



GEEL 一条永恒的金带



卷一 永恒的金带



G E B —

一条永恒的金带

道·霍夫斯塔特 原著

乐 秀 成 编译

四川人民出版社

·一九八四年·成都

特约编辑：金观涛

责任编辑：罗由沛

封面设计：刘 溢

插图：刘 溢

曹 力

戴士和

走向未来丛书

GEB——一条永恒的金带

乐秀成编译

四川人民出版社出版

(成都盐道街三号)

四川省新华书店发行

四川新华印刷厂印刷

开本787×960毫米1/32 印张7 插页21 字数105千

1984年第一版

1984年6月第二版

1984年6月第二次印刷

印数：16,501—236,500册

书号：2118·13

定价：1.07 元

编者献辞

《走向未来》丛书和读者见面了。

她凝聚着我们的心血和期望。

我们期待她能够：展现当代自然科学和社会科学日新月异的面貌；反映人类认识和追求真理的曲折道路；记录这一代人对祖国命运和人类未来的思考。

我们的时代是不寻常的。二十世纪科学技术革命正在迅速而又深刻地改变着人类的社会生活和生存方式。人们迫切地感到，必须严肃认真地对待一个富有挑战性的、千变万化的未来。正是在这种历史关头，中华民族开始了自己悠久历史中又一次真正的复兴。

在艰苦而又富有生命力的改革道路上，我们坚

定了马克思主义的信仰，理解了科学的价值，并逐步深化了对我们时代和民族的认识。今天，我们听从祖国的召唤，热情地投身于实现社会主义现代化的伟大潮流。

马克思有一句名言：“思想的闪电一旦真正射入这块没有触动过的人民园地，德国人就会解放成为人。”*今天，照亮我们民族的思想闪电，就是马克思主义、科学精神和我们民族优秀传统文化的结合，以及由此开始的创新！

！ 在中国社会科学院青少年研究所领导下，我们编辑了这套《走向未来》丛书。

她力图从世界观高度把握当代科学的最新成就和特点，通过精选、咀嚼、消化了的各门学科的知识，使读者特别是青年读者能从整个人类文明曲折的发展和更迭中，理解中华民族的伟大贡献和历史地位，科学地认识世界发展的趋势，激发对祖国、对民族的热爱和责任感。

她特别注重于科学的思想方法和新兴的边缘学科的介绍和应用；把当前我国自然科学、社会科学，以及文学艺术方面创造性的成果，严肃地介绍给

*《马克思恩格斯选集》，人民出版社，1975年版，第1卷，第15页。

社会，推动自然科学与社会科学的结合。

《丛书》是个新园地，她将自始至终贯彻严肃认真的学风和生动活泼的文风。

《走向未来》丛书从她一开始就受到老一辈共产党人关怀，受到学术界前辈的热情支持。

约四百年前，弗兰西斯·培根在《伟大的复兴》一书序言中，曾经这样谈到书中描述的对象，他“希望人们不要把它看作一种意见，而要看作是一项事业，并相信我们在这里所做的不是为某一宗派或理论奠定基础，而是为人类的福祉和尊严……。”我们怀着真挚的感情，把这段话献给《丛书》的读者，希望广大读者关心她、批评她、帮助她。

让她成为我们共同的事业。

《走向未来》丛书编委会

一九八三年六月于北京

序 言

1979年有一部书轰动了美国，这就是获得普利策大奖的《GEB——一条永恒的金带》。G即哥德尔（Gödel），他是本世纪最伟大的数学家之一。以哥德尔命名的定理是数学理论大厦的高深组成部分，是数理逻辑、人工智能的基石。E是埃舍尔（Escher），当代杰出的画家。B是巴赫（Bach），最负盛名的古典音乐大师。

本书揭示了数理逻辑、绘画、音乐等领域之间深刻的共同规律，指出了一条永恒的金带把这些表面上大相径庭的领域贯穿在一起，它还构成了奥秘的思维、人工智能和生命遗传机制的基础。

本书作者道格拉斯·霍夫施塔特是一位风华正茂的数学家，是《科学美国人》游戏数学专栏新任

的撰稿人。他是围绕着哥德尔定理来展开全书论述的。

我们知道，哥德尔定理是数学发展史上一座划时代的里程碑。它宣告了在数学发展过程中占主导地位的形式主义流派最终目的的破产。作为严密艰深的数学论文，哥德尔的工作很少为专家圈子之外的人们所了解。但是作为重要而深刻的理论成果，哥德尔理论又具有独特的魅力。这样就更加增添了在这个理论周围的神秘色彩。

为了使中国新一代的青年也能了解这个被视作高深莫测的理论，我们改写了霍夫施塔特的同名原著。原著是一本巨著、堪称是一部“奇书”。作者以生动的语言、广博的知识，从各个角度介绍了哥德尔定理，以漂亮的方式、清晰的思路展开了这个定理的陈述。作者的笔墨洋洋洒洒、纵情驰骋，从巴赫驾驭卡农的精湛技艺谈到埃舍尔令人眩目的版画，忽而又以人们意想不到的方式，把严谨的数学理论与分子遗传神秘的世界联系起来。书中既有各种逻辑符号，也有关于印度数学奇才拉马努贾的风趣描述。读者会不知不觉地被引入一个扑朔迷离的世界，使人们能在各个似乎遥遥相隔的人类活动领域中发现如此惊人的一致性。这就使得读者能够对

于20世纪最伟大的数学成果之一哥德尔定理有一种深刻的印象和切身的感受。

但是全书的论述又是紧扣主题、层层深入的。文章从音乐、美术中的怪圈谈起，继而又谈到逻辑和数学中的怪圈。怪圈可以说是全书的中心概念，也是作者对于哥德尔定理本质的最形象的概括。作者特别强调了赋予形式符号以生命活力的同构，介绍了形式系统及其内部结构，然后又论述了另外一个极为重要的概念——递归。为了说明原始递归与递归的区别，作者形象地用反衬画和互衬画中图形与背景的相互关系来作比喻。在这些重要概念的基础上，作者阐明了哥德尔定理证明过程中最重要的两个思想，即哥德尔编码与自我相关。作者介绍了如何在这个重要思想的基础上构成定理的证明，然后进一步指出，形式系统的这种漏洞是永远无法弥补的。此外，文章还论述了这些思想在理解思维过程、人工智能和生物遗传机制中的重要性，表现了哥德尔理论影响的深度和广度。

原著不仅在内容上精心推敲、而且在编排形式上颇具匠心。原书共有20章，每一章前面都有一段妙趣洋溢的对话。对话中的主角就是古希腊哲学家芝诺在他的疑难中创造的角色，即阿基里斯和乌龟。阿

基里斯是跑得最快的希腊英雄，乌龟则是大家熟悉的爬得极慢的动物。阿基里斯和乌龟的赛跑是众所周知的典故。选用这两个角色便使文章更增添了哲理和悖论的色彩。每一段对话还巧妙地以巴赫杰作《音乐的奉献》中一段贴切的曲子为标题。而对话的内容则以一种隐喻的方式启示了这一章所要阐述的主题。与此同时，作者在书中选用了许多寓意深刻的图画，主要是埃舍尔的作品。于是，埃舍尔的画、巴赫的曲子以及关于歌德尔定理的阐述美妙地编织在一起，组成了一条光灿灿的金带。而这条金带的结尾又极自然地与文章的开头衔接起来，从而构成了一个光彩夺目的金圈。

可惜因为改写篇幅的限制，我们不得不改变了这种结构。那些对话大部分都被删去了，只保留了少数几段并大大加以压缩，然后编入各章之中。读者可以从“奇妙的唱机和唱片”、“历险记”、“没有结束的唱机之战”这些章节来领略一点原书的风味。

为了使哥德尔定理的阐述更容易为读者理解，全书的章节也重新作了编排，内容则作了相应的改写。当然，作者的那些重要思想，我还是尽力想把它忠实地表现出来。

作者反复阐述的怪圈、生动描述的同构以及用图形和背景来帮助人们理解那些极为枯燥的数学概念，实在是令人拍案叫绝。

尽管这本书的例子生动、思想新颖，但是要想不费功夫或者较轻松地读通它仍然是做不到的。中国与西方的文化背景不同。一般人对于巴赫的音乐、埃舍尔的画是极为陌生的，而这里介绍的数学理论又往往会使人望而生畏。因此不能指望大部分人读一遍就能看懂全书的内容。

但是这本书的文字和图画富有机智和启发性。读者不妨先细细品味一番前面的图画，参看图下的简单说明，这将是一种很微妙的享受。我们也不妨把阅读此书看成是在挖掘一个价值很高的矿。需要你付出辛勤的劳动，但会使你有丰硕的收获。也可以反复地看，每看一遍会有新的体会、新的理解、新的启迪。有时最好还能拿起笔来演算一番。当然最重要的还是能够认真地进行思考。如果读者对于书中的思想有所领悟，无疑会影响到他的思维方式。

哥德尔的理论改变了数学发展的过程，触动了人类思维的深层结构，它又渗透到音乐、艺术、生物、计算机和人工智能等领域。如果读者能够通过这本书汲取一点养料，或者从一幅画一段叙述中有

所领悟，那就令人欣慰了。

乐 秀 成

1983年3月于北京

目 录

序言	1
1 怪圈	1
1.1 绘画与音乐中的怪圈	3
1.2 怪圈与悖论	7
1.3 数学和思维中的怪圈	14
2 同构	19
2.1 奇妙的唱机与唱片	21
2.2 符号的意义	28
2.3 破译	32
2.4 音乐和绘画中的同构	40

3	形式系统	43
3.1	从一个数学难题谈起	45
3.2	一致性和完备性	51
3.3	形式系统的结构	54
3.4	命题演算系统	57
3.5	形式数论系统	63
4	递归	71
4.1	阿基里斯和乌龟历险记	73
4.2	形形色色的递归	73
4.3	图形和背景	83
5	哥德尔定理	97
5.1	原始递归与递归	99
5.2	哥德尔编码与自我反省	107
5.3	无法弥补的漏洞	116
6	大脑与思维	121
6.1	描述的层次	123
6.2	大脑	132
6.3	塔斯基—丘奇—图林定理	139
6.4	思维	149
7	人工智能	155
7.1	回顾	157

7.2	人工设计的游戏·····	165
7.3	概念框架与模式识别·····	171
8	自我相关与自我复制·····	177
8.1	遗传机制的形式化·····	179
8.2	遗传机制的支持系统·····	187
8.3	没有结束的唱机之战·····	192
8.4	自相缠绕的层次·····	196
9	结束语·····	201

1

怪圈

