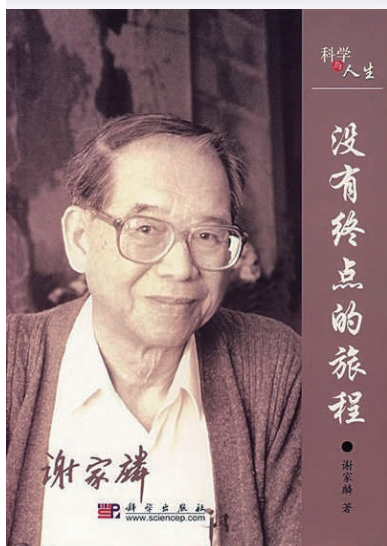


手脑并用、大胆尝试、边干边学、成败常在细微之间*

——加速器物理学与技术专家谢家麟的科技创新方法

王大明[†] 吴培熠

(中国科学院大学人文学院 北京 100049)



谢家麟自传封面照

1 引言

谢家麟作为一位侧重于实验研究的科学家，在长达半个多世纪的科研生涯中，不但发表过数量不菲的科学论著，而且参与创制并动手完成了多项重大的实际应用和科学研究装置，提出了

许多改善仪器性能的方法。这些仪器装置和方法包括：当时世界上能量最高的医用加速器、中国首台可向高能发展的直线加速器、北京正负电子对撞机、北京自由电子激光装置、新型实用电子直线加速器和加速器脉冲源前馈控制方法等。一个人若能取得这些成果中的一项，就足以进入优秀科学家的行列，更遑论最终取得全部成果者，实非科学大师之谓莫属也。

当然，这一系列重大成就的取得，首先与谢家麟的个人天赋和客观条件有关，但更重要的是他后天的刻苦努力。谢家麟很谦虚，经常自谓普通人，他在自己的自传“自序”中写道：“资质超人当然占有优势，资质差些也可以用加倍努力

来补偿，‘成就’并不是天才者的专利……科学王国大公无私，人的能力有高低，成就有大小，但一分耕耘，一分收获，一份努力，一份成果，这是永远如此的。”^[1]这既是对年轻后辈的激励，也是对自己科研人生的概括总结。

回溯谢家麟一生的科研经历，可以明显发现，他的努力并非是“只顾埋头拉车，不管抬头看路”的盲目蛮力，而是讲究方式方法的“巧力”。当然这种“巧力”不是投机取巧，而是一个科学家善于学习、勇于实践、不断自我完善的真实写照和最终结果。因此，总结谢家麟的科技创新方法，既是对创新方法理论的丰富和发展，也可以为科技工作者的理论突破与实践创新提供重要的借鉴及启发。

2 强调培养和锻炼“手脑并用”的能力

谢家麟非常强调实验科学家手脑并用的综合能力。善于动脑可以产生新思想，认识新问题，但若动手能力不强，则新思想无法实现，新问题无法解决。反之，掌握的理论知识少，动脑能力差，既无法产生自己的新思想，甚至都无法理解别人提出的新观念，则再强的动手能力也无用武之地。因此，对于实验科学家而言，手脑并用是创新的最基本也最重要的能力和条件。

他曾这样形容手脑并用在科技创新中的作用：

“在所有科技创新活动中，从一开始就按一个聪明人的头脑中形成的思路长驱直入获得成功的例子是很少的，而更多的是首先有一个在原理上站得住的设想，动手去实现时，还会遇到许多意想不到的问题，然后根据实践中发现的问题来

2016-03-10收到

[†] email: wangdm@ucas.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20160408

*国家科学技术奖励办公室委托项目：国家最高科技奖获得者科技创新方法研究(批准号：Y41Z01R1G4)

修正路线和方案，经过反复修正，最后创造出崭新的事物……因此特别是在实验领域的创新，要自己能够动手，才能掌握第一手的情况，知道关键问题的症结所在，而可做适当的调整，最后达到预期的目标。正如驾驶汽车，方向盘是要永远按路面情况而做调整的。如果自己不懂动手，则犹如一人观看路面情况，转告掌管方向盘的人来调整方向。”^[1]

虽然个体之间可能有差异，但任何人的手脑并用能力也并非天生就具备。谢家麟认为通过后天的学习、培养和锻炼，哪怕是资质平平的人，也可以获得较强的手脑并用能力。他曾提及自己在斯坦福大学学习期间碰到的瓦里安兄弟的例子^[1]。

斯坦福大学物理系当年有个叫罗素·瓦里安(Russel Varian)的学生，学习成绩虽然不好，但善于动脑，经常提出一些新想法新方案。虽然这些想法大部分都被证明是无效的，但他仍不气馁，功夫不负有心人，通过不断学习和锻炼，同时也得到内行教授的指点和帮助，终于提出了有价值的思路。最终他在善于动手的兄弟希古尔·瓦里安(Sigurl Varian)的协助下，制成了世界上第一个新型微波管，后来被命名为“速调管”，实现了科技上的创新。而且，几年后该学生还创办了一家高科技公司，成为硅谷高科技园区的先驱者。

出于个人兴趣，谢家麟早在少年时期，就对动手制作有着强烈的偏好。在北京汇文中学学习物理课程时，他培养起对于无线电和电气的兴趣，于是开始自己动手制作这方面的装置。最开始制作简单的矿石收音机，然后使用电子管做单管收音机，再后来加低频放大电路、高频放大电路，使得收音机收听的频段更加丰富，灵敏度也不断提高。这些成绩使少年谢家麟的好奇心得到了极大的满足。

进入燕京大学学习之前，谢家麟曾利用假期时间，专门到一家小翻砂工厂义务实习，目的就是为学习一点铸造技术。他在燕京大学最后的毕业论文题目，也选择了一个既动脑也动手的题目，利用音频来调制灯光强度，以实现光通话。



谢家麟与美国斯坦福大学同事在1 GeV电子直线加速器控制台前(1950年)

这个初步的研究课题虽然因侵华日军强行占领燕京大学校园而中断，但反映出大学阶段谢家麟已有了锻炼自己手脑并用能力的意识。

大学毕业后，手脑并用在谢家麟的科研工作中逐渐成为他的一个基本方法论原则。他认为，搞研究既要动脑想，也须动手做，亦即“手脑并用”。例如，当他在桂林和昆明的无线电工厂研究室工作时，不但设想出了一种地雷探测仪和测量绝缘材料介质常数的高频振荡测量仪，而且实际动手做出了这些仪器。

谢家麟在加州理工学院和斯坦福大学留学时，更加注重培养自己手脑并用的能力。他回忆说：

“我的学习与有些人是不同的，除了上课学习基础知识外，用了相当的时间学习有些人不屑学习的实际动手的能力，我从实验室的技术人员身上学习了多种焊接技术、真空检漏技巧、金属部件的焊前化学处理、阴极材料的激活方法等。”^[1]

谢家麟这样做，“第一是考虑到回国以后，脱离了美国实验室的环境，自己不掌握它们恐怕就难以推动工作；第二是有喜爱自己动手的习惯。”^[2]当然谢家麟强调动手并不意味着不动脑，动手也可以说是为了更好的动脑。对此，他进一步解释说：

“动手能力并不能简单理解为操作技能，它指的是对一个大系统中硬件的全面特性，包括生

产过程，有一定的理解和掌握，这样才能在大系统出现问题时，有解决问题的实际能力。”^[1]

中国科学院高能物理研究所洗鼎昌院士和谢家麟长期合作共事，他非常佩服谢家麟的动手能力。洗鼎昌曾回忆“文革”期间，自己与谢家麟同住一屋，那时全天候搞运动，中午只有一小时的吃饭休息时间。而做饭要烧煤炉，封闭的煤炉就算重新打开，一时半会也烧不起来，所以短时间内很难完成生火做饭的任务，弄得大家中午时间很紧张，根本无法休息。但洗鼎昌有一天惊喜地发现，谢家麟用一只闹钟与一个电机联动，做成一个可以预先控制的机械装置^[2]。如果到了设定的时间，装置就能自动打开煤炉，为烧饭提前做好准备。谢家麟动手制作的小发明为大家中午节省了宝贵的时间，解决了当时生活中的一个大问题。

诸如此类的事例，小到生活琐事，大到科研项目，在谢家麟的一生中比比皆是。这种能力，这种方法论法则，正是他后来取得丰硕科研成果的重要因素之一。

谢家麟对于手脑并用能力的强调，甚至与建立科技强国的大国科技发展战略相关联。他写道：

“为了将我国变成一个真正的科技强国，我觉得我们除了头脑聪明的理论科学家队伍之外，一个手脑并用，既能凭科学知识分析问题，又能动手解决具体问题的人才队伍是非常需要的。”^[1]



高能加速器设计考察组(右四为谢家麟)在FNAL升起中国国旗后合影留念(1978年)

所以，手脑并用能力及其作为科研中的重要方法，是谢家麟一生都在贯彻的创新方法，也是他最看重的能力。

3 研究课题的“大胆尝试”、“边干边学”

谢家麟曾多次谦逊地表示自己是“很一般的人，既不十分聪明，也不十分能干”，但他对自己的一个个性特点却非常肯定，即：“我就是胆子大！”^[4]实际上，这不仅仅是对个人性格特征的一种描述，也含有很强烈的科技创新方法论涵义，因为科学研究本身往往就是在没有路径的情况下，大胆尝试，最终开辟出新途径的过程。敢于尝试，善于尝试，边干边学，既是创新的基本素质，也是打开新局面的基本方法。凭着大胆尝试的勇气和边干边学的方法，谢家麟在高能物理学领域不断突破，取得了杰出的成就。

1952年，谢家麟在美国斯坦福大学微波与高能物理实验室工作期间，远在美国中部芝加哥的一位医学专家筹集了100万美元，准备建造一台用于肿瘤治疗的电子束射线机。因闻知斯坦福大学的实验室正在研制医用电子直线加速器，所以他慕名而来，请求该实验室为自己研制所需要的仪器设备。当时斯坦福高能物理实验室确实正在研制这种直线加速器，但能量只有6 MeV左右，而芝加哥要求的是能量在45 MeV以上的仪器。要知道随着能量的提高，加速器研制的复杂性也会呈指数式增加，而且世界上医用加速器的能量还从未达到过45 MeV，其工作难度可想而知。但当实验室领导征询谢家麟是否愿意承担这项研制工作时，他毫不犹豫，立刻同意进行这项工作，充分体现了“胆子大”的特点。事后当谢家麟了解到很多细节时，才深感这项工作的复杂程度似乎超出了自己当时的学识和经验。但他没有退缩，知难而进，全力以赴地投入了研制工作。

关于整个研制工作过程，谢家麟在他的自传中有详细的叙述，这里只引用他叙述中的两个小标题中的“无例可循，自辟蹊径”和“克服困难

险阻，享受成功喜悦”，以及“孤军奋战，日夜忙碌”等词汇，就能大概体会到他当年是怎样的工作状态了。最后经过两年多的努力，谢家麟带领着他的一支小小的团队，成功研制出了能量为45 MeV的医用电子直线加速器^[5]，创造了一个奇迹。更神奇的是，多年以后中美关系正常化的时候，美国一位科学家告诉谢家麟，他当年所研制的这台医用加速器不但创造了当时的世界第一，而且现在还在使用！

在研制过程中，谢家麟不但看懂了很多过去不懂的东西，亲手解决了一个又一个实际问题，而且极大地提高了自己的技术能力和科学认识水平，积累了大量的实际工作经验。例如，为了控制和确定加速器电子束入射人体的辐射剂量，作为物理学家的谢家麟亲自动手做小鼠实验，进行介于物理和生物医学交叉领域的研究；为了克服元器件短缺的困难，他打破常规的设计方案，采用新的工作模式加以取代。最为关键的是，通过这些实践，让他更加深刻地认识了大胆尝试、边干边学的方法，建立了独立承担科研工作的自信心。这种方法和信心，为他回归祖国后主持研制中国自己的高能加速器奠定了坚实的基础。

1955年，谢家麟返回阔别8年之久的祖国，进入中国科学院近代物理研究所(高能物理研究所前身)工作。回国不久，他就大胆地提议开展模块化的、可向高能发展的30 MeV的直线加速器研制工作。在当时中国一穷二白的现实条件下，这的确是个非常大胆和超前的设想。谢家麟后来回忆说：“现在反思，当时这个愿望是完全没有考虑实际条件的。因为我国正处于建国初期，百废待兴，工业水平远远落后于当时的先进国家……尽管现实条件十分困难，但我并未被它吓倒。最后，我们以一批刚参加工作的年轻人为主力，经过8年奋斗，历经‘反右’、‘整风’、‘大跃进’、‘反右倾’、‘四清’等政治运动和三年暂时困难时期，终于在1964年成功地建成中国第一台30 MeV可向更高能量发展的电子直线加速器。”^[6]

大胆尝试、边干边学，在这项研制工作过程



谢家麟在美国布鲁克海文国家实验室与强聚焦发明人柯伦特教授讨论加速器设计问题(1979年)

中又一次发挥得淋漓尽致：

“超前实现这台加速器的研制，并不是没有经过很大的艰难险阻就轻而易举成功，我们要克服的困难也不是一言两语能说得清楚的。举例来说，在我们自制世界功率最大一级的速调管时，需要使用氩弧焊这种特殊技术来密封高真空系统。但在我国建国初期，是找不到掌握这种要求较高的焊接工人的。幸好我自己动手做过这事，结果请来所里最好的焊工白师傅，由我手把手教他氩弧焊在此应用的操作要点，成功地解决了研制中的一个关键问题。”^[1]

谢家麟就这样带领一批年轻学生和工人分头学习培训、创建实验室，甚至还建立了自己的精密金工车间，因陋就简地自行研制了多种基本的或替代性的元器件和测量仪器，克服了无法从先进国家获得现成配件的困难，不断将研制工作推向前进。虽然这项工作并不是原始性创新，因为其基础理论和工作原理都已经被公开发表过了。但对于实验科学家而言，纸面的东西和实际实现还有相当大的距离，特别是在客观条件有很大局限的情况下，更需要边干边学、创造性地解决各种实际问题，才能研制出实际可用的仪器。

这项工作以及后续的研究，成为中国里程碑式的科学成就“北京正负电子对撞机”^[7]的先声和基础。

1978年之后，中国进入“改革开放”时代，中国科学界与国际同行重新建立了联系，开展高能物理领域的研究也迎来了新的契机^[8]。在中国政府做出建造新一代高能加速器的决策中，谢家麟不但起到了重要作用，而且被任命为新加速器的总设计师。在决定建造什么类型加速器的论证过程中，美国斯坦福直线加速器中心主任建议采用2.2 GeV的正负电子对撞机类型，这种类型的加速器是国际最新型的加速器装置，投资规模适中，用途广泛，并且可以用作支持前沿物理研究的平台。但对撞机在技术上难度极大，对中国当时的工业技术水平而言，是否能够制造这种要求很高的科学仪器还是个未知数，因此风险很大。虽然中国物理科学界有很多人支持对撞机方案，但反对的人也不少。谢家麟经过仔细的探讨，大胆尝试的方法论原则让他成为支持这一建造方案的中流砥柱式的人物之一。他和支持该方案的科学家一起，坚持决策，力排众议，通过一系列论证和说明，逐渐争取到国内科学界和政府相关部门的支持，于1981年7月在中国科学院高能物理研究所成立了“对撞机筹备组”^[9]，开始了正负电子对撞机研制的各项工作。

1980年代，对撞机作为加速器中的新型机种，在设计阶段就面临很多技术问题需要解决。例如，作为一项大科学工程，既有工程施工的内容，也有科学研究的内容。前者或许有例可循，但后者则需新的探索，两者结合起来，在中国当时的工业技术和国际关系环境之下，总体上看就



谢家麟向邓小平同志汇报对撞机设计方案(1984年)

是一个充满变数的复杂工程。作为技术总负责人的谢家麟，一方面根据自己在加速器研究上30年的经验，为对撞机的设计提出了6条指导思想，另一方面发挥边干边学的精神，与国内外同行保持密切的联系和沟通，甚至通过与学生的讨论和研究来吸收营养，不断改进自己在很多关键技术问题上的方案，与整个筹备组的科学家团队密切合作，通力攻关，终于完成了总体设计工作^[10]。之后进入预制研究，根据预研结果又对设计方案做进一步改进。在此期间，谢家麟还担任了工程项目的经理，担负着对装置的工程施工和各组成部分研制的总体协调和管理的工作。当各个部件以及子系统分别完成之后，进行了安装，并进入试机调试阶段，最终于1988年10月实现正负电子对撞成功，以优异的性能结果完成了这项艰巨的大科学工程。1989年北京正负电子对撞机获得国家科技进步特等奖，谢家麟成为该大科学工程众望所归、名副其实的第一大功臣。

4 技术促进科学发展，“成败常在细微之间”

科技创新常常需要把握科学与技术的互动关系，一部现代科技史，就是科学与技术相互促进的历史。谢家麟从自己的实际工作中体悟出两者的关系，并且加以创造性发挥，成为他创新方法中的一大亮点。他这样总结说：

“我们如何能研制成功一个尖端的大型科研装置，还需要解决许许多多的关键技术。不做实际工作的人是很难体会这些问题的。有人认为技术问题，非关学术，微不足道……但就我看来，当代一切伟大实验方面科技成就，都离不开掌握技术……科学是技术发展的源泉，但同时技术也是科学发展的依据。

任何尖端的科技发现和发明，懂得了并不等于做出来了，其关键就是在于掌握和解决技术的细节，而只有掌握了细节才能制出具体的器件来。”^[11]

1992年，已72岁高龄的谢家麟自告奋勇，亲

自承担了列入“863”计划的“自由电子激光装置”^[1]研究项目。虽然这是一项“跟踪国际先进水平”的项目，但国际上能成功做出这种装置的例子并不多，由此也可以说明这个项目的难度有多大。

因为当时经费短缺，很多元器件和配件无法购买，只能采用替代品。经过课题组的共同努力，整个装置系统终于进入了调试阶段。但很快就发现该系统有一个严重的问题，出现了激光束流极不稳定的现象，但仔细检查各个部件，并未发现异常。这个问题困扰着大家，以至于该方向的“863”专家认为课题组选择的技术路线本身就是错误的，这给谢家麟和整个课题组带来了巨大压力。

谢家麟经过仔细观察束流的变化情况，发现其变化有一定的周期性，这可能是由某种电容和电阻所组成的回路放电所造成的现象。但在研制的系统中并没有任何电容或电阻器。那么问题究竟出在哪里呢？谢家麟根据自己多年的经验，感觉问题可能与系统中一个真空盒内部的构造相关。经过分析，发现在该真空盒中离电子轨道不远处，有一个支撑电极的陶瓷绝缘柱，绝缘柱表面本身就存在电阻，而电极与地面之间也可能形成分布电容。电阻与电容结合在一起就会组成一个定时的放电回路，从而影响系统的束流稳定。要验证这个猜想的真实性，就得将真空盒打开，但该盒子已经与周围的部件固定成整体，不能随意拆开。要重新设计和制作真空盒乃至调整系统，就得半年的时间，不但增加项目的成本，还会增加经费负担，并且重新制作的盒子也不一定就能解决问题。

谢家麟通过仔细观察真空盒的结构，看到盒子上有供电子束出入的小孔通道，于是想到了一个简单的实验方法。为了达到屏蔽绝缘柱的目的，他让技术人员做了一个弹簧片，从电子出入口插入真空盒内，使电子无法达到瓷柱，结果彻底解决了激光束流不稳定的问题。为此谢家麟感慨地写道：

“克服了这个拦路虎，使我们的工作前进了

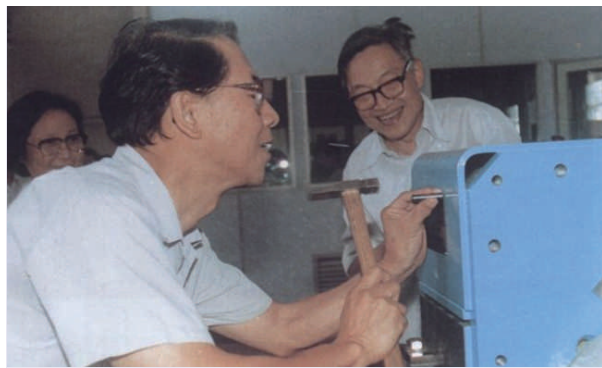
一大步。这事使我更为相信‘细节决定成败’这句话。西方有一句俗语：‘魔鬼存在于细节’，也正是这个意思。”^[1]

1993年5月该装置首次出光，使中国成为亚洲第一个成功研制出该装置的国家，而且性能和技术都达到了国际先进水平。这个项目也成为当年中国十大科技新闻事件之一，翌年获得了国家科技进步二等奖。重视细节，以小见大，谢家麟又完成了一项重大的科技创新工作。

谢家麟在进入耄耋之年后，还投身于一项原创性的科研工作，研制一种新型的电子直线加速器。为什么要进行这项工作呢？他这样写道：

“我几十年来在心中孕育着一个问题，就是低能电子直线加速器在科研和生产中的应用是加速器中最为广泛的。但是它的结构复杂、价格高昂、需要较高水平的维护人员。我们能否简化它的结构和使用要求，减小装置的体积和重量，减低它的造价，以便更能扩展它在国民经济和科技研究的应用呢？也许简化后的装置，会使它在当今尚未出现的应用中成为可能。因为大装置能够小型化，就会有新的发展和应用的的前景。”^[1]

秉持“老有所为、科技造福于人”的理念，谢家麟带领年轻学生又开始了新的征程。他为自己的这项研究制定了具体的创新四步曲，先从动脑起步，凭借简单化的物理概念和分析，设计出具体的技术路径。第二步是借助新出现的计算机模拟实验，对技术路径加以检验。然后将结果写成论文公开发表，以听取科学界同行的反馈和意



谢家麟为高能所研制的对撞机上第一块聚焦磁铁钉上标牌（1986年）

见。最后是动手研制出实际的样机，以真正实现并考验自己的创新思想。

要研制具有前述性能和构造的新型加速器，就需要更新观念，突破老的设计方案，这就必须在很多细节方面下功夫。比如，将传统直线加速器中分离的电子束源和大功率加速管整合起来，变成一体化，这样就可以简化结构，使整体更加紧凑，大大缩小了体积，减轻了份量，同时还能降低造价^[12]。另外在能量选择上也要进行系统性的考虑，既要满足广泛应用的目标，又要结合上述紧凑化的要求。

项目最终的目标是实用化和市场化。2004年，谢家麟在深圳“高技术项目交易会”上对这种新型电子直线加速器进行了推介，引起了相关企业的兴趣，应邀做了专题演讲。虽然新型电子直线加速器还未能最终转化为实际商品，但正朝着这个方向大步迈进。

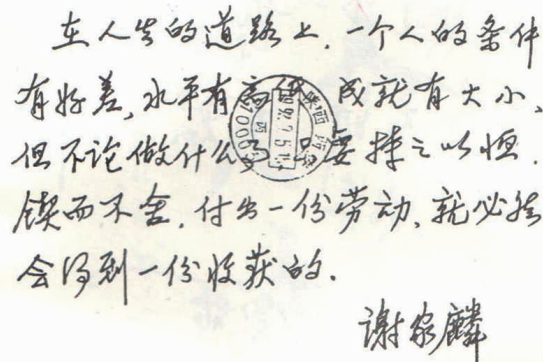
5 结束语

考察谢家麟的“巧力”，亦即他的科技创新方法，是一件饶有兴味的事情，也对后辈科技工作者有很大的启发和借鉴意义。谢家麟的科学创新方法贯穿在他的各项具体研究工作当中，对于熟悉粒子加速器技术的人而言，从那些具体的研究过程和如何解决技术问题的细节中，就能体会到他创新方法的精髓。但毕竟能够懂得具体技术的专业人员并不很多，所以对谢家麟的创新方法做概括性的分析和解释，以期对更广泛的读者有

所裨益。

作为实验科学家的谢家麟，其创新方法很有特色，这和他的工作性质有很大的关系。经过对他一生重要科学工作经历的提炼，可以归结为三个主要方面，即：“手脑并用”能力的培养和锻炼、研究课题选择上的“大胆尝试”、“边干边学”，“优劣在于细微”的实际问题解决策略等。当然谢家麟还有其他很多身体力行的创新方法，例如，怎样敏锐捕捉前沿课题、“吃馒头先种麦子”的前瞻性技术准备、科研步骤的整体规划、科研团队的协作管理等，限于篇幅以及与其他科学家创新方法的共性特征，不再做专门描述。

如今谢老驾鹤西去，安详地走了，但我们依然相信他从未离去。正如谢家麟在自传《没有终点的旅程》中所述，他的一生都是在“加速”中度过，而他开启的科学之路，也终究不会终止。相信谢家麟的创新精神和科研思想会永远影响着每一位科技工作者。



在人生的道路上，一个人的条件有好差，水平有高下，成就有大小，但不论做什么事，都要持之以恒，锲而不舍，付出一份劳动，就必将会得到一份收获的。
谢家麟

谢家麟先生手迹

参考文献

- [1] 谢家麟. 没有终点的旅程. 北京: 科学出版社, 2008
- [2] 谢家麟. 现代物理知识, 2012, 24(1): 4
- [3] 齐芳. 谢家麟: 不负今生. 光明日报, 2012年2月15日
- [4] 谢家麟. 黑龙江科技信息, 2012, (9): 23
- [5] Hsieh C L. Electrical Engineering, 1955, 74(9): 790
- [6] 谢家麟. 现代物理知识, 2012, 24(1): 5
- [7] 谢家麟. 北京正负电子对撞机和北京谱仪. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1996.8
- [8] 柳怀祖. 北京正负电子对撞机. 北京: 科学出版社, 1994.19
- [9] 谢家麟. 现代物理知识, 1993, (增刊): 28
- [10] 胡新和. 工程研究: 跨学科视野中的工程, 2004, 1(1): 144
- [11] Xie J L. Free electron laser research in China. In: IEEE. Proceedings of the 1995. Dallas, 1995. 162—166
- [12] 谢家麟. 一种新型、简易、高效的电子直线加速器. 见: 中国物理学会. 中国物理学会粒子加速器学会第六届会员代表大会暨成立20周年学术报告会文集. 北京: 2000. 215—222