly Y more … than …*)(A, B)(C)
(*how many times as many …as …*)(A, B)(C)	(*exactly Y times as many …as …*)(A, B)(C)
(*at least who*)(–)(A)	*Y*(–)(A)
(*at least* $what_n$)(–)(A)	*Y*(–)(A)
(*at least* $what_d$)(A)(B)	*Y*(–)(B)
(*at least which*)(A)(B)	*Y*(–)(B)
(*at least whose*)(A)(B)	*Y's*(A)(B)
(*at least how many*)(A)(B)	(*at least Y*)(A)(B)
(*at most how many*)(A)(B)	(*at most Y*)(A)(B)
(*more than how many*)(A)(B)	(*more than Y*)(A)(B)
(*fewer than how many*)(A)(B)	(*fewer than Y*)(A)(B)

[53] 下表中的 Q^{Y} 一般只适用于 Y 为实数或独元集的情况。当 Y 为空集或包含多于一个元素时，Q^{Y} 应视情况作适当调整。以“*who*”为例，当 Y = ∅时，“who^{Y}”应表达为“*nobody*”；当 Y = {a, … z}时，“who^{Y}”应表达为“(*nobody except a, … and z*)”；当 Y = PERSON 时，“who^{Y}”应表达为“*everybody*”。

附录 E

汉语部分疑问句的附加语义[54]

疑问句类别	**附加语义**
“吗”字疑问句	无
正反问句	无
“吧”字疑问句	$[p] \geq 0.75$
附加问句	$[p] \geq 0.75$
反问句	$[\sim p] \approx 1$

[54] 在下表中，p 是与疑问句相关的陈述句。

附录 F
三段论推理简介

在传统逻辑中，“三段论”(syllogism)是指由三个量化句(包括两个前提(premise)和一个结论(conclusion))组成的推理。传统三段论中的量化句限于使用四个传统量词：“*every*”、“*some*”、“*no*”和“(*not every*)”，并且有规定的格式。传统逻辑学家的一项工作就是确定哪些量化句的组合可得到有效的推理。举例说，以下三段论推理便是有效的：

(F1) (假设：$M \neq \varnothing$)

$$every(M)(B) \wedge every(M)(A) \Rightarrow some(A)(B)$$

请注意上述三段论带有一个假设，称为“存在假设”(existential import)，这个假设实质上是一个附加前提。以下是(F1)的一个实例：

(F2) (假设：Fruits exist.)

All fruit is nutritious. $\wedge$ All fruit is tasty. $\Rightarrow$ Some tasty thing is nutritious.

现代某些学者发掘了一些新的三段论(或应称为“多段论”polysyllogism)，这些新三段论在前提的数目、量词的类别和格式上都有别于传统三段论。事实上，今天有些学者对三段论采取极宽松的定义：从至少两个给定的量化句(前提)推出至少一个新量化句(结论)的推理。举例说，根据 Zadeh (1983)，我们有以下这个“交积三段论”(intersection / product syllogism)模式：

(F3) $(exactly\ n\%)(A)(B) \wedge (exactly\ m\%)(A \cap B)(C) \Rightarrow (exactly\ nm\%)(A)(B \cap C)$

以下是(F3)的一个实例[55]：

(F4) 80% of students are single. $\wedge$ 60% of single students are male.

$\Rightarrow$ 48% of students are single and male.

[55] Zadeh (1983), p. 150。

附录 G
单调性推理简介

单调性是把量化句的论元换成其母集 / 子集后量化句仍能保持真值的性质。<1>型量词共有三种单调性："递增"(increasing)、"递减"(decreasing)和"非单调"(non-monotonic)。我们说<1>型量词 Q 是递增的当且仅当

(G1) $$\forall A, A' \subseteq U\ (\text{给定}A \subseteq A'\text{，则}Q(–)(A) \Rightarrow Q(–)(A'))$$

Q 是递减的当且仅当

(G2) $$\forall A, A' \subseteq U\ (\text{给定}A \supseteq A'\text{，则}Q(–)(A) \Rightarrow Q(–)(A'))$$

Q 是非单调的当且仅当它既非递增又非递减。可以证明"*everybody*"和"*nobody*"分别是递增和递减的，记作[56]

(G3) $$\textit{everybody} \in \text{MON}\uparrow$$
$$\textit{nobody} \in \text{MON}\downarrow$$

对于其他类型的量词，我们要区分各个论元的单调性。比如说，"*every*"、"(*exactly n*)"和"(*more … than …*)"便分别是"左递减-右递增"、"左、右非单调"和"第一论元非单调，第二论元递增，第三论元递减"的，记作

(G4) $$\textit{every} \in \downarrow\text{MON}\uparrow$$
$$(\textit{exactly } n) \in –\text{MON}–$$
$$(\textit{more … than …}) \in –\uparrow\text{MON}\downarrow$$

我们可以根据量词的单调性推导出一些单调性推理，以下是含量词"*every*"的例子：

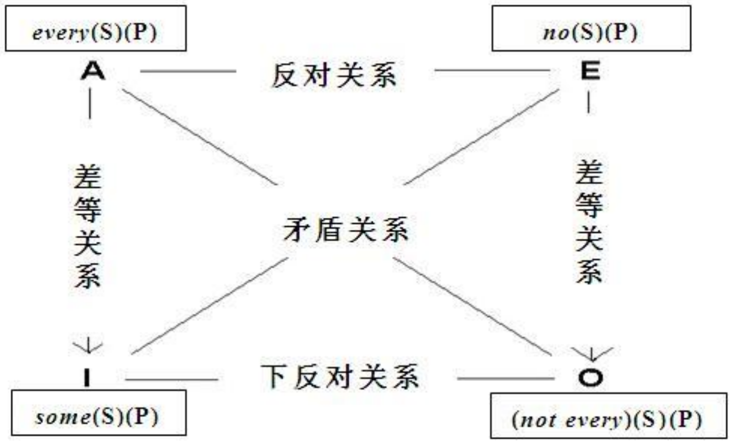
(G5) (给定条件：All boys are children. $\wedge$ Jogging is doing exercises.)
Every child is jogging. $\Rightarrow$ Every boy is doing exercises.

---

[56] MON 的左、右两边分别代表量词的名词性和谓词性论元。符号 ↑ 、↓ 和–分别代表递增、递减和非单调。

附录 H
对当推理简介

“对当推理”(opposition inference)跟“对当方阵”(square of opposition)关系密切，对当方阵是指把四个量化句(称为 A、E、I 和 O)排列于四个角的图形，如下图所示：

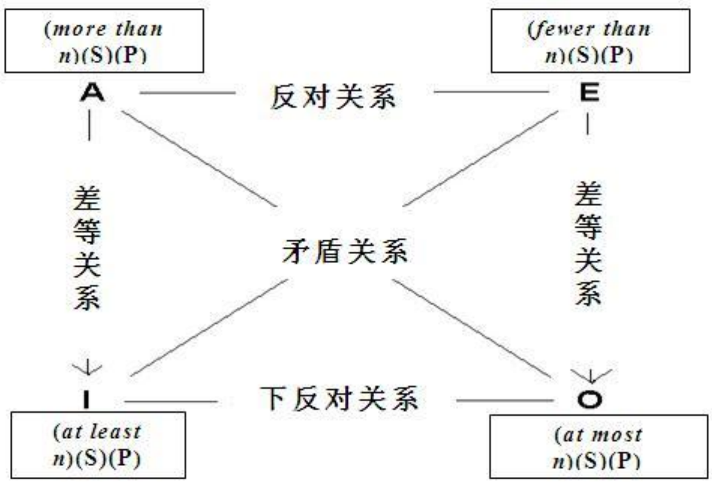


以上方阵称为“波爱修斯(Boethius)对当方阵”，方阵上的四个量化句之间共有四种逻辑关系，下表列出这些关系的定义(在以下定义中，p、q 为任意命题)：

关系	定义
差等(subalternate)	p 单向蕴涵 q
矛盾(contradictory)	p 与 q 不可同真且不可同假
反对(contrary)	p 与 q 不可同真，但可同假
下反对(subcontrary)	p 与 q 不可同假，但可同真

请注意这四个关系依赖于一个预设：$S \neq \varnothing$。

周家发(2006)提出了新的对当方阵，以下是一个例子：



附录 I
对偶性推理简介

“对偶性推理”(dual inference)建基于三个否定概念，下表列出这些概念的定义：

否定概念	定义
外部否定(outer ngation)	$\sim Q(\#)(P) \equiv \sim(Q(\#)(P))$
内部否定(inner negation)	$Q\sim(\#)(P) \equiv Q(\#)(\sim P)$
对偶(dual)	$Q^{d}(\#)(P) \equiv \sim(Q(\#)(\sim P))$

简言之，外部否定是对量词(亦即全句)的否定，内部否定是对谓语的否定，而对偶则是上述两种否定的结合。以下列出某些量词之间的关系：

(I1a) *some*(A)(B) ≡ ~*no*(A)(B)
(I1b) (*either John or Mary*)(–)(A) ≡ ~(*neither John nor Mary*)(–)(A)
(I1c) (*at least n*)(A)(B) ≡ ~(*fewer than n*)(A)(B)
(I1d) (*at most n*)(A)(B) ≡ ~(*more than n*)(A)(B)
(I2a) *every*(A)(B) ≡ *no*~(A)(B)
(I2b) (*both John and Mary*)(–)(A) ≡ (*neither John nor Mary*)~(–)(A)
(I2c) (*exactly n*)(A)(B) ≡ (*all except n*)~(A)(B)
(I2d) (*all … except John*)(A)(B) ≡ (*no … except John*)~(A)(B)
(I3a) *every*(A)(B) ≡ $some^{d}$(A)(B)
(I3b) (*both John and Mary*)(–)(A) ≡ $(either\ John\ or\ Mary)^{d}$(–)(A)

利用上述定义和结果，容易推导出某些包含一层量词的对偶性推理：

(I4) At least two girls sang. ⇔ It is not the case that fewer than two girls sang.
(I5) Every boy did not sing. ⇔ No boy sang.
(I6) Every boy sang. ⇔ It is not the case that some boy did not sing.

Keenan (2003)研究了对偶性推理的问题，并提出某些推理模式，以下是一个包含两层量词的推理模式：

(I7) $Q(\#)(Q'(\#')(P)) \Leftrightarrow Q\sim(\#)(\sim Q'(\#')(P))$

以下是(I7)的一个实例：

(I8) Every boy sang at most 2 songs. ⇔ No boy sang more than 2 songs.

请注意上述推理利用了以下事实："*every*"与"*no*"互为内部否定，而"(*at most n*)"与"(*more than n*)"则互为外部否定。

Keenan (2003)也提出了以下包含三层量词的推理模式：

(I9) $$Q(\#)(Q'(\#')(Q''(\#''(P))) \Leftrightarrow Q{\sim}(\#)(Q'^{d}(\#')({\sim}Q''(\#''(P)))$$

请注意上述推理模式要用到前述三个否定概念。此外，在这个模式中，谓语 P 与三个量词共用，这个 P 在自然语言中一般体现为"双及物动词"(ditransitive verb)。以下是(I9)的一个实例[57]：

(I10) Each counselor told both John and Bill at least three stories.
⇔ No counselor told either John or Bill fewer than three stories.

但正如 Keenan (2003)所指出的，不一定要在一句中用尽三个否定概念。比如说，以下推理模式也是成立的：

(I11) $$Q(\#)(Q'(\#')(Q''(\#''(P))) \Leftrightarrow Q(\#)(Q'{\sim}(\#')({\sim}Q''(\#''(P)))$$

请注意(I11)实质上跟(I7)相同，两者的唯一区分是(I11)的最外层包含一个在"⇔"两边保持不变的量词"Q(#)"。以下是(I11)的一个实例：

(I12) Each counselor told both John and Bill at least three stories.
⇔ Each counselor told neither John nor Bill fewer than three stories.

[57] Keenan (2003), (22)。

附录 J
梯级推理简介

“梯级推理”(scalar reasoning)是指可用 Fillmore *et al* (1988)和 Kay (1990)建构的“梯级模型“(Scalar Model)解释的推理。假设我们正讨论某人尝试跳过某些障碍的情况，并有以下“梯级”(scale)：

(J1) <1, 2, 3, …>

其中成员是按障碍的难度从小到大排列，那么我们有以下衍推关系：

(J2) 他跳得过三号障碍。 ⇒ 他跳得过二号障碍。

我们认为上述衍推关系其实反映了命题可能性的大小，左端和右端分别为可能性较低和较高的命题。如果一个可能性较低的命题实现了，那么在“其他因素等同”(other things being equal)的情况下，可能性较高的命题也应能实现。

Fillmore *et al* (1988)和 Kay (1990)最初提出梯级模型，是要解释“even”和“let alone”这两个词的恰当用法，这两个词分别相当于汉语中的“连...都”和“何况” (以及与“何况”有相同作用的“别说／不用说”等)。根据他们的分析，上述两个词的恰当用法涉及相关命题可能性的比较，可以总结为(在下式中，p 和 q 代表命题)：

(J3) “连...都p”是恰当的，仅当p的可能性相对低。
(J4) “何况q”是恰当的，仅当q的可能性相对高。

我们知道，“连...都 p”与“何况 q”常常可以同现，构成一种对举格式，因此可以把以上两个条件合并，得到

(J5) “连...都p，何况q”是恰当的，仅当p的可能性比q的可能性低。

上述条件加上衍推关系(J2)可用来解释为何下句是恰当的：

(J6) 他连三号障碍都跳得过，更何况二号障碍！

我们可以把上述结果推广到复句层面。周家发(2010)把让步复句、因果复句、假设让步复句和假设条件复句之间的关系总结成下表：

	意料之外	意料之中
已然事态	让步复句	因果复句
未然事态	假设让步复句	假设条件复句

正如“连...都 p”与“何况 q”可以合在一起构成复句，“让步复句 / 假设让步复句”与“因果复句 / 假设条件复句”也可以合在一起构成多重复句，而且须满足类似(J5)的条件。以下是“假设让步复句”与“假设条件复句”构成句群的例子：

(J7) 即使他这么努力，也考不到A级。假如他不努力，就更加考不到A级。

请注意在上句中，“这么努力而考不到 A 级”与“不努力而考不到 A 级”比较，前者的可能性比后者的可能性低。

我们认为梯级模型还可用来解释主观量(subjective quantity)的问题。主观量为我们提供了解释汉语某些虚词语义的全新视角。李宇明(2000)提出四种主观量，本文只介绍其中最重要的一种－“异态型主观量”。“异态型主观量”是相对于“期待量”而言的，期待量是指符合说话者的正常预期的量或理想的量。当说话者谈论的量与期待量存在差异时，便会产生异态型主观量，我们可以用“意料之外”(unexpectedness)来概括这种差异。试看以下例句：

(J8) 他挑二十斤都觉得累。

(J9) 他二十斤都挑得起。

在以上两句中，由于“都”字的作用，(J8)和(J9)中的“二十斤”分别意味着主观小量和大量。为何“都”字能发挥这个作用？我们认为这是因为“都”字跟前述的“连...都”是相通的，也是表示相对低可能性。由于低可能性与“意料之外”的意思密切相关(意料之外的事情往往就是可能性低的事情)，所以“都”可以表达异态型主观量。在(J8)中，由于重量大自然就觉得累，如要令该句有“意料之外”的意思，“二十斤”必须表示主观小量。同样，在(J9)中，由于重量小自然就挑得起，如要令该句有“意料之外”的意思，“二十斤”必须表示主观大量。

除了“都”字外，另一个常见的主观量副词是“还”。我们可以使用上述分析“都”的同一种方法来分析“还”字表达主观量的方式，以下是相关例句：

(J10) 钱这么少还买得起两件牛仔裤呢！

在上句中，“两件”表示主观大量，这是因为钱少自然只能买得起少量牛仔裤，要令上句有“意料之外”的意思，“两件”只能表示主观大量。

附录 K
本文定理的证明

定理 1： 在 FIVE 下，$BOY_{uc} = \varnothing \Rightarrow (BOY \cap \{x: \mathit{which}(GIRL)(\{y: LOVE(x, y)\})\})_{uc} = \varnothing$。

证明：

设 $BOY_{uc} = \varnothing$，即

(K1) $$\forall x \in U\ ([x \in BOY] = 1 \vee [x \in BOY] = 0)$$

另外，在 FIVE 下，疑问句 *which*(GIRL)({y: LOVE(x, y)})只有两种圆解值，因此亦有[58]

(K2) $$\forall x \in U\ ([x \in \{x: \mathit{which}(GIRL)(\{y: LOVE(x, y)\})\}] = 1 \vee [x \in \{x: \mathit{which}(GIRL)(\{y: LOVE(x, y)\})\}] = 0)$$

综合(K1)和(K2)，我们有

(K3) $$\forall x \in U\ ([x \in BOY \cap \{x: \mathit{which}(GIRL)(\{y: LOVE(x, y)\})\}] = 1 \vee [x \in BOY \cap \{x: \mathit{which}(GIRL)(\{y: LOVE(x, y)\})\}] = 0)$$

亦即$(BOY \cap \{x: \mathit{which}(GIRL)(\{y: LOVE(x, y)\})\})_{uc} = \varnothing$，本定理得证。

定理 2：
(a) *who*(–)(~A) ≡ (*everybody except who*)(–)(A)
(b) what_n(–)(~A) ≡ (*everything except* what_n)(–)(A)
(c) what_d(A)(~B) ≡ (*all except* what_d)(A)(B)
(d) *which*(A)(~B) ≡ (*all except which*)(A)(B)
(e) (*how many*)(A)(~B) ≡ (*all except how many*)(A)(B)
(f) (*what proportion of*)(A)(~B) ≡ (*all except what proportion of*)(A)(B)
(g) *who*(–)(A) ≡ what_d(PERSON)(A)
(h) what_n(–)(A) ≡ what_d(THING)(A)
(i) *which*(A)(B) ≡ what_d(X ∩ A)(B)
(j) (*at least who*)(–)(A) ≡ (*at least* what_d)(PERSON)(A)
(k) (*at least* what_n)(–)(A) ≡ (*at least* what_d)(THING)(A)

[58] 请注意在下式中，“*which*(GIRL)({y: LOVE(x, y)})”是“[*which*(GIRL)({y: LOVE(x, y)})] = 1”的简写，参见 3.4.1 小节的注 8。

$$\text{(l) } (\textit{at least which})(A)(B) \equiv (\textit{at least what}_d)(X \cap A)(B)$$

部分证明：
上述定理可以根据附录 B 和 C 中的圆解性条件直接求得。举例说，只要把附录 B “*who*(–)(A)”的圆解性条件中的 A 改为~A，并利用等式 PERSON ∩ ~A = PERSON – A，便可得到“(*everybody except who*)(–)(A)”的圆解性条件。

定理 3： $\textit{what}_d(A)(B) \Rightarrow (\textit{at least what}_d)(A)(B)$

证明：

	$[\textit{what}_d(A)(B)] = 1$	假设
$\Leftrightarrow$	$(A \cap B)_{uc} = \varnothing$	根据附录 B
$\Leftrightarrow$	$\forall x \in U\ ([x \in A \cap B] = 1 \vee [x \in A \cap B] = 0)$	
$\Rightarrow$	$\exists x \in U\ ([x \in A \cap B] = 1) \vee \forall x \in U\ ([x \in A \cap B] = 0)$	
$\Leftrightarrow$	$(A \cap B)_1 \neq \varnothing \vee (A \cap B)_0 = U$	
$\Leftrightarrow$	$[(\textit{at least what}_d)(A)(B)] = 1$	根据附录 C

定理 4： $\textit{what}_d(A)(B) \Rightarrow \textit{whether}(\textit{some}(A)(B))$

证明：

	$[\textit{what}_d(A)(B)] = 1$	假设
$\Leftrightarrow$	$(A \cap B)_{uc} = \varnothing$	根据附录 B
$\Leftrightarrow$	$\forall x \in U\ ([x \in A \cap B] = 1 \vee [x \in A \cap B] = 0)$	
$\Rightarrow$	$\exists x \in U\ ([x \in A \cap B] = 1) \vee \forall x \in U\ ([x \in A \cap B] = 0)$	
$\Leftrightarrow$	$[A \cap B \neq \varnothing] = 1 \vee [A \cap B \neq \varnothing] = 0$	
$\Leftrightarrow$	$[A \cap B \neq \varnothing] \notin UC$	
$\Leftrightarrow$	$[\textit{whether}(A \cap B \neq \varnothing)] = 1$	根据(72)
$\Leftrightarrow$	$[\textit{whether}(\textit{some}(A)(B))] = 1$	根据(A5)

定理 5： $\textit{whether}(p) \Leftrightarrow \textit{whether}(\sim p)$

证明：

	$[\textit{whether}(p)] = 1$	假设
$\Leftrightarrow$	$[p] \notin UC$	根据(72)
$\Leftrightarrow$	$[p] = 1 \vee [p] = 0$	
$\Leftrightarrow$	$[\sim p] = 0 \vee [\sim p] = 1$	
$\Leftrightarrow$	$[\sim p] \notin UC$	
$\Leftrightarrow$	$[\textit{whether}(\sim p)] = 1$	根据(72)

定理 6： $what_d^Y(A)(B) \Rightarrow what_d(A)(B)$，其中 Y 为明晰集合

证明：

根据附录 D，$what_d^Y(A)(B)$等同于(*no ... except a*)(A)(B)、(*no ... except a, ... and z*)(A)(B)、*no*(A)(B)或 *every*(A)(B)，视乎 Y 等于{a}、{a, … z}、∅还是 A，但不论是哪一种情况，都可把 $what_d^Y(A)(B)$的真值条件写成 $A \cap B = Y$。由此我们有

	$[what_d^Y(A)(B)] = 1$	假设
$\Leftrightarrow$	$A \cap B = Y$	
$\Rightarrow$	$\forall x \in U ([x \in A \cap B] = 1 \vee [x \in A \cap B] = 0)$	Y 为明晰集合
$\Leftrightarrow$	$(A \cap B)_{uc} = \varnothing$	
$\Leftrightarrow$	$[what_d(A)(B)] = 1$	根据附录 B

定理 7： $(at\ least\ what_d)^Y(A)(B) \Rightarrow (at\ least\ what_d)(A)(B)$，其中 Y 为明晰集合

证明：

根据附录 D，当 Y 等于{a}、{a, … z}或 A 时，$(at\ least\ what_d)^Y(A)(B)$等同于 *a*(–)(B)、(*a, ... and z*)(–)(B)或 *every*(A)(B)。在这三种情况下，$(at\ least\ what_d)^Y(A)(B)$的真值条件都可写成$\varnothing \neq Y \subseteq A \cap B$；当 $Y = \varnothing$时，$(at\ least\ what_d)^Y(A)(B)$等同于 *no*(A)(B)，其真值条件为 $A \cap B = \varnothing$。由此我们有

	$[(at\ least\ what_d)^Y(A)(B)] = 1$	假设
$\Leftrightarrow$	$\varnothing \neq Y \subseteq A \cap B \vee A \cap B = \varnothing$	
$\Rightarrow$	$\exists x \in U ([x \in A \cap B] = 1) \vee \forall x \in U ([x \in A \cap B] = 0)$	Y 为明晰集合
$\Leftrightarrow$	$(A \cap B)_1 \neq \varnothing \vee (A \cap B)_0 = U$	
$\Leftrightarrow$	$[(at\ least\ what_d)(A)(B)] = 1$	根据附录 C

定理 8： $p \Rightarrow whether(p)$

证明：

	$[p] = 1$	假设
$\Rightarrow$	$[p] \notin UC$	
$\Leftrightarrow$	$[whether(p)] = 1$	根据(72)

定理 9： (给定条件：$A \subseteq M$)

$$what_d(\mathrm{M})(\mathrm{B}) \wedge what_d(\mathrm{M})(\mathrm{A}) \Rightarrow what_d(\mathrm{A})(\mathrm{B})$$

证明：

(i)	$[what_d(\mathrm{M})(\mathrm{B})] = 1$	假设
$\Leftrightarrow$	$(\mathrm{M} \cap \mathrm{B})_{uc} = \varnothing$	根据附录 B
$\Leftrightarrow$	$\forall x \in U\ ([x \in \mathrm{M} \cap \mathrm{B}] = 1 \vee [x \in \mathrm{M} \cap \mathrm{B}] = 0)$	
(ii)	$[what_d(\mathrm{M})(\mathrm{A})] = 1$	假设
$\Leftrightarrow$	$(\mathrm{M} \cap \mathrm{A})_{uc} = \varnothing$	根据附录 B
$\Leftrightarrow$	$\forall x \in U\ ([x \in \mathrm{M} \cap \mathrm{A}] = 1 \vee [x \in \mathrm{M} \cap \mathrm{A}] = 0)$	
	(i) $\wedge$ (ii)	
$\Rightarrow$	$\forall x \in U\ ([x \in \mathrm{M} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{M} \cap \mathrm{A}] = 1 \vee [x \in \mathrm{M} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{M} \cap \mathrm{A}] = 0)$	
$\Leftrightarrow$	$\forall x \in U\ ([x \in \mathrm{A} \cap \mathrm{B}] = 1 \vee [x \in \mathrm{A} \cap \mathrm{B}] = 0)$	根据给定条件[59]
$\Leftrightarrow$	$(\mathrm{A} \cap \mathrm{B})_{uc} = \varnothing$	
$\Leftrightarrow$	$[what_d(\mathrm{A})(\mathrm{B})] = 1$	根据附录 B

定理 10： $(what\ proportion\ of)(\mathrm{A})(\mathrm{B}) \wedge (what\ proportion\ of)(\mathrm{A} \cap \mathrm{B})(\mathrm{C}) \Rightarrow (what\ proportion\ of)(\mathrm{A})(\mathrm{B} \cap \mathrm{C})$

证明：

(i)	$[(what\ proportion\ of)(\mathrm{A})(\mathrm{B})] = 1$	假设
$\Leftrightarrow$	$\{r \in R: r = \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B}\rvert / \lvert \mathrm{A}\rvert\}_{uc} = \varnothing$	根据附录 B
$\Leftrightarrow$	$\forall r \in R\ ([r = \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B}\rvert / \lvert \mathrm{A}\rvert] = 1 \vee [r = \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B}\rvert / \lvert \mathrm{A}\rvert] = 0)$	
(ii)	$[(what\ proportion\ of)(\mathrm{A} \cap \mathrm{B})(\mathrm{C})] = 1$	假设
$\Leftrightarrow$	$\{r \in R: r = \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{C}\rvert / \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B}\rvert\}_{uc} = \varnothing$	根据附录 B
$\Leftrightarrow$	$\forall r \in R\ ([r = \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{C}\rvert / \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B}\rvert] = 1 \vee [r = \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{C}\rvert / \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B}\rvert] = 0)$	
	(i) $\wedge$ (ii)	
$\Rightarrow$	$\forall r \in R\ ([r = \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{C}\rvert / \lvert \mathrm{A}\rvert] = 1 \vee [r = \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{C}\rvert / \lvert \mathrm{A}\rvert] = 0)$ [60]	
$\Leftrightarrow$	$\{r \in R: r = \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{C}\rvert / \lvert \mathrm{A}\rvert\}_{uc} = \varnothing$	
$\Leftrightarrow$	$[(what\ proportion\ of)(\mathrm{A})(\mathrm{B} \cap \mathrm{C})] = 1$	根据附录 B

定理 11： (给定条件：$x \in \mathrm{M}$)

$$what_d(\mathrm{M})(\mathrm{B}) \Rightarrow whether(x(–)(\mathrm{B}))$$

[59] 因 $\mathrm{M} \cap \mathrm{A}$ 为明晰集合，且 $\mathrm{A} \subseteq \mathrm{M}$，故 A 必为明晰集合，由此必有 $\mathrm{M} \cap \mathrm{A} = \mathrm{A}$。

[60] $\lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{C}\rvert / \lvert \mathrm{A}\rvert = (\lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B}\rvert / \lvert \mathrm{A}\rvert) \times (\lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B} \cap \mathrm{C}\rvert / \lvert \mathrm{A} \cap \mathrm{B}\rvert)$

证明：
上述定理是把定理 9 中的 A 改为{x}并应用$\{x\} \subseteq M \Leftrightarrow x \in M$ 所得的结果。不过，上述定理略去了一个前提“$what_d$(M)({x})”，这是因为根据给定条件和“$what_d$”的圆解性条件，“$what_d$(M)({x})”等同于“(*who* / $what_n$)(–)({x})”(视乎 x 属于 PERSON 或 THING)；而在 3.2 小节我们已假设了“Who / What is x”这类疑问句的答案是既有知识。此外，上述定理的后承写成“*whether*(*x*(–)(B))”而非“$what_d$({x})(B)”，但这两者其实是等同的，证明如下：

	$[what_d(\{x\})(B)] = 1$	
$\Leftrightarrow$	$(\{x\} \cap B)_{uc} = \varnothing$	根据附录 B
$\Leftrightarrow$	$\sim\exists y \in U\ ([y \in \{x\} \cap B] \in UC)$	
$\Leftrightarrow$	$[x \in B] \notin UC$	
$\Leftrightarrow$	$[x(–)(B)] \notin UC$	根据(A28)
$\Leftrightarrow$	$[whether(x(–)(B))]$	根据(72)

定理 12： (a) *who*, (*everybody except who*), $what_n$, (*everything except* $what_n$) ∈ MON–
(b) $what_d$, (*all except* $what_d$), *which*, (*all except which*), *whose*, (*how many*), (*all except how many*), (*what proportion of*), (*all except what proportion of*) ∈ –MON–
(c) (*how many more … than …*), (*how many times as many … as*) ∈ – –MON–

部分证明：
为免进行繁复的证明，以下只证明“*who*”不是递减的。为此，要构造一个模型，使得 $A \supseteq A'$并且[*who*(–)(A)] = 1，但[*who*(–)(A’)] ≠ 1。以下提供这样的一个模型：

U = PERSON = {a, b, c}
A = {0/a, 1/b, 1/c}
A’ = {0/a, 1/b, 0.5/c}

这个模型显然满足 $A \supseteq A'$和$(PERSON \cap A)_{uc} = \varnothing$，故根据附录 B，有[*who*(–)(A)] = 1。但由于$(PERSON \cap A')_{uc} \neq \varnothing$，故根据附录 B，有[*who*(–)(A’)] ≠ 1。

定理 13： (*at least who*), (*at least* $what_n$) ∈ MON–
(*at least* $what_d$), (*at least which*), (*at least whose*) ∈ –MON–

为免进行繁复的证明，以下只证明“(*at least who*)”不是递增的。为此，我们要构

造一个模型，使得 $A \subseteq A'$并且[(*at least who*)(–)(A)] = 1，但[(*at least who*)(–)(A')] ≠ 1。以下提供这样的一个模型：

$$U = PERSON = \{a, b, c\}$$
$$A = \{0/a, 0/b, 0/c\}$$
$$A' = \{0.5/a, 0.5/b, 0.5/c\}$$

这个模型显然满足 $A \subseteq A'$和$(PERSON \cap A)_0 = U$，故根据附录 B，有[(*at least who*)(–)(A)] = 1。但由于$(PERSON \cap A')_1 = \varnothing \wedge (PERSON \cap A')_0 \neq U$，故根据附录 B，有[(*at least who*)(–)(A')] ≠ 1。

定理 14： 在可接受范围保持不变的条件下，

(a) (*at least how many*), (*more than how many*) ∈ ↑MON↑

(b) (*at most how many*), (*fewer than how many*) ∈ ↓MON↓

部分证明：

以下只证"(*at least how many*)"的左递增性。设 $A \subseteq A'$， 由于假设可接受范围保持不变，只需证明$\{n \in N^*: n \leq |A \cap B|\}_1 \neq \varnothing \Rightarrow \{n \in N^*: n \leq |A' \cap B|\}_1 \neq \varnothing$。故设$\{n \in N^*: n \leq |A \cap B|\}_1 \neq \varnothing$，即存在 N*中的一个 n 使得 $n \leq |A \cap B|$。由于 $A \subseteq A'$，必有 $n \leq |A' \cap B|$，因此$\{n \in N^*: n \leq |A' \cap B|\}_1 \neq \varnothing$。

定理 15： $[nwho(–)(A)] = 1 \Leftrightarrow (PERSON \cap A)_{uc} \neq \varnothing$

证明：

	$[nwho(–)(A)] = 1$	
$\Leftrightarrow$	$[who(–)(A)] = 0$	根据(146)
$\Leftrightarrow$	$(PERSON \cap A)_{uc} \neq \varnothing$	根据附录 B

定理 16： 在疑问句"(*more than how many*)(A)(B)"、"(*fewer than how many*)(A)(B)"、"(*at least how many*)(A)(B)"和"(*at most how many*)(A)(B)"皆可接受的 CA 范围内，上述四个疑问句构成一个"弱"对当方阵，分别位于方阵上的 A 角、E 角、I 角和 O 角。

部分证明：

这里只证"(*more than how many*)(A)(B)"与"(*at most how many*)(A)(B)"之间的弱矛盾关系。由于这两个疑问量词具有非穷尽性，它们的解答并不唯一，所以我们假设它们的可接受 CA 组成的集合为$\{y_1, \ldots\}$，对每个 y_i，我们有

$[(\textit{more than how many})^{y_i}(A)(B)] = 1$

$\Leftrightarrow$ $[(\textit{more than } y_i)(A)(B)] = 1$　　根据附录 D

$\Leftrightarrow$ $|A \cap B| > y_i$　　根据(A11)

$\Leftrightarrow$ $|A \cap B| \sim\leq y_i$

$\Leftrightarrow$ $[(\textit{at most } y_i)(A)(B)] = 0$　　根据(A10)

$\Leftrightarrow$ $[(\textit{at most how many})^{y_i}(A)(B)] = 0$　　根据附录 D

由于上述推理对每个 y_i 以及每个可接受 CA 的集合都成立，根据(148)，我们有 (*more than how many*)(A)(B) $\equiv_w$ ~(*at most how many*)(A)(B)。

定理 17：　Q~(#)(P) $\equiv_w$ Q(#)(~P)

证明：
要证明上式，只需证明 Q(#)(P)与 Q(#)(~P)互为弱内部否定。根据疑问量词弱内部否定的定义(150)，这等于要证明对任何 Y，Q^Y(#)(P)与 Q^Y(#)(~P)互为内部否定。而根据附录 I 陈述量词内部否定的定义，这是真的，本定理乃得证。

定理 18：　(a) *who*~(–)(A) $\equiv_w$ (*everybody except who*)(–)(A)
(b) $\textit{what}_n$~(–)(A) $\equiv_w$ (*everything except* $\textit{what}_n$)(–)(A)
(c) $\textit{what}_d$~(A)(B) $\equiv_w$ (*all except* $\textit{what}_d$)(A)(B)
(d) *which*~(A)(B) $\equiv_w$ (*all except which*)(A)(B)
(e) (*how many*)~(A)(B) $\equiv_w$ (*all except how many*)(A)(B)
(f) (*what proportion of*)~(A)(B) $\equiv_w$ (*all except what proportion of*)(A)(B)

部分证明：
以下只证(a)。根据定理 17，有 *who*~(–)(A) $\equiv_w$ *who*(–)(~A)。但根据定理 2(a)，*who*(–)(~A) ≡ (*everybody except who*)(–)(A)。综合以上结果，(a)得证。

参考文献

Arieli, O. and Avron, A. (1996), "Reasoning with Logical Bilattices" in *Journal of Logic, Language and Information*, Vol. 5, No. 1, pp. 25 – 63

Asher, N. and Reese, B. (2007), "Intonation and Discourse: Biased Questions" in Ishihara, S., Jannedy, S. and Schwarz, A. (eds.), *Interdisciplinary Studies on Information Structure 08*, pp. 1 – 38

Badia, A. (2009), *Quantifiers in Action: Generalized Quantification in Query, Logical and Natural Languages*, New York: Springer Science + Business Media

Barwise, J. and Cooper, R. (1981), "Generalized Quantifiers and Natural Language" in *Linguistics and Philosophy* 4, pp. 159 – 219

Beck, S. and Rullmann, H. (1999), "A Flexible Approach to Exhaustivity in Questions" in *Natural Language Semantics* 7, pp. 249 – 298

Beghelli, F. (1994), "Structured Quantifiers" in Kanazawa, M. and Pinon, C. (eds), *Dynamics, Polarity and Quantification*, Standford: CSLI Publications, pp. 119 – 143

van Benthem, J. (2008), *A Brief History of Natural Logic*, Technical Report PP-2008-05, Institute for Logic, Language & Computation

Bergmann, M. (2008), *An Introduction to Many-valued and Fuzzy Logic: Semantics, Algebras, and Derivation Systems*, Cambridge: Cambridge University Press

Fermüller, C.G. and Kosik, R. (2006), "Combining supervaluation and degree based reasoning under vagueness" in *Logic for Programming, Artificial Intelligence, and Reasoning*, Berlin: Springer, pp. 212 – 226

Fillmore, C.J., Kay, P. and O'Connor, M.C. (1988), "Regularity and Idiomaticity in Grammatical Constructions: The Case of Let Alone" in Kay, P. (ed.), *Words and the Grammar of Context*, Stanford: CSLI Publications, pp. 1 – 48

Fine, K. (1975), "Vagueness, Truth and Logic" in *Synthese*, 30, pp. 265 – 300

Ginzburg, J. (1995), "Resolving Questions I and II" in *Linguistics and Philosophy* 18: pp. 459 – 527, 567 – 609

Glöckner, I. (2006), *Fuzzy Quantifiers: A Computational Theory*, Springer-Verlag

Goguen, J.A. (1969), "The Logic of Inexact Concepts" in *Synthese*, 19, pp. 325 – 373

Groenendijk, J. (2003), "Questions and Answers: Semantics and Logic" in *Proceedings of the 2nd CologNET-ElsET Symposium*

Groenendijk, J. and Stokhof, M. (1984), *Studies on the Semantics of Questions and the Pragmatics of Answers*, Ph. D. thesis, Universiteit van Amsterdam

Groenendijk, J. and Stokhof, M. (1989), "Type-shifting rules and the semantics of interrogatives" in Portner, P. and Partee, B.H. (eds.), *Formal Semantics : the Essential Readings*, Oxford: Blackwell, pp. 421 – 456

Groenendijk, J. and Stokhof, M. (1993), “Interrogatives and Adverbs of Quantification” in Bimbo, K. and Mate, A. (eds.), *Proceedings of the 4th Symposium on Logic and Language*

Groenendijk, J. and Stokhof, M. (1997), “Questions” in *Handbook of Logic and Language*, Elsevier Science, pp. 1055 – 1124

Gutierrez-Rexach, J. (1997), “Questions and Generalized Quantifiers” in Szabolcsi, A. (ed.), *Ways of Scope Taking*, Kluwer, Dordrecht, pp. 409 – 452

Gutierrez-Rexach, J. (1999), “Interrogatives and Polyadic Quantification” in Scott, N. (ed.), *Proceedings of the International Conference on Questions*, University of Liverpool, pp. 1 – 14

Higginbotham, J. (1993), “Interrogatives” in Hale, K. and Keyser, S.J. (eds), *The View from Building 20*, Cambridge: MIT Press, pp. 195 – 227

Kamp, H. (1975), “Two Theories about Adjectives” in Keenan E.L. (ed.), *Formal Semantics of Natural Language*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 123 – 155

Karttunen, L. (1977), “Syntax and Semantics of Questions” in *Linguistics and Philosophy* 1, pp. 3 – 44

Kay, P. (1990), “Even” in *Linguistics and Philosophy* 13, pp. 59 – 111

Keefe, R. (2000), *Theories of Vagueness*, Cambridge: Cambridge University Press

Keenan, E.L. (1996), “Further Beyond the Frege Boundary” in van der Does, J. and van Eijck, J. (eds), *Quantifiers, logic, and language*, Stanford: CSLI Publications, pp. 179 – 201

Keenan, E.L. (2003), “Excursions in Natural Logic” in Casadio, C., Scott, P.J. and Seely, R.A.G. (eds.) *Language and Grammar: Studies in Mathematical Linguistics and Natural Language*, Standford: CSLI

Keenan, E.L. (2008), “Further Excursions in Natural Logic: The Mid-Point Theorems” in Hamm, F. and Kepser, S. (eds.) *Logic for Linguistic Structures*, Berlin: Mouton de Gruyter, pp. 87 – 104

Keenan, E.L. and Westerståhl, D. (1997), “Generalized Quantifiers in Linguistics and Logic” in *Handbook of Logic and Language*, Elsevier Science, pp. 837 – 893

Krifka, M. (2001a), “For a Structured Meaning Account of Questions and Answers” in Fery, C. and Sternefeld, W. (eds.), *Audiatur Vox Sapientia. A Festschrift for Arnim von Stechow*, Berlin: Akademie Verlag, pp. 287 – 319

Krifka, M. (2001b), “Quantifying into Question Acts” in *Natural Language Semantics* 9, pp. 1 – 40

Krifka, M. (2004), “The Semantics of Questions and the Focusation of Answers” in Lee, C.M., Gordon, M. and Büring, D. (eds.), *Topic and Focus: A Cross-Linguistic Perspective*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 139 –

151
Krifka, M. (2006), "Association with focus phrases" in Molnar, V. and Winkler S. (eds.), *The Architecture of Focus*, Berlin: Mouton de Gruyter, pp. 105 – 136

Langacker, R.W. (1991), *Foundations of Cognitive Grammar – Volume II: Descriptive Application*, Stanford: Stanford University Press

Liu, F.H. (1997), *Scope and Specificity*, Amsterdam: John Benjamins Publishing Co.

Nelken, R. and Francez, N. (2000a), "The Algebraic Semantics of Interrogative NPs" in *Grammars* 3, pp. 259 – 273

Nelken, R. and Francez, N. (2000b), "A Calculus for Interrogatives Based on Their Algebraic Semantics" in Heylen, D., Nijholt, A. and Scollo, G. (eds.), *Proceedings of TWLT16/AMILP2000: Algebraic methods in language processing*, pp. 143 – 160

Nelken, R. and Francez, N. (2002), "Bilattices and the Semantics of Natural Language Questions" in *Linguistics and Philosophy*, 25, pp. 37 – 64

Sher, G. (1990), "Ways of Branching Quantifiers" in *Linguistics and Philosophy* 14, pp. 393 – 422

Westerståhl D. (1984), "Determiners and Context Sets" in van Benthem, J. and ter Meulen, A. (eds), *Generalized Quantifiers in Natural Language*, Foris: Dordrecht, pp. 45 – 71

Zadeh, L.A. (1965), "Fuzzy sets" in *Information and Control*, 8(3), pp. 338－353

Zadeh L.A. (1983), "A Computational Approach to Fuzzy Quantifiers in Natural Languages" in *Computers and Mathematics with Applications*, 9, pp. 149－184

黄正德(1988)，"汉语正反问句的模组语法"，《中国语文》，1988 年第 4 期，pp. 247–264

李宇明(2000)，《汉语量范畴研究》，武汉：华中师范大学出版社

邵敬敏(1996)，《现代汉语疑问句研究》，上海：华东师范大学出版社

温锁林、雒自清(2000)，"疑问焦点与否定焦点"，《雁北师范学院学报》，第 16 卷第 5 期，pp. 37 – 38

徐杰(2001)，《普遍语法原则与汉语语法现象》，北京：北京大学出版社

徐杰、张林林(1985)，"疑问程度和疑问句式"，《江西师范大学学报(哲学社会科学版)》，1985:2，pp. 71 – 79

尹洪波(2008)，"现代汉语疑问句焦点研究"，《江汉大学学报(人文科学版)》，第 27 卷第 1 期，pp. 92 – 96

殷树林(2006)，《现代汉语反问句研究》，福建师范大学博士论文

周家发(2006)，《论自然语言量化结构的单调推理关系》，香港理工大学硕士论文