



# 李洪钟：迟到者的攀登

■本报记者 甘晓

“Please introduce your research work on the fluidized bed reactor.”听到考官的英语提问，李洪钟愣住了。他听懂了个大概，考官要让他介绍流化床反应器方面的研究工作。

李洪钟中学和大学的都是俄语，英语是这几个月才从ABC开始补的。他当然清楚，这是考官在探他这个“大龄考生”的口语底子。坐在李洪钟对面的两位考官是国内化工领域的“大咖”——郭慕孙，流态化领域世界知名的学者；陈家镛，我国湿法冶金奠基人。

李洪钟定了定神，开口了，他用英文说得很慢，有时要停下来想一个单词：“我……做流化床反应器。主要问题是气泡……气泡

太多，反应效率就低……我设计了几种挡板，有网状、百叶窗式、多旋斜片式……”

这是1978年7月，北京中关村北二条，中国科学院化工冶金研究所（现为中国科学院过程工程研究所）面试考场上的的一幕。

那一年，国家刚刚恢复研究生考试。科学的春风吹拂神州大地，郭慕孙在这一年重启了研究生招生。

那一年，李洪钟37岁，是3个孩子的父亲。他知道自己起步已经晚了。但站在人生的十字路口，他还是选择了一条艰难的道路——硬着头皮上。



## 从ABC开始

李洪钟决定考郭慕孙的研究生，是在1972年。

那年，山西太原晋祠举行了一次流态化技术经验交流会。李洪钟在台上作报告，郭慕孙主持会议。

那是他第一次近距离接触这位前辈。“郭先生是留美归来的著名化学工程学家，流态化领域世界知名的学者，坐在台下听一个年轻人讲实验。”李洪钟讲完，郭先生提了几个问题，问得很细，细到他实验里某个参数是怎么测的、为什么这么设置。李洪钟一回答，答完出了一身汗。

回到他工作的中国科学院山西煤炭化学研究所（以下简称煤化所）后，报考郭慕孙研究生的念头便在他心中生根发芽。

这场考试迟到了六七年，直到1978年国家恢复研究生招考，李洪钟才终于等来了机会。

这条路并不平坦。郭慕孙招收学生有一个硬性要求：必须懂英语。“不要俄语考生，要看最新的科研动态，必须读英文文献。”郭慕孙说得很明确。

这对俄语是第一外语的李洪钟来说是一个巨大的挑战。

“当时我在煤化所工作，煤化所对面有个夜校，你要是愿意学英语就可以去这个夜校进修。当时有几个英国留学回来的老师教我们英语，ABC……就这样从字母开始学。”他回忆。

他晚上去夜校学英语，白天照常上班。查英文文献，

翻字典，一个词一个词地认。慢慢地，英文专业书也能看懂了，文献范围越读越宽。但他的口语始终不太行。

经过那场紧张的面试，李洪钟通过了研究生考试。郭慕孙看中了他那股钻研的劲头，他成为“文化大革命”后郭慕孙招收的第一批研究生中的一分子。

1978年研究生考试报名前，李洪钟曾为家庭和求学之间的选择陷入矛盾，甚至一度想要放弃。直到报名的最后一天，他的妻子陈淑姜亲自赶到报名点，替他拿回了报名表，他才如愿踏上求学之路。这份情他记了一辈子。

为了求学，李洪钟只能把妻儿留在太原，自己孤身一人前往北京读书。整整8年里，除了假期短暂回家，他基本上都在北京求学。3个孩子由妻子和父母照料。身为中学教师的妻子，是他最坚实的后盾。

1981年夏天，准备硕士论文答辩的李洪钟已经40岁。那一年，妻子带着3个孩子第一次来到北京过暑假，住进了他的筒子楼宿舍。二女儿李洁记得，那个夏天格外炎热，他们在院子里看书、玩耍，有时候一抬头，还能望见五层楼高的实验塔上，父亲爬上爬下做实验。

“爸爸一丝不苟地准备答辩。他站在洗手池前，对着



## 手稿

从加拿大回到中国科学院化工冶金研究所，李洪钟迎来了科研生涯的黄金期。

那是一段被“看见”的岁月。在一次实验中，当光纤显微摄像探头深入快速流化床内部，对准颗粒流动区域时，传回的一组清晰影像让李洪钟的心跳几乎停摆。那些转瞬即逝的颗粒聚团和稀密两相结构，终于在镜头下无处遁形。他反复确认设备参数，回放画面，一遍又一遍。困扰流态化领域近半个世纪的科学谜题，终于被“看见”了。

早在20世纪40年代，郭慕孙就大胆预言，气固体系中必然存在颗粒聚团与气泡共存的不均匀结构。但受限于技术，这一理论始终停留在数学推导层面，没有人能真正看见它。直到1991年，基于这组实验影像，李洪钟与郭慕孙等学者合作撰写的论文在《粉末技术》(Powder Technology)上发表，引发全球学界高度关注，引用达上百次。这不仅为经典理论补上了缺失的实证拼图，也让中国学者在这一前沿领域有了自己的声音。1999年，这项成果荣获中国科学院自然科学奖一等奖。

“看见”期待已久的微观结构，靠的是几十年的积累。这份积累，要从他刚到北京读硕士时算起。

那年他37岁。一个37岁的硕士生，面对的是一张空白的图纸。

结束基础课程后，李洪钟正式走进实验室，迎接他的第一个任务是“锥形移动床溢流管的研究”。他投身的流态化领域，简单说，就是利用气流让固体颗粒像沸腾的液体一样翻滚混合。在复杂的工业化流化床中，过多的气泡会严重影响反应效率，如何有效打碎这些气泡成了摆在面前的难题。为此，他构思并设计了多种形式的挡板——网状、百叶窗式、多旋斜片式，一遍又一遍地搭建实验装置、拍摄记录照片、精准测量数据，在反复的试错中寻找最优解。

所有的图纸都只能依靠双手绘制。丁字尺、三角板、圆规，再加上一支铅笔和一支墨水笔，就是他的全部工具。为了画出一张精确图纸，他常常在绘图板前一坐就是一整天，连水都顾不上喝一口。

铅笔起稿，墨水笔定稿，圆规画弧，三角板卡角。画错一笔就要整张重来。那时候没有计算机，没有CAD软件，也没



## 饺子与流态化

李洪钟说话带着浓重的山西口音。他讲流态化，用的全是老百姓听得懂的话。

“气液固三相流态化，就是煮小米粥。”他说，“锅里水开了，气泡从锅底往上冒，小米在水里翻滚、碰撞、沉浮。气、液、固三种东西混在一起，分不清谁在推谁，谁在裹谁。”

讲气固流态化，他打了个比方：“就像沙尘天气。风卷着沙粒，一层推着一层，沙粒在半空中打着旋，忽上忽下，走走停停。”

打谷场上的风车又是另一种情形。谷子从上面倒下去，风从侧面吹过来，谷穗轻，被吹得老远，谷粒重，直直地落下来。重的落，轻的飞，各走各的路。

液固流态化，他认为是搅拌均匀洗米。“水哗哗地转，米粒跟着一块儿转，米糠浮在上面，米粒沉在底下，搅一搅，浑水倒出去，干净的米留下来。”

这些生动的比喻不是他为了讲课时想出来的。它们来自山西晋阳县巴洲村，那是他出生的小村子。

1941年1月，李洪钟出生在那里。父亲常年在外，秘密从事抗日工作，家里只剩下母亲一个人，拉扯5个孩子。一年到头，一家人吃的是白萝卜和大南瓜。白面是奢侈品，只有过年才能吃上一顿饺子。饺子在那个年代的山西农村，是一年中最大的盼头。

后来他离开了村子，读大学、做研究。但那个只有过年才能吃上白面饺子的童年印记，一直留在他心中。“饺子是我最长做的面食，也是我最爱吃的东西。”他说，“煮饺子和煮小米粥一样，也是气液固三相流态化。蒸汽就是气体，开水就是液体，饺子就是固体。”

在他眼里，锅里翻滚的饺子和工业装置里翻滚的颗粒，本质上是一回事。他不需要显微镜、模型和公式，只凭一锅

有一键撤销。一张图纸就是一个人一天的全部劳动。

经过反复比对与验证，他最终选定了“百叶窗多旋挡板”方案，实验效果十分出色。

坚持用笔推导公式与计算的习惯，李洪钟保持了一辈子。即便后来计算机普及了，他依然重视“手头的功夫”。在他看来，这才是真正理解问题的过程。

学生侯宝林记得，读博期间，正当他迷茫于研究方向时，李洪钟交给他几份计算手稿。那几页纸上密密麻麻地写满了公式，推导的过程清晰得如同一条铺好的路，每一步都标得明明白白。正是从这些手稿的推导过程中，他深入理解了背后的原理，并顺着老师的思路继续深耕。“这几份手稿让我真正学会了怎么做科研。”侯宝林说。

毕业后，侯宝林到中国科学院大连化学物理研究所工作，也沿袭了李洪钟的习惯，坚持用笔推导公式与计算。他经常将草稿整理成册，放在办公室抽屉里，每当程序调不通时，便拿出来翻看琢磨。

中国科学院过程工程研究所研究员谢朝晖至今珍藏着李洪钟当年为云南砚山锰矿还原炉计算的手稿。那是一套完整的手工计算，从参数设定到公式推导，从边界条件到最终结果，每一页都工工整整。“这套计算方法成了我日后其他工程设计中一直沿用的模板。”谢朝晖说。

把复杂现象理论化、模型化是李洪钟的绝活。在学者们看来，唯有将观察到的现象提炼为数学模型，才能为工程放大提供坚实的理论支撑。针对工业移动床中气体和固体颗粒流动常如“堵车”般不稳定的难题，他大胆借用研究固体堆积的“散料力学”来解决气流流动问题，成功建立了移动床气固两相流理论，让原本靠经验摸索的操作变成了可精确计算的科学。

针对传统流化床里气固混合常像“煮粥结块”般不均匀的问题，他通过巧妙设计颗粒、流体和反应器内部结构，大幅提升了传质速度。随着研究的深入，他利用计算机模拟与实验相结合，破解了反应器内部的黑箱谜题，为化工过程的优化调控提供了理论支撑。

李洪钟深信，只有一笔一笔地画过，一步一步地算过，脑子里思考过的这些图纸或者公式才会慢慢接近真理，最终在生产线上被验证。

开水、一盘饺子，就能把一门学科讲清楚。

他经常请节假日没回家的学生到家里来，自己动手包饺子给他们吃。山西人包饺子，馅儿要剁得细，面要揉得匀，皮要擀得圆。他包饺子的时候不说话，低着头，一个一个地捏，捏出来的饺子整整齐齐，疏密有致地待在盖帘上。

学生吕雪松读博的第一个春节没有回家，和课题组其他成员一起到李洪钟家里做客。“没想到李老師亲自准备了饺子，这份热腾腾的饺子抚慰了身为远方学子的我。”吕雪松说。

谢朝晖的孩子放学后常到研究所写作业，每次碰到李洪钟，李洪钟都会跟孩子打招呼，摸摸孩子的头。后来孩子长大了，还在问：“李爷爷在上班吗？”

“李老師从来不对学生发脾气，相处起来毫无距离感。”李洪钟的第一位博士生洪若瑜回忆。李洪钟曾在所里担任书记，一边处理繁杂的行政事务，一边做科研，从没见过他手忙脚乱过。课题组的气氛一直是轻松的。大家跟他相处，没有仰视的感觉。他就是那个说话带口音、爱包饺子、下班骑二八大杠的山西人。

但在学术上，这个温和的人有另一面。他对数据的真实性要求极高，对理论的推导逻辑锱铢必较，绝不允许半点马虎与敷衍。

侯宝林写第一篇英文论文时，交上初稿后，李洪钟很快提出了修改意见。“我花了半天时间，匆匆改完又交了回去。”他回忆。李洪钟看出了他的敷衍，没有发火，只是温和地提醒：“你这改得也太快了，回去再好好改改。”

侯宝林回去反复琢磨了一星期，才交上第二版。李洪钟逐字逐句修改了一遍。等稿子回到侯宝林手上时，看到上面密密麻麻全是批注，他的脸上一下子上火了。导师对学术近乎苛刻的认真，全在那几张纸上。

那面小镜子一遍又一遍反复练习，由我在旁边帮他掐秒表，确保在规定时间内讲完内容，并提前预演如何解答可能被问到的问题。”李洁回忆。

凭借扎实的研究成果，他顺利通过了硕士论文答辩。

硕士毕业那年，李洪钟面前摆着两条路。一条是回山西，当时煤化所的领导很希望他回去，那里有妻子、有3个正在成长的孩子；另一条路，是要不要继续读博士。

李洪钟犹豫了。最后，他选择在在职攻读博士学位。这样一来，他既有回煤化所工作的基础，又能继续做研究。

这条路，一走又是好几年。1986年博士毕业后，为了开阔学术眼界，李洪钟在郭慕孙的推荐下，到加拿大不列颠哥伦比亚大学从事博士后研究，合作导师J.R.Grace教授同样是流态化领域的顶尖学者，比李洪钟还小几岁。

初到温哥华，李洪钟参加小组讨论会时，因为担心口语不好，一直不敢开口。面对比自己小几岁的导师，这个“老学生”还有些尴尬。但他知道躲不过去，开始逼自己会前把要说的内容写下来背熟，硬着头皮说。慢慢地，他敢说了。Grace也温和地鼓励他：“你慢慢学，慢慢讲，我来帮你。”

Grace看重的是他从郭慕孙那里学到的移动床气固两相流理论，希望用这一理论解决长期困扰工程界的难题。李洪钟没有辜负Grace的期望，他帮助Grace解决了固体颗粒稳定输送和尾气净化炉堵这两个长期困扰工程界的难题。



2024年1月，李洪钟在过程工程所举办的主题党日活动中发言。



2010年，李洪钟（左二）等在四川攀枝花考察。



1987年，李洪钟（后排右三）在加拿大进行博士后研究时与导师Grace（后排右一）及同事们合影。



1981年，李洪钟（前排左）硕士毕业时和导师郭慕孙（前排右）一起去参加毕业典礼。

过程工程所供图



## 堆满阳台的书

李洪钟的时间一直比别人紧。

37岁读研，40岁硕士答辩，45岁博士毕业。今天，许多学者在这个年纪早已功成名就，他才刚刚起步。等到真正进入科研的黄金期，他已经过了50岁。他的人生里，时间从来都是稀缺的。所以他把生活压到了最简。骑一辆老旧的自行车上下班，一双鞋不穿烂不换，身上的衣服大多是灰色或蓝色的，朴素得不能再朴素。与李洪钟共事20多年的老同事刘淑娟说，一年到头，他就那么几身衣服。

不是没有条件讲究，是他不想在别的事情上花时间。有时间要做更重要的事。2010年前后，李洪钟搬家。几名学生跟着去帮忙，进门感觉穿越回了20世纪80年代，已经用了20多年的电视机、收音机、电冰箱还是从加拿大背回来的。屋里还有北方人家一般放在炕上用来装衣服和被子的旧纸箱。

堆满整个阳台的书籍多得要用麻袋来装。泛黄卷边的专业文献、密密麻麻写满批注的外文原著，几乎占据了屋子里所有能利用的空间。那些书是他这辈子最“值钱”的家当。

李洪钟没买过什么值钱的东西。那两年，他在国外省吃俭用，把能省下的工资都寄回了家。1978年，他离开太原的家，一个人去北京读书。1986年，博士毕业，全家才搬到北京。短暂团聚后，他又去了加拿大。直到1988年回国，一家人整整花了10年，才终于再次团聚。

虽然陪伴孩子的时间少，但儿子李琛眼中的李洪钟，是一位慈爱的父亲。“只要他抽得出时间，就带我们去游泳。去游泳的路上，他常常给我们讲各种故事，连蜻蜓翅膀的构造、性能等科学知识，都能讲得生动有趣。”李琛说。

把工资都交给妻子，把时间花在书和公式上，李洪钟把自己留在了最简单的生活里。

2000年夏天起，李洪钟与郭慕孙一起，将多年的理论成果与工程经验进行了系统梳理，主编了316万字的巨著《流态化手册》。这是国内该专业领域的第一部综合性工具书，前后历时8年。2008年，凝聚了众多流态化科技工作者心血的《流态化手册》正式出版，被业内视为流态化技术领域的一部宝典。此时李洪钟已经年过六旬。

他亲笔手写完成手册中的公式，之后再录入电脑并反复校对。“搞得我头发都白了。”李洪钟坦言，“现在想起来都觉得不容易。”那些公式旁人或许会觉得枯燥，他反而越搞越有兴趣。他并不把这当成一项科研任务，而是想给后人留下一份用得上的宝贵遗产。

“不管了，这辈子没白活。”他带着一口浓重的山西口音说。这些厚积薄发的卓越贡献，让他在2005年当选为中国科学院院士。当选院士后，面对纷至沓来的各种兼职邀请，他大多婉拒了。他更愿意把时间留给科研，就像过去几十年一样。

那些书和公式则走进了全国各地的工业项目。在四川攀枝花，针对钒钛磁铁矿因颗粒细导致颗粒聚团的难题，他带领团队深入一线，通过设计多层百叶窗和水平挡板，有效增加了气固接触面积，成功解决了除杂难题。

在云南文山曲曲，10万吨级低品位难选铁矿磁化焙烧生产线上，时任项目负责人的朱庆山每天打电话向他请教工程细节。“一打就是一个多小时。那时候手机还是2G的，漫游费太贵了，最后我不得不专门换了一个手机号。”朱庆山回忆。最终，这条生产线将铁回收率提升至93%~95%，为后来鞍钢大规模产业化应用奠定了技术基础。

面对流化床设备中常见的测压管积灰问题，谢朝晖有一套独特的解决方法。每次问题迎刃而解后，工厂的同志们都会对他竖起大拇指。“其实我没告诉他们，这都是我多次请教李老师的收获，我的背后有高人。”谢朝晖有点“暗爽”。

李洪钟还指导开发了软锰矿低温高效流态化还原技术，解决了国内电解锰行业的原料短缺痛点。



## 原子弹

李洪钟的少年时代，有过一个没能实现的梦。

1960年，高中毕业的李洪钟成绩单上几乎全是优，正面临着人生第一次重大的志愿抉择。彼时的新中国百废待兴，“向科学进军”的号召响彻大江南北，“原子能的和平利用”被列为国家紧急措施与重点任务。钱学森、钱三强等老一辈科学家的事迹广为流传，深深激荡着青年的心。

“原子弹爆炸很响，心里感到很振奋，我迷上了原子弹。”回忆起那段岁月，李洪钟的眼神依然明亮。他还清晰地记得少年时看过的一张宣传画：一个戴着红领巾的小孩，手上托着一个原子模型，电子在轨道上飞速旋转。“我就觉得那是高科技，是国家的脊梁骨。”

然而，命运的轨迹并未让他如愿。满心期盼着投身原子能事业的他，因为政审问题，最终收到的却是太原工学院（现太原理工大学）基础理论系高分子化学专业的录取通知书。李洪钟安慰自己：“服从分配吧，这就是命运的安排。”

第二次服从分配，是在他本科毕业时。1965年，李洪钟原本计划继续考研深造，目标是天津大学化工系。“我当时学习好，老师、父母亲都鼓励我考。”他回忆，可复试时因体检不合格而未被录取。

落榜的消息传来时，他并没有太多时间沮丧。临近毕业，他就被分配到煤化所完成毕业论文，师从留苏归国的研究员杨贵林。他的课题是顺丁橡胶攻关会战中“丁烯氧化脱氢制丁二烯流化床反应器”的基础研究部分。

“我们那个年代，国家的需要就是个人的志愿，必须服从国家的分配。”李洪钟说，这项在实验室里进行的基础研究，后来成了整个攻关会战中反应器设计的关键一环。凭借在这个课题上的出色表现，李洪钟被煤化所择优录取，从此走进了中国科学院。

他从头至尾参与了双流化床反应器的研究与开发，并和同事们在辽宁锦州石油六厂的中试基地前后待了大半年时间。几十号人挤在招待所的大通铺上，翻身都会碰到“邻居”。食堂里的高粱米饭嚼起来发酸，但没人抱怨——大家心里憋着一股劲，要把顺丁橡胶做出来，解决这个“卡脖子”问题。

这种不怕苦、不服输的劲头，从此融进了他的骨子里，支撑着他攻克一个个难关。

1975年，我国第一套万吨级顺丁橡胶工业化生产装置实现长周期运转，终于打破了国外在合成橡胶领域的技术封锁。

“如果没干现在这行，您会做什么？”

“说不定搞了核物理，在罗布泊已经死了。”80多岁的李洪钟笑意盎然，用半开玩笑的语气回答《中国科学报》记者的提问。半个多世纪过去了，他脱口而出的，仍然是少年时那个愿意把命搭进去的梦。

李洪钟的人生并没有实现少年时的梦想，还因为“分配”不止一次地改写命运，他总是比别人晚了不少。

但他不觉得那是遗憾，也不把时间花在年龄焦虑上，而是一直在走，在看不见尽头的路上，不断攀登。

