

贺钱学森院士
90华诞

钱学森论地理科学

马蔼乃

(北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871)

[摘要] 钱学森在现代人类知识体系 11 个门类中, 将地理科学归结为自然科学与社会科学之间的桥梁科学; 在五大开放的复杂巨系统中, 把地理系统排在星系系统与社会系统之间; 在社会总体设计部下设四大建设中, 将地理建设与政治文明、物质文明、精神文明建设并列。钱学森把地理科学看做是举足轻重的科学体系。钱学森从哲学高度, 从人类知识体系的高度, 从复杂性系统科学的理论框架中, 从社会总体设计工程的实践出发, 把地理学提升到为国民经济服务的科学, 因此, 地理科学具有重要的理论与实践意义, 必须重新认识地理。

[关键词] 地理科学; 理论地理科学; 地理信息科学; 地理系统工程

[中图分类号] K90 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)01-0001-08

钱学森主编出版过一本《论地理科学》^[1], 他的地理科学思想是非常清晰的, 知识渊博, 逻辑严密。钱学森在许多科学领域都有独到的见解, 他在地理科学领域中的高屋建瓴、高瞻远瞩也是惊人的。由于我们的研究能够证实钱学森对地理科学的许多思想论述, 反过来钱学森的地理科学思想对我们的研究也是一种肯定。追求真理, 只要研究的思想方法是正确的, 那么殊途同归, 无论谁来研究, 结论应该是相同的。下面就笔者对地理科学研究的心得, 浅谈对钱学森地理科学思想的认识。

1 地理科学的提出

1987年钱学森发表了“发展地理科学的建议”^[2], 正式提出了地理科学的概念。地理学界许多人都不能理解为什么一个搞“两弹一星”的火箭专家提出发展地理科学? 实际上钱学森不只是一位科学家, 而且是一位战略科学家, 一位杰出的科学家同时又是一位哲学家。

1.1 多维发展的科学家

一个科学家在一个领域中深入到底, 然后再返回上来, 越是钻研得深, 越是反弹得高, 只有这样

才能既是科学家又是哲学家。这样的科学家不是一般的科学家, 而是战略科学家。这好比一棵大树, 根越深, 树越高; 根系分布越宽广, 树冠覆盖越茂密。钱学森正好比是一棵大树, 他在力学领域是钻研极深的科学家, 他能够用微观物理学来解释宏观力学现象(20世纪50年代他研究了物理力学)。钱学森在思维逻辑上, 得益于数学与力学严紧的有序化, 奠定了一个极好的智慧脑基础, 这好比是他的“根很深”, 达到了现代科学的最前沿, 这是第一维深度。后来又在航天技术、控制论、系统科学等方面做出了突出的贡献, 这好比是他的“根系很宽广”; 20世纪70年代以来, 在自然科学与社会科学的基础上, 进而对地理科学、建筑科学、军事科学、思维科学、人体科学、行为科学、社会科学、科学与文艺等进行论述, 这好比是他的“树冠很茂密”, 这是第二维广度。最后提出大成智慧, 这好比是他的“树干既粗又高”, 并且上升到哲学的高度, 这是第三维高度。钱学森从简单性科学的研究中提出了复杂性科学, 提出了难度极大的一类科学, 这是第四维难度。钱学森提出的现代人类科

[收稿日期] 2001-09-01; **修回日期** 2001-10-31

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(49571058, 49871059)

[作者简介] 马蔼乃(1936-), 女, 上海市人, 北京大学教授, 博士生导师

学体系具有超前的预见性，这是第五维远度。^①

钱学森从整个人类认识世界的高度上研究科学的体系，提出了11个研究部门，地理科学是其中之一。又从开放的复杂巨系统的研究中提出五大系统，地理系统又是其中之一。在社会主义建设的系统结构中的四大建设，地理建设也是其中之一。钱学森居高临下，从整个科学体系中提出介于自然科学与社会科学之间的“桥梁科学”——地理科学，把古老的地理学提升到为国民经济主战场服务的地理科学，其目的也很明确，是为了可操作的可持续发展的战略目标。

1.2 从地理学到地理科学

20世纪下半叶是地理学向地理科学飞速发展的半个世纪。本来地理学是介于文理科之间的科学，但是大学所属地理系长期归属于文学院。在西方国家，直到今天，地理系仍然属于文学院。按照康德的观点，地理是研究空间的科学，历史是研究时间的科学，解放前中国大学中的地理与历史同属于史地系。1949年以后，受到苏联的科学体系的影响，地理学归入理学院。地理学的研究以描述性、思辨性定性方法为主，也伴随着一些定量的计算。地球经历了天文期、地文期、生文期、人文期，地理学是人文期人类社会与地理环境的关系^[3]。因此，地理学的时空限域分：古地理学（自有人类以来200万年到有历史记载的5000~6000年），人类在地球陆地表面零星分布，人类作用的垂直距离为±10 m；历史地理学（有历史记载以来到人类越出大气圈，进行航天飞行），人类几乎分布到全球陆地表面，人类作用的垂直距离为±10 km；现代地理科学，1957年以来，人类越出了大气圈，开始航天与航空^[4]。20世纪30、40年代，大学中设史地系，地理属文科性质，研究人类赖以生活与生产的地理环境，简称人地关系；40、50年代生态学发展，生物学家以有生命的物体为主体，研究生物与非生物的关系，简称生地关系，有生命的物体中包括了人类，因此生态科学认为包括了地理学；60、70年代人类社会，高度的经济发展，尤其是工业化的后果，产生的污染排泄物，污染空气、污染水质、污染土壤、污染动植物，人类在食用动植物时，食物链上积累的污染物反及人类自身，物理学家、化学家与部分地理学家纷纷加

入环境污染的研究，环境科学的发展从小环境污染发展到社会与自然环境和人工环境（大环境）的研究，即研究人类社会与环境的关系，姑且简称社地关系；80、90年代航天技术大发展，遥感、遥测、全球定位系统、卫星通讯，计算机学家、航天科学家与部分地理学家结合研究天（航天）、地、人、机（计算机）关系，钱学森作为航天科学家，看到了国民经济主战场的问题，从科学分类的整体上提出了研究地球表层理论的地理科学的正确思想，是充分的了不起！所以黄秉维院士把钱学森比做天地生科学上空的“苍鹰”，具有居高临下的指导意义，是有道理的。

1.3 地理科学的层次性

钱学森对各门科学都划分了研究的层次。从马克思主义哲学（性智、量智）；哲学与科学之间的桥梁，包括地理哲学；科学自身的基础理论、技术科学、应用技术；再到前科学（实践经验知识库和哲学思维，不成文的实践感受）^[5]，包括地理经验与地理景观的感性认识，即地理的野外工作，对地理现象的原型的认识，这是一个完整的体系。我们在研究地理科学时，实践证明在地理科学自身层次上存在着基础理论的理论地理科学（地球表层科学包括自然环境与人工环境两部分）、技术科学的地理信息科学、工程技术的地理系统工程^[6]。理论地理科学是从圈层结构的进化，深入到独立因子层的发展，按照广义相似准则建立地理复杂模型，与钱学森的地球表层科学十分相近。地理信息科学则与钱学森的认识差别较大，我们把现代的遥感观测、虚拟实验、卫星定位、获取原始资料的方法作为地理科学的技术科学，并且用地理信息科学统一起来。而地理系统工程与钱学森的设想几乎没有差别，都认为这是国民经济的主战场，见图1。图中“基础设施”是根据钱学森的意见加进去的。钱学森对上述地理科学的框架是给予肯定的。

2 地理科学的特点

钱学森认为地理科学是自然科学与社会科学之间的汇合科学^[7]，地理科学不是一门科学，而是一系列的科学。

2.1 地理科学与自然科学和社会科学的关系

地理科学与自然科学、社会科学并列，实际上

^① 徐光宪 2001年8月17日在“钱学森与现代科学技术”研讨会上的发言中提出五维标准的科学家

是非常重要的。这意味着对于国民经济建设，除了建立自然科学院、社会科学院外，还应建立地理科学院。根据我们的研究，人地系统中地理系统和社

会系统与自然科学之间确实有一系列的地理科学研究对象，而且是国民经济中的主战场，见图 2。

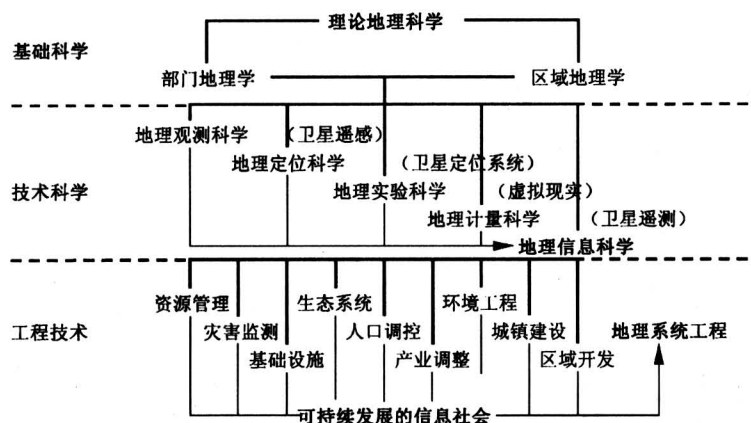


图 1 现代地理科学体系 (包括陆地与海洋)

Fig.1 Modern geographical science system (including land and ocean)

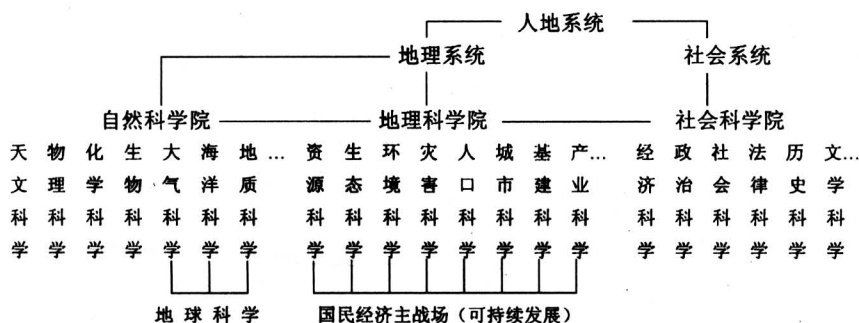


图 2 地理科学 (在工程技术层次上) 在自然科学与社会科学之间的地位

Fig.2 Position of geographical science between natural science and social science

2.2 地理科学与地理学和地球科学的区别

于景元等提出地理建设和地理系统工程的思想基本上符合国情的^[8]。与国民经济发展最为密切的部分，需要有一个地理科学院与之对应，这对于国家的建设是重要的。地理科学与地理学是不同的，地理科学与地球科学也是不同的^[9]。钱学森认为地理科学更加强调自然科学与社会科学交叉与融合^[10]，而地理学把自然部分称为自然地理，经济部分称为经济地理；依旧受自然科学与社会科学的割裂。自然地理加上经济地理也不可能直接产生资源科学、环境科学、生态科学、灾害科学、人口科学、城市科学、基建科学、产业结构科学等。资源、灾害等都是对人类社会系统而言的，地理系统是社会系统的环境^[11]。地球科学属于自然科学的

一部分，是星系系统中的子系统。地理科学是自然科学与社会科学之间的桥梁科学，构成独立的地理系统，是从地理学发展到地理科学的非常重要的进展，无论在理论上还是实践上都非常重要。钱学森对地理科学有如此重大的贡献，令人敬佩。钱学森实际上秉承了竺可桢教授的地理学必须为国民经济服务的精神，从而做出了发扬光大的贡献^[12]，把国民经济主战场的任务交付给了地理科学，提出了按照系统论的观点，成立社会主义中国建设的总体设计部。笔者认为钱学森的建议表现了杰出战略科学家的智慧。

3 地理系统

钱学森认为人类的科学研究，说到底五个开

放的复杂巨系统，即星系系统（物理）、地理系统（地理）、社会系统（事理）、人体系统（人理）、人脑系统（脑理）^[5,13]，“理”即为规律。

3.1 人地系统与地理系统

地理学研究人地关系，研究人与自然的关系，把人类生活、生产的地理环境作为研究对象。但是没有上升到人地系统的高度。钱学敏阐述了钱学森的地理系统与社会系统的关系^[14]。地球上最高的系统是人地系统。人地系统中包括两个子系统：社会系统和地理系统。地理系统所包括的环境为自然环境（或称自然景观）与人工环境（或称人文景观）两部分。现代地理环境中的自然与人工环境的差别越来越小，人类的作用遍及全球，两者正在融合为一体。社会系统的环境就是地理系统，而地理科学是原来的地理学、生态学、环境学、航天信息学相融合的、并且更加发展了的复杂性科学，属于在宏观层次（指渺观、微观、宏观、宇观、胀观中的宏观）上的复杂性科学。

3.2 地理系统是开放的复杂巨系统

钱学森在1983年提出地理科学的基础理论：地球表层学是开放的、有序的巨系统。因为地球表层的物质与能量，有太阳辐射能量的输入，有地球内部质量与能量的输入，同时也有输出，而输入与输出是一个具有耗散结构的开放系统^[15]；由于地球表层能量流是负熵流，所以又是进化的，地球从天文期、地文期、生文期进化到人文期，是有序的。有序巨系统还表现在多层结构方面，钱学森认为分四个层次，基层是一个工厂、企业，一个生活区，一片林地，一块农业种植田，一片渔业水面等，属于土地利用类型；上一个层次是地区环境，实际上就是类型区域；更上一个层次是国家层次；最后是世界层次，即全球的变化问题。1984年钱学森进一步提出生态经济学必须关心长远的环境问题和资源永续^[16]，再次强调地球表层学的系统性。在长江地区可持续发展丛中，我们研究可持续发展就是从全球到国家，再到长江地区的分层次研究^[17]。钱学森在1989年又提出了地理科学系统是开放的复杂巨系统^[13,18]，把星系系统、地理系统、社会系统、人体系统、人脑系统都看成是开放的复杂巨系统，这是钱学森的发明。西方国家以美国为代表的桑塔非研究所研究复杂性科学是有贡献的，他们研究的是混沌与有序之间的现象^[19]，在非方程表达的数学方面有创建。但他们不具备辩证思

维，基本上仍然是还原论的思想方法。而钱学森研究的开放的复杂巨系统及其方法论^[20]，所表达的辩证思想，其深度与广度都是西方科学家望尘莫及的。中国科学家具有古代朴素辩证法的“基因”和现代辩证唯物主义教育的基础，是得天独厚的。

我们的研究仅仅是在航天信息与地理信息一体化网络系统及其应用方面，从一个方面证实了钱学森的观念是正确的。该系统的框图见图3^[21]。

钱学森提出的开放的复杂巨系统的研究需要用综合集成法，从定性到定量研究等学术观点。在我们的实践中，确实体会到了综合集成与从定性到定量关系的重要性。所谓综合集成，在航天信息与地理信息一体化网络系统中，遥感信息系统中的影像库与地理信息系统图形库之间的联系是用地理遥感信息模型解决的^[22]；地理信息系统属性库与地理专家系统知识库之间的联系是用地理信息编码模型解决的^[23]。无论是地理信息模型还是地理信息编码模型都是由定性到定量的结果。根据我们的研究，综合集成绝不是简单地将各个子系统用接口连接起来就成的，而是需要有子系统之间的“桥梁”模型连接才是自然的。综合集成的方法可能是多种多样的，我们的研究可能仅是其中之一。从图3中可见航天信息与地理信息一体化网络系统是信息社会的支柱之一，而且是非常重要的支柱。无论是数字航天（digital spatial information）^[24]、数字地球、国民经济信息化都需要航天信息与地理信息一体化网络系统的支撑，这个天地信息网络系统就是一个典型的开放的复杂巨系统。从这个天地信息一体化网络系统的实践中，充分证明了钱学森开放的复杂巨系统思想的一般性与可操作性。

4 广义地理相似理论

地理逻辑中除了应用演绎逻辑、归纳逻辑外，最多的是应用类比逻辑。但是长期以来地理学家们大多数是进行直观的类比、实验的类比、思辨的类比，没有建立像物理学中的相似理论。

4.1 地理复杂现象

最近我们发展的非线性、复杂地理方程，除了把物理方程的演绎逻辑与随机方程的归纳逻辑融合外，还应用了类比的相似准则。其表达式的建立如图4^[25]。

图中“ π ”是广义地理相似准则^[26]。在地理信息模型中复杂性主要是指确定性（数理方程）与

不确定性（随机不确定、模糊不确定、灰色不确定、自组织自相似不确定）辩证地统一在一个方程中。地理信息模型由于是图像与方程对应，抽象逻辑与形象逻辑对应，地理参数具有区域性，时序性，因此具有非线性、复杂性、相似性、区域性、

时序性的特点。与地理学中认为地理现象的特点是综合性、区域性比较，地理科学把综合性具体化为非线性、复杂性、相似性，把区域性拓宽为区域性与时序性，并且从定性走向了定量，成为可计算、可预报、可回溯的科学。

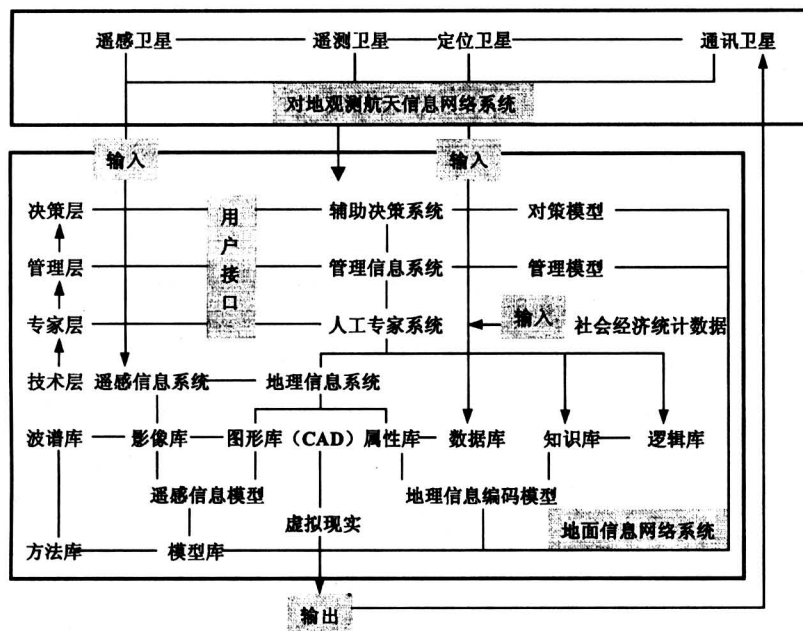


图 3 航天信息与地理信息一体化网络系统 —— 开放的复杂巨系统

Fig.3 Space and geographic information network system - an open complex giant system

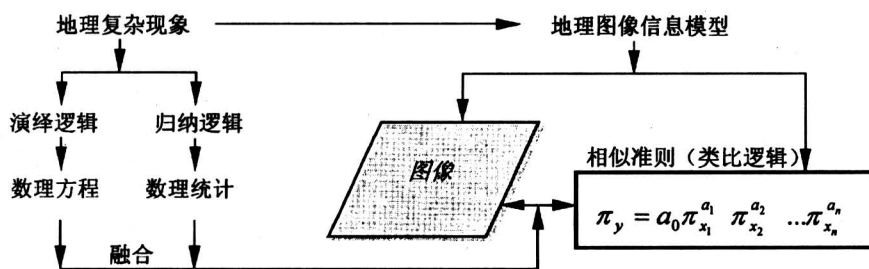


图 4 演绎、归纳、类比逻辑融合的形象与地理信息模型

Fig.4 Combined image and equation model by deduction, induction, and analogy

4.2 地理复杂模型

从形式逻辑的角度出发，破缺形式逻辑中的排中律和不矛盾律，必然可以达到辩证逻辑，地理复杂模型的外延与内涵，从其确定性与不确定性来分类可用表 1 来表示。

表 1 中的模糊数学是对形式逻辑中的排中律的破缺，地理方程中的确定性与不确定统一是对形式逻辑中不矛盾律的破缺。

表 1 地理方程确定性与不确定性的内涵与外延

Table 1 Certain and uncertain of intension and extension in the geographic equation

形式逻辑	外延	外延确定	外延不确定	外延确定	外延不确定
	内涵	内涵确定	内涵确定	内涵不确定	内涵不确定
数学逻辑	白色系统	模糊系统	灰色系统	黑色系统	
数学方法	数理方程	模糊数学	灰色数学	随机统计学	

注：数理方程中有部分方程是自组织自相似的不确定性

由于地理现象是必然性与偶然性融合的复杂现象,因此用演绎、归纳、类比相结合的数学方法来解决。从逻辑的角度看,无论是定性还是定量问题,无非是分演绎推理、归纳推理、类比推理三种类型。数学物理方程属于演绎推理的定量方法;数理统计公式属于归纳推理的定量方法;地理现象推理用类比的方法比较多,但是过去很少用地理相似准则进行定量计算。笔者经过长期研究,认为只有将演绎(数理方程)、归纳(数理统计)、类比(相

似准则)融为一体,建立非线性、复杂性、相似性、区域性、时序性的地理方程,才能解决地理复杂现象的定量问题。笔者做过十几种地理遥感信息模型,发现了一种适合于地理复杂现象的一般地理方程,其特点是:随区域性地理参数可变,确定性与不确定性辩证地随时空变化。随着科学技术的进步,研究深入的程度与地理复杂方程是可发展的^[25]。该模型的特点,是图与数对应,见图5。

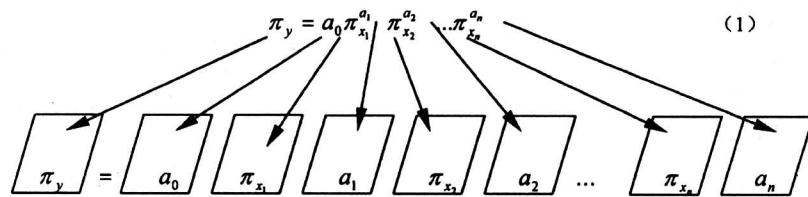


图5 地理方程中图与数对应

Fig.5 Corresponding of image with digital in the geographic equation

式中 $\pi_y, \pi_{x_1}, \pi_{x_2}, \dots, \pi_{x_n}$ 为地理相似准则, a_0 为地理时空系数, 并代表省略号中尚未白化的因子, 属于“随机黑箱”, $a_1, a_2, \dots, a_n = a_i$ 为地理时空指数, 当时空指数发生不同变化时, 有如下关系:

1) 当 $a_i (i=1, 2, \dots, n) = 0$ 时, $\pi_{x_i}^{a_i}$ 与 π_y 无关;

2) 当 $a_i (i=1, 2, \dots, n) = 1$ 时, $\pi_{x_i}^{a_i}$ 与 π_y 为线性关系;

3) 当 $a_i (i=1, 2, \dots, n) = \frac{N}{M}$ 时 (N 与 M 为整数), $\pi_{x_i}^{a_i}$ 与 π_y 为分形自相似关系;

4) 当 $a_i (i=1, 2, \dots, n) = \frac{N(x, y, z, t)}{M(x, y, z, t)}$ 时, $\pi_{x_i}^{a_i}$ 与 π_y 为一般时空关系。

该式是部分白化、部分黑箱的, 是一个非线性的灰色方程。求解地理方程时, 两边取对数, 则有 $\lg \pi_y = \lg a_0 + a_1 \lg \pi_{x_1} + a_2 \lg \pi_{x_2} + \dots + a_n \lg \pi_{x_n}$ 。

(2)

对式(2)进行分析, 令两端都等于1, 则有

$$\lg \pi_y = 1$$

$$\lg a_0 + a_1 \lg \pi_{x_1} + a_2 \lg \pi_{x_2} + \dots + a_n \lg \pi_{x_n} = 1,$$

式中 a_1, a_2, \dots, a_n 是各因子团的权重。专家打分也要给出权重, 在我们的公式中, 不需要人为的打分, 而用实测数据自动给出权重。这里的权重也就是模糊数学中的隶属度, 因此式(1)也是一个多元模糊数学方程。

进一步讨论地理时空系数 a_0 时, 可见确定性问题与随机问题是式(1)的特例。

5) 当 $a_0 = 1$ 时, 是确定性问题。

例如在确定的牛顿第二定律 $F = ma$ 中, 将等式两边分别除以 ma , 得 $F/ma = 1$ 。又如确定的爱因斯坦质能公式 $E/mc^2 = 1$, 这些说明完全确定性的物理方程问题是式(1)的特例。

6) 当有 $a = k(x, y, z, t)$ 时, 是随机性问题。

例如在随机的谢才公式 $v = k \sqrt{ghi}$ 中, 将等式两边分别除以 \sqrt{ghi} , 得 $v/\sqrt{ghi} = k$, k 是时空函数, 即 $k(x, y, z, t)$, 这说明完全不确定性的随机问题也是式(1)的特例。

人类的现代科学史大约 500 年, 人类的社会历史大约 5 000~6 000 年, 人类的历史大约 200 万年, 地球的历史大约 46 亿年, 我们怎么可能用一个一成不变的数学公式把规律框死呢? 式(1)是一个可以从删节号中不断地提出新相似准则的方程, 随着地理现象变化的周期, 日变化必须每天计算, 不断修整地理参数; 年变化必须每年计算, 不断修整地理参数, 不断地提高准确度和精度。

由此，证明了地理非线性复杂方程是集演绎、归纳与类比（相似理论）为一体的；确定性与不确定性（随机不确定性、灰色不确定性、模糊不确定性、自组织自相似不确定性）辩证的；图像与数据对应的，即抽象思维与形象思维对应的定量计算方法。这是西方科学还原论所不及的，只有具有辩证逻辑的东西方式结合的系统复杂论才能解决。其中的形象思维不是低阶段的感性认识，而是在抽象思维基础上的形象思维，图像计算。撰写本文时，笔者翻阅有关文献，发现钱学森早在1986年1月25日给浦汉昕的信的结尾提出：“地理学里已经有了‘相似理论’了吗？‘相似理论’有没有道理？”这令我震惊，兴奋不已。钱学森的地理科学思想与他的科学思想是一致的，真可谓一通百通，路路通，我们的研究早已在他的预料之中了^[27]。

5 钱学森论地理哲学

地理学家黄秉维院士在评论地球表层研究时：一、肯定了地球表层不是一个面，而是一个层，该层是一个巨系统；二、要用系统学和系统工程方法来研究这个巨系统；三、提出一些有重要意义的研究课题，为此黄秉维提出了华南坡地利用与改良，解决华北水源短缺和黄河隐患的途径，以及西北干旱区开发三个问题。指出钱学森“是见闻甚广，博学多思的科学家。……像在天地生领域上回旋的苍鹰，具有搜索追击移动目标的本领，一发现目标，即疾下猎取。他不受天、地、生行业的束缚，看问题比我们株守于一个学科的人更敏锐、更准确”^[28]。黄秉维看到了钱学森居高临下的才能，居高临下的视点就是钱学森的哲学思想。钱学森继承了马克思主义的哲学观点，辩证的唯物主义，又在当代科学发展的系统论、信息论、控制论、耗散结构、协同理论、突变理论、复杂理论等的基础上，在当代航天技术、计算机技术的基础上，在当代可持续发展理论、中国特色社会主义理论的实践基础上发展了马克思主义的哲学观念。因此他认为地理科学与马克思主义哲学之间有一门地理哲学，这门地理哲学的起点当然也是很高的^[29]。

地理学界长期以来是很重视哲学思想的，尤其是自然地理，以自然辩证法为指导，有研究自然地理辩证法的历史。但是往往由于地理现象太复杂，研究深入不下去，各个要素之间不能分割，用还原论的方法无法解决，因此又退回到哲学的层次，用

辩证唯物主义哲学解释地理现象，这样做是无法使地理学成为科学的，只能停留在从感性认识基础上到达哲学的层次上。钱学森的地理哲学是建立在马克思主义哲学与地理科学之间的“桥梁科学”上，以地理系统是开放的复杂巨系统为理论基础，以定性到定量综合集成方法为手段，以国民经济总体发展部为实践对象的思想，作为地理哲学的核心。在我们研究的天地信息一体化网络系统、人地协调系统、地理遥感信息模型的实践中，提出航天信息与地面信息辩证统一概念、社会系统与地理系统辩证统一概念，以及集确定性与不确定性辩证统一的地理复杂方程，大概可以属于地理哲学的内容。我们是从具体地理科学对象的研究，上升到地理哲学上去的，与钱学森从普遍哲学规律指导地理哲学的研究，应该是殊途同归的。

参考文献

- [1] 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1994
- [2] 钱学森. 发展地理科学的建议[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1994. 36~46
- [3] 章申, 张丕远, 王恩涌, 等. 笔谈: 可持续发展与地理学[J]. 地理学报. 1994. 49(2): 97
- [4] 马嵩乃. 地理信息系统与地理信息科学[A]. 马嵩乃. 地理科学与地理信息科学论[M]. 武汉: 武汉出版社, 2000. 315~325
- [5] 许国志. 系统科学[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000
- [6] 马嵩乃. 地理科学与地理信息科学论[M]. 武汉: 武汉出版社, 2000
- [7] 钱学森. 1988年10月17日给于景元的信[A]. 王寿云, 于景元, 戴汝为, 等. 开放的复杂巨系统[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1996. 264~265
- [8] 于景元, 王云寿, 汪成为. 社会主义建设的系统理论和系统工程[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1994. 131~156
- [9] 钱学森. 要区别“地球科学”和地球表层学[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1994. 59~66
- [10] 钱学森. 就“地理科学”答《地理知识》记者问[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1994. 90~93
- [11] 马嵩乃. 可持续发展与长江地区发展战略[M]. 武汉: 武汉出版社, 1999
- [12] 钱学森. 一代楷模, 风范永存[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1994. 113~123

- [13] 钱学森. 现代地理科学系统建设问题[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社, 1994. 79~89
- [14] 钱学敏. 地理系统与社会系统[A]. 王寿云, 于景元, 戴汝为, 等. 开放的复杂巨系统[M]. 1996. 195~239
- [15] 浦汉昕. 地球表层的系统与进化[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社, 1994. 16~24
- [16] 钱学森. 保护环境的工程技术——环境系统工程[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社, 1994. 25~32
- [17] 刘国光, 马蔼乃, 文伏波. 长江地区可持续发展丛书[M]. 武汉:武汉出版社, 1999
- [18] 钱学森. 关于地学的发展问题[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社, 1994. 69~78
- [19] Waldrop M. Complexity[M]. 1995. 陈玲译. 复杂[M]. 北京:生活·读书·知识三联书店, 1999
- [20] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社, 1994. 94~112
- [21] 马蔼乃. 航天信息与地理信息一体化网络系统及其应用[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998, 34(4): 533~541
- [22] 马蔼乃. 遥感信息模型[M]. 北京:北京大学出版社, 1997
- [23] 马蔼乃. 地理信息编码模型[A]. 马蔼乃. 地理科学与地理信息科学论[M]. 武汉:武汉出版社, 2000. 283~302
- [24] Ma Ainai, Chen Fangyun. Digital space and earth system with composite satellites system [A]. Proceedings of the International Symposium on Digital Earth [C]. 1999. 205~207
- [25] 马蔼乃. 遥感信息模型与地理数学[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(4): 557~562
- [26] 马蔼乃. 地理图像信息模型[A]. 马蔼乃. 地理科学与地理信息科学论[M]. 武汉:武汉出版社, 2000. 234~247
- [27] 钱学森. 1986年1月25日给浦汉昕的信[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社, 1994. 261~262
- [28] 黄秉维. 关于地球表层研究的一些看法[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社, 1994. 47~58
- [29] 钱学森. 要从整体上考虑并解决问题[A]. 钱学森等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社, 1994. 124~130

Qian Xuesen's View on Geographical Science

Ma Ainai

(The Institute of Remote Sensing and Geographical Information System,
Peking University, Beijing 100871, China)

[Abstract] This paper introduces Qian Xuesen's view on geographical science. In modern human knowledge system which consists of eleven departments Qian takes geographical science as the "bridge science" or confluence science between natural science and social science. Among the five open complex giant systems Qian put geographical system between the galaxy system and social system. In the system structure of socialism construction, which is proposed by Qian, he places geographical construction side by side with constructions of political, spiritual and material civilization. Showing great foresight and highly mastering of Marxist philosophy of dialectical materialism Qian puts forward the idea that geographical science should be developed from the old discipline of geography so that it can serve the development of national economy well. Some studies done by the author's organization, which may corroborate each other with Qian's view on geographical science, are introduced in the paper. They include the following aspects: 1) Geographical science is an anastomosis of geography, ecosystem, environment and geographical information system; 2) The space and geographical information network system is an open complex giant system; 3) In geographical information models, deduction, induction and analogy logic are used to build geographical non-linear complexity equations; 4) Geographical information equations can forecast geographical phenomena that will be of service to geographical system engineering; 5) About philosophy of geographical science.

[Key words] geographical science; theoretical geographical science; geographical information science; geographical system engineering