

西欧航天研究

SPACE RESEARCH IN WESTERN EUROPE

林来兴

西欧从 1964 年开始联合从事航天活动, 至今已有 25 年历史, 欧洲空间局一直起着主导作用。欧空局共有 13 个国家参加, 以法国, 联邦德国, 英国, 意大利和荷兰为主, 而法国又居这些国家之首, 其经费投资占欧空局经费的一半左右。

西欧发展航天技术的特点是合作化、国际化和商业化, 目标是独立自主地发展航天技术。

西欧航天技术的发展经历了三个阶段。第一阶段与美国合作研制航天器, 用美国的运载火箭发射; 第二阶段西欧各国联合研制航天器, 仍用美国运载火箭发射; 第三阶段自己研制航天器和运载火箭并进行发射, 如 1979 年用阿里安火箭进行的成功发射。目前西欧已经完全解决了运载工具问题, 其航天技术正在以高水平快速发展。

应用卫星

西欧以发展民用卫星为主, 其中通信广播, 地球资源, 气象卫星尤为突出。

1. 通信广播卫星 法国和联邦德国联合研制的“交响乐”通信卫星于 1974 年发射成功。这是世界上第一个地球同步轨道三轴稳定通信卫星。它克服了自旋卫星受到的太阳电池阵几何面积和功率不高因素的限制, 而且容易提高控制系统精度, 并具有技术发展的潜力, 能更好地满足日益增长的对通信卫星技术性能的要求。之后, 西欧又先后研制了欧洲通信卫星、阿拉伯通信卫星、法国电信卫星和奥林帕斯远距离通信卫星等, 都是同步轨道静止

卫星。目前西欧的地球同步轨道通信卫星水平已居世界前列, 而且都已商业化, 具有国际竞争能力。卫星运行寿命已超过 10 年, 控制精度成倍提高, 对地指向精度已达 0.05° , 天线指向精度 0.01° 。卫星上装有几个转发器, 通信容量达几万对话路, 比早期通信卫星通信提高了一百多倍。目前西欧很多国家已经实现通信卫星化。西欧还研制成功了世界上第一个实用电视直播卫星, 如联邦德国 1987 年发射的 TV-SAT 卫星 (图 1A), 法国和联邦德国联合研制的直播 TDF 卫星 (图 1A) 和瑞典的 Telex 卫星。这些卫星每颗重 2 吨, 工作寿命 10 年以上。用户只需使用 0.6 米直径小天线, 就可以直接收视全世界多达 60 多个频道的电视广播节目。

2. 地球资源卫星 以法国斯波特 (SPOT) 和欧洲资源卫星为代表。法国计划发射 5 颗斯波特卫星。斯波特 1 号已于 1986 年 2 月用阿里安火箭射入高 822 公里的太阳同步轨道, 至今仍在正常工作。卫星重 1.8 吨, 姿态控制为三轴稳定。星上带有一对装备着 CCD 传感器的高分辨率可见光成像望远镜, 可以 20 米的分辨率拍摄全色和多谱段照片, 这是目前可见光和近红外谱段达到的最高分辨率。斯波特卫星还可以拍摄立体照片。在三年多时间里, 卫星共发回了 120 万张高分辨率的图片。法国专门成立了斯波特图象公司, 在全世界经营全色高分辨率图象, 与美国陆地卫星提供照片竞争。预计斯波特卫星提供的照片销售额可超过 1 亿美元。

第一代斯波特卫星由 1 号至 3 号组成, 计划工作到 1994 年。然后发射由 4 号和 5 号卫星组成第二

代斯波特卫星，一直工作到 2000 年，照片分辨率高达 10 米，寿命由 2 年延长到 5 年，太阳电池功率由 1 000 瓦增加到 2 800 瓦。

欧洲资源卫星研究始于 1976 年。最初打算建立三种类型的卫星系统，即沿海观测，全球海洋观测和陆地观测，后来把三种类型统一为资源卫星。由于投资经费和技术方案的争论，1984 年欧洲资源 1 号卫星才正式开始研制，计划在 1990 年初发射。卫星重 2.1 吨，轨道高度 785 公里，工作寿命 3 年。卫星为箱式结构，前端有三块太阳帆板，后端为单臂太阳帆板。姿态为三轴控制。这种复杂结构卫星在低轨道将受到较大扰动，为此要获得高的对地指向精度，在技术上是一个难题。

欧洲资源 1 号卫星主要仪器有：一台雷达测高仪，一台带有 C 频段合成孔径雷达的主动微波仪，一台激光回复反射器。这颗卫星主要用于对极区海洋和冰层的观测与监视。欧洲资源 2 号基本与 1 号相同，主要增加海色监视器，计划在 1993 年发射，可一直工作到 1996 年。还计划发射资源 3 号卫星，主要用于陆地观测。根据对欧洲资源 1 号卫星经济效益的分析，效益一成本比大约为 6~9。

3. 气象卫星 第一颗欧洲气象卫星于 1977 年用美国德尔它火箭发射，第二颗于 1981 年用欧洲阿里安 3 号火箭发射。两颗都是地球同步轨道气象卫星。采用可见光观测云层和地球表面。卫星收集到的数据为欧洲、中东和非洲预报气象用。卫星重 700 公斤，自旋稳定，工作寿命 3 年。之后，西欧于 1983 年又专门成立欧洲气象卫星组织，准备再发射三颗实用型气象卫星。第一颗实用型气象卫星已于 1988 年用阿里安 4 号火箭发射成功。另外两颗计划分别在 1990 年和 1991 年发射。上述 5 颗卫星称为第一代欧洲气象卫星，将一直工作到 1995 年。西欧从 1989 年开始研制第二代气象卫星，计划在 1995 年发射。

科学卫星和空间探测器

西欧从 1962 年起先与美国等国家联合，后来自己研制和发射科学卫星和空间探测器。20 多年来这类航天器总共成功发射 30 多个，将近一半是西欧各国自己研制的。例如：“羚羊”系列卫星（共发射 6 颗）是英美联合研究大气和电离层的科学卫星，“圣马科”系列卫星（共发射 5 颗）是意大利和美国联合研制的。70 年代以来西欧科学卫星和空间探测器在

技术上比较突出的有如下几项：

1. 天文卫星 以荷兰为主在 1974 年发射了荷兰天文卫星，1983 年又发射了世界上第一个红外天文卫星。红外天文卫星上装有一台重 810 公斤的液氢致冷的大型红外望远镜，焦距为 5.5 米，初级反射镜直径 0.6 米，焦面上共有 62 个红外探测器，成功地工作了将近 10 个月。90 年代西欧还计划发射多颗研究 X 射线的科学卫星。

2. 微重力科学研究 西欧对利用探空火箭和航天器进行微重力研究非常重视。西欧研究微重力共分三个阶段：第一阶段从 1982 年到 1985 年，主要研究材料和生命科学，以及流体失重科学等。由于缺乏足够空间实验机会和航天飞机事故，又增加一个第二阶段（1986~1992 年）。第三阶段从 1989 年到 1997 年，任务是为哥伦布舱，有人照料自由飞行器研制有载荷组件。目前正在进行第二阶段和第三阶段研究内容。

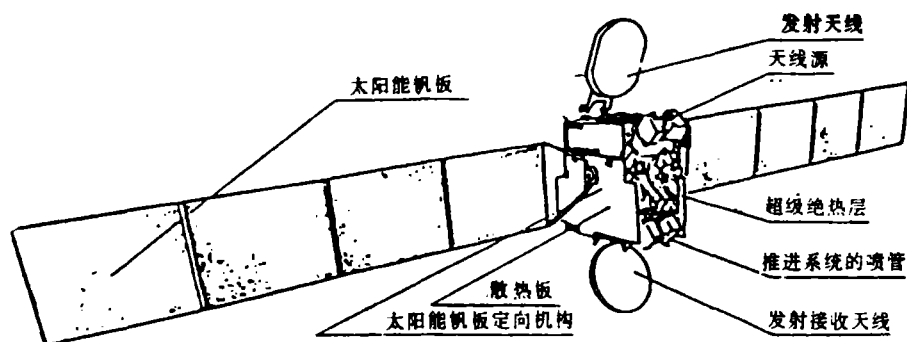
3. 同步轨道科学卫星 西欧发射多颗地球同步轨道的科学卫星和天体测量卫星。前者专门研究同步轨道的空间物理和磁场、辐射带等。这对各种长寿命静止卫星非常有用。后者为天体测量卫星，重 1 吨，星上仪器将以优于 0.002 角秒的空前高的精度测量所选择的 10 万多颗恒星的三角视差、运动和位置，除此之外还将观测另外 40 万颗较小的恒星。

4. 空间探测器 西欧在 1985 年发射“乔托”探测器，用来探测哈雷慧星。星上装有 10 种科学仪器，其中包括光电耦合相机。“乔托”经过 8 个多月的飞行，于 1986 年 3 月 14 日掠过哈雷慧星，传回了大量有关哈雷慧星的图象和数据。

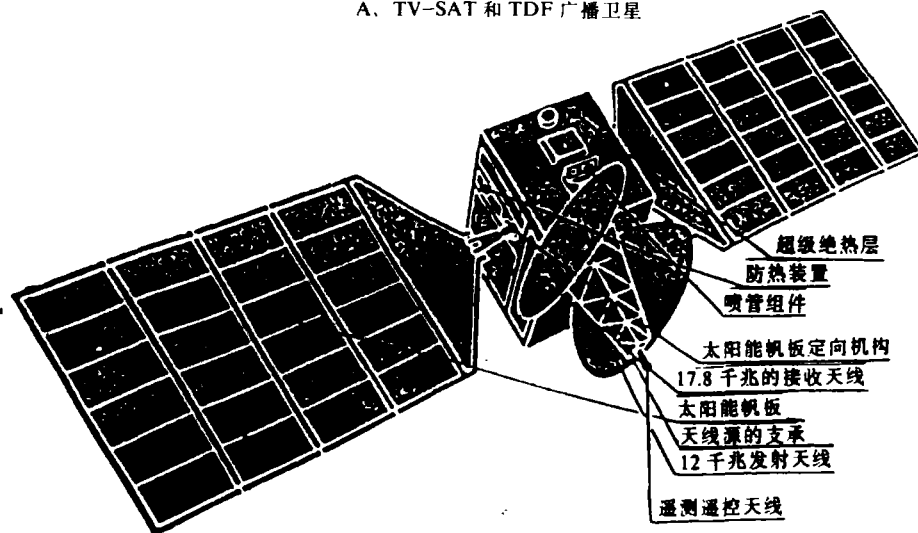
欧空局还计划进行星际科学考察，研究地球和太阳的化学和物理关系，准备发射一颗“索霍”太阳日光层观测站，位于地球和太阳之间的平衡点（太阳和地球对观测站的引力相等）。它一方面预报太阳微粒进入地球范围的情况，另一方面观测太阳，自动记录太阳不同部分在不同时期的明暗度。

运载火箭

60 年代法国研制“钻石”号运载火箭，并用它在 10 年内（1965~1975 年）成功发射 10 颗法国科学和技术卫星，还发射了第一颗联邦德国的日规/威卡卫星。在此基础上，法国在 1973 年开始研制阿里安火箭，并且积极使它“欧洲化”，法国对阿里安火箭投资高达 60%。



A. TV-SAT 和 TDF 广播卫星



B. 法国的电信-X 通信卫星

图 1 西欧发射的通信广播卫星

1979 年阿里安火箭 1 号研制成功，至今已发展到阿里安 4 号。从 1982 年至今，用阿里安火箭发射的航天器已有 50 颗左右。阿里安 1 号是三级液体火箭，全长 47.4 米，直径 3.8 米，起飞重量 207 吨，推力 2 440 千牛顿（249 吨力），采用惯性制导系统。图 2 列出阿里安火箭各种型号的运载能力（卫星进入地球同步转移轨道的重量）。图中“AR40”为“阿里安-4”原型，型号栏中双位数的后一位数字为捆绑的助推器数量，L 表示液体助推器，P 表示固体助推器。一种型号的运载火箭要做到适应各种重量和尺寸的有效载荷是比较困难的，然而“阿里安”火箭通过在第一级捆绑不同类型和数量的助推器得到解决。西欧从 1988 年起开始研制阿里安 5 号火

箭。它是多用途运载工具。阿里安 5 号主要承担下列任务：发射重 6.8 吨的不载人航天器到地球同步转移轨道（用 AR54L）；发射重 21 吨的“使神”号航天飞机到地球低轨道（用 AR54LH）；发射哥伦布空间站各个组成部分到地球低轨道，其中包括有人照料自由飞行器和极轨平台（用 AR54LP）。阿里安 5 号研制工作计划到 1995 年完成，并且提供两枚成品发射商业卫星；1998 年正式用以发射“使神”号航天飞机。西欧还打算在本世纪末进行“阿里安 6 号”火箭的研制工作。火箭垂直起飞，部分重复使用，和阿里安 5 号相比，发射费用节省 20%，发射能力提高 40%，计划在 2010 年研制完成，2020 年正式投入使用。

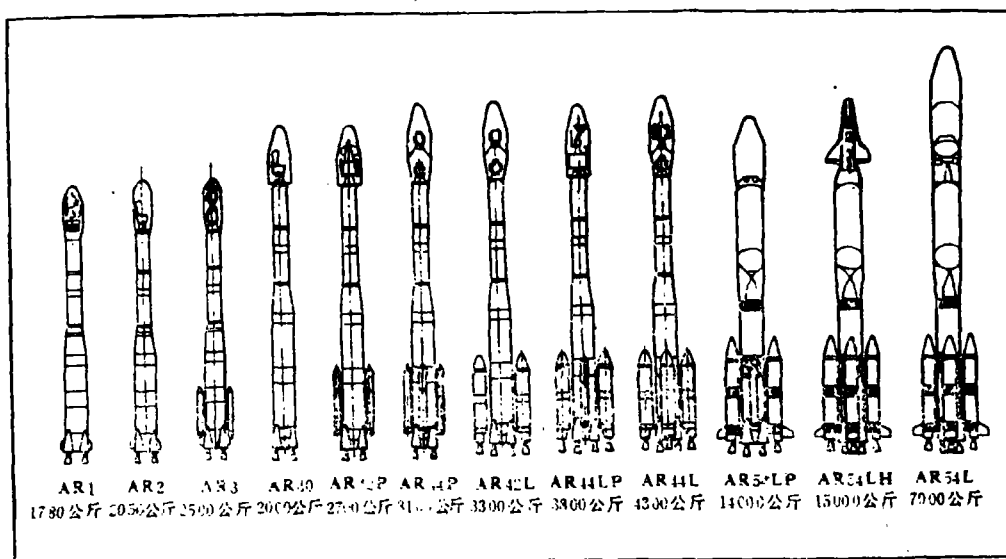


图2 欧洲阿里安火箭

载人飞行和空间站

1983年11月28日,美国航天飞机携带西欧联合研制的“空间实验室”1号进入低地球轨道,在10天内完成70多项试验,联邦德国一名科学家作为航天员参加了飞行。这项活动推动了欧洲后来的载人空间活动。西欧还参加了美国“自由号”空间站计划,负责研制一个增压舱。在这些活动的基础上,西欧开始自己的空间站计划。计划包括三个方面:

1. 尤里卡空间平台 尤里卡空间平台由航天飞机发射入轨,然后离开航天飞机,在轨道上作为独立空间平台,完成任务后再由航天飞机回收,返回地面。它是一个不载人、自主、多用途的平台,能够在轨道上运行8个月。它能携带有效载荷1000公斤。所实现的微重力优于 $10^{-5}g$ 。航天飞机入轨后,尤里卡平台依靠自己的推力器升高到800公里轨道高度。平台总重4吨,长2.45米,直径4.6米,有两块可折叠太阳能帆板,可提供功率1500瓦的能源,可作5次重复飞行,寿命10年。平台采用8个单组元推力器,推力为20牛顿,用来进行轨道控制和姿态机动控制。平台设有星载控制机,采用飞轮三轴稳定系统。姿态指向精度为 $\pm 1^\circ$ 。

2. 哥伦布空间站系统 哥伦布空间站系统由四部分组成:

(1) 增压舱由4段组成,总长12.76米,直径4.06米,空重14.25吨,装上有效载荷后重量为

21.25吨。

(2) 自主极轨平台,主要用于地球观测和进行天文学及其他实验。平台通常不住人,航天员定期来此作些维护和有关操作。平台由阿里安-5发射到800公里太阳同步轨道,然后由使神号航天飞机在轨道上为其加注燃料和更换设备,载荷能力为5吨,太阳能帆板可提供5千瓦功率。

(3) 自主式小型空间站,或称同轨有人照料自由飞行器,由一个小型增压舱和资源舱组成,平时没有人居住,航天员定期到此进行维护和操作。小型空间站长11.4米,直径3.7米,重约15吨,组装后由阿里安-5一次发射入轨;可在轨道连续运行90天,然后由使神号航天飞机进行补给物资。资源舱用来提供所需要的辅助设备,如电源设备、热调节设备、遥测-遥控设备、轨道和姿态控制设备。资源舱长5.5米,配有4个推力各为400牛顿的推力器和12个推力各为20牛顿的推力器,用来进行轨道控制。飞行器由冷喷气实现三轴稳定。

(4) 自主同轨平台,它是尤里卡空间平台的改进型,本身重量和有效载荷都略有增加,除由航天飞机发射外,也可以用阿里安-4或-5发射。

3. 阿里安-5火箭和使神号航天飞机

欧洲空间站系统所有运载任务由美国航天飞机、欧洲阿里安-4和-5号火箭,以及正在发展的使神号航天飞机承担,计划在2005年左右全部完成。这个空间站系统还包括欧洲自己发展的数据中

继卫星。

航天飞机

西欧航天飞机有三种型式。第一种是使神号小型航天飞机，目前已经正式开始研制。第二种是英国提出的“霍托尔”(HOTOL)单级航天飞机。第三种是联邦德国提出的“森格尔”两级航天飞机。后两种目前都还处在论证阶段。

1. 使神号航天飞机 “使神(Hermes)”号航天飞机是欧洲21世纪空间运输系统一个重要组成部分。它是一种小型航天飞机，主要承担如下任务：

接送宇航员，一次最多三名；运送各种设备到空间轨道上；在任务结束时，运回设备和实验资料到地面；在轨道上完成在轨操作，如交会、对接或停靠，修理航天器，遥控操作等；可以在轨道高度400~500公里、倾角 $28.5^{\circ} \sim 98^{\circ}$ 下实现自主飞行，也可以进行各种空间科学技术实验。

使神号从1988年开始研制，计划1998年进行不载人飞行，1999年进行第一次载人飞行，每年发射2次。使神号航天飞机长15米，宽10米，带负载时重21吨，最大负载3吨，推进剂15.5吨。它的结构组成如图3所示。包括下列组成部分：

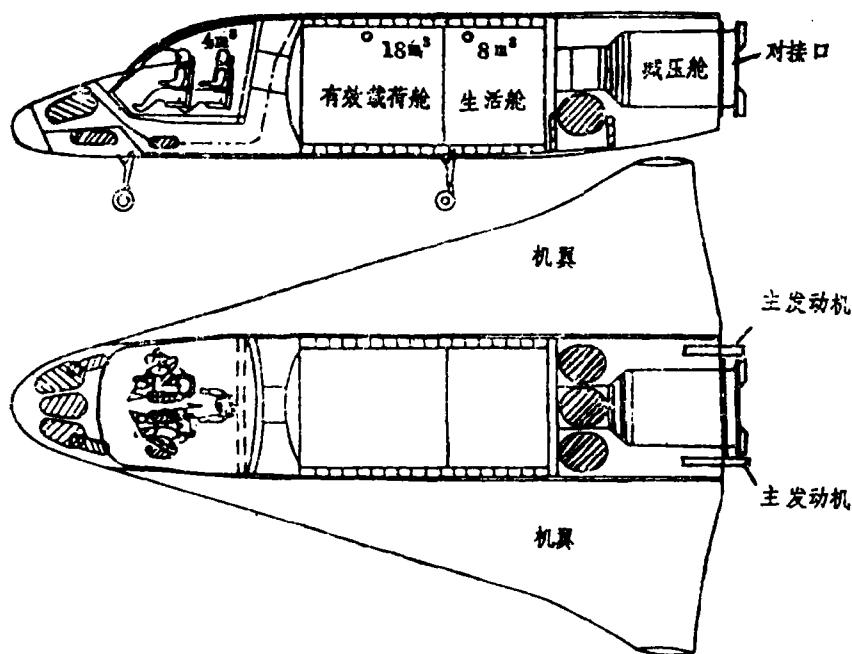


图3 使神号航天飞机结构组成

(1)前舱上部为容积4立方米的座舱，是航天员驾驶室，也作为救生舱，在发生事故时可以弹射出，使座舱与飞机脱离，以确保在意外情况时机组的救生。这是吸取美国挑战者号航天飞机事故的教训所采取的措施。

(2)中部为增压舱，由两部分组成：一部分是18立方米的有效载荷舱，称为货舱，舱内放置有效载荷和辅助设备；另一部分是8立方米的乘员居住室，称为生活舱。增压货舱与前面座舱是相通的。

(3)后部位于货舱的后面为减压舱，作为座舱和增压舱与外界联系的通道。2名宇航员可以全副着装通过减压舱进入外界空间。

(4)机身最后部分主要安装两种设备：位于中

间的是一个与美国、苏联相同的标准对接口，其直径为1米；另一种设备是上面两侧的两台主发动机。

(5)机身两侧为三角形后掠机翼。整个机形像蝙蝠。

虽然使神号是一种小型航天飞机，但就控制技术而论，它与美国航天飞机一样复杂。整个飞行控制可分为5个阶段：即上升、入轨、在轨、离轨、再入和着陆阶段。除上升段使用阿里安-5火箭以外，对使神号飞机来说，上述其余4个阶段所要求的各种轨道和姿态控制都由航天飞机自己完成。它们的任务和要求如下：

(1)高的姿态指向精度和速度稳定度，要求姿

态指向地球精度为 0.1° ，姿态角速度为 0.01 度/秒；

(2) 低加速度，保持微重力环境，要求微重力为 $10^{-3} \sim 10^{-5}g$ ；

(3) 自主的交会和对接或停靠。在接近阶段（相对距离小于 500 米）两个飞行器相对位置精度优于 0.3% 相对距离，相对速度精度优于 3 毫米/秒，而且要求平滑，无冲击的高可靠对接或停靠；

(4) 对接后的联合体在运行状态下，控制系统是稳定的，也就是要求解决多体和变质量控制系统的设计和技术实现的问题；

(5) 当挠性机械手在捕获和运送货物时，要求机上控制系统稳定和性能良好；

(6) 安全可靠的再入和着陆。由于在这阶段受到剧烈的气动影响，同时航天飞机本身轨道位置和姿态又会有较大的变化，从而造成控制对象动力学模型的不确定性，也是控制飞行器一个关键技术；

(7) 为了确保载人的安全，使神号航天飞机可靠性设计目标为 0.9999，即对一个月运行寿命来说每小时失效率为 1.4×10^{-7} 。

2. 霍托尔航天飞机 霍托尔 (HOTOL) 航天飞机是英国宇航公司提出的，它是一种单级航天飞机，尺寸和重量与协和号飞机相似，由一台液氢液氧发动机推进，全自动驾驶，没有机组人员。航天飞机可携带 7~8 吨重的有效载荷进入 300 公里的低轨道。水平起飞和水平降落。

研制霍托尔航天飞机目的是要使低轨道的发射费用降低到美国航天飞机 $1/5$ 。地球同步轨道的发射费用降低 $1/2$ 。这种航天飞机每次飞行只发射一种有效载荷，两次飞行之间的间隔不到一周，在极限状态下，每两天可发射一次。关键技术是发动机，这种发动机在飞行第一阶段是超音速燃烧的冲压式发动机。燃烧需要的氧气是将空气液化提取，到高度为 26 公里时，发动机转换为通常的火箭发动机，开始使用机载的液氧。

3. 森格尔航天飞机 森格尔航天飞机是联邦德国 MBB 公司提出的。它是一种两级航空航天飞机，用于运送人员和有效载荷到低轨道，也可来回送往空间站与空间平台，还可以发射航天器到不同轨道。

这种航天飞机可重复使用。第一级机体进行大气层飞行，第二级机体进行空间飞行。航天飞机可重复使用 50~100 次。它尺寸与 B747 飞机相似。森格尔航天飞机研制费用大约相当使神号航天飞机和阿里安 5 号火箭的费用。这种航天飞机可以飞到轨道平面，也可以在具有 3 公里长跑道的机场上起降。

本文作者林来兴 (Lin Laixing) 系中国空间技术研究院北京控制工程研究所研究员，国防科技大学教授。

(上接第 59 页)

6.1%，而 1980~1988 年总入学率的年增长率为零，普通高校入学率的年增长率仅为 2.6%；如果以低收入国家平均水平为参照系，我国高校入学率应为 11.94%，情况就更严重了。

按人均国民生产总值，1985 年我国算是低收入 5 个国家中比较好的（实际为 310 美元，超过 5 个国家的平均数 286 美元）。我国 1984 年初、中等教育入学率也超过低收入的 5 个国家平均数（分别为 100% 和 34%），唯独高校入学率无论以何种数据为依据都不及低收入 5 个国家的平均水平（4%），更不及中等收入国家（11%）和发达国家（39%）。这就是我们必须正视的事实。

再分析几个数据。1965 年高校入学率为 1% 的 15 个国家，20 年后的 1985 年加权人均国民生产总值的加权平均值为 770 美元。我国 1980 年普通高校入学率为 1.35%，同样是 20 年后，到 2000 年可望

实现人均国民生产总值 1000 美元。还是这 15 个国家，1984 年高校入学率的加权平均值为 5.87%，我国 2000 年人均国民生产总值要达 1000 美元。高校入学率应达到 7.9%；人均国民生产总值要达 800 美元，高校入学率也应达到 6.1%。如果以 800 美元为目标，以我们统计的包括成人高等教育在内的高校入学率（1980 年为 3.2%）为依据，1981~2000 年间高校入学率的年增长率也应达到 3.3%，而我国 1980~1988 年总入学率的年增长率为零，普通高校入学率的年增长率也不过为 2.6%，相差很远。由此可见，目前我国高等教育发展的规模谈不上“过大”，发展速度也谈不上“太快。”

本文作者张晓鹏 (Zhang Xiaopeng) 系复旦大学高等教育所比较教育研究室主任。