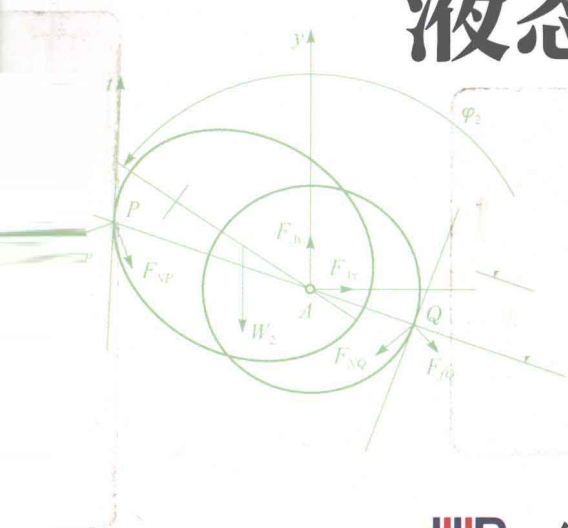




王金武 王金峰 著

液态肥机械深施 理论与技术



科学出版社

液态肥机械深施理论与技术

王金武 王金峰 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在综述国内外液态肥的使用状况和液态施肥机械技术的发展现状的基础上,通过理论分析、计算机辅助设计、计算机仿真与高速摄像相结合的方法,对液态施肥机关键部件的结构、原理、参数进行研究与探索。从介绍液态施肥机关键部件的结构和工作原理入手,将运动学与动力学理论、流体力学知识、计算机仿真技术和高速摄像的方法相结合,对液态施肥装置及关键部件扎穴机构、分配器和喷肥针的特点进行系统的介绍与分析。

本书适合施肥机械领域的科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

液态肥机械深施理论与技术/王金武,王金峰著. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-033852-5

I. ①液… II. ①王… ②王… III. ①液体肥料-施肥机具-研究
IV. ①S224.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 043678 号

责任编辑:丛楠 于红 / 责任校对:郑金红
责任印制:张克忠 / 封面设计:北京科地亚盟图文设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

鑫龙印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 3 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2012 年 3 月第一次印刷 印张: 7 3/4

字数: 150 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

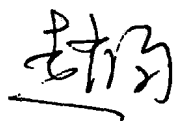
序 FOREWORD

本书是关于液态肥深施方面的著作，是王金武教授科研团队在多年理论研究成果的基础上，通过归纳、提炼形成的一本比较系统的专著。此书内容丰富，对研究液态肥深施技术的科技人员具有很大的参考价值和指导作用。本书主要内容包括：液态施肥机的施肥原理和存在的问题，指出发展我国深施型液态施肥的必要性和发展前景；以质点相对运动微分方程为基础推出解析形式的液态施肥机扎穴机构运动学、动力学方程和液态施肥机分配器运动学方程；通过计算机编程优化求解扎穴机构、分配器运动学和动力学参数；应用 VB 编写出具有可视化效果的人机交互仿真软件来优化求解扎穴机构的参数；应用 Pro/E 和 ADAMS 软件对深施型液态施肥机的关键部件扎穴机构和分配器进行动态仿真；应用高速摄像的方法对扎穴和喷肥的工作过程进行拍摄，借助高速摄像技术及图像处理技术对扎穴和喷肥的运动规律进行分析。

本书的特点是：①理论性强，对深施型液态施肥扎穴机构进行了运动学分析和动力学分析；②研究方法先进，将理论分析、计算机辅助设计、计算机仿真与高速摄像等研究方法结合起来，对深施型液态施肥关键部件进行分析。

王金武教授所著的《液态肥机械深施理论与装置》一书的出版，是液态肥深施技术的继承和发展，在一定程度上可以满足当前农机领域普遍提出的要开发具有自主知识产权的农机产品的迫切需要，相信会受到广大读者的欢迎。

最后，祝王金武教授和他的科研团队取得更大的成绩。



2012年3月7日

前言 PREFACE

液态肥深施技术是提高肥效利用率,减轻环境污染的主要措施之一。大面积应用化肥深施技术,氮素化肥的平均利用率可由 30% 提高到 40% 以上,磷素化肥和钾素化肥平均利用率也有所提高。中国生产液态肥的企业很多,但生产液态肥施用机具的单位却很少。因此,研究适合我国国情的液态施肥机具势在必行。扎穴机构、分配器和喷肥针是液态施肥机的关键部件,其工作性能直接影响施肥质量和效率,因而研究扎穴机构、分配器和喷肥针对最终研制出深施型液态施肥机具有理论价值和现实意义。本书内容是在以下科研项目资助下完成的:

(1) 国家自然科学基金资助项目:深施型液态施肥机构的基础理论与关键技术研究(50875043)。

(2) 高等学校博士点专项科研基金资助项目:基于遗传算法的深施型液态施肥关键部件工作机理的研究(20102325110002)。

(3) 黑龙江省留学归国人员科学技术专项资金:深施型液态施肥机器系统关键技术研究(LC08C15)。

本书共分 7 章。第 1 章绪论,详细介绍研究深施型液态施肥机的意义,以及液态肥和液态施肥机的施肥方式、发展现状、存在问题,指出发展我国深施型液态施肥的必要性和发展前景。第 2 章以质点相对运动微分方程为基础推出解析形式的液态施肥机扎穴机构运动学、动力学方程和液态施肥机分配器运动学方程,研究液态肥在管路中的流动状态、速度分布、起始流量、压力计算、能量损失和功率计算等问题,为计算机编程求解扎穴机构、分配器的结构参数和扎穴机构动力学特性,减少液态肥在管路中流动时能量损失以及合理选择液泵、节流阀、过滤器等输送设备提供理论支持。第 3 章应用第 2 章中扎穴机构和分配器的理论分析,通过计算机编程优化求解扎穴机构、分配器运动学和动力学参数,应用 Visual Basic 6.0 编写出具有可视化效果的人机交互仿真软件来优化求解扎穴机构的参数,分配器的优化问题主要在于确定分配器凸轮轮廓曲线,应用 Visual Basic 6.0

编程优化求解,得出凸轮轮廓曲线。第4章应用Pro/E和ADAMS软件对深施型液态施肥机的关键部件扎穴机构和分配器进行动态仿真,应用Pro/E软件进行深施型液态施肥装置试验台的设计。由于扎穴运动和喷肥过程属于高速运动,与扎穴动作相配合的喷肥动作在高速运动过程中却难以记录或观察。为了观察扎穴机构运动轨迹是否满足设计要求,检验扎穴过程与喷肥过程的同步性,分析和验证液态肥的施肥损失率,第5章采用高速摄像的方法对扎穴和喷肥的工作过程进行拍摄,借助高速摄像技术及图像处理技术对扎穴和喷肥的运动规律进行分析。第2~5章是将理论分析、计算机辅助设计、计算机仿真与高速摄像等研究方法结合起来,对深施型液态施肥关键部件进行分析,是本书的特色。第6章主要介绍全椭圆齿轮行星系扎穴机构的特点,它是将理论分析、计算机辅助设计、计算机仿真与高速摄像等研究方法相结合的另一应用。

本书由东北农业大学王金武教授的团队根据多年研究成果编写而成,在此对付出辛苦劳动的所有研究生表示感谢。

由于学识水平和时间精力所限,书中还存在不足之处,恳请专家和读者批评指正。

作 者

2012年1月于哈尔滨



前言

1 绪论	1
1.1 我国研究深施型液态施肥技术的目的和意义	1
1.2 国内外液态肥发展现状	3
1.3 国内外液态施肥机的研究现状	5
1.4 深施型液态施肥机的应用前景	10
1.5 研究的主要内容	10
2 深施型液态施肥关键部件的理论分析	12
2.1 扎穴机构的运动学和动力学分析	12
2.1.1 扎穴机构结构和工作原理	13
2.1.2 椭圆齿轮的角位移分析	14
2.1.3 扎穴机构的运动学模型	14
2.1.4 扎穴机构的动力学模型	17
2.2 分配器的运动学分析	22
2.2.1 凸轮机构基本尺寸设计	23
2.2.2 分配器的结构及工作原理	30
2.2.3 分配器凸轮轮廓设计	31
2.3 喷肥针的理论分析	32
2.3.1 喷肥针结构及工作原理	33
2.3.2 液态肥在喷肥针喷口处的出流特性	34
2.3.3 液态肥在管路中的流动状态及速度分布	36
2.3.4 管路中的阻力和功率损失	37
3 扎穴机构和分配器的优化设计	38
3.1 开发平台和开发工具的选择	39
3.2 人机交互的优化方法	41

3.3 扎穴机构的运动学优化	42
3.3.1 数学模型	43
3.3.2 计算机辅助设计	43
3.3.3 结果分析	44
3.3.4 优化结果	54
3.4 扎穴机构的动力学优化	56
3.4.1 优化目标	56
3.4.2 目标函数	57
3.4.3 约束条件	57
3.4.4 模型优化	57
3.4.5 优化结果	58
3.5 分配器的优化设计	59
3.5.1 目标函数	60
3.5.2 计算机辅助设计	60
4 关键部件动态仿真及深施型液态施肥装置设计	62
4.1 扎穴机构的动态仿真	62
4.1.1 椭圆齿轮 Pro/E 设计与仿真	63
4.1.2 扎穴机构 Pro/E 运动学仿真	63
4.1.3 扎穴机构 ADAMS 动力学仿真	69
4.2 分配器的动态仿真	76
4.2.1 凸轮的 Pro/E 设计与仿真	76
4.2.2 分配器 Pro/E 运动学仿真	77
4.2.3 分配器 ADAMS 动力学仿真	79
4.3 深施型液态施肥装置试验台 Pro/E 设计	81
4.3.1 深施型液态施肥装置试验台结构及工作流程	82
4.3.2 试验台辅助装置结构简介	84
5 深施型液态施肥装置施肥过程高速摄像判读分析	87
5.1 系统选型	87
5.2 材料与方法	87
5.2.1 试验材料	87
5.2.2 试验方法	88
5.3 高速摄像判读分析	89

5.3.1 液态肥喷施过程	89
5.3.2 液态肥施肥损失	91
5.3.3 喷肥针尖运动轨迹	92
6 全椭圆齿轮行星系扎穴机构的设计与仿真	94
6.1 全椭圆齿轮行星系扎穴机构的特点	94
6.2 全椭圆齿轮行星系扎穴机构运动学模型的建立	95
6.2.1 扎穴机构的角位移分析	95
6.2.2 扎穴机构运动学模型	97
6.2.3 机构上各点位移方程和各构件的角位移方程	98
6.2.4 机构上各点速度方程和各构件的角速度方程	99
6.3 全椭圆齿轮行星系扎穴机构的计算辅助设计	101
6.4 全椭圆齿轮深施肥扎穴机构的动态仿真	102
6.5 液态肥输送防缠绕设计	104
7 存在问题与展望	108
参考文献	110



绪 论

1.1 我国研究深施型液态施肥技术的目的和意义

中国是一个农业大国，也是一个肥料生产和消费大国。肥料对农业生产的发展，特别是粮食生产起到了重要作用。中国用不到世界 10% 的耕地，养活了占世界 22% 的人口，这与肥料的贡献是分不开的。从温家宝总理向第 12 届世界肥料大会发去的贺信词中可以看出，肥料是农业的重要生产资料，在农业现代化进程中发挥了显著作用。但是，肥料生产和使用过程中存在的肥料施用不合理、肥效低、肥料浪费和环境污染等问题越来越引起关注。液态肥以生产费用低、施肥方便、吸收快、用肥省、可以改善农产品品质等诸多优点广泛应用于农业生产中。

为了兼顾农业经济效益和生态效益，促进农业的发展，施用液态肥是现阶段一种可行的选择。液态肥在生产和运输过程中无粉尘、无烟雾、减少了因三废排放对环境造成的污染。液态肥适用于小麦、水稻、玉米、大豆、茶叶、烟叶、花卉和中草药等作物，应用范围广；能够刺激作物活性，加速有机物质分解，调节土壤的酸碱度，改良土壤，消除板结；可使农作物增产 15%~30%，果菜类增产 20%~40%，叶菜类增产 1~2 倍；具有吸收速度快，稳定性好，抗逆性强，对人和畜禽无毒无害等优点。

深施技术是通过施肥机具将肥料深施在作物根系附近，即位于地表以下 60~100mm 土壤层中，使养分能够被充分吸收，减少肥料有效成分的挥发和淋失，达到提高肥料利用率、保护环境和节本增效的目的。科学合理的施用肥料，对提高农作物产量，降低生产成本，增加农民收入，提高农业的投入产出率具有重要意义。深施技术是相对于撒施或浅施提出的，其优点在于：

1. 深施技术能够增强作物的抗逆性

大部分作物根系具有趋肥性，肥料施用过浅，作物根系大多集中在土

壤表层。肥料深施后，吸引作物根向土壤下层深扎。根深能大大增强作物抗倒伏、抗旱能力，有利于促进作物高产。

2. 深施技术有利于减轻作物后期早衰

土壤肥力不足会导致所种作物生育后期早衰。肥料深施以后，有利于供应作物生育中后期所需的养料，延长作物功能叶的生命活力和叶绿素含量，增强光合作用能力，避免后期脱肥。

3. 深施技术可以减少肥料损失

有些肥料如铵态氮肥和酰胺态氮肥施入土壤后，铵态氮在土壤表层，易被硝化细菌转化成硝态氮。土壤胶体不能吸附硝态氮，除了随水呈水平方向流失，还会呈垂直方向移动，渗入土壤下层。硝态氮在土壤下层，会受反硝化细菌作用，变成氮气和一氧化碳，扩散到空气中去，降低肥效。而铵态氮肥深施后，由于土壤下层硝化细菌极少，不易被转化为硝态氮，反硝化细菌也不能转化铵态氮。因此，可大大减轻肥料的损失。

4. 深施技术能够有效地提高肥料利用率

中国农业科学院土壤肥料研究所曾做过同位素跟踪试验，试验将碳酸氢铵和尿素深施到地表以下 60~100mm 的土层中，其氮的利用率可以达到 58% 和 50%；而采用表面撒施的施肥方式，其氮的利用率仅为 27% 和 37%。由同位素跟踪试验结果可知，深施肥料利用率比表面撒施肥料利用率高。大面积应用肥料深施技术，氮素肥料平均利用率可由 30% 提高到 40% 以上，磷素肥料和钾素肥料平均利用率也有所提高。与表面撒施固态肥料相比，深施液态肥不仅可以减少肥料挥发和风蚀的损失，增大土壤肥效区域，促进作物吸收，而且使肥料利用率由 30% 提高到 60%，肥料使用量节约 1/3~1/2。

5. 深施技术能够提高作物产量

在同样条件下，深施液态肥比喷撒施肥使小麦、玉米增产 225~675kg/hm²，棉花（皮棉）可增产 75~120kg/hm²，大豆可增产 225~375kg/hm²，增产幅度平均在 5%~15%。

6. 深施技术可以减少对环境的污染，促进生态环境可持续发展

深施能够有效地减少肥料中氮素挥发，在保持氮肥肥效的同时，减轻

氨气和一氧化氮对空气的污染，降低肥料对水源的污染。深施使肥料有效成分被充分利用，减少肥料的残留量，减缓盐碱化过程，不致使土壤品质退化，这也符合农业可持续发展战略。

当前，中国生产液态肥的企业虽然很多，但生产液态肥施用机具的企业却很少。中国还没有可完成深施液态肥的机具，相关研究也尚未开展，开展此项技术及配套机具的研究已成为当务之急。本书将液态肥和深施技术结合，实现液态肥深施作业，对深施型液态施肥机具和施肥装置的研究具有很强的现实意义，是解决我国施肥问题的主要途径。因此，无论从节约和环保的角度出发，还是从经济效益和社会效益的角度考虑，都急需研究适合我国国情的深施型液态施肥机具和施肥装置。国家也非常重视这一方面，将液态肥深施技术作为农业机械化的关键技术之一。

1.2 国内外液态肥发展现状

液态肥在农业领域的应用已有悠久历史。人类很早就开始利用液态有机废物作为农作物养料。1808年，英国的 Hemfri Geivi 首先提出用无机盐溶液作为农作物养料的概念；1840年，爱尔兰建立了世界上第一座无机液态肥工厂；1923年，美国加利福尼亚的澳克兰 G-M 公司建成美国第一座液态肥工厂，20世纪30年代初开始液氨直接施肥的试验。此后，世界液态肥生产一直稳步上升，1960年，英国液态肥生产能力为4.93万t，1970年发展到14.5万t。美国液态肥的发展比其他国家更为迅速，主要原因在于美国液态肥的生产、储存、运输和施用逐步得到妥善解决。

世界液态肥的研制、生产和使用主要集中在北美洲和欧洲。美国根据不同的土壤、农作物以及农作物在不同生长阶段的需要，配制出各种规格的液态肥。例如，液氨、氨水、尿素溶液、尿素+硝铵溶液（UAN）、氨溶液+磷铵等清液肥料，磷铵+微量元素+农药、磷酸加氨+微量元素+农药，以及分别用石灰石粉、石膏粉、硫化物、磷矿粉与磷酸、磷铵、氨、钾盐等原料配制而成的各种规格的悬浮液态肥。液态肥在美国的广泛应用，在一定程度上促进了美国农业的发展。目前，美国液氨施用量占氮肥总量的38%，加拿大、澳大利亚、丹麦等国为22%~36%，印度、埃及等一些发展中国家也在积极推广液氨直接施用技术。

世界液态肥消费量北美居第一位，约占世界液态肥消费总量的70%，

西欧居第二位, 约占世界液态肥消费总量的 25%。据报道, 液态肥中的氮肥, 北美也占全球消费总量的 70%; 而氮素液态肥中直接施肥的液氨, 北美消费量高达世界液氨肥料的 92%。

中国对液态肥的应用研究始于 20 世纪 50 年代, 1958 年科研人员在北京和东北公主岭开展过液氨直接施肥实验。由于当时中国氮肥工业尚未大量兴起, 氮源无保障, 中国整体经济实力比较低, 农业处于小农经济状态, 所以液态肥的应用停顿下来。70 年代后期随着氮肥工业的发展, 氮源有了一定保障, 液氮直接施肥这项技术在众多专家和有关部委领导的倡导支持下, 重新提到日程上, 先后在北京、浙江、山东、河北、广东、新疆等地进行了液态肥施肥试验。例如, 浙江嘉兴曾在早稻和晚稻中冲施液氮; 山东阳谷、河北卢台农场在大田施用液氮, 均收到良好效果; 广东省佛山地区 1980 年使用液氮直接施肥于旱稻田, 增产了 5%~10%。以上四处分别因农业机械配套不合理或氮源无保障等原因未继续维持。北京和新疆两地的液氮施肥试验、示范和推广工作开展得较为系统, 居国内领先地位, 均已通过部级鉴定。他们对液氮直接施用的机理、施用方法, 施用后的经济效益以及注意事项等方面都提出了有指导意义的论据。特别是北京地区起步最早, 在施肥机械无样机、无资料的情况下, 根据液氮的特点, 结合中国国情研制出了液氮直接施肥的机具和与其配套的计量仪器, 为国内液氮直接施肥提供了可靠的机具, 为今后的发展奠定了基础。十余年来, 共有几十万亩农田施用液氮, 涉及作物种类包括大田作物(小麦、玉米、水稻)、蔬菜(大白菜)、果树(桃、苹果、葡萄)、饲料(早青储玉米、晚青储玉米)等。1980 年, 新疆农垦总局开始使用液氨直接施肥, 1986 年使用液氨直接施肥面积为 9000hm², 以后又从美国引进施肥机械, 到 1996 年累计施肥面积超过 105 万 hm²。为了提高我国的液态肥施用率, 农业部已把液态氮肥(特别是液氨)的直接施用列为推广试验项目。多年来, 国内的一些肥料生产企业、科研单位也加强了对液态复合肥的研究, 并相继开发和生产含氮、磷的基础液态肥、酸性液态复合肥、磷酸二氢钾复合肥、有机液态肥以及含微量元素的液态复合肥等。2002 年, 利用中国科学院开发的酸性液态复合肥技术建成的一套年产 2 万 t 的生产装置, 在新疆投入运行, 其生产的酸性液态肥在新疆生产建设兵团 1.5 万 hm² 棉花种植田中施用后, 经田间试验对比, 肥料利用率提高 30%, 节约肥料成本 20%, 增产约 15%。新疆地区的地理和气候环境决定了液态肥在该地区的应用有很大潜力。国内生产的液态肥除大面积根部施用外, 一部分也用做叶面施肥,

如对小麦、玉米、棉花、水稻、甜菜及油菜等农作物用液态肥进行根施灌溉；而对蔬菜、水果、园林及花卉等经济作物在生长期经常喷洒液态肥；烟草产区除施基肥外，还在烟草生长期喷施或灌溉液态肥。目前，我国还没有液态肥施用的详细统计数据，初步估计每年用量约 30 万 t。

1.3 国内外液态施肥机的研究现状

从国内外液态肥的发展现状可以看出，国外对液态肥的研究比较早，而且非常深入细致，液态肥施用机具的种类也很多。广泛采用的施肥方式主要有叶面喷洒液态肥、滴灌施液态肥和深施液态肥。叶面喷洒液态肥是通过施肥机具将液态肥喷施在作物的叶片上，这种施肥方式作业速度快、效果明显、施肥方便，但与深施液态肥相比肥料利用率比较低，且对环境造成污染。用这种方式施肥的机具比较多，技术相对成熟。例如，约翰迪尔公司生产的 4730 自走式液态施肥机是一种采用喷洒施肥方式的液态施肥机具，作业宽度可达 27.4m，如图 1.1 所示。凯斯公司生产的爱国者 3320 自走式液态施肥机，既可完成施肥作业，又可用于喷药作业，该机器作业速度为 20km/h，作业幅宽可达 30m。由于采用全液压控制，轮距可以根据作物行距自动调整，如图 1.2 所示。十方公司生产的大平原喷洒及施肥设备，具有精准的电子控喷系统，喷施架有自动锁定系统，当一侧喷施架向上抬时，另一侧的喷施架不会因此而摆动，对地面的仿形极好，如图 1.3

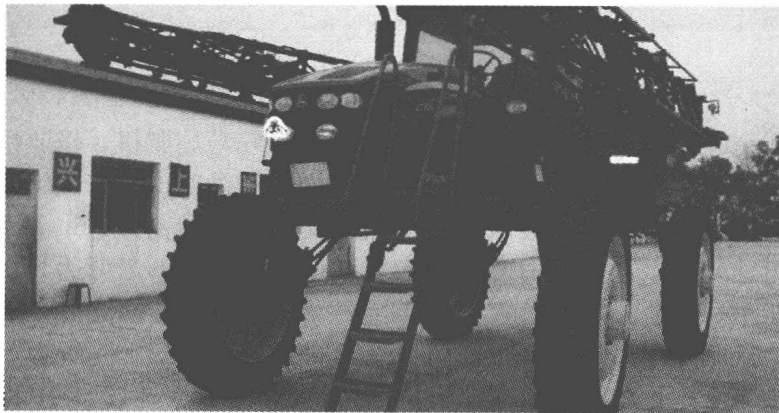


图 1.1 约翰迪尔 4730 自走式液态施肥机



图 1.2 凯斯爱国者 3320 自走式液态施肥机

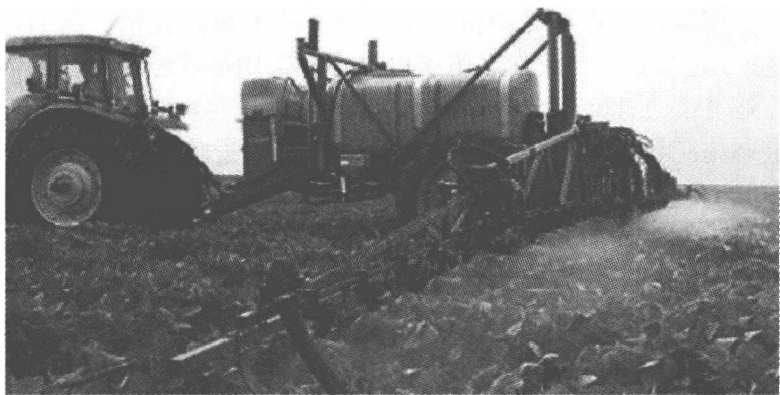


图 1.3 大平原密特高喷洒施肥机

所示。Jacto 公司生产的 UNIPORT2000 自走式喷药施肥机，作业幅宽可达 21m，作业效率每天可达 300hm²。十方公司生产的海吉 STS-10 喷洒去雄组合机既可以喷洒农药，又能用于施液态肥。该机装有 GPS，喷洒精准，精准率可达 96%，可对高秆作物进行后期追肥，作业幅宽可达 27.4m，如图 1.4 所示。凯斯公司生产的 3310 自走式液态施肥机，幅宽 27.4m，作业速度快，施肥效率高，液箱可以储存液态肥 4.2t，如图 1.5 所示。虽然叶面喷洒液态肥这种施肥方式存在肥料利用率低的缺点，但仍是一种非常先进的施肥方式。

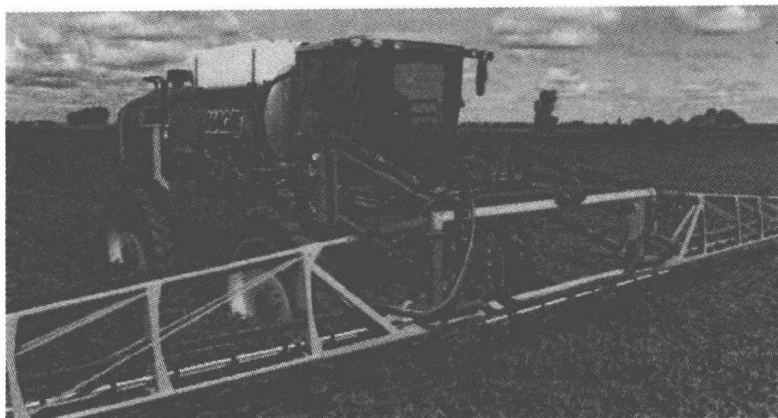


图 1.4 海吉 STS-10 喷洒去雄组合机



图 1.5 凯斯 3310 自走式液态施肥机

滴灌施肥是通过安装在毛管上的滴头、孔口或滴灌带等灌水器将液态肥一滴一滴地、均匀而又缓慢地滴入作物根区附近土壤中的施肥方式。国外许多缺水的国家使用这种灌溉施肥方式，由于施肥量小，液态肥缓慢入土，因而在滴灌条件下除仅靠滴头下面的土壤肥量处于饱和状态外，其他部位的土壤肥量均处于非饱和状态，肥效利用率高且对环境污染小。滴灌施肥如图 1.6 所示。

以色列生产的自动灌溉施肥机，能够按照用户设置的灌溉施肥程序和 EC/PH 进行实时监控，通过机器上的一套肥料泵准确适时地将肥料养分直接注入灌溉管道中，连同灌溉水一起适时适量地施给作物，有效提高水肥



图 1.6 滴灌施肥