

遥科学概念研究

冯健翔 著

国防科工委指挥技术学院

遥科学概念研究

(最终研究报告)

馮健翔 著

国防科工委指挥技术学院



冯健翔，副教授，中国智能自动化专业委员会委员。1978年毕业于贵州大学数学系电子计算机专业。1978-1980年在上海交通大学和上海航天局总体研究所进修。1980-1986年在西昌航天中心指挥控制中心总体室工作，负责：飞控中心实时飞控软件总体设计，东方红二号卫星与三级火箭仿真联试软件系统主设计，火箭飞行实时监控软件系统设计，基地间信息流程协调，中心计算机系统指挥调度，331-1飞行故障分析（小组成员）。为西昌中心建设和中国第1、2、3次同步通信卫星发射作出了重要贡献。1986-1993年在国防科工委测量通信总体研究所工作，从事航天大系统智能化专题研究。1988年出版《航天AI/专家系统文集》，1993年出版《人工智能及其航天应用》，受到学界和工程界重视，对我国航天大系统智能化产生了积极的推动作用。1993年至今在国防科工委指挥技术学院电子技术系工作，继续从事航天大系统智能化和遥科学研究，完成过一个测试发射实验室抓总建设。与学生合作研制过航天发射辅助专家系统。

航天器发射任务智能规划系统和卫星智能诊断系统原型。1998年在宇航出版社出版的《人工智能及其航天应用概论》（上册《广义人工智能基础》，下册《人工智能航天应用研究》），在国内外航天界和人工智能界有一定影响，并得到广泛支持。《遥科学概论》一书初稿1996年已经科学出版社有关人士初步选定，正在修改完善，准备出版，已有20种论著在国内发表。计划筹建遥科学与智能化技术应用研究实验室。住址：北京3380信箱99号；邮编：101416；电话：(010) 66355329-5698(D.N)；呼：(010) 66353388-28888；E-mail: fengjr@yahoo.com。

TELESCIENCE CONCEPT RESEARCH

Jian-Xiang Feng

Department of Electronic Engineering, Beijing Institute of Command and Technology
P.O.Box:3380-99, Beijing, 101416, China, E-mail: fengjx@yahoo.com

ABSTRACT : Telescience is one of the new concepts of engineering and technology. This concept means that originally : (space) a fully interactive mode of scientific operations where the experiment is performed remotely, using data presented to the experimenter (e.g. by television) who can remotely control elements of the experimental equipment and ,thus, iterate the conduct of the experiment and its results. But now, as an advanced technology, many of it 's researches and applications are going to non-space engineering and the scientific experiments , for example , nuclear , battlefield, factory, mine, traffic, chemical , medicine and education..., not only going to the scientific experiments. This report proposes a definition of generic telescience. Most of the concepts of different types and layers , telepresence, telecommunication , teleoperation and virtual reality..., which support the telescience concept, are discussed. The integrating relationships among every concepts and the relationships between telescience , autonomy and intelligenization are analysed. As a new technology science , telescience 's applications , it's potential applications and developing are presented .The challenges and potential problems about telescience development are listed. The working principle of generic telescience systems and the system architecture. Specially, truemem-falsemen architecture(TUFAMA) and multicustomeres-multitasks distributed architecture (MUCUMUTDA) are proposed. Finally, some recommendations for telescience developing in China are given .

KEYWORDS : Telescience, Teleoperator, Telepresence, Virtual Reality, Intelligenization.

钱学森教授致作者信中谈遥科学

.....我近来也在考虑这方面问题。.....Telescience这门工程技术是大有前途的。在21世纪将要大大发展，扩展其应用范围。如：1) 人在地面操作卫星飞船上的工作，人不用上天了。2) 边境高山上的雷达站可以是无人的，解决执勤战士的问题。3) 大规模集成电路超净生产车间可以是无人的，大大降低生产成本。.....

——摘自钱学森教授1994年3月3日致冯健翔的信

前 言

根据国家863计划发起人陈芳允教授的提议和国防科工委测量通信总体研究所的安排,作者从1987年开始一直专门从事航天大系统的智能化问题研究。在最近10多年中,作者相继出版和发表了十多种相关论著,并且,已经和学生一起做了和正在做几种有关原型系统的实验研究。这些工作受到了学术界和工程技术界注意,为促进高新技术应用产生了积极影响。同时,这项研究工作得到了美国著名科学家、人工智能学的创始人之一、诺贝尔奖获得者西蒙(Herbert A. Simon)教授支持。美国航空航天局有关专家给予了大力协助。此外,大约由于这项研究大量涉及遥科学(Telescience),所以,中国著名科学家钱学森教授看过作者的一种著述后,认为作者的这项研究实际上属于遥科学(Telescience,他称其为遥作技术),说这种技术大有前途,在21世纪将要大大发展,扩展其应用范围,并鼓励作者继续努力进行这方面研究。在国防科工委指挥技术学院的支持下,作者进一步对遥科学概念进行了深入系统的研究。在这个报告中,作者把遥科学作为一个新的工程技术学科,提出了一种相应的遥科学理论、学科体系、遥科学系统结构、研究方向、应用前景和存在问题。(更详细的讨论将由《遥科学概论》一书来完成。)众所周知,好的新概念像导火线,引起“知识爆炸”,引发技术革命,推动科学技术进步,促成新产业,刺激经济发展,导致人类国家民族繁荣强盛。作者长期研究获得的一种认识是:遥科学和智能化(Intelligenization)正是这样的新概念;21世纪人类将被带入智能化时代,大量机器将有智能能够自主(Autonomy)工作不要人干预使人“下岗”;同时,21世纪人类还将被带入遥科学时代,人类将大量地远离现场,在远方安全舒适环境内,远距离地操纵在艰险恶劣环境工作又缺乏自主工作能力的机器;遥科学概念和智能化概念及其结合具有极重要的意义,值得各行各业广泛关注。关于智能化作者已有几种论著详细讨论过恕不赘述。作者只希望这个报告是引玉之砖,对认识遥科学对促进这个学科的发展有帮助。由于遥科学概念很新,我们的认识难免粗浅甚至谬误,若得大家批评斧正,将不胜感激。

馮 健 翔

1998年6月于北京雁栖湖

目 录

钱学森教授致作者信中谈遥科学

前言.....	(I)
目录.....	(II)
第一节 概论.....	(1)
第二节 遥科学概念的发展与定义.....	(1)
第三节 遥科学系统的工作原理与基本结构.....	(6)
第四节 遥现.....	(12)
第五节 虚拟现实.....	(17)
第六节 遥作.....	(21)
第七节 遥信.....	(23)
第八节 遥科学与有关技术的相互关系.....	(26)
第九节 遥科学研究与应用概况.....	(28)
第十节 遥科学系统的应用与分类.....	(52)
第十一节 遥科学系统的两种结构模式(方案).....	(56)
第十二节 遥科学系统可能涉及的研究课题.....	(59)
第十三节 结束语.....	(61)
主要参考文献.....	(63)
后记.....	(69)

第一节 概 论

遥科学还是一个很新的概念。它的出现不过十多年时间。目前,绝大多数人还不了解它。而且,少数对它有所了解的人们,也大都从自己工作的专业领域出发,站在自己的立场上来理解它的含义,因此,对它的认识很混乱。然而,无论如何,它的远距离感知远距离操作基本含义及由此带来的各种影响已经引起西方理论界和工程界重视,国内也开始有少数人关注其发展了。八十年代末,我们开始注意这方面的发展,并将其作为一种先进技术进行了长期广泛系统深入的研究。我们发现,各种遥科学相关研究和应用正在向世人昭示,一门普适的新的综合性技术学科呼之欲出。我们认为,把遥科学作为一门普适的新的综合性技术学科来研究,无论对于促进航天事业发展,对于改善武器装备操作方式提高国防大系统防御作战能力,还是对于改善劳动工作环境改善劳作方式促进人类文明进步,都具有极为重要的意义。

这个报告的中心目标是:在较为广泛系统的调查研究基础上,提出一种遥科学概念,建立一种与之相适应的遥科学学科框架体系,供航天、国防和其它工业部门及相关理论界工程界和管理人员进一步研究和发展这种技术时参考。报告首先探讨遥科学这个概念的发展与定义,接着讨论遥科学系统的工作原理与基本结构、遥科学的基础技术即遥现、虚拟现实、遥作和遥信。然后讨论遥科学与有关基础技术的相互关系,遥科学的研究与应用概况,遥科学系统的应用与分类。最后,提出遥科学系统的两种基本结构模式(方案),并且,列出遥科学系统可能涉及的研究课题等等。关于遥科学的各种子概念和相应的专门技术等更详细的内容,限于篇幅,本报告不能一一深入讨论,我们只能在即将出版的<<遥科学概论>>一书中详细介绍。

我们的工作相继得到了陈芳允教授和钱学森教授的鼓励。国防科工委测量通信总体研究所和国防科工委指挥技术学院的许多领导和同事也给予了极大的帮助和谅解。这项工作还得到了指挥技术学院95—02号专项经费支持。

第二节 遥科学概念的发展与定义

回顾人类社会的发展可以看到:人类社会的发展历史,也就是人类劳作方

式和劳动工具的发展史、革命史。遥科学概念正是人类劳作方式和劳动工具发展的产物。告别与其它许多动物一样的生吞活剥、茹毛饮血，人类首先掌握了制造和使用原始工具的本领。这些原始工具的制造和使用，使身躯开始直立起来，人类的两条前肢从行走用的脚变成了操持工具劳作的手。手的复杂动作刺激了脑的发展进化，脑的发展进化，又促进了手的发展进化。手、脑的相互促进，使人类可以制造和使用越来越先进（复杂）的工具和机器。先进（复杂）的工具和机器又促进手、脑的进一步发展进化。于是，人类变得越来越聪明能干起来，工具和机器越来越灵巧，其功能越来越丰富强大。今天，人们不但能够利用原始工具的尖锐和锋利作穿刺与劈削割裂，利用杠杆和机械放大人力，利用电力机器将能量输送到远方，利用各种能量转换机器（如蒸汽机、电动机等）产生动力，利用各种通信设施将知识和信息传至远方，还能利用自动化等技术使机器自动完成某些良定任务。然而，人们对今天的机器和工具的能力还是不甚满意。

一些人认为今天的机器不聪明，只能代替人干低智商的体力劳动。他们试图给机器扩充脑力劳动功能，应用人工智能实现智能化，即使机器能自己管理自己应付各种新情况（良定的或非良定的），实现自主操作(Autonomous Operation)。继人工智能50年代出现之后，应用人工智能等高新技术实现机器系统自主(Autonomy)的研究70-80年代开始有人注意，研究结果告诉人们，真正的自主近期还有不少困难。目前，自主能力再强的卫星，半年之内也得由人干预至少一次（校准姿态等等）。卫星的载重能力甚至不足以承载自主管理用的仪器设备。

另一些人则认为，目前机器自主智能化水平不高，离不开人类的监视和操纵。可是，机器工作的许多环境很难容人。例如核辐射环境，太空微重力强宇宙辐射环境，深水高压缺氧环境，炼钢厂高温环境，下水道强污染环境，飞机操纵与作业环境，远洋船舶的艰苦操作与生产环境，弹药生产与仓储环境，性命攸关的战场，以及，需要疏通的狭窄血管、要在上面微刻诗词图画头发丝等微环境等等，有的达不到人类正常的生存条件，有的让人在其中的话太危险，有的让人在其中生存和工作的支持费用过于昂贵。因此，人们从不同角度出发，从40-50年代开始相继提出了若干让人类从这些险恶工作环境中退出来，到远方安全舒适环境中去，远距离地监视操纵险恶环境中机器的思想和体现这些思想的各种概念。这些概念中，目前看最新、最典型的代表是

Telescience (遥科学)。它是其它概念的继承发展和集成结果。比遥科学概念出现得更早的其它相关概念至少有：50-60年代出现的：遥测(Telemetry)、遥控(Telecommand或Telecontrol)、遥信(Telecommunication)；60-70年代期间相继出现的：遥处理(Teleprocessing)、远程处置(Remote Handling)、遥操纵(Telemanipulation)、远控机械手(Telemanipulator)、遥控(或称远控)机器人(Telerobot)；70-80年代期间相继出现的：远系统(Remote System)、遥设计(Teledesign)、遥分析(Teleanalysis)、遥规划(Teleplanning)、遥诊断或遥诊病(Telediagnosis)、遥感觉(Telesensation)、遥知觉(eleperception)、遥会(Teleconferencing)、虚拟现实(Virtual Reality)、遥医(Telemedicine)、遥作(Teleoperation)、遥作器系统(Teleoperator&System)等概念。此外，还有一些新概念不断出现。目前，几乎代表常见工作、行为的每个词前面加一个“遥”字，都成为一种新概念和新研究方向。

遥科学概念的产生和发展除受到此类概念的推动和牵引，还得到更为基础的机械、电子、计算机、信息、控制和人工智能等有关概念的直接间接支持。梳理一下，我们可以将上述部分概念与遥科学的支撑结构关系初步用图1-1来表示。

遥科学这个概念如何定义？目前尚无定论。

英国剑桥大学1988年新版的《钱伯斯特科学技术词典》(英文版)对遥科学(Telescience)这个词条的注解是：(航天)一种远距离完成实验用的、充分交互的科学操作方式(mode)。在应用这种方式的场合，数据被(通过电视等)送给实验师，实验师可以远距离地控制实验仪器部件，因而交互地进行实验并且取得结果。

法国马特拉(MATRA)航天公司与欧洲航天技术中心(ESTEC)的C. Ricaud和J. C. Degavre等人(89)在论及遥科学(Telescience)的概念时认为：遥科学将通过给地面研究人员与他的在轨实验载荷提供相互访问的手段，使太空实验对地而研究人员“透明”，从而增强地面研究人员和太空宇航员的工作效果。在完成诸如材料科学、生命科学和流体物理学之类微重力实验时，系统的复杂性对地面研究人员是隐藏(hidden)起来的，他们感觉不到自己与太空实验设备之间存在复杂界面，可以广泛应用交互式载荷操作方法管理实验进程，实时评估实验结果，采取相应对策，并实施相应操作和服务。

意大利那波里斯大学的R. Monti(89)在讨论遥科学用于各种太空微重力平台

上的流体科学实验时则说遥科学的目的是：“实现这种实验过程，在此过程中，实验师(Principal Investigator)舒适地坐在自己家中(User Home Base, UHB)，自行完成在太空平台上进行的实验。”他同时还说到：“由于对遥科学的知识缺乏周密的认识，所以，对遥科学的认识常常不准确。有时，人们将遥科学与放在危险环境的生产设备的遥作(Teleoperation)、遥控(Telecommanding)和/或遥操纵(Telemanipulation)混淆起来使用；实际上，这些需要重复性动作的操作，与旨在取得新科学成就的实验活动是十分不同的”。

在美国，80年代中期，空间站科学应用任务组织(TFSUSS)用遥科学(Telescience)这个词来表征这样的概念(Leiner, 89)：在它中间，运用交互的、高性能的遥信(Telecommunication)链路连接天基实验室、宇航员和地基研究人员小组。(它使)空间站不是孤独的哨兵，而是可以调用的基础研究设施的组成部分。

分析各种有关遥科学的论述和相关研究的发展情况，我们可以得出这样一种认识(权作本书定义)：遥科学(Telescience)原意是“远程科学实验”，是一种科学实验系统组织模式。但从目前发展情况看，遥科学正在变成一门通用工程技术。这门工程技术研究的，是人类与机器如何合作，使人类能在远离活动现场的地点，完成和参予现场的活动；也就是，如何集成和运用遥现、虚拟现实、遥作和遥信等基础技术，使人类能够远离那些不利于、不允许人类在其中生存和工作的环境(现场)，远距离地完成和参予在那些环境(现场)中举行的各种活动。这些活动有如：基础科学实验，航空航天工程，核工程，武器弹药的生产、仓储与运输，陆、海、空、天作战与侦察，地下、海底与远洋作业，水泥、钢铁、纺织品、化工原料和农药生产，超大规模集成电路、药品与食品的超净生产，边远地区乃至月球村的医疗救助等等。

遥现(Telepresence)即远距离介入、远距离出席远距离出现、远距离感知。遥现技术专门研究如何使远离活动现场的人能获得“身临其境”的各种感觉。

虚拟现实(Virtual Reality)技术研究的是利用各种物理、化学等的过程来伪造和再现景物。促动这些过程的可能是遥现信息，也可能是遥现信息不足时基于常识的推理决策结果，或者某些假设。

遥作(Teleoperation)即远距离操作。遥作技术研究行为和动作，并致使现

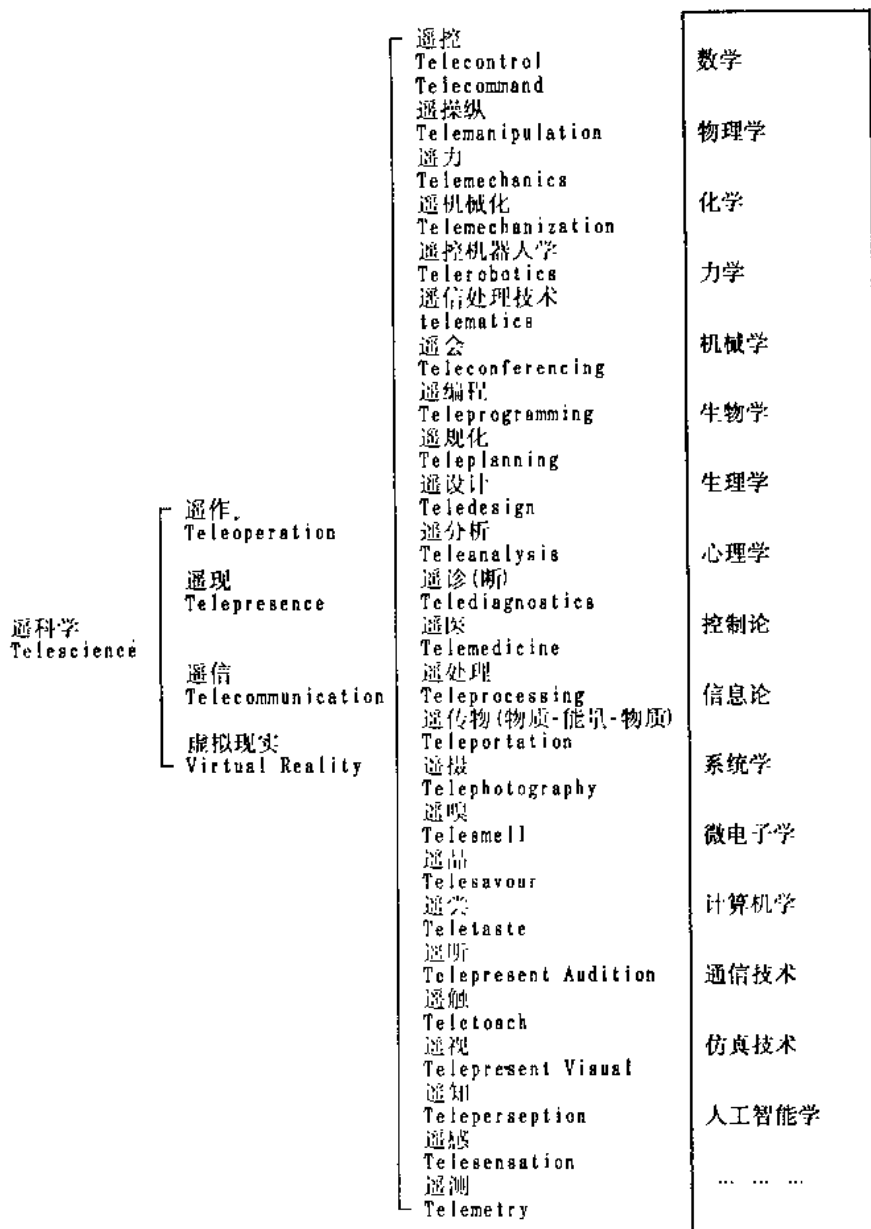


图1-1 遥科学的相关技术与基础

场的事物发生运动变化。

这里，遥信(Telecommunication)指远距离通信。它研究的是遥现和遥作信息的远距离、快速和可靠的传输。

第三节 遥科学系统的工作原理与基本结构

我们把按遥科学思想实现的各种系统叫做遥科学系统。我们认为从原理上看，一个遥科学系统就是人类利用遥现、遥作、遥信和虚拟现实等工具认识和处理工作对象的系统。简单说来，一个遥科学系统一般由人类、遥现、遥作、遥信和工作对象几个部分组成。它的工作原理我们可以用图1-2来表示。

其中：

- ①人类，是劳动的主体、可以是实验师、科学家、操作手、工人、士兵或其它劳作者。遥科学系统正是为了提高劳作者的工作安全性、舒适感和扩展他们的工作能力和提高他们的工作效率、能力而设计的。
- ②遥现部分，是放大、延伸、扩展和加强人类感觉和认识能力（智力）的工具。它可以利用遥信使人类的视、听、触、味、嗅等感知能力穿越各种空间障碍，延伸到远方的、艰险环境中的工作对象。遥现使人类感觉更远更准确，“秀才不出门便知天下事，”成为千里眼顺风耳。当然还可以使人感知识别更为精微细腻。
- ③遥作部分，是放大、延伸人类体能的工具。它使人类的身躯“变得高大有力”，手“伸”得很长。它可以利用遥信，延伸人类体能穿越各种障碍，作用于远方的、艰险环境中的劳动对象。
- ④遥信部分，使人类和工作对象之间可以“相距千万里，天涯若毗邻”。遥信是遥科学系统实现遥现和遥作的基本工具，是遥科学的基石。
- ⑤工作对象部分，可以是实验仪器、器皿、受试动物或人、生产机器、待加工和搬运的工件、待开采的矿石等等。
- ⑥虚拟现实部分，是工作对象的虚拟结果，可能是一种物理过程、化学过程等等。它可用于补充遥现信息的不足，丰富遥作操作环境，验证检验遥现与遥作的准确性、培训人类遥现和遥作的灵活性等等。虚拟现实应当是高级遥科学系统的重要组成部分，简单、低级遥科学系统不一定包括这个部分。

从结构上看，一般遥科学系统可以分成如图1-3示几个模块。即是：人类、

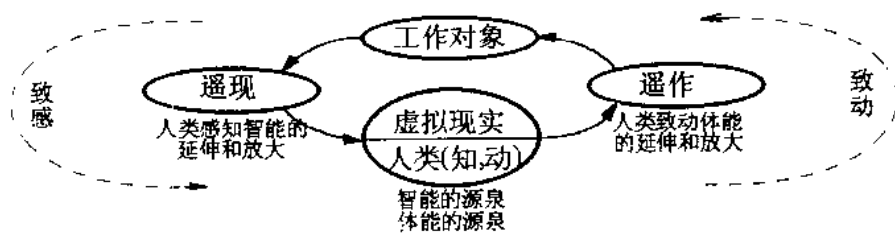


图1-2 遥科学系统的工作原理

方站工作环境、遥信系统、本地站、本地站工作环境和工作对象7个模块。

这里：

①人类，如前述。

②远方站，是系统中遥现与遥作功能远方部分的组合。其设计应使人类操作手、实验师、及其它劳动者）能够“身临其境”地感知工作对象情况而且操作工作对象尽可能地方便。

③远方站工作环境，是人类生存和远方站工作的支持环境。其选择与设计应使人类工作安全舒适、远方站运行得到较好支持。也许，最为理想的远方站工作环境是人类用户的家庭（遥科学发展的一个方向），一般可以是用户实验室或某种控制中心。

④遥信系统，是连接远方站与本地站的纽带。其选择设计应使远方站与本地站之间遥现与遥作信息的传递畅通无阻，而且时间延迟尽可能小。根据系统要求它可能涉及普通电缆、闭路电视线路、电信网、计算机网、卫星通信网乃至航天跟踪与数据通信网等等。

⑤本地站，是系统中遥现与遥作功能本地部分的组合。其设计应使对工作对象的感知周到、细致，对工作对象的操作安全、准确，以及，保证本地站与远方站密切协作。

⑥工作对象，其设计与选择应使遥现遥作便于进行。

⑦本地站工作环境，是本地站和工作对象生存和工作的支持环境。一般是艰险环境。

从总体上看，随着自主智能化水平的提高，遥科学系统的工作模式将发生变化，可能形成三个回路而不仅仅依靠人这个回路（如图1-4示）。

此时，三个回路分别是：

第一个，人至工作对象大回路；

第二个，远方站至工作对象中回路；

第三个，本地站至工作对象小回路。

图中阴影部分代表自主智能化功能，它们是人类能力的“替身”。这些功能越强，人的工作就越轻松。自主智能化与遥科学的这种关系以后要专门讨论。

天-地遥科学系统可能要算最庞大复杂、分布最远最大最为典型的遥科学

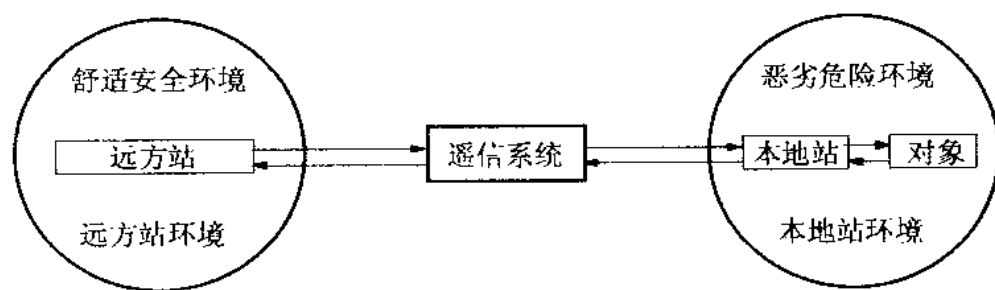


图1-3 一般遥科学系统基本结构示意图

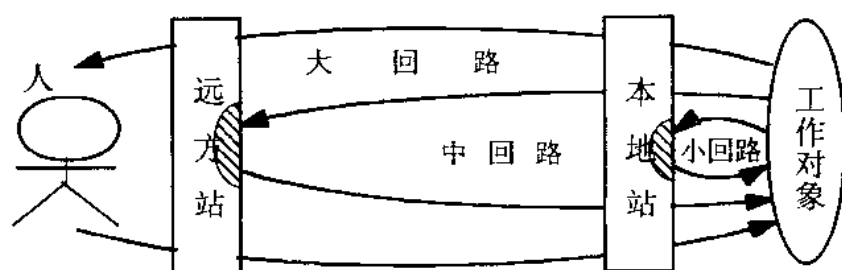


图1—4 遥科学系统的三个回路