

地球物理学家 杨文采

(1942.10 ~)

2005年当选中国科学院院士



2008年，在硅化木馆。



院士家乡：大埔县百侯镇

(百侯镇政府办公室提供)

苍山走不尽 碧海永无垠

——中国地质科学院地质所杨文采院士



杨文采，广东大埔人。地球物理学家，地球与资源探测理论方法的革新者。杨文采于1964年毕业于北京地质学院地球物理勘探系，以后一直在地质矿产部门的研究机构从事地球物理研究，1992年任原地质矿产部地球物理与化学勘查研究所所长、研究员。1981年公派为加拿大McGill大学研究生，1984取得博士学位。1987年被聘为英国皇家学会会士，并赴英国帝国理工学院合作研究。2005增选为中国科学院院士，现为中国地质科学院地质所研究员，中国地质大学兼职教授；发表专著七部、论文180篇。他以发展地球物理反演理论与方法为研究核心，并致力于将此理论应用于地壳上地幔研究、油气与矿产勘查及重大建设工程基础调查，取得了丰硕成果。他发展了涵盖应用地球物理各种方法的反演理论与方法，开创了非线性地震混沌反演的理论，取得良好应用效果。他提出应用地震组构作为地幔动力学作用的地球物理判据，判识了中国东部岩石圈地幔内部存在多组层状反射体和地幔破裂带，提出地震拱弧组构的新概念，并对东亚古特提斯域区域大地构造物理学的内涵作出系统阐述。

大学时代(1960年)



东北实习(1964年)



在果洛(1968年)



一、简历

杨文采1942年10月出生于广东大埔县，父亲杨卓亨曾任大埔县三所中学的校长。1959年杨文采由省立大埔中学考入北京地质学院，从此确立了从事地球物理研究的一生。1964年8月在北京地质学院物探系毕业，9月进入原地质部物探研究所，承担“电阻网模拟计算机在物探中的应用”研究课题。1969年完成该研究项目，并为阿尔巴尼亚设计和制作了一台RM-1型物探多用电阻网模拟计算机。1970年代他未因“文革”运动而放松科研，伴同世界信息化潮流推动应用地球物理学理论方法的发展，提出了重力和地磁异常在频率域的解释理论与方法。

1978年邓小平发动的改革开放给中国知识分子带来了改变命运的历史机遇。1979年中国开始了通过考试公派出国留学生的政策，经过一系列的会考，1980年他考取了公派留学的资格，次年赴加拿大McGill大学进修，又考取了该校地质科学系博士研究生，由导师资助学费。在经使馆批准的30个月内，他白天上课，像海绵吸水那样系统地更新了知识；晚上做研究，撰写和修改论文，1984年6月通过答辩，取得地球物理学博士学位。答辩次日他就预订了回国的机票，以实现他回报祖国的理想。

1984年回国后他到原地质矿产部北京计算中心科技发展部，任高级工程师、项目组长，同时在北京大学和同济大学开讲“地球物理反演”课程。“地球物理反演”是当时西方新开的研究生课程，杨文采为课程编写了80万字的中文讲义，此讲义后来以“地球物理反演和地震层析成像”为名于1989年出版，成为20年来地球物理专业研究生的主要参考书之一。1987—1988年他赴英国帝国理工学院作博士后研究，并积极向国家建议开展“陆相薄互层油储地球物理”研究项目。1990年在大庆油田大力支持和参与下，“陆相薄互层油储地球物理学理论与方法研究”重大项目被国家自然科学基金委员会采纳，并组织实施。

1992年杨文采调任地质矿产部地球物理与化学勘查研究所所长、教授级高级工程师。他在国家科委的大力支持下创办了“国家现代地质勘查工程中心”并担任主任，使他在地球物理反演和地震层析成像方面的研究成果，得以示范性应用到国家经济建设中。他指导了黄河小浪底水利枢纽工程地下电站基础的层析成像，为后续工程所验证。他还指导和参与了小丰满电站大坝病害检测、长江口上海排污总管破裂情况调查等一系列疑难工程，把地震层析成像理论与方法迅速推向实用。1990年杨文采应中国工程勘察协会的请求为地震层析成像工程应用编写了规范性手册。



1992-1997是开创和发展国际大陆科学钻探事业的五年。1996年国际大陆科学钻探计划(ICDP)成立,邀请杨文采研究员担任ICDP第一届科学顾问组(SAG)成员。杨文采研究员辞去物化探所所长的职务,调入中国地质科学院地质研究所当研究员,把他自己贡献给大陆科学钻探事业。1997年初,他与许志琴院士等七位中外科学家一道提出了中国大陆科学钻探项目。在“中国大陆科学钻探选址国际会议”上,他以系统准确的地球物理资料与深入的科学分析论证了大陆科学深钻的最佳选区,为与会中外专家所赞同。同年地质矿产部任命他负责中国大陆科学钻探的地球物理调查,他建立了深反射地震资料处理软件系统和中国第一个深



1982年,与吴学谦副总理合影

反射地震资料处理中心,提交了高质量的深反射地震剖面,并据此论证了中国大陆科学钻探的孔位。他根据第一手资料进一步搞清了苏鲁与大别等地区的地壳上地幔构造,定义了新的地震组构--地震岩浆拱弧构造,发现了中国东部岩石圈地幔内部存在全球罕见的多层反射体,改变了前人认为拉张区岩石圈地幔因缺乏反射相对透明的看法。2001年,科学钻探计划得到国家批准,他任中国大陆科学钻探工程中心副总指挥、地球物理子工程负责人。他设计和负责实施了中国结晶岩区首次三维和数字三分量反射地震调查,提交了高质量的深反射地震剖面 and 三维数据体,为大陆科学钻探孔区地质构造研究提供了优质资料,并对大陆科学钻探主孔岩性构造进行了预测,为后续的岩心钻探基本证实。2005年杨文采被增选为中



1982与尼日利亚同学合影



1983年,在加拿大野外考察



国科学院院士。此后，他把大别-苏鲁造山带的研究扩展到东亚古特提斯域大地构造物理学研究，2009年杨文采发表了“东亚古特提斯域大地构造物理学”的专著，对古特提斯洋的形成、演化及有关地质作用进行了系统的阐述和论证。

二、主要科学研究成就、学术思想及其影响

杨文采从事地质地球物理研究四十余年，致力于发展地球探测与应用地球物理学理论、方法。应用地球物理学是上世纪20年代伴随地球资源探查发展起来的地质分支，地球探测是汇聚地质学、物理学与信息科学的边缘科学，也是上世纪60年代伴随板块大地构造学发展起来的新地质分支。杨文采以他对学科交叉和创新的敏感性，推动地球探测与应用地球物理理论方法的精确化、完善化和系统化，做出了贡献。他的主导思想是：固体地球信息主要以“指纹”形式隐藏于地球的不均匀性之中，而在整体上了解地球不均匀性的主要方法乃是地球物理反演。

(1) 地球物理反演的理论

数学物理方法研究偏微分方程的初边值问题，描述物理现象的作用过程，属于“正问题”。“反问题”指观测到物理作用过程的某些数据，推算偏微分方程的初边值条件或系数项。地球物理反演研究波动方程或泊松方程的反问题，这些方程的边界条件及系数项反映出地球的不均匀性。杨文采在留学时意识到研究反演(逆)算子的构成、性质和用于计算时的稳健性有可能促进勘探地球物理学的发展。



1988年，从英国留学归来

当时，勘探地球物理是按方法划分的，包括地震勘探、重力勘探、磁法勘探、电磁法勘探等分支学科，每一个方法都有自己的一套数据处理解释方法。他在以下三个方向上发展了应用地球物理反演的理论：（1）统一性。即在泛函分析的基础上建立了对各种勘探地球物理方法都适用的广义线性反演理论与方法，包括地震道广义线性反演、位场数据广义线性反演、以及应用于多种不同类型数据作输入的联合反演方法等。（2）适应性。以前人对地球物理反问题主要采用微扰法，假设地球介质的不均匀性属于小扰动或水平层状。他针对地壳物质高



度不均匀性,提出适用于大扰动和非水平层状介质中声波方程反演与地震波速成像方法,和跨孔地震层析成像的级联法。(3)非线性。他从混沌理论出发,探索非线性地震反演的规律性,证实非线性迭代过程可与非线性动力系统的混沌运动作类比;发现非线性地震反演过程的混沌行为,可以划分为类似于相变的几个阶段。同时,他应用混沌理论科学地定义了非线性地震反演的控制参数,明显提高了地震反演的分辨率,开拓了非线性地震反演的方向。1989年他的专著“地球物理反演与地震层析成像”被授予地质矿产部科技成果二等奖。他应邀在第20届国际声成像学术报告会上作非线性地震反演的特邀报告,在德国地球科学与资源研究院(BGR)等三家院校做有关反演与地震层析成像的报告,美国“物理计算”等学术期刊多次约请他审稿。

(2)应用地球物理学研究前沿的开拓

他以发展地球物理反演理论为研究核心,致力于示范性地将理论研究成果应用于地壳上地幔研究、油气与矿产勘查及重大建设工程基础调查,开拓应用地球物理学的研究前沿,包括应用地震层析成像、油储反射地震、与二维小波变换和多尺度分析等。1980年代,杨文采研究出基于弯曲射线追踪的跨孔地震层析成像方法,指导了黄河小浪底水利枢纽工程地下电站基础的层析成像,为后续工程所验证,做出了示范。杨文采针对传统地震CT算法的缺陷与工程地震的特点,又研究出改进的阻尼



1997年,在波茨坦参加SAG会议



2007年,在郎木寺玛曲



与德国科学家讨论



1997年，在黄河壶口瀑布



在书房(2007年)



2004年，与院士们讨论

最小二乘QR分解算法，大大提高了地震层析成像方法的精度与稳健性。杨文采还指导和参与了小丰满电站大坝病害检测、长江口上海排污总管破裂情况调查等一系列疑难工程，把地震层析成像迅速推向实用。在应用地球物理学中，石油反射地震勘探是领先的高科技。1980年代后期，地震方法技术面临直接用于描述油气储集层以指导油气藏开发的挑战。杨文采参与发起国家自然科学基金委“八五”重大项目“陆相薄互层油储地球物理学理论与方法”的立项，并在油储反射地震学理论研究中取得突出进展。杨文采应用非线性反演理论，开拓了基于混沌反演进行油气储层追踪的方法技术，在大庆油田等地区取得广泛应用。针对油气田开发后期含油层为含水层包围等情况，杨文采提出跨孔地震层析成像的级联法与逐次线性化反演方法，在华北油田查明了老油井间的剩余油层，为地震层析成像在油气田开发中的应用提供了范例。杨文采与研究生首先应用二维小波变换和多尺度分析方法于位场处理解释，进行了中国重力异常的多尺度分析，指出中国特大型成矿区分布与各阶小波细节的相关性。上述三方面的研究成果不仅为上世纪末应用地球物理学的发展作出了贡献，还为岩土力学与其它相关工程科学所重视。

(3)中央造山带地壳上地幔研究

1996年地质矿产部任命杨文采负责中国大陆科学钻探的地球物理调查以来，他提高了地壳上地幔地球物理探测的综合水



平,联合十多个单位在大别苏鲁地区开展了以深反射地震为主导的综合地球物理探测,根据第一手资料进一步查清了苏鲁与大别等地区的地壳上地幔精细构造,为选准中国大陆科学钻探孔位提供了坚实依据。他提出了扬子克拉通向北俯冲的几何产状模式,计算了深俯冲造成的地壳缩短,和大陆地壳进入地幔造成的浮力和元素的回收量,得出了陆—陆深俯冲的规模和造成壳幔相互作用的定量概念。2000年主持中国大陆科学钻探地球物理工程以来,他负责中国大陆科学钻探的地球物理调查,设计和负责实施了我国结晶岩区三维和三分量反射地震调查,创建了我国深反射地震资料处理中心,提交了高质量的深反射地震剖面 and 三维数据体,并对大陆科学钻探主孔岩性构造进行了预测,为后续的岩心钻探基本证实,取得了预测的成功。他还根据地震横波层析成像的结果揭示了中国华北上地幔中存在两条破裂带,分别位于苏鲁超高压变质带和渤海湾下方,并据此重建了苏鲁超高压变质带下方形成地幔破裂带的作用过程。

杨文采“地球信息主要以指纹形式隐藏于地球的不均匀性之中”的主导思想,体现在他对“地球指纹”的认证上。他认为地震组构乃是最重要的“地球指纹”之一;据此,他发现了地幔内部水平层状反射体和地震岩浆拱弧构造。

(4)地幔内部水平层状反射体的发现

杨文采以地球物理反演理论提高了地壳上地幔地球物理探测的综合水平,发现中国东部岩石圈地幔内部存在全球罕见的多层反射体,改变了前人认为拉张区岩石圈地幔因缺乏反射相对透明(无反射)的看法,并提出相应的模型,说明地幔多层反射体源于中生代地幔减薄作用。他2003年在《Tectonophysics(大地构造物理学)》期刊中发表“中国东部水平地幔反射:岩石圈减薄的证据”的论文,首次报导了上地幔中多层水平反射体的探测方法技术,并提出了产生此种上地幔反射体的地质模型。这篇论文在国内外产生一定的影响。例如,ELSEVIER国际出版公司发给杨文采院士“2003-2007引用最多论文作者奖状”。

地震组构可称为地震学“指纹”,是岩石圈时空演化有关地质作用造成的岩石圈变形的间接记录。杨文采提出应用地震组构作为地幔动力学作用的地球物理判据,判识了中国东部岩石圈地幔内部存在多组层状反射体和地幔破裂带,提出地震拱弧组构的新概念,

2009年,过黄河。



深化了区域大地构造物理学的内涵。

(5) 提出地震岩浆拱弧构造

杨文采指出,在反射地震图上,往往可以根据反射体的倾向和线性相干特征划分出地震组构,它们是多期构造作用遗留下来的指纹。一般来说,越晚发生的地质作用的痕迹在地震剖面上反映得越清晰,而早期地质作用的“地震指纹”可能为后期地质作用所改造或淡化。于是,地震图的解释就与区域构造演化联系在一起,成为区域大地构造物理学的关键环节之一。他总结了应用地震组构判识来研究地壳演化和壳—幔相互作用的方法和依据,并定义了一种新的地震组构——地震岩浆拱弧构造,指出了这种组构的地幔岩浆侵位成因和分类。他和大陆科学钻探中心同事们发表了60多篇跨学科的论文,已为Science、Tectonophysics、Episodes和J.Geology等国际性地学期刊文献引用,7次应邀到世界地质大会、深海钻探计划年会等会议作特邀的报告,并被聘为在巴西召开的31届国际地质大会K13专题召集人。

(6) 东亚古特提斯域大地构造物理学

从中国胶东半岛到黑海南岸的土耳其,一条延绵东亚和中亚的碰撞造山带沿东西向展开,代表着2亿年前广阔的古特提斯洋的封闭。如何应用大陆动力学的基本理论对这一横跨亚洲的大地构造单元,作出系统的分析和概括,是继板块构造学说之后对亚洲地球科学理论的一次提升。2009年杨文采院士根据我国地壳上地幔探测的最新成果,撰写出“东亚古特提斯域大地构造物理学”的专著,对古特提斯洋的形成、演化及有关地质作用进行了系统的阐述和论证。

2002年,在辽西

三、主要著作

1.杨文采,地球物理反演与地震层析成像,地质出版社,1989,北京,pp1-252。

2.杨文采、李幼铭,应用地震层析成像,地质出版社,1993,北京,pp1-230。

3.杨文采,地球物理反演的理论与方法,地质出版社,1997,北京,pp1-271。

4.杨文采,后板块地球内部物理学导论,地质出版社,1998,北京,pp1-142。



5. YANG Wencai, P. Robinson, FU Rongshan and WANG Ying, *Geodynamic Processes and Our Living Environment*, Geological Publishing House, 2001, Beijing, ppl-200.

6. 杨文采等, 苏鲁大别地球物理与壳幔作用, 地质出版社, 2005, 北京, pp1-161。

7. 杨文采, 东亚古特提斯域大地构造物理学, 石油工业出版社, 2009, 北京, pp1-443.



与全国政协贾庆林主席合影。



在全国政协小组讨论会上。



在中华人民共和国成立60周年国庆观礼台留影。



李克强副总理、国土资源部部长许绍史、中国科学院院士许志琴与杨文采院士一起交流。



参加同济大学百年校庆，与科技部长万钢(左四)等合影。

杨文采：七年祭笔一文章



杨文采（1942- ）。广东大埔人。地球物理学家，地球与资源探测理论方法的革新者。杨文采于1964年毕业于北京地质学院地球物理勘探系。以后一直在地质矿产部门的研究机构从事地球物理研究。1992年任原地质矿产部地球物理与化学勘查研究所所长、研究员。1981年公派为加拿大McGill大学研究生。1984取得博士学位。1987年为英国皇家学会会士。并赴英国帝国理工学院合作研究。2005增选为中国科学院院士。现为中国地质科学院地质所研究员。中国地质大学兼职教授；发表专著七部、论文180篇。他以发展地球物理反演理论与方法为研究核心，并致力于将此理论应用于地壳上地幔研究、油气与矿产勘查及重大建设工程基础调查，取得了丰硕成果。他发展了涵盖应用地球物理各种方法的反演理论与方法，开创了非线形地震混沌反演的理论，取得良好应用效果。他提出应用地震组构作为地幔动力学作用的地球物理判据。判识了中国东部岩石圈地幔内部存在多组层状反射体和地幔破裂带，提出地震拱弧组构的新概念，深化了区域大地构造物理学的内涵。

2007年底，杨文采院士收到Elsevier国际出版中心“论文引用最多作者奖”，感触万千，写下了四句诗：

郑城涟水鲁山黄，地壳地幔细度量。

震波千里追风马，七年祭笔一文章。

诗中“七年祭笔一文章”指的就是他的这一篇论文，从构思到发表用了七年时间。以下讲述的就是这一故事。

一、发现

1998年元旦刚过，一支人马浩浩荡荡奔赴黄海之滨的山东省胶南县，为的是进行一次反射地震新技术试验，验证高压潜孔锤钻井技术在高强度基岩出露区快速打炮井的实际效果。带领这支队伍的项目负责人就是中国地质科学院地质所研究员、国际大陆科学钻探专家咨询组成员杨文采教授。当时，他负责从安徽、江苏到山东三省范围内查明有关变质区带的地壳上地幔组构，为选择最适合进行大

陆科学深钻的孔址提供科学依据。

杨教授1964年毕业于北京地质学院物探系，毕业后即到原地质部第二物探大队进行为期一年的地震勘探实习。反射地震队是一支高科技的流动实验室，下属钻机、爆炸、放线、仪器和室内回放等一整套信息采集、处理和解释作业。在东北下辽河进行石油勘探的一年，杨文采教授熟悉了地震勘探的每一个作业。十年后辽河油田建成的消息又给他带来了惊喜。1981年，加拿大政府开始实施岩石圈探测计划，地震勘探又成为进行岩石圈探测的最主要方法。当时杨文采正在加拿大攻读博士学位，积极参加了这项科研计划中的地震调查，不仅跑遍了加拿大地盾的东南西北，也对地壳上地幔调查的整个技术环节了如指掌。因此，当1997年他辞去地矿部物化探研究所所长职务，转入地质所进行地壳上地幔调查时，他早已胸有成竹。当年，他与德国地学中心合作在大别山进行了地震勘探，虽然剖面较短，但是已经发现地幔顶部可能有异常的反射物体，其埋藏深度在50km以下。但因为剖面短，不能揭示反射体的形态。

“郯城涟水鲁山黄，地壳地幔细度量”，1998年的春夏，杨教授沉浸于苏鲁地区他设计的深反射地震测量和数据处理之中。将近170km长的两条剖面数据采集出来，谁来处理它们？在此之前，中国深反射地震处理资料都是拿到欧美去处理的，因此首先看到剖面信息的不是中国人，而是西方的学者。这次杨教授决定自己建立深反射处理实验室，让中国专家首先提出大陆科学深钻的依据。由于他是反演计算专家，他修改了加拿大岩石圈探测项目处理中心的处理流程，增加了自创的先进算法和模块，建立了适合中国地质情况的深反射地震处理系统，取得

►2010年，在雁荡山。

2008年，与夫人郭爱纓在美国。





了苏鲁地区高质量的反射地震剖面。在山东郯城—江苏涟水长剖面上，杨教授看到了他预期的东西：位于上地幔的层状反射体。

二、证实

地壳是固体地球的皮肤，大陆地壳平均厚度为40km，含超铁镁矿物很少：其下方为上地幔，厚度为600km以上，主要由超铁镁矿物组成。中国东部地壳厚度为28–37km，它与上地幔的界面称为莫霍面，在地震剖面一般对应强反射。主要根据欧美地区深反射地震的结果，当时地学界普遍认为，在拉张型大陆地壳下方的上地幔是“透明”的，即几乎没有强反射。其它地区上地幔的强反射大多出现在俯冲带，反射体为俯冲到地幔中的古洋壳。苏鲁地区自中生代以后属于拉张型的岩石圈，有可能出现4–5层水平的强反射体吗？



1998年秋天，在青岛召开了“中国大陆科学深钻选址国际研讨会”。会上，杨教授介绍了在大别与苏鲁地区地壳上地幔地球物理调查的结果，提议在苏北东海县毛北村作为科学钻探的首选孔址，得到了中外专家的普遍赞同。但是，他在会上并没有提到调查区的上地幔存在有水平的层状反射体，因为他知道，对于一种具有颠覆性的科学发现，现有的证据还不够充分。也就是说，经过人工处理的地震剖面不能排除人造假象的可能性，只有在野外现场的原始记录上发现了地幔反射体，才能证明它们的存在。好在场教授还有机会在孔区设计实施三维地震调查，他决心精心设计下一次的实验方案，争取把无可争议的证据抓到手。

三年之后的苏北大地，不仅钻机高耸、机声隆隆，而且地震放炮的炮声点亮了地球内部，反射地震波带回了地壳上地幔的映像。杨教授在现场指挥，昼夜不停地审视一张张当天现场回放的原始地震记录。初春的峭寒掩盖不了他宿舍的灯光和他心中的喜悦，他终于从大量原始单炮记录中识别出上地幔五层水平反射体。他知道，在这些记录面前，全世界的地震专家都不可能否定上地幔层状反射体的存在。

三、模型

对一个成熟的科学家来说，发现了自然界发生的事件只是走向真理的第一步，正确解释了为什么自然会发生这种事件，揭示自然行为的实质与内涵，才是

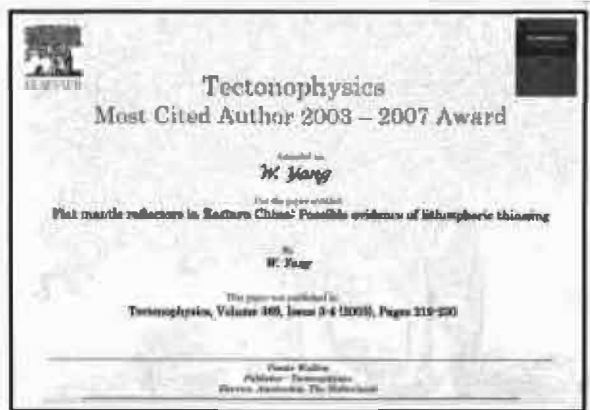


科学研究的关键。当2002年春天杨教授拿到了关键证据之后，他并不想马上拿去发表。他说：“好东西得来不易，要自己先捉摸透”。那么，为什么会在应该比较透明的上地幔形成水平层状反射体？

杨教授意识到，他所从事的地球物理学研究不可能回答这个问题，因为研究地球组成的学问不是地球物理学，而是地球化学。因此，他邀集地学专家一同去古火山口考察，采集上地幔包体的标本并做化学分析。经过了许多难眠之夜和绞尽脑汁的折磨，他终于建立了一个符合多学科数据的模型，来说明多层水平反射体形成的机理：发生在中生代的华北岩石圈减薄作用。现在，杨教授坐了下来，写下经他七年探索得到的一篇总结论文，并在2002年底向名刊“Tectonophysics（大地构造物理学）”投了稿。一篇文章写了七年，对他来说也是第一次。即使是他以前广为流传的专著，如1988年四十多万字的《地球物理反演与地震层析成像》，也才写了五年。

学刊很快就寄回了初审意见，一位审者一口气提了37个问题，可见审者对此稿的关切和慎重。虽然回答审稿人问题的答辩信比论文还长一倍，杨教授对国际同行的意见十分珍视。他坚信“不辩不明，多辩多思，多思知愚，知愚创新”。2003年9月，他的论文顺利发表，马上为欧美多家数据库收录。

科学研究的目的并不是为了发表论文或得奖，而是为全人类共同的知识宝库增添一砖一瓦，发表论文只是为增添新砖瓦提交申报公示。杨教授在2005年被增选为中国科学院院士，当时还没有人知道这篇文章会有重要影响。直到2007年，Elsevier国际出版中心寄来奖状(见下图)，杨院士才确认自己的这项成果得到了国际公认，有资格作为“一瓦”进入知识宝库。虽然人生苦短，个人的智慧在一瞬间闪光也值得欣慰，但他更加感谢这个伟大的时代，祖国和人民给予他智慧修为的机会和环境，使他得以回报时代与社会。





1985年回乡探亲，摄于家乡大埔县百侯镇侯南村



院士与家人(摄于2002年)