

力学与农业工程

中国力学学会办公室 编
中国农业工程学会办公室



科学出版社

1299

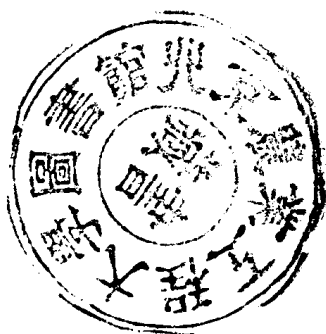
S2-13
1

农业工程中的力学问题研讨会论文集

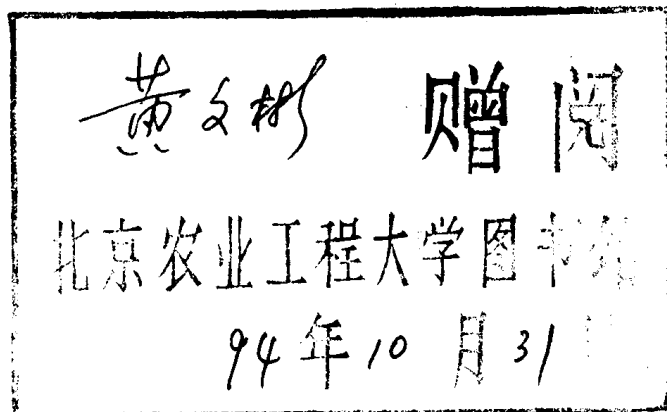
力学与农业工程

中国力学学会办公室 编
中国农业工程学会办公室

ND141/10



391839



科学出版社

1994

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是农业工程中力学问题研讨会的论文集。本书阐述了我国农业工程学科的现状和展望以及力学在农业工程中的地位,介绍了农业工程中力学问题的研究成果及急待研究的重要课题。

本书可供从事农业、农业工程和力学工作的研究人员、工程技术人员和学生参考。

农业工程中的力学问题研讨会论文集 力 学 与 农 业 工 程

中国力学学会办公室 编
中国农业工程学会办公室

执行编辑 石光漪 赵大刚 刘 肃

责任编辑 朴玉芬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

中国力学学会办公室微机排印组排版

北京大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994 年 3 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

1994 年 3 月第一次印刷 印张: 12 $\frac{1}{4}$

印数: 1—1000 字数: 293 000

ISBN 7-03-003840-1/O·675

定 价: 19.80 元

前 言

《力学与农业工程》一书是根据1991年12月中国力学学会和中国农业工程学会共同召开的“农业工程中力学问题研讨会”的论文汇编而成。

要改造数千年落后的小农经济，中国的农业必须要走工程化的道路，要用现代科学与技术来改造它。

这次研讨会的目的在于进一步促进力学与农业、农业工程的结合，使力学更好地为有中国特色的现代农业的发展出力，为农业高产、高效和产品高质做贡献；也会相应地促进农业工程与力学学科的发展。会议的论文反映了近年来我国科学工作者在农业工程中应用力学的成果，表明了力学在农业工程中是大有作为的。

农业生产的主体是植物，是生物体；生物体生产的环境是土壤、水、多种营养源和空气；而生物体的生长结果需要管理、收获、储运、加工诸方面。这里的每个环节都有极其复杂的力学问题。力学工作者在深入实际的过程中发现新的规律，创造新的处理方法。这是一个大有可为的广阔天地。

《力学与农业工程》一书的出版希望能引起广大力学工作者和农业工程工作者对农业和农业工程的关注，吸引更多的有志之士去开拓、去耕耘。

北京农业工程大学张森文、华云龙和邱丽娟为筹备和组织会议，张森文、华云龙、黄文彬和谷谒白为本书论文的编选做了大量工作，在此表示感谢。



中国力学学会理事长
中国科学院院士

目 录

农业、工程、力学	陶鼎来 (1)
我国农业工程学科发展现状及展望	曾德超 (5)
力学在农业工程中的地位	张 伟 (14)
耕作力学的开拓与探索	杜家瑶 (21)
农业机械研究中有关力学问题	谷谒白 (32)
农业机械中的力学问题	胡瑞谦 (41)
农业机械研究的若干力学方法	李宝筏 (48)
刚架弯矩接触规律及其应用	黄文彬 付志一 张希伟 余莲英 (56)
散粒体的力学性质分析及其在农业机械中的应用	戴培玉 (61)
二维无粘性颗粒流的数学模型及底孔出流的流量计算	王笃敬 郭玉明 (69)
水田叶轮动力学的研究	邵耀坚 罗锡文 陆华忠 (75)
土壤水动力学与耕作工程研究	杨邦杰 (95)
地面 - 车辆系统力学与有限元法	邱丽娟 (101)
草原土壤动力特性的研究与草原畜牧业	徐荫生 曹伯彦 郝志峰 刘举华 (104)
草原土壤的地面 - 机器系统力学研究的若干进展	宋伟忠 陶伟国 (107)
应用于耕具阻力预测中的力学方法	姚禹肃 (116)
农田基本建设中冻土开沟的力学问题	刘信忠 (123)
农业物料力学的研究进展与趋势	张和远 景 绚 张淑珍 (128)
农业料仓中的某些力学问题	华云龙 冯云田 (134)
膨化技术发展现状	郑福庭 (146)
农业生物力学与农业工程	孙一源 (154)
植物筛板倾斜度对同化物运输影响的流体力学模拟实验研究	雍化年 (160)
小麦倒伏的某些力学问题	刘后森 魏俊智 张 海 董令仪 (164)
土壤 - 植物 - 大气连续体水分动力学的一些进展	康绍忠 (176)
SPAC 系统中质能传输力学问题的重要新课题	雷廷武 张森文 (187)
会议纪要	(197)

农业、工程、力学

陶鼎来

(中国农业工程学会, 北京 100026)

提要 中国农业发展到一个新的阶段, 一个重要的标志是农业与工程的结合, 而工程技术的发展, 必须依靠基础科学的进步. 力学是最重要的基础科学之一. 泥沙在水流中的运动、土壤耕层的结构变化、农业物料的运输和加工处理、以及农产品的质量检验等作为例子, 说明力学原理的应用在农业发展中的重要性. 中国农业工程技术的实践, 将为力学学科发展开拓广阔的前景.

关键词 农业, 农业工程, 力学

中国农业经过解放以来几十年的建设, 终于发展到了一个新的阶段, 那就是从传统农业向现代化农业转化的阶段. 很久以前已经有人提出农业的技术改造问题, 并且在农业的水利化、机械化、电气化、化学化等所谓“农业四化”的许多方面, 作了卓有成效的工作, 还组织了人民公社那样大规模的生产. 但那时还不能说是已经走向现代化了, 因为农业和农村实质上还只是停留在自然经济的范畴, 生产的农产品的绝大部分还只是供农民自身消费, 商品率很低, 整个社会经济得不到发展, 农民处于贫困状态. 党的十一届三中全会以后, 一系列富民政策的推行, 使这种状况发生了根本的转变. 农民有了生产的自主权和选择职业的自由, 生产积极性高涨、农村经济搞活了, 商品经济得到发展, 社会化的服务体系开始建立, 只短短的几年, 农产品的产量普遍大幅度增加, 温饱问题基本解决, 城乡人民生活有了显著的提高, 并将逐步向小康过渡. 这样我国农业向现代化进军的社会条件才开始具备.

伴随着这种形势的重要标志之一, 是农业与工程的关系开始密切起来. 在过去, 提到农业工程, 很多人不能理解, 他们认为农业与工程是两回事, 把二者联到一起, 既没有必要, 也会造成混乱, 因为已经有了水利工程、机械工程为农业服务, 没有必要提出农业工程这个词. 现在则有所不同, “菜篮子工程”、“吨粮田工程”、“蚕桑工程”、“食用菌工程”、“工程造林”、“大面积淡水渔业工程”等等名词在各地涌现, 都有很丰富的具体内容, 为广大群众和各级领导所承认和接受. 这绝不是一个偶然的现象, 而是我国农业和农村发展了, 到达了一个新的阶段——农业需要工程的阶段, 从事农业工作的人们开始具备“工程”意识了.

农业需要工程. 农业不仅需要水利工程、机械工程等为之服务, 而且从事农业的建设和生产本身就是一种工程的行动. 首先, 为了充分利用水、热、光照和土壤、生物等自然资源, 避免对环境的污染和破坏, 对农业开发应当进行很好的科学规划, 其中包括制订具体的开发目标、选择先进适用的技术, 和核算预期的效益; 其次要

根据作物生长的需要和季节、气候等客观条件组织科学的严密的施工，对各种生产资料和人、畜、机械等动力等物质条件要能保证及时的、足量的供应，对农产品的收获、加工、储藏、运输、销售等的产后各环节要有可靠的安排；最后，应当对整个生产过程进行效益的核算并与预期值作出对比。这些活动当然是可以与工业生产严格对比的活动，只是在过去的长时期中，我国农业停留在自然经济阶段，人们对农业活动不作严格要求，也就不把它看作是工程活动罢了。

进入 80 年代，我国在世界银行的帮助下，在华北平原建立了第一个大型农业治理开发项目，开始对农业建设实行项目管理。以后又陆续在其它地区建立了若干个大型农业项目，取得了成功经验。1988 年国家根据国民经济发展的需要，批准在全国范围内进行大规模的农业区域综合开发，一律按照项目管理。所谓项目管理，就是工程管理，有别于过去对农业不进行工程规划，不计算工程效益的作法。很显然，开垦荒地、改造中低产田，都需要进行技术性很强的工程建设。至于高度集约化的动植物生产和各种农产品加工，以及发展多种经济，需要的工程技术就更多。

工程必须建立在科学技术成就的基础上。没有基础科学的发展，工程就不可能达到新的水平。对于农业有关的工程技术来说，力学无疑是最重要的基础科学之一。这里可以举出一些例子：关于土壤粒子在雨水冲击下，以及在河流运送中的运动规律就是做好水土保持工作和河流治理工作的重要基础，因而是农业区域开发中必须慎重加以研究的问题。在长江三峡工程论证中，泥沙问题是人们最关心的主要问题之一。长江每年通过宜昌的含沙量高达 5.3 亿吨，这些泥沙是否会很快将水库填满，缩短水库的有效寿命？水库建成后，在上游回水区泥沙是否会淤积影响重庆港的通航？泥沙对下游又可能产生什么影响？对黄河来说，泥沙问题更为严重。每年黄河上中游的黄土高原区流失到黄河中的泥沙约 16 亿吨，其中约 2/3 沿河沉积、1/3 经河口入海。在解放以前的漫长历史时期中，黄河河床形成淤积 - 抬高 - 决口 - 改道的恶性循环，平均每三年决口两次，每十年小改道一次，每百年大改道一次。每次决口、改道都造成沿黄人民生命财产的巨大损失。解放以来，加强了堤防工作，制止了决口，取得了重大成就，但也使河床淤积更为严重，平均每年约提高 10 厘米，河堤不得不相应加高加厚。几十年来黄河已成为闻名世界的“悬河”。决口泛滥以及由于地下水位升高引起的土壤盐渍化威胁严重地存在着，而且河堤的加高加厚总是不能没有止境的。

但黄河泥沙对国民经济也有好的方面。我国最大的平原，华北平原，就是由黄河的泥沙冲积而成，至今由河口入海的泥沙还每年造地 2000 多公顷。我们在黄河下游发展了“引黄淤灌”技术，即有意识地使不同粒度的泥沙，经过引水、围堰工程沉积到经过规划的农田中，用以改良盐碱土壤和增加肥力。这已成为十分重要的灌溉和改良土壤的方法。

由此可见泥沙在水流中的运动对国民经济，特别是对农业发展有何等密切的关系。水土流失应当尽可能减少，河流应当受到控制，水和泥沙应当作为资源加以充分利用。在进入大规模农业建设的时代，结合流域的规划和治理，这些都应当受到工

程建设者们的高度关注。近年来在水利工程施工中，推广了一种利用压力水搬运土方方法和设备，在山区筑坝和围海造田工程中得到广泛应用，大大提高了工效，缩短了工期，降低了成本，因而已成为一种重要的施工方法。这些工程技术的基础很显然是力学。

在土壤耕作中更是有大量力学问题需要研究。利用机械力将土层翻转、耙碎、耙平是农田作业中消耗能量最大的作业，因此历来受到农业工程工作者的重视，努力寻求节省能量的耕作机械设计方法。随着农业机械化的发展，拖拉机的使用，牵引功率的增加，耕耙作业的动力问题得到解决，但拖拉机的行走机构（轮胎或练轨）压实了土壤，引起了新的问题。“土壤压实”肯定会造成作物减产，因此一度成为农业机械化高度发展国家中科学研究的热点。但在各种农田的具体条件下，土壤的坚实程度到底要达到多少，才最适合作物生长，仍然只有凭经验判断，作不出理论的计算，因为耕作的情况太复杂了，其中不同颗粒大小的土壤形成不同的结构，在土壤颗粒表面和颗粒间的空隙中存在着不同形态的水和空气，这又是植物、动物、微生物的活动空间，生物及其死后的残体从许多方面影响着耕作层的物理、化学性质。外界气候的变化如雨雪、冰冻、曝晒、风蚀等等对耕层也有深刻的影响。

当人们普遍把耕翻当作农田作业的最重要措施、把翻转土层的铧式犁看作是整个农业机械家族中最重要的成员的时候，在本世纪30年代突然有人提出耕翻土层是否必要的问题。在随后的几十年中，少耕法、免耕法确实在世界上得到卓有成效的推广，节省了大量动力消耗而作物并未显著减产，有时反而得到增产。这就引起一个既有实践意义又有理论价值的问题，土壤耕作层在农田各种环境因素作用下的力学关系究竟是怎样的？自然力的作用有多大潜力？人们怎样才能进行最合理、最有效的干预？现在当我们进入农业大规模建设的时期，面对着大量的土地开发任务，对如何耕作显然应当作出科学的决策。

农业进入一个新阶段，专业化集中的集约型的农业生产将要在一些地方逐步发展，取代一家一户的零散的小生产。我国近十多年来，在许多大城市里，工厂化养鸡取得了很大成绩，成为鸡肉、鸡蛋供应的主要来源，基本代替了农村传统的老太太养鸡的方式。养鱼、养猪也正在朝这个方向发展。这个变化使原来适用于一家一户小规模生产的手工方法和工具，让位于现代化的大型工程设备。这就需要引进一些过去未曾使用过的技术，其中不可避免地要涉及到许多力学问题。如农业物料包括谷物、饲料、肥料、粪便等的输送问题，鸡蛋、水果等农产品的搬运、分级及包装问题，畜禽和各种仓储设备的通风与温度、湿度的控制问题等等。气流输送在粮食、饲料、棉花等的加工工厂已经普遍应用。气流清选则在脱粒机、选种机、联合收割机中成为必备的工序。在奶牛业中，全自动挤奶器的发明就应用了真空技术。在牛舍布置真空管道系统，挤奶器根据奶牛产奶的时间节拍，利用真空间隙把奶吸出。这些成就都是应用空气动力学的结果。

农业进入新的时期，商品经济使农产品的质量成为重要问题。除了改良品种、改进栽培、施肥、植保等生物技术外，需要工程解决的一个重要问题是关于农产品

质量的检查鉴定方法和设备。这是又要涉及许多力学问题的一个新的领域。靠人们直观的评定色、香、味的经验的方法，必须补充依靠仪器的、客观的、科学的鉴定方法，最好是快速的无损伤的方法，才能适应商品经济发展的要求。有些方法是属于力学范畴的，如用测定苹果的坚实度来评定其成熟度。

总之，随着农业生产方式的转变，许多新的要求和新的问题产生了，需要应用工程技术加以解决。其中有一些还需要作基础性的科学研究，探索和掌握了事物的内在规律，才能使工程技术成熟起来，真正解决问题。农业生产和其环境条件都十分复杂，而且地区性很强，外地、外国的经验，不与本地、本国的情况相结合，一般很难直接应用，这就更增加了进行研究的重要性。我国农业在具体操作方面，历来靠经验解决问题，这对过去小规模的自然经济生产是可以的，现在转向现代化的商品生产，就远远不能适应了。

农业工程方面的力学研究是一个十分广阔的领域。从上面举的一些例子，已可见到这方面工作的重要性。我们高兴地看到我国农业工程技术的发展在满足现代化农业的需要的同时，也为从事力学研究的同志提供了为农业服务的途径。中国农业，在世界上有其特殊的地位，中国的农业工程技术必然也具有自己的特点。农业工程的实践，将为力学学科的发展开拓广阔的前景。

我国农业工程学科发展现状及展望

曾德超*

(北京农业工程大学, 北京 100083)

摘要 鉴于本世纪以来国际上对农业工程学科所作的两种不同处理而产生的不同结果, 以及我国农业长期遭受旱、涝、碱、洪、风、沙、高寒等自然逆情所困扰的基本农情, 提出我国应重视发展农业工程科学技术的见解; 根据农业中应用工程技术的不同层次 (或发展的不同阶段) 评议我国农业工程学科现状; 并根据国际农业工程日益向农业生物工程和农业资源、环境、生态工程方向发展的趋势, 以及我国基本农情的迫切需要, 提出在我国势将发展积极提高水、土、气象、生物等自然资源利用效率, 保护资源、生态、环境, 抗逆增产的持续农业工程科学技术的预测。

关键词 农业工程, 农业工程学科, 低投入持续农业, 抗逆增产持续农业

一、前言

中国农业机械学会在前理事长刘仙洲教授的关怀下, 曾于 1964 年在青岛召开过一次农业机械力学学术会议。那次我们组织以力学为主题的学术讨论会, 起因有二, 第一, 在农业机械的理论教学和科研的理论分析中, 普遍首先遇到的, 除了农业技术要求, 就是工作部件和机构在农业作业条件下的运动学、动力学、物料强度、田间试验的大量数据测定和处理等问题。第二, 苏联 B. П. 郭辽契金首先将数学力学应用于农业机械的作业分析, 并通过设立农机实验站, 广泛试验测定和系统搜集数据而与其学派一起, 建立了苏联近代农业机械科学。他毕业于莫斯科大学数学物理系后又毕业于莫斯科工学院的机械工程系, 被选为全苏科学院院士; 1985 年在美奥本大学召开的国际土壤动力学学术会议上与美国的 M.L. 尼柯斯一起, 被确认为土壤动力学的先驱者。而苏联农业机械学派当时对我国的影响是巨大而深远的。为了提高农业机械科技工作者运用数学力学工具的水平, 青岛会议上曾鼓励在广度、深度和特点上编写针对农业机械科技工作者需要的工具书性质的农业机械应用数学和农业机械应用力学。这次农业工程力学会议与上次青岛会议的时代背景, 已有很大的改变。除了内容在宽度上不限于农业机械而覆盖农业工程的各有关分支, 深度上亦由于自青岛会议以来数字计算机的普遍应用和全国科学大会明确提出应在我国发展农业工程学科以及我国研究生教育的迅速发展所带来的冲击和深化。而突出的特点则是这次会议是由力学和农业工程两个学会联合召开的。反映了一些基础学科的学会在中国科协的鼓励下加强对应用学科的支持和渗透, 从而丰富和充实基础性学科本身的内容又共同为我国农业的发展做出贡献。为了便于将我们农业工程学科发展的状况给力学及其他学科的工作者做个简要介绍和评论, 本文对农业工程学科的定义、对象、范围、性质及其对解决我国农业问题的潜在作用先行进行商榷。

* 中国农业工程学会名誉理事长, 中国农业机械学会名誉理事长。

在这里，我们还认为提出如下一点看法来商榷是重要的：在计算机普及之前，苏联农业机械科技工作者应用数学力学进行分析在国际上达到最高的水平，然而苏联农业机械学派对苏联农业的贡献却并没有美国同行那样突出。我们认为这是由于美国学派更多的是从农业的观点出发，将农业机械作为农业工程这一边缘学科的一个分支来处理，而不是视作机械工作学科的一个分支：既重视农机的力能方面，同时亦重视农机的农业性能方面。力学对于农业工程，正如力学对于其它工程科学一样，是非常重要的基础之一；对于农业工程的理论分析，力学的应用是必要的条件，但不是充分的条件。

二、农业工程的定义，学科性质、对象和领域的商榷

农业工程，作为一个普通名词，可从字面上理解为在农业生产建设中所进行的各种工程项目、所采取的工程措施或工程科学技术的应用；作为一个专业名词，则有其定义和范围。小规模传统农业的生产建设虽然包含有各种工程科学技术的因素，但工程科学技术的作用并不显著。随着近代大规模现代化农业生产建设的出现，工程科学技术的作用就变得越来越显著了。发展农业一靠政策，二靠科教，三要增加投入；而科教既包括生物科学技术，亦包括工程科学技术和经济管理科学技术。这是我国农业界多年实践所达到的共识。然而现代化大农业（农林牧渔副）的生产建设，特别是有关水、土、物种、气象等自然资源以及生态环境的保护和有效利用等问题越来越受到重视的今天，所涉及的工程科学技术门类也就越来越多，诸如机械、水利、土木建筑、环境、能源、生物化工、电力电子和控制、管理和系统等等，不一而足，况且，各行各业以及各门类的科学技术也都要支援农业和农村的生产建设。这样就发生了哪些才算是农业工程，哪些其实不过是传统通用工程的推广应用。在教学、科研和事业管理体制上，也就客观地出现了有关农业工程与通用工程各门类之间的定义、衔接等需要妥当处理的问题，否则不是重复而造成浪费，就是留有空白或薄弱环节，对国家的农业和科技发展产生不利的影响。

随着近代大规模现代化农业的出现，对农业工程与各种通用工程学科之间关系的处理，国际上出现有两种做法。一是以美国为代表，自 1907 年起就成立了农业工程师学会。在各州立大学既设立机械、土木、化工、电力电子等工程系，亦设立农业工程系，以培养一种站在“土木”工程与农业科学之间的，其工作领域与其它工程既无竞争，又不重复，需要特殊训练的农业工程师。而在农业工程系下设农用动力与机具、农业建筑与环境，水土关系、电力与加工等方向。同时，认为“农业工程是一门应用物理科学和生物科学来研究农业生产的特殊的工程科学”（美国农业工程师学会 1963 年定义）。除了私人公司之外，美国在农业部设立有主管农业工程的部门和各种有关农业工程的专业研究所。据美国学者自己的估计，农业工程学科的建立不仅对美国近代农业的巨大成功做有贡献，对美国在 20 世纪的七、八十年中整个面貌的改变亦起了重大作用^[4]。近代世界上许多发达和发展中国家，包括联合国粮农组织，采用了这种处理方法。另一种做法是以苏联为代表，自 1922 年建立苏维埃联盟国家以后，设立了农业机械化、电气化，水利与土壤改良，农业机械设计制造，农业建筑，饲料工业，肉、乳品加工等等专业学院或专业和专业研究所。这些学院及专业研究机构以及事业和经费分属不同的政府部委管理，但却没有正式建立

农业工程作为一门学科，也没有突出强调这些学科专业具有农业工程这一处于物理学科和生物学科之间的特殊的边缘学科的属性。结果这些专业的研究、训练、管理和投资的方向自然就往往向传统通用工程学科倾斜，至少是处在一种自流的状态。本世纪几十年来苏联和东欧国家农业发展的状况不能认为与对农业工程学科这种不同的处理无关。我国建国以后采用的是苏联式管理体制。1978年全国科学大会在总结我国经验的基础上，为进一步发挥我国农业机械化、农田水利化、农业化学化等事业的效益，提高水、土、物种、气象等自然资源的利用效率，更好地发挥工程科学技术在我国农业发展中的作用，做出在我国发展农业工程学科的建议。国家教委和国务院学位委员会亦于1986、1987年在制定的普通高校本科专业及研究生学科专业目录修订草案中正式设立农业工程学科门类。然而，在我国现行体制下，由于与农业工程有关的各种专业教育、研究机构和事业行政与经费，是分由不同的部委管理的，而人们对于有无必要提出农业工程至今仍然有不同的看法，对什么属于农业工程，不同部门和单位在不同场合往往也就有不同的应景解释。亦有一些正站在与农业工程直接有关的工作岗位上的科技工作者，分不清农业工程与传统通用工程之间的区别，或是重视传统通用工程而对农业工程的发展工作不感兴趣。因此，为了在现行管理体制和历史背景下争取有关管理部门、有关兄弟学科以及本学科工作者的加以认同、支持、配合和协调，有必要根据我国的情况对农业工程的定义、对象和范围，在中国农业工程学会历次讨论结果、特别是1991年全国农业工程学科建设发展学术研讨会所作结论和建议的基础上，提出如下论点和定义以供商榷。

在农业生产建设中所进行的各种工程项目、所应用的工程技术或所采用的工程措施，具有不同的层次和侧面，亦即属于不同的发展阶段：第一层次或阶段，成熟的通用工程技术的直接应用，或只需按农业提出的规格要求稍为修改设计即能应用的，如载重汽车、民用建筑、水坝水渠、电机与仪表、农用飞机等等。这类工程技术一般属于通用工程，不能认为属于农业工程。第二层次或阶段，需用较长的时间去了解和熟悉农业的技术要求、应用条件、农艺和工艺过程，才能应用通用工程理论和经验改进已有的、设计专用的、或开发新的技术，如水田拖拉机、联合收割机、田间灌溉排水蓄水系统、温室小气候调控等等。这个层次中还存在一个受到国际社会重视的侧面，即农村“适用技术”(Appropriate Technology)的开发。这是针对发展中国家的农村经济、技术、文化水平低，地区分散，交通运输通讯不便等特点，通常需要结构和操作简单、成本低廉而工效或效益较为明显的工具、装备或技术，如手扶拖拉机、拖车机组的运输，省柴灶、小水电、太阳灶、塑料大棚等等。这类技术看来简单，实则不总是容易的，很需要有专业素养。这类工程技术属于一般农业工程领域，不属于传统通用工程。这类工程技术既依赖传统通用工程理论和经验的应用，也需要农业工程专业理论和经验的积累。从学科上，根据两者份量的比重，某些具体的农用工程技术如一定要作为通用工程或农业工程来处理，那也很难认为绝对不可。第三层次或阶段，通过深入研究和揭示农业生物在生长发育和产品转化过程中生物体及环境因素和有关物料与工程手段之间在不同生理生态水平上的相互关系、规律和有关系统的优化，藉以发展技术，为农业的发展或关键课题的解决提供新的科技投入。随着生物技术和生态环境科学的进展，这方面的机会变得更为具有吸引力。例如保持(水土)、定轨、少免耕法，调控植株亏水度的灌溉方法，豆科

牧草的调制技术, 玉米的挤压工艺, 生物反应器的工程调控, 光合过程的调节, 胚胎工程, 小剂量药剂 (生长激素等) 的施用, 人工生长箱, 宇宙生物封闭持续自给系统等等. 这类工程技术属农业工程的核心领域. 这样, 农业工程可定义为在农业生产建设中所发展的各种专用的、适用的以及综合治理措施中所包括的工程技术. 而农业工程学科是介于农业生物学科和工程学科之间的一门边缘学科, 它研究农业生物、环境因素及有关物料在生物生长发育和产品初级转化过程中与工程手段在不同生理和生态水平上的相互关系, 揭示所起力能以及水热盐气光等物质能量运移效应的信息、现象、规律, 发展有效的调节方法、技术装备和综合治理措施, 以便抗缓逆情和有效利用自然资源, 达到提高产量和品质以及保护生态资源环境的目的. 简而言之, 农业工程学科研究农业生物生长发育和初级产品转化过程及环境的工程调节和综合措施的优化, 为发展生产而同时保护生态资源环境服务.

农业工程学科的分支领域, 事业的管理部門或人才培养的专业, 在不同国度的不同发展阶段常从不同的角度根据需要进行划分. 譬如美国早期分为农用动力与机具, 水土关系, 农业建筑, 电力与加工等. 近来有提出增加农业生物工程, 农业资源工程, 农业生态环境工程等. 在我国现阶段情况下, 如按对象、环境和所需要工程基础的不同来划分, 农业工程有如下 8 个领域:

大气条件下农业生产 (农、林、草、牧、渔) 的工程调节;

设施农业 (植物、畜禽、生物反应器) 的工程调节;

农业初级产品、副产品及废弃物的加工转化与利用;

农业生物工程;

农业自然资源、环境、生态的保护与利用;

农业能源工程;

农业生物系统信息处理与控制自动化;

农业抗缓逆情综合治理工程措施及其优化.

我国与农业工程有关的分支事业, 由 6 个部委的 9 个专业司局管理. 一般都在部委所属的研究院所和高校设有相应的专业研究所和专业. 如农业部的农业机械化司, 畜牧局, 水产局; 机械委的工程农机司; 水电部的农村水利和水土保持局, 农电管理局; 建委的农村建筑局; 能源部的农村能源局; 轻工部的食品工业局等.

在国家教委和国务院学位委员会 1986, 1987 颁布的普通高校本科和研究生学科专业目录草案中, 农业工程正式开始与机械, 水利、土木、电工、化工以及植物生产、动物生产等, 被并列为工学或农学学科门类中的一类学科, 设置有农业机械化, 农机设计制造, 农业建筑与环境, 农业水土资源利用, 农业电气化自动化、以及农业能源等 6 个专业和农产品加工工程, 农业系统工程, 水土保持, 林业机械等有关的专业.

三、农业工程科学技术在解决我国农业问题中的潜在作用

一个国家的农业发展需要优先研究开发或解决哪些工程技术问题, 取决于该国发展农业所定的目标和采取的技术途径. 例如, 发达国家的农业是农产品供应过剩的农业. 英国在战后曾为了促进农产品自给而立法保证农产品价格, 由国家赔偿农场主因市场价格低落而损失的部分. 自 1981 年起因农产品过剩, 就采取由政府赔

偿一部分农场主暂停生产的做法。美国下一步发展农业的目标，据了解，定为提高农业效率，开拓农副产品的工业原料市场，同时保护人类赖以生存的自然资源和生态环境，发展减少依赖石油化工产品的“低投入持续农业”。我国农业经几十年的努力，已初步解决了温饱问题，但作为总体，基本上仍属于农产品供应不足的国家，地区之间的不平衡甚为突出。几十年来我国在水利化、机械化、化肥农药方面的投入不算少，但据估计，我国的中低产田仍约占耕地的 $2/3$ 。而低产的原因主要出自旱涝碱洪的灾害频繁，水资源日趋短缺，土地质量退化（由于占用耕地，水土流失，沙化，红壤化，潜育化，次生盐碱化，有机质减少，养分亏缺等等），肥力不高，基础设施薄弱。要达到国家经济和社会发展规划和八五计划所要求那样，保证粮棉稳定增长，粮食登上两个台阶，促进农业生产全面发展的目标，我国的农业就需要采取积极抗衡灾害的措施、提高水土等资源的利用效率、保护自然资源、发展林草业、改善生态环境的途径，建立一种积极的抗逆增产的持续农业。在建立这样一种积极地提高水土资源利用效率、抗逆增产的持续农业中，工程技术，尤其是农业工程科学技术将发挥关键的作用。例如干旱半干旱地区的农业，从经济管理的角度可以提出调整生产结构，合理规划农林草以及种植区域等有效的措施，或者如一位世界银行的经济学家在 1982 年杭州国际小规模农业机械化学术讨论会上向我们所建议的那样，将自然资源条件恶劣的西北地区的人口往东南迁移等各种方案。农业生物学家亦可能通过培育抗旱品种，甚至有朝一日成功地将 CAM（景天酸代谢）植物（如波萝）的遗传基因移殖于 C4（如玉米）、C3 代谢（如小麦、棉花）作物而大大减少光合成单位干物质所需的蒸腾量。在此同时，通过工程措施来提高田面雨水入渗量和集中量，减少田面蒸发量等亦是潜在可行的。

又以黄淮海平原为例，在这个地区几十年来已经进行了不少的水利建设，全国 220 多万眼机井的大部分就在此地区。然而仍然普遍存在春旱、夏涝、盐碱、泛洪、机井地下水位不断下降的威胁，增产受到制约。这主要由于在广大耕地面积上植物生长发育所依赖的物质能量，尤其是作为物质能量载体的水、其运移过程及四水（土壤水、植物水，大气水，地下水）的合理调节和广大受雨面积上的地上水地下水转换工作，在部门之间有脱节，管理不善，结果辛辛苦苦地花了大力气，将水送到了地头，而只做了事情的一半。今年百年不遇的洪情再次说明了防洪的治本，除了高筑堤深浚河之外，还需注意从树根、草根做起，从在广大受雨面积和广大耕地上研究蓄雨耕法，开发地上水地下水转换的工程技术着手。在这些方面的综合措施中，农业工程可以做出贡献。类似的问题也表现在其它形式的物质和能量运移与转换的工程调节上。显然，物质能量工程调节的课题既表现在植物生产过程中，亦表现在动物生产、生物化工的各种反应器、产品保鲜加工，生物可再生资源的利用等过程中。

因此，我们认为植物生产，不论是大田、园林或设施农业，都以植物体在适宜于生长的土壤和大气环境下物资能量得到适时适量的供应，方能得以生长发育和高产为特征。在自然条件下，环境和物质能量的供应往往总是与植物体需要有较大的差距，从而减产；而长期过大的差距则形成灾害。避免灾害、提高水土等资源的利用效率，获至增产，就需要对环境和物质能量的供应及其运移、转换过程加以调节。这时往往既涉及生物过程，亦涉及工程措施。为此，需要深入研究农业生物体及环

境因素和有关物料与工程手段之间的相互作用，查明对物质能量运移过程所产生的效应，从而发展显示、测量、调控生物生长发育和环境的有效方法、技术装备和方案优化的综合措施。这就构成了农业工程学科的典型课题。而农业工程学科正是由于在不同生理和生态环境水平上研究工程措施对环境及生物体物质能量运移过程的效应而在发展农业中发挥应有的作用，成为不可替代的学科。

四、农业工程科学技术问题的特点

1. 农业工程所处理对象的材料或介质，不论是生物体本身物料或是环境物料，都与传统通用工程的对象有很大不同。这些材料或介质通常属于多孔松散介质；其物理力学性质、应力应变关系、屈服和强度、变形和流动在加工过程中往往在时域和空域上发生大幅度的变化。这样，当我们试图应用粘弹性、塑性、流变理论、塑性动力学、介质动力学的基础知识进行处理时，就遇到许多困难。譬如在处理微元的体力和面力的动力学效应时，体力还可通过惯性项，面力就不好办。为此，我们只好将多孔松散连续介质在加工中的变形、屈服、破坏、流动过程视为非牛顿流体颗粒的流过势垒，应用物理化学领域中根据统计力学概念已坚实地确立了的速率过程方程，结合我们自己设计的实验，建立了含有速度对数项的土壤动态强度方程和动态粘附摩擦阻力方程，以便在动力学问题中代替莫尔库仑土（静）强度方程，来处理广大领域的机械对土壤加工问题。

2. 农业工程的许多科学技术问题涉及通过多孔介质、多孔膜的物质和能量传输过程。譬如，在一项与澳大利亚合作研究的课题“华北水果生产中水的有效利用”中，当我们企图稍为科学地按植物在不同生长发育阶段的植株生理水势来调控供水时，就遇到水的湿润峰在多孔介质土壤中的运移，水在根区环境的渗透，水溶液在植株体中通过细胞膜细胞壁的运动等问题。又如在我们所承担的一项有关生物质热解气化机制及应用的自然科学基金课题中，我们对所用玉米芯这种纤维质膨松物料在物质随加热而降解的过程中热量从外向里传导、水分从里向外传输所需要时间的预测和传热系数、导水系数的测定和应用等，就遇到许多困难。虽然我们根据试验结果初步认为玉米芯的热解过程亦与煤的燃烧过程相似，基本上符合 Arrhenius 方程，但玉米芯物料的传热系数、水分扩散系数的测定及其在设计中的应用，没有很好的解决。气体交换是植物光合和呼吸、动物的呼吸和代谢、环境污染和温室效应的基础。这些过程及其调控也涉及气体在多孔介质、多孔膜中的传输。譬如氧气必须从大气中传输到植物的根系以便维持必要的呼吸；而细胞呼吸所释放的能则使得离子能通过根系细胞膜并保持渗透能力。国外如澳国家科学工业研究组织（CSIRO）的 J.M.Kirby 就对土壤变形如何影响空气的渗透性进行了研究，国内尚未见到有这方面的研究报导。总之，水热盐气在多孔介质、多孔膜中的传输过程在农业工程所需要处理的问题中是相当普遍的现象。

3. 农业生物的生长发育是在大气自然环境或人工小气候环境下进行的过程。这些过程的调节与干预涉及各种自然力，这些自然力效应的计入或利用是农业工程科技的另一特点。比如不同防风林结构下风对橡胶树、果树的破坏，干旱热风对中国华北小麦的减产为害，作物冠层小气候中气流的流速和方向以及水汽饱和欠缺度对叶面温度、叶面蒸腾和光合强度的影响，对不同植被下田面蒸发的影响等等，都涉

及气体湍流的法则和测定问题。又如不同田面植被或田面状况下地表径流对水土流失的冲刷效应就涉及微量水力学。农业工程所感兴趣的常是流体动力学的一些特殊领域。

4. 农业工程以生物生长发育和生物物料品质转化过程及其环境的工程调节为主要任务, 而这些过程往往是物质能量及有关参数在较大的时域和空域上不断发生变化的过程, 往往需要进行长期间大量的田间试验和大规模的数值模拟和计算试验。例如在不同耕作和灌排措施对土壤经过结冻化冻过程越冬后种床水分、温度和积盐状况进行预测时, 每计算一天的积盐量就需 3-4 小时机时。以符合农业生物生长发育及其环境动态过程规律为基础的农业工程信息的识别、测试处理、控制技术和模型模拟等电子及计算机技术的应用, 具有许多特点。

5. 随着农业工程对农业生物系统的研究和处理, 一方面不断向微观发展, 从个体、群体而及组织器官、细胞水平, 一方面不断的向宏观发展, 从个体群体而及生态环境, 所涉及的农业生物和环境系统, 具有层次多、信息量大、参数多、规模大, 动态性和开放性显著等特点。

6. 农业工程是介于传统通用工程和农业生物之间的学科, 其工作既依靠传统通用工程的基础, 亦依靠农业生物学的基础。通过农业工程这一边缘交叉领域的科学研究和技术开发, 不仅对农业的发展提供新鲜的途径, 对农业科学本身亦由于测试手段、数据处理、数值模拟、计算试验预测等在农业工程中的广泛应用, 对传统农业田间实验技术的进展亦有裨益。对传统通用工程学科本身, 亦可由于促进对仿生问题的注意和研究带来新的讯息。譬如, 小麦植株的高度为直径的 200—300 倍, 这是人类工程所远未能达到的水平。壁虎的能爬直墙, 鼓虫在水面藉表面张力而浮游的高效率推进, 都是山地 / 水田拖拉机性能所瞠乎其后的。至于电鳗的生物电, 萤火虫的生物光, 动物神经系统的讯息传递与控制机械等的研究, 亦会由于农业工程学科的深入发展而有所促进。

五、我国农业工程发展状况的评议

1978 年全国科学会议之前, 虽然在我国没有专管农业工程的事业管理部门和学科, 各有关事业管理部门、研究所和高等学校有关的专业事实上已经进行了大量的农业工程工作; 譬如农业机械化, 电气化, 水利化, 农村建筑, 农产品的贮运、保鲜和加工, 畜牧、水产、森工的机械化等等。在 1978 年全国科学会议以后, 特别是我国建立学位制度以及国家教委和国务院学位委员会在普通高校本科及研究生学科专业目录中确立农业工程作为独立学科类 (与传统工程学科如机械、土木、水利、电子电力、化工等并列, 同时可属工科门类, 亦可属农科门类) 后, 我国农业工程性质的科学技术, 有了显著的发展。对我国农业、农村的发展起了很大的作用。这一时期的发展可认为具有以下标志:

1. 在全国的科学技术百花园里增添了新的学科分支或方向。例如动植物环境工程, 农业遥感, 农业系统, 农村能源, 设施园艺, 饲料和食品工程, 土地利用工程, 水土保持, 农业宏观发展战略, 农业环境保护, 农垦经济发展战略, 电气、电子技术在农业中的应用等等。这些新学科分支或新方向得到发展与农业生产责任制和开放政策有关, 与农业工程学科的确立有关。

2. 各分支, 不论是老分支或学科确定以后发展起来的新分支, 在这一时期进行了大量的、内容广泛的农业、农村、生态环境方面的适用技术工作; 对乡镇企业, 农、林、牧、渔、加工业, 农村建设和经济发展, 起了巨大作用. 如手扶拖拉机及小四轮挂车运输机组, 塑料大棚, 地膜覆盖, 鱼塘增养机, 秸秆氨化装置, 省柴灶, 户用生物质气化装置, 各种饲料、饲养及食品加工工艺与设备等等.

3. 各分支, 不论是老分支或学科研究以后发展起来的新分支, 在科学研究的深度和水平以及技术开发的开拓性和实用性方面, 都有了显著的进展. 诸如计算机, 电子技术, 遥感技术, 系统分析技术, 生物技术, 模型模拟、数值方法和有限元、计算物理技术等等的应用; 土机关系, 水土关系, 土壤-植物-大气圈水分、物质、能量、气体循环, 动植物、微生物环境, 生物产品和物质的保鲜、加工转化等理论的建立和开拓; 旱作深耕保墒增产技术, 免耕播种和间隔深松技术, 化肥深施技术, 竖式割台, 脱前收割, 水田拖拉机, 节水灌溉技术, 排水和洗盐技术, 调节植株生理水亏缺度的灌溉技术, 覆盖技术, 设施农业技术, 饲料和产品加工技术等等, 不一而足.

然而, 总起来看, 我国农业工程学科发展进程的主体, 仍处在本文第二节中所述的第一、第二层次或阶段: 各学科分支受传统工程学科影响大, 发展农业工程意识少, 学科基础薄弱, 而事业规模大; 因而效率差, 经济效益低, 一些成果推广普及艰难. 而我国农业的问题又很复杂. 在这种情况下, 要为我国农业发展目标做出应有的贡献, 我国农业工程学科除了针对大中小城市、工矿区、沿海、边疆经济特区副食品及出口创汇农产品、加工品的市场需要, 继续研究开发推广有关的工程技术以及广大农村经济发展需要的各种适用技术和能源、贮运、加工技术等之外, 须着重为广大中低产地区的抗逆增产和持续发展的需要, 研究解决有关的技术措施和综合治理措施. 为此, 需要扎实开展第二、第三层次或阶段的研究与开发; 同时开展有关的应用基础研究, 发展学科理论, 大力发展我国的农业工程学科.

六、几点建议

1. 各部委增加农业工程性质的研究的经费份额; 在这些部委所属有关研究单位的编制中聘任一定量的农学、农业生物学、农业工程专业人员参加研究开发工作.

2. 在各种与农业有关的攻关课题、重点课题及一般课题的研究力量组织中, 注意由农业工程专业单位或人员来承担有关工程措施及综合治理方面内容的课题或子课题的任务.

3. 国家自然科学基金增加对农业工程性质的应用基础研究和旨在发展农业工程学科基础理论的研究方面的倾斜.

4. 各基础学科加强对农业工程学科发展的支持和协作.

参考文献

- [1] 全国农业区划委员会中国综合农业区划编写组. 中国综合农业区划. 北京: 农业出版社, 1981
- [2] 孙颖. 我国人口、资源与食物问题. 见: 中国科协编. 中国科协第四次全国代表大会文件. 北京: 人民出版社, 1991. 108
- [3] 何康. 依靠科学技术, 实现农业上新台阶. 见: 中国科协编. 中国科协第四次代表大会, 1991. 87