



专题:光纤发明 50 周年

中国光纤通信发展的回顾

赵梓森

(武汉邮电科学研究院,湖北 武汉 431700)

摘 要:2016 年是高锟博士提出采用光纤通信的 50 周年纪念,赵梓森院士特写此文作为回顾纪念,特别是回顾中国光纤通信的发展。赵梓森院士是中国光纤通信创始人之一,回顾了中国光纤通信的发展,通过亲身经历指出了从中吸取成功的经验和失败的教训是有益的。

关键词:光纤通信;回顾;光纤材料

中图分类号:TN913.7

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016150

Review of the development of China's optical fiber communication

ZHAO Zisen

Wuhan Academy of Posts and Telecommunications, Wuhan 431700, China

Abstract: 2016 is the 50th anniversary of Charles K Kao's proposing using optical fiber communication, the article was written to commemorate the review, in particular, the development review of China's optical fiber communication. Zhao zisen was one of the founders of Chinese optical fiber communication, the development of China's optical fiber communication was reviewed and the successful experiences and failure were absorbed.

Key words: optical fiber communication, review, fiber material

1 引言

中国上海出生的英/美籍华人高锟 (Charles K Kao), 1966 年在英国 BTRL(英国电信研究实验室)的论文上,提出玻璃丝的损失可低达 20 dB/km,可用于通信。当时绝大多数人不相信,因为,当时世界上最好的光学玻璃是德国的 Ziss 照相机镜头,其损失是 700 dB/km,常规玻璃损失约为 x 万 dB/km。但 BTRL 的领导、美国 Bell 实验室和世界最大的玻璃公司 Corning(康宁)相信。据说,美国康宁玻璃公司花了 3 000 万美元,研制出 3 根长 30 m、损失为 20 dB/km 的光纤,认为值得。因为光的频率和带宽是电的千万倍,意味着光纤将会引起一场通信技术的革命!!!

2009 年,高锟博士因发明光纤通信而获得 Nobel(诺

贝尔)奖金。此时,在美国的高锟已患老年痴呆症,不能回答记者的问题。中国的记者问我“为什么高锟 1966 年发明光纤通信,在 2009 年才得奖”,我说:“1970 年,美国康宁公司研制出可用于通信的光纤,1976 年世界第一条民用的光纤通信线路在美国华盛顿到亚特兰大间开通,信息速率只有 45 Mbit/s,光源是 LED,所以速率不高,还比不过同轴电缆。1988 年美国才研制出可用于通信的激光器,但电子技术是几十 Mbit/s 量级,体现不出光纤通信容量大的优点。现在有了几十 Gbit/s 的电子技术,充分发挥了光纤通信的优越性。人们真正感觉到光纤通信巨大的优越性!

现在,光纤构成了通信网、互联网和电视网,光纤通信已是人们生活和工作的必需品。

2016 年是高锟提出采用光纤通信的 50 周年纪念,特写



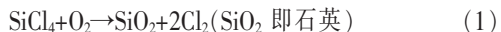
此文作为回顾纪念,特别是回顾中国光纤通信的发展。本人是中国光纤通信创始人之一,回顾中国光纤通信的发展,从中吸取成功的经验和失败的教训是有益的,经历令人感慨!

1969年,中国处于“文化大革命”时期,武汉邮电科学研究院(以下简称武汉院)属于北京邮电科学研究院(以下简称北京院)的管辖,北京院把国家科研项目“激光大气传输通信”以及项目执行人员(十余人)移到武汉院。1971年,武汉院的领导即外来的军管军代表许奎认为“激光大气传输通信进展太慢,让技术好的赵梓森去搞一下”,让我担任该项目的负责人。我问:“为什么这样慢”,科研人员回答:“无仪表,如平行光管,一年后才交货”。当时,全中国的工作都不正常。我引用毛主席语录说“土法上马”,太阳光是平行光,可利用它来校正抛物面天线聚焦。大家把天线搬到屋顶,利用太阳校正了天线,很成功。之后,我们把整个激光大气通信设备,搬到当时武汉市最高的建筑——六渡桥的水塔和青山的水运工程学院的某高楼,实现了“大气传输激光通信”,距离约10 km。又请省科学技术委员会(以下简称省科委)领导做报告,经大气光通信传输,全体院职工在武汉院的大礼堂收听,很成功。

领导很高兴。但我并不高兴,因为我知道,下雨下雪,光大气传输通不了信!即不能“全天候”,邮电不能用!

1972年底,我听说美国在研究“光纤通信”——利用玻璃丝进行通信。我意识到光通信有希望。我提出要发展“光纤通信”的科研项目。但绝大多数人反对,包括邮电部、武汉院和北京院的领导。有领导在几十人的会上说:“玻璃丝怎么能通信!赵梓森你不要胡搞,要花几千万,你负得了责吗?”因为,当时美国的光纤通信尚未使用,又因为“文化大革命”,中国与世隔绝,难怪大家不知道。而个别领导,如时任邮电部科技司副司长周华生和时任武汉院科技处处长惠哨岗表示支持,说“可以试试”。此时武汉院已经独立,由邮电部直接领导,不再由北京院管辖。

由于大多数领导对于光纤通信不理解,把光纤通信作为可有可无的小项目。所以,我只有很少的钱,只有几个人,如黄定国(自愿参加)、唐仁杰(玻璃工)、史青(化学教师)等。无正规的实验室,我们在实验楼厕所边的清洗室内做化学试验。



某天,我把 SiCl_4 倒到另一瓶中,由于同事配合不好,而 SiCl_4 在室温下会沸腾, SiCl_4 喷入我的右眼,我剧痛。产生的氯气使我晕倒在地。同事用车送医院抢救,但医生也不知道如何救,此时我已经苏醒,我说:“用蒸馏水冲眼

睛,打吊针。”2小时后,身体恢复正常,我立即回武汉院实验室继续工作。

2 科研工作也要有献身精神

当初,我们的化学水平不高,采用酒精灯加温,因温度不够,无反应。于是改用石墨炉,可得到 $1\,200^\circ\text{C}$ 。原料是气体,经过1只石墨炉,原料气体尚未反应就出来了,什么都未得到。于是增加石墨炉的个数,以保证有足够的反应时间,直至再增加12个石墨炉,我们得到了一些白色粉末,大家很高兴,以为是石英。经过化学分析,原来是含水份的硅胶,不是石英。这样的失败有几十次。

光纤导光原理如图1所示。光纤是由二层不同折射率的石英玻璃构成的,芯的折射率大于包层的折射率,构成全反射,使光信号可弯曲传输。光纤芯必须是“9个9”、即0.999 999 999的超纯石英,以保证光纤的传输损失极小。

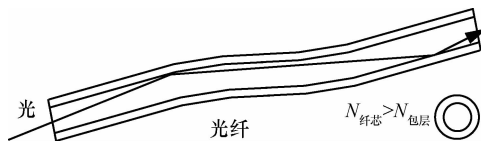


图1 光纤导光原理

我们对制造光纤的石英的知识理解得太肤浅,于是,我让黄定国到上海、沙市石英厂访问,才知道熔炼石英需要 $1\,400^\circ\text{C} \sim 2\,000^\circ\text{C}$ 高温,要用氢氧焰。我们采用所谓的MCVD法,即改良管内化学沉积法,制造超纯石英。MCVD法的概念如图2所示。

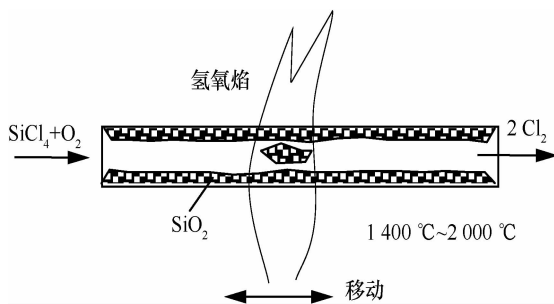


图2 MCVD法的概念

MCVD法即先将购买来的普通石英管,通入气体原料,在管外用氢氧焰加温至 $1\,400^\circ\text{C}$,使之产生化学反应,产生石英粉末,附在石英管壁上。来回移动氢氧焰,附在石英管壁上的石英粉末加厚,直至达到需要的厚度。最后,氢氧焰加温至 $2\,000^\circ\text{C}$,使管内的石英粉熔成透明的石英,同时,包层石英管也因变软而收缩,自动填满中心孔而形成

光纤“预制棒”。

然后用拉丝机拉丝,内有石墨炉,可产生 1 400℃高温,使石英棒变软,用电动机旋转滚筒,把光纤“预制棒”拉成直径为 125 μm 的光纤。

1973 年,武汉院光纤通信正式立项,申报国家科研项目。原来中国最早研发光纤通信的是中国科学院福州物质结构研究所(以下简称物构所)。1972 年,物构所的科研项目“732 机”内包含“光纤通信”的研究。合作单位有清华大学(负责研制通信系统)、成都电信工程学院(负责研制光源)、物构所(负责研制光纤,是项目负责和总体设计)。

于是,原国务院科技办(即现在的国家科学技术委员会,以下简称国家科委)下有 2 个单位申报“光纤通信”科研项目,即物构所合作团体和武汉院。原国务院科技办不容许重复,只容许设一个“光纤通信”科研项目。于是组织了一次“背靠背”辩论,即由原国务院科技办主持,武汉院和物构所分别发言,不当面辩论,最后由原国务院科技办确定“光纤通信”科技项目的归口。

3 “背靠背”技术路线辩论情况

物构所合作团体和武汉院的技术路线见表 1。

表 1 物构所合作团体和武汉院的技术路线

机构	光纤	光源	通信系统
物构所合作团体	玻璃材料	YAG 激光器	增量调制方式
武汉院	石英材料	半导体激光器	PCM

我当时向国务院科技办领导分析解释:光纤用玻璃材料的特点是“物理容易化学难”,即炼玻璃需要温度,400℃容易;但化学原料的提纯由于成份复杂,比较难。

光纤用石英材料的特点是“化学容易物理难”,即炼石英需要温度;1 400℃比较难;化学原料的提纯:只有 SiCl₄ 一种,比较容易,而且 SiCl₄ 是制作晶体管的原料,本身已经很纯。

我又说:长距离通信要求光纤的损失小,原料要求纯。所以化学是主要矛盾,物理工艺是次要。

光源:YAG 激光器的特点是“当时的寿命达 2 000 h”,而半导体激光器在世界范围内都没有研制出来。但 YAG 激光器需要用水冷却,在长途通信线路中继站人孔内无水,所以不能用。目前无激光器,可暂用 LED,将来一定会有半导体激光器。

通信系统:采用增量调制方式,优点是简单,但传输无增

量的直流,效果差,特别是传输电视信号比较困难,电视信号的直流分量比较多。采用我建议的 PCM(脉冲编码调制)方式,虽然现在无集成块不能制作,暂时用如 PSM(脉冲相移调制)代替,可传输电视信号。将来会有集成块,PCM 最好。

我的光纤通信技术路线,至今仍是对的。

国务院科技办相信我的技术路线,把“光纤通信”项目交给武汉院,而没有给中国一流、二流的中国科学院、清华大学和电子科技大学。当时武汉院是一个约 2 000 人的小单位。

4 技术路线是科学研究成败的关键

1976 年,中国的通信光纤首次在武汉院研制成功。当时处于“文化大革命”时期,与世隔绝,虽然我们不是世界首先,但没有依靠外国任何技术,研制出通信光纤。例如:光纤需要的超材料,需要自己制造,我们把买来的纯度为“7 个 9”的 SiCl₄,提纯到“9 个 9”,中国的化学专业部门都认为难做。我们学习后知道,先用精馏塔去除金属杂质,再用吸附塔去除具有挥发性的有机物,使材料纯度达到“9 个 9”。光纤研制出后,光纤有 7 项指标需要测量,中国无这种仪表,我们成立了仪表组,制作了 7 种仪表。

光纤通信需要光源——激光器。我们先采用北京大学和中国科学院上海光机所提供的尚未成熟的激光器(寿命几小时),后来用 LED 做实验。

1976 年,国家提出“农业学大寨,工业学大庆”口号。原邮电部组织“邮电工业学大庆”展览会,要下属部门提供新技术展品。武汉院的展品有我们的光纤通信演示。我用我们研制的 16 m 光纤,用上海光机所提供的激光器做光源,通信系统是我设计的脉冲调相系统,传输了一路黑白电视(当时中国只有黑白电视)。展览是在北京“中苏友好宫”内。

预展的那天,时任邮电部部长钟夫翔和时任副总理谷牧来参观检查,看到我们的光纤通信演示,钟部长很惊奇,他要我站开,他要亲自把光纤拿掉,看是否不通,又亲自把光纤放回,看是否又通,显然是不相信!我告诉他“拿掉一定不通,但放不回去。因为我们没有精密的微调机构,只是用螺丝钉加橡皮泥代替。我花半小时才对上”。但部长一定要,我告诉他“能否下星期来”。我回去后,采用了大面积的光检测器,很容易对上。果然,钟部长来了,他依然要我站开,他亲自把光纤拿掉,结果黑白电视不通,他又要亲自把光纤对上,电视恢复。钟部长笑笑,走了。约两星期后,武汉院收到邮电部来文——“光纤通信是邮电部重点项目”!原来光纤通信还不是院重点项目,现在成了国家重点项目。



5 条件差,不要紧,努力工作,做出成绩,使领导相信,是会成功的!

武汉院院长问我:“赵梓森,您要多少人?要多少钱?”我告诉院长:“全院的人也不够”。“为什么?”,“因为要建立光纤生产车间工厂;要建立光器件研究所,研制生产激光器;要扩大原有的通信机研究和生产的规模;要发展数字通信,研制 PCM 脉冲编码通信机”。院领导听信我的建议,把所有项目都下马,包括毫米波通信、传真电报等。武汉院扩大了通信设备的科研和生产规模,建立了光纤光缆生产车间工厂,建立了光器件研究所等,为光纤通信实用化打下基础。

1976 年,美国在华盛顿到亚特兰大间开通了世界第一条实用的光纤通信线路,速率为 45 Mbit/s。

1976 年,武汉院开通了光纤通信实验线路——环武汉院,进行了通话实验。

1978 年,中国进入“改革开放”时期,中国和外国可来往交流。我随中国邮电代表团到意大利都林参加国际光通信会议。参观意大利国家光通信中心实验室,意大利专家提出:“中国可派人到意大利学习光纤通信,每学员付 20 万美元学费”。后来,意大利专家回访中国,到武汉院参观光纤通信,发现中国的光纤通信技术超过意大利。意大利专家代表马沙利立刻发回电说“中国的光纤通信很好,我们的培训方案是错误的,赶快收回”。

1980 年,光纤通信发明人——英籍华人高锟访问武汉院。看到武汉院的光纤通信技术,高锟说:“surprise”(表示“惊讶”)。

中国进入“改革开放”时期后,光纤通信的研发速度大大加快。

为了建设工程和产业化,武汉院建立光纤生产车间。和美国林肯实验室的激光器专家谢肇金合作,成立 WTD 武汉通信器件公司,可生产通信激光器,生产激光器是国内首先。后来谢肇金把股份卖掉,现在 WTD 股份全属于武汉院。现在 WTD 在世界同行业排名第 5。

国家科技领导已经认识到“光纤通信”是通向“信息时代”的桥梁,立项“八二工程”,即要在武汉建设中国第一条实用化的光纤通信线路。用光纤连通武汉 3 镇,如图 3 所示。

所谓“实用化”是:由原邮电部郑州设计院设计(不是武汉院);由武汉邮电工程三公司的工人施工。开通由武汉电信的技术人员负责。我是“八二工程”项目负责人和总体设计人,指导大家实现中国从来没有做过的“光纤通信”。

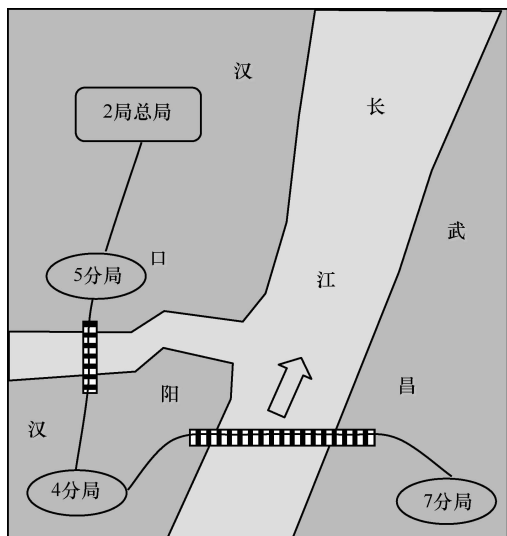


图 3 光纤连通武汉 3 镇

“八二工程”光纤通信:线路长 13.3 km,传输信息速率为 8.448 Mbit/s,采用多模光纤(多模光纤的芯径比较粗,容易生产,但传输容量小。当时中国尚不能生产单模光纤)。光源是 LED。通信设备是由武汉院生产的 PCM 光通信机。

1981 年 12 月 28 日,中国第一条实用化的光纤通信线路在武汉开通。通信效果良好!

1981 年 12 月 29 日,时任邮电部副部长侯德源十分重视,从北京来检查“八二工程”。上午从北京来到武汉,下午来检查。我们在做准备。负责机架电源的 XXX 为了改进电源端子板,用钢皮尺去量电源端子板的尺寸。“砰”的一响,机器烧了!大家吓得目瞪口呆!我紧急抢修,调动试验机盘,拼凑了一个系统,可通话。下午侯副部长的检查过了关。事后院长要处分 XXX,我请求得免。

6 工作一定要细心,粗枝大叶不行

“八二工程”建成后,时任邮电部领导和专家都认识到光纤通信的优越性。光纤通信在全国推广使用,如建设“八纵八横”的国家光纤通信线路。后来,提出“光进铜退”,意思是长距离通信必须用光纤,因光纤的价格比拆下的铜的废铜还便宜。1988 年,中国规定长途通信线路不再使用电缆。

“八二工程”采用的“多模光纤”,缺点是传输速率低,最多只有 1 Gbit/s。我提出要发展“单模光纤”,该光纤的传输速率可达数百 Gbit/s 以上,单模光纤结构中的芯直径约为 8 μm ,很细(多模光纤芯直径 50 μm),当然,比较难生产。在国家科委主持的讨论会上,遭到绝大多数的专家反对,包

括院士(当时我还不是院士),认为单模光纤是做不出来的!只有中国科学院半导体所的专家王启明赞成,结果未通过。经过1年,武汉院做成“单模光纤”。我打报告告诉国家科委,国家科委同意立项发展“单模光纤”。

在中国改革开放的时期,邮电部提出要向国外引进“光纤生产技术”,我赞成。有人问我:“赵梓森,你在文化大革命时期,无外国技术,全部自己解决,也把光纤生产出来了,为什么现在还要同意引进外国的光纤生产?”我回答:“不错,我们不靠外国也能制造生产光纤。但我们的光纤制造设备,例如熔炼车床等,2年后因生锈腐蚀,不能保证精度,必须更换。而外国的机床是不锈钢。中国没有不锈钢(当时),我赵梓森总不能去炼钢,这是中国工业基础的问题。”

邮电部安排我担任光纤引进小组技术负责人。我首选与美国康宁公司合作,但康宁公司生产光纤需要用He(氦)气,中国很少有氦气,而且很贵,合作不成功。与日本住友公司交谈,要住友在合同中写明保证光纤应达到的指标,住友公司不愿意,合作不成。与荷兰 Philips(飞利浦)公司谈,Philips公司同意在合同中写上光纤产品应达到的指标,合作成功。在武汉成立了“长飞光纤光缆公司”。荷兰 Philips 公司要武汉院派人到荷兰 Philips 公司培训。武汉院光纤技术人员在荷兰学习时,提出一些问题,Philips 公司专家几乎都回答不了,荷兰专家说:“从来没有遇到技术这样精通的学员”。后来,长飞光纤光缆公司的生产设备是不锈钢的,很耐用。长飞光纤光缆公司生产的光纤质量,超过荷兰 Philips 公司。荷兰 Philips 公司因此不再生产光纤,因为荷兰 Philips 公司有长飞公司的股份,同样可获利。Philips 公司把其股份卖给荷兰 Draka;后来,邮电部把武汉院的长飞公司的股份转给中国电信。现在长飞光纤光缆公司是世界最大的光纤公司。武汉院失去了长飞公司,成立了自己生产光纤光缆的工厂,隶属“烽火通信”公司管理。

武汉院曾经把光纤制造技术转让给江苏的亨通线缆厂和其他厂商,带动了中国的光纤光缆产业。现在,中国的光纤通信产量和市场占有率是世界第一,如图4所示。

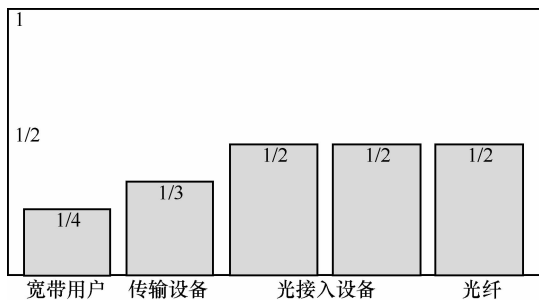


图4 中国光纤通信占世界市场的比例示意

中国光纤通信技术是世界最先进的国家——目前能演示传输 100 Tbit/s 光纤通信的国家有日本、美国和中国(1 Tbit/s=1 000 Gbit/s)。中国 100 Tbit/s 实验是武汉院光纤通信技术和网络国家重点实验室演示的。

武汉是中国光纤通信的发源地,有被称为“光谷”的地区。武汉院在中国首创的试验工程见表2。

表2 武汉院在中国首创的试验工程

时间	武汉院在中国首创的试验工程
1982年	8 Mbit/s 市内光纤通信线路/武汉
1983年	34 Mbit/s 市内光纤通信线路
1984年	34 Mbit/s 市内光纤通信线路/长波长 1 300 nm
1986年	34 Mbit/s 长途光纤通信线路/汉口—荆州
1988年	34 Mbit/s 长途光纤通信线路/单模光纤
1992年	140 Mbit/s 光纤通信线路/合肥—芜湖
1993年	565 Mbit/s 光纤通信线路/京汉广
1998年	SDH 2.5 Gbit/s 光纤通信线路/海口—三亚
1999年	WDM 8×2.5 Gbit/s 光纤通信线路/青岛—济南
2000年	WDM 32×2.5 Gbit/s 光纤通信线路/大连—沈阳
2003年	WDM 1.6 Tbit/s 光纤通信工程
2005年	WDM 3.2 Tbit/s 光纤通信工程/上海—杭州,国际领先

[作者简介]



赵梓森(1932—),男,1982—1983年任武汉院副总兼激光通信研究所所长,1983—1992年任武汉院总工程师兼副院长,1992年担任高级技术顾问,1995年当选中国工程院院士,1997年当选 IEEE Fellow。