

喷灌机械 理论和构造

[苏] Б.М.列别捷夫 著

中国农业机械出版社

喷灌机械理论和构造

Б.М. 列别捷夫 著

姚兆生 汪泰临 译

中国农业机械出版社

本书叙述了喷灌机和喷灌装置的理论，讲述喷灌机水舌的理论基础，说明水滴的形成规律，介绍各种类型喷灌机和喷灌装置的计算方法和结构。

本书可供从事喷灌机的设计和研究的工程技术人员阅读，也可以供使用喷灌机的技术人员参考。

Б.М.ЛЕБЕДЕВ
ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ
ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ

Москва “Машиностроение” 1977 издание 2-е

* * *
喷灌机械理论和构造

Б. М. 列别捷夫 著

姚兆生 汪泰临 译

*
中国农业机械出版社出版
北京师范学院印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
新华书店经售

*
787×1092 32开 9 1/2 印张 210千字
1981年10月北京第一版 · 1981年10月北京第一次印刷
印数：0,001—2,600 定价 0.98 元
统一书号：15216·036

目 录

第一章 喷灌机具的分类及其主要工作指标	7
第一节 喷灌机具的基本原理	1
第二节 喷灌强度	7
第三节 雨团中水滴的数量和水滴的平均压力(雨压)	17
第四节 喷灌机的生产率	23
第二章 喷嘴和喷头	25
第一节 短射程折射式喷嘴	25
第二节 半启式喷嘴和缝隙式喷嘴	29
第三节 离心式喷头	31
第四节 中射程喷头	33
第五节 远射程喷头	50
第六节 喷管的设计	57
第七节 喷灌时水分布的规律性	61
第八节 射程、功率消耗和水舌散落成水滴	70
第九节 单位灌溉面积和单位生产率的功率消耗	81
第十节 喷灌机具水舌的理论基础	85
第十一节 脉冲喷头	108
第三章 管道可拆卸的和可移动的喷灌装置	116
第一节 喷灌装置的基本原理	116
第二节 灌溉管道	125
第三节 接头	129
第四节 施无机肥料的附属装置	134
第五节 管道搬移的机械化	137
第六节 KU-50型喷灌装置	141

第七节 可拆卸的管道	144
第四章 拖拉机悬挂式远射程喷灌机	145
第一节 喷灌机的基本原理	145
第二节 ⅡИН-100型远射程喷灌机	158
第五章 双悬臂式喷灌机	172
第一节 水管最佳尺寸的确定	172
第二节 桁架的强度计算	184
第三节 ⅡИА-100МА型双悬臂式喷灌机	188
第六章 多支座喷灌机	197
第一节 构成原理	197
第二节 “伏尔加人” ИВЛН-64型喷灌机	198
第三节 “第聂伯” ИФ-120型喷灌机	201
第四节 自走式圆形喷灌机	204
第五节 “巡洋舰”型圆形喷灌机	218
第六节 自走小车用的水力原动机	229
第七章 固定式和半固定式喷灌系统	235
第八章 喷灌装置和喷灌机用流量计	252
第一节 主流中的叶轮式流量计	252
第二节 射流式流量计	254
第三节 离心泵测量水量	257
第九章 移动式泵站	261
第一节 拖拉机悬挂移动式泵站和自备发动机的移动 式泵站	261
第二节 浮动的移动式泵站	269
第三节 和移动式泵站配套使用的可拆移动管子的 最小长度	272
第四节 移动式泵站的吸入管线	273
第十章 喷灌机具和灌溉输水网的协调	276
第一节 灌溉	276

第 二 节	具有可拆管路的喷灌装置的输水网的最佳 参数.....	282
第 三 节	拖拉机悬挂式远射程喷灌机所用的输水网 的最佳参数.....	287
第 四 节	双悬臂式喷灌机用输水网的最佳参数	290
第 五 节	软管在喷灌机上的应用	293
参考文献		296

第一章 喷灌机具的分类及 其主要工作指标

第一节 喷灌机具的基本原理

灌溉对于提高各种农作物收获量来说极为重要。不久之前，在苏联只有中亚、外高加索严重干旱地区和在那些不灌溉就根本不可能从事农业生产的地方才进行灌溉。

近年来在中等自然湿度地区的灌溉越来越得到推广。作为自然降水的补充部分，而对植物进行灌溉是消除周期性旱灾的手段，是植物生长的刺激素和调节剂。

自流灌溉或地表灌溉使用的特别普遍，但是这种灌溉有许多严重的缺点。其中主要的缺点有：1. 不平的地势上不适用；2. 平整要灌溉的土地，必须进行昂贵而繁重的工程；3. 有沼泽化危险，而土壤下层有盐时会产生盐碱化危险，可能导致土地大面积完全废弃；4. 生产能力低，并且灌溉时手工劳动很艰苦；5. 特别是在下面有渗漏层的情况下，由于灌溉用水的非生产损失较大，所以要提高灌溉定额。

现在关于灌溉机械化的问题，由于苏联要普遍提高农业产量，所以开始有了迫切的意义。大力发展灌溉是进一步发展农业的强大杠杆。

苏联在最近一个十年计划中特别注意发展土壤改良和灌溉，拟定把灌溉面积扩大到两倍左右。

世界公认的灌溉机械化方法之一是使用喷灌装置和喷灌机具，移动式 and 固定式泵站，可以拆卸的移动式管道或固定

式地下管道和明渠。

喷灌装置可灌溉各种农作物，以便大幅度提高单位面积产量。最为普遍的是用它们来灌溉蔬菜和经济作物、果园、浆果园、苗圃。喷灌机具虽然不能完全取代地表灌溉，但是在苏联许多地区利用它们是极为适宜的。这首先是指灌溉地段较小、渗漏性土壤、丘陵地区和适于建立移动式灌溉系统的地区而言。

甚至在有自然降水时，灌溉还可以把单位面积产量平均提高到1.5到2倍，而干旱年代可以提高到5倍和5倍以上。

喷灌比自流灌溉更为有效：例如，在阿塞拜疆水利技术和土壤改良科学研究所的沙赫毛尔实验站，用喷灌方法灌溉棉花时，在最近十三年过程里收获量比地表灌溉提高10~15%，而灌溉用水的消耗量降低50~60%。喷灌的优点在于灌溉均匀，地面空气层湿润，节省灌溉用水，可以做到小定额灌溉。喷灌的缺点：与自流灌溉相比，金属用量和耗电量较大，需要专用的喷灌机具。

灌溉机械化用的设备可以分类如下：

喷灌装置 属于这一类的有：短射程、中射程和远射程装置，这种装置的管道可以安放在小车或滑橇上，用手、借助拖拉机或专用发动机移动；管道可以拆卸并可借助专用的辅管器移动的装置；管道敷设在土壤中的固定式喷灌系统；在整个灌溉期里安装在灌溉地段上的，管道可以迅速拆卸的半固定式喷灌装置。

喷灌机 包括在这一组里的有：利用机械能或液压能进行灌溉的和沿所灌溉土地移动的，远射程的由拖拉机牵引和悬挂的喷灌机；双悬臂式喷灌机；带机械发动机，液压发动机和电动机的自走式多支架灌溉机组。

固定式泵站 包括在这一组里的有固定在专用房屋里的泵站。泵站装备有由内燃机或电动机带动的专用渠首设备和标准泵站设备。

移动式泵站 它们向喷灌装置和喷灌机的灌溉网中供水或直接往喷灌装置和喷灌机里供水。属于这一类的有：拖拉机悬挂和牵引的泵站；有自己的内燃机和电动机的泵站；有内燃机或电动机驱动的浮动泵站。

固定式管道 起供水管道和灌溉管道作用，可以分成敷设在耕作层下面并只在夏季使用的钢管或石棉水泥管和敷设在封冻层下面有给水栓的管道。给水栓可供连接喷灌装置和喷灌机或供在固定式喷灌系统上连接喷头用。

带快速接头的可拆卸的移动式管道 这些管道把水供向喷灌装置和喷灌机或把水供入明渠。喷灌机或移动式泵站从这里汲水并供入喷灌装置。

图1所示为灌溉用喷灌机分类图。

水从水源送入灌溉系统。池塘、湖泊、水溪或河流、水井和机井都可以做为水源。整个植物生长期里灌溉1公顷土地所耗用的水量叫做灌溉定额。水源应保证水量利用的可能性，水量等于灌溉定额乘以该水源所供应的面积，并考虑水在明渠里渗漏和蒸发损失（如果灌溉系统有明渠的话）。

一次灌溉1公顷所耗用的水量叫做灌水定额。灌水定额取决于灌溉用途，自然降水量，农作物的状态和种类，农作物的发育阶段，土壤的特点和许多其他因素。实践中灌水定额每1公頃用水在几百至1000米³和许多更多的范围中变异。计算喷灌机的生产率时，取平均灌水定额为300米³/公顷，有时为600米³/公顷，这时降水层高度分别相当于30毫米或60毫米。灌水定额常以毫米为单位测量，因为1毫米降水层高度相

当于 $10\text{米}^3/\text{公顷}$ 或 $1\text{升}/\text{米}^2$ 。

植物营养期中每公顷的灌水次数取决于自然降水量，灌水作物的属性，土壤的特点等。

为了解决水源对灌溉该地段的适用性问题，就必须确定其灌溉能力。没有外来支流的封闭贮水池、池塘、湖泊的灌溉特点，以其中所蓄存的水的体积测定之，小溪和河流以水的流量测定之，机井和水井以其出水量测定之。

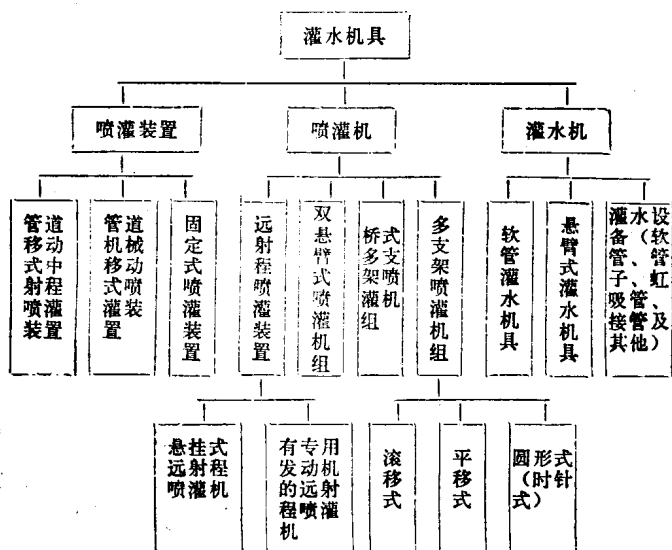


图1 灌水用机具的分类

水可以自流或利用机具从水源送进灌溉系统。自流时必须使被灌溉地段低于水源。渠首设施从水源抽水并沿引水渠把水送向灌溉地段。通常用渠首设施调节系统中水的流量。为此渠首设有闸板设备。在平原条件下一一般都修筑堤坝，利用堤坝可使水源中的水位在一定的范围内升高。溪流一般都

会夹带着悬移泥砂和推移泥砂。直接把水从河里排至渠道时也将带来泥砂。由于水流的深度和速度比大河小，所以这些泥砂沉积在渠道里，就引起渠道淤积。为了防止这一现象，渠首装有专用设施。此外渠首设施不应把漂木、冰块、冰凌放入灌溉系统。

有时水源里的水位低于灌溉地段地表或者不适合修建过长的引水渠系或高回水坝。这种情况下可使用机械汲水工具，即修建固定式泵站或利用移动式泵站。

自流系统和固定式泵站的渠首设施的构成原则视地方条件和节约角度而定，可以是不同的。

引水网可有三种型式：明引水网，包括永久或临时灌溉明渠；由金属或石棉水泥的压力管组成的暗引水网；由压力管和灌溉明渠组成的综合引水网。引水网的个别部段可以采用移动的、能迅速拆卸的管道。引水网的型式，其部件和设施的布局在设计时可根据地方条件而定。

明渠可就地形条件这样来布置，即要保证在土方工作量少的情况下水可以自流地引向灌溉地段。为此，时常只好按地平线选定渠道路线。

向喷灌机和喷灌装置供水用的明引水网的特点就在于它不需象地面灌水那样，用渠道来控制所灌溉的地段。明引水网的优点在于在平原条件下建筑简单和费用便宜。其缺点是渗漏造成水的损失较大，有沼泽化和盐渍化的危险，清除泥砂和杂草的劳动量大。

压力暗灌溉网象自来水网那样，一般都是用钢管，石棉水泥管或其他管子建造的。它们的布置不取决于地形地势，优点在于水不会渗漏到土壤中去，但是暗灌溉网比较贵，在地形起伏不平时适于使用它。

利用喷灌装置和喷灌机可以把水按照所灌溉的地段予以分配。带有可以拆卸的便携式管道的喷灌装置使用得比较普遍。这种喷灌装置是由一根可以迅速拆卸的便携式辅助管道和几根可以拆卸的便携式灌溉管道组成的。水从引水网给水栓或由从渠道汲水的移动式泵站进入辅助管道。灌溉管道一般都与辅助管道垂直铺设并顺序与之接通。在灌溉管道的一个支管工作时，可以把另一段拆成几部分移至新的作业位置并准备使用。便携式管子的长度一般为6~10米。

灌溉管道上安装喷头。它们有三种型式：短射程的，中射程的或远射程的。短射程喷头灌溉面积直径为5~15米。由于每个喷头所灌溉的面积重叠，这样管道达到灌溉的地带宽度可达10米。中射程和远射程喷头形成一股或两股水舌，在空气中散成水滴灌溉着地带，长度等于它们的射程。工作时喷头绕垂直轴线徐徐回转，因此每一个喷头的灌溉面积，其半径等于水舌射程。由于诸喷头所灌溉的面积重叠，所以管道灌溉的地带宽度为20~60米。

悬挂式远射程喷灌机从灌溉渠道汲水并将水向上与水平面成一定角度地喷成一股或两股水舌。水舌在空气里散成水滴，浇灌土地。喷灌机装有离心泵，离心泵由拖拉机的动力输出轴带动。靠发动机的能或由所喷射水舌的反作用来带动喷头徐徐旋转。因此，所灌溉的面积为圆形的。一般圆的直径为80~120米，这就是一个作业位置所灌溉的面积(0.5~1公顷)。用沿灌溉渠道顺序更换作业位置的方法灌溉整个地区。

双悬臂式喷灌机组是由两个主要部分：长100~120米的管子桁架和行走部分——专门装备的拖拉机组成。桁架的中间部分安装在拖拉机上。桁架的下弦杆是用管子制造的，水

顺着管子送往喷头。桁架的结构可以是不同的，但是垂直面和水平面上应该有足够的强度和刚性。拖拉机应有足够牢固的行走部分，以便承受桁架和水的重量，重量为4~6吨力（40000~60000牛顿）。从明渠汲水和在运动中工作的喷灌机的发动机功率应能保证喷灌机以0.3~0.4公里/小时的速度移动，同时使离心泵工作。在这种情况下功率为50~80马力（36.7~58.8千瓦）。按作业位置工作和从地下暗引水网得到压力水的喷灌机，发动机的功率只保证从一个作业位置移至另一作业位置即可。这种情况下功率为15~20马力（11~14.85千瓦）。同时灌溉的面积其形状为长方形，长度比桁架略长一些，宽度与喷头控制宽度相等。为了增加控制宽度，在某些结构上，喷头是安装在与桁架轴线垂直的侧管上。

第二节 喷灌强度

代表喷灌机工作的主要指标之一，是它们所造成的喷灌强度。

把降水层增量 dh 与时间增量 dt 的比叫做土壤表面上一点的实际喷灌强度：

$$\rho = \frac{dh}{dt} \quad (1)$$

时间 dt 内在面积 df 上落下的水的体积

$$dV = dhdf$$

而在此面积上的水量

$$dQ = \frac{dV}{dt} = \frac{dhdf}{dt} = \rho df$$

因此，喷灌强度

$$\rho = \frac{dQ}{df}$$

除实际喷灌强度外，一般采用平均喷灌强度 ρ_{cp} 这一概念。这一概念应理解为，在灌水的一定面积 F 上平均降水层与其落下时间的比 $\rho_{cp} = h_{cp}/t$ 。同时喷至整个面积 F 上水的体积 $V = h_{cp} F$ 。此时 $\rho_{cp} = V/Ft$ 。

但是，因为 $V \ominus / t = Q$ ，式中 Q ——喷头或喷灌机的流量，则

$$\rho_{cp} = \frac{Q}{F} \quad (2)$$

一般流量 Q 以升/秒为单位，面积 F 以米²为单位，喷灌强度 ρ_{cp} 以毫米/分为单位测量之。此时

$$\rho_{cp} = \frac{60Q}{F} \quad (3)$$

实际喷灌强度通常都取决于同时灌溉的面积上所研究的各点的坐标 x 和 y 以及时间 t ： $\rho = f(x, y, t)$ 。例如，假如研究一下远射程喷头的水舌经过的或双悬臂喷灌机组喷灌区某点上喷灌强度的变化，则易于发现在这一点上喷灌强度将随着时间而变化。如果固定式喷灌机的水的流量是按时间变化（例如，在起动期间）的话，则实际强度在该点上也将随时间而变化。

用固定式喷灌机喷灌稳定时，喷灌强度不取决于时间，而只取决于坐标 $\rho = f(x, y)$ 。在这种情况下，要评定灌溉的均匀度，一般都要求助于实验研究。

同时灌溉的整个面积上以一定的排列形式（按正方形的

⊖ 原文为 W/t ，应为 V/t ——译者注。

每个角或按半径成行地) 安放量雨筒。试验时间 t 的长短由被测量的喷灌强度和和筒中集聚足以精确测量水的体积所需的时间限定。每个筒中的水的体积 V 可用量杯测量。

用量雨筒的孔的面积 F 除水的体积的方法计算降水层 $h = V/F$ 。该点上的喷灌强度

$$\rho = \frac{h}{t} = \frac{V}{Ft}$$

量雨筒一般为圆柱形, 高度约为10厘米。其直径应这样来计算; 即使落入孔面积为整数 (一般为1或2分米²), 这样便于计算。因为水的体积一般是以厘米³为单位来测量的, 量雨筒孔的面积是以厘米²为单位, 时间是以分钟为单位, 而喷灌强度是以毫米/分为单位测量的, 这样就可使用下列公式

$$\rho = \frac{10V}{Ft}$$

有时量雨筒是做成锥体形的。这种量雨筒小的一头是底, 大的一头是落入孔。其面积在计算时加以核算。这种量雨筒便于端取。

计算各点上实际喷灌强度后, 一般通过相等强度各点绘出相等强度线 (等雨量线)。必要时可以使用插补法, 这时认为相邻两点间喷灌强度是按直线规律变化的。用这种方法得出该喷头或喷灌机的喷灌强度分布图 (等雨量分布图), 此线图以后

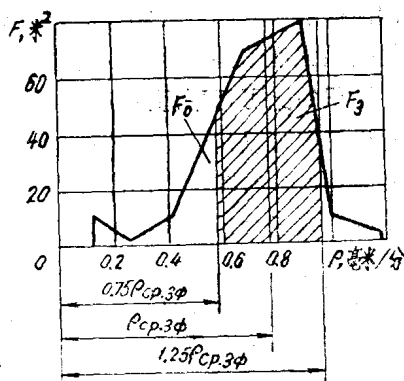


图2 灌溉面积大小和灌溉强度的关系

可以做为其特性曲线。

为了评定灌溉质量，必需根据喷灌强度分布图绘制辅助图，在此图上喷灌强度 ρ 做为横坐标 该强度所具有的喷灌面积做为纵坐标（图2）。这种图根据喷灌强度分布图上各个等雨量线用平面几何学方法绘制，绘出曲线 $F = f(\rho)$ 后，将所谓平均有效强度 $\rho_{cp, \text{eff}}$ 在横坐标上标出，这一喷灌强度是在农业技术所容许的偏差范围之内，其有效灌溉面积最大。容许偏差范围为 $\pm 25\%$ 。

根据图 $F = f(\rho)$ 的数据编制变分表并在此表中找出平均有效喷灌强度，它可以给出喷灌强度乘以面积的最大值。在平均有效强度的右边和左边分别划定 $\rho = 1.25\rho_{cp, \text{eff}}$ 和 $\rho = 0.75\rho_{cp, \text{eff}}$ 。

横坐标轴，两条垂直线 $1.25\rho_{cp, \text{eff}}$ 和 $0.75\rho_{cp, \text{eff}}$ 和曲线 $F = f(\rho)$ 所限定的辅助图的面积 F_a 表示有效灌溉面积。这一面积对曲线 $F = f(\rho)$ 和横坐标轴限定的整个面积 F_0 的比叫做有效灌溉系数。这一系数值越接近一，灌溉强度偏离极限 $(0.75 \sim 1.25) \rho_{cp, \text{eff}}$ 就越小或者偏离平均值很大的喷灌强度喷灌的面积就越小。

面积的比可用平面几何学方法求出 在某些情况下，灌溉的均匀度可以用均匀系数确定，此系数为平均喷灌强度对在喷灌强度分布图上得出的最大实际喷灌强度的比。有时可以用两个或三个最大值的算术平均值来确定最大喷灌强度，但是这一方法不太精确并且时常会导致不正确的结论。

当喷灌机，例如双悬臂喷灌机在运动中进行灌溉时，可以按下面方法确定其喷灌强度。可以认为机械是不动的，而被喷灌的地表是以同样速度向相反方向运动着。如果把坐标系和喷灌雨源联系起来，因此坐标系也是不动的，则对这一

系统任何一点来说, 实际喷灌强度可用公式(1)计算, 而平均喷灌强度可用公式(3)计算。此时不论是实际喷灌强度, 还是平均喷灌强度, 将都不取决于被灌溉地表的运动速度, 因之也将不取决于喷灌机的运动速度。

这一原理还可以用下面方式加以证实。灌溉区是长方形的(图3), 长度为 L , 宽度为 l , 面积为 F , 以速度 v 运动着。这时, 在不大的静止的面积 f 上, 洒落的降水层 $h = \rho_{cp} t$, 式中 t —面积 f 上的降雨时间。所以

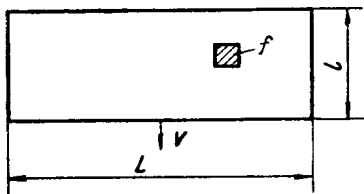


图3 机械在运动中所灌溉的面积

$$h = \frac{\rho_{cp} b}{v} \quad (4)$$

因之 $\rho_{cp} = hv/b$ 。此外, $h = V_1/f$, 式中 V_1 —洒落在面积 f 上的水的体积; $V_1 = (Qf/F)t$ 。

所以 $h = (Q/F)t$ 和 $\rho_{cp} = (Qv/Fb)t$ 。但因为 $b/v = t$, 所以上式可变成公式(2)和(3)。因此, 在同时灌溉的地表面积和按作业位置灌溉比较是不变的条件下, 平均喷灌强度不取决于运动速度。

从公式(2)和(4)可得出 $h = Qb/Fv$, 既然 $F = bl$, 则

$$h = \frac{Q}{lv} \quad (5)$$

如果灌水定额 m (毫米)在一次行程里完成的话, 则必须的运动速度

$$v = \frac{Q}{lm} \quad (6)$$

如果灌水定额是在 n 次行程里完成的话, 则