

茅以升：文理兼通的一代科坛巨擘

朱亚宗

(国防科技大学 军政基础教育学院, 湖南 长沙 410073)

摘要：茅以升是我国著名的土木工程学家、中国科学院院士、美国工程院外籍院士。我国现代建筑史上有三项彪炳史册的伟大工程与茅以升的名字紧紧相连——钱塘江大桥、武汉长江大桥与北京人民大会堂。茅以升身为杰出科学家而兼具工匠精神；作为教育家教育思想独到，门下人才辈出；茅以升还在弘扬传统治学之道与科普创作方面作出了独特的贡献。茅以升的一生，不仅为中华大地架设了现实的大桥，也为炎黄子孙构筑了文化的桥梁，为后学跨越科技与文史之沟作出了示范。

关键词：茅以升；工程技术创新；教育改革

中图分类号：G640 **文献标志码：**A **文章编号：**1672-8874 (2022) 03-0001-11

Mao Yisheng: a Scientific Giant Knowledgeable in Both Arts and Science

ZHU Ya-zong

(College of Basic Education, National University of Defense Technology,
Changsha 410073, China)

Abstract: Mao Yisheng, a famous civil engineer in China, was an academician of the Chinese Academy of Sciences and a foreign academician of the American Academy of Engineering. There are three great projects in the history of modern architecture in China, which are closely linked to his name—Qiantang River Bridge, Wuhan Yangtze River Bridge and Beijing Great Hall of the People. As an outstanding scientist, Mao Yisheng had the spirit of craftsman while, as an educator, he had unique educational thoughts, and cultivated many talents. He also made a unique contribution in promoting the traditional way of learning and creating popular science works. He built not only real bridges but also a cultural bridge for the Chinese people, and made a role model for later generations to cross the gap between science and technology and arts.

Key words: Mao Yisheng; engineering technology innovation; education reform

茅以升（1896—1989）成长于近现代科技大规模传入、中国文理两科开始急剧分化的时代。抱着为中国人争气的襟怀，茅以升远渡重洋，赴美留学，成为卡内基理工学院（今“卡内基—梅隆大学”，下同）第一位工科博士。学成回国后，从事工程技术教育与桥梁设计建造的茅以升，创

造了中国桥梁史上的划时代奇迹——钱塘江大桥，同时为中国人民的抗日战争作出了特殊的重要贡献。在人才培养方面，茅以升的学生中群星闪耀，产生了引领世界工程技术新潮流的科技巨星。在文史研究领域与科普创作方面，茅以升赓续优秀传统文化，而能推陈出新，开辟新的路径。

茅以升无愧是中国工程技术近现代化与新中国建设的一代功臣,无愧是文理兼通的一代科坛巨擘,无愧是中国科学院院士和美国工程科学院第一位中国籍院士。综合文理两方面的贡献与学养,中国近代以来可以比肩者,数人而已。

一、科技泰斗

(一) 三大工程

中国现代建筑史上有三项彪炳史册的伟大工程与茅以升的名字紧紧相连:钱塘江大桥、武汉长江大桥与北京人民大会堂。

钱塘江大桥是中国南北和东西重要的陆路交通枢纽,其工程技术创新、工程质量、施工速度、观赏价值等都备受国内外专家的赞赏,是茅以升的成名之作,并奠定了其在中国与世界桥梁界的崇高地位。钱塘江大桥的建造也是茅以升一生的骄傲,在此后数十年间,茅以升曾多次回忆记述钱塘江大桥“建-炸-复”的曲折神奇历程。

茅以升是美国卡内基理工学院的第一个工科博士,并在匹兹堡桥梁公司积累了丰富的桥梁建设实践经验,学成归国后,即在唐山交通大学、东南大学、河海工科大学、北洋大学等校教书。1933年8月,年仅37岁的茅以升出任“钱塘江桥工委员会”主任委员,1934年又任浙江省“钱塘江桥工程处”处长。茅以升知人善任,邀请了在美国读研究生时的同学罗英等国内几位知名的桥梁工程师,并吸纳了29位刚从大学工程专业毕业的大学生参与建设。

钱塘江大桥的建造,在茅以升主持下,克服重重困难,作出了名垂天壤的重大创新。首先是设计创新。美国桥梁专家华德尔曾提出一个“单层联合桥”设计方案:“铁路之旁为公路,公路之旁为人行道,三种路面同层并列。”^{[1]483}预算费用为758万元。茅以升深入研究这一设计方案后指出:“这种设计桥孔小,桥墩多,不适合钱塘江的水文、地质条件,在桥身稳定和运输要求上都有问题,而且水上工程量太大,增加了造价。”^{[2]69}茅以升与罗英等工程技术人员经反复研究,从6个设计方案中选出最佳的“双层联合桥”方案,上层是公路,下层是铁路,预计造价仅510万元,这是中国设计的第一座双层联合桥。茅以升的设计方案还有审美上的优势:“设计中考虑美观上的要求,使全桥各部分方圆配合,色彩调和,主次分明,浑

然一体。北岸引桥背山面水,附近有六和塔胜迹,拟在桥头西侧,绿化江边,辟为钱塘公园。”^{[1]485}

其次是工程施工创新。著名气象学家与地理学家竺可桢先生曾写过《钱塘江怒潮》的文章,生动描述了钱塘江潮势的凶猛:“大潮之过礁而来者,共有两枝,一南一北。成怒潮而后此二者至钱塘江口十二里外,互相合并,势益猖狂……浪涛直立,白沫飞腾,其声如雷霆瀑布,足令闻者失色,斯诚世界之奇观也……及至临近时则其狂鸣怒号,与美国纽约州世界闻名之尼亚加拉瀑布,不相上下。”^[3]水文之外,钱塘江地质也极复杂,都对施工造成很大影响。茅以升曾回忆道:“一九三五年,正式开工后不久,迭遭各种困难。”^{[4]17-18}钱塘江大桥的主要工程是在江底石层上打木桩,在木桩上架沉箱,再在沉箱上立桥墩,然后再架钢梁。江底石层最深处在水下50米,从石层到大桥上层公路路面,相距可达71米。在工程施工中,试用了很多方法,经过多次挫折,最终创造性地运用了打木桩的“射水法”、连结木桩与桥墩的“沉箱法”、运输钢梁的“浮运法”等行之有效的办法,大大提高了工效和施工质量。

上述施工方法,未必是工程技术的原创,但都是结合钱塘江水文地质条件及工程施工水平的创造性运用,这也符合著名经济学家熊彼特关于技术创新的定义。如先用高压射水管冲破江底硬泥沙层,再用蒸汽锤打木桩的“射水法”,这一创新方法使打桩速度从每天一根增加到每天30根。“浮运法”,则是巧妙利用钱塘江潮水的力量,大桥巨大的钢梁先置于特制的木船上,乘每月大潮顶托的江流,使船上钢梁底部高过桥墩,待退潮时钢梁就可安然落于桥墩。

钱塘江桥的建设自1935年4月6日正式开工,中经茅以升所说的“造桥的八十一难”,并采用符合今日系统工程思想的“上下并进,一气呵成”的施工方案(“上下并进”指大桥基底以上各层同时或穿插施工),仅用两年五个多月时间即建成了大桥。1937年9月26日清晨4时,当第一列火车顺利驶过壮丽的钱塘江大桥时,一座中国千年桥梁史的丰碑也同时名垂天壤。四十五年后的1982年11月3日,茅以升应邀参加美国工程学会第18届年会,被遴选为美国工程院外籍院士,会议主席兼学会主席柏尔金向全会介绍茅以升时说,中国钱塘江大桥“建筑上几个难题的突破,在国际桥梁史上也是值得称颂的”^{[5]104}。

然而，战争的烽火紧接着烧到钱塘江畔。钱塘江大桥为军民与物资的撤离发挥了重大的作用，仅1937年12月22日一天，“撤退过桥的机车就有300多辆，客货汽车2000多辆”^{[4]36}。早在12月16日，茅以升就接到准备炸桥以阻挡日军进攻的命令。茅以升再次发挥自己的桥梁技术，指导有关方面不仅要炸桥的钢梁，还要同时炸桥墩。1937年12月23日下午5时，“隐约见有敌骑来到桥头，江天暮霭，象征着黑暗将临，这才断然禁止行人，开动爆炸器，一声轰然巨响，满天烟雾，这座雄跨钱塘江的大桥，就此中断”^{[4]36}。战后，茅以升又主持了钱塘江大桥的修复工作。桥梁运输技术是军事技术的重要组成部分，在钱塘江大桥“修、炸、复”的过程中，茅以升都作出了不可替代的重大贡献。可以毫不夸张地说，正如后来“两弹一星”的功勋科学家钱学森、钱三强、于敏、周光召、王淦昌、彭桓武、王大珩、郭永怀、程开甲等一样，茅以升不仅是杰出的科学技术大家，而且是卓越的军事技术专家。

钱塘江大桥还有鼓舞中国人民志气的巨大精神作用。钱学森以切身的感受说出了中国人的心声：“钱塘江大桥的建成通车证明：在工程技术领域，外国人不能独霸天下了，他们能干的，中国人也能干，茅以升先生是我的好老师，他为中国人争了气……我感谢茅以升先生给我的爱国主义教育。”^{[6]398}

新中国成立后，茅以升参加了武汉长江大桥与北京人民大会堂两项重大工程建设，均发挥了独特的重要作用。武汉长江大桥总工程师汪菊潜曾在茅以升领导下参与钱塘江大桥工程建设，而由苏联交通部代拟的武汉长江大桥的设计，“铁路与公路的安排（上下两层），‘正桥’桥墩基础（‘气压沉箱’）与上部结构（钢梁）等重要设计部分，均与钱塘江桥相似”^{[7]10-11}。1955年2月，铁道部成立了“武汉长江大桥技术顾问委员会”，委员包括27位著名桥梁、建筑与科技专家，茅以升为主任委员^{[7]10}。

1959年2月，因兴建北京人民大会堂，邀请国内建筑专家37人，结构专家18人，赴京审查鉴定设计及施工，茅以升为结构组组长，带领全组提交了修改补充报告书。茅以升回忆说：“周总理亲自审阅，一再询问大会堂的安全程度，最后指示：‘要茅以升组长签名保证’。我奉命对报告书再作一次核算，最后签名送上，然而由于责任重

大，总还不能放心，直至大会堂经过十周年国庆活动之后，安然无恙，方觉如释重负。”^{[7]11}

（二）学术建树

茅以升精于桥梁设计，长于桥梁工程实施，同时也善于桥梁基础理论的学术研究，并在桥梁二次应力理论研究方面有所建树。中年以后，茅以升还在土力学及科学管理等方面有一些深入的探索。

茅以升在唐山路矿学堂学土木工程桥梁专业时，聪慧而勤奋，门门考试名列前茅，为未来的发展打下了坚实的基础。留学美国康乃尔大学时，仅用一年时间就学完土木工程系桥梁专业研究生的全部课程，在名师贾克贝教授的指导下，完成了高质量的硕士论文《两铰上承钢桁架拱桥的设计及其二次应力研究》，这是一篇集双线铁路桥设计与桥梁力学理论研究于一体的理论联系实际的论文。“正文达500页”（16开），“附图达13张”（2号图纸），参考文献“80多个”^{[8]310-311}。茅以升的硕士论文的第8部分“二次应力”，涉及了上世纪初世界桥梁学界关注的一个中心课题——二次应力。论文写道：“这里所说的二次应力，只是指其由节点刚性使杆端所生的弯曲应力……若采用铆接桁架，将所有杆件端部各用若干铆钉铆于节点板，则因节点板在桁架平面内的巨大刚性，交汇在同一节点各杆件间的夹角在杆端处就不能改变。可是，铆接并不能够阻止上述发生于铰接桁架的变形。这样，铆接桁架的杆件就要在桁架内发生弯曲形变，由此而发生弯曲应力，它就叫二次应力。”^{[8]321}论文依据前沿的Mohr法及应用研究成果，给出了拱桁各杆两端的二次应力计算。

这篇105年以前长达500页的前沿探索性应用硕士论文以及作者刻苦勤奋的治学精神，令人感叹和惊赞。

两年以后的1919年10月，茅以升又向美国卡内基理工学院理工部报送了博士论文《桥梁桁架内的二次应力》。茅以升进入桥梁学界时，关于桥梁主应力的理论研究在当时的科技水平下已相对成熟，学界开始关注桥梁桁架结构的二次应力研究，以期桥梁设计与工程建立更扎实的理论基础。在茅以升的硕士论文之前，康乃尔大学土木工程系已有《关于桁架桥二次应力各种计算方法的对比及评述》的硕士论文，而在茅以升的博士论文以后，1922年康乃尔大学又有冯·埃波（Von Abo）的博士论文《桥梁的二次应力》问世。据西

南交通大学钱冬生教授分析,“Von Abo 的论文中……清楚地介绍了欧洲和茅先生的二次应力分析方法,并用这些方法对同一实例进行了二次应力分析,然后提出看法,其用英语对二次应力进行系统介绍,使美国工程界普遍受益”^{[8]368}。茅以升的博士论文在世界桥梁界实属承上启下的阶段性研究高峰,为桥梁界二次应力研究的成熟与完善,作出了不可磨灭的贡献,也为茅以升后来在中国桥梁与建筑界大展鸿图奠定了深厚的理论基础。

(三) 工匠精神

科学大师而兼技术工艺巨匠的复合型杰出人才,虽属难得,却也代不乏人。西方有阿基米德、达·芬奇、牛顿、法拉第、特斯拉、卢瑟福、费米等,中国有墨子、张衡、沈括、郭守敬、徐光启、李时珍、王淦昌、钱三强、袁隆平、王选等。他们在兼得科学成就与技术工艺成就的同时,也兼具科学精神与工匠精神。茅以升可以说是跻身这一行列的杰出人才,其工匠精神在中国著名科学家中尤其突出,足称科学家工匠精神的楷模。

钱塘江大桥的建造过程最集中展示了茅以升的工匠精神,其主要体现在两个方面:一是极端负责、精益求精;二是独立思考、发明创新。

极端负责、精益求精。茅以升不光在办公室和书斋里设计,还亲临施工第一线,检查施工质量,并与技术人员及工人共同解决施工难题。钱塘江大桥每个桥墩都建在打入江底基岩的160根木桩之上,这160根木桩决定着这个桥墩的牢固程度,与大桥的总体质量及使用寿命息息相关。据茅以升女儿茅玉麟记述,为保证木桩的施工质量,茅以升“对照原设计图,一墩一墩地检查,每墩160根木桩的位置他都要找到……茅以升下到沉箱底,伸手往泥沙里不停地摸索着。这时,一位工程师不安地问:‘茅先生怎么下沉箱来了?这里是水下30多米啊,你怕受不住,快上去吧!有什么事情找我们吧。’茅以升知道这里艰苦,身强力壮的人在沉箱里工作时间长了,还会头昏眼花,甚至鼻口出血。但他没有理会别人的劝阻,仍然一根根地摸着木桩,边摸边数。忽然,他觉得头晕、口渴,顿时出了满身虚汗。他懂得,这是对水下高温高压不适应的反应,如果继续留在沉箱里,会有生命危险。他没有惊动别人,手按胸口,慢慢地爬上铁梯,到气压室里休息了一会儿。当身体刚刚恢复正常,他又下到箱底接着数木桩”^{[5]59}。

独立思考、发明创新。钱塘江大桥设计有9个

桥墩,每个桥墩需打160根木桩,全桥就要打1440根木桩。开始施工时,打轻了木桩下不去,打重了断桩,每天只能打进一根。这使茅以升心急如焚,脑袋里整日思索如何应对钱塘江独特的水文地质条件,提高打桩效率。一天,茅以升从工地回到家中看望母亲,恰遇一个淘气的小男孩到家中玩耍,在向花坛浇水时把花坛冲坏了。“茅以升轻轻走到小男孩背后,看见他手拿一把铁壶,正在浇花。一条水龙向花坛猛冲过去,把花坛的泥土冲出一个小小洞洞……这个极平常的生活现象,像一颗火种,一下点燃了他智慧的火焰,使他从中获得了一个了不起的发现。茅以升……想出了一条改造打桩技术的好办法……提出‘射水法’,请工人和工程技术人员讨论。大家一致认为可行……这办法,是用一个带有大水龙带的机器,把江水抽到高处,再向江底直冲,把江底硬硬的泥沙层冲出深的洞,把木桩放到洞里,用汽锤打。改装的机器安装好了,开机一试,果然成功了。由于革新了技术,效率显著提高了,一昼夜可打桩30根。打桩的难关就这样突破了。”^{[5]57}

鉴于科学理论创新与技术工艺发明各有其道,且仅有极少数人能兼而精之,因此科学家很难在技术工艺领域做得如茅以升这样全面与精深。但是科学家掌握一定的技术工艺经验与方法,自觉深入与自己专业相关的技术工艺第一线,力争通过科学理论与技术工艺的交叉,帮助解决某些技术工艺层次的实际问题,应是科学家努力的方向。

二、教育大师

(一) 复合的成才经历

科学家的成才过程各不相同,但都必须有内在兴趣或社会责任所驱使的强大而持久的动力,再加上持之以恒的学习训练所获得的专业才华。基础科学家大多从强烈的好奇心与兴趣出发,在逐渐深入社会后许多人还会产生强烈的社会责任感,如爱因斯坦、杨振宁、钱学森等;工程科学家内在动力与社会动力的建立过程和基础科学家有些不同,通常会更早感知和建立社会责任感,而内在兴趣建立的迟早因人而异。茅以升作为工程科学家,在精神动力建立方面有卓异的表现:一是少儿时代已初步形成;二是内外动力平衡发展。

爱因斯坦小时候曾对罗盘充满好奇,而茅以

升小时候则对走马灯着迷。“茅以升七岁那年的元宵节……走马灯像磁石一样，把茅以升吸引住了……他冥思苦想走马灯之谜。父亲看见他被迷住了，就告诉他：‘是蜡烛的热气熏的。’听了父亲的话，茅以升还不满足，为了弄清原因，他去买了一只走马灯，反复吹灭和点亮里边的蜡烛，有时还多放一枝蜡烛，两枝蜡烛同时点燃，小人、小马就转得越来越快。吹灭蜡烛后，小人、小马转的速度就越来越慢，直到停止不动。”^{[5]35} 年仅7岁的幼童茅以升，已有对新鲜事物敏锐的好奇心，并有进一步深究其原因的浓厚兴趣。这是茅以升自发的科学人生的良好开端。

过了两年，九岁的茅以升仍是小学生，端午节前一天已和几个小朋友相约节日到南京秦淮河观看龙船比赛。第二天因肚痛，茅以升只能呆在家里想象秦淮河上的比赛场景。不久，小伙伴就回来诉说秦淮河上发生了重大事故：“看赛龙船的人太多，把文德桥挤塌了……桥栏杆断了还不算，有好几块桥面横板也都坍下来了……掉下去的人可多了，我们学堂就有几个同学掉进水里淹死了。”茅以升听后激动地说，“将来我长大要造桥，一定造得比文德桥好！”^{[5]37-8} 这一由工程技术引发的社会悲剧，激发年幼的茅以升早早确立了建造优质桥梁的志向。如果说茅以升早年有天赋异禀的话，其最突出的表现，与绝大多数基础科学家早年的敏感性与好奇心仅仅指向数理知识、物理现象及自然现象不同，茅以升不仅有这一方面的好奇与兴趣，而且有以工程技术造福社会的志向。这一双重的科技动力使青年茅以升的成才经历独具特色。

茅以升曾在《萍踪记略》一文中记述自己的求学经历。茅以升进入唐山路矿学堂后，“由于在土木工程各专业中，桥梁一门需要数学和物理的知识比较多，再加往年秦淮河上事故的印象，我就决定选桥梁为我的专业”^{[9]216}。材料力学、应用力学等基础课由美国康乃尔大学土木工程系毕业并获工程师资格的罗忠忱教授，按美国工程大学的教材讲解与要求学生。“唐山有很多功课，不用教科书，而是课堂上先生讲，学生做笔记，一门课听下来，做笔记时，要参考不少书，因而所学的东西，都是最新的，不受教科书的限制，我的知识，也更为广博。我因笔记做得全（5年中做过200本笔记），学习时间有计划表的控制，考试常得满分。我在唐山5年，经过无数次的考试，每次

大考发榜，都是全班第一名。”^{[9]216} 茅以升有数理天赋，加上刻苦钻研，不仅大学时代成绩出类拔萃，留美考试轻松过关，在美国康乃尔大学的注册考试成绩比美国非常优秀的学生还好，以至茅以升“得到康乃尔学位（硕士——引者）后，凡唐山毕业来康乃尔做研究生的，就不要再经过考试了”^{[9]217}。1916年9月，年仅20岁的茅以升成为美国康乃尔大学的研究生。

茅以升的导师贾克贝是世界著名桥梁工程专家，所著《结构学》等书为美国大学土木工程系普遍采用。贾克贝很器重茅以升，茅以升不负所望，一年以后（1917年）就取得硕士学位。康乃尔大学准备留用茅以升作助教，但贾克贝教授却为茅以升指出了另一条专业发展之路：“你搞桥梁光靠理论还不行，一定要有实际经验。我领导桥梁系教学，规定桥梁系硕士拿到文凭后，要去桥梁公司学习绘图、设计、金工、木工、油工等全部造桥技术。”^{[5]32} 贾克贝的指点，不仅与茅以升内心立志造桥的宏愿契合，而且也与发挥所学的数理才华不相矛盾，1917年7月，茅以升欣然进入贾克贝教授推荐的匹兹堡桥梁公司实习。

在实习中，茅以升一方面按贾克贝教授所说的学习绘图、设计、金工、木工、油工等造桥技术，与工人们一起制作桥梁构件，打铆钉，刷油漆等。茅以升在掌握桥梁工程技术实践经验的同时，“感到还需要进一步学习理论知识——桥梁力学”^{[5]34}，于是报考了卡内基理工学院桥梁系的夜校。从此，茅以升同时挑起了紧张的实习和繁重的学习两付重担。茅以升每天早晨4点起床，吃完早饭后乘车赶往桥梁公司，利用乘车、工地休息及吃饭时间学习，加上夜晚学到深夜，仅用1年多时间就修完各科学分。直到此时茅以升才辞去桥梁公司的实习工作，专攻博士论文。1919年12月，茅以升完成了30万字的《桥梁桁架内的二次应力》博士论文。贾克贝教授将此论文推荐给康乃尔大学，荣获康乃尔大学“斐蒂士”金质奖章（土木工程研究奖章，每年仅发1枚）。1920年，年仅24岁的茅以升成为卡内基理工学院第一个工学博士。

茅以升以超常的才华与勤奋所成就的，不仅是荣获金质奖章的年轻博士，而且是桥梁工程科学与工程技术交叉复合的一代卓越桥梁专家。这一深厚宽广的基础，使未来的茅以升在教育领域也能大展宏图，卓有建树。

(二) 卓异的人才培养

茅以升学成后,立即回归祖国,开始了长达30余年的教育生涯。虽然其教育方面的名声为桥梁专家盛名所掩,但茅以升本人非常重视教育和人才培养,并为自己独到的教育改革与教育思想而自豪。在1981年发表的长篇回忆录《征程六十年》中,“教育工作”部分所占篇幅最多,多于桥梁建设方面,如果加上学生时代求学的部分,关于教育方面的篇幅是“钱塘江桥”部分的一倍。

据茅以升回忆:“1919年12月,正当我在美国卡内基理工大学完成博士论文时,唐山母校罗建侯老师来信,说有一位美国教授聘满离职,邀我去顶他的缺。从此就开始了我的为期30余年(期间有间断)的教育生涯。在这方面,我曾担任的岗位和职务是:唐山交通大学教授、副主任,当时年仅24岁;南京东南大学教授、工科主任;南京河海工科大学教授、校长;天津北洋工学院教授、院长;贵州平越交通大学唐山工学院教授、院长;解放后于1949年10月任北京北方交通大学校长。”^{[1]528}

茅以升的教育实践,既有在领导岗位的教育管理,又有在第一线的教书育人,先后开设过结构力学、桥梁设计、桥梁基础、土学等课程。最初几年,每周教课时数在20节以上。茅以升在坚持做好教学工作的同时,依然不断提升和完善自己:“当时,我把这20节课程尽量安排在四天之内,这样便可腾出一两天时间,专门从事学术、科普活动,以及进行改进教学方法的研究。”^{[1]528}当代有幸进入教学、科研领域工作的年轻教师,可从茅以升学成归国后持之以恒的奋斗中,体会到大师何以成为大师的哲理。

茅以升在教学实践中,摸索出一种“通过考先生来考学生”的创新教学方法:“每次上课的前十分钟,我先指定一名学生,让他就前次学习课程提出一个疑难问题,从他所提问题的深浅,就可得知他对课程是否作过深入的钻研探讨,以及他的领会程度究竟如何。如果问题提得好,甚至使我也不能当堂解答,则给以满分。如果实在提不出问题,则由另一名学生提问,让前一学生作答。此法推行后,不但学生学业大进,而且也使我接触到许多以前从未想过的问题,受到启发,深得教学相长的益趣。”^{[1]529}茅以升在上世纪20年代,从切身实践中总结出来的以问题为导向的启发式教学方法,完全符合马克思主义的认识论,

而与西方科学哲学家从科学研究视角提出的“科学始于问题”的观点互相补证,完成教学与科研领域里一次认识论的升华。令人惊赞的是,茅以升提出教学从问题出发,比西方认识到“科学始于问题”要早十年左右。从问题出发的教学实践在教学效果方面取得了巨大的成功。茅以升回忆说:“教学方法不同,成效确实两样,犹忆我所到之校,所授之课,不但受到本系本级学生的欢迎,而且本系上一年级的学生也有来听的,往往把教室挤得满满的。我在东南大学任工科主任时,校内采用‘学分制’,学生可自由选课,选我课的有时在100人以上。著名教育家陶行知先生,当时任燕南大学教育科主任,也曾亲自带领教育科学生来听我的‘控保建筑’课。”^{[1]529}对于“通过考先生来考学生”的教学方法,陶行知先生由衷地赞叹:“这的确是个崭新的教学方法,开创了我国教育的一个先例,值得推广。”^{[2]49}除了正规的学校教学,茅以升还有结合重大工程现场培训的丰富经验。钱塘江大桥施工时,曾吸收29位工科大学毕业生,“一面在室内学习绘图设计;一面在室外学习勘测及各种施工。每一个人都有深入第一线实地训练的机会,对于整个桥工的内容,都有头尾分明的概念,并了解每一动作在理论上的‘所以然’之故。这样,就把这批人培养成为设计施工中的骨干分子”^{[1]525}。

茅以升教学实践的成果,最终完美地体现在人才培养上。由茅以升精心组建和直接训练出来的建设队伍中人才辈出。老同学罗英一直是茅以升的亲密战友与合作者,后来又在中国桥梁史研究领域有重大建树。其他杰出工程技术人才也层出不穷。茅以升在1981年的《征程六十年》一文中写道:“解放后几座大桥工程负责人曾在钱塘江桥任职的有:武汉长江大桥总工程师汪菊潜,南京长江大桥总工程师梅旻春,郑州黄河大桥总工程师赵燧章,云南长虹大桥总工程师赵守恒等。至于当年曾在杭州工作受过训练,直到今天仍在各铁路、公路桥梁工程上服务做出贡献的,为数尚不在少。”^{[1]526}

茅以升培养的人才中,还有一位在世界建筑学界、道路桥梁学界及材料学界享有盛名的科技巨星——林同炎。林同炎1911年生于福州市,1931年毕业于唐山交通大学,在大学读书期间,受到校长茅以升多方面的深刻影响,1933年入美国加利福尼亚大学伯克利分校土木工程专业深造。

学成归国后，曾长期从事铁路及桥梁的设计建设，其间曾赴杭州参观茅以升主持的钱塘江大桥修建工程。1946年，赴美国任加州大学教授。在此后数十年中，林同炎成为预应力理论及预应力混凝土研究与应用的集大成者，是开辟和引领这一工程技术新方向的科技大师。“1972年2月23日，尼加拉瓜首都马那瓜发生强烈地震，全城许多建筑变成一片废墟。仅有林同炎教授设计并采取特殊钢筋混凝土建造的18层抗震的美洲银行大厦却屹立如旧。这座建筑位于地震中心……震后许多建筑专家进行实地考察，无不为此座大厦的抗震性能而叹服。”^{[5]100}林同炎运用预应力钢索作吊索而设计的美国加州大河的弧形斜拉桥，美观而经济，荣获美国“全国建筑设计比赛”第一名。林同炎所著的《预应力混凝土工程》一书，被译成多国文字，成为世界科技名著与各国大专院校经典教材。加州大学授予林同炎“终身名誉教授”称号，并特辟“林同炎教授纪念馆”。1983年，林同炎获美国“国家科学奖”。20世纪80年代，美国土木工程学会将“预应力奖”改名为“林同炎奖”，成为世界科学文化领域里唯一以中国人命名的奖项。

林同炎虽然长期在海外，但不忘炎黄根脉。1978年回到阔别32年的祖国探亲和访问，与老师欣喜重逢。茅以升一方面祝贺学生成为杰出的炎黄子孙；一方面对林同炎说：“你的名字为同桢，何不改为‘同炎’，岂不是更有意义？因为你现身在美国，而心向祖国，炎黄子孙饮水思源，‘同炎’二字可以表达你的心，岂不更妙？”^{[5]101}林同炎当时欣然接受，立即改成现名，以志热爱祖国，不忘炎黄根脉。林同炎随即以独到的眼光，提议开发上海浦东：“把浦西、浦东地区连成一片，吸引国内外资金，发展工商企业，发展科技事业，批租土地，交流文化，使上海成为现代化的世界一流城市，成为太平洋西岸最大的经济贸易中心。”^{[5]102}这一战略提议，成为中央开发浦东重大决策的前奏。

中国现代最响亮的资深科学家名单中，除了国内的“三钱”、李四光、竺可桢、华罗庚、吴文俊、茅以升、裴文中、袁隆平、吴征镒、屠呦呦等，国外的陈省身、丘成桐、杨振宁、李政道、丁肇中等以外，至少还应加上林同炎、贝聿铭。

茅以升一生培养的杰出人才，量多面广而质优，影响巨大而深远。

（三）独到的教育思想

茅以升不仅有独特而成功的个人成才经历，而且有丰富的人才培养实践经验。同样重要的是，茅以升勤于总结，善于思考，有突破成见与习惯的革新精神，因而能提出令人耳目一新的教育思想——习而学的工程教育思想。

早在1950年4月29日，茅以升就于《光明日报》发表了《习而学的工程教育》一文，依据“从感性知识到理性知识，然后再回到感性知识，循环发展”的辩证唯物主义认识论^{[1]414}，以及自身的学习与教学经验，创造性地提出习、学交叉循环的工程教育新程序，将已经固化的大学工程教育程序——“先学后习”颠倒过来。

茅以升指出：“过去的工程教育，是先学后习的……各年级的课程中，基本性的较多，专门性的较少，为的是想求较广的基础……第三、四年级课程内，专门性的选课较多，为的是想求较专的应用……四年中理论课程多于实习课程，为的是理论重要……理论先讲，实习后做，尤其是最基本的理论，在最先讲，最专门的实习，在最后做，为的是先要头脑搞通，然后双手去做。”^{[1]409}

茅以升认为，传统工程教育方式，“本来是想造就通才的底子，慢慢训练成为专才，但只是理论上的‘通’（或仅是书本上的通）是无法达到实际上的‘专’的。实际上的专，必须以实践为基础，由此进一步地达到理论上的通。因此工程毕业生，往往是半生不熟的通才”^{[1]410-411}。

茅以升因此大胆提出革新建议：一年级新生先在造桥工地实习半年，后到桥梁工厂实习半年。二年级前半年在学校读与桥梁有直接关系的理论课程，后半年在现场实习施工方法。三年级前半年在学校读较为基本的理论课程，如工程力学、材料力学、土壤力学、水力学及电机、机械、冶金等课程，后半年，在现场实习施工、管理及设计项目。四年级全年在校学习，读基本科学知识如微积分、物理、化学、机械学、高等数学、高等力学、经济学等课程，并在实验室做材料试验、水力试验、机械及电机试验等^{[1]412-413}。

为什么要改变工程教育的课程次序？茅以升曾撰写《工程教育中的学习问题》一文申述理由，关于高等工科院校，“有一公认之点，即将各种纯粹科学，置于专门学科之前，而假定理论必先于实验……基本科学，虽蓄义精奥，必习之于先，专门课目，即显而易见，亦置之于后，此种程序

……实有背于教育之原则。盖人类求知之欲，发源于好奇之念，今先授以精深之理论，而不使知其应用之所在，则不但减少求学之兴趣，且研习理论，亦不易得明彻之了解”^{[1]427}。

茅以升的工程教育思想，比之流行的工程教育方式，更合理地处理了实践与读书的关系，既贯彻了符合辩证唯物主义认识论的“实践重于读书”的观念，又没有走向轻视乃至歧视读书的另一个极端。若比较一下中国传统教育思想家的理念，可以更深刻地体会茅以升“习而学”思想的继承性与超越性。中国古代最强调习行的教育家是明末清初思想激荡时代的哲学家和教育家颜元（颜习斋），他有一段名言是：“讲之功有限，习之功无已。唯愿主盟儒坛者……垂意于‘习’之一字，使为学为教，用力于讲读者一二，加功于习行者八九。”^[10]颜元虽然重视实践，但将讲读与习行之比定为“一二”比“八九”，则是机械的、主观的。实际的比例不可能千篇一律，必因学科、学生及环境而定。茅以升没有囿于颜元之见，而是结合工程技术教育特点，将传统教育关于“习与读”的关系进行了创造性发展。

令人遗憾的是，茅以升言之有理的工程技术教育思想及建议，因与流行的教育方式差异太大，改革牵涉的面太广，始终未能付诸实践。

20世纪60年代初，中国高等教育界发生了两位顶级大师教学理念的碰撞，双方有些观点针锋相对，虽未引发轰轰烈烈的大讨论，却涉及到人才培养中异常重要而深刻的基本问题。

1961年6月10日，《光明日报》发表了钱学森先生的文章《科学技术工作的基本训练》，文章提出高等学校里学生求学的“第一个回合”是：“要先学基础课……基础课不能混在专业课里去学，本来是两种不同性质的东西，不同味道的菜混在一起吃，辨不清什么是什么……必然顾此失彼，不能都学好。”“人们创造的过程和学校里的学习是不该混淆的。因此，什么先掌握技术后学基础理论，什么以科研带教学，以科研带实验等说法，那都是错误的。”^[11]

茅以升读了钱学森的文章后，立即撰文商榷，4天后于《光明日报》（1961年6月14日）发表《先掌握技术后学基础理论是错误的吗？》一文。茅以升认为自己多年以前在《光明日报》发表的《习而学的工程教育》得到了回应，兴奋她表示：“现在好了……下棋遇到对手，是最令人高兴

的。”^{[12]98}茅以升在该文中指出，“究竟谁是教育的基础，谁是高楼呢？到底是理论还是实践是学习的基础呢？至少应当说是互为基础，就是在实践和认识往复循环时，在这一时实践是基础，在那一时理论是基础，而不应当把基础的美名完全归之于理论。更正确地说，应当是‘理论的基础是实践，又反过来为实践服务’（《实践论》）。”^{[12]100-101}茅以升进一步指出：“如果专业未定，而先要学基础理论课，这个理论课的范围是非常难于决定的，因为不知要‘一般’到多大范围，‘共性’到何等程度。这正是‘理论上专业化’的教育制度的一个关键性问题。如果说，先把专业定下来，再学理论，那不就成为我所说的‘专业基础上理论化’的教育制度吗？我主张先学技术课后学理论课，就是‘先知其然，后知其所以然’，先习其所当习，后学其所当学。这样说来，技术课就成为基础，而理论课就是上面的高楼了。但是，理论上还有更高级的实践，第一层楼的结构，又成为第二层楼的基础，因为实践和理论是应当互为基础的。”^{[12]103-104}

对于两位顶级大师的教育理念分歧，当时没有进行广泛深入的讨论，茅以升的商榷文章也未影响两位大师之间深厚的友谊。后来偶有涉及这一事件的著作，也未对这一分歧作出分析判定^{[6]398}。因为两位大家的分歧涉及高等教育人才培养理念，这是一个中国与世界教育界值得深入探讨的问题，笔者尝试对此作一分析：

第一，两位大师都以实践论为指针，在指导思想上完全一致，但是许多具体观点却针锋相对。这表明，以辩证唯物主义思想指导实际问题研究时，最重要的一点是具体问题具体分析的能力与水平。

第二，钱学森所指出的学习路径适于基础理论专业或以理科为主的专业，这样的专业，科学理论思维与理论方法的训练，即是学生独特而主要的实践方式，而选择这样专业的学生大多有理论思维兴趣及能力。若是针对这样的专业与学生，钱学森确实可以说：“什么先掌握技术后学基础理论，什么以科研带教学，以科研带实验等说法，那都是错误的。”问题在于，钱学森的文章，未加限制地针对一般科技工作者，题目是《科学技术工作的基本训练》。钱先生也就无意中偶尔落入了“专门家的话多悖”的陷阱^[13]，忽略了“在分析任何一个社会问题时，马克思主义理论的绝对要

求，就是要把问题提到一定的历史范围之内”^[14]。

第三，茅以升的观点与讨论的范围是相适应的，也与茅以升学习训练的经历相一致，基本上将问题限止在工程技术教育领域，所提意见和建议是符合工程技术人才培养规律的。

茅以升是杰出的教育家，但是多年以来有不少人，包括一些有名望的学者，将茅以升定位为“工程教育家”，这多半是受占据主流地位的数理科学家的教育理念的影响。

三、文史名家

在中国现代桥梁学界，担任钱塘江大桥总工程师的罗英与茅以升，是双峰并峙的巨擘：他们不仅是桥梁科学技术方面的双星，而且是中国桥梁史研究与科普方面的名家。罗英完成《中国石桥》与《中国桥梁史料》两部重要专著后，茅以升在《中国桥梁史料》的序言中写道：“这本书的作者……为写书所耗的精力，不亚于修成一座大桥。”^{[9]135}又在《中国石桥》一书的序中指出：“这本书是同我共同负责修建杭州钱塘江大桥的罗英同志编写的。他编写这本书花了十年时间，比他修这座桥的时间还要多六七年。”^{[9]131}因此之故，茅以升将这种原创性的文史著作，称之为“纸上的工程”^{[9]135}，深知其中的艰辛：“写历史书，非仅笔墨之事，首先要查资料，有了资料，还要鉴别真伪是非，往往一字之差，意义为之左右。写技术史更多一些探微索隐问题。”^{[9]144}可以说，茅以升对罗英中国桥梁史著作的赞誉，也完全适合于评价其自身的文史著作。虽然茅以升作为社会活动家耗费了不少精力和时间，但茅以升的文史兴趣与积累比罗英开始得更早，又有耄耋之寿，其文史成就及影响更在罗英之上。

（一）钱塘江大桥的史料积累

由于科技这一文化形式远较文史哲晚熟，致使古代重大发现发明和工程创造的史料异常贫乏，甚至当时的科学家、技术专家及工程技术人员的姓名都不知晓，有幸留名青史的不多。发明活字印刷术的毕昇，因赖文理兼通的科学大师沈括在《梦溪笔谈》中的一句记载而名垂史册。中国古代的桥梁建造异常精彩，著名的赵州桥（本名安济桥——引者）的设计制造名匠李春，也因唐代张嘉贞的《安济桥》序文而为今人所知：“赵州洹河石桥，隋匠李春之迹也。”^{[1]309}中国古桥技术资料的

匮乏一直是文理兼通的茅以升心中的遗憾，并多次发为感叹，如在《桥梁史话》前言中写道：“我国历史文献中，虽然不乏有关桥梁的记载，比如各省各县的地方志中都有当地桥梁的一些资料，在《永乐大典》或《四库全书》里，更可看到不少有关桥梁的诗词歌赋和各种传记的文章，但它们都有一共同特点，就是缺乏关于桥梁的技术资料，更不重视桥工巨匠的辛勤业绩。历史文献中所缺，正是桥梁史中所应补。”^{[9]136}

令人欣慰的是，茅以升统筹规划，将积累的大桥工程技术资料纳入了工程施工工作之中，不顾主持修建中国破天荒的钱塘江大桥的繁忙，并克服抗战西迁中敌机轰炸与颠沛流离的艰难，积累与保存了建造钱塘江大桥的史料，主要包括工程技术资料与科学普及资料两部分：

“钱塘江大桥工程种类繁多，内容复杂，最后所以能取得成功，是经历过数次失败的。因而它的成功经验，是很可宝贵的。为了记录下这些成功的经验，在工程进行时，做了两件事：一是分段写出各种工程的进行情况；一是将各种工程，按实际经过，摄入电影。写绘的纪录主要有两种：一是正式‘工程报告’，连同‘竣工图’，现存上海铁路局。其工程报告复本，现存浙江省档案局。所谓‘竣工图’系指工程的最后实际情况，有别于‘设计图’或‘施工图’。一是科学普及性质的报道，除了中外报刊所登新闻外，在施工期间，每两星期送登上海出版的《科学画报》一次，分八期刊完，后在1950年由科学图书仪器公司，将八期汇编为一本，用《钱塘江桥》名义出版。关于钱塘江桥电影片，那不仅是一个记录片，也是一个科技教育片……使观众能了解所拍工程的来龙去脉，对于桥工教育，有重要意义。”^{[4]149-150}

令人感动的是，抗战爆发后，桥工处西迁途中携带的大桥资料尚不完整，1937年底茅以升在浙江兰溪境内方将“几项最后完工的竣工图……补办。同时，还有一些工程报告，也要趁这时赶完”^{[4]37}。1937年初又迁至贵州平越县（今福泉县），此时桥工处包括茅以升在内，只剩3个人，却携带着14箱大桥资料。茅以升回忆说：“这十四箱资料，我从杭州带到平越，饱经风霜，遭遇到多次敌机空袭，但幸而保存得完整无损。后来我往贵阳、重庆，又回到杭州，它们都一直跟着我，最后到移交给上海铁路局时为止。”^{[4]38}

除了积累保存大桥设计、施工与竣工的原始资料外,茅以升还撰写了关于钱塘江大桥建造的大量实况回忆及分析研究的文章。仅收录到《钱塘江造桥回忆》一书中的文章,就有《钱塘江建桥回忆》《钱塘江桥工程纪要》《钱塘江桥设计及筹备记略》《钱塘江桥一年来施工之经过》《钱塘江桥诗文选》(《别钱塘》三首)、《征程六十年》等6篇。

在中国现代老一辈一流科学家中,能对自己一生最重要的创新成果进行如此详尽完整的过程记述并反思研究的,唯有钱三强《重原子核三分裂与四分裂的发现》一书可相媲美。其重大的文化意义在于,科技进展日新月异,任何重大科技创新成果本身的光彩都会在历史长河中褪色,但是与此成果相联的杰出科学家的精神、思想、方法,及其与自然、社会、文化的关系,将有永恒的价值。

(二) 桥史研究的推陈出新

作为文理兼通、古今俱修的复合型科学大师,茅以升以独到的眼光、综合的方法,并利用汗牛充栋的历史文献,将中国古代桥梁的学术研究提升到前所未有的水平。

茅以升出身于一个寒素的书香门第,中学时代,“祖父(另住)每天来我家,教我古文。他的教授法很特别,将一篇古文,自己先抄录一遍,叫我在旁边听他讲,要求我在明天上课以前背熟,他不料我在他把文章抄完时,我已能把全篇(较短的)背诵出来了。他很赞赏我‘聪明’,我就此锻炼了自己的记忆力”^[15]。茅以升回忆小学三年、中学五年,共八年的国文、历史两门课,都受教于国学大师柳诒徵(柳翼谋)先生。后来柳诒徵历任“南京高等师范、河海工程学校、东南大学、东北大学、北京女子大学、北京高等师范学校主讲,一时学者如宗白华……束世澂……胡焕庸、唐圭璋诸先生均先后出自先生门下,有名于世。而我自少年就学之初,即承名师指导,得窥文史学科之堂奥,先入为主,感到终身受益”^{[8]306}。1948年,茅以升遴选为中央研究院数理组院士,柳诒徵则遴选为文史组院士。

古今文理学养深厚的茅以升在文史研究方面有不少精品,代表作是发表于《文物》杂志1963年第9期的《五桥颂》一文。文中所研究的古桥,即国务院公布的第一批全国重点文物保护单位中的古代五座名桥:四川泸定桥、北京卢沟桥、福

建安平桥和河北安济桥(赵州桥)、永通桥。认真通读全文,一种似曾相识的清新文风扑面而来。中国传统治学及古文精彩纷呈,百多年来受桐城派的影响最大,在《述庵文钞序》中,姚鼐集合前人之见解,提出综合性的治学之道:“学问之事,有三端焉,曰:义理也,考证也,文章也”^[16]。而桐城派集大成者曾国藩,又在姚鼐治学三要素的基础上补充“经济”(经世济民)要素,将治学之道拓展为四要素之集合:“有义理之学,有词章之学,有经济之学,有考据之学……此四者缺一不可”^[17]。桐城派的治学之道统治中国文坛近百年,其推进中国古代文论的贡献不能低估,但其时代的局限性也不可否认。随着近现代科学技术的突飞猛进,科技已不再是古代文史哲纪录的附记,也已不能完全包孕于经济之内,科学技术已有独特的社会作用与独立的文化地位。茅以升因势而为,对桐城派治学之道进行创造性发展,在治学四要素中加入“科技”之维,将其拓展为治学“五要素”。

茅以升《五桥颂》一文,不乏经典古文的气韵。据笔者统计,全文18000字,所引证的文献约85种之多,从《史记》到《读史方輿纪要》,从《古今图书集成》到《马可·波罗游记》,从毛泽东的长征诗到朱德的泸定桥对联。另一篇《桥名谈往》(《光明日报》,1962年7月22日)仅4800字,引用文献竟达74种,引经据典,考证翔实,令人钦佩。词章方面,则吸收了中国经典古文的精华,骈散并用,文笔劲健。此外,文章中的“经济”,有作者的概括,如关于北京卢沟桥:“桥南五里的长辛镇,为了便利过桥的客商,开了许多客店、马店、大车店等等的店,跟着繁盛起来,因而就改名为‘长辛店’。”^{[1]296}也有作者的引述,如关于福建泉州的安平桥,引南宋赵令衿《石井镇安平桥记》:“老壮会观,眩骇呼舞,车者徒者,载者负者,往者来者,祈祈舒舒,无所濡壅。”^{[1]298}

《五桥颂》一文,得前人所未道而超越历史文献的健笔,是技术性的独到见解。如对世界桥梁史奇迹安济桥(赵州桥)的技术性论述:“安济桥是世界上最早的敞肩拱桥……两肩空敞,就减少阻水面积,比起‘实肩拱’,可增加过水面积16.5%。其次,单跨过河,则全桥重量和桥上车马载荷,都集中到两个拱脚,引起对桥台基础的很大压力,但如拱肩里有四个拱洞,则可减少大拱圈上的重量五百多吨,相当于桥身自重的五分之

一。浚河河床是冲积性的砂土，并非岩石，桥台建筑在这样天然地基上，减轻拱脚压力，是有很大的意义的。”^{[1]305-306} 文章还有关于技术与经济交叉研究的论述：“安济桥全部石料都是青白色石灰岩，从外地获鹿、赞皇、元氏各县石场采运，工料费相当可观，桥身开挖四个拱洞，就可节约石料二百多立方米，这从经济上说，是个附带的收获。”^{[1]306}

（三）科普天地的凌云健笔

中国老一辈一流自然科学家中，结合自身科技专业进行文史研究及科普创作者不在少数，而最热心与最有成就者当推茅以升。1962年3月4日《人民日报》发表了茅以升《中国石拱桥》一文，对中国二千年来的石拱桥成就及特色作了简要论述，重点介绍了有1300多年历史而迄今完好的赵州桥，以及技术性、艺术性俱佳的卢沟桥，并热情讴歌了我国劳动人民的勤劳和智慧。文章意新语工，1964年起被选入初中语文教材^{[1]220}。1963年2—3月，《人民日报》又连续刊登茅以升的《桥话》4则，系统介绍了桥的起源、种类、变动及功能。毛泽东主席读后，非常赞赏，在某次会上见到茅以升时说：“你写的《桥话》我都看了，写得很好。你不但是科学家，还是文学家呢！”^{[5]118} 1979年，茅以升发表《没有不能造的桥》一文，集中国古桥技艺、预应力混凝土桥梁新技术、造桥工程系统优化等内容于一体，响亮地提出：“有人就有桥，世界上没有不能造的桥！”^{[1]219} 该文发表于《知识就是力量》第一期，获1982年全国新长征优秀科普作品一等奖^{[1]211}。

茅以升的科普创作，不仅在茅老生前有鲜花着锦之盛，而且有历史的穿透力。2013年，茅以升的科研与科普文集《桥梁史话》，列入“大家小书”丛书出版，并成为国家新闻出版广电总局首届向全国推荐的中华优秀传统文化普及图书。该书至2019年已第3次印刷发行。收入书中的《中国石拱桥》与《桥话》两文距最初发表已逾半个世纪，至今价值不菲，魅力不减。《没有不能造的桥》一文也收入书中，发表至今已近半个世纪。这些茅老精心撰写的科普名篇，必将在历史文化的长河中沉淀为经典作品。

茅以升从1917年21岁开始于《科学》杂志

发表《中国圆周率略史》一文，直至1986年90岁主编并发表《中国古桥技术史》一书，健笔始于文史又终于文史，从青年学子到耄耋耆宿，笔耕不辍长达70年。“一生出版科普科技专著11卷，为中外各报刊撰写231篇文章，许多篇章被译为俄文、日文、德文、法文、英文、西班牙文。”^{[5]119}

茅以升的一生，不仅为中华大地架设了现实的大桥，也为炎黄子孙构筑了文化的桥梁，为后学渡越科技与文史之沟作出了示范。

参考文献：

- [1] 茅以升. 茅以升选集[M]. 北京: 北京出版社, 1986.
- [2] 赵靖泰. 茅以升传[M]. 郑州: 河南文艺出版社, 2017.
- [3] 竺可桢. 竺可桢全集: 第1卷[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2004: 25-26.
- [4] 茅以升. 钱塘江造桥回忆[M]. 北京: 文史资料出版社, 1982.
- [5] 茅玉麟, 孙士庆. 茅以升[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2004.
- [6] 叶永烈. 钱学森[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2010.
- [7] 茅以升. 通往现代化之桥[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [8] 张维. 茅以升科技文选[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995.
- [9] 茅以升. 桥的信仰[M]. 北京: 中国文史出版社, 2017.
- [10] 张冠湘, 刘城淮, 谷育葛, 等. 古诗文名句录[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 1983: 306.
- [11] 顾吉环, 李明, 涂元季. 钱学森文集: 卷一[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 373, 375.
- [12] 茅以升. 茅以升文集[M]. 北京: 科学普及出版社, 1984.
- [13] 鲁迅. 鲁迅全集: 第6卷[M]. 北京: 人民文学出版社, 1981: 362.
- [14] 黎澍. 马克思、恩格斯、列宁、斯大林论历史科学[M]. 北京: 人民出版社, 1980: 339.
- [15] 王洪, 茅玉麟, 吕海瑛. 茅以升科普文集[M]. 武汉: 湖北教育出版社, 1992: 18.
- [16] 张少康. 中国历代文论精品[M]. 长春: 时代文艺出版社, 2001: 703.
- [17] 唐浩明. 曾国藩日记[M]. 长沙: 岳麓书社, 2016: 266.

（责任编辑：赵惠君）