

互补性构架及其逻辑重建

桂起权 陈晓平

作者 桂起权, 武汉大学哲学学院教授、博士生导师, 武汉, 430072
陈晓平, 武汉大学哲学学院副教授, 武汉, 430072

关键词 互补性构架 矛盾律 公理系统 Z

提要 从互补性的物理内涵引出其逻辑构架, 用逻辑哲学将它定性为因矛盾律疑难触发而产生的一种扩展型的非经典逻辑, 并将玻尔的“黎曼面”模型定性为素朴语义学解释。文中阐明了公理系统 Z及其语义模型作为互补性逻辑的理由。

玻尔的互补性构架是为了适应量子现象的特殊需要而发展起来的一种“通过强调对立, 重建新的和谐”的恰当模式^①。罗森菲尔德根据玻尔原话浓缩而成的“强调对立, 重建和谐”一语, 最能刻划互补性构架的特征。互补性构架体现了量子力学描述自然的特征方式, 这是一种富有辩证意味的逻辑框架, 它包含物理、辩证哲学与逻辑这样三方面的内涵, 其中物理内涵是基础。本文的目标侧重于逻辑方面。

一、互补性的确切物理含义

罗森菲尔德指出:“互补关系本身只是一种形式上的方案, 它必须充入某种内容才能取得确切的形状; 在每一特例中, 必须密切地联系有关的经验来拟订出适当的形式”^②。

查阅玻尔的有关论著就不难看出, 互补性的形式框架主要包括四个方面的物理内容: (1) 在对立的描述方式 (如时空描述与因果描述) 或两种理想化 (‘主体’和‘客体’) 之间; (2) 在两类概念以及相应的两类物理量 (如位置坐标及其共轭动量) 之间; (3) 在两组实验装置或实验安排之间; (4) 在两组量子现象或两种对立图象 (如波动图象与粒子图象) 之间, 都普遍存在着互斥又互补的关系。这几个方面又是相互关联的:

(1) 对立描述方式或主客体间的互补。1927年 9月玻尔在“科摩演讲”中说:

量子论的本性就使我们不得不承认时空标示和因果要求是依次代表着〔主体〕观察的理想化和〔客体〕定义的理想化的一些互补又互斥的描述特点, 而时空标示和因果要求的结合是经典理论的特征……量子公设给我们提出了这样一个任务: 要发展一种“互补性”的理论, 该理论的无矛盾性只能通过权衡〔无歧义的客体〕定义和〔无干扰的主体〕观察的可能性来加以判断^③。

这段话是互补性最早的经典表述。玻尔在这里强调的是精确的时空描述与严格的因果描述两者之间既互斥 (不可两全, 不像经典力学那样能结合成统一的时空/因果描述) 又互补 (要形成原子客体的完整观念

两者缺一不可)。与此直接相关联,经典力学中原有的两种理想化概念——泾渭分明的“主体”和“客体”,即能进行绝对无干扰观察的观察者 and 能绝对隔离外界相互作用而确定其孤立状态的“系统”,在原子世界中已经变得不可能了。主体与客体的真实关系是互斥又互补的,严格的主客二分只是不切实际的幻想。

(2) 两类经典概念之间的互补性。1929年玻尔在出版论文集时对互补性作了新的概括:

互补一词的意义是:一些经典概念的任何确定应用,将排除另一些经典概念的同时应用,而这另一些经典概念在另一种条件下却是阐明现象所同样不可缺少的^④。

(3) 不同类实验安排之间的互补性。相互补充的两大类现象的出现要求存在相互排斥的两大类的实验安排。为了测量两个共轭的物理量(如位置与动量),就必须有两类不同的实验装置和实验安排。它们不能同时兼得,彼此结合才能把原子客体的一切可能得到的有关信息揭示无遗^⑤。

(4) 两组现象(图象)之间的互补性。光的干涉、绕射与偏振等实验需要波动图象,而光电效应、康普顿散射效应则需要粒子图象(即用光子对电子的碰撞来说明),此两者不可兼得却又缺一不可。

如果从以上诸方面内容中抽出共性,则还可以作出更高的概括。按这一思路,科学史家兼科学哲学家雅默在《量子力学的哲学》中对互补性诠释作出了如下的抽象定义:

一个给定的理论 T 可以有的一种互补性诠释,若是它满足以下的条件: (1) T 包含有(至少)两种关于其实体〔例如光〕的描述 D_1 和 D_2 ; (2) D_1 和 D_2 是属于同一论域 U 的(在玻尔的情况下 U 即微观物理学); (3) 单取 D_1 或 D_2 都不能完尽地说明 U 中的一切现象; (4) D_1 和 D_2 在这种意义上是互斥的,即如果把它们组合成一种单一的描述就将导致逻辑上的矛盾^⑥。〔戈革先生根据玻尔的原意作了一点补充: (5) 分别使用 D_1 和 D_2 , 就能包罗罄尽地阐明 U 中的所有现象^⑦。〕

需要解释的是, (5) 中“分别”一词的含义是指“不同时”使用却必须都使用。到这里就容易看出,一旦互补性构架从具体的物理内容中抽象出来,它也就具有明显的逻辑性质。

二、从逻辑哲学观点看互补性

毫无疑问,互补性构架意味着一种新型的逻辑。罗森菲尔德明确的说过:

玻尔创造的一种新的逻辑工具叫做互补性。互补性代表一些概念之间的一种新型的逻辑关系;这些概念是互斥的,从而不能同时被考虑,因为那将导致逻辑上的错误,但是为了对局势作出一种完备的描述,这些概念又全都是必要的^⑧。

问题在于互补性构架属于哪一类型的新逻辑? 这个问题必须由逻辑哲学来解答。逻辑史与逻辑哲学告诉我们,自从经典逻辑创建以来,就不断有人提出要改进、修正甚至替代它。经典逻辑工具经常面临着各式各样的疑难和反常,因而总是受到促使它进行修改的各种压力,不同倾向的逻辑学家常采取不同类型的对策来处理这些问题,形形色色的非经典逻辑正是在这种背景下产生出来的^⑨。

联系互补性问题看,尼尔斯·玻尔在这里所遇到的实际上是一个逻辑疑难:当遇到必须使用为完备地描述现象所必要的两个互斥概念(它们的同時使用必将陷入逻辑矛盾)的局势时我们应该怎么办? 由矛盾律所支配的经典逻辑是否太狭窄了? 矛盾律的使用条件是否可修改? 经典逻辑应该作什么样的特别调整或扩展才能消化或适应矛盾律在应用中所遇到的这种反常? 玻尔经过艰苦的探索,最终用互补性构架给出了解决这一疑难的恰当表述。罗森菲尔德对此作了如下的评论:

……二象性就一直使物理学家们感到困惑。当着一些伟大的大师们正在徒劳地试图通过把一个方面归结为另一个方面来按照亚里士多德的样式消除矛盾时,玻尔却意识到这些尝试的没有希望;他知道,我们必须和这些两难问题一起生活下去……^⑩

互补性……引入了一种把我们的概念安排在内的逻辑构架;和这种构架相比,经典的谈论方式显得很狭窄的,因为它是局限在由矛盾律支配着的简单的经典逻辑中的。当然,经典逻辑仍然是我们所用任何论

证的基础,……但是我们发现,当处理量子现象时,经典逻辑是太狭窄的:我们必须有一种更宽广的、把各式各样概念联系起来的办法,而互补性就提供了这样的办法^①。

罗森菲尔德在这里所强调的是,由于为矛盾律所支配的经典逻辑的局限性,面对波粒二象性疑难用亚里士多德方式消除矛盾将徒劳无益,因此需要对经典逻辑进行拓展并引进更宽广的互补性的逻辑构架。

按逻辑哲学眼光看,互补性构架属于一种扩展型的非经典逻辑。因为它面对必须使用互斥概念的疑难局势,作出了对经典逻辑工具进行扩展的反应,但并没有触动经典逻辑原有的基本内核。正象在自组织理论中“总熵的减少”超越和拓展了“熵增加原理”却并不是简单地违背它,玻尔的“通过强调对立而重建新的和谐”的互补性构架扩展和超越了为矛盾律所支配的经典逻辑,却并没有直接地违背矛盾律。然而,仅仅看到“不违背”这一面会掩盖新原理的建设性方面,那种近视的观点是不足取的。

三、黎曼面模型是互补性的形象表示

黎曼面模型是玻尔互补性构架的一个重要组成部分。玻尔逝世后,人们在他的工作室黑板上发现了两幅草图,其一是黎曼面模型,它被看作关于互补性思想的“最后的符号性记录”^②。

我们认为,玻尔所喜爱的黎曼面模型实质上是作为互补性逻辑构架的语义解释而被采用的,它属于非形式语义学的范畴。玻尔发现,人类思想中的每一概念、人类语言中的每一单词,都有许多不同层次的含义,这些含义之间正好存在互斥又互补的关系。为了说明这种关系,玻尔喜欢引证复变函数论。他把一个概念比喻成一个多值复函数,而把该概念的互补的意义比喻成该函数在黎曼复平面的不同叶面上所取的值。这些值的任何两个都不在同一叶面上,从而不能同时应用(即是互斥的,否则必将导致逻辑矛盾);另一方面,缺少了其中任何一个值,就不能完全地表示那个函数(换句话说,又是互补的)。这样一种数学逻辑类比是十分贴切的,它能使概念表述得更为精确和清晰,玻尔本人对此是颇为得意的^③。

玻尔常常说,同一概念的每个不同涵义,可以说具有不同的目标性(objectivity),所以不妨说它们是安排在不同的目标性层面(plan of objectivity)上的。正象一个多值函数的值分布在不同的黎曼平面上一样。罗森菲尔德评论道:

黎曼观念的实质就在于把一个多值函数的所有各支结合成单独一个概念(“这个函数”)……各目标性层面之间的互补关系只能是一些第一性的、不可简化的关系,它们对应于我们利用语言来描述和传达我们的经验时的那种用法本身的一种本质属性^④。

总的来说,玻尔是采用黎曼的多值复平面作为互补性的语义表象。这里并不包含任何意义的神秘性,实际上,这个语义模型还可以有更通俗而不失真的表述。

每个学过机械制图的人都知道,若将一个圆柱体放在互相垂直的两个投影面间进行正投影,则在水平投影面H上的视图正好是一个圆,它与圆柱的底是等圆;而在正面投影面V上的视图却是一个矩形(“方”),其长等于圆柱的直径,其高等于圆柱的高。前者称为俯视图,后者称为正视图。现在对我们来说最重要的是,“圆柱体的二视图”消解了既方又圆的矛盾,并使方与圆能合理整合,正好为抽象的互补性概念提供了一个形象而确切的描述。说到底,互补性的基本思想就在于把看来相互排斥的、不相容的图象以某种合理的方式联系起来,使它们相互补充并连结成一个整体,从而达到对于对象的更全面的理解和认识。

四、互补性构架的逻辑重建:公理系统Z

罗森菲尔德曾表示过:“应该试着对玻尔的论证进行形式化的改写,以作为利用现代逻辑之公理化方法对整个理论进行抽象表述的一部分。”^⑤但他又表示,这很困难,弄不好则会引起混乱。所以我们要做的只是探索性的工作。

玻尔互补性逻辑的核心思想就是把分别在不同条件下成立的然而在形式上相互矛盾和否定的两个命题即 A 和非 A 互补起来, 让它们都成立。显然, 经典逻辑原有的否定词与矛盾概念已经不够用了, 必须作某种扩展。具体地说, 如果用经典逻辑的否定词一把非 A 符号化为 $\neg A$, 玻尔的互补思想是不能得以体现的, 因为 $A \wedge \neg A$ (即 A 并且 $\neg A$) 是一个永假式, 在任何情况下都不成立。为了适应刻划互补关系的特殊需要, 应当引入一个新的否定词 Z, 从而使得 $A \wedge ZA$ 不是一个永假式。我们注意到, 系统 Z 就是在经典逻辑基础上引入否定词 Z 和一系列相应的公理而构成的^⑩。系统 Z 有如下 11 条独立的公理:

- | | |
|---|--|
| 1: $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ | 7 $B \rightarrow A \vee B$ |
| 2 $[A \rightarrow (B \rightarrow C)] \rightarrow [(A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow C)]$ | 8 $(A \rightarrow C) \rightarrow [(B \rightarrow C) \rightarrow (A \vee B \rightarrow C)]$ |
| 3 $A \rightarrow [B \rightarrow (A \wedge B)]$ | 9 $(A \rightarrow B) \rightarrow [(A \rightarrow \neg B) \rightarrow \neg A]$ |
| 4 $(A \wedge B) \rightarrow A$ | 10 $\neg \neg A \rightarrow A$ |
| 5 $(A \wedge B) \rightarrow B$ | 11 $(A \rightarrow B) \rightarrow [(A \rightarrow ZB) \rightarrow ZA]$ |
| 6 $A \rightarrow A \vee B$ | |

以上 11 条公理中的前 10 条恰是经典命题逻辑的全部公理, 只有第 11 条是系统 Z 所特有的非经典公理, 可见系统 Z 是经典命题逻辑的一个扩展系统。在经典逻辑与系统 Z 中, 关于经典否定词 $\neg$ 的公理有两条即公理 9 和公理 10。其中公理 9 称作归谬律, 意即: 如果由命题 A 既推出 B 又推出 $\neg B$, 那么 A 是假的 (即 $\neg A$)。公理 10 称作双重否定律, 意即: 对命题 A 的两次经典否定将回到 A。在系统 Z 中关于非经典否定词 Z 的公理只有一条即公理 11; 而且此公理与公理 9 是同构的, 即只须将公理 11 中的 Z 全部替换为 $\neg$ 则得到公理 9。然而, ZA 却并不意味着 A 为假, 因此公理 11 不宜称作归谬律。

$\neg A$ 意味着 A 是假的, 这一解释与双重否定律 10 相吻合。10 说, 对 A 的两次 $\neg$ 否定将回到 A, 正如说“‘A 是假的’是假的”等于说“A 是真的”。然而, 对于否定词 Z 则没有同构于双重否定律的定理“ $ZZA \rightarrow A$ ”, 却另有一条不同构的定理即: $ZZA \rightarrow A \vee Z(A \vee ZA)$ 。换言之, 对 A 的两次 Z 否定, 其结果比 A 增添了既不同于 A 又不同于其否定 (ZA) 的新内容 $Z(A \vee ZA)$, 这类似于辩证法的“否定之否定律”。因此, ZA 不宜被解释为“A 是假的”, 而宜解释为“A 被超越”。为了区别起见, 我们把非经典否定词 Z 称作“超越否定词”或“互补性否定词”, 相应地我们又把 $A \wedge ZA$ 称作互补性矛盾。 $A \wedge ZA$ 非但并不荒谬, 相反它是建设性的和富有表现力的, 因为它能恰到好处地刻划玻尔所要求的互斥又互补的关系何以能成立。

五、系统 Z 的语义模型

以上主要是从句法角度讨论互补性否定词 Z 以及互补性矛盾的逻辑性质。接下来我们将从语义角度进一步进行讨论。系统 Z 给出的语义模型如下:

系统 Z 的语义模型是一个有序的二元组 $\langle \alpha, V \rangle$: I. α 是一个世界变项, 有两个值, 即原世界 (记为 $\neg$) 和超越世界 (记为 Z)。II. V 是赋值函数, 定义域为 $R \times \alpha$, 而 R 为系统 Z 的合式公式, α 是世界变项; V 的值域 $\{1, 0\}$ 。具体地说, 若一公式 A 在原世界 $\neg$ 中为真或假, 分别记为 $V(A, \neg) = 1$ 或 $V(A, \neg) = 0$; 若 A 在超越世界 Z 中为真或假, 则分别记为 $V(A, Z) = 1$ 或 $V(A, Z) = 0$ 。V 满足以下条件:

(1) 对于每一个世界 α 和每一个命题变项 P 均有 $V(P, \alpha) = 1$ 或 $V(P, \alpha) = 0$ 成立, 两者必居其一, 且仅居其一。

(2) 对于每一个世界 α 和任意公式 A 和 B, $V(A \wedge B, \alpha) = 1$, 当且仅当, $V(A, \alpha) = 1$ 且 $V(B, \alpha) = 1$ 。

(3) 对于每一个世界 α 和任意公式 A 和 B, $V(A \vee B, \alpha) = 1$, 当且仅当, $V(A, \alpha) = 1$ 或者 $V(B, \alpha) = 1$ 。

(4) 对于每一个世界 α 和任意公式 A 和 B, $V(A \rightarrow B, \alpha) = 1$, 当且仅当, $V(A, \alpha) = 0$ 或者 $V(B, \alpha) = 1$ 。

(5) 对于每一个世界 α 和任意公式 A 和 B, $V(A \rightarrow B, \alpha) = 1$, 当且仅当, $V(A, \alpha) = 1$ 且 $V(B, \alpha) = 1$, 或者 $V(A, \alpha) = 0$ 且 $V(B, \alpha) = 0$ 。

(6) 对于每一个世界 α 和任意公式 A, $V(\neg A, \alpha) = 1$, 当且仅当, $V(A, \alpha) = 0$ 。

(7) (i) 对原世界 $\neg$ 和任意公式 A, $V(ZA, \neg) = 1$, 当且仅

当, $V(A, \neg) = 0$, (ii) 对超越世界 Z 和任意公式 A , $V(ZA, Z) = 1$ 恒成立。换言之, 无论 $V(A, Z) = 0$ 或 1 , 恒有 $V(ZA, Z) = 1$

定义: 在系统 Z 中, 若有一公式 R , 无论其命题变项如何取值, 无论相对于任何世界, 恒有 $V(R, \alpha) = 1$, 则 R 为系统 Z 的永真式; 若恒有 $V(R, \alpha) = 0$, 则 R 为系统 Z 的永假式。

与经典命题逻辑的语义相比, 非经典系统 Z 的语义的显著特征有二: 其一是有两个世界即原世界和超越世界; 其二是超越否定词使得 ZA 相对于超越世界总为真而无论 A 取何值。这两个特点使得互补性矛盾 $A \wedge ZA$ 不是一个永假式。因为相对于超越世界 Z , 当 A 为真时, $A \wedge ZA$ 也为真。这就决定了互补性矛盾 $A \wedge ZA$ 并不是一个逻辑谬误。另一方面, 在系统 Z 中, $A \wedge \neg A$ 仍是一个永假式, 这一点与经典逻辑并无二致。

A 与其否定 ZA 在超越世界可以同真的直观意义是什么? 为了回答这一问题, 我们对系统 Z 的语义模型做了进一步阐释。在此阐释下, 原世界是一个单一的静态世界, 而超越世界则是由一簇依次超越的子世界所构成, 因而是一个处于无限建构过程的动态世界。否定词 Z 的特征功能就在于超越。一旦进入超越世界, ZA 便超越 A 而进入一个新的子世界; 类似地, ZZA 超越 ZA 而进入一个更高层次的子世界。对立的双方 A 与 ZA 之所以在超越世界中可以同真, 是因为二者处于不同的子世界^⑩。这个语义模型无疑与玻尔关于将互斥各方安置在不同的“目标性层面”或黎曼复平面的不同叶面上的构想是高度一致的。它使得, 尽管 A 与 ZA 相互否定, 但将它们结合成整体 $A \wedge ZA$ 并不构成逻辑矛盾。因此, 我们有充分的理由把 $A \wedge ZA$ 看作玻尔的“互斥又互补”的恰当的形式刻划, 并名之为互补性矛盾。

互补性矛盾是玻尔互补性构架的核心。以上的分析已经表明, 互补性矛盾在系统 Z 内能得到较好的刻划。因此我们说, 在对经典逻辑未作相干化改造的前提下, 系统 Z 可以看作对玻尔的互补性构架的一种较简洁的逻辑重建。

罗森菲尔德曾说: “无论如何, 互补性这种关系总是第一个确切的辩证方案的实例”^⑪。正是在这个意义上, 我们愿意把互补性逻辑看作那种被确切表述的辩证逻辑的一个特例。我们历来认为, 辩证逻辑不是孤立地存在着的, 它是相对于多种非经典逻辑的“家族类似”谱系 (如多值逻辑、模糊逻辑、相干逻辑与次协定逻辑等) “超切”地存在着的, 既超越其上又切入其中。

注 释:

①②⑧⑩⑪⑮⑰ 罗森菲尔德:《量子革命》, 商务印书馆 1991年版, 第 115 94 156 181 159 190 142页。

③④⑭ 玻尔:《原子论和自然的描述》, 商务印书馆 1964年版, 第 41 9 97页。

⑤ 卢鹤绂:《哥本哈根学派量子论考释》, 复旦大学出版社 1984年版, 第 118页。

⑥ 雅默:《量子力学的哲学》, 商务印书馆 1989年版, 第 121- 122页。

⑦⑫⑬ 戈革:《尼耳斯·玻尔》, 上海人民出版社 1985年版, 第 322 300- 301 300页。

⑨ 桂起权:《当代数学哲学与逻辑哲学入门》, 华东师大出版社 1991年版, 第 122- 126页。

⑮ 系统 Z 首先在张金成的《对辩证逻辑形式化的研究》(《武汉大学学报》哲社版 1992年第 6期) 一文中被提出, 原有 12条公理, 而张清宇在《关于系统 Z 的一些意见》(《武汉大学学报》哲社版 1993年第 5期) 一文中证明了其中公理 12不是独立的。

⑰ 陈晓平、桂起权:《辩证逻辑形式的新进展》《武汉大学学报》哲社版 1992年第 6期。

⑱ 桂起权、陈晓平:《辩证逻辑形式化的研究纲领》,《哲学动态》1992年第 10期。

(责任编辑 严 真)