

570

5/2161

732834

农业机械的 设计和计算

〔苏〕 A. B. 卢里耶 著
A. A. 格罗姆勃切夫斯基

NONGYE JIXIE
DE SHEJI
HE JISUAN

中国农业机械出版社

农业机械的 设计和计算

〔苏〕 A. B. 卢 里 耶 著
A. A. 格罗姆勃切夫斯基
袁佳平、汪裕安、顾永康 译

NONGYE JIXIE
DE SHEJI
HE JISUAN

中国农业机械出版社

责任编辑 张维新

本书主要阐述农业机械及其部件设计和计算的基本原理，着重研究农业机械的动力模型及农业机械在田间条件下工作的动力特性的计算分析和统计分析，提出了建立农业机械及其工作过程数学模型的一般方法，并研究分析了农业机械在模拟计算机上模拟的方法。

本书可供农业机械生产和科研单位的工程技术人员以及农院校师生参考。

本书由顾永康译一、十一章，袁佳平译二、三、四、十章，汪裕安译五、六、七、八、九章，袁佳平、汪裕安校对，王以廉、肖唐健审阅一、十一章，谷谒白审阅二、三、四章，谭奈林审阅五、六、七、八、九、十章，洪生对全书进行文字统编工作。

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СЕЛЬСКО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

А.Б.Лурье А.А.Громбчевский
《Машиностроение》1977. ленинград

农业机械的设计和计算

袁佳平 汪裕安 顾永康 译

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号

房山南召印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

850×1168 32开 17 1/2 印张 465千字

1983年9月北京第一版·1983年9月北京第一次印刷

印数：0,001—5,100 定价：2.15元

统一书号：15216·138

科技新书目：54—100

前 言

农业生产发展的主要方向是在生产过程综合机械化和自动化、土壤化学化以及大面积土壤改良的基础上强化农业生产。

最近几年采取了大力加速农业技术发展和提高其质量的重大措施，以便提高农业生产的机械化水平、缩短农业生产各工序的周期，并减少单位产品的劳动消耗。

在实现技术发展的任务方面，正在拟定和创制农业生产各个领域综合机械化的机器系统；提高行走机具的工作速度和增加它们的工作幅宽；加大拖拉机和固定式动力装置的功率；创制农作物收后加工的流水作业线；研究和采用合理的农业机器操纵系统，其中也包括自动化的操纵系统。

有关农业机械的科学也获得了重大进展。科研工作者正在从机器的静态模型过渡到研究分析其动态模型和概率模型，前一种模型把机器的工作条件加以理想化，后一种模型考虑到机器工作的现实条件。还越来越广泛地应用数学模拟方法，并用相应的电子计算技术去预测机器的工作过程和优化机器参数。这些现代科学成就成为改进现有农业机械和创制、设计新的农业机械的坚实科学基础。

但是这些资料主要地还只是在定期的科技刊物和各研究机关的科技论文集上发表，没有很好概括，并且在设计和计算新的农业机械的实践中运用得也不够。

因此本书首次试图总结农业机械及其工作过程的静态和动态方面的资料。除工作部件设计阶段和初步计算中通常所用的静态模型外，本书以很大的注意力用在机器工作的动态分析和统计分析，以及机器工作指标的统计估计[⊖]上。同时把具有输入和输出

⊖ 原文оценка有时译评价，下同——译者。

变量的动态模型以及系统作为计算的基础。这里把系统这一概念理解为“机器-环境-人”的体系以及其中各元件联系的结构。

鉴于农业机械及其工作过程自动化的重要性，对于大多数行走机具都研究了它们的自动化原理和设计计算自动控制系统（ACY）的一般方法。

对于每一种机器的有关资料的阐述都尽可能地大致按下列统一的方法进行：а）机器的主要结构图和工艺图以及它们的计算模型（信息的、动态的和其他等等）；б）机器工作部件的设计计算原理；в）机器工作时工作过程的动力学以及它们的动态特性的计算；г）机器工作指标的统计估计；д）机器自动化的原理。

值得指出的是书中所引用的全部资料都与机器及其工作部件的工艺计算有关。当然农业机械设计与计算最重要的阶段仍是保证零、部件的结构强度、机器的可靠性和耐久性。农业机械强度、可靠性和耐久性的计算现在主要还是根据静态计算图和通用机械制造业中所采用的方法。对于这些问题本书未加研究。

书中有关农业机械自动化原理部分为技术科学副博士 А.А. 格罗姆勃切夫斯基（Громбчевский）撰写，其余部分为技术科学博士 А.Б. 卢里叶（Лурье）撰写。

目 录

前 言

第一章 农业机械设计和计算的工艺基础	1
1. 农业机械及其工作条件的一般特点	1
2. 农业机械工作的随机过程	6
3. 随机过程的基本特征	23
4. 建立农业机械及其工艺过程数学模型的方法	38
5. 农业机械的工作质量评价	58
第二章 土壤耕作机械	68
1. 土壤耕作机械的结构图	68
2. 铧式犁和灭茬犁的设计和计算	81
3. 中耕机、钉齿耙、圆盘农具和旋耕机的设计和计算	101
4. 土壤耕作机械的机构	119
5. 土壤耕作机械的工作阻力	132
6. 土壤耕作机械在正常工作条件下的动力学	137
7. 土壤耕作机械的自动化原理	148
第三章 播种和栽植机械	165
1. 播种和栽植机械的结构图和计算模型	165
2. 条播机的设计和计算	179
3. 点播机和穴播机的设计与计算特点	200
4. 栽植机械的设计和计算	207
5. 播种和栽植机械的动力学要素	225
6. 播种和栽植机械的自动化原理	231
第四章 施肥机械	236
1. 施肥机械的结构图和计算模型	236
2. 施肥机械工作部件的设计和计算要素	247
第五章 谷物收获机械	259
1. 谷物收获机械的结构图和计算模型	259
2. 收割台工作部件的设计和计算	275

3.	谷物联合收割机脱粒机工作部件的设计和计算	291
4.	谷物联合收割机在正常工作条件下的动力学	310
5.	谷物联合收割机工作指标的统计估计	319
6.	谷物联合收割机的自动化原理	323
第六章	谷物收后加工机械	331
1.	谷物收后加工的主要作业流程及其计算模型	331
2.	在机组和成套设备上加工的谷粒物料的统计特征	338
3.	通用的气流筛式谷物清选机的设计和计算	343
4.	圆柱形窝眼筒的设计和计算	359
5.	谷物收后加工流水线中干燥机和辅助设备 参数的确定和计算	371
6.	谷物收后加工机械工作指标的统计估计	383
7.	谷物收后加工流水线的自动化原理	388
第七章	马铃薯收获和收后加工机械	393
1.	马铃薯收获机械的工艺图和结构图	393
2.	马铃薯收获机械工作部件的设计和计算要素	405
3.	马铃薯收后加工站设备的选择	411
4.	马铃薯收获机械的自动化原理	417
第八章	亚麻收获机械	421
1.	亚麻收获机械的结构图和工艺图	421
2.	亚麻收获机械工作部件的设计和计算	434
3.	亚麻收获机械在正常工作条件下的动力学	451
4.	亚麻收获机械的自动化原理	456
第九章	玉米和青贮作物收获机械	464
1.	玉米和青贮作物收获机械的结构图和计算模型	464
2.	玉米收获机械工作部件的计算要素	474
3.	青贮作物联合收割机工作部件的计算要素	482
第十章	牧草收获机械	486
1.	牧草收获机械的结构图和计算模型	486
2.	割草机和搂草机工作部件的设计和计算要素	498
3.	捡拾-压捆机工作部件的计算要素	504
4.	捡拾-压捆机在正常工作条件下的动力学	510

第十一章 农业机械及其工作过程的模拟	517
1. 农业机械及其工作过程模拟的任务与手段	517
2. 农业机械及其工作过程相似模拟的一般原理	522
3. 在模拟计算机上计算过渡过程	530
4. 随机输入作用下的农业机械及其工作过程的模拟方法	537
5. 农业机械及其控制系统相似模拟的例子	543
参考文献	550

第一章 农业机械设计和 计算的工艺基础

1. 农业机械及其工作条件的一般特点

农业机械是动态系统。农业机械是在外部作用不断变化的条件下进行作业，这些作用取决于各种不同的因素，如地面不平度、土壤和作物的物理-机械性质、所加工和所输送物料的性质（清选和分级时的籽粒、切碎时的茎秆、肥料等等）以及其他各种因素。主要的是这些不断变化的因素使机器和拖拉机的负荷不均匀，并影响着机器工作的工艺过程指标和功率消耗。

当工作部件与加工物料、行走机构与地面相互作用时，外部因素的变化引起农业机械上各点运动的复杂性质，这在很大程度上改变着各种作业的质量（耕地、中耕、播种等）。同样地，机器与加工物料的相互作用也决定着完成相应的田间作业所需要的功率消耗。

对土壤耕作机械和播种机械而言，就是要将耕深与种子覆盖深度保持在规定的范围内，这是对耕作和播种质量所提出的主要农业技术要求之一。对于耕作机组除了应达到所要求的耕深外，还要保证沟底平整。犁在纵横两个方向耕深的不稳定就会影响耕地质量，并导致拖拉机发动机负荷的波动和燃料消耗的增加。同时，机组的前进速度对机器牵引阻力的波动及其工作的工艺指标有着重大的影响。随着前进速度的提高，激励 $\ominus$ （возмущающие）因素（地面不平度、土壤阻力等）的频率也增加。

不断变化的激励因素对收获机械的工作也有影响，它们不论

$\ominus$ возмущающие 有时译干扰，下同——译者。

是对拖拉机或自走机器的发动机，还是对工作部件都会引起负荷的波动，从而导致收获损失的增加。根据苏联和其他国家的谷物联合收获机的试验数据，当作物喂入量的增加超过机器的通过能力后，脱粒机的谷粒损失就会急剧增加。随着作物水分、茎秆及杂草含量的增加谷粒的损失也增加。收获条件的变化经常引起工作部件堵塞，因而需要许多停车时间以排除故障。

即使在固定的机器和机组上以及按流水作业加工和运输各种物料（谷粒、作物等）的配套机器上，外部作用也都是不断变化的。

而且在设计与计算农业机械时，也没有充分估计机器在正常工作时所处的实际情况，多数采用静态模型作为设计与计算机器及其工作部件的基础，这些模型将实际上相当错综复杂的现实工作条件大大地加以理想化。在设计与计算时应将农业机械看做是所控制的动态系统。并应将机器的工作模型作为计算的基础，这种模型就是考虑了不断变化的工作条件对机器性能及其工作过程的数学描述。

因而有必要深入研究一种或许能最全面反映机器实际工作条件的计算图。这种图反映实际机器工作过程最本质的方面，从这一点来说，可以把这种图看作是所设计的机器的模型。

农业机械的功能可以看作是对外部输入激励和控制作用的响应。同时，不论任何用途的机器其计算草图都可按照“输入-输出”原则制订。按此图，机器及其工作部件的设计与计算是在研究输入与输出变量相互关系的基础上以及变量传输和转化的动力学基础上实现的。所有的外部激励（工作条件）和控制作用（来自驾驶员或控制装置）均为具体的物理量（力、力矩、位移等），它们可以作为输入变量；而决定机器工作质量、动力和技术-经济指标、强度性能等指标的参数总和作为输出变量。

这种建立农业机械功能模型的方法确定了将模型看做是动态系统的概念，这种系统将输入激励和控制作用转化为输出。以下将要广泛运用动态系统这个概念（为了简略，常将“动态”几个

字省掉)。这样, 将机器模型以及那些在系统中实现和转化的过程的总和理解为系统。

农业机械(机组)一般可表示为系统的形式(图1), 在其输入端作用着工作条件的矢量-函数(外部激励) $\mathbf{F}=\{f_1(t), f_2(t), f_3(t), \dots, f_n(t)\}$ 及控制矢量-函数 $\mathbf{U}=\{u_1(t), u_2(t), \dots, u_k(t)\}$ 。矢量 $\mathbf{U}$ 对组成机器控制系统的控制装置而言乃是输出。矢量-函数这个术语意味着在输入端有 n 个激励作用和 k 个控制作用, 此外, 这些作用一般也都是时间 t (或其他任何自变量)的函数。在连续加工物料的复杂机器(播种机、收获机械、谷物清选机等)中, 还必须考虑到各个工作部件与组合件之间存在着内部联系矢量-函数 $\mathbf{D}=\{d_1(t), d_2(t), \dots, d_l(t)\}$ 这种形式的相互作用。

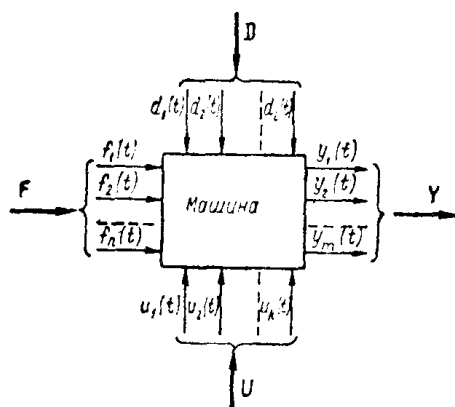


图 1 农业机械的计算图

输出变量也是一种 $\mathbf{Y}=\{y_1(t), y_2(t), \dots, y_j(t), \dots, y_m(t)\}$ 的矢量, 它表明机器在实际工作条件下是如何工作的。换言之, 矢量 $\mathbf{Y}$ 确定机器工作的工艺、动力、使用及其他指标。

计算图中应该补充以矢量 $\mathbf{Y}_u=\{y_{u_1}(t), y_{u_2}(t), \dots, y_{u_j}(t), \dots, y_{u_m}(t)\}$, 它表明机器应如何工作。矢量 $\mathbf{Y}$ 对矢量 $\mathbf{Y}_u$ 的偏差确定作为动态系统的机器工作的准确性, 并且在一般情况下偏差

$$\mathbf{E}=\mathbf{Y}-\mathbf{Y}_u \quad (\text{I.1})$$

构成矢量 $\mathbf{E} = \{e_1(t), e_2(t), \dots, e_l(t), \dots, e_m(t)\}$ 。可将矢量 $\mathbf{Y}$ 看作某台理想机器的输出矢量，这台机器保证按已定的农业技术、使用、技术-经济及其他要求准确无误 ($\mathbf{E}=0$) 地完成作业。

矢量分量的个数 n 、 m 、 k 及 l 取决于机器的类型、对各种工作条件估计的程度以及其他因素。在实际计算时所考虑的变量个数总是少于在现实工作条件中实际作用的。这就是模型与原型（实际机器）的主要区别。

例如犁和拖拉机组成的耕地机组的计算图，可以表示为系统的形式，在系统中矢量 $\mathbf{F}$ 包括地面不平度 $Z(t)$ 、土壤阻力 $R(t)$ 、土壤对机组支点的反力 $Q(t)$ 等；控制作用矢量 $\mathbf{U}$ 可以包括拖拉机方向盘的回转角 $\varphi(t)$ 、前进速度 $v(t)$ 等；而输出矢量 $\mathbf{Y}$ ——功率消耗 $N(t)$ 、耕深 $a(t)$ 、前进方向 $\psi(t)$ 等。在谷物联合收获机上产量 $Q_p(t)$ 、前进阻力 $R(t)$ 、作物状态 $k(t)$ 等为工作条件矢量 $\mathbf{F}$ 的分量，而功率消耗 $N(t)$ 、粮箱中的谷粒量 $Q_s(t)$ 、谷粒损失 $\Pi(t)$ 等是矢量 $\mathbf{Y}$ 的分量。符号 (t) 表示所有的变量均为时间（行程）的函数。矢量 $\mathbf{D}$ 的分量可以通过收割台、脱粒装置和其他工作部件之后作物状态的变化以及决定联合收割机内部关系的其他过程。

对任何农业机械及其工作过程都可以建立这样的图。同时应该指出，输出矢量 $\mathbf{Y}$ 取决于机器（它的参数）的性质及矢量 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{U}$ 及 $\mathbf{D}$ 的特性。建立这些矢量之间的关系也是主要的计算任务之一。

如已指出的那样，矢量的分量一般随时间而变化，所以农业机械的计算模型通常是动态模型。对工作条件大大地加以理想化后，在开始设计阶段往往要研究输入和输出矢量的分量为固定值的简化模型，这样的模型以下称为静态模型。

议定一些其他定义。矢量分量随时间的变化称为过程。输入作用的作用点称为系统的输入端；输出过程的观察点称为系统的输出端。

农业机械的工作特点。作为动态系统的农业机械（机组，成套机器）的工作模型必须具有以下主要特点：

1. 多维性，即存在许多输入与输出变量。模型输入与输出端的变量个数取决于机器或其工作部件的类型、选用的计算图、对工作条件估计的程度及其他因素。

如果近似地认为，每个输入作用仅影响输出变量中的某一变量，即局限于具有一个输入端和一个输出端的系统，这样的系统称为一维系统。但实际上农业机械却是具有若干输入与输出变量的多维系统，并且每个输入作用一般可能影响几个输出变量。例如，地面形状作为作用在土壤耕作机械上的输入作用就影响机器工作的工艺指标（耕深的均匀性）和动力指标（牵引阻力）。

农业机械的多维性不仅取决于所计算的变量的数目，而且决定于变量之间的相互关系。

应该认为具有几个输入作用（工作条件）和一个输出端（工艺的、动力的、强度的等等）的图是最合适的农业机械计算图。

2. 决定机器工作条件的矢量-函数 F 的分量 $f_i(t)$ 的统计学性质。绝大多数分量 $f_i(t)$ 的主要特点是，在概率-统计学概念上分量 $f_i(t)$ 应该属于随机事件的范畴，即这种事件的数值与变化只能根据试验结果确定。

众所周知，在各种动态系统的工作中所观察的过程可以有条件地分为两类。受预先已知的因素制约着的过程属于一类，在加以某种限制的条件下就能以任何精确度预测出这些过程的历程。当然任何机器的每一工作过程包含随机因素，但是有时这些随机性是非本质的，就可以忽略。为了分析与综合这些过程可以利用所谓研究确定性现象（детерминистические）的方法，此方法是根据古典物理学与力学规律拟定的。这些方法的实质是，所有的外部作用与其他作用看做是完全确定和已知的。

另一类过程的特点是，在过程中随机因素起着本质的作用。仅仅考虑连续或间断作用的矢量分量 $f_i(t)$ 的随机特点就可以正确预料这些过程及估计其结果。对这样的过程进行分析和预测，

如不考虑过程历程的实际条件，就可能导致很大的错误。

于是，关于农业机械工作过程的历程具有严格确定规律的古典概念，只是对发生在现实环境中的过程的大略近似。所以设计和计算农业机械及其工作部件和控制系统时就应采用概率统计方法。

3. 复杂性，而且往往还难以得到机器正常工作时的某些分量 $f_i(t)$ 和 $f_j(t)$ 的信息。例如，外界（土壤、作物等）的阻力，收获时作物的喂入量，收获损失等是属于这样的过程。这对建立功能模型，计算模型参数和工艺过程带来困难。

4. 非平稳性，即作为动态系统的机器的特性随时间的变异性。农业机器上出现非平稳性是由于机器质量的变化、播种机和栽植机种箱的卸空、收获机粮箱的充满以及由于零件磨损和变形引起工作部件几何形状的改变都会引起机器质量的变化。质量与几何尺寸变化导致机器动态特性的变化。

同时，在农业机械的设计阶段可以采纳关于作为动态系统的机器的平稳性这一前提。农业机械功能模型及其参数计算模型的平稳性意味着输入作用 $f_i(t)$ 的转化过程相对于输入作用的时间位移是不变的。系统响应 $y_j(t)$ 与输入作用 $f_i(t)$ 的施加时刻无关，而仅与时滞——当前时刻与输入作用的施加时刻之差有关。

2. 农业机械工作的随机过程

概述。如以上所指出的那样，输入作用矢量 $\mathbf{F}$ 的分量 $f_i(t)$ 的随机性质（在概率统计学概念上）是农业机械的工作特点。因此，输出矢量 $\mathbf{Y}$ （工艺的、动力的及其他的工作指标）的分量 $y_j(t)$ 也是随机的。

为了考虑农业机械工作时作用的随机因素，必须找出其规律，并给以定性的与定量的估计。解决这些任务的共同理论基础是概率论——研究大量随机现象的一般理论规律的科学。

现代概率论将所有错综复杂的随机现象分为三类：随机事

件、随机变量和随机函数。如果随机函数的自变量是时间，则这样的函数称为随机过程。在设计农业机械的实践中，主要是试验农业机械的实践中，为了估计机器的工作条件及工作结果通常运用随机变量方面的概率论的基本原理。如在分析机器工作的结果时广泛采用参数的平均值及其对这些平均值的偏差的统计计算方法。

同时，在农业机械工作时也发现有应该属于随机函数(过程)范畴的随机现象，在这样的函数中纵坐标的随机变化取决于一个以至若干个自变量。如随机函数取决于一个自变量，则称为一维随机函数，如它的变化与若干个自变量有关，这样的随机函数则称为随机场。

下面研究在农业机械工作时产生的随机事件、随机变量和一维随机过程的基本特性。

随机事件和随机变量。可能发生或可能不发生的事件叫做随机事件，并且在某些条件的综合作用下所进行的任一试验结果(结局)都理解为事件。在农业机械工作的实践中可以指出一系列随机事件：谷粒通过筛孔或种子掉入窝眼筒的窝眼中，所要求的耕深、种子覆盖深度或决定机器工作的其他参数在一定区间内波动，机器任一部件中出现故障等。因而随机事件的概念反映试验和几组试验的质量方面的结果。随机事件与物理性质无关，而在大量次数试验时仅与出现的次数有关。

现代概率论将随机事件看作是某些抽象集合的点。称为事件概率的数 $P(A)$ 与每一事件 A (集合的点)有关。事件 A 的概率 $P(A)$ 在数学上以有利于事件 A 的结局数 n 与总结局数 N 之比确定之，即：

$$P(A) = n/N \quad (I.2)$$

由式(I.2)引出：

$$0 < P(A) \leq 1 \quad (I.3)$$

如某事件的 $P(A) = 1$ ，则该事件称为必然事件。当 $P(A) = 0$ ，该事件为不可能事件。

对于很小的随机事件（掷投钱币时徽花或数字向上，投掷骰子或其他东西时，任一数向上）可用公式（I.2）直接计算数学概率。在技术任务中（其中包括农业机械工作中的随机事件）按公式（I.2）计算概率是不可能的。

除了概率[※]，事件 A 发生的频度（频率） p 也是概率论的一个中心的概念，它由试验确定：

$$p(A) = n' / N' \quad (\text{I.4})$$

式中 n' ——试验时出现事件 A 的次数；

N' ——总的试验次数。

当试验次数足够多时，事件频率的概念与其概率是同一的。

在解决实际任务时，势必存在着随机事件的组合事件或复合事件。因而分为相容与不相容事件。如事件有可能同时出现，这样的事件称为相容的。可是如果一事件的出现排斥另一事件，这样的事件称为不相容事件。

如果在一些事件中，其中之一必然发生，则这些事件的全体叫做完备事件组。例如随机事件——谷粒通过筛孔（事件 A_1 ）和它从筛面上滑走（事件 A_2 ）——组成事件的全体。显而易见：

$$P(A_1) + P(A_2) = 1$$

对于完备事件组一般具有

$$\sum_{i=1}^N P(A_i) = 1 \quad (\text{I.5})$$

例中所研究的事件是不相容的事件，因为谷粒通过筛孔排斥谷粒从筛面上滑走。

若干随机事件之间的概率依赖关系是随机事件的重要性质。如其中一事件的出现与另一事件的出现无关系，称为独立事件。但是，如果一事件 A_1 的概率与另一事件 A_2 的发生或不发生相依赖，则认为这样的事件为不独立事件。对于不独立事件引入条件概率的概念 $P(A_1/A_2)$ ，即在事件 A_2 出现了的条件下再发生事件 A_1 的概率。

为了根据每个事件个别出现的已知概率计算复合事件发生的

概率，运用概率加法与乘法定理。

可以把若干事件的复合视为一复杂事件，它或者按照“与”的方式，或者按照“或”的方式实现。假设存在若干事件 $A_1, A_2 \cdots A_m$ 的复合，可以讨论 B 事件的概率是一种可能情况，即使 A 事件中只发生了其中之一也能构成 B 事件[⊕]（“或”：或 A_1 、或 A_2 等）；但是也可以是 B 事件是这些事件一起发生所构成的事件（“与”：既有 A_1 ，也有 A_2 等）。由此可见，“与”仅可以用于独立事件 $\ominus$ 。而“或”——仅对不相容事件 $\ominus$ 。

为了按“或”计算复合事件发生的概率运用概率加法定理。如果事件 B 是两个事件之一的实现而构成的事件，则对于不相容事件：

$$P(B) = P(A_1) + P(A_2) \quad (\text{I.6})$$

而对相容事件：

$$P(B) = P(A_1) + P(A_2) - P(A_1)P(A_2) \quad (\text{I.7})$$

概率的加法公式不难推广到任意个数的事件。

例1. 假设中耕机锄铲的工作深度由 h_1 到 h_2 （事件 A_1 ）区间的概率为 P_1 ；而由 h_2 到 h_3 （事件 A_2 ）—— P_2 。锄铲在 h_1 到 h_3 深度区间工作（不相容事件）的概率 $P(B) = P_1 + P_2$ 。

例2. 由一台拖拉机与两台工作机器组成的机组进行作业。在一台机器上在时间 T 内出现故障（事件 A_1 ）的概率为 P_1 ；而在另一台上（事件 A_2 ）—— P_2 。两台机器中在任一台机器上出现故障都要引起机组停车。在机组工作中（相容事件）机组停车（事件 B ）的概率 $P(B) = P_1 + P_2 - P_1P_2$ 。

按照“与”实现的复合事件的概率用概率乘法公式计算。若事件 B 是由于两件事件 A_1 与 A_2 一起实现而构成的事件，则对于独立事件：

$$P(B) = P(A_1)P(A_2) \quad (\text{I.8})$$

而对于不独立事件：

$\ominus, \ominus$ 原文有误——译者。