

现代设计法丛书

对应论方法学

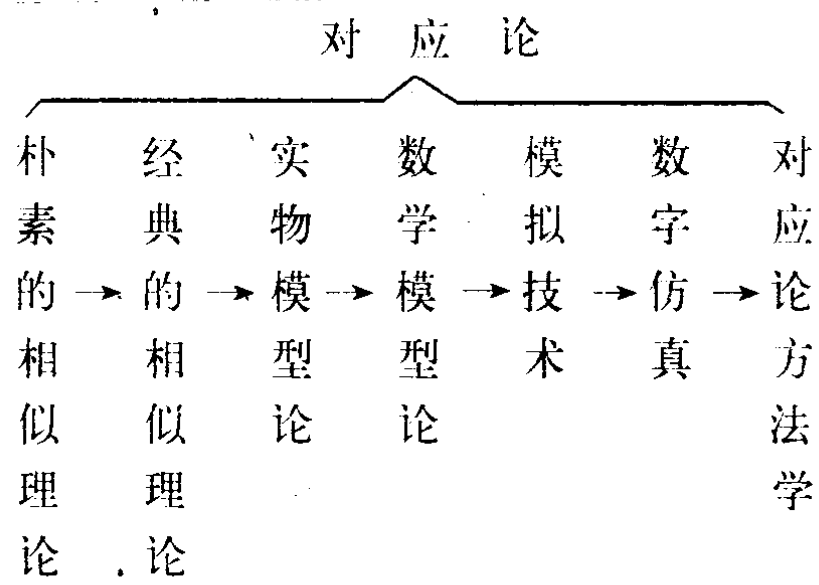
戚昌滋 徐挺 主编

中国建筑工业出版社

第一篇 对应论方法学总论

对应论曾是一种古典的理论（无数学模式），近代发展为相似理论（具有一般数学模型），但是，为了使科学更有效地接近真理的目标，科学活动必须由方法论的规则和规范所支配，这就发展为现代设计法中的对应论方法学，它使近代相似原理扩展为更广泛的对应原理（包括相反、相克、对称、映照、模拟……）。这说明了“新原理应该包括旧原理正确部分”这一科学的基本原则。因为“普遍的说明各别的，更普遍的说明普遍的”也是一条科学方法论规范。

对应论可表示为下列发展过程：



一、“对应”的普遍意义

世界上的事物千变万化，没有二种完全相同的事物。但是，却往往具有大量的、普遍的对应性，有的结构对应，有的物理对应，有的功能对应，有的因果对应，等等。人与黑猩猩 DNA 的结构有 99% 一样；人类、生物与机器反馈与控制的调节功能相似；宏观天体与微观粒子运动雷同，生物界有相生相克的对应，枚不胜举。

对应学说虽不是万能的，但它揭示了许多事物的本质与规律，它是探索、追溯过去与未来的一把重要钥匙。林奈根据生物结构相似提出了生物分类学；维纳根据生物与机器的调节对应关系创立了控制论；英国李斯特医生从肉汤腐败与伤口化脓之间的雷同现象创立了消毒外科学，现代机器的系列相似形成了标准化理论；模拟生物功能这一门年轻的仿生学、机器人学则正处于兴旺发展阶段，均是对应论杰出的运用，海豚式高速潜艇、企鹅式极地汽车、夜蛾式干扰机与智能机器人等正在为人类服务。现代设计法中的对应论方法学也由此触类旁通而产生。

图象可通过编码以语言储存，语言可通过译码而恢复图象。

图论在于研究图的概念、性质、理论与应用，以使用点、线等等符号模拟事物结构与过程。

克希荷夫电网路方程开创了解回路图的方程解。

“树”是不封闭的图。

“同构”即点、线及其关联一一对应。在解法上“矩阵”与图对应。

1985 年已经出现了显示蛋白质三维结构且能模拟影响蛋白质分子折迭的物理、化学作用力，为人工合成新蛋白质

开辟了道路。

一个具体生物机体相应有一个程序（自动程序控制系统）。

对一个活细胞相应有一个子程序。

对一个特定生化反应相应有多少条程序语句。

这是对应论仿生学的高级运用。

信息的载体物质叫信号，信息与信号具有一一对应关系，即同构关系，这是信息传输的重要条件。同构即：

集合 X 与 Y 满足下列条件：1) X 中任一元素 X_i 都对应 Y 中的 Y_i ；反之亦然；2) X_i 按规则 f 变化到 X_j ，在 Y 中也有特定的变化规则 F ，使 Y_i 变为 Y_j ，反之亦然。

研究事物的对应性，能使人们开阔视野，从普遍规律中发现新事物。计算机所以能沿着“电脑”、“智能化机器”方向发展，非生物在“活”字上的对应性起了桥梁作用。我国的著名的生物学家贝时璋曾对生命的特征“活”字下过这样的定义：“活”就是物质、能量、信息三者的变化，协调和有机统一的动作。

研究事物的对应性，可以帮助科学家总结出一般规律，提出新的学说见解。美国数学家维纳从人类、生物、机器的调节功能的相似规律中，发现了反馈作用，提出了反遗概念。在这个基础上，他和医学、生物、数学和工程技术界的一些人士合作，创立了控制论，对现代计算、控制、通讯、自动化技术、生物学和医学理论的发展都有程度不同的影响。

事物的对应性是分类学的基础，而分类学又是科学的基础。在生物分类中，人、猿、猴为什么能归入灵长目，因为

从解剖中找到了三者结构上的对应性，证明了猿与人之间的亲缘关系，而且还对生物的进化提供了有力的例证。

对事物对应的研究，还将大大提高人们预见性和创造性。法国物理学家德布罗意，从光的波粒二象性，提出一切微观粒子也都具有波粒二象性的论点，以此预言物质波的存在。后来物质波得到了证实，他因此获得了诺贝尔奖金。

谈到模拟，连小孩也知道，如用手指来模拟数，大拇指加上食指可模拟为8的数，这是自发的模拟。

由此，我们可以描述相似与模拟二个概念，至于定义，现在众说纷纭，我们暂时不去探讨。

所谓“相似”，就是各类事物间某些共性的客观存在。它是名词。

所谓“模拟”，就是异类事物间某些相似的恰当比拟，它是动词。

俗语说：“万变不离其宗”，“宗”就是相似对应的事实，又说：“各有巧妙不同”，这个“巧妙”就是指的模拟。

相似与变异是对立统一的。正如哲学中的共性与特性的对立统一一样。异中有似，似中有异。分析与设计的方法不了解与掌握这些道理，单纯标新立异，一味模仿雷同，都会给工作带来巨大损失。

二、对应论的机理

宇宙万物奇妙多变，但人们终究不断发现了事物间种种普遍规律。对应论就是其中最常见的规律之一。数千年来，人类采用对应论方法创造、发明与发现了许多重大科学成果与理论。从阿基米德沐浴联想到利用浮力测定金冠比重开始，多少著名的学者用对应论追溯过去与探索未来，使对应

论变成了揭示事物本质、设计新的事物的一把重要钥匙。从数与物的对应及方程与过程的对应中人们发展了各种数学分支；宏观天体与微观粒子运动间的对应，解决了天体力学的许多难题；模仿生物功能，产生了年轻的仿生学与机器人学；枚不胜数。由此触类旁通，人类从思维与设计方法这一科学范畴中抽象出来，创立了对应论这一科学方法学。

所谓对应论规律，即指：在同一个集合内或在完全不同的集合之间，存在着——联系的变换形式。机器系列化与标准化理论反映了在同一集合中的对应；血液循环、电子电路、液压系统各种不同集合存在压差及阻容特性的对应；矩阵式与网络图之间具有一一对应关系；等等。总之，我们可以通过事物间结构对应、物理对应、功能对应、硬件对应、方法对应……一系列几乎无所不包的对应关系中，发现问题、解决问题，并模拟、计算、设计、创造事物，从而，形成了渗透到一切软、硬科学范畴的对应论科学方法。这一方法现已派生出一系列的分支：科学类比、相似分析、模拟技术、符号学、图论、模型论（包括构思模型、物质模型与数学模型）、仿真实论、仿生学与机器人学等。

这些分支有的上升为普遍性的哲学问题（如构思模型或称思想模型），有的变成了基础学科（如符号论、图论与模型论），有的归属到专门技术（如仿生学与机器人学），与工程技术的设计与分析直接有关的则为相似设计与模拟技术，仿真只是模拟技术的高级阶段与数值计算。所以本书重点讨论相似法与模拟法的问题。

相似法是根据某一现象（事物或过程）的已知特征量经过量纲转换（较少采用其他方法）可得到同类事物另一现象

的特征量的方法。量纲是通过基本量度单位表示的导出量单位的表达式。类比法是相似法的低级阶段，即定性的、猜测的阶段，没有必然性的依据。

模拟法是人们所研究的实际对象，用不同类、不同质的对应系统，确定实际现象的各种量的答案。

仿真与模拟是同质的，原文 Simulation 均可译为上述两词，但由于模拟愈来愈向运用仿真专用语言进行数值计算求解动态数学模型发展，所以把这一发展定名为“仿真技术”或称数字计算机仿真。分析法求解可给出通解，而仿真求解只给出特解，即在给定条件下的答案。

至于模型一词，源于拉丁字 Modulus，即尺度、标准、样件；英文 Model 尚含有“雏形”之意，即包括了尚在头脑中的“构思模型”及已客观存在的实际原型。

模拟就是要借助某种事物或过程来再现原型或“构思模型”的表征、性质、关系及本质属性。所以，它是运用对应论研究与创制新事物、特别是模糊事物的重要科学方法，也是以现实知识为杠杆，提高联想力、想像力以解决现实问题的创造性思维。瓦特分析了纽可门蒸汽机的缺陷（现实知识），联想与想像到转换直线运动为圆周运动（构思模型），在不断模拟中实现了这一伟大的创造发明，使人类进入了蒸汽机时代的新纪元；当前进入了计算机时代的伟大功绩也同样应归功于构思模型的模拟方法。可以说，新技术革命的一切领域由于正确地解决了这一构思模型的模拟，已经引起或将要引起新的突破，所以无论在哲学上、思维上、机理上、实践上、方法上研究这一模拟技术，已愈来愈广地引起了各种学科专家的关注。

从上所述，有力地说明了对应论是研究广泛领域的有效工具，通过对应分析及其数学模型，为相似与模拟方法在各种科学领域的应用提供了取之不竭的理论依据。

在现代科学技术的发展过程中，对应论作为一种科学研究方法，有着广泛的运用，已经受到人们的高度重视。但是，做为一种思维形式与方法论来研究，也应引起足够的重视。理由如下：

（一）对应论是一种思维形式与方法论。人类的认识活动离不开认识的对象，但是，当人们要认识而还没有认识这个对象的时候，人们总是把这个尚未认识的对象和已经熟悉的事物（原型）来进行比较。并以此作为思考的对象，使得这个要认识的事物在脑海里有一个大致的智力图象，由此获得对这个未知事物的认识，并做出创造和发明，这就是人们进行模拟思维活动的过程。

（二）对应论具有客观基础。人类的思维是一个自然历史过程，思维现象是物质发展到一定阶段上才出现的。因此，在纷繁复杂、千差万别的事物中总可以找到它们的共性，通过对共性的认识，形成概念，揭示事物的本质，这就是抽象思维。可见，客观事物中的共性就是抽象思维的客观基础。所以，事物的表现形式和存在状态是形象思维的客观基础。在整个物质世界中，还普遍存在一种相似关系，所谓相似，就是客观事物存在的同一与变异的矛盾统一。莱布尼茨曾经指出：自然界中的一切都是相似的。由于客观事物中普遍存在这种相似性，人们才有可能通过一事物来达到对其它事物的认识，进行模拟思维。

（三）对应论的特点。主要是它能在模仿中创新，由此

达彼，触类旁通，并具有综合性。既从原型出发，又超脱原型。原型是一块“砖”，引出的则是一块“玉”。可见，是一种“存同求异”式的转化关系，它包含着相同和质变这种辩证关系，不是简单的模仿、复制，而是在模仿的基础上弃旧图新。

对应还是一种综合性的思维形式。人们既要获得原型的基本形象，又要有一系列的科学抽象，从形象思维向抽象思维过渡。当从原型过渡到模型时，既要有基本的事实，又有大胆的假设；既有合理想象，又会伴随灵感产生；既有现实模型，又有思想模型；既在认识的经验水平上起作用，又在认识的理论水平上起作用。

(四) 在思维模拟的过程中，人类是首先模拟抽象思维，然后模拟形象思维。前四代电子计算机，基本上是对人脑抽象思维的模拟，第五代电子计算机增加了图象处理系统、知识信息处理系统和专家系统，能够进行图象识别、模式识别、语言识别，从模拟抽象思维进入模拟形象思维。

基于上述思维方式及方法论的对应方法，现在广泛的领域、包括社会科学领域得到了应用。

对应论的简明机理可描述如下：

在同一个集合内或完全不同的集合之间，存在着——联系的变换形式，如 $A \rightarrow B$ ，这就是对应，如果 $A \longleftrightarrow B$ ，则变成了对偶，这在初等数学到高等数学及近世代数与图论中均可以有大量的例子，运用借鉴、扩展、发现这些对应关系，可以求得我们所需要的答案并更加理性地认识事物。

例 1：判断全等图形的关键是对应，如要判断两个三角形的全等，必须找到它们的对应边和对应角相等。多边形、

圆形……任意直线形，都可以用对应边、对应角相等来判断，对任意图形的判断也可通过对应。

若两个几何图形（可以看作点集）甲和乙之间存在一个一一对应 Ψ ，对任意三组对应

$$\Psi(A) = A', \Psi(B) = B', \Psi(C) = C'$$

满足 $\angle ABC = \angle A'B'C'$

$$AB = A'B'$$

则称这两个图形是全等的。若仅第一式成立，则两个图形可以相似。

显然，这是中学几何中全等和相似定义的推广，它适用于任何图形，包括曲线和离散的点集。由于对应 Ψ 是点集到点集上的对应，所以也叫做变换。满足前式的变换叫保角变换（也叫相似变换）；满足后式的变换叫做保长变换（也叫做刚体变换）。

例 2：函数概念的关键是对应。

速度 V 在液体中可用作用流量除以作用面积 A 表示，由 $F = ma$ 得：

$$F = m \frac{dV}{dt} = m \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{Q}{A} \right) = \frac{m}{A} \cdot \frac{dQ}{dt}$$

而液体作用力 $F = P \cdot A$ ，所以得

$$\frac{m}{A} \cdot \frac{dQ}{dt} = P \cdot A$$

$$\text{移项得 } p = \frac{m}{A^2} \cdot \frac{dQ}{dt} = L_H \cdot \frac{dQ}{dt}$$

式中 $L_H = m / A^2$ ，上式与电感电路中

$$u = L \frac{dI}{dt}$$

完全是对应的，由此可知，我们可以方便地用成熟的电路来模拟多变的油路，求得油路所需的各项参数。

“对应”另一个很有价值也很有趣的作用是：通过对应可为比较高深的理论提供朴素的数学模型。

例 3：正三角形中有五个点，证明存在两个点的距离小于边长的一半。

假如把这个题对应地改成“四个抽屉中放五个苹果，那末一定有一个抽屉中有两只苹果”，就连小学生也能理解了。事实上连结正三角形各边中点，把它分成四个边长是正三角形边长之半的小正三角形，并把它们对应看作抽屉，把点对应看作苹果，那末必有一个小三角形中（抽屉中）有两个点（有两只苹果），而它们的距离必小于小三角形的边长（即大三角形边长之半）。

抽屉原理是一个重要的数学原理，应用范围很广，而应用它的基础也是“对应”。

从上述各例有力地说明了对应论是研究广泛领域的有效工具，通过对应，派生了一门实用的新兴科学——对应论方法，为相似与模拟方法在各种科学领域的应用提供了取之不尽的理论依据。例如地质学家李四光根据富油的海相地层与中国陆相地层的相似，得出了中国不是贫油国家，而是蕴藏着丰富石油资源的国家的重要结论，并为近十年来的实践所证明。

总之，“对应”是同类或异类事物间内容与形式上的一种内在属性变换，它可以是对称、对偶、因果对应、反性对应、缩放对应以及各种综合对应。运用这种对应关系可以简捷地求解现实中提出的问题。

三、对应论主要方法

对应论方法的种类，大致归纳起来有一般类比法、科学类比法、相似设计法、模拟法与模型技术等数种，仿生学属于模拟法，模型技术属于建立对应模型（数学模型、符号模型、图形模型、计算机模型等）的一般方法论，隶属于各种方法论之内，也是模拟法的抽象，如建立计算机模型，有计算机模拟与数字计算机仿真；建立图形模型，有图论方法；建立符号模型，有逻辑方法、信号流图方法等；建立实物模型则分属于实物模拟法与相似设计法等，实际上一切现代科学方法都有一个建立数学模型问题，所以，现代设计法各论专业性较强的模型方法均可属之。现简略介绍几种常用对应论方法。

（一）科学类比法

在预测决策以后，搜集有关的信息与对象，以类比取得有用的、可借鉴的部分或数据是很重要的。

提到类比，人们往往与仿制、参考样机设计新机混为一谈。其实，类比法是一种从特殊事件到特殊事件的推理方法，盲目的参照样机不能算做“推理”。因此，类比推理如没有科学方法指导只能认为是一种原始的类比方法，称为简单共存类比，它是类比法的最低级的形式，带有很大的偶然性或猜测性，它只考虑 A 事物与 B 事物的简单共存关系，忽略了许多内在的必然联系，这种方法的可靠性最小，但推测的自由度大，也可能陷入谬误，也可能产生突破性的创造（因为它具有冒险性）。但这种类比法在科学发展的初期能起到启发、探索、开拓甚至创造的作用，孤立的采用这种方法，将阻碍技术的发展，因为归根结底，类比法在逻辑学、

哲学上不是一种必然的可靠的与完整的论证方法，只是一种直觉的推理工具。

类比法如果移植一些其它现代化方法，象通过因果、对称、协变关系等因素的分析，则可使类比法由低级向高级发展，即上升到科学类比的阶段。

科学类比法是一种现代设计方法，由于类比过程偏重考虑的因素不同，可有：

1.因果类比：设 A 中属性 a 、 b 与 c 有关系，则 B 中 a' 、 b' 必然与 c' 有因果关系，这就纳入了现代设计法中相似设计的轨道。

2.对称类比：对称性是一种自然现象， A 对象中 a 、 b 的对称关系，则如 B 对象中有 a' ，则必然可求得 b' 。

3.协变类比：如 A 对象中有 $f(a, b) = 0$ 的关系，则推理得到 B 对象中也可能有 $f(a', b') = 0$ 的关系。

4.综合类比：将要叙述的相似设计法与模拟设计法即属于此类。

在现代设计当中经过类比法的推理后，我们对设计对象有了初步的认识，明确了各子系统相互依存关系，这样就可以进行系统分析设计。

(二) 相似设计法

相似设计法是利用同类事物间静态与动态的对应性，根据样机或模型求得新设计对象有关参数的一种方法。

相同与相似是两个概念，前者只是相对概念，相似的广义性不仅是几何相似，而涉及一系列状态相似，所以相似设计法能省略严格的数学式的指导与求解，而直接运用量纲齐次原理（或其它方法）求得新的设计。它适用于同类事物的

设计（产品系列化应用相似设计法，可以减少大幅度的设计工作量，使系列化参数打破了现有等差、等比级数等似优非优的数列）。

利用相似设计法还可以求得设计参数、设计公式、数学模型与动态响应。

（三）模拟法

模拟设计法是利用异类事物间的对应性进行设计的方法，它是一种高级阶段的设计方法。不过，模拟具有不可逆性，例如用简单的电路来模拟复杂的机械系统与液压系统等，可以求得系统最佳的各项静、动态参数。反之就毫无意义。模拟法，现在已从数学模拟、物理模拟发展到了功能模拟，甚至智能模拟，它已成为横向科学的、独立的前途无限的基本科学方法之一。

另外，符号设计法也是一种模拟方法，使系统设计概念与关系更为明确。符号学在国外已经有许多著作，符号学的应用很广，在设计中已有逻辑符号、信号流图、相关图、方块图以至更高级的图论网络等，这些方法已用于系统、方案、进程的设计中。随着科学的抽象化，符号设计将愈来愈广泛地应用。

由于语言学家、声学家和电子学专家们的共同努力，人工语言让时钟向人们报时、让机器给盲人读报、让汽车提醒主人加油等等，都已经模拟实现。

为了模拟这种能说话的新东西，语言学家首先得弄清楚话语是由什么形成的。人在说话的时候，发声系统内的气流要发生振动，于是便产生音域很宽的声音，而口、喉或声带的一个个动作又会不停地把这声音改变。语言学家已经把人

类语言分解成为数不多的可以识别的音素。标准的美国英语的全部话语，都是由四五十个基本音素根据句法的需要连缀而成。

计算机模拟说话就是让计算机学着用下述的两种方式之一来识别并合成话语。第一种方式称作分析合成，是取人的说话声的记录样，以百分之一秒的时间间隔一点点地分析其声波。随后把其中的一些关键性的特点，诸如主导频率和能级等理出并存储起来。此后，这台机器就能用电学手段对这些脉冲进行模拟，并可用滤波器、振荡器和噪声发生器将它们转变成声音了。因为任何一点微小变化都逃不过计算机的监视，所以分析合成方式是能够产生出惟妙惟肖的声音来的。但是它的词汇只限于实际上被编入程序而存储在存储器中的那些词，这就要求有个极其庞大的存储器，因而这种机器售价很高。

第二种方式称作规则合成，因为这种方式可以产生任何话语因而能产生极大的通用性。这种方法是把基本音素以及发音和重音规则都编入程序而输入到计算机中，计算机就可以据以合成话语。但是得之于灵活必然会失之于明确，因为要将发音中的全部变换归纳成一套简单的规则是很困难的。

声音合成模拟系统，无论是采取哪种方法，都已经不足为奇了。电话公司就将着手以能谈话的机器来取代预录话传电报；能同人对话的打字机和计算器也将使盲人难以胜任的工作得以简化。

对制造系统的模拟，就是利用计算机来追踪车间中被模拟的每个实体，在分离的时间间隔内，由计算机来分析各个实体与环境之间以及各个实体之间相互作用的状态变化。

对制造系统的模拟，就是建立起分离事件的模型，并利用计算机就若干评价指标进行评价，以寻求最优的系统构成。构成模型的方法可以使用基础的计算机语言、“网络说明”模拟语言或数据描述语言，然后调用模拟程序对模型进行分析，最后给出该模型分析结果的统计报告。通过研究一系列不同的统计报告，可找到最优的系统。

在国外，在发达的资本主义国家的机械制造界中，存在着一个强烈的呼声，这就是把各式各样的制造设备及分离式的制造方法用计算机技术将它们集成起来，使其成为一种柔性的、准连续式的生产过程，以求高效地处理大量的、经常变更的生产项目。人们认为，产品能否在市场上站住脚跟或扩大销路，取决于对这新一代技术的使用。因此，他们不惜巨资，几百万、几千万美元甚至几亿美元地投资建设柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）以至于建设计算机集成的制造系统（CIMS）、以求有快速的市场响应能力。目前，在世界范围内约有 200 条 FMS 正常地运行着（日本 63 条，美国 54 条，西德 35 条……），至于 FMC 就更多了。

对制造系统的模拟，就是要建立起分离事件的模拟模型，并利用计算机就下列一些典型的问题对模型进行评价：

1. 哪一个工作站可能成为物料流的“瓶颈”？
2. 需增加多少机器和劳动力才能消除这个“瓶颈”？
3. 每个工作站究竟需要多大的缓冲存储容量？
4. 在一个多功能的工作站上，哪一种制造工作应具有优先权？
5. 为实现工作站间的物料流动，引入数控的输送设备或