

成果浩海上,育苗青天下 ——中国科学院院士吴浩青

余爱水

(复旦大学化学系,上海 200433)

在吴浩青院士家的会客室墙上,挂着一幅著名书法家胡铁生先生写的贺匾:“成果浩海上,育苗青天下”。这句藏头诗言简意赅地概括了吴浩青教授在科研和教学方面所取得的累累硕果,是吴先生科研和教学生涯的真实写照。

吴浩青院士是中国电化学的开拓者之一,中国的“锂离子电池之父”。吴浩青先生1935年毕业于浙江大学化学系,先后任教于浙江大学、太仓师范、湖南蓝田师范学院、沪江大学和复旦大学。1980年当选为中国科学院化学学部委员(中国科学院院士)。1989年任第五届国际锂电池会议科学顾问委员会委员,厦门大学固体表面物理化学国家重点实验室学术委员会委员。1978年当选为中国化学会第二十届、二十一届理事会常务理事、理事。1990年当选为第二十三届理事会理事。吴浩青院士从事电化学研究与教学60余年,科研成果丰硕,获得过国家、上海市、教育部等多项奖励。在他的研究项目中,有多项国家发明专利,已发表论文80余篇,合著《电化学动力学》。除了在科研方面的辉煌成就,吴浩青院士还是一位成功的化学教育家。60余年来,他没有离开过大学的讲台,培养了近50名硕士、博士和博士后,其中不少人现在已经成为教授、总工程师、研究所所长、系主任,有3位还是中国科学院院士。

树立信心 科学救国

吴浩青先生1914年出生在宜兴县丁山镇的一个小村庄里。村子里有条又长又宽的大河,河水清澈透明,河边绿树荫荫,是一个风景秀丽的地方。但是当时旧中国世态炎凉充斥了所有的地方,也包括这个平静不起眼的村庄。吴先生的父亲是一个私塾先生,虽然身体一直不好,可是为了养家也只能抱病教书。他4岁时跟随父亲去私塾认字,可是没多

久父亲因病撒手人寰,留下了年幼的吴先生以及他的姐姐和母亲。这个本来就拮据的家庭,一下子显得更加捉襟见肘。穷困的家庭加上父亲的去世,使这一家三口处处矮人三分。吴先生的母亲虽然是个不识字的家庭妇女,但秉性好强,立志即使典田卖地也要把吴先生培养成人,并且处处告诫吴先生,要为自己争气,要为父母争气。

吴先生7岁时被送到城里接受更好的教育,寄住在姨母家,上的是姨夫教书的小学,直到读完了初小,再回到家乡的东坡小学读书直到高小毕业,考入了宜兴县中。为了能让母亲少吃苦,省下一年的支出和学费,吴先生参加了入学前招考插班生,顺利地考取了二年级。在宜兴县中读书的多数都是城里的富家子弟,吴先生在学校备受嘲讽和冷落,“乡下人”成了大家对他的称呼。自小生活在欺辱中的吴先生有很强的自尊,面对同学们的冷嘲热讽,这种长期被凌辱的压抑成为了他奋发向上的动力。这种源于内心的潜在力量使吴先生在学习上付出了别人无法想象的努力,第一次的月考,他以优异的成绩得到了大家的认可,并且和其他几个一起被称作“乡下人”的同学联合起来向富家子弟提出抗议。就这样,学业上的出类拔萃加上同学之间的团结最终使那些势利的富家子弟折服。

如果说这次“乡下人”的幼稚胜利给吴先生刻下了一个朦胧的烙印,那就是“只有真才实学才能取得胜利”。而接下来双十节在宜兴县发生的农民起义更让这个自尊心很强,有抱负的年轻人确信了这一点。在那个动乱的年代,农民起义逮捕民愤极大的地主豪绅,这是一件大快人心的事情,而领导农民起义的就是共产党。吴先生深刻地明白了,共产党就是凭借自己真刀真枪的本领打败了土豪劣绅。那么,要想不被人歧视、出人头地,就必须扎实

地学真本事。也就是这个理念,伴随了吴先生踏过了以后人生中一道又一道的沟壑。

因为吴先生就读的宜兴县中出现了好几个领导这次农民起义的共产党员,学校被反动派封了。吴先生转入私立精一中继续读二年级。当时该学校有规定,初中二年级读完的学生如果成绩优异,可以发肄业证书。就这样,吴先生凭借优异的成绩再一次跳级,直接升入苏州中学高中部读书。这个初中只读了一年,就考上了名牌高中的 14 岁孩子得到了周围邻里的赞扬和青睐。年纪轻轻的他,已凸显了超出同龄孩子的冷静和睿智。他没有被一时的成功和赞扬冲昏头脑,反而却更加清醒地认识到自己接下来的路该如何走。他深刻地明白,成功不是用赞赏和微笑编成的花环,而应该用毅力和汗水连成的珠串,而且只属于那些乐于探索不断进取的人。因此,当跨进苏州中学校门之前,他就暗下决心,要用毅力和汗水换取真才实学,要不断充实自己。

苏州中学是一个人才济济的学校。来到这里,吴先生才知道山外有山,楼外有楼。为了让自己不在这人才辈出的学校被忽略和遗忘,吴先生抓紧一切时间用来学习,顽强拼搏和奋斗。对家境不好的吴先生而言,这次读书机会实属不易,因此他十分珍惜。每天晨曦微露,在校园的树荫曲径处,某个僻静的角落,就可以看见吴先生埋头读书的身影。晚上自习结束后,在路灯下或者厕所里,也能看见他借着微弱的灯光继续温习白天的功课。时间推移,日复一日,吴先生用自己的努力克服了因只读过一年初中所造成的基础浅薄的困难,到二年级时他的成绩已名列前茅。

苏州中学毕业后,吴先生顺利地考入了浙江大学。这个困难的家庭却再次承载不起大学费用。吴先生承蒙高年级同乡缪纪生学长的资助,填补不足。到大学四年级的时候,又得到周厚复老师的帮助,兼任部分助教的工作,半工半读,终于完成了学业。逆境培养人的潜能,求学的过程充满艰辛,条件艰苦,且负债累累,但是吴先生得到的始终是成绩单上令所有人信服和赞叹的优秀。

在心酸和眼泪中完成学业的吴浩青院士正值赶上内有军阀混战,外受列强欺凌的危急时刻。腐败无能的旧中国政府也使这个民族面临山河破碎,同胞受辱的境况。强烈的爱国思想使他萌生了“科学救国”的理念。就如同孩提时母亲教导他,为自己争气,为父母争气一样。只是这次,吴先生鼓起了踏

上漫长的攀登科学高峰的勇气,为国家争气,为民族争气。

潜心科研 硕果累累

1935 年,吴先生浙江大学化学系毕业,获得了理学学士学位后留校任教。1944 年,在《美国化学学会会志》上发表论文“芳香氨基醛及酮的合成”,显露了他在科研方面的才华。1952 年,我国高等院校院系调整后,吴先生任复旦大学化学系副教授。1957 年 12 月,吴先生加入中国共产党,1961 年任复旦大学化学系教授,并兼系主任。在此期间推动了复旦大学化学系的发展。先生自觉地运用唯物辩证法指导自己的教学和科研工作,他有着强烈的责任感和事业心,急国家所急,想国家所想,做的很多科研项目都是当时国家经济建设所急需的,并都做出了成果。

1957 年,他筹建了研究双电层结构、电极表面性质的实验室,建立了测量双电层电容、表面吸附、交流阻抗的方法和实验系统。这是我国高等院校第一个电化学实验室,成为我国电化学研究和培养人才的重要基地。1965 年,建立起用方波测量电池内阻的方法;1977 年,对桥臂在 10 k Ω 的交流电桥提高测量低电导电解液的灵敏度又作了改进,为测量凝胶电解质电池的内阻、测量离子交换膜的电阻和有机溶剂、无机电解质溶液的电导率提供了有效的实验方法和手段。从此以后吴先生在该领域数十年如一日的潜心科研,取得了很大的成就,也为祖国做出了许多重大贡献。

铟是我国四大丰产元素之一,但我国对铟的开发利用工作比较薄弱。1957 年,吴浩青选定这一对我国国民经济发展直接相关的课题,对元素铟的电化学性质开展了系统的研究。首先,他确定了铟的零电荷电势。在此之前,国际上没有明确的统一说法。苏联学者 P. M. Васенин 和 E. A. Укин 曾分别用不同的半经验公式计算铟的零电荷电势值,得 -0.77 V 和 +0.38 V。B. H. кабанов 曾报道其近似值为 0.0 V。吴先生认为以上的数据很不一致,且缺乏足够的实验基础。他设计了实验,采用灵敏度较高的交流电桥法测量电容值,根据铟电极对有机中性分子的吸附特征以及不同交流电频率下测绘的电容-电势曲线,进一步确定了铟的零电荷电势值为 0.19 ± 0.02 V,这一结果于 1963 年发表在《化学学报》上,得到世界的公认,并载入国外电化学专著。在此之后,吴先生又继续系统地研究了铟的电化学行为,如铟在阴极极化过程的电位突跃,铟在



酸、碱溶液中的极化行为等。这些研究促进了我国丰产元素锑的开发利用。

1965年,上海长宁蓄电池厂研制储备电池,委托吴先生研究氟硅酸的电导率与百分浓度的关系。当时有人认为这是无名无利的课题,吴先生不顾工作繁忙,毫不犹豫地承担下来,亲自动手,夜以继日,在短时间内就完成了这一课题,为储备电池的生产提供了数据。现在生产上采用的仍是他当年提供的最高电导率的溶液。

吴浩青先生在“文革”之初曾接受了委托研制“海水电化学引信”的任务,于70年代初完成。此后,因为“文革”研究中断,“文革”后新宇电源研究所接受到同样任务,吴浩青课题组就把海水电池的设计、制作方法及性能测试数据等原始报告全部交给该所,1992年该所的定型产品“海水电池”就是根据吴先生课题组的这份报告稍改进而成的,现已用于海军装备,为我国的国防现代化作出了贡献。

1976年,在国家“768”工程——数字地震倾斜仪传感器的研制项目中,吴浩青承担了传感器电解液的研制任务。当时,正值“文化大革命”,国外又对我国封锁保密有关资料,工作条件十分困难。吴先生运用他多年电化学研究的丰富经验和深厚的理论知识学养,经过两年多的研究,出色地完成了数字地震仪中导电液的研制任务。该倾斜仪在上海能测到固体潮和墨西哥、菲律宾等地发生的地震波,准确地测出了1978年12月6日22点日本北海7.4级地震,1978年12月23日19点23分台湾东海面7.4级地震,1979年3月14日19点6分墨西哥南部海面8.3级地震,1979年3月15日20点52分我国云南与缅甸交界处6.8级地震。最终这一发明获得了1983年上海市优秀新产品奖。

1978-1980年,吴先生又完成了飞行平台上用的电导液的研究,满足了使用单位的要求。这一成果获得1980年国防科委科技成果奖。

自从进入信息时代,几乎人人都有一部或两部手机随身携带,给我们带来如此快捷方便的手机电池的理论基础正是吴先生提出的嵌入反应机理。1980年后,吴浩青先生已进入古稀之年,但他老当益壮,坚持从事锂固体电解质、高能电源锂电池及其放电机理的研究,首次提出了高能电源锂电池的嵌入反应机理,受到国内外电化学界的关注。锂-氧化铜电池虽已生产多年,70年代中期以来,文献中也有关于这种电池体系的研究,但对其反应机理尚缺乏详细深入的研究,且存在着一些互相矛盾的说法,如Lehmann和松田等人均从传统氧化还原反应出发,认为反应产物中存在 Li_2O 、 Cu_2O 和 Cu ,而Fournie等人则认为是插入反应,产物中无 Cu_2O 生成。而且大部分人都未做过多方面的实验考查。吴先生及其合作者用X射线衍射分析、电子自旋共振、X射线光电子能谱等近代物理方法和循环伏安法等电化学方法广泛研究了该电池的反应机理,否定了前人的观点,确认阴极反应是锂在氧化铜中的嵌入反应(Intercalation Reaction),在一定嵌入度后 $\text{Cu}-\text{O}$ 键断裂而析出金属铜。这一与前人完全不同的观点在1984年发表后,受到国内外同行的重视。1985年、1986年,捷克科学院海洛夫斯基(Heyrovsky)物理化学和电化学研究所的P.诺瓦克(Novak)曾在国际电化学学会会志上,连续发表了两篇论文,进一步验证了嵌入反应机理的正确性。“锂电池嵌入反应机理”这一成果,获得国家教委科学技术进步奖二等奖。

从上个世纪90年代开始,吴浩青院士的实验室就和电池公司合作研究锂离子电池的新材料,90多岁高龄的吴浩青院士宝刀未老,仍坚持亲自动手进行科学实验,带领他的一批学生们对固态离子学、嵌入反应进行深入的研究;值得提到的是,吴先生近年来在嵌入反应的研究中又获得新的进展,开发出新的功能材料,已用于全固态锂二次电池的研制,并投入小批量生产。

教书育人 乐在其中

除了在科研方面的辉煌成就,吴浩青院士还是一位成功的化学教育家。对吴先生来说,与学生为伴,以实验为乐,这是他的乐趣所在,甚至可以用“热爱”两字。吴先生回忆走过的路,是有方向、有意识地前进的,没有彷徨,没有矛盾。是的,如果让

他再次选择的话,他仍会做老师。

爱上这一行,可能是受父亲的影响。父亲是旧式学堂里的私塾先生,虽在他 4 岁的时候就病故了,但幼小的心灵留下了父亲苦读诗书的背影和今后一切要靠自己的决心。泪眼婆娑中,朦朦胧胧就立下大志长大以后要成为一名大学教授。所以当吴浩青院士从浙江大学顺利毕业后,有三家单位要他去就职:一是防空学校的化学教官,二是扬州中学教员,另一个就是留在浙江大学做助教。就待遇讲,前两个工作的待遇高于助教一倍多,当时吴先生急需把读书时借的钱还清,按理说,他应该选择薪水丰厚的单位,但他却出人意料地选择了浙江大学的助教。吴浩青院士说道“当时,钱对我来说是多么的需要!因为要还债,但毕竟非我孜孜以求的初衷。自从懂事起我就立志要做一位大学教授,一面教书,一面从事研究工作,为国家做点有益的事,何等快乐!这是我所追求的生活。虽然三个工作都能传授我所学知识,但前两个只能完成我一半愿望,缺少继续研究的条件,而助教工作可满足我毕生的抱负:既育人又做学问,所以我毅然放弃待遇较高的工作机会,而选择助教。”吴先生从小就有一种国家和民族的责任感和使命感,立志成为一名有成就的大学教授,为国家培养有用的人才,他虽然需要钱,但他把做人和做学问看得更重要,这就是吴浩青院士年轻的时候就表现出来的对名利的淡泊以及平静达观的心态。

吴浩青院士在浙江大学任教时,抗日战争爆发了,内地不断沦陷,杭州眼看着被日军占领,浙江大学南迁至江西,日军又步步逼进,浙江大学又不得不迁至广西宜山。吴先生为了赶到母校报到,步行 100 多里,走了十几天山路,才赶到学校,可是日军时不时在学校附近投下炸弹,一些校舍被炸毁了,他们不得不把教室搬到寺院里,学生们则寄居到老乡家里。尽管如此,吴先生和同事们没有丝毫懈怠,坚守教书育人及科研的岗位。

吴浩青院士是在 1952 年院系调整来到复旦大学的。他目睹祖国蒸蒸日上,人民安居乐业,教育事业和科学事业受到党和国家的高度重视,感到为国为民贡献自己才学的时机到了。他对工作认真负责,不断探索,改进教学方法,反复推敲物理化学中的每个概念,把抽象的概念讲得生动活泼,透彻易懂。他对学生学习的课程也非常关心,他一直觉得对于学化学的学生来说,数理基础很重要,所以一直坚持在系里开设数学和物理课程。1978 年,吴先生去英国参加国际光化学会议时,了解到英国的统

计热力学教材已有较大更新,回国后遂为研究生开设了统计热力学课程。他主张理科学生既要有雄厚的基础理论知识,又必须有扎实的科学实验能力。因此,他十分强调培养学生的实验能力,高度重视实验室建设。平时他非常珍惜学习和工作的时间,不论教学或行政工作多忙,总是挤时间进行科研。即使在抗战期间也从未间断过。甚至在“文化大革命”时期,他的实验室被破坏,在“牛棚”里的吴先生仍然在规划未来。

吴浩青院士曾说道“凭着我毕生抱负的动力,我深感自己责任重大,希望一代代青年学生能青出于蓝而胜于蓝。因此,我将全部精力都扑在教学工作上。”他常常对学生说“世界是你们的,也是我们的,但归根结底是你们的”。到现在吴先生已经和复旦大学一起走过了半个多世纪的风雨历程,结下了血浓于水的情感,多少年了,复旦大学的菁菁校园越变越漂亮,吴先生两点一线的生活也越来越充实。看着校园里经常变换的年轻面孔,吴先生也深感教书的快乐与责任。他能把物理化学这一门很多学生相当畏惧的课程教得深入浅出,他的课包容了优雅的风格和节奏,能清晰地描述科学世界人类所面临的多种复杂的问题,内容总是详尽而生动。他对学生的要求也很严格。一件广为流传的故事就是曾经有一个学生,考试的时候,吴先生给他评了 59.8 分,不及格,让他再补考。可能有的人会认为这样严格不近情理,但吴先生说,“几十年来,我对学生都严格要求,真正关爱学生必须严格要求,让他们成才”。

吴先生的教学风格是注重数理,简练严谨。上课的板书也是非常清晰,学生一直都很喜欢他的讲课方式。范康年教授对吴先生于教学工作的关心印象深刻。“吴先生很关心学校的教学质量,他会经常来跟我讨论,比如说我们的学生,教学应该上上哪些课。我特别印象深的是,他对数学跟物理很重视,他认为化学系的学生,数理很重要,如果没有足够的数理基础,他的化学发展就有困难,所以数学应该上什么,物理应该上什么,有多少学时,他都会安排得很仔细。安排好以后,过了一段时间,他会又问,现在执行得怎么样,学生效果如何”。

吴浩青院士也特别关注下一代的成长,笔者在收集关于吴先生的资料的时候,还发现了一个普通初中生和吴先生的通信。一名初中生刚开始学化学,有很多的困惑和兴趣,就写信向尊敬的吴院士请教,而吴先生并没有因为她是小孩子就不理睬,反而给了她很多关于学习化学的建议,还鼓励她打

好基础,学好各门功课,将来为祖国做贡献。吴先生还和他的学生,已故邓景发院士及邓院士的学生陆靖教授一起参与了新世纪儿童版《十万个为什么》的编写。三代科学家倾心少儿科普,他们说“知识像一颗颗果子,可是小朋友的牙齿没有长好,那怎么让他们消化呢,我们的工作就是——制造可口的果酱”。吴浩青院士有一次为孩子们写到“冲奶粉”特别强调奶粉是“分散”在水中,而不是“溶解”。他说“面向孩子的科普,那是启蒙教育,有一点点的不精确,以后再想纠正就难了”!陆靖教授也记得,吴先生在学生已经审读过的稿子上一字一字地修改。

修身养性 平常人生

吴先生虽已成就卓著,但他为人却很朴素淡泊。吴先生不要任何奢华的东西,他觉得很自然很朴素的东西,对他来说是一种享受。吴先生家里的沙发是孩子用坏了准备丢弃的,他却拣了回来,摆在自己家里。吴先生也根本没有名利的想法,他每次想的只是怎么把事情做好,对国家和人民有利,他脑子里考虑的就是这点。吴先生的儿子吴全说,“在我爸爸身上,可以看到一个传统的中国百姓的缩影,这就是重在奋斗,乐在其中,他做工作比较随遇而安,但每做一件工作都必作于细,就像做实验一样,一步一步思考着,分析着去做,这一步步的过程看来一般,但是累积起来,最后的结果却往往不一般。”

生活中的吴先生很注重自身的修身养性,他很爱花,也爱养花。自家楼下有三棵他亲手栽种的香樟树。他觉得这些植物也是有生命的东西,需要呵护和栽培。所以他一直精心栽培着这三棵香樟树,就像悉心栽培自己的学生一样。吴先生的言传身教使得学生们都为吴先生那种冤不怒,遇不喜超然物外的境界所叹服,他们真心感谢自己的导师,传给了他们专业知识,还给了他们最珍贵的人生礼物。

吴浩青先生主要论著:

1. 吴浩青,严德官. 1993. 锂在共轭双键高分子中的电化学嵌入反应: II. 锂在聚吡咯中嵌入反应的量子化学研究. 化学学报, 51:
2. Wu Haoqing. 1944. A method of synthesis for aromatic amino-aldehydes and Amino ketones. J. Am. Chem. Soc. 66:1421.
3. 吴浩青,张敏敏. 1957. 钢样在磷酸钠溶液中氯离子存在的极化曲线腐蚀曲线. 化工学报, 1:1-8.
4. 邢雪坤,史美伦,样清河,吴浩青. 1982. 在 Li/TiO_2 电池

中的嵌入反应. 化学学报, 40:201-210.

5. 陆文斌,周冬香,吴浩青. 1986. 锂-硫化铜电池及其阴极行为研究. 化学学报, 44:794-799.
6. 吴浩青,戚小鹤. 1987. 锂在共轭双键高分子中的电化学嵌入反应;锂在聚吡咯中嵌入过程的电子能谱研究. 化学学报, 45:631-635.
7. Li Yongfang, Wu Haoqing. 1987. Electrochemical intercalation reaction of lithium into sulfides of nanolayer structure: (I). Li-intercalation in PbS . Acta Chim. Sinica, 45:287-293.
8. 范玉琴,王守三,吴浩青. 1988. 一种新的快离子导体. 应用化学学报, 5:72-74.
9. Li Yongfang, Wu Haoqing. 1989. Theoretical treatment of kinetics of intercalation electrode reaction. Electrochim. Acta, 34:157-159.
10. 吴志斌,董绍俊,吴浩青. 1996. 有限线性扩散区域内 EC^+ 反应催化电流. 高等学校化学学报, 17:1714-1716.
11. Ping Liu, Haoqing Wu. 1997. Structural aspects of lithiated carbon. Synth. Met. 88:95-100.
12. Tao He, Haoqing Wu. 1999. Characterization of a new spinel Li-Cr-Mn-O for secondary lithium batteries. J. electroanal. Chem. 463:24-28.
13. Jinbao Gong, Haoqing Wu. 2000. Electrochemical intercalation of lithium species into disordered carbon prepared by heat-treatment of poly(p-phenylene) at 650°C for anode in lithium-ion battery. Electrochim. Acta, 45:1753-1762.
14. Zhanhong Yang, Haoqing Wu. 2001. The electrochemical impedance measurements of carbon nanotubes. Chem. Phys. Lett. 343:235-240.
15. Zhanhong Yang, Haoqing Wu. 2001. Electrochemical intercalation of lithium into fullerene soot. Mater. Lett., 50:108-114.
16. Xiaomei Wu, Xiangfu Zong, Qinghe Yang, Zhongkai Jin, Haoqing Wu. 2001. Electrochemical studies of substituted spinel $\text{LiAl}_x\text{Mn}_{2-k-y}\text{O}_4-z\text{F}_z$ for lithium secondary batteries. J. Fluor. Chem. 107:39-44.
17. Zhanhong Yang, Haoqing Wu, Benoit Simard. 2002. Charge-discharge characteristics of raw acid-oxidized carbon nanotubes. Electrochem. Commun. 4:574-578.
18. Weihong Liu, Haoqing Wu, Yongquan Lei, Qidong Wang. 2002. Reaction kinetics of amorphous $\text{Mg}_{50}\text{Ni}_{50}$ hydride electrode. J. Alloys Comp. 346:244-249.
19. Zhanhong Yang, Zaifeng Li, Haoqing Wu, Benoit Simard. 2003. Effects of doped copper on electrochemical performance of the raw carbon nanotubes anode. Mater. Lett., 57:3160-3166.
20. 吴浩青,李永舫. 电化学动力学. 北京:高等教育出版社.