

我的高能加速器梦

方守贤

1951 年秋，我以高分考入上海交通大学物理系。入学之初，数学、物理两系一共才有 20 多个学生，是合并上课的。我发现，与我喜爱的数学相比，物理学是一门有血有肉，看得见、摸得着，内容丰富多彩，并与人类实际生活紧密联系的学科。对于人们观察到的物理现象，依靠数学进行描绘、分析和推理，然后再回到实践中加以验证，使理论得到进一步的升华，这正是我所追求的探索自然的完美途径。从此，我和物理学结下了“不解之缘”。

1952 年，全国进行教育改革，在院系调整中，我被调到复旦大学物理系。当时，物理系一个班有 60 多个学生，师资力量很强，著

名教授，如卢鹤绂、谢希德、周同庆、周世勋等，不但学识超群，而且讲课时物理图像清晰，逻辑推理严谨，诸多重点、难点，经过这些名师指点，顿然融会贯通，这进一步加深了我对物理的理解和兴趣。院系调整初期，教学大纲和各科教材均不完备，连讲义也没有，除了课堂笔记，还需靠课外自学，去啃少数翻译成中文的俄文或英文原版参考书，这不仅加深了我对课程内容的理解，也增强了我的自学能力。大学期间，我的学习成绩，经常名列班级前茅。

大学的 4 年，是不平静的 4 年，经历了“三反、五反”、“思想改造”和“肃反”等政治运动。同时，我也阅读了不少像《钢铁是怎样炼

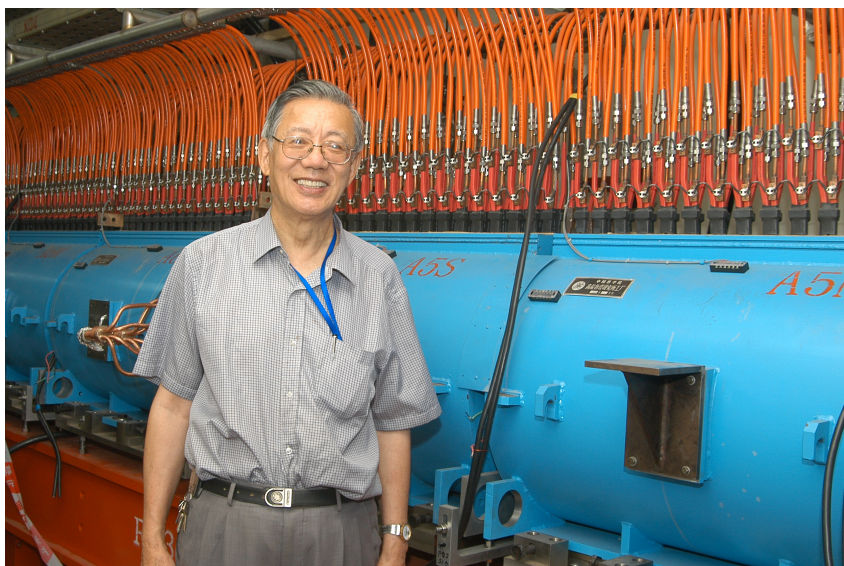
成的》等优秀的苏联文学作品。所有这一切都对我的人生观的确立起到了决定性作用，使我认识到，一个人活在世上不能只是索取，应该首先讲奉献；使我懂得了，学习的最终目的是报效祖国；“为祖国，作贡献”成为我后来从事科学研究活动的原动力。

激情入梦

1955 年 10 月，我以优异的成绩从复旦大学毕业，服从国家分配，来到了中国科学院近代物理研究所。当时，国家正在制定“十二年科技发展规划”，这既给科技工作者提供了施展才华的大舞台，也殷切期盼他们能为创建祖国璀璨的科学殿堂作出贡献。

进所后，我很幸运地被安排在王淦昌老师门下，从事高能加速器的设计及研究工作。在徐建铭先生的直接指导下，学习电子同步加速器理论设计，这是一项既有理论又有实际的研究工作，也是我一直追求的目标。对我来说，真可以说是如愿以偿。我热爱自己这项研究工作，立志要通过自己的努力为祖国建造高能加速器。

近物所本来只有几十个人，我们这批人进所后，一下子增加了一百多人，王淦昌、梅镇岳、朱洪元等老专家对我们这批“精英”特别重视，待若“天之骄子”，都来



方守贤院士

给我们补与原子能有关的课程。此刻，我才深深感到自己物理知识的贫乏，于是便和大家一起如饥似渴地学习，那时，整个物理大楼不到晚上 12 点是不会熄灯的。

为了发展我国原子能事业，1957 年春，国家经过精心挑选，在王淦昌教授带领下，包括我在内的十多人在通过外语突击培训后被公派到苏联列别捷夫物理研究所实习和工作，我被分配学习与加速器相关的知识并负责初步的理论设计工作。虽然在出国前已经学习了大量有关高能同步加速器的论文，还做了详细的推导和笔记，应当说，准备还是充分的，但是，进入列别捷夫物理所后，我立即发现自己在国内打下的数学、物理基础远不足以适应工作的需要；同时，我的导师考洛门斯基也发现，我原先在所里学过的加速器专业知识本应已经具备初步设计能力，但事实上我却不会从事设计。究其原因，是因为我原先所学的知识是支离破碎的，并不完整，并未融会贯通地理解它们之间的内在联系，只是一些死知识，不会实际应用。导师的意见，对我好似当头一棒，使我意识到：自己其实尚未入门，一切还得从头开始。同时，也使我深刻认识到：书本上的知识，如果不与实际相结合，是难以学深、学透的，只有将其应用于解决具体问题，才能真正理解和掌握。导师对我很严厉，要求我读通他的一篇浓缩了的博士论文，把文章里删去中间过程的公式和结论经过自己的独立思考逐个推导出来。他还为我请了一位副导师

列别捷夫帮助我补习所缺的一些数学和物理基础知识。通过这段时间的磨练，我不但数理基础更扎实了，独立思考解决问题的能力也大大提高了。

那时候，苏联还没有电子计算机，一次国际会议后，有关加速器的文件要好几个月才能打出来，而我的导师在会后很快就能在自己建立的理论体系内，用自己熟悉的方法，把国际上的新成就、新结果重复出来，可见功底之深，其学术造诣可以说是已经达到了炉火纯青的地步。经过刻苦努力，我也逐渐学会了用自己最熟悉的方法，在自己的“体系”内，推导出加速器领域中相关研究的结论。由于掌握了这种行之有效的科学方法，我终于学会把死的书本知识变为活的实践操作，并能在具体的研究工作中博采众长、融会贯通，取得事半功倍的实效。我还曾目睹我的导师如何不迷信权威、勇敢地推翻了当时以莫斯科大学著名教授索科洛夫为代表的主流派关于“电子同步加速器中由于辐射的量子起伏引起的电子运动不稳定是不可克服的”结论。这件事，当时在苏联加速器物理学界引起了一场激烈的争论，后来因得到美国著名加速器专家列文斯顿研究结果的支持，才算结束了这场风波。导师的楷模，使我明白，不应满足已有结论，而应不断创新，这才是科学的灵魂；对学术权威既要尊重，又不可盲目崇拜，真理终究是会出来讲话的。

通过留苏期间的实习和工作，我在心中萌生一个梦想，那就是



留苏时代

要为祖国建造世界一流的高能加速器。

坎坷追梦

我曾有机会亲身参与我国高能加速器建造所经历的“七上七下”坎坷、曲折的艰辛过程：

1. 在苏联杜布纳联合核子研究所（以下简称“联合所”）工作期间，令我特别高兴的是，王淦昌老师刚好也被请到联合所工作，而且被指定为我们业务上的直接联系人，这使我有机会直接聆听王老的教诲，学到了不少他的高贵品质。最初王老交给我的任务是，在苏联专家的指导下，设计一台能量为 2.2 GeV、周长约为 200 m 的电子同步加速器。实际上，它是 1956 年制定的“十二年科技发展规划”中我国高能物理发展的第一步计划。应当说，这是一个既先进又符合国情的方案。当我们完成设计方案时，王老非常高兴，捧着方案说：“我们中国终于有了自己的设计了！”但是，在 1958 年大跃进的形势下，

王老回国汇报这个方案时，却遭到一些人的批判，说它既保守又落后，使其不得不搁置起来。

2. 在“超英赶美”的思潮鼓动下，国内有人提出要设计一台比苏联当时已有的、能量为 7 GeV 的最大加速器还要“先进”的 15 GeV 的质子加速器。王淦昌带着这个方案回到莫斯科后，在向我们传达时，思想上还是很有保留的，因为当时西欧及美国正在建造的世界最大的强聚焦加速器能量也只有 28 GeV，国内的要求显然超过了实际可能。面对这一不切实际的要求，苏联专家也感到惊讶与为难，虽然勉强同意帮助设计一个以他们已有的 7 GeV 加速器为基础的修补方案，而设计能量最多也只能达到 12 GeV。可想而知，这是一个什么样的凑合方案，我们设计组的人对这个方案都不满意，王老坦率地发表了自己的想法，认为这一方案超过了当时的国力，不可能成功，并主张积极向上反映，争取把方案变回来。1959 年，我回国向钱三强所长汇报了上述方案，他连连摇头，当场就果断地否决了这个方案。

3. 挫折使人们清醒地认识到，脱离国力的方案是不可能实现的。那时，联合所研制成功了世界上第一台中能强流等时性回旋加速器。在王淦昌领导下的物理组提出了建造一台适合我国国力、能量为 450 MeV 的中能强流加速器，开展介子物理研究。为此，1959 年，一个以原子能研究所（前身是近代物理所）力一副所长为首的加速器设计组被派到联合所，在该所专家的

帮助下进行初步设计，我被分配负责工程的理论设计。那时，我已在列别捷夫物理所经过了 3 年的系统训练，有了一定的设计经验，随力一从国内到杜布纳后不久，我便提出，苏联的等时回旋加速器的设计有 3 处考虑不周，并连续写了 3 篇内部报告，使当时该加速器组组长迪米特列夫斯基刮目相看，主动提出把我由联合所的“初级科学工作者”提升为“中级科学工作者”。初步的成就鼓舞我在科学道路上奋勇前进。

1960 年底，中苏关系恶化，设计组在完成初步设计后，草草收场。回国后，我被分配到原子能所 201 室继续从事等时性回旋加速器的理论研究，这给我提供了从事创新性工作的良好机会，也是我前半生中工作最紧张、最出成果的一段时间。就在短短的两三年中，我领导的理论小组先后在《中国科学》等杂志上发表了 7 篇论文。其中，最重要的一个工作，是我与魏开煜合作发表的《等时性回旋加速器中的不等时现象》。我在《矛盾论》辩证思维的启发下，首次发现并指出：“等时”是相对的，只有在自由振荡为零时才成立；“不等时”是绝对的，因为自由振荡的振幅实际上不会为零，而正是“不等时”现象使得回旋加速器在向更高能量发展上受到了限制。基于这一认识，我发现联合所提出的将其原有



1959 年，在杜布纳联合核子研究所参观
（左 1 为王淦昌，左 2 为方守贤，左 3 为力一）

的 680 MeV 稳相加速器升级成等时性回旋加速器的方案在设计上存在错误。当时，中苏关系已开始恶化，苏联政治上想拉印度来加入联合所以排挤中国，而经济上又想用升级方案来要挟中国增加投资，给处于 3 年困难时期的中国施压。当然，我们要找理由来反对。1962 年，在联合所的全权代表会上，作为中方全权代表的力一将我的上述论文分发给各国代表，作为我国拒绝增资的一个重要理由。一年后，迪米特列夫斯基教授在 1963 年高能加速器国际会议上发表的一篇论文中故意用另一种数学方法推导出了我给出的结果，间接承认了我的论证是正确的。40 年后，当我随周光召院长于 2002 年再次访问联合所见到迪米特列夫斯基时，他竟主动承认当时我的观点是正确的，并表示非常遗憾，那时因政治斗争的需要而无法与我交流，现在双方终于可以冷静下来恢复事实真相了。

正当我国加速器理论工作在我的领导下走向国际前沿时，王淦昌等提出的 450 MeV 等时性回旋加速器方案，却因 3 年“自然灾害”



1973年5月，由张文裕（前排右3）率领的中国高能物理考察团访美前，在机场合影（后排右3为方守贤）

后中央在困难时期执行“调整、巩固、充实、提高”八字方针而被“调整”掉了，所有的设计都成了一堆废纸。那篇论文：《等时性回旋加速器中的不等时现象》，直到文革后，才于1982年获得了国家自然科学四等奖。

4. 1965年，中苏关系彻底破裂。1966年“文化大革命”开始后，国内动荡不安，我们这批留苏人员大多被当作“修正主义苗子”，根本谈不上做什么研究工作。幸而，1968年，为加强基础研究，科学院决定在原子能所一部（即中关村分部）筹建高能物理研究所，我被调去那里工作。当时，先提出要建造一台3.2 GeV质子同步加速器，后来又将能量提高到6 GeV，我参加了这台加速器的物理设计和选点的调研（拟建在革命圣地延安）。但好景不长，很快这一方案又变成了一纸空文。

5. “文化大革命”强烈冲击了我国基础科学的发展，科技工作

者在困惑之余，想到了是否应该响应国家面向实际、面向应用的号召，探索发展高能物理之路。1969年8月，何祚麻等提出了一个“一举两得”的方案（即“698工程”），建议用加速器来生产核燃料。这既可服务国防需要，又可为将来发展高能物理储备技术和人才。当时，我建议采用比较成熟的质子直线加速器来生产核燃料，这一主张后来被简称为“强流、超导、质子、直线”八字方针；原子能所二部的同志则提出了更为“先进”的方案，即国际上尚在探讨中的轨道分离型加速器和烟圈加速器来生产核燃料。为此，原子能所行政上的领导、第二机械工业部党组决定将我们这批人从一部调回二部，在二部军管会的领导下，对上述三种方案展开论证。但是，在极左思潮的严重干扰下，不同方案之争，很快就演变成为一场惊心动魄的“阶级斗争”：军管会主任居然亲自赤膊上阵说“直线加速器是落后的、不科学的，质子

怎么能向前走直线呢？！地心吸力就可以使它掉下来”，谁不同意他们的方案，谁就是反对军管会领导，就是反革命，并将斗争矛头直指“八字方针”的两个主力：何和我，因为我们俩家庭出身都不好，压力很大，当时真可谓是“如坐针毡，度日如年”。幸亏二机部李觉部长洞察内情后坚决抵制了二部军管会的打压作法，以各回原单位参加运动的名义，把我们调回一部，总算逃过一劫。“698工程”的论证，也就此偃旗息鼓，高能加速器的建造再度陷入低潮。

6. 1972年8月，文革还在继续，中国科学院张文裕、朱光亚等18位科学家联合致信周恩来总理提出“关于建设中国高能加速器实验基地的报告”，周总理于9月11日做了“这件事不能再延迟了”的重要批示，极大地鼓舞了我们大家的积极性。1973年2月，高能物理研究所正式成立。1975年3月，我们提出了建造一台40 GeV质子同步加速器的方案（即753工程），国家计委计划拨款四亿元人民币。但是，由于“四人帮”的破坏，这个方案又再次夭折了。

7. 1975年11月，“批邓、反击右倾翻案风”运动开始，在“四人帮”的操纵下，邓小平被撤销了党内外一切职务。“批邓”运动使753工程建设再一次陷入停顿。1977年11月，邓小平恢复工作，当时“四人帮”虽已倒台，但尚未拨乱反正。经过“文革”十年浩劫，中国的高能物理研究水平与欧、美等先进国家拉开了更大距离。

不顾国情，急于求成的思潮在科技界滋长。我们提出一个更为激进的方案，即准备花 10 年的时间，到 1987 年，建成一台能量为 400 GeV 的质子同步加速器（即“八七工程”，其第一步为 50 GeV 质子同步加速器），规模可以与西欧核子研究中心（CERN）的 400 GeV 超级同步加速器（SPS）相比美。设计时，在采用何种注入器的方案上，又展开过一场争论。后来，经过充分论证，接纳了我所主张的、“采用增强器”的建议。随后两年，在工程选址（十三陵）、勘探和预研基地（玉泉路）的建设方面，有了实质性的进展。实际上，这一方案仍未能摆脱“极左思潮”的影响，预算大大超过了国家实际的经济能力。1980 年底，在基本建设紧缩、国民经济调整的方针下，这个雄心勃勃的计划又被迫下马了。

我国高能加速器的建造经历“七上七下”的折腾，我参与了全部七次加速器方案的论证及理论设计。从 20 世纪 50 年代末到 80 年代初、从 20 多岁到近 50 岁，为了追逐我的高能加速器梦，经历了 20 多年的蹉跎岁月，有心报国，却难以建树，我国高能加速器的建造仍在起点徘徊。凭心而论，这并非全是坏事。虽然为设计这 7 台高能加速器浪费了我不少精力，但是，它们之中有直线的，有回旋的，有质子的，有电子的，很少有人能有这样的锻炼机会。它使我在磨难中成长，在实践中积累、扩展、丰富了加速器理论知识，为我国建造新的高能加速器蓄势待发。



1973 年考察洛斯阿拉莫斯国家实验室（左 1 为方守贤，右 1 为张文裕）



1973 年，高能物理考察团在布鲁克海文实验室参观
（左 3 为张文裕，左 7 为朱洪元，左 8 为方守贤）

成功圆梦

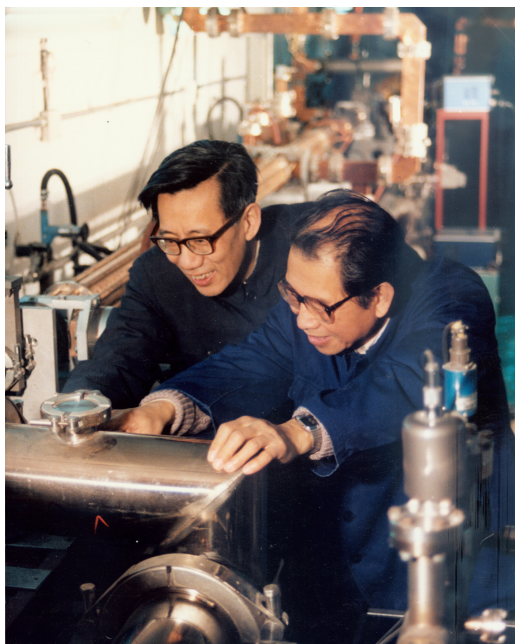
改革开放，迎来了科学的春天。1981 年，在李政道教授和美国潘诺夫斯基教授等的帮助下，国内的加速器专家建议：在北京建造一台既适合我国国情又能使我国

高能物理实验研究进入世界前沿的束流能量为 2.2 GeV 的正负电子对撞机，即北京正负电子对撞机（BEPC）。同年 12 月 22 日，邓小平同志批准了这一方案。正在 CERN 工作并已取得很好成绩的我，接

到高能所张文裕所长动员我回国的信后，毅然决定结束工作、立即回国，参加 BEPC 的建造，并回信对张所长说：“建造高能加速器是我国几代科学家梦寐以求的项目，也是我一生的追求，是千年难逢的机遇。”当时的管理体制是工程经理制，1983 年，我回国后，立即被任命为 BEPC 工程副经理，分工负责加速器储存环的理论设计并协助谢家麟经理工作；1986 年 5 月又被赋予经理（兼高能所副所长）的重任，全面负责领导 BEPC 工程。

“人贵有自知之明”。我很清楚，自己的长处是长期从事加速器物理研究及理论设计工作，有较好的数理基础和清晰的物理图像，且善于抓住主要矛盾；不足之处则是从未领导过大型工程建设，知识面比较狭窄。那么，能否挑起这副重担呢？我知道，要建成这项宏大系统工程，就好像一位乐队指挥在指挥雄伟的交响曲，既要充分发挥每个演奏者的精湛技巧，又要把整个团队活动协调到主旋律上。针对

这种情况，在工程建设过程中，我经常提醒自己，要谦虚谨慎，认真听取各种建议，千万不可轻易否定反面意见，一旦发现自己有错，要勇于承认并及时修正。这样，既可发挥群体的积极性，也可减少决策的失误。为了加强工程的管理，我还制订了相应的规章制度，并以身作则、严格执行。例如，为保证工程进度，需要控制出国。在整个工程期间，我很少出国访问。平时，为人低调，“淡泊名利、宁静致远”，一心扑在工程上，兢兢业业，唯恐出现疏漏，从不考虑工程建成后会有什么好处。生活上，高标准、严要求，公私分明，从来不用公车办私事。1986 年中，有一次，我去医院看望住院动手术的爱人后，急于回所加班，为了追赶一辆即将进站的公共汽车，由于天黑，我又近视，匆忙中头部撞到一根斜跨在人



谢家麟（右）和方守贤在调试 BEPC 装置

行道边上的、拉电线杆的钢丝上，因奔跑速度过快，冲力大，头破血流地昏倒在人行道上，幸好被两位未曾留下姓名的解放军救起，送至医院，进行抢救，头部缝了好几针。有同志幽默地说：“对撞机还未对撞，你老方的头却先与地球对撞了！”

参与 BEPC 工程的科技工作者，大多经受过“七上七下”的种种磨难，他们都渴望在加速器专业领域内实现自己的人生价值，都怀着一颗为祖国科学事业献身的赤诚之心。当时，他们的工资都很低，每月仅 100 多元。工程资金管理严格，专款专用，不能用来发奖金，我只能靠自己带头拼搏来鼓励大家，与同志们一起夜以继日地工作，不敢丝毫怠慢，经常住在办公室，以便工地一旦发生情况，立刻就能赶到现场。艰苦的生活、繁重的工作，使身高 1.8 m 的我，体重只有 56 kg。后来，国务院总理李鹏特



1986 年 5 月 6 日，第一根加速管安装前，工程总经理方守贤正在作动员讲话

批了6万元奖金慰问我们，平均每人每月15元，刚好够买两只老母鸡，但大家都很知足。那时，我们想的是，国家还很穷，工程那么大，必需发扬艰苦奋斗的精神，勤俭创业，多作贡献。

出国问题，曾对队伍的稳定形成严峻考验。正当BEPC开工之时，西德高能加速器（HERA）工程也开始建造，正缺少人手，希望高能所能派二十多名技术骨干去帮助建设，生活待遇优厚且报酬较高。为了不影响队伍的情绪，确保BEPC的建设，我果断地决定：一个也不派！对此，大家都十分理解，因为“人生能有几回搏”，谁也不为眼前利益而放弃为祖国事业作贡献的机会。

为了严把质量关，我要求相关设计人员驻厂，发扬“三老四严”作风，严格监督从加工到组装等各个环节，把问题发现在现场、解决在现场；还要求某些关键部件及分系统在进入隧道前，尽可能在实践中先进行长达1个月的整机连续试运行，以考验其主要指标及稳定性。大家不辞辛苦，白天黑夜陪着机器转，正是这样，才大大缩短了BEPC建成后的调束时间。为了抢进度，有的同志带病工作，例如，上海先锋厂的老师傅，就因胃出血病倒在车间里；又如，高能所许多工作人员冒超X射线剂量的危险轮流进入直线加速器的隧道里，迅速找到了“打火”的地方，如果靠一般仪器，半个月也找不到。各种顽强拼搏的动人故事层出不穷，使我深受教育，进一步激励了我的干

劲，提高了我的精神境界。

尽管反复强调要努力做到“三老四严”、一丝不苟，还是出了一次纰漏：在上千根电源的导线中，居然有一根正负极接反了，致使束流无法注入到储存环中去。我知道后，真如热锅上的蚂蚁，既紧张又烦恼，吃不好、睡不着，发动大家花了1个多月才找出毛病之所在。当时，我对大家说：“还算幸运，好在搞的是加速器，可在地面上慢

慢找，错了还可以改回来；如果是搞导弹，放到天上就完了。”

1988年10月16日凌晨，BEPC首次对撞成功，我的梦想终于成真。10月24日，邓小平同志再次来到高能所，参加北京正负电子对撞机庆功典礼，在听取汇报后，他发表了对确定我国科技发展路线具有指导意义的重要讲话。对撞机建成后，很快达到了指标，它的亮度超过美国同类加速器的4倍。



1987年12月国家重大技术装备表彰大会上，叶铭汉和方守贤手捧李鹏总理颁发的奖状和证书



1988年10月24日，小平同志听取高能所所长方守贤的介绍

1990年，北京正负电子对撞机工程获得国家科技进步特等奖。

BEPC建成后，面临继续发展的抉择。随着时间的推移，同步辐射用户迅速扩大，BEPC“一机两用”的方针越来越难以更好地执行。为了选好下一步的发展方向，我先在1990年11月写的“粒子加速器十年发展”的报告中提出在高能所建造专用同步辐射光源的建议，后又在1992年4月在中科院数理学部所作的学术报告：《BEPC的现状 & 未来》中进一步阐明了高能所的远景存在两种机遇，即建造一台高亮度的 τ -c工厂和一台1.5 GeV的高性能同步辐射光源。但是，当时高能所主要领导担心同步辐射光源的建造会妨碍高能物理的发展，因此没有得到支持。1993年，丁大钊、我和冼鼎昌三位院士再一次向有关领导和数理学部提交了“关于在高能所建设第三代同步辐射光源的建议”，全面地论述了国际形势及建设它的必要性，可惜仍然未能得到所领导的支持。在这种情况下，上海杨福家院士闻讯后，联合上海的谢希德院士等科学家向上海市政府提出“在上海建造一台第三代同步辐射光源的建议”，却得到上海科技界热烈反响和上海政府的强有力支持，这就产生了今天的第三代上海光源。真可谓是“北京开花，上海结果”。随后，我被任命为该工程科技委主任。2010年1月中旬，胡锦涛同志特地考察了这一工程，充分肯定了工程对今后我国科技进步发展的重要作用。对于我，这可真是莫大的安慰。

BEPC在稳定、高效地运行一段时间后，为了适应世界高能物理的发展，继续保持BEPC在科学上的竞争力，我在1993年7月 τ -c工厂第三次工作会议上所作的《BEPC的下一步》的报告中指出：视国家投资的强度，有大、中、小三种可能性。根据当时国情，我主张采用“中”方案，即在BEPC原有的隧道内，对有关设备加以改造，使其亮度提高10倍左右，达到 $10^{32}\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这样，可节省投资，总共只要花费约5~8亿元。虽然这一方案在物理上不如 τ -c工厂有更强的竞争力，但是，在一段时期内，同样可以保持世界领先地位。经过长期热烈争论，最后，中科院领导决定选用我的这个方案。2000年7月27日，国家科教领导小组第七次会议原则上同意对BEPC进行重大改造，即BEPC II。就在此时，美国康奈尔大学决定，用在环中长直线节内安置大量摇摆器的办法，对其对撞机CESRc进行改造。

根据他们公布的研究结果，可使亮度增加到 $3\times 10^{32}\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，即比BEPC II还大3倍，这使BEPC II遇到了强有力的竞争对手。幸好，受当时日本高能物理所B介子工厂交叉角对撞成功的启示，我们发现有可能在现有隧道内采用双环方案。2001年4月，高能所领导确定改为双环方案，以提高亮度到 $10^{33}\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当然，在如此狭小的隧道空间内安装双环，其难度之大可想而知，但经过我与物理组全体同仁的努力，最终找到了性能良好的双环方案，这个方案的突出优点是在狭小的隧道内既能满足高亮度还能保持原有的同步辐射光束线站的位置不变，不但节约了投资且加快了进度，为工程采用，走出了自己独创的道路。历经5年，初步实现了这一重大改造工程。其后，在2005~2009年间，我担任BEPC II重大改造工程顾问。

我不仅重视基础研究与实际应用相结合，而且更为重视加速器



1991年5月，北京正负电子对撞机工程建设表彰大会在中南海怀仁堂举行，宋平同志向中国科学院高能物理研究所的代表方守贤颁发荣誉证书

的应用。1963年诺贝尔物理学奖获得者鲁比亚提出能量放大器的新概念后,“一石激起千重浪”,在国际上引起了广泛的关注,它也使我回想起过去的“698工程”论证,再次从强流质子加速器的应用出发,与丁大钊等六位院士一起于1996年3月向数理学部提出建议:“及早开展充分利用铀资源的洁净核能系统的研究”,并先后召开了多次有关加速器驱动的次临界系统(ADS)的研讨会,以推进ADS在我国的研究。经过中国原子能科学研究院和高能所相关专家的努力,1999年“加速器驱动的洁净核能系统的物理和技术基础研究”终于在“973计划”中立项,我被任命为该项目的专家组成员。为推动这一项目,我在高能所开展对射频四极场加速器(RFQ)进行设计和研制。在我的坚持下,研制打破了国际上传统的做法,即跳过了“必需”的铝冷模研究阶段,直接进入无氧铜样机的制造。这样,既节省了经费,又加快了进度。2001~2004年间,我首先提出并协助赵升初研究员建成了超导实验室,开创了研制强流质子加速器主要部件——超导腔的新局面。该实验室的建立为高能所开展各类超导腔研究打下了极为重要的基础。2006年,我国自主研发的第一台强流RFQ建成,其主要指标达到了国际先进水平。考虑到随着我国核电事业迅速发展,高放射性废料的处理将成为我国核能是否可持续发展的关键问题之一,ADS的研发在2007年再次在“973计划”

中立项,并将其重点从能源转向核废料嬗变,项目名称也改为“加速器驱动核废料嬗变关键技术的研究”,我被任命为该项目的顾问。根据我国核电发展计划,“快堆”将是第四代核电中优先考虑的堆型。由于快堆也能嬗变核废料,因此两者谁优谁劣必须给予回答。2008年,受数理学部委托,我组织了21位相关的两院院士及专家,召开了4次院士咨询会,对我国ADS发展前景进行分析、评估,最后指出“就在我国核能可持续发展战略中的地位来说,快堆侧重于核燃料的增殖,ADS则侧重于核废料的嬗变,也就是说,在核废料嬗变方面,ADS优于快堆。因此,选择ADS比较合理。”这一结论后来为中科院领导采纳。

脉冲散裂中子源是当今一些前沿学科及交叉学科发展的重要工具,也是强流质子加速器的另一重大应用。2000年8月,丁大钊、我、赵志祥和陈和生等联合向科技部上报了“多用途中子科学装置——脉

冲强中子源”项目建议书。2001年3月,丁与我还召开了以“21世纪中子科学的发展”为主题的香山会议,对我国中子科学发展的意义及应采取的对策,进行了广泛的研讨。在此之前,2000年9月16日,科学院路甬祥院长批示“要求组织对我国建设散裂中子源的必要性和可行性进行研究”,数理学部成立了有12位院士组成,由我牵头的咨询组,开展散裂中子源研究的咨询工作。我分别在2001年5月和8月召开了两次咨询会,并于11月4日完成了咨询报告。在报告中,我们同意中科院物理研究所提出的在第二期知识创新工程中建设一台中等规模的散裂中子源(CSNS),其束流功率为100 kW,投资约为5.5亿元。2006年9月,我还组织了一次主题为“同步辐射与中子散射交叉的前沿科学问题”的香山会议,以促进同步辐射应用与中子散射研究之间的结合。我还参与CSNS早期的物理设计工作,并在推动该工程的设计研究和立项中起



2005年7月,北京正负电子对撞机一期完成历史使命,停止运行,二期工程开始储存环的升级改造。图为方守贤院士关闭运行开关

过重要作用，现任该项目科技委主任。

如何将高能加速器尖端技术直接转换为国民经济服务，也是我长期梦寐以求的。近十多年来，质子加速器已发展成为国际上最先进的放射治疗装备，是对付癌症的有效手段。但是，质子治疗装备是科技含量极高、投资很大的大科学工程装置，一般企业无力研制，如国家不大力投入、自主进行研制，则中国的市场必将为国外的设备垄断。质子治疗装备在技术上与 CSNS 相似，又是大科研工程，刚好可以发挥高能所的特长。因此，自 2007 年起，我就积极推动并领导质子治疗加速器的研究。完成概念设计后，现已在上海立项。相信不要太久，国产质子治疗装备将在

上海建成，为全国人民健康造福。

在 50 多年的科研生涯中，我有如下几项较为满意的研究工作，从中吸取到的主要经验是：根据实际需要，结合具体情况，进行自主创新。

在 1964 ~ 1965 年间，我接受了一项硬任务。因苏联终止援助，从苏联运到原子能所的一台 180 度电磁分离器只有分散的磁铁部件，没有附上任何的设计说明和图纸，他们想使它成为一堆废铜烂铁。这迫使原子能所必须组织力量，在没有苏联专家指导的情况下，弄清其所以然。为此，所里成立了以我为首的突击小组，成员包括孙庆仁、魏开煜、茅乃丰和吕洪犹，要求从理论上彻底搞清其设计根据。在一无经验、二无资料的条件下，我们

不仅弄懂了其设计原理，还对其磁场速器进行了分析，并在此基础上提出对原磁铁垫补进行改进的方案。后来，建成的电磁分离器，其分离的浓度从原设计的 99.9% 提高到 99.99%。这是第一份令我感到自豪的、理论结合实际的成功之作。

关于加速器的发展，我认为，基于我国国情和经济实力，不可能建造太多像发达国家那样的大型加速器，而应建造小型且实用的加速器。鉴于那种大型加速器的设计原则、思路和方法都不一定适合小型加速器的设计，因此必须开创新的思路来进行设计和研制。在实际工作中，这种新思路确实获得了好多成果。

1982 年 6 月，钱三强院士推荐我去 CERN 的反质子组，参加



国务委员刘延东、广东省委书记汪洋、中国科学院院长白春礼与参加 CSNS 奠基典礼的部分科学家（右 4 为方守贤）合影留念

新型强流反质子环聚焦结构方面的设计工作。该项任务，难度极高，不但要求该环能积累特大动量散度和特大发射度的反质子流，而且为节约基建投资还希望能将该环镶嵌在原有的弱流反质子环与大厅围墙之间的狭小空间内，这使环的形状和聚焦结构布局的选择受到了极大的限制。为确保任务的完成，在 CERN，除我外，还派了两位有经验的名将，三人分别独立找解，这使我感到压力很大。经过仔细研究，我认为反质子环的周长只有 200 多米，属于小环。便针对小环的特点，在设计中采用两项创新措施：一是跳出通常大型储存环采用的保持严格周期的聚焦思路，而引入了准周期结的思路，从而增加了可选择的参数，使设计变得更为灵活；另一是发展了一套适合于中小型环形加速器消色散的特别方法，而且，在寻找多维空间极值时，不光依靠计算机程序，还要结合物理图像来判断下一步的走向。经过半年多的日夜奋战，利用这种非常规的方法，我终于找到了一个能全部满足上述边界条件的解，被 CERN 采纳，使他们对我刮目相看。我为中国人争了口气，感到十分自豪。一年后，环运行的性能优于设计。1989 年 6 月 9 日，CERN 还特地对我的贡献表示感谢。

在担任 BEPC 经理期间，我从来没有忘记自己是一个科学研究工作者。每当工程忙碌之余，利用空隙时间，我都在冷静地进行思考。在研制 BEPC 的过程中，除了

学习国外先进经验外，我还考虑如何在吃透人家设计思想的基础上加以改造、创新，采用更新、更好的办法来解决实践中的困难问题，以赶超世界水平。在具体的设计中，我大胆地进行了两项创新：其一、鉴于 BEPC 是小环，可沿着以前我在 CERN 工作时的思路，顺藤摸瓜、跟踪追击，提出了用准周期聚焦结构“基体”代替大型对撞机中消色散区与弧区严格分开的传统布局，对美国专家莱特曼帮助设计的聚焦结构加以改进，在环的周长不变的前提下，引入了四个长直线节，为后来同步辐射应用创造了条件；另外，我还改进了六极子布局，使设计的动力学孔径大为扩大，改善了机器的整体性能。其二、在 BEPC 调束的初期阶段，机器亮度难以达到预期设计指标，主要原因是，在原设计中，用来校正横向运动耦合的斜四极子是参照大型对撞机而设计的，并将其安置在对撞点附近的长直线节中。我发现，对于像 BEPC 这样的小环，这种安置方法是无法减小横向耦合的。按照我的估算，应把斜四极子移到远离对撞点的注入点上。当时，作为工程经理，我果断地做出了这一决定，从而使 BEPC 的亮度很快就达到并超过了原设计指标，并在世界上同能区的对撞机中取得领先地位。其间，还有一个值得一提的小插曲。就是在我做出决定时，加速器物理组的同事发现用世界上公认最先进的、由 CERN 提供的计算大型对撞机聚焦结构的设计程序 (MAD6)

求得的结果，与我的推导结果相差甚远。孰可信孰不可信？！在重新推导的过程中，由于抓住了主要矛盾，我用简明的数学方法就判断出 MAD6 程序在耦合运动的分程序块里有错误。后来，我询问了 CERN 的有关科学家，回答果然是 MAD6 有错，并主动地把他们修正过的新版本 MAD7 寄给了我。由此可见，掌握物理图像是多么重要。计算机虽是强有力的运算工具，但它的运算信息载体——程序，仍然是由人来编写，人稍有疏忽就会导致程序错误。如果没有清晰的物理图像，一味盲目地相信计算机所得的结果，有时是很危险的。

在高能加速器的研制过程中，我始终关心青年教育，非常重视培养接班人。20 世纪 60 年代初，我在原子能所 201 室担任理论组组长期间，为了加强组员的基本功训练，与魏开煜、孙松岚等同志一起把我的导师考洛门斯基著的一部经典著作：《圆形加速器理论》从俄文翻译成中文，可惜这份手稿因缺乏经费未能出版，但一直被沿用到 1973 年，高能所成立后，作为新来同志学习加速器理论的教科书，对提高他们的加速器物理水平也起过较大作用；作为中科院高能所的博士生导师，并兼清华大学博士生导师，我在工作中为国家培养了许多人才，其中博士生 10 多名，大多已经成为国家大科研工程的主要骨干和领导。

（中国科学院高能物理研究所 100049）