

中心支轴式喷灌机、绞盘式喷灌机 运行管理培训手册

水利部农村水利司
中国灌溉排水发展中心
二〇一二年三月

目 录

第一部分 中心支轴式喷灌机运行管理	- 1 -
第一章 中心支轴式喷灌机应用概述	- 1 -
第一节 喷灌机优缺点及使用条件	- 1 -
第二节 喷灌机发展历程	- 2 -
第二章 中心支轴式喷灌机基本知识	- 4 -
第一节 喷灌机工作原理和组成	- 4 -
第二节 喷灌机的喷头布置	- 13 -
第三章 中心支轴式喷灌机喷灌工程设计	- 16 -
第一节 规划设计参数	- 16 -
第二节 田间工程设计和灌溉制度拟定	- 20 -
第三节 水泵选型	- 29 -
第四节 水源工程设计	- 30 -
第四章 中心支轴式喷灌机的安装与调试	- 33 -
第一节 喷灌机安装前应具备的条件及安装准备	- 33 -
第二节 安装顺序及要求	- 33 -
第三节 整机调试	- 37 -
第四节 电气控制系统的工作原理与动作步骤	- 38 -
第五章 中心支轴式喷灌机的操作与维护	- 43 -
第一节 喷灌机使用前的检查	- 43 -
第二节 运行操作	- 43 -
第三节 喷灌机的拖移	- 44 -
第四节 喷灌机的维护保养与贮存	- 44 -
第五节 喷灌机的常见故障及排除	- 45 -
附表	- 48 -

案例一：中心支轴式喷灌机典型设计（一机一井 300 亩）	53 -
案例二：中心支轴式灌机典型设计（500 亩）	59 -
第二部分 绞盘式喷灌机运行管理	65 -
第一章 绞盘式喷灌机应用概述	65 -
第一节 喷灌机优缺点及使用条件	65 -
第二节 喷灌机发展历程	66 -
第二章 绞盘式喷灌机组成与工作原理	67 -
第一节 喷灌机组成	67 -
第二节 喷灌机工作原理	70 -
第三章 绞盘式喷灌机喷灌工程设计	71 -
第一节 规划设计参数	71 -
第二节 田间工程设计	74 -
第四章 绞盘式喷灌机运行与管理	82 -
第一节 喷灌机使用前的检查	82 -
第二节 喷灌机运行操作	82 -
第五章 绞盘式喷灌机保养与维护	86 -

第一部分 中心支轴式喷灌机运行管理

第一章 中心支轴式喷灌机应用概述

中心支轴式喷灌机（Center pivot irrigation system），也称时针式喷灌机，是将装有喷头的管道支承在可自动行走的支架上，围绕备有供水系统的中心点边旋转边喷灌的大型喷灌机。

第一节 喷灌机优缺点及使用条件

中心支轴式喷灌机与其他喷灌设备和喷灌系统相比，中心支轴式喷灌机主要有以下优缺点。

一、优点

1、中心支轴式喷灌机是迄今为止自动化程度最高的喷灌设备，可节约大量劳动力。

2、中心支轴式喷灌机机组进水口位于中心支座下部，由于中心支座是固定的，所以供水系统非常简单。

3、导向和同步控制系统仅与固定的中心支座有关，运行可靠，管理简单。

4、完成一次灌水循环（旋转一圈）后，机组停留在起始位置，以备下一次灌水作业。

5、可及时、精确地控制灌水量，管理方便，灌溉水利用率高。

6、中心支轴式喷灌机能提高化肥和农药的利用效率。

7、灌水作业灵活性高，有利于编制切实可行的用电计划。

对于所有的灌溉设备，为了降低单位灌溉面积的投资，都应设法利用最小的设备投入，灌溉尽可能大的灌溉面积。采用中心支轴式喷灌机时，由于设备造价与机组长度成正比，而它所灌溉的面积与机组长度的平方成正比，因此灌溉面积应是一个尽可能大的圆形。

二、缺点

1、如果不采用地角装置，中心支轴式喷灌机所灌溉地块的圆形轮廓线外面留下了大约 20% 的未灌溉面积。如果采用地角装置，会显著增加设备造价和复杂性。

2、所灌溉圆形面积外圆周处的喷灌强度非常高。如果不采取相应措施，通常会产生地表径流。当采用摇臂式喷头时，该值通常大于 100mm/h；采用射程较小的散射喷头时，该值通常大于 150mm/h。

3、为了降低或排除高喷灌强度产生的地表径流问题，几乎都必须采用“浅水勤灌”的灌水模式。在极端情况下，为了避免出现地表径流，甚至需要将中心支轴式喷灌机旋转一圈所需的时间设置为不到一天。由此以来，会增加蒸发损失和机组维护费用，并可能降低作物产量。

4、由于机组长度每增加一段，都会使灌溉面积增加一个相同宽度的同心圆条带，所以必须将大量的灌溉水输送到机组的远端。因此，与其他灌溉设备（系统）相比，桁架输水支管的沿程水头损失较大。

5、在坡地里，桁架输水支管中的压力将随所处位置的高程变化而变化。如果不采用压力调节器或流量调节器，喷头流量会发生很大变化，使机组喷洒均匀性明显降低。

6、从经济角度考虑，中心支轴式喷灌机通常应灌溉较大的地块。如果灌溉小地块，采用中心支轴式喷灌机可能不经济。

三、适用条件

中心支轴喷灌机几乎适用于灌溉各种质地的土壤，以及各种大田作物、蔬菜、经济作物和牧草等。我国西北、东北、华北各地和广东、广西、云贵高原等地的广大农牧业区，凡土地连片，作物种类统一、地面上无电杆、排水沟等障碍物均可使用。

第二节 喷灌机发展历程

一、国外大型喷灌机发展历程

20 世纪 50 年代初，美国人发明了中心支轴式喷灌机，早期以液压驱动和水力驱动为主，1965 年出现电力驱动圆形喷灌机。此后，中心支轴式喷灌机在全世界得到了广泛的应用，如今已在各大洲灌溉着数千万公顷的耕地、沙丘和草原，可称为世界农业灌溉史上的一次革命，曾被美国著名科技刊物《科学美国》称赞为中心支轴式喷灌机是自从拖拉机取代耕畜以来，意义最重大的农业机械发明。中心支轴式喷灌机存在一个重大弱点，即灌溉面积是圆形，与地块形状和传统农艺耕作方式不一致，20%的方形地块面积得不到有效灌溉。因而 20 世纪 70 年代又

出现了平移式喷灌机，可实现矩形地块的灌溉。

由于中心支轴式和平移式喷灌机自动化程度高、灌溉质量好、单机控制面积大，尤其是中心支轴式喷灌机对地形的适应性强，对水源的要求低，因而非常适应人多地少地区的农业生产。国外生产中心支轴式和平移式喷灌机的厂商较多，仅美国就有 Lindsay、Valmont、Reinke、TL 和 Lockwood 等公司，其他还有如奥地利的 Bauer 公司、法国的 Irrifrance 公司、西班牙的 RKD 公司、意大利的 Irriland 公司、沙特阿拉伯共和国的 Alkhorayef 公司等。上述所有生产厂商大都在我国设有代表处(办事处)，有的甚至还在我国建立了生产基地，如 Valmont 公司在上海、Lindsay 公司在天津设有生产基地。但各公司只是将技术含量较低的产品在我国国内生产基地或协作厂家中加工。

二、国内大型喷灌机发展历程

我国大型喷灌机技术的研究开始于 1976 年，由于受到我国农业体制和经济体制的影响，引进推广工作一波三折，大致经历了起步阶段(1976-1978 年)，引进和关键部件攻关阶段(1979-1986 年)；完善提高和稳妥推广阶段(1987-1997 年)；技术创新和产业化阶段(198 年至今)。据不完全统计，截止 2008 年上半年，大型喷灌机全国保有量接近 5000 台，主要分布在内蒙古、黑龙江、甘肃、宁夏、山西、河北等地，对农作物的有效灌溉使得产量有了大幅度提高，经济效益显著。在国内规模以上生产大型喷灌机的厂商有 10 余个，其企业性质含盖了民营股份制企业、中外合资企业和外资企业。生产的大型喷灌机主要有：中心支轴式喷灌机、平移式喷灌机和可拖移式喷灌机。大型喷灌机的主要部件除部分元件外均可国产，一些主要技术指标进入了国际同类产品先进行列，部分型号产品可替代进口同类产品。其中一些民营股份制企业的生产能力可达到全年千台以上，已经成为大型喷灌机生产的龙头企业。目前我国农业适度规模经营为大型喷灌机的发展提供了千载难逢的机会。

第二章 中心支轴式喷灌机基本知识

第一节 喷灌机工作原理和组成

中心支轴式喷灌机由中心支座、塔架车、喷洒桁架、末端悬臂和电控同步系统等部分组成。装有喷头的若干跨桁架，支承在若干个塔架车上。桁架之间通过柔性接头连接，以适应坡地等作业。每个塔架上配有 1KW 左右的电机作为行走动力，配套动力可用电网或柴油发电机组，还配有专门安全可靠的电控同步系统，用于启闭塔架车上的电机。具有过雨量保护和故障自动报警功能。最远处的塔架车先启动，根据工况，逐个启动相邻的塔架车。所有的塔架车就一个跟一个的运转起来，绕着中心支轴旋转，从而实现圆形面积的自动喷洒作业。

中心支轴式喷灌机的组成如图 2.1 所示。从图中可看出，典型配置的中心支轴式喷灌机主要由中心支座、桁架、塔架车、末端悬臂、控制系统和灌水器等 6 大部分组成。此外，有时中心支轴式喷灌机还配备末端喷枪或地角装置。



图 2.1 典型配置中心支轴式喷灌机

一、中心支座

中心支座是喷灌机的回转中心，也是进水口。它的外部是一个由立柱、横梁和底板组成的宝塔形框架，中间部分是转动套和支轴弯管。转动套的上部固定在框架上，下部与水源相连。支轴弯管的竖直部分位于转动套内，可在其中自由转动；另一端与首跨桁架输水支管以球铰连接，以适应首跨桁架因地形变化在铅垂方向产生的上下位移。底板用地角螺栓固定在混凝土基础上以保持稳定。主控制箱通常安装在中心支座的框架上。转动套上设有定点停机装置。集电环、照明灯和压力表等安装在支轴弯管的水平管上。



图 2.2 中心支座

二、桁架

桁架主要由输水支管、三角形弦架和拉筋等组成。桁架分首跨、中间跨和末跨三种，分别安装在机组的不同部位，各跨之间的差别不大。为了适应机组长度方向的地形变化，保证喷灌机行走的同步性，各跨桁架之间采用球纹连接，其输水支管采用柔性接头或橡胶套筒连接。桁架跨距（长度）通常为 30~60m，最常用的桁架跨距为 40~50m。输水支管公称直径通常为 100~250mm，最常用的输水支管公称直径为 168（165）mm。

由于各跨桁架之间采用柔性连接，所以中心支轴式喷灌机在机组长度方向可适应坡度达 30%（16.7°）的地块。在田间垄沟比较浅的条件下，大部分典型配置机型在机组行走方向可适应坡度达 20%（11.3°）的地块。但是，实践经验证明，当垄沟深度大于 0.15m 时，机组可能难以在坡度大于 15%（8.5°）的坡地里行走。对于输水支管直径大、桁架跨距长的机组，最大适应坡度可能还要稍微小一些。特别说明一点，那种认为中心支轴式喷灌机只适用于平地的观点是错误的。可以这样说，只要能够采用大中型农业机械耕种的地块，就可以采用中心支轴式喷灌机进行灌溉作业。

桁架下部拉筋与地面之间的垂直距离称为地隙高度，一般为 2~4m，也有高达 5m 以上的。地隙高度根据所灌溉的作物高度和机组长度方向的地块平整度确定。需要指出的是，如果灌溉的作物为马铃薯、牧草、小麦等矮秆作物，且地块在机组长度方向比较平整，应选择较小的地隙高度，以提高机组的稳定性。



图 2.3 桁架

三、塔架车

塔架车由立柱、横梁和底梁组成的 A 字型构架以及动力机、传动装置和橡胶车轮组成。A 字型构架的上部与桁架相连；下部的底梁两端各安装一个车轮减速器，并连接橡胶车轮。动力机安装在底梁中间，通过传动装置将动力传递给车轮，驱动塔架车向前行走。传动装置包括两级减速器和中间的万向节。动力机可以是电动机、汽油机或水马达等，最常用的是电动机。当动力机为电动机时，常将其与一级减速器制成一体，所以也称电机减速器；而与车轮相连的减速器则称为车轮减速器或二级减速器。一级减速器可以是齿轮减速器，也可以是蜗轮减速器；但二级减速器必须是蜗轮减速器，因为它需要具有自锁功能，否则当车轮位于斜坡时会向下坡方向滚动。



图 2.4 塔架车

1、驱动电动机功率

塔架车驱动电动机功率大小与一级减速器类型、桁架输水支管直径、桁架跨距以及灌溉田块的土质、地垄高度和坡度大小有关。对于一级减速器为蜗轮减速器的机组，由于传动效率较低，电动机功率通常为 1.1~1.5kW；对于一级减速器为齿轮减速器的机组，由于传动效率较高，电动机功率通常为 0.55~0.75kW。



图 2.5 行走驱动系统

2、喷灌机每旋转一圈所需的最短时间

中心支轴式喷灌机每旋转一圈所需的最短时间根据下式计算：

$$T=2\pi L / (60\pi nD/i) \quad (2-1)$$

将式 2-1 化简得：

$$T=L / (30nD/i) \quad (2-2)$$

式中 T ——中心支轴式喷灌机每旋转一圈所需的最短时间，h；

L ——中心支座到末端塔架车之间的距离，m；

n ——动力机转速，r/min；

D ——车轮外径，m；

i ——两级减速器的总速比，无量纲。

例如，一台配置 8 跨 50m 桁架的中心支轴式喷灌机，则中心支座到末端塔架车之间的距离为 $50 \times 8 = 400\text{m}$ ；配套动力机为电动机，额定转速为 1450r/min；车轮外径为 1.28m；两级减速器的总速比为 2500。

将上述数据代入式 2-2，得 $T = 18\text{h}$ ，即该机组每旋转一圈所需的最短时间为 18 小时。

大多数制造厂生产的典型配置中心支轴式喷灌机每旋转一圈所需的最短时间都略小于 24h。如果需要，可通过选配较大或较小速比的减速器，来改变中心支轴式喷灌机每旋转一圈所需的最短时间。通过调整安装在主控制箱内的百分率

计时器，可以降低末端塔架车的行走速度，加大每旋转一圈所需的时间，这一点将在后面介绍。

四、悬臂

悬臂由输水支管、三角支架和钢丝绳组成。悬臂输水支管采用法兰与末跨桁架输水支管的尾端相连，其公称直径通常比桁架输水支管小，长度一般不大于20m。三角支架和钢丝绳的作用是支撑、稳固悬臂输水支管。

悬臂由两个作用，一是以较小的设备成本增加机组长度，扩大灌溉控制面积；二是通过调整其长度，来满足各种地块对机组长度的需求。



图 2.6 悬臂

五、控制系统

控制系统由主控制箱、集电环、塔架盒、定点停机装置和电缆等组成。这些组成部件相互配合，可实现中心支轴式喷灌机同步正反向运行、行走速度调整、运行监测、安全保护、故障报警等功能。

1、主控制箱

主控制箱安装在中心支座上，是喷灌机的中枢控制，所以也称中枢控制箱或中控箱。喷灌机的所有控制功能都要通过主控制箱接收信号、进行处理并发出指令来实现。

主控制箱的主要功能如下：

(1) 经由集电环向各塔架盒供电，再由塔架盒根据各塔架车所在位置决定是否向电动机供电，以保证各桁架之间的同步性，使喷灌机正向或反向运行。

(2) 通过安装在主控制箱面板上的百分率计时器，调整末端塔架车在1min内的走、停时间比例，达到调节喷灌机行走速度，控制灌水量（灌水深度），满足作物用水需求的目的。例如，将百分率计时器调节为70%，则表示在1分钟内

的前 70%，即 42s 时间里，末端塔架车连续行走；在接下来的 30%，即 18s 时间里，末端塔架车停止。

(3) 通过安装在主控制箱内的电压表、电流表、温度计等，监测机组运行状况。喷灌机运行中，当电压、电流或环境温度超过设定值时，发出报警信号。

(4) 接收定点停机装置发出的信号，使喷灌机停留在预定位置，并使供水水泵停止运行。

(5) 当末端塔架车车轮打滑或受阻不能前行达到设定时限、任意两跨桁架之间的夹角过大（例如超过 1° ）或供水泵出口压力波动（过高或过低）超过设定极限时，主控制箱发出指令，使喷灌机和供水水泵停止运行，并显示发生故障的塔架车位置。



图 2.7 主控制箱

2、集电环

集电环安装在中心支座上，其内装有相互绝缘的铜环以及与铜环滑动接触的碳刷。铜环固定不动，碳刷随喷灌机转动。集电环的作用是，当各跨桁架围绕中心支座作旋转运动时，防止安装在中心支座上的主控制箱和各塔架盒之间的连接电缆缠绕在中心支座上，保证各条电气线路畅通。



图 2.8 集电环

3、塔架盒

塔架盒安装在各塔架车的上部，其内部安装有同步控制角调节装置、运行微动开关、安全微动开关、交流接触器、热继电器和一套塔架车故障信号发生器。

同步控制角调节装置由调节杆和凸轮机构组成。同步控制角一般调节为不大于 1° 。当某一塔架车两侧桁架之间的夹角达到该角度时，运行微动开关常开触点闭合，通过交流接触器接通电动机的电源，该塔架车开始行走。当该塔架车两侧的桁架成一直线时，运行微动开关常开触点断开，电动机的电源被切断，塔架车停止行走。各个塔架车均按此调整并运行，就保证了喷灌机的同步性。

热继电器的作用是，当某一塔架车的电动机过载时切断电源，防止该电动机因过载而损坏。近年来，由于电机减速器本身已经具备过载自动保护功能，塔架盒内通常已不再安装热继电器。

塔架车故障信号发生器与安全微动开关的常开触点相连。当发生故障时，安全微动开关常开触点闭合，信号发生器向主控制箱发送故障所在的塔架车信号。

次末端跨塔架盒里除安装有上述电气元件外，还装有一个时间继电器。当末端塔架车车轮打滑或受阻不能前行达到设定时限，时间继电器常闭触点断开，通过交流接触器使喷灌机和供水水泵停止运行。

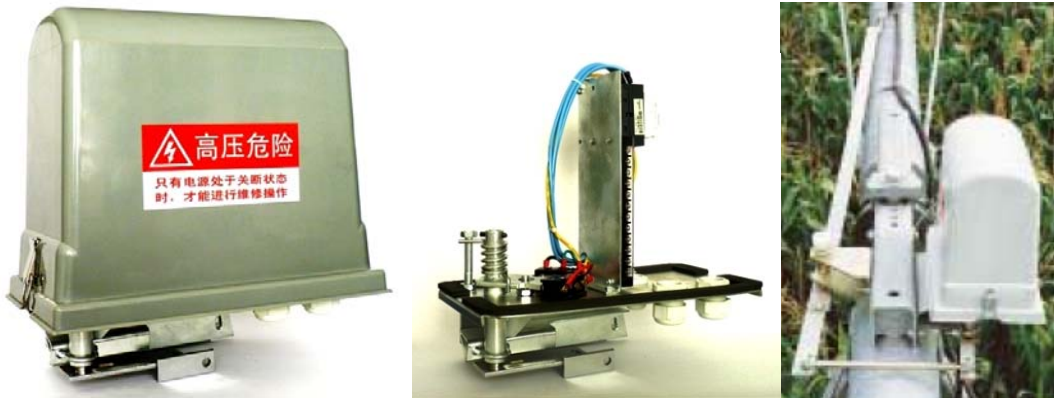


图 2.9 塔架盒

六、灌水器

在灌溉行业里，灌水器是喷头、滴头、微喷头、涌水头等田间配水装置的总称。适用于中心支轴式喷灌机配套的灌水器主要是摇臂式喷头和散射式喷头。

1、摇臂式喷头

摇臂式喷头的规格型号很多，用于中心支轴式喷灌机配套的主要是小型摇臂式喷头。摇臂式喷头都安装在桁架输水支管的上部，喷射出的水流射向与水平面成一定夹角（喷头喷射仰角）的空中。

与散射式喷头相比，摇臂式喷头的最大优点是射程远。这一点对于坡地或入渗速度低的密实土壤特别重要，因为射程越大意味着单位面积上的受水量越小，即喷灌强度越小。摇臂式喷头有两个缺点，一是工作压力高，供水水泵运行费用高；二是喷射高度大，蒸发漂移损失大。为了降低喷射高度，已有厂家研制出低仰角摇臂式喷头。

大多数摇臂式喷头的喷嘴都是直锥形。当机组压力变化时，喷头流量也随之变化。为解决这一问题，有厂家研制出流量调节喷嘴。当机组压力变化时，装有流量调节喷嘴的喷头流量基本上保持不变。当灌溉地块的高程差较大，或供水水源不止一个用户，供水压力可能会波动时，应考虑采用这种喷头（喷嘴）。

2、散射式喷头

目前，国内外已有许多种适用于中心支轴式喷灌机配套的散射式喷头。散射式喷头通常采用悬吊软管安装在桁架拉筋的下面，有的甚至伸到作物的冠层里。

散射式喷头的优缺点正好与摇臂式喷头相反。存在的问题一是喷灌强度大，容易产生径流；二是射程小，喷头布置间距小，需要的喷头数量多。

目前，国内外的中心支轴式喷灌机大部分都采用美国生产的散射式喷头。需要提醒一点，美国散射式喷头的喷嘴尺寸通常采用 2 种表示方式，即通常以 1/64 或 1/128 英寸为单位，并且只用分子数值表示喷嘴尺寸。例如，10 号喷嘴，根据制造厂不同，可能表示喷嘴尺寸为 10/64 英寸（4.0mm），也可能为 10/128 英寸（2.0mm）。



图 2.10 灌水器

七、末端喷枪

末端喷枪安装在悬臂的尾端。所谓末端喷枪，实际上就是一只中远射程旋转式喷头。中心支轴式喷灌机桁架和悬臂段大都采用散射式喷头，机组末端的压力很低，因此需要在末端喷枪上游安装一台增压泵，才能满足中远射程旋转式喷头工作压力的需求。

安装末端喷枪有三个作用。一是增加机组灌溉半径，扩大灌溉控制面积，末端喷枪在机组运行过程中一直运行，机组的灌溉面积是一个半径增大的圆形。二是末端喷枪仅在正方形地块的四个角附近运行，以弥补本来未浇灌到的区域。三是当田间靠近机组末端有电杆、树木等障碍物时，可躲避障碍物。



图 2.11 末端喷枪组件

八、地角装置

地角装置也称地角臂、地角臂装置或地角臂系统。所谓的地角装置，可认为是在中心支轴式喷灌机基本桁架末端增加了一组柔性桁架，同时悬臂也转移到了该柔性桁架的末端。

该装置于 1973 年首先由美国研制并应用。有了地角装置，中心支轴式喷灌机几乎可灌溉任何形状的地块，特别是正方形地块。地角装置的长度有长有短，一般情况下，典型配置（约 400m 长，灌溉控制面积 750 亩）中心支轴式喷灌机的地角装置可增加灌溉面积 100~135 亩。

地角装置的出现，克服了中心支轴式喷灌机只能灌溉圆形面积的缺陷，是一件令人高兴的事。但也必须意识到，地角装置的行走和喷水控制系统很复杂，造价也比较高，目前我国还不宜推广应用。据一位美国同行介绍，对一台约 400m 长的典型配置中心支轴式喷灌机，地角装置的价格约为典型配置的 2/3；美国目前有三个州采用带地角装置的中心支轴式喷灌机比较多，但其使用量也仅占 10% 左右。



图 2.12 地角装置

第二节 喷灌机的喷头布置

设计中心支轴式喷灌机灌溉项目时应考虑的主要因素之一是正确选择喷头组合。喷头的间距以及类型或尺寸是两个主要变量。

灌溉的目标是尽可能提供最均匀的水量分布。中心支轴式喷灌机远端桁架的覆盖面积比近端桁架大。因此，喷嘴的密度和尺寸应沿着输水支管从中心支轴向远端逐渐增加。

大多数中心支轴式喷灌机所用的喷嘴都具有固定尺寸的出水孔（安装在输水

支管的特定位置), 并根据喷嘴所在位置压力的大小喷洒出一定的水量。在中心支轴式喷灌机上, 由于靠近中心支座处的覆盖面积相对小, 只需很小的水量, 所以喷嘴尺寸也非常小。在许多情况下, 由于所需的灌水强度太小, 所以不可能制造出既能满足适当水量, 又不会发生堵塞的喷嘴。因此, 第一跨桁架有时可能会因喷嘴尺寸太大而出现过量灌水。这其中的一部分可通过加大喷头间距的方式得到补偿。但是喷头必须足够密, 以获得良好的交叉重叠。

在中心支轴式喷灌机的远端桁架中, 所需的水量增加, 喷头的喷嘴需要加大, 以满足水量增加的需要。某些情况下, 特别是机组相当长, 或机组流量特别大的时候, 最大尺寸的喷嘴也不符合要求。在这种情况下, 可能必须在出水口上加一个三通, 安装两个喷嘴。其他可能的解决方法是减小喷头间距、降低机组流量或增加压力。

中心支轴式喷灌机最常用的三种喷头间距组合方式如下:

(1) 统一喷头间距。机组输水支管上喷头之间采用 3~12m 的任一相同间距, 喷头的流量随着它们与中心支轴之间距离的增加成正比例增加。喷头的湿润直径也随之增加, 但不与流量成正比。湿润直径为喷头射程的 2 倍。

(2) 喷头间距分段相同。机组输水支管分成 3 个或 4 个区段, 各个区段采用不同的喷头间距, 靠近中心支轴处的间距最大。

(3) 喷头流量基本相同, 变化很小。这就要求靠近中心支轴处的喷头间距大约为 12m, 并在输水支管末端减小为大约 1.5m。输水支管上的喷头间距与该处喷头到中心支轴的径向距离成反比, 所以间距与径向距离的乘积为常数。

采用统一喷头间距的形式最常用。因这种方式, 制造简单, 田间安装方便。但是, 采用统一喷头间距时, 如果间距很大, 需要高工作压力的大尺寸喷头喷嘴, 能耗费用较高。另外, 当灌溉没有作物覆盖的脆弱土壤时, 大尺寸喷头喷嘴产生的水滴可能会引起地表板结, 从而降低土壤入渗能力, 加大地表径流。

为了避免大尺寸喷嘴引起的上述问题, 常常采用喷头间距分段相同的布置方式。通常采用的方法是: 靠近中心支座的三分之一输水支管采用 12m 喷头间距, 中间的三分之一采用 6m, 远端的三分之一采用 3m。采取这种布置方式, 整个输水支管上可以采用相同的 3m 出水孔间距, 不使用的出水孔可用堵头堵上。例如, 靠近中心支座的三分之一输水支管上, 每四个出水孔安装一个喷头; 中间的三分

之一，隔一个出水孔安装一个喷头；远端的三分之一，每个出水孔都安装喷头。
喷灌机用典型折射式喷头性能参数见附录 2。

第三章 中心支轴式喷灌机喷灌工程设计

中心支轴式喷灌机由数个塔架组合而成，并由驱动机构驱动行走，一般是标准设备，喷灌机的性能参数、设备配套和材料选用在出厂前已经确定。在大型喷灌机组喷灌系统的规划设计中，规划设计重点包括：水源工程的规划设计，灌溉制度的拟定，机组控制面积的计算，机组布置方式、位置和台数的确定，根据喷灌机性能参数校核系统在运行状况下是否满足喷洒质量要求。

第一节 规划设计参数

喷灌系统的规划与设计参数主要包括基本参数、质量控制参数、设计参数等。

一、基本参数

（一）灌溉设计保证率

灌溉设计保证率指的是在多年运行中，灌区用水量能得到充分满足的机率。喷灌灌溉保证率包含了水源来水量的保证程度和灌溉设备的保证程度两个方面。

《喷灌工程技术规范》（GB/T50085）规定，以地下水为水源的喷灌工程其灌溉设计保证率不应低于 90%，其它情况下喷灌工程灌溉设计保证率不应低于 85%。

对于一个具体的喷灌工程，确定灌溉保证率不但要考虑水源等自然条件，还要考虑作物价值等经济条件。灌溉保证率确定后，通过对有关资料组成的较长系列进行频率计算，选出符合设计保证率的某一年，作为设计代表年，并以此作为拟定喷灌工作制度和规划水源工程的依据。

（二）设计日最大耗水量 ETa

作物日最大耗水量 ETa 可按彭曼-蒙蒂斯（Penman-Monteith）公式和作物系数来计算，资料缺乏地区可参考相关标准或其他资料直接选取。

（三）设计喷洒水利用系数

喷洒水利用系数是指降落到地面和作物上的水量与喷头喷出水量的比值，用 η_p 表示。影响 η_p 值大小的因素主要有风速、气温、空气湿度以及喷洒水的雾化程度等。有条件时宜通过实测确定，无实测资料时，可根据气候条件在下列数值范围内选取：

（1）风速低于 3.4m/s， $\eta_p=0.8\sim 0.9$ ；

（2）风速为 3.4~5.4m/s， $\eta_p=0.75\sim 0.8$ 。

当风力超过 3 级，即风速大于 5.4m/s 时，喷洒水的漂移损失将要大大增加，一般不进行喷洒（下喷折射式、散射式喷头适应风速可大些）。

（四）设计灌溉水利用系数

$$\eta = \eta_p \times \eta_G \quad (3-1)$$

式中： η --灌溉水利用系数；

η_p --喷洒水利用系数；

η_G --管道系统水利用系数，可在 0.95~0.98 之间选取，对于单井中心塔架处供水，无管道远距离输水时， η_G 取 1。

二、质量控制参数

质量控制参数是衡量喷灌工程质量好坏的主要指标，主要包括喷灌强度、喷灌均匀度和雾化指标。

（一）喷灌强度

喷灌强度是指单位时间内喷洒到地面的水层深度，一般情况下，中心支轴式喷灌机上的喷头结构、喷头工作压力和布置形式出厂时已经确定，工程人员只能选用。工程设计时，应根据土壤类型和地形坡度选用不同喷灌强度的喷灌机，中心支轴式喷灌机灌溉时允许地面有少量积水，其喷灌强度可略大于下表中土壤允许喷灌强度。

表 3-1 各类土壤的允许喷灌强度(mm/h)

土壤类别	允许喷灌强度
沙土	20
沙壤土	15
壤土	12
壤粘土	10
粘土	8

注：有良好覆盖时，表中数值可提高 20%。

表 3-2 坡地允许喷灌强度降低值(%)

地面坡度(%)	允许喷灌强度降低值
---------	-----------

5~8	20
9~12	40
13~20	60
>20	75

(二) 喷灌均匀度

喷灌均匀度是指在喷灌面积上水量分布的均匀程度,通常用喷灌均匀系数来表征。

中心支轴式喷灌机喷灌均匀系数主要受喷灌机运行速度稳定性、喷头结构、喷头工作压力和布置形式、地面坡度、风速和风向等因素影响。

喷灌均匀系数可按下式计算:

$$C_u = 1 - \frac{\Delta h}{h} \quad (3-2)$$

式中: C_u --喷灌均匀系数;

Δh --喷洒水深的平均离差, mm;

h --喷洒水深的平均值, mm。

按照《喷灌工程技术规范》,中心支轴式喷灌机设计喷灌均匀系数不应低于0.85。

(三) 雾化指标

雾化指标用喷头设计工作压力和主喷嘴直径的比值计算,公式如下:

$$W_h = \frac{h_p}{d} \quad (3-3)$$

式中: W_h --雾化指标;

h_p --喷头设计工作压力水头, m;

d --喷头主喷嘴直径, m。

设计时,根据灌溉作物的不同,选择适宜的喷头配置。不同作物种类的适宜雾化指标见表 3-3。

表 3-3 不同作物的适宜雾化指标

作物种类	W_h
------	-------

蔬菜及花卉	4000~5000
粮食作物、经济作物及果树	3000~4000
饲草料作物	2000~3000

三、设计参数

(一) 设计灌水定额

设计灌水定额和设计灌水周期是确定喷灌系统设计流量的依据,也是确定系统其它设计参数的基础数据。

灌水定额指一次灌水单位面积的灌水量。最大灌水定额可按下式确定:

$$m_s = 0.1h(\beta_1 - \beta_2) \quad (3-4)$$

$$m_s = 0.1\gamma h(\beta'_1 - \beta'_2) \quad (3-5)$$

式中: m_s --最大灌水定额, mm;

h --计划湿润层深度, cm;

β_1 --适宜土壤含水量上限(体积百分比);

β_2 --适宜土壤含水量下限(体积百分比);

γ --土壤容重, g/cm³;

β'_1 --适宜土壤含水量上限(重量百分比);

β'_2 --适宜土壤含水量下限(重量百分比)。

设计灌水定额 m 应在不大于最大灌水定额的前提下,根据作物的实际需水要求和试验资料进行选择。

(二) 设计灌水周期

灌水周期指一次灌水所需的天数。设计灌水周期应根据当地试验资料确定,缺少试验资料时灌水周期可按下式计算:

$$T = \frac{m}{ET_a} \quad (3-6)$$

式中: T --设计灌水周期, 计算值取整, d;

ET_a --设计日最大耗水量, mm/d;

m --设计灌水定额, mm。

(三) 设计日灌水时间

设计日灌水时间是指系统一天内总的喷洒时间，中心支轴式喷灌机一般按24h计。

第二节 田间工程设计和灌溉制度拟定

一、田间工程布置

田间工程规划设计除规划布置供水系统外，还应考虑供电系统布置等。

(一) 喷灌机取水方式

中心支轴式喷灌机从中心支轴处向喷洒系统供水，取水方式一般有三种。

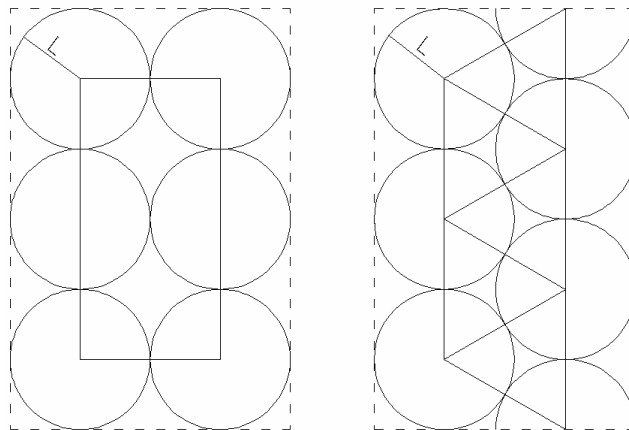
- 1、抽取地下水。在中心支轴附近打井，喷灌机自备水泵机组抽取地下水。
- 2、由高压管网供水。在田间布置地下管网，将压力水通过高压管道送至喷灌机的中心支轴处，无需自备加压水泵机组。

3、由低压管网供水。将地表水通过低压管网输送到喷灌机的中心支轴处，再由每台喷灌机自备水泵机组加压。

(二) 喷灌机田间布置方式

布置喷灌机的地块内应无任何障碍物包括林带、线杆等；应无干支渠或农毛渠等影响通行的水利设施。

中心支轴式喷灌机田间工程的布置方式如图3-1所示。当整个系统布置有多台机组时，以喷灌管道长度为半径画出的圆相切，布置方式有方形和三角形两种。方形布置漏灌面积占21.46%，三角形布置时漏灌面积占9.33%，如果采用带有地角装置的中心支轴式喷灌机喷灌，可以基本解决漏喷问题，提高灌溉保证率，但造价也相应提高。



a) 正方形布置

b) 三角形布置

\bar{L} 喷灌机的长度

图 3-1 中心支轴式喷灌机田间工程布置

二、喷灌机选型和台数确定

1、根据地块大小，确定喷灌机的型号、数量、湿润圆半径 R (m) 及相应湿润圆面积 A (亩)。

2、确定不同类型喷灌机总流量 Q_0 (m^3/h)，可按下列式计算：

$$Q_0 = \frac{ET_a \times A \times 667}{24\eta_p} \times \frac{1}{1000} \quad (3-7)$$

式中： Q_0 --按 24 小时连续工作时计算的流量， m^3/h ；

其余符号同前。

根据湿润圆半径和所需流量选用喷灌机机型，从厂商处获取选定喷灌机的性能参数。如某品牌 DYP437 型中心支轴式喷灌机部分性能参数见表 3-4。

表 3-4 DYP437 型中心支轴式喷灌机部分性能参数

喷灌圆半径	440.3 m
控制角度	360 °
每天运行时间	24 h
总流量	160.0 m^3/h
灌溉强度	6.3 mm/day
最大运行速度	169.3 m/h
最快运行周期	15.5 h
最小灌溉量	4.0 mm
末端喷头压力	1.0 bar
输入压力	2.8 bar
工作电压	380 V
工作频率	50 Hz
需求电容量	6.16 kVA
工作功率	3.85 kW

三、喷灌机工作参数确定

通常应对喷灌机转一圈最短时间和最长时间、最小运行速度、最小和最大净灌水深、转一圈设计时长和设计灌水深进行确定。同时还应对喷灌机喷灌均匀度

和雾化指标进行符合，其指标应符合相关标准要求。

转一圈最短时间和最小净灌水深与喷灌机末端塔架最大运行速度和喷洒性能相关；转一圈最长时间和最大净灌水深与喷灌机本身性能和土壤性能相关。

转一圈设计时长应在最短时间和最长时间范围内，转一圈设计灌水深应在最小和最大净灌水深范围内选取。

1、 转一圈最短时间 t_{\min} 和最小净灌水深 h_{\min} 的确定

(1) 转一圈最短时间 t_1

转一圈最短时间，可按下列式计算：

$$t_{\min} = \frac{2\pi R_L}{v_{\max}} \quad (3-8)$$

式中： t_{\min} --转一圈最短时间，h

R_L --末端塔架至中心支轴的距离，m；

v_{\max} --末端塔架最大前进速度，在机组性能说明书中有规定，m/h。

(2) 转一圈最小净灌水深 的确定

当喷灌机按 v_{\max} 转一圈时的灌水深度为最小净灌水深 h_{\min} ，可按下列式计算：

$$h_{\min} = \frac{ET_a t_{\min}}{24} \quad (3-9)$$

式中： h_{\min} ——转一圈的最小净灌水深，mm；

喷灌机一天工作时间按 24h 计。

推导过程如下：

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{Q_0 t_{\min} \eta_p}{A \times 667} \times 1000 \\ Q_0 t_{\min} \eta_p &= A \times 667 \times h_{\min} \times \frac{1}{1000} \\ h_{\min} &= \frac{ET_a \times A \times 667}{24 \eta_p} \times \frac{1}{1000} \times \frac{t_{\min} \eta_p}{A \times 667} \times 1000 \\ &= \frac{ET_a t_{\min}}{24} \end{aligned}$$

2、最小运行速度、转一圈最长时间和最大净灌水深的确定

(1) 最小运行速度 v_{\min}

在喷灌机喷灌工程设计时，应计算喷灌机最小运行速度。一般情况下，喷灌机末端喷头喷洒强度较大，应防止因喷灌机运行速度慢而形成地表径流。

当土壤透水性大时， v_{\min} 可由机组本身的性能确定。当土壤粘重时， v_{\min} 由允许地面积水深度来确定。根据试验资料，绘出积水深和受水时间的关系曲线，根据允许积水深可查得最长受水时间 t ，再根据 t 求出末端塔架的最小运行速度。土壤表面允许积水深可参见表 3-5。

表 3-5 土壤表面允许积水深值

地面坡度 (%)	允许积水深 (mm)
0~1	12
1~3	8
3~5	5

末端塔架运行的最小速度 v_{\min} ，可按下式计算：

$$v_{\min} = \frac{2r}{t} \quad (3-10)$$

式中： v_{\min} --末端塔架运行的最小速度，m/h；

r --末端喷头射程，m；

t --受水时间，h。

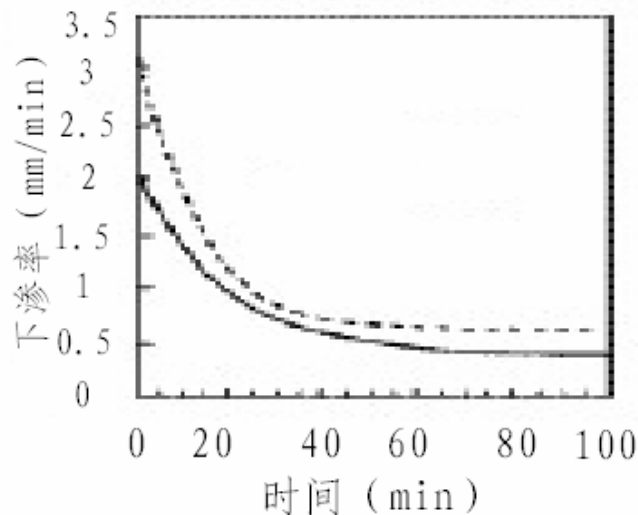


图 3-2 两种不同土壤入渗率曲线

例如：控制 500 亩地的中心支轴式喷灌机，326m 长。末端喷灌强度可达

110m/h, 相当于 1.83mm/min。从图上看一次受水时间 8min 是没有问题的, 一次灌水量可达 15mm, 不会形成地表径流。

一般砂土允许喷灌强度为 20mm/h, 是对于定喷式喷灌而设定的, 对于行喷式喷灌机而言, 喷灌强度可以大于 20mm/h, 但是喷灌时间不能大于受水时间。

(2) 转一圈最长时间 t_{\max}

以 v_{\min} 运行一圈相应所需时间 t_{\max} , 可按下式计算:

$$t_{\max} = \frac{2\pi R_L}{v_{\min}} = \frac{\pi R_L t}{r} \quad (3-11)$$

(3) 最大净灌水深 h_{\max}

喷灌机转一圈用 t_{\max} 时, 相应的灌水深 h_{\max} 可按下式计算:

$$h_{\max} = \frac{ET_a t_{\max}}{24} \quad (3-12)$$

当运行一圈净灌水深达不到设计净灌水定额时, 可连续运行多圈来实现。

3、喷灌机转一圈设计灌水深和转一圈设计时间

(1) 转一圈设计灌水深 h_j

最小净灌水深时, 百分率时间继电器的读数是 100%, 当其读数为 0%~100% 之间的任一数 $x\%$ 时, 转一圈设计灌水深介于 h_{\min} 和 h_{\max} 之间, 转一圈的净灌水深可按下式计算:

$$h_j = \frac{ET_a t_1}{24x} \quad (3-13)$$

相应末端塔架前进速度 v_x 为:

$$v_x = v_{\max} x\% \quad (3-14)$$

式中 v_x ——末端塔架前进速度, m/h。

(2) 转一圈设计时间 t_j

喷灌机运行一圈设计时间介于 t_{\min} ~ t_{\max} 之间, 可按下式计算:

$$t_j = \frac{t_{\min}}{x} \quad (3-15)$$

当选择时间继电器百分率为 40% 时, 此时喷灌机末端塔架在 1min 内运行 24s, 停止 36s。设计灌水定额越大, 时间继电器百分率越小。

工程设计时，也可不经过计算，而按厂商提供的相关图表来选定转一圈设计灌水深度和转一圈设计时间。转一圈设计灌水深度在 $h_{\min} \sim h_{\max}$ 范围内，

①可根据已选定型号喷灌机使用说明书中时间继电器百分率与灌溉水量的关系图，选定喷灌机转一圈设计时间和设计灌水深度，从而再确定继电器百分率。某一型号喷灌机旋转一周时间和相应灌水定额关系如图 3-3 所示。如设计一次灌水定额为 20mm 时，此时喷灌机旋转一周时间应该设定为 80h。

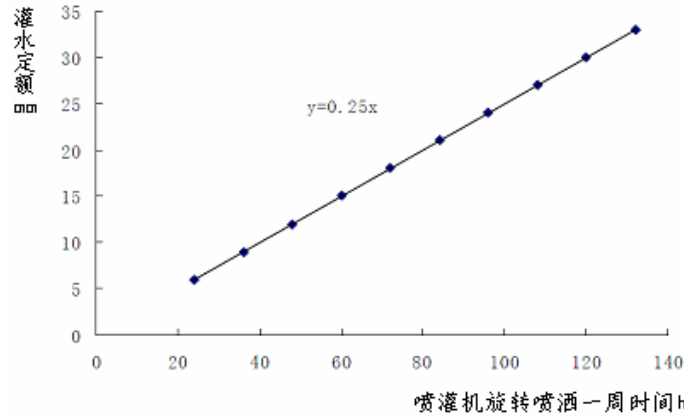


图 3-3 某种型号喷灌机旋转一周时间和相应灌水定额关系图

②工程设计时，也可参考已选定型号喷灌机使用说明书中喷灌机旋转一周时间、灌水深度和继电器百分率关系表，根据选定转一圈设计灌水深度查找对应的运行时间和继电器百分率。某品牌 DYP-437 型喷灌机旋转一周时间、灌水深度和继电器百分率关系表见表 3-6。

表 3-6 旋转一周时间、灌水深度和继电器百分率关系表

灌溉量 (mm)	旋转周期 (h. min)	速度控制设置百分比
4 mm	14 h 60 min	104 %
6 mm	22 h 29 min	69 %
8 mm	29 h 59 min	52 %
10 mm	37 h 29 min	41 %
15 mm	56 h 13 min	28 %
20 mm	74 h 58 min	21 %
25 mm	93 h 42 min	17 %
30 mm	112 h 26 min	14 %
35 mm	131 h 11 min	12 %
40 mm	149 h 55 min	10 %

4、喷灌强度和雾化指标校核

在设计中常以末端喷头的喷灌强度为控制数值，对于中心支轴式喷灌机，允许土壤表面局部积水成洼，但以不产生径流为限。

(1) 喷灌强度校核

根据喷灌机沿喷灌机方向灌水量相同要求,可以推出任意喷头之间喷洒强度关系。

$$\frac{r_i \rho_i}{L_i} = \frac{r_j \rho_j}{L_j} \quad (3-16)$$

式中: r_i --从中心支轴计第 i 喷头的喷洒半径, m;

R_j --从中心支轴计第 j 喷头的喷洒半径, m;

ρ_i --从中心支轴计第 i 喷头处组合喷洒强度, mm/h;

ρ_j --从中心支轴计第 j 喷头处组合喷洒强度, mm/h;

L_i --第 i 喷头至中心支轴的距离, m;

L_j --第 j 喷头至中心支轴的距离, m;

推导过程如下:

第 i 点的降雨量

$$H_i = \rho_i \times t_i = \rho_i \times \frac{2r_i}{v_i} = \rho_i \times \frac{2r_i}{R_i \times \theta}$$

第 j 点的降雨量

$$H_j = \rho_j \times t_j = \rho_j \times \frac{2r_j}{v_j} = \rho_j \times \frac{2r_j}{R_j \times \theta}$$

当 $H_i=H_j$ 时

$$\rho_i \times \frac{2r_i}{R_i \times \theta} = \rho_j \times \frac{2r_j}{R_j \times \theta}$$

推出

$$\frac{r_i \rho_i}{L_i} = \frac{r_j \rho_j}{L_j}$$

当喷灌机上喷头采取等间距 a 布置时: $L_i=a \times i$; $L_j=a \times j$;

$$\frac{r_i \rho_i}{i} = \frac{r_j \rho_j}{j} \quad (3-17)$$

第 1 个喷头与末端喷头 (第 n 个喷头) 喷洒强度关系如下:

$$\rho_n = \frac{\rho_1 \times r_1}{r_j} \times n \quad (3-18)$$

在喷灌机实际运行中，为保证中心塔架处保持干燥，常常远离中心塔架 1-2 个出水口位置，在第 3 个出口处安装第一个喷头，计算时该喷头按第三个喷头考虑。

从理论上说，中心支轴式喷灌机每个喷头喷灌强度都应逐步递增，才能保证沿喷灌机方向整机喷洒的均匀性，而在实际生产中，因喷头喷嘴规格有限，常常相邻几个出水口安装相同型号的喷嘴，各段喷洒强度略有不同，但整机喷洒均匀度不应低于 0.85。

一般可以以靠近中心支轴最近的喷头喷洒强度为基准，采用式 (3-16) 校核各喷头喷洒强度。

组合喷灌强度，可以根据喷灌机上喷头性能和相邻喷头喷洒范围搭接情况来确定。单个喷头性能及喷洒水量分布由有厂商提供，根据搭接情况来计算组合喷灌强度。

常用喷灌机喷头性能见表 3-7。

表 3-7 常用喷头性能参数表

# 色标	#9 浅蓝色 浅褐色	#10 浅褐色	#11 浅褐色 金色	#12 金色	#13 金色 青柠色	#14 青柠色	#15 青柠色 淡紫色	#16 淡紫色	#17 淡紫色 灰色	#18 灰色	#19 灰色 青绿色
kg/cm ²	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m
0.4	1.28	1.59	1.89	2.30	2.68	3.10	3.59	4.08	4.61	5.14	5.79
0.7	1.66	2.04	2.46	2.99	3.48	4.01	4.65	5.29	5.98	6.62	7.45
1.0	2.00	2.50	2.99	3.63	4.27	4.88	5.71	6.47	7.30	8.09	9.12
1.4	2.34	2.87	3.48	4.20	4.92	5.63	6.58	7.49	8.44	9.38	10.56
1.7	2.61	3.22	3.86	4.69	5.52	6.32	7.38	8.36	9.46	10.48	11.81
2.1	2.87	3.52	4.23	5.14	6.01	6.92	8.09	9.15	10.37	11.46	12.90
2.8	3.29	4.05	4.88	5.94	6.96	7.98	9.34	10.59	11.96	13.24	14.91
3.4	3.67	4.54	5.48	6.66	7.79	8.93	10.44	11.84	13.32	14.79	16.69

# 色标	#20 青绿色	#21 青绿色 黄色	#22 黄色	#23 黄色 红色	#24 红色	#25 红色 白色	#26 白色	#27 白色 蓝色	#28 蓝色	#29 蓝色 褐色	#30 褐色
kg/cm ²	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m
0.4	6.43	6.96	7.72	8.40	9.23	9.99	10.86	11.61	12.68	13.55	14.49
0.7	8.28	9.00	9.99	10.82	11.96	12.90	14.00	15.00	16.35	17.48	18.69
1.0	10.18	11.01	12.22	13.24	14.61	15.78	17.14	18.39	20.02	21.42	22.93
1.4	11.73	12.71	14.11	15.32	16.88	18.24	19.79	21.23	23.12	24.71	26.45
1.7	13.13	14.23	15.78	17.10	18.88	20.36	22.14	23.73	25.85	27.63	29.59
2.1	14.38	15.59	17.25	18.77	20.70	22.33	24.26	26.00	28.31	30.28	32.39
2.8	16.61	18.01	19.94	21.65	23.88	25.77	28.00	30.65	32.70	34.97	37.43
3.4	18.54	20.13	22.29	24.22	26.72	28.80	31.33	33.57	36.56	39.13	41.86

# 色标	#31 褐色 褐色	#32 褐色	#33 褐色 深绿色	#34 深绿色	#35 深绿色 紫色	#36 紫色	#37 紫色 黑色	#38 黑色	#39 黑色 深青绿色	#40 深青绿色	#41 深青绿色 深黄色
kg/cm ²	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m
0.4	15.36	16.50	17.60	18.69	19.68	20.07	22.10	23.39	24.68	25.92	27.48
0.7	19.83	21.50	22.71	24.11	25.43	26.72	28.54	30.16	31.87	33.49	35.47
1.0	24.26	26.07	29.71	29.56	31.15	32.74	34.97	36.98	39.02	41.02	43.45
1.4	28.00	30.12	32.13	34.10	35.95	37.77	40.38	42.69	45.08	47.35	50.19
1.7	31.34	33.68	35.91	38.15	40.19	42.24	45.11	47.72	50.38	52.95	56.09
2.1	34.32	36.90	39.32	41.78	44.05	46.29	49.43	52.27	55.19	58.02	61.43
2.8	36.62	42.62	45.42	48.25	50.87	53.44	57.07	60.37	63.74	66.99	70.97
3.4	44.32	47.65	50.79	53.93	56.85	59.76	63.81	67.48	71.20	74.90	79.33

(2) 雾化指标校核

根据选用机型喷头设计工作压力和主喷嘴直径按式(3-3)计算雾化指标,应符合表3-3中具体要求。喷灌机中心支轴处的压力和流量及支管的压力分布可查厂家提供的手册。

5、水泵选型

根据选用的喷灌机中心支轴处要求的压力和流量参数、地下水动水位、管网水头损失等因素确定所需水泵的流量和扬程,进而选用配套水泵。具体内容见本章第三节,并用潜水电泵主要性能参考数值见附表1。

四、灌溉制度的拟定

灌溉制度是指作物播前及全生育期内的灌水次数、灌水日期、灌水定额和灌溉定额。灌溉定额是播前灌水定额和作物全生育期各次灌水量的总和。

(一) 播前灌水定额

为了保证作物种子发芽和出苗,必须在播种前保持土壤有一定的含水量,需要播前灌溉。播前灌水定额一般可根据土壤墒情和当地经验选定。

(二) 生育期灌溉制度

生育期灌溉制度可按水量平衡原理来拟定。在作物生育期内的任一时段 t ,土壤计划湿润层 H 内储水量的变化可列水量平衡方程式(3-19),用此式计算灌水定额:

$$W_t = W_0 + P_0 + W_k + W_T + m - ET \quad (3-19)$$

式中: W_0 、 W_t —时段始末计划湿润层含水量, mm;

P_0 —时段内保持在计划湿润层内的有效降水量, mm;

W_k —时段内地下水的补给量, mm;

W_T —时段内由于计划湿润层增大而增加的水量, mm;

m —时段内的喷灌水量, mm;

E_T —时段内作物需水量, mm。

利用公式(3-19)进行水量平衡计算时, W_t 、 W_0 可用适宜土壤含水量允许的上、下限来确定; P_0 可用时段内的降水量 P 与降水利用系数 σ 的乘积来确定, σ 可参考表3-5选用; W_k 是指地下水借土壤毛细管作用上升至计划湿润层内的水量,当地下水埋深大于3.5m时,该值可忽略不计;若时段内计划湿润层未增

加， W_T 也视为零。只要知道了时段内作物的需水量，即可计算出该时段内应喷灌的水量，灌水日期也可确定。

表 3-8 降水利用系数与日降水量关系表

日降水量(mm/d)	<5	5~30	30~50	50~100	>100
σ	0	0.80	0.60	0.30	0.15

当计算所需资料不全、不够准确时，可根据本地或类似地区喷灌试点资料，或参考群众丰产灌溉经验，分析制定设计灌溉制度。

不同生育期内，实际灌水定额可以根据喷灌机平均灌溉水深度与实际灌水周期乘积确定，但是不能大于最大灌水定额 m_s 。

第三节 水泵选型

一、水泵选型原则

水泵选型应遵循以下三个原则：

(1)水泵流量和扬程应与喷灌系统设计流量和设计扬程基本一致，且当工作点变动时，泵始终在高效区范围内工作，既不能产生气蚀，也不能使动力机过载。

(2)在长期运行过程中，水泵工作的平均效率要高，而且经常在最高效率点的右侧运行为最好。

(3)水泵选型应选用系列化、标准化以及更新换代产品，便于运行和管理。

二、水泵选型

1、水泵扬程计算

选水泵时可按喷灌机入机压力水头计算水泵设计扬程，然后校核水泵在各个轮灌组工作时的工况点。

喷灌机配套水泵多为潜水泵，潜水泵设计扬程计算如下：

$$H_{\text{泵}} = H + h_{f1} + h_2 + \Delta z \quad (3-20)$$

式中： $H_{\text{泵}}$ --水泵设计扬程，m；

H --喷灌机入机压力水头，m；

h_{f1} --井下管路水头损失，m；

h_{f2} --管道输水时，井口至中心支轴处管路水头损失，m；

Δz --井动水位到井口的高程差，m。

2、水泵选型与动力配套

根据喷灌系统设计流量和水泵设计扬程，查阅水泵生产厂家的水泵技术参数表，选出合适的水泵及配套动力。当选择水泵配套动力机时，应保证水泵和动力机的功率相等或动力机的功率稍大于水泵的功率。

三、水泵工况点的确定

水泵铭牌上的流量与扬程是水泵的额定流量和扬程。水泵的 Q-H 水泵曲线由水泵制造厂家提供，喷灌系统流量和压力运行工况点应在水泵性能曲线的高效区内。避免“大马拉小车”现象出现，提高水、电资源的利用效率。

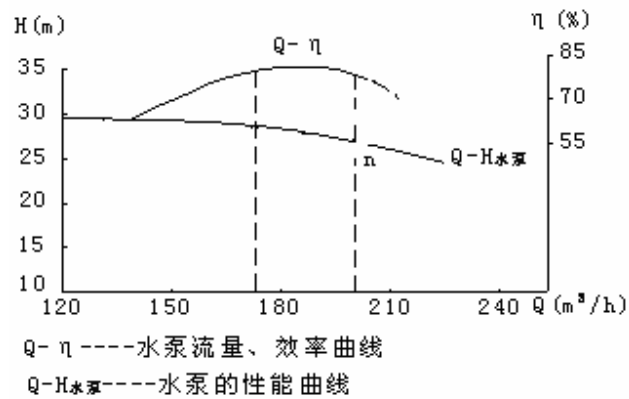


图 3-4 水泵性能曲线图

第四节 水源工程设计

水源工程设计首先要探明水源水量是否充沛，水质是否符合灌溉标准，确定井位及可开采量。因为中心支轴式喷灌机单台控制面积较大，喷灌机要求的流量也很大，应加强水源供水能力分析，避免供不上水。常见中心支轴式喷灌机跨数和流量见表 3-9。

表 3-9 常见中心支轴式喷灌机跨数和流量

跨数	长度 (m)	面积 (亩)	灌水深度(mm)				
			6	7	8	9	10
喷灌机的流量(m ³ /h)							
12	667.90	2101.11	350.20	408.57	466.94	525.30	583.67
11	613.40	1772.20	295.38	344.61	393.84	443.07	492.30

跨数	长度 (m)	面积 (亩)	灌水深度(mm)				
			6	7	8	9	10
10	558.90	1471.27	245.22	286.10	326.97	367.84	408.71
9	503.90	1195.95	199.34	232.56	265.78	299.00	332.23
8	449.90	953.36	158.90	185.38	211.87	238.35	264.84
7	395.40	736.37	122.74	143.19	163.65	184.10	204.56
6	340.90	547.37	91.23	106.44	121.64	136.85	152.05
5	286.40	386.34	64.39	75.13	85.86	96.59	107.32
4	231.90	253.30	42.22	49.25	56.29	63.33	70.36
3	177.40	148.23	24.71	28.82	32.94	37.06	41.18

注：表内喷灌机跨长为 54.5m，末端悬臂 13.4m。

一、地下水水源

用机井供水时，井位宜选在中心支轴处，可减少地下输水管道长度。在地下水丰富、单井出水量较大的浅井区，一台喷灌机可由一眼井供水；在深井区且水源水量丰富时，可通过地下管路，一眼机井供 2-3 台喷灌机用水；在单井出水量较小的浅井区，也可考虑用多井汇流供一台喷灌机用水。

二、地表水水源

河、湖、水库等地表水源相对丰富地区，可设立泵站，用地下输水管或明渠输水到喷灌机的中心支轴处。

泵站引水流量和水量应根据水源来水量和来水流量，进行水量平衡计算。水量平衡计算可能出现三种情况：①当水源来水量和来水流量都能满足喷灌用水总量和用水流量时，不需修建蓄水工程。②来水量大于喷灌用水总量，来水流量小于喷灌用水流量，须修建调蓄工程。③水源来水量小于喷灌用水量，须另辟水源，或减小喷灌面积。

三、蓄水工程容积计算

蓄水工程的容积是根据来水和用水的平衡关系来确定的。不同情况下蓄水工程容积的计算方法也不同。

1、通过调节计算确定容积

在掌握水源来水流量的情况下，可通过调节计算确定蓄水工程容积。根据水源来水流量与喷灌用水流量的对比关系，调节的周期可长可短，小型工程常见的是短时间调节，即日调节和多日调节。因大型喷灌机日工作时间为 24h，因此不

考虑日调节。

当一日的喷灌用水量超过了水源昼夜来水量，日调节已不能满足时，可考虑利用喷灌间隔时间蓄水，进行多日调节。

2、利用经验公式估算容积

当水源没有实际的来水过程而无法进行调节计算时，一般可采用经验公式估算蓄水工程容积。估算时，先按年用水量和年来水量分别计算出所需的容积，然后比较两种计算的结果，取其中较小者作为实际蓄水工程的容积，即当用水量小于来水量时，按用水量确定容积。

(1) 按来水量估算容积的公式为

$$V = KW_0 \quad (3-21)$$

(2) 按用水量估算容积的公式为

$$V = KM \cdot W \quad (3-22)$$

式中：V--蓄水工程容积， m^3 ；

W_0 --多年平均年来水量， m^3 ；

W--年喷灌用水量， m^3 ；

K--调节系数，一般 $K = 0.3 \sim 1.0$ ，在雨量较丰、沟道经常有水的地方取小值。在干旱少雨、河道经常断流的地方取较大值，对于集雨面积小、平常无水、仅汛期大雨才有雨水汇集时取最大值。

M--为放大系数，为计入蓄水时因蒸发和渗漏的损失水量，取 $1.1 \sim 1.2$ 。

第四章 中心支轴式喷灌机的安装与调试

与其他喷灌设备（系统）相比，中心支轴式喷灌机零部件多、结构复杂、自动化程度高，其安装和调试是否正确、可靠，将对以后的安全运行和经济效益产生重大影响。因此，供需双方应精密组织，互相配合，确保安装与调试质量。

目前，我国还没有中心支轴式喷灌机专业施工安装队伍，其安装、调试工作通常采取两种方式进行。一是全部工作由制造厂或其代理商承担完成；二是主要工作由用户负责，制造厂或其代理商作必要的技术指导。不管采取哪一种方式，喷灌机最终用户应从一开始就指派专人，参与安装和调试工作的全过程，以便获得第一手资料；供应商也应借此机会，对使用者进行全过程培训，为以后使用操作和维护保养奠定坚实基础。

第一节 喷灌机安装前应具备的条件及安装准备

一、安装前应具备的条件

喷灌机安装前，应具备以下条件：

- 1、供需双方已就喷灌机安装与调试各自应承担的责任、义务等达成一致；
- 2、水源、电源等配套工程和设施已建成；或虽未建成，但不会对喷灌机安装与调试产生影响；
- 3、安装喷灌机中心支座的混凝土基础已建成，并达到了规定养护期；
- 4、喷灌机的所有零部件已运抵现场，并完好无损。

二、安装所需的设备、仪表及安装准备

- 1、3吨以上汽车吊或功能相同的其他吊装设备1台。
- 2、小型短途运输工具1台；
- 3、无线对讲机1部，电工万用表1块，扳手、螺丝刀等其他必备工具适量；
- 4、按顺序将喷灌机的各种大型零部件摆放在田间的相应位置。

第二节 安装顺序及要求

中心支轴式喷灌机的安装顺序大致是：中心支座组合（含支轴管、集电环、主控制箱、首端运行指示灯、柔性接头等）→首跨桁架（含电缆、U形弯管、喷头悬吊软管等）→首跨塔架车（含首跨塔架盒、电机减速器、万向节、传动

轴、塑料套管、车轮减速器、车轮等) → 中间桁架 (所含零部件同首跨桁架) → 中间塔架车 (除采用中间塔架盒外, 其它同首跨塔架车) → 末跨桁架 (同时安装末端悬臂和末端喷枪, 其他零部件同首跨桁架和中间桁架) → 末端塔架车 (所含零部件同中间塔架车) → 喷头和压力调节器 → 控制系统接线 (含接地体)。

一、中心支座组合

(一) 中心支座

1、将 4 根立柱的上端与转动套的连接耳相连, 并将滑铁连接在立柱下端。此时, 螺栓不要拧紧, 以便调整。

2、将上、中、下横梁和斜梁与立柱相连。

3、安装柔性接头。

4、安装定点停机装置 (需要时)。

5、用吊车将中心支座框架吊放在混凝土基础的适当位置, 并利用滑铁将其固定在地脚链上。

6、安装主控制箱支架, 并将主控制箱安装在支架上。

7、将所有连接螺栓紧固。

(二) 支轴管

1、将 V 型密封圈安放在支轴管内的密封槽里, 其开口应向下。

2、将电缆管插入支轴管内。

3、将带电缆管的支轴管用拉板和管夹安装在转动套的连接耳上, 并用 4 根支撑将支轴管固定。

4、将电缆管的一端从支轴管孔引出, 并用压紧螺母固定。

(三) 集电环

1、将集电环拧在电缆管的另一端。

2、在安装支轴弯管和球形接头时, 安装一块支撑板。

3、将带有分线盒的电缆管安装在集电环上。

二、桁架

1、将首跨桁架输水管自中心支座起一字排开。将带有端法兰的输水管放在靠近中心支座的一端, 带有球穴的输水管放在桁架另一端。中间的输水管也有方

向性，应对照图纸摆放。

2、将所有输水管转到喷头座向上的位置，并用木块垫平。

3、将输水管法兰端面清理干净，在接口处安放法兰垫，用螺栓将两根输水管连接并紧固。按此方法，将一跨桁架的所有输水管连接在一起。

4、将电缆沿着桁架输水管上方拉开，两端留出余量，每隔 2m 用一个钢丝夹子吊住。电缆要从各喷头座的左右两侧交叉穿过，不要放在一侧。

5、安装各个 V 型支撑，但此时螺栓不要拧紧。

6、在各个喷头座上安装 U 型管和喷头悬吊管（PE 管）。各悬吊管的长度根据桁架输水管的拱形高度确定，但悬吊管下端应在同一个平面上，即能够保证在平地里所有喷头距地面的高度相同。

7、用吊车在桁架输水管的中部将其吊起，中部离地 1.5m 左右。

8、安装横支撑、固定拉筋和调整拉筋。

9、将 4 根带有螺纹的端拉筋分别安装在桁架两端，每根拉筋螺纹上拧 2 个螺母，螺纹外露 80mm 左右。

10、将连接桁架的所有螺栓拧紧。

11、用螺栓将管拉筋的一端连接在桁架连接耳上，但螺栓不要拧紧。

12、缓缓放下吊车，此时一跨桁架安装完毕。

中间各跨桁架和末跨桁架的安装方法，与以上介绍的首跨桁架大体相同。需要注意的是，首跨桁架的首管和末跨桁架的尾管接口均为法兰。

三、塔架车

1、用吊车将桁架带有球穴的一端吊起到适当高度，将塔架车 4 根立柱的上端与桁架上的塔架连接耳相连，下端与底梁上的连接板相连。

2、安装车轮减速器固定框架和车轮，此时螺栓不要拧紧。

3、连接各个横梁和塔架车加强板，并将管拉筋的另一端连接在立柱上。

4、将电机减速器安装在底梁上的固定框架上，装上万向节、传动轴和塑料套管，并用卡箍将塑料套管固定在底梁上。

5、各个部位安装合适后，拧紧所有螺栓。

四、末端悬臂

末端悬臂安装在末跨桁架的尾端，其安装比较简单，应与末跨桁架同时进行。

需要注意的是，悬臂末端应比桁架输水管中心水平线高 300 ~ 500mm。

五、喷灌机总装

（一）首跨桁架与中心支座的组装

中心支座、首跨桁架和塔架车安装完毕，并检查无误后，便可进行组装。用吊车将首跨桁架着地端吊起，慢慢调整到与中心支座的球铰法兰齐平，中间放入密封垫，装上支撑板，并用螺栓紧固。

（二）其他各桁架之间的组装

组装首跨以后的各跨桁架时，先用卡箍将胶管一端固定在后一跨桁架输水管端部，然后用吊车将桁架着地端吊起，将胶管另一端套到前一跨桁架输水管上，并把球头装入球穴中，再用卡箍卡紧胶管。组装完后一跨桁架后，应用吊车吊起前一跨塔架车的行走梁，将车轮转换到工作位置。

（三）塔架盒及同步控制机构

各跨桁架和塔架车组装完毕后，便可安装塔架盒及相应的同步控制装置。各塔架盒安装在相应桁架端部靠近柔性接头的位置。控制杆的一端与塔架盒内的凸轮连接，另一端穿进下一跨桁架的拨块，组成两跨之间的同步控制调整机构。

六、喷头和压力调节器

制造厂或其代理商通常会根据现场资料 and 用户要求编制喷头(必要时含压力调节器)配置表。安装时，应由两人配合进行，从中心支座起开始，一直到末端悬臂的最后一个喷头，一人安装，另一人检查核对。如配置表要求安装压力调节器，应与喷头同时进行。

七、控制系统接线

在上述安装过程中，主控制箱、集电环、定点停机装置、首端运行指示灯、电缆、塔架盒、行走驱动电动机（与电机减速器一体）和末端运行指示灯等电气控制设备已安装完毕，接下来的工作是按照电气原理图和接线图将它们连接起来。为了保证中心支轴式喷灌机安全运行，控制系统接线除了应符合常规技术要求以外，还应符合以下要求。

- 1、在中心支座附近安装一个接地体，其接地电阻应不大于 4Ω 。主控制箱、所有塔架盒和行走驱动电动机外壳应与该接地体可靠连接。

- 2、动力电缆和控制电缆的对地绝缘电阻不应小于 $2M\Omega$ 。

3、塔架盒内控制杆的动作应灵活自如；在出厂前已将塔架盒内微动开关与凸轮之间的相对位置调好，在安装和运行过程中无特殊情况不应随意调整。

4、出厂前已将各塔架盒内的热继电器调整到 3.5A，在安装和运行过程中不得随意调整。

5、集电环内的滑环导电性能以及各滑环之间的绝缘性能应符合相关电气标准要求；碳刷与滑环之间应保持良好接触。

第三节 整机调试

从上述安装过程可以看出，中心支轴式喷灌机的中心支座、一跨桁架本身、桁架与末端悬臂以及桁架与塔架车框架等绝大多数金属构件之间都是刚性连接，只要连接正确、牢固，安装后不需要调整。需要调节的是柔性联结点 and 可转动部位，即各跨桁架的同步控制机构和各个塔架车上两个车轮的直线性。

一、同步控制机构

中心支轴式喷灌机能否正常、安全运行，同步控制机构起着至关重要的作用。同步控制机构的工作原理如下：中心支轴式喷灌机安装结束后，整个机组（所有桁架）中心线应是一条直线。末端塔架车在主控制箱的指令下向设定的方向（正向或反向）行走一段距离后，末端桁架与次末端桁架之间便形成一定角度（通常不大于 1° ）。这时，次末端桁架塔架盒内的控制杆带动凸轮转动，使运行微动开关闭合，继而交流接触器动作，向行走驱动电动机供电。电动机通过两级减速器，将动力传递给车轮，次末端塔架车便开始向相同的方向行走。当次末端塔架车行走一段距离后，次末端桁架便与其紧邻的桁架之间形成一定角度。与上述原理相同，紧邻的塔架车开始向前行走。如此反复，中心支轴式喷灌机的各个塔架车支撑着桁架不断以中心支座为中心旋转，悬吊在桁架输水管上的喷头不停喷水，直到完成一次灌水作业。

出厂前，中心支轴式喷灌机塔架盒内的运行微动开关及安全微动开关与凸轮之间的相对位置已预先调整好。安装结束后，需要对该部位进行复查。如有变化或松动现象，应按下述步骤和方法进行调整。

（1）安装结束后，整个机组（所有桁架）中心线应是一条直线。如不在一条直线上，应手动向超前或滞后的塔架车驱动电动机供电，使其向前或向后行走，直到构成一条直线。（2）装上控制杆，拧下凸轮锁紧螺母。（3）松开旋转轴螺母

和定位螺栓。(4) 转动调节螺母，使凸轮压向运行微动开关，直到听到“咔”的一声（表明微动开关已动作，即常开触点闭合），然后再小心地反向转动该调节螺母 1~3 圈。(5) 装上凸轮锁紧螺母，并拧紧旋转轴螺母和定位螺栓。(6) 握住控制杆，以均力沿水平方向来回推拉。若在推拉时均能听到“咔”的一声，表明凸轮与微动开关之间的间隙合适。若只能在推的过程中听到声音，而在拉的时候听不到，则表明间隙过小，需要重新调整；反之，则表明间隙过大，也需要重新调整。

按上述方法将全部塔架车调整结束后，即可起动喷灌机正向运行。若在运行过程中发现某塔架车滞后，需要重新对该塔架盒内的同步调整机构进行调整。调整步骤和方法与上述相同。

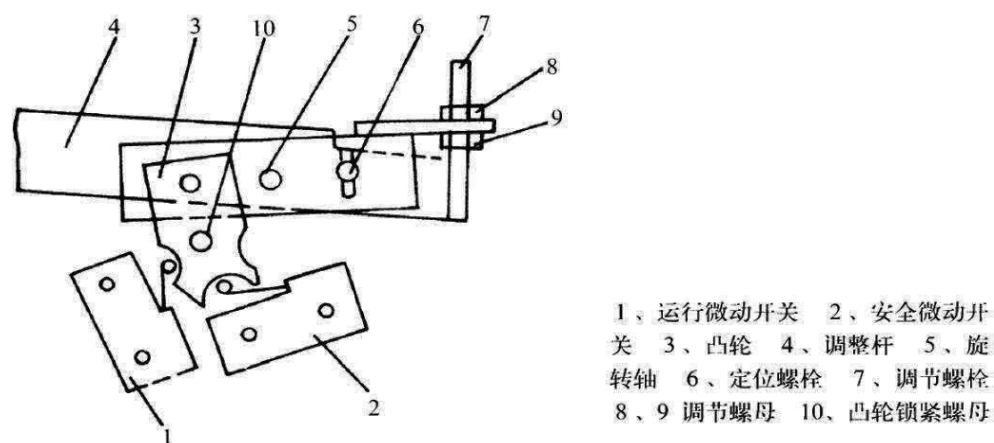


图 4-1 同步调整机构示意图

二、车轮调整

如果一个塔架车上的两个车轮不在同一条直线上，需要对其进行调整。调整时，将行走梁底部调整板上的紧固螺母松开，移动调整板，直到两个车轮均与行走梁平行，然后拧紧螺母。

第四节 电气控制系统的工作原理与动作步骤

中心支轴式喷灌机常规电气控制系统的工作原理见图 4.2-1 和 4.2-2，其主要功能包括控制喷灌机的正反向运行、定点停机、安全保护和监控报警等。需要指出的是，各个喷灌机生产厂家的电气控制系统的配置并不完全相同，但基本工作原理差别不大。另外，全圆喷洒作业且未安装末端喷枪的喷灌机可能就不需要具备定点停机功能，简单配置的主控制箱可能也不具备过雨量保护、水压波动保护

等安全保护功能。

一、系统通电与初始化

接通隔离开关或自动空气开关给主控制箱供电，主控制箱面板上的仪表开始工作，分别显出当前的电压、电流和百分率计时器所在的位置。然后在面板上进行下述操作，以做好喷灌机启动准备。

- 1、将电压、电流、温度和水压波动的报警限值设定到所需值；
- 2、转动百分率计时器旋钮，设定到所需的百分率值；
- 3、将运行方向转换开关转到正向或反向位置；
- 4、将主供水泵控制开关 1K 和主水泵压力开关 2K 转向“开始”位置；
- 5、将增压泵开关转向停止位置；
- 6、行驶速度开关 3K 转向“减速”位置。

二、喷灌机正向运行

确认主供水泵顺利启动、达到规定设计压力且所有喷头正常工作后，按下启动按钮 1QA，此时总控制接触器 1JC 吸合，1JC 的常开触点闭合；正向运行接触器 3JC 吸合，3JC 的主、辅常开触点闭合；三相电源通过集电环输送至各个塔架盒。同时，在百分率计时器控制下，控制末端塔架驱动电动机运转的接触器 14JC 通电，末端塔架车开始正向运行。当末端桁架与次末端桁架之间构成一定角度时，次末端塔架盒内的运行微动开关 4-1LS 动作，控制次末端塔架驱动电动机的接触器 13JC 吸合，次末端塔架车运行。与此过程相同，依次接通控制各中间塔架车驱动电动机的接触器 12JC ~ 5JC，整台喷灌机正向运行。

三、喷灌机反向运行（1ZK 处于反向位置）

确认主供水泵顺利启动、达到规定设计压力且所有喷头正常工作后，按下启动按钮 1QA，此时总控制接触器 1JC 吸合，1JC 的常开触点闭合；反向运行接触器 4JC 吸合，4JC 的主、辅常开触点闭合；三相电源通过集电环输送至各个塔架盒。同时，在百分率计时器控制下，控制末端塔架驱动电动机运转的接触器 14JC 通电，末端塔架车开始反向运行。当末端桁架与次末端桁架之间构成一定角度时，次末端塔架盒内的运行微动开关 4-2LS 动作，控制次末端塔架驱动电动机的接触器 13JC 吸合，次末端塔架车运行。与此过程相同，依次接通控制各中间塔架车驱动电动机的接触器 12JC ~ 5JC，整台喷灌机反向运行。

四、定点停机

由安装在中心支座上的支座环和拨杆组成。喷灌机遇到障碍物不能做全圆运动时，需要在预定地点停机，这将由定点停机装置中安装在中心支座控制环上定位器的触头和支轴弯管下面随塔架运转的拨杆机构上的滚轮以及定点停机微动开关来实现。当拨杆机构上的滚轮和定点停机微动开关做圆周运动时，碰触到中心支座控制环上定位器的触

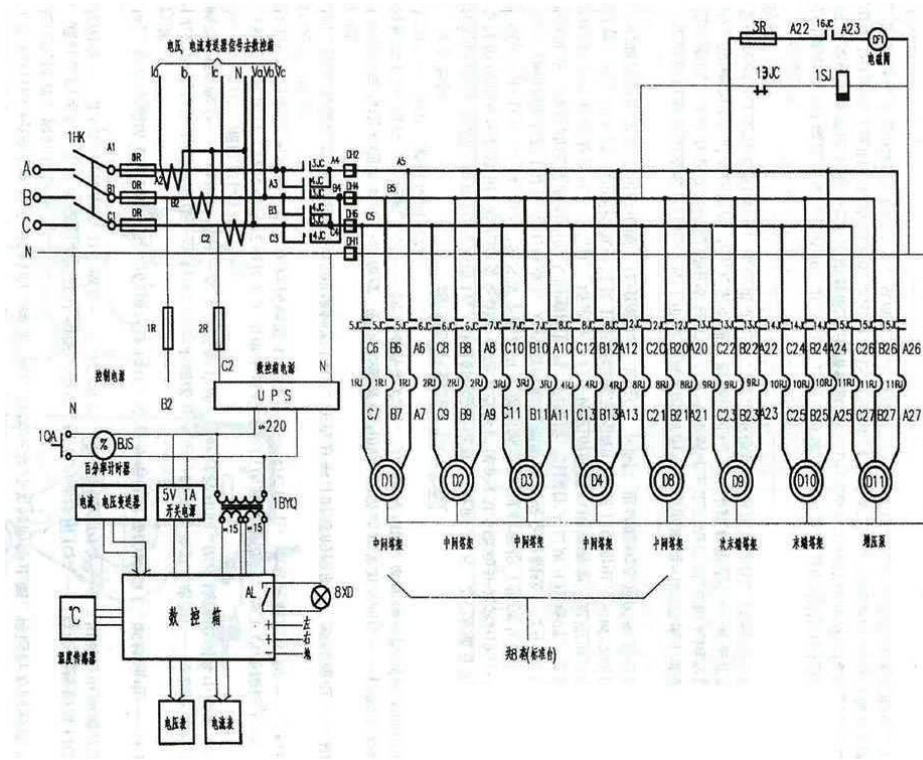


图 4-2 主控制箱电气原理图

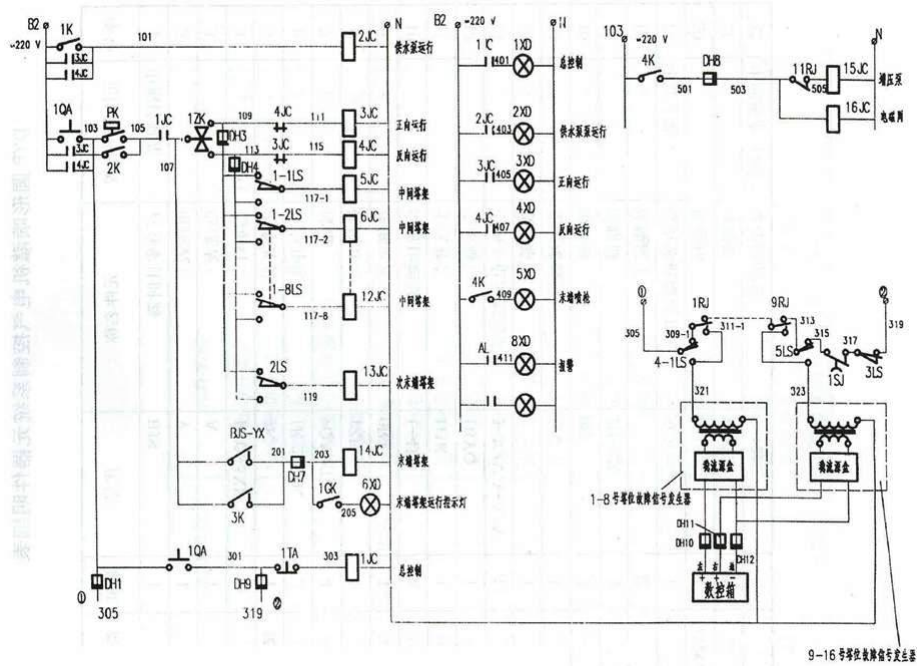


图 4-3 主控制箱电气原理图

头，滚轮带动支杆，使定点停机微动开关动作，切断安全控制线，喷灌机在预定地点停机。

五、安全保护

喷灌机正常运行后，将 1K 和 2K 转向运行位置，此时电气控制系统的安全保护功能开始起作用。喷灌机的安全保护功能包括塔架车安全运行保护（4-ILS ~ 4-8LS、5LS 安全微动开关常闭触点）、过雨量保护（时间继电器 1SJ 常闭触点）和水压波动保护等。

（一）塔架车安全运行保护

当任一塔架车在运行中因超前或滞后相邻塔架车位规定范围或驱动电动机过载时，相关的常闭触点将自动开路，切断控制电器及主控制线使总控制接触器 1JC 断电，正向接触器 3JC 或反向接触器 4JC 相继断电，切断控制电路及主回路电源，使喷灌机停止运行，同时也切断供水泵的配套电动机电源，水泵停止供水。

（二）过雨量保护

时间继电器 1SJ 起过雨量保护作用，其延时断开时间按塔架车传递动力所需的时间设定。当末端塔架车行走轮因打滑或受阻时，次末端塔架盒的交流接触器 13JC 因微动开关开路而断开（13JC 常闭触点闭合），时间继电器 1SJ 闭合（此时时间继电器的常闭触点 1SJ 仍然处于闭合状态）。当吸合时间超过预先调整好的

传递时间时，时间继电器常闭触点 1SJ 断开，从而使总控制接触器 IJC 断开，末端塔架驱动电动机断电，进而达到停机、停泵的目的。

（三）水压波动保护

当供水工作不正常使水压超限（过高或过低），压力接触开关断开，使总控制接触器 IJC 断电，正、反向接触器 3JC、4JC 断电，喷灌机和水泵均停止运行。

（四）监控报警

喷灌机在运行过程中，当电压、电流及周围环境温度超过设定值时，电气控制系统使安装在中枢塔架顶上的报警灯闪亮，发出报警信号。

第五章 中心支轴式喷灌机的操作与维护

第一节 喷灌机使用前的检查

- 1、检查各组成部件是否有漏装或错装。
- 2、检查主控制箱、所有塔架盒和行走驱动电动机外壳是否与接地体可靠连接，接地电阻是否符合要求。
- 3、检查动力电缆和控制电缆的对地绝缘电阻是否符合要求。
- 4、检查万向节和传动轴保护套是否完整、有效。
- 5、检查各种警示牌是否完整、清晰。
- 6、检查各组成部件连接处的螺栓是否紧固。
- 7、检查电控系统接线是否正确、可靠。
- 8、检查各塔架盒内的调整凸轮和微动开关相对位置是否正确，交流接触器触头的表面是否良好。
- 9、检查两级减速器内的润滑油量是否适中。
- 10、检查柴油机、发电机、水泵等是否符合规定要求。
- 11、检查车轮轮胎的气压是否充足。
- 12、检查灌溉范围内是否有高出地隙高度的障碍物。
- 13、围绕所灌溉地块巡视一圈，检查各塔架车轮辙线上是否有凹坑或障碍物。

第二节 运行操作

一、喷灌机的启动

- 1、接通电源，观察电压表、电流表读数是否正常。
- 2、启动水泵，缓慢打开水泵出口阀门。为防止管道中发生水锤，并有利于排除管内的空气，水泵出口阀门刚开始只需稍稍开启，待输水管中充满水后，再将阀门徐徐打开，直到所有喷头工作正常。
- 3、根据灌水量要求，将百分率时间继电器调节到所需位置。
- 4、按照运行方向（正向或反向），选定方向转换开关。
- 5、按下运行按钮，使喷灌机开始运行。

二、喷灌机运行中的检查

- 1、检查电压表、电流表指示是否正常。

- 2、检查供水泵运行是否正常，入机压力是否在设计规定范围内。
- 3、检查行走驱动组件是否有异常声音，两级减速器是否有漏油、进水现象。
- 4、检查各跨桁架是否有塌落、偏斜现象，车轮行走轨迹是否重合。
- 5、检查喷头工作是否正常。

三、停机后的检查

- 1、检查供水主阀门是否关闭。
- 2、检查所有泄水阀是否能正常泄水。

四、其他注意事项

- 1、当气温低于 4℃、风力大于 3 级时，通常不宜进行灌水作业。
- 2、喷灌机通常应正向和反向交替运行。
- 3、通过喷灌机喷洒化肥、农药后，应及时冲洗管道。
- 4、应及时根据灌水需求调整百分率计时器数值，使喷灌机按适宜速度运行。

第三节 喷灌机的拖移

一、拖移前的准备

- 1、确认天气良好，雨、雾、大风天通常不应转移喷灌机。
- 2、使喷灌机运行到与拖移点对直的位置，泄净管道内的存水。
- 3、卸下中心支座滑铁处的锁链，并撬起滑铁离地 200mm。
- 4、卸下各塔架盒控制杆，供水管道、主控制箱电源线等。
- 5、逐个支起塔架车底梁，将车轮由工作位置转变到拖移位置（旋转 90°）。
- 6、对拖移道路进行平整，确认没有影响拖移的障碍物。

二、拖移时注意事项

- 1、应有一人负责统一指挥，机组前、中、后均应有人负责观察和传递联系信号。
- 2、拖移用的绳索、挂钩等应牢固、可靠。
- 3、牵引机车前进速度应平稳缓慢，不应超过 4km/h。
- 4、临近终点时更应放慢速度，避免拖移过位。

第四节 喷灌机的维护保养与贮存

一、维护保养

- 1、喷灌机的维护保养项目详见表 5-1。
- 2、柴油机、发电机、水泵等喷灌机配套部件的维护保养应按有关规定和相应的使用维护说明书进行。

表 5-1 喷灌机的维护保养项目

维护保养部位和项目		一次灌水后	运行 260h 后	长期停放
中心 支 座	(1) 所有紧固件是否松动	×	×	√
	(2) 链锁是否牢固	√	√	√
	(3) 供水管与支轴弯管连接处是否漏水	√	√	√
	(4) 支轴弯管与转动套润滑是否良好	×	√	√
	(5) 主控制箱元器件是否完好、有效	×	√	√
	(6) 接地体连接是否完好、有效	×	√	√
桁 架	(1) 拉筋调整螺母(M22)是否松动	×	√	×
	(2) 桁架连接处球头螺母(M30)是否松动	×	√	×
	(3) 输水管法兰连接处是否漏水	√	√	√
	(4) 电缆有无损伤或老化	×	×	√
	(5) 喷头工作是否正常, 有无堵塞	√	√	√
	(6) 桁架间胶管连接处是否漏水	√	√	√
	(7) 泄水阀能否正常工作	√	√	√
塔 架 车	(1) 所有紧固件是否松动	×	√	√
	(2) 车轮轮胎气压是否正常	×	√	√
	(3) 车轮轨迹是否重合		√	√
	(4) 减速器润滑是否良好	√	√	√
	(5) 更换减速器润滑油	×	×	√

二、越冬存放与管理

- 1、喷灌机应停放在便于看护, 且长度方向与当地主风向平行的适当位置。
- 2、清除输水支管内的沉积物, 排净管内的存水。
- 3、卸开中心支座处的链锁。
- 4、拆下主控制箱、塔架盒、电缆、电动机等, 入库保存。
- 5、支起塔架车底梁, 使车轮离地 100~150mm。
- 6、卸下喷头、压力调节器、悬吊管、接头、配重等, 入库保存。
- 7、将柴油机、发电机、水泵等配套部件存入库房。

第五节 喷灌机的常见故障及排除

中心支轴式喷灌机的机械故障通常比较直观, 便于排除, 本文不再介绍。表

5-2 为该机组电气控制系统的常见故障及排除方法（表中的元器件和连接导线代号请参见图 4-2 和图 4-3）。

表 5-2 中心支轴式喷灌机电控系统常见故障及排除方法

故障现象	故障原因	排除方法
当将方向开关 1ZK 扭向正向或反向运行、按下启动按钮 1QA 时，运行信号灯 3XD 不亮，喷灌机不运行，听不到触头通断声音，电流表无指示	<p>(1) 熔断器 RD5 接触不良或熔丝熔断；</p> <p>(2) 启动按钮 1QA、停止按钮 1TA 或方向开关 1ZK 的相应触头接触不良；</p> <p>(3) 运行接触器 1JC 触头接触不良或烧毁。</p>	<p>(1) 拧紧接触不良的熔断器或更换已熔断的保险管；</p> <p>(2) 修理或更换接触不良的相应触头；</p> <p>(3) 修理或更换运行接触器 1JC 的接触不良触头，也可将相应导线换接在其闲置触头上。</p>
当方向开关 1ZK 扭向正向或反向运行、按下启动按钮 1QA 时，喷灌机运行，而松开启动按钮后，则停止运行	<p>(1) 某塔架车超前或滞后运行，致使该塔架盒内安全开关的常闭触头断开；</p> <p>(2) 某塔架车行走部分出现故障，致使该塔架车的过载保护热继电器 RJ 动作，辅助常闭触点断开</p>	<p>(1) 观察电流表读数，每个数值代表一个塔架；如指针指示在 6，表明第六塔架出现了故障，该塔架盒内的热继电器 RJ6 或安全开关 AK6 动作；</p> <p>(2) 检查故障塔架，是否因同步调整不当或行走部分出现故障，驱动电动机超负荷运转，使热继电器动作。</p>
当方向开关 1ZK 扭向正向或反向运行、连续、断续开关 3K 扭向断续位置、按动启动按钮 1QA 时，运行指示灯 3XD 亮，同时中枢控制箱内有接触器接通的响声，但末端塔架不运行，时间超过 4 分钟后，运行指示灯 1XD 熄灭	<p>(1) 方向开关 3K 接触不良、损坏，或百分率计时器 BSJ 损坏；</p> <p>(2) 末端塔架车车轮在原地打滑不能行走；</p> <p>(3) 某端子板接触不良；</p> <p>(4) 接触器 14JC 的线圈与 203 线接触不良或线圈烧损。</p>	<p>(1) 启动喷灌机，用万用表 250V 交流挡，一端接零线，另一端接在输出端子板的 203 线，若 203 线无电压，则可断定故障在方向开关 3K 或百分率计时器 BSJ 上；修理或更换相应元件。</p> <p>(2) 排除车轮打滑故障；</p> <p>(3) 更换某塔架盒内接触不良的端子板；</p> <p>(4) 拧紧接触器 14JC 线圈上的松动螺栓或更换烧损的线圈。</p>
喷灌机运行中自动停机	<p>(1) 次末端塔架盒内的过雨量保护时间继电器 1SJ 整定时间太短；</p> <p>(2) 某塔架车行走出现故障，致使驱动电动机超负荷，热继电器 RJ 动作；</p> <p>(3) 某塔架盒内的安全微动开关与凸轮之间的相对位置不适合；</p> <p>(4) 百分率计时器 BSJ 损坏；</p> <p>(5) 末端塔架车车轮在原地打滑不能行走；</p> <p>(6) 某端子板接触不良。</p> <p>(7) 末端塔架盒内接触器 14JC 的线圈烧损或触点接触不良。</p>	<p>(1) 重新调整过雨量保护时间继电器 1SJ 整定时间，一般为 4min；</p> <p>(2) 观察电流表读数，判定出现故障的塔架车，并予以修复；</p> <p>(3) 重新调整安全微动开关与凸轮之间的相对位置；</p> <p>(4) 修理或更换损坏的百分率计时器；</p> <p>(5) 排除车轮打滑故障；</p> <p>(6) 修理或更换接触不良的端子板；</p> <p>(7) 更换烧损的接触器线圈或触头；</p> <p>(8) 查找热继电器动作的原因，并手动复位。</p>

故障现象	故障原因	排除方法
	(8) 末塔架盒内热继电器 10RJ 因驱动电机超负荷而动作。	
连续、断续开关 3K 扭向断续位置时, 末端塔架车不运行	百分率计时器 BSJ 损坏。	修理或更换百分率计时器 BSJ。

附表

附表 1 井用潜水电泵主要性能参数参考值

项目 型号	额定 流量 (m ³ /h)	设计 扬程 (m)	水泵 效率 (%)	出水口 直径 (mm)	最大 外径 (mm)	额定 功率 (kw)	额定 电流 (A)	电机 效率 (%)
150QJ10-50/7	10	50	64	40	143	4	10.3	75.0
150QJ10-100/14	10	100	64	40	143	5.5	13.7	76.0
150QJ10-150/21	10	150	64	40	143	7.5	18.5	77.0
150QJ32-30/4	32	30	66	65	143	5.5	13.7	76.0
150QJ32-37.5/5	32	37.5	66	65	143	7.5	18.5	77.0
150QJ32-45/6	32	45	66	65	143	7.5	18.5	77.0
150QJ32-52.5/7	32	52.5	66	65	143	9.2	22.1	78.0
150QJ32-60/8	32	60	66	65	143	9.2	22.1	78.0
150QJ32-67.5/9	32	67.5	66	65	143	11	26.3	78.5
150QJ32-90/12	32	90	66	65	143	15	35.6	79.0
150QJ32-105/14	32	105	66	65	143	18.5	42.8	80.0
175QJ20-26/2	20	26	66	50	168	3	7.8	74.0
175QJ20-39/3	20	39	66	50	168	4	10.1	76.0
175QJ20-52/4	20	52	66	50	168	5.5	13.6	77.0
175QJ20-65/5	20	65	66	50	168	7.5	18.4	77.5
175QJ20-78/6	20	78	66	50	168	7.5	18.4	77.5
175QJ20-91/7	20	91	66	50	168	9.2	22.1	78.0
175QJ20-104/8	20	104	66	50	168	11	26.1	79.0
175QJ20-117/9	20	117	66	50	168	13	30.1	80.0
175QJ20-130/10	20	130	66	50	168	13	30.1	80.0
175QJ20-143/11	20	143	66	50	168	15	34.7	80.0
175QJ20-156/12	20	156	66	50	168	15	34.7	80.0
175QJ20-169/13	20	169	66	50	168	18.5	42.6	80.5
175QJ40-60/5	40	60	70	80	168	11	26.1	79.0
175QJ40-72/6	40	72	70	80	168	13	30.1	80.0
175QJ40-84/7	40	84	70	80	168	15	34.7	80.0
175QJ40-96/8	40	96	70	80	168	18.5	42.6	80.5
175QJ50-36/3	50	36	72	80	168	9.2	22.1	78.0
175QJ50-48/4	50	48	72	80	168	11	26.1	79.0
175QJ50-60/5	50	60	72	80	168	13	30.1	80.0
175QJ50-72/6	50	72	72	80	168	18.5	42.6	80.5
175QJ50-84/7	50	84	72	80	168	18.5	42.6	80.5
175QJ50-96/8	50	96	72	80	168	22	49.7	81.0
175QJ50-108/9	50	108	72	80	168	25	56.5	81.0

项目 型号	额定 流量 (m ³ /h)	设计 扬程 (m)	水泵 效率 (%)	出水口 直径 (mm)	最大 外径 (mm)	额定 功率 (kw)	额定 电流 (A)	电机 效率 (%)
200QJ20-40/3	20	40	67	50	184	4	10.1	76.0
200QJ20-54/4	20	54	67	50	184	5.5	13.6	77.0
200QJ20-81/6	20	81	67	50	184	9.2	21.7	78.5
200QJ20-93/7	20	93	67	50	184	9.2	21.7	78.5
200QJ20-108/8	20	108	67	50	184	11	25.8	79.0
200QJ32-39/3	32	39	70	65	184	5.5	13.6	77.0
200QJ32-52/4	32	52	70	65	184	7.5	18.0	78.0
200QJ32-65/5	32	65	70	65	184	9.2	21.7	78.5
200QJ32-78/6	32	78	70	65	184	11	25.8	79.0
200QJ32-91/7	32	91	70	65	184	13	29.7	80.0
200QJ32-104/8	32	104	70	65	184	15	33.9	81.0
200QJ32-130/10	32	130	70	65	184	18.5	41.6	81.5
200QJ32-143/11	32	143	70	65	184	22	48.2	82.5
200QJ32-169/13	32	169	70	65	184	25	54.5	83.0
200QJ32-195/15	32	195	70	65	184	30	65.4	83.0
200QJ32-247/19	32	247	70	65	184	37	79.7	84.0
200QJ32-273	32	273	70	65	184	45	96.9	84.0
200QJ50-26/2	50	26	74	80	184	5.5	13.6	77.0
200QJ50-39/3	50	39	74	80	184	9.2	21.7	78.5
200QJ50-52/4	50	52	74	80	184	11	25.8	79.0
200QJ50-65/5	50	65	74	80	184	15	33.9	81.0
200QJ50-78/6	50	78	74	80	184	18.5	41.6	81.5
200QJ50-91/7	50	91	74	80	184	22	48.2	82.5
200QJ50-104/8	50	104	74	80	184	25	54.6	83.0
200QJ50-130/10	50	130	74	80	184	30	65.4	83.0
200QJ50-156/12	50	156	74	80	184	37	79.7	84.0
200QJ80-33/3	80	33	75	100	184	11	25.8	79.0
200QJ80-44/4	80	44	75	100	184	15	33.9	81.0
200QJ80-55/5	80	55	75	100	184	18.5	41.6	81.5
200QJ80-66/6	80	66	75	100	184	22	48.2	82.5
200QJ80-77/7	80	77	75	100	184	30	65.4	83.0
200QJ80-88/8	80	88	75	100	184	30	65.4	83.0
200QJ80-99/9	80	99	75	100	184	37	81.1	84.0
200QJ80-121/11	80	121	75	100	184	45	96.9	84.0
250QJ50-33/2	50	33	73	80	233	7.5	18.0	78.0
250QJ50-40/2	50	40	73	80	233	9.2	21.7	78.0
250QJ50-60/3	50	60	73	80	233	15	33.9	81.0
250QJ50-80/4	50	80	73	80	233	18.5	40.8	82.0
250QJ50-100/5	50	100	73	80	233	25	53.8	84.0

项目 型号	额定 流量 (m ³ /h)	设计 扬程 (m)	水泵 效率 (%)	出水口 直径 (mm)	最大 外径 (mm)	额定 功率 (kw)	额定 电流 (A)	电机 效率 (%)
250QJ50-120/6	50	120	73	80	233	30	64.2	84.5
250QJ50-140/7	50	140	73	80	233	37	77.8	85.0
250QJ50-160/8	50	160	73	80	233	37	77.8	85.0
250QJ80-40/2	80	40	75	100	233	15	33.9	81.0
250QJ80-60/3	80	60	75	100	233	22	47.9	83.0
250QJ80-80/4	80	80	75	100	233	30	64.2	84.5
250QJ80-100/5	80	100	75	100	233	37	77.8	85.0
250QJ80-120/6	80	120	75	100	233	45	94.1	85.5
250QJ80-140/7	80	140	75	100	233	55	114.3	86.0
250QJ80-160/8	80	160	75	100	233	55	114.3	86.0
250QJ100-36/2	100	36	75	125	233	15	33.9	81.0
250QJ100-54/3	100	54	75	125	233	25	53.8	84.0
250QJ100-72/4	100	72	75	125	233	30	64.2	84.5
250QJ100-108/6	100	108	75	125	233	45	94.1	85.5
250QJ100-126/7	100	126	75	125	233	55	114.3	86.0
250QJ100-144/8	100	144	75	125	233	63	130.9	86.0
250QJ100-162/9	100	162	75	125	233	75	152.3	87.0
250QJ125-48/3	125	48	76	125	233	25	53.8	84.0
250QJ125-64/4	125	64	76	125	233	37	77.8	85.0
250QJ125-80/5	125	80	76	125	233	45	94.1	85.5
250QJ125-96/6	125	96	76	125	233	55	114.3	86.0
250QJ125-112/7	125	112	76	125	233	63	130.9	86.0
250QJ125-128/8	125	128	76	125	233	75	152.3	87.0
250QJ125-144/9	125	144	76	125	233	90	182.8	87.0
250QJ125-160/10	125	160	76	125	233	90	182.8	87.0
250QJ140-30/2	140	30	76	125	233	18.5	40.8	82.0
250QJ140-45/3	140	45	76	125	233	30	64.2	84.5
250QJ140-60/4	140	60	76	125	233	37	77.8	85.0
250QJ140-75/5	140	75	76	125	233	45	94.1	85.5
250QJ140-90/6	140	90	76	125	233	55	114.3	86.0
250QJ140-105/7	140	105	76	125	233	63	130.9	86.0
250QJ140-120/8	140	120	76	125	233	75	152.3	87.0
250QJ140-135/9	140	135	76	125	233	90	182.8	87.0
250QJ140-150/10	140	150	76	125	233	90	182.8	87.0
250QJ160-30/2	160	30	76	150	233	22	47.9	83.0
250QJ160-45/3	160	45	76	150	233	30	64.2	84.5
250QJ160-60/4	160	60	76	150	233	37	77.8	85.0
250QJ160-75/5	160	75	76	150	233	55	114.3	86.0
250QJ160-90/6	160	90	76	150	233	63	130.9	86.0

项目 型号	额定 流量 (m ³ /h)	设计 扬程 (m)	水泵 效率 (%)	出水口 直径 (mm)	最大 外径 (mm)	额定 功率 (kw)	额定 电流 (A)	电机 效率 (%)
250QJ160-105/7	160	105	76	150	233	75	152.3	87.0
250QJ160-120/8	160	120	76	150	233	75	152.3	87.0
250QJ160-150/10	160	150	76	150	233	90	182.8	87.0

注：以 250QJ160-150/10 型号为例说明，250—适用最小井径 mm，QJ—井用潜水泵，160—额定流量 m³/h，150—额定扬程 m，10—叶轮级数。

附表 2 中心支轴式喷灌机用喷头编号与性能参数

# 色标	#9 浅蓝色 浅褐色	#10 浅褐色	#11 浅褐色 金色	#12 金色	#13 金色 青柠色	#14 青柠色	#15 青柠色 淡紫色	#16 淡紫色	#17 淡紫色 灰色	#18 灰色	#19 灰色 青绿色
kg/cm ²	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m
0.4	1.28	1.59	1.89	2.30	2.68	3.10	3.59	4.08	4.61	5.14	5.79
0.7	1.66	2.04	2.46	2.99	3.48	4.01	4.65	5.29	5.98	6.62	7.45
1.0	2.00	2.50	2.99	3.63	4.27	4.88	5.71	6.47	7.30	8.09	9.12
1.4	2.34	2.87	3.48	4.20	4.92	5.63	6.58	7.49	8.44	9.38	10.56
1.7	2.61	3.22	3.86	4.69	5.52	6.32	7.38	8.36	9.46	10.48	11.81
2.1	2.87	3.52	4.23	5.14	6.01	6.92	8.09	9.15	10.37	11.46	12.90
2.8	3.29	4.05	4.88	5.94	6.96	7.98	9.34	10.59	11.96	13.24	14.91
3.4	3.67	4.54	5.48	6.66	7.79	8.93	10.44	11.84	13.32	14.79	16.69

# 色标	#20 青绿色	#21 青绿色 黄色	#22 黄色	#23 黄色 红色	#24 红色	#25 红色 白色	#26 白色	#27 白色 蓝色	#28 蓝色	#29 蓝色 褐色	#30 褐色
kg/cm ²	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m
0.4	6.43	6.96	7.72	8.40	9.23	9.99	10.86	11.61	12.68	13.55	14.49
0.7	8.28	9.00	9.99	10.82	11.96	12.90	14.00	15.00	16.35	17.48	18.69
1.0	10.18	11.01	12.22	13.24	14.61	15.78	17.14	18.39	20.02	21.42	22.93
1.4	11.73	12.71	14.11	15.32	16.88	18.24	19.79	21.23	23.12	24.71	26.45
1.7	13.13	14.23	15.78	17.10	18.88	20.36	22.14	23.73	25.85	27.63	29.59
2.1	14.38	15.59	17.25	18.77	20.70	22.33	24.26	26.00	28.31	30.28	32.39
2.8	16.61	18.01	19.94	21.65	23.88	25.77	28.00	30.65	32.70	34.97	37.43
3.4	18.54	20.13	22.29	24.22	26.72	28.80	31.33	33.57	36.56	39.13	41.86

# 色标	#31 褐色 褐色	#32 褐色	#33 褐色 深绿色	#34 深绿色	#35 深绿色 紫色	#36 紫色	#37 紫色 黑色	#38 黑色	#39 黑色 深青绿色	#40 深青绿色	#41 深青绿色 深黄色
kg/cm ²	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m
0.4	15.36	16.50	17.60	18.69	19.68	20.07	22.10	23.39	24.68	25.92	27.48
0.7	19.83	21.50	22.71	24.11	25.43	26.72	28.54	30.16	31.87	33.49	35.47
1.0	24.26	26.07	29.71	29.56	31.15	32.74	34.97	36.98	39.02	41.02	43.45
1.4	28.00	30.12	32.13	34.10	35.95	37.77	40.38	42.69	45.08	47.35	50.19
1.7	31.34	33.68	35.91	38.15	40.19	42.24	45.11	47.72	50.38	52.95	56.09
2.1	34.32	36.90	39.32	41.78	44.05	46.29	49.43	52.27	55.19	58.02	61.43
2.8	36.62	42.62	45.42	48.25	50.87	53.44	57.07	60.37	63.74	66.99	70.97
3.4	44.32	47.65	50.79	53.93	56.85	59.76	63.81	67.48	71.20	74.90	79.33

# 色标	#42 深黄色	#43 深黄色 栗色	#44 栗色	#45 栗色 奶油色	#46 奶油色	#47 奶油色 深蓝色	#48 深蓝色	#27 深蓝色 古铜色	#50 古铜色
kg/cm ²	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m
0.4	28.76	30.13	31.52	33.04	34.51	36.26	37.69	39.02	40.76
0.7	37.13	38.91	40.68	42.66	44.54	46.78	48.67	50.38	52.64
1.0	45.45	47.65	49.84	52.23	54.54	57.30	59.61	61.70	64.45
1.4	52.49	55.03	57.53	60.30	62.98	66.20	68.84	71.23	74.45
1.7	58.70	61.51	64.34	67.41	70.43	74.00	79.94	79.67	83.23
2.1	64.30	67.37	70.47	73.85	77.13	81.07	84.32	87.24	91.18
2.8	74.22	77.82	81.37	85.28	89.09	93.60	97.35	100.76	105.29
3.4	83.00	86.98	90.99	95.34	99.58	104.66	108.85	112.64	117.71

注：表中数据是在理想状态下测得的，与实际条件的流量数据可能有出入。

案例一：中心支轴式喷灌机典型设计（一机一井 300 亩）

一、基本资料

项目所在地在黑龙江省泰来县胜利乡二龙村，土壤为壤土，容重为 1.3g/cm^3 ，田间持水量 21%。地块尺寸为 $500\times 500\text{m}$ ，面积 375 亩，实灌面积 300 亩，主要种植作物为玉米。

二、基本参数选取

1、灌溉保证率

根据《喷灌工程技术规范》（GB/T50085-2007）确定地下水喷灌灌溉设计保证率为 90%，

2、根据《喷灌工程技术规范》（GB/T50085-2007）取灌溉水利用系数为 0.85。

3、设计日最大耗水量 ET_a

根据当地研究资料选取设计日最大耗水量 $ET_a=5\text{mm/d}$ 。

三、设计参数确定

1、设计灌水定额

取计划湿润层深度为 0.4m，经计算最大灌水定额 $m_{\max}=30\text{mm}$ ；设计净灌溉定额 $m=30\text{mm}$ 。

2、设计灌水周期 $T=6$ 天

3、设计日灌水时间 $t=24\text{h}$

四、田间工程布置

1、田间工程布置

喷灌机田间管道与水源井布置见图 1。

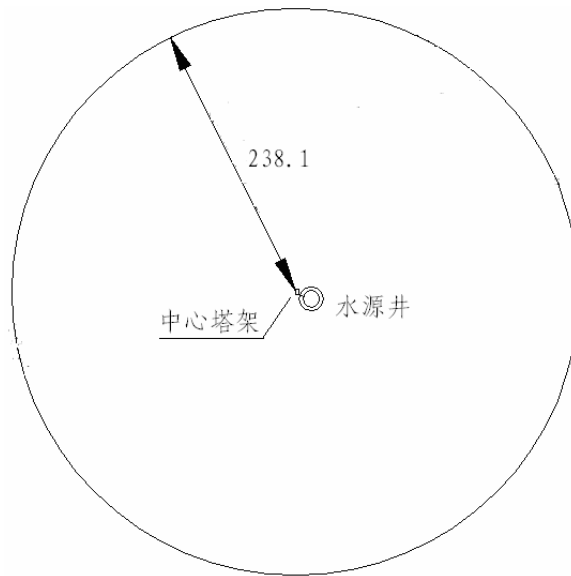


图 1 喷灌机田间管道与水源井布置图 单位：m

2、喷灌机型号确定

根据地块形状尺寸，选用中心支轴式喷灌机性能参数见表 1。

表 1 中心支轴式喷灌机组性能表

喷灌机规格	控制半径 (m)	每跨长 (m)	末端悬臂长 (m)	净控制面积 (亩)	系统总流量 (m ³ /h)	入口工作压力(MPa)
300 亩	238.1	54.5	20.1	300	63	0.25

五、灌溉制度拟定

1、喷灌机工作参数确定

项目区土壤主要为壤土，最大允许喷灌强度 $\rho=12\text{mm/h}$ ，为防止喷灌机末端形成地表径流，设定每次灌溉水量为 8mm ，喷灌机每小时出水量为 $63\text{m}^3/\text{h}$ ，设计定为 25.4 小时转一圈，连续灌水 4 圈，实际灌水定额为 32mm ，每亩灌水定额为 21.34m^3 ，实际灌水周期为 6.4 天（大于设计灌水周期，合理）。

2、验喷灌强度和雾化指标校核

经检验喷灌强度和雾化指标校核符合相关要求。

3、水力计算

机井位置如图 1 所示，机井通过钢管向喷灌机中心塔供水，管道总长度 5m，选用 D110 钢管管道长度 3m，D200 钢管管道长度 2m。

经计算，泵管沿程水头损失： $hf=2.48\text{m}$ ；输水管道沿程水头损失 $hf=0.025\text{m}$ 。

4、灌溉制度表编制

查当地《主要作物灌溉制度与需水量等值线图》，项目区玉米需水量为500mm，考虑同期降雨以及邻近类似地方的试验成果，确定玉米的灌溉定额为150m³/亩。根据作物各生育期的需水要求，并结合当地的灌溉经验拟定灌溉制度，具体见表2。

表2 灌溉制度表

灌溉形式	作物	灌水定额 (m ³ /亩)	灌水次数	灌水期及灌溉定额	
				生育期	灌溉定额 (m ³ /亩)
喷灌	玉米	21.34	1	分蘖	150
			1	拔节	
			3	抽雄	
			1	灌浆	
			1	乳黄	

5、水泵选型

水源井动水位为8m，喷灌机入口最低工作压力 hp=25m。经计算系统总扬程 H=36.7m，水泵选型为200QJ63-48/4-15，主要性能见表3。

表3 主要性能参数表

序号	水泵型号	流量 (m ³ /h)	扬程 (m)	电机功率 (kw)	转速(r/min)
1	200QJ63-48/4-15	63	48	15	2860

六、水源工程设计

1、机井设计

新建机井为预制钢筋砼管井，设计井深60m，井钻孔孔径600mm，内径300mm。井管为钢管，长度60m，其中滤水管30m，井壁实管30m。井口设置高出地表30cm的井台。根据项目区水文地质资料，井深60m，单井涌水量为63m³/h。

新建机井位置在地块中央，尽量靠近中心支轴式喷灌机中心塔位置。配套电力1处，高压线路1.5km，低压线路380m，与相邻地块共用1台变压器。

七、工程概算

总投资597234元，亩均投资1990.78元，其中：水源工程投资292645.4元，

亩均投资 975.5 元；喷灌工程投资 304588.6 元，亩均投资 1015.28 元。

表 5 水源工程直接费概算表

项目名称	水源工程	合计 (元)	292645.4		
一、机井工程					
序号	名称及规格	单位	数量	单价	合计
	直接工程费				38501.8
1	进尺费(松散层)	m	60	134.3	8058.0
2	井管(钢管)	m	30	245	7350.0
3	滤水管(钢管)	m	30	350	10500.0
4	物探测井(电测深)	m	60	9	540.0
5	抽水试验	台班	1	404.6	404.6
6	水质分析	套	2	1500	3000.0
7	洗井	台班	2	404.6	809.2
8	泥浆坑、排水沟开挖	台班	3	420	1260.0
9	粘土料	m ³	14	345	4830.0
10	回填砾料	m ³	10	175	1750.0
二、配电工程					
	直接工程费				251143.6
1	高压输电线路	km	1.5	143250.8	214876.2
2	地理电缆铺设	km	0.38		36267.4
	地理电缆	100m	3.8	8835.9	33576.4
	人工开挖电缆沟	100m ³	1.1	724.8	797.3
	人工回填电缆沟	100m ³	1.0	1108.8	1108.8
	回填砂砾石	100m ³	0.1	7938.7	793.9
三、井台工程					
	直接工程费				3000
1	圆形井台	口	1	2500	2000
2	井盖	只	1	500	1000

表 6 中心支轴式喷灌机直接费概算表

项目	中心支轴式喷灌机系统	合计(元)	304588.6		
一、喷灌机					
序号	名称及规格	单位	数量	单价	合计
	直接费				280000.0
1	中心支轴式喷灌机系统	台	1	280000.0	280000.0

二、中心基座混凝土工程					11548.6
序号	名称及规格	单位	数量	单价	合计
直接费					11548.6
1	基座土方	100m ³	0.40	1478	591
2	混凝土基础	100m ³	0.16	61831	9893
3	平面模板	100m ²	0.06	5844	351
4	钢筋制安	T	0.02	3690	74
5	地脚螺栓	套	8	80	640
三、输水管路工程					
序号	名称及规格	单位	数量	单价	合计
直接费					1040.0
1	钢管（110mm）	m	3	80	240.0
2	钢管（200mm）	m	2	100	200.0
3	钢法兰（110mm）	付	1	150	150.0
4	钢法兰（200mm）	付	1	200	200.0
5	蝶阀（200mm）	个	1	250	250.0
四、潜水电泵					12000.0
序号	名称及规格	单位	数量	单价	合计
直接费					12000.0
1	（200QJ63-48/4-15）	台套	1	12000.0	12000.0

喷灌机主要技术参数表

中心塔	首 跨		中间跨		尾 跨		悬 臂		尾 枪	
带集电盒	数量	1	数量	2	数量	1	数量	1	数量	1
固定式	长度	54.5	长度	54.5	长度	54.5	长度	20.1	有效射程	20
系统长度		4×54.5+1×20.1						238.1	m	
设备有效灌溉长度								258.1	m	
设计灌溉面积								300	Mu	
实际灌溉面积								313.6	Mu	
跨架型号								201		
跨架长度								54.5	m	
跨架数量								4		
带接头体跨架长度								54.5	m	
主管直径								168	mm	
系统高度								4.2	m	
行走电机功率								0.55	kW	
单跨带水质量								3125	kg	
轮胎型号								14.9-24 真空轮胎		
轮胎对土地的压强								14.2	N/cm ²	
喷头型号					Nelson Spray D3000					
悬臂长度								20.1	m	
延伸喷灌范围								20	m	
喷灌圆半径								253.1	m	
每天运行时间								24	h	
总流量								63	m ³ /h	
灌溉强度								8.0	mm/day	
最大运行速度								169.3	m/h	
最快运行周期								8.5	h	
末端喷头压力								2.0	bar	
输入压力								2.5	bar	
从中心到末端的高度差								0	m	
工作电压								380	V	
工作频率								50	Hz	
需求电容量								4.4	kVA	
工作功率								3.7	kW	
注：电容量不包含水泵所需容量。										

注：电容量不包含水泵所需容量。

案例二：中心支轴式灌机典型设计（500 亩）

一、基本资料

项目所在地为通辽市库伦旗，降雨量为 420mm 左右，土壤主要为栗钙土，土壤干容重 1.42g/cm^3 ，田间持水率为 23%，地块尺寸为 $650\times 650\text{m}$ ，项目区主要种植作物为玉米。

二、基本参数选取

1、灌溉保证率

根据《喷灌工程技术规范》（GB/T50085-2007）确定地下水喷灌灌溉设计保证率为 90%，

2、根据《喷灌工程技术规范》（GB/T50085-2007）取灌溉水利用系数为 0.85。

3、设计日最大耗水量 E_{Ta}

根据当地研究资料选取设计日最大耗水量 $E_{Ta}=5\text{mm/d}$ 。

三、设计参数确定

1、设计灌水定额

取计划湿润层深度为 0.4m，经计算最大灌水定额 $m_{\max}=31.35\text{mm}$ ；设计净灌溉定额 $m=31.35\text{mm}$ （ $20.9\text{m}^3/\text{亩}$ ）。

2、设计灌水周期 $T=6.4$ 天

3、设计日灌水时间 $t=24\text{h}$

四、田间工程布置

1、田间工程布置

喷灌机田间管道与水源井布置见图 1。

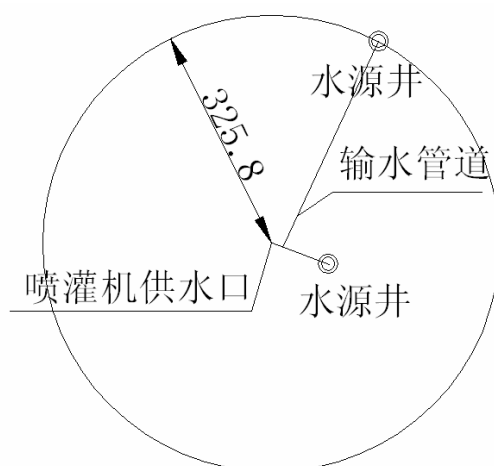


图 1 喷灌机田间管道与水源井布置图 单位：m

2、喷灌机型号确定

根据地块形状尺寸，选用中心支轴式喷灌机性能参数见表 1.

表 1 中心支轴式喷灌机组性能表

喷灌机规格	控制半径 (m)	每跨长 (m)	末端悬臂长 (m)	净控制面积 (亩)	系统总流量 (m ³ /h)	入口工作压力(MPa)
500 亩	328	47.56	18.63	500	120	0.25

五、灌溉制度拟定

1、喷灌机工作参数确定

项目区土壤主要为栗钙土，最大允许喷灌强度 $\rho=15\text{mm/h}$ ，为防止喷灌机末端形成地表径流，设定每次灌溉水量为 8mm，喷灌机每小时出水量为 120m³/h，设计定为 23 小时转一圈，连续灌水 4 圈，实际灌水定额为 32mm，每亩灌水定额为 21.34 m³，实际灌水周期为 6.4 天。

2、验喷灌强度和雾化指标校核

经检验喷灌强度和雾化指标校核符合相关要求。

3、水力计算

两眼井位置如图 1 所示，两眼井相距 250m，通过输水管道将 2 处水流汇入到 1 根主管道，再连接到喷灌机。主管道流量为 120m³/h。输水管道选用 PVC 管，全部为浅埋，管道管沟挖深 1.2m，底宽 0.5m，顶宽 1.5m。在主管道最低处设排水井一眼。

经计算，选用 $\phi 200\text{PVC}$ (0.6Mpa) 硬管作为主输水管道， $\phi 125\text{PVC}$ 硬管作为水源井输水管道。

管道水力计算结果见表 2，泵管水头损失为 3.18m。

表 2 设计水头损失表

项目	远处输水管	近处输水管
f	94800	94800
$Q(\text{m}^3/\text{h})$	63	76.8
$d(\text{mm})$	116	116
m	1.77	1.77

b	4.77	4.77
L (m)	350	100
沿程水头损失(m)	7.22	2.93
局部水头损失(m)	0.72	0.29
总水头损失(m)	7.94	3.22

4、灌溉制度表编制

查《内蒙古自治区主要作物灌溉制度与需水量等值线图》，项目区玉米需水量为 500mm，考虑同期降雨以及邻近类似地方的试验成果，确定玉米的灌溉定额为 150m³/亩。根据作物各生育期的需水要求，并结合当地的灌溉经验拟定灌溉制度，具体见表 3。

表 3 灌溉制度表

灌溉形式	作物	灌水定额 (m ³ /亩)	灌水次数	灌水期及灌溉定额	
				生育期	灌溉定额 (m ³ /亩)
喷灌	玉米	21.34	1	分蘖	150
			1	拔节	
			3	抽雄	
			1	灌浆	
			1	乳黄	

5、水泵选型

水源井动水位为 30m，地面高差为 5m，喷灌机入口最低工作压力 $h_p=25m$ 。经计算两井总扬程分别为 71.12 和 66.4m。

根据系统总扬程和总流量确定水泵的型号，选用 2 台 200/63-72/6 潜水泵，选取水泵性能及参数见表 4。

表 4 潜水泵性能及参数

水泵型号	流量 (m ³ /h)	扬程 (m)	水泵效率 (%)	配套功率 (KW)
200/63-72/6	63	72	71	22

六、水源工程设计

1、机井设计

新建机井为预制钢筋砼管井，设计井深 60m，内径为 300mm，壁厚 50mm。

砼管井下管深度为 60m，其中沉淀管 5m，滤水管 40m，井壁实管 15m。井管下管深度在隔水层上，为完整井。

砼管井钻孔孔径为 600mm，为防止洪水及杂物进入井内，井口设置高出地表 30cm 的井台。

2、井房设计

为保护水源井及机泵正常运行，每眼机井上建一机井管理泵房，大型指针是喷灌井房面积为 2.4×2.4 共 5.76m²，高 2.5m，砖混结构，房顶采用 C20 钢筋砼预制盖板。

七、工程概算

工程总投资 55.22 万元，亩投资 1104.49 元。

表 5 建筑工程概算表

编号	工程及费用名称	单位	数量	单价	合计（元）
	第一部分 建筑工程				64942.80
一	中心支轴式喷灌工程				14942.80
(一)	管道工程				2926.80
	土方开挖	m ³	540.00	2.99	1614.60
	土方回填	m ³	540.00	2.43	1312.20
(二)	管道附属建筑物				12016.00
	井房	m ²	11.52	800	9216.00
	排水井	眼	1.00	800	800.00
	喷灌机底座	个	1.00	2000	2000.00
二	水源工程				20000.00
	机电井 63t/h	眼	2	10000	20000.00
三	供电线路				30000.00
	380V	Km	0.60	50000	30000.00

表 6 机电设备及安装工程概算表

序号	材料及费用名称	单位	数量	单价（元）		合价（元）	
				设备费	安装费	设备费	安装费
	第二部分：机电设备及安装工程					372388	37238.8
一	中心支轴式喷灌工程					334988	33498.8
	500 亩中心支轴式喷灌机	台	1	300000	30000	300000	30000
	200/63-72/6 潜水泵	套	2	16094	1609.4	32188	3218.8
	电表	套	2	1000	100	2000	200
	分线盒	套	2	400	40	800	80
二	配套变压器					37400	3740
	63KVA 变压器	台	1	30000	3000	30000	3000

	防雷设备	台	1	400	40	400	40
	变压器架子	台	1	7000	700	7000	700

表 7 金属结构及安装工程概算表

序号	材料及费用名称	单位	数量	单价 (元)		合价 (元)	
				设备费	安装费	设备费	安装费
	第三部分 金属设备及安装工程					15542.85	1554.28
一	500 亩喷灌机					15542.85	1554.28
1	管泵连接体	套	2	480	48	960.00	96.00
2	止逆阀	套	2	480	48	960.00	96.00
3	压力表	块	2	120	12	240.00	24.00
4	水表	块	2	80	8	160.00	16.00
5	PVCdn200(0.63MPa)	m	10	63.17	6.32	631.70	63.17
6	PVCdn125(0.63MPa)	m	500	25.18	2.52	12591.15	1259.12

表 8 临时工程概算表

编号	工程或费用名称	单位	数量	单价 (元)	合计 (元)	备注
	第四部分：临时工程				3112.08	
			3%	103736	3112.08	建安工作量的 3%

表 9 独立费用概算表

编号	工程或费用名称	单位	数量	单价 (元)	合价 (元)	
	第五部分：独立费用				31171.06	
一	建设管理费		1.3%	494779	6432.12	第一至第四部分的 1.3%
二	工程建设监理费		1%	494779	4947.79	第一至第四部分的 1%
三	科研勘察设计费				19791.15	
2	勘测费		1%	494779	4947.79	第一至第四部分的 1%
3	设计费		3%	494779	14843.36	第一至第四部分的 3%

表 10 总投资概算表 单位：万元

编	工程及费用名称	建安	设备	独立	合计	占一至五部分
---	---------	----	----	----	----	--------

号		工程费	购置费	费用		(%)
1	第一部分：建筑工程	6.49			6.49	12.35%
2	第二部分：机电设备及安装工程	3.72	37.24		40.96	77.88%
3	第三部分：金属结构及安装工程	0.16	1.55		1.71	3.25%
4	第四部分：临时工程	0.31			0.31	0.59%
5	第五部分：独立费用			3.12	3.12	5.93%
6	一至五部分合计				52.59	100%
7	基本预备费				2.63	
8	工程总投资				55.22	

第二部分 绞盘式喷灌机运行管理

第一章 绞盘式喷灌机应用概述

绞盘式喷灌机 (Reel type sprinkler irrigation system)，也称卷盘式喷灌机，是将喷枪或悬臂喷洒支架装在轮式小车上，由水力驱动装置驱动绞盘转动，缠绕软管使喷头车边运行边喷洒的喷灌机。

第一节 喷灌机优缺点及使用条件

绞盘式喷灌机与其他喷灌设备和喷灌系统相比，主要有以下优缺点。

一、优点

1、机动灵活，适应能力强。绞盘式喷灌机作为一体式喷灌设备，机动性好，能够适用于不同形状、具有一定坡度的地块灌溉。

2、操作简单、机械化程度高。绞盘式喷灌机是自动化程度较高的喷灌设备，可节约大量劳动力。一般一台喷灌机只需1人、0.5-1小时内完成不同工作位置转移和灌溉准备工作；一个人可同时操作和管理多台喷灌机作业。

3、结构紧凑、便于保管。绞盘式喷灌机结构紧凑，牵引方便，占地面积小，喷洒结束后，可直接拖回仓库保管，避免人为损害和偷盗。

4、悬臂式喷灌机喷洒均匀度高。悬臂配备折射式喷头，喷头间距小，定长布置，喷洒均匀度高。

二、缺点

1、能耗大、运行成本高。单喷头车绞盘式喷灌机要求入机压力大，一般入机压力在0.5—0.8MPa以上，除了满足喷枪工作压力要求，同时还要补偿卷管所造成的水头损失和水力驱动所需能耗。

2、单喷头车绞盘式喷灌机喷洒，因喷头射程大，易受到风速影响，水滴飘移严重，从而降低喷洒均匀度和水的利用效率。

3、喷头车作业道，占用耕地，降低了土地利用率。一般单喷头车每隔50-70m预留作业道，宽度1-3m。悬臂式喷灌机用作业道间距更小，一般30或50m。

三、适用条件

绞盘式喷灌机几乎适用于灌溉各种质地的土壤，以及各种大田作物、蔬菜、

经济作物和牧草等。喷灌机只能在预定范围内行走，行走区域内不能有高大的障碍物，土地要求平整，地面坡度不应大于 11° 。单喷头车和悬臂式喷灌机适用范围不同：单喷头车绞盘式喷灌机喷洒水滴大，打击力强，不适合于灌溉作物幼苗和蔬菜等。悬臂式喷灌机雾化程度高，适合于灌溉蔬菜和作物幼苗；因悬臂地隙高度小，适合于灌溉矮秆作物和高秆作物幼苗；还因喷灌强度大，不适合于灌溉重壤土上作物，易形成地表径流。

第二节 喷灌机发展历程

20 世纪，欧洲人发明了绞盘式喷灌机，并在全世界、尤其是欧洲得到了广泛的应用。绞盘式喷灌机分为钢索牵引和软管牵引两类，当前应用的喷灌机主要为软管牵引绞盘式喷灌机。软管牵引绞盘式喷灌机驱动主要分为胶囊驱动和水涡轮驱动，胶囊驱动绞盘式喷灌机以法国灌溉公式生产的绞盘式喷灌机为代表，水涡轮驱动以奥地利保尔公司产的绞盘式喷灌机为代表，后者应用更为普遍。法国、意大利和奥地利等国生产厂商先后在我国设有代表处(办事处)，有的甚至还在我国建立了生产基地，如奥地利保尔公司在济南设有生产基地。

我国绞盘式喷灌机研究开始于上世纪 70 年代，由于受到我国农业体制和经济体制的影响，引进推广工作一波三折，真正大批量引进在上个世纪 90 年代后期，“九五”期间，我国利用奥地利和法国政府贷款引进 2000 台左右各种型号的绞盘式喷灌机，应用于我国节水灌溉示范工程。但因受到我国农业生产管理体制和设备自身的局限性，大部分设备处于闲置状态。2000 年以后，在内蒙古鄂尔多斯等地引进大量绞盘式喷灌机用于集中连片的农业灌溉使用，在黑龙江也引入较多绞盘式喷灌机用于补充灌溉和农业抗旱使用，据不完全统计，截止 2011 年年底，绞盘式喷灌机全国保有量超过 4000 台，主要分布在内蒙古、黑龙江、河南、山东、广西等地。在国内规模以上生产大型喷灌机的厂商不多，主要有山东华泰保尔灌溉设备工程有限公司、江苏新格喷灌设备工程公司等。山东华泰保尔灌溉设备工程有限公司生产的绞盘式喷灌机还远销世界各地。

第二章 绞盘式喷灌机组成与工作原理

第一节 喷灌机组成

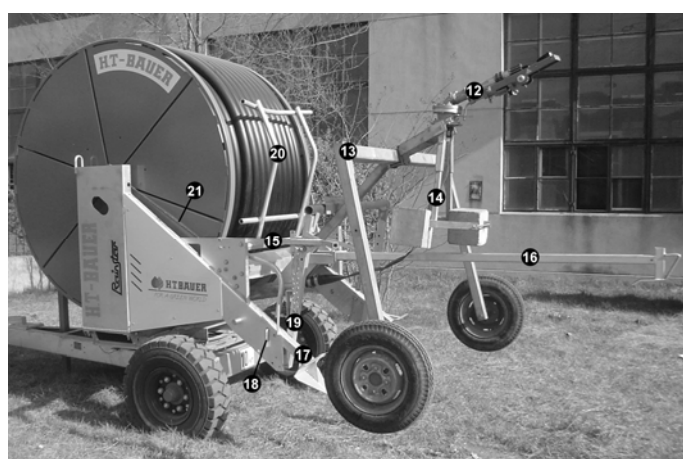
绞盘式喷灌机由底盘、PE管、绞盘、喷水行车、水涡轮驱动装置以及传动机构、排管机构等部件组成。喷水行车分为单喷头车和悬臂式喷头车两种。

单喷头车绞盘式喷灌机的组成如图 2.1 所示，具体组成图中注释。



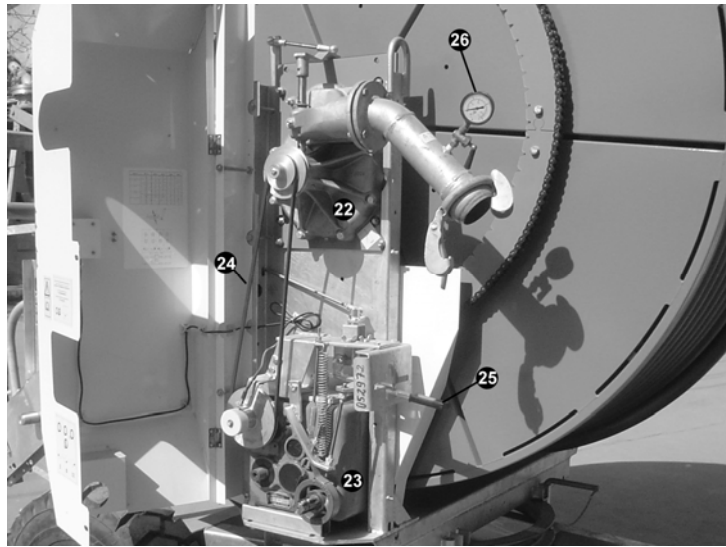
1 绞盘、2 链板、3 PE 管、4 绞盘驱动链条、5 千斤顶、6 底盘、
7 回转支撑定位销、8 回转支撑、9 手轮、10 轮胎半轴、11 进水管

图 2-1 典型配置绞盘式喷灌机组成（一）



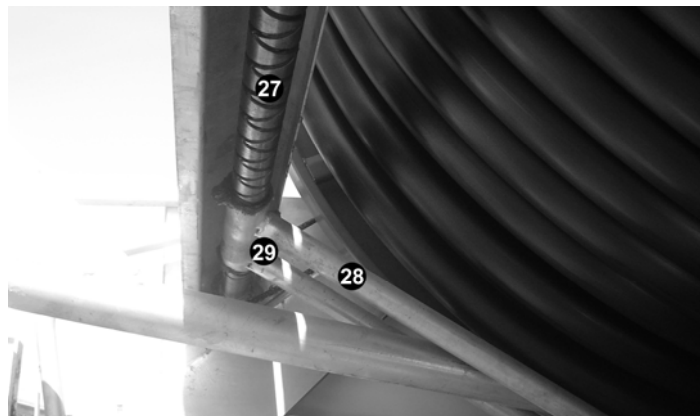
12 喷枪、13 喷水行车、14 平衡支架、15 锁定杆、16 牵引杆、
17 锚桩、18 锚桩定位销、19 关闭杆、20 感应杆、21 排管链条

图 2-1 典型配置绞盘式喷灌机组成（二）



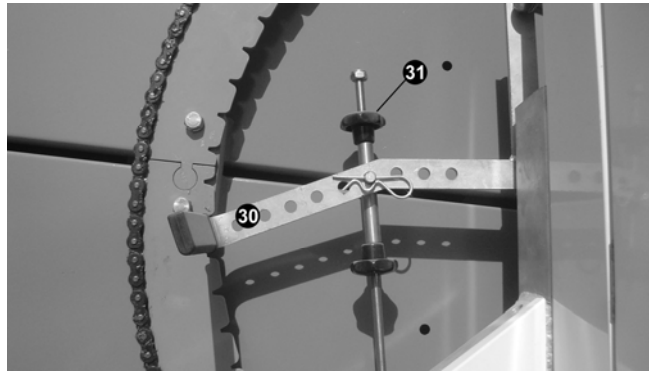
22 水涡轮、23 变速箱、24 三角V带、25 变速杆、26 压力表

图 2-1 典型配置绞盘式喷灌机组组成（三）



27 往复丝杠、28 排管器、29 丝杠滑块

图 2-1 典型配置绞盘式喷灌机组组成（四）



30 速度控制手柄、31 五星螺母

图 2-1 典型配置绞盘式喷灌机组成（五）



图 2-1 悬臂式喷灌机悬臂架（六）

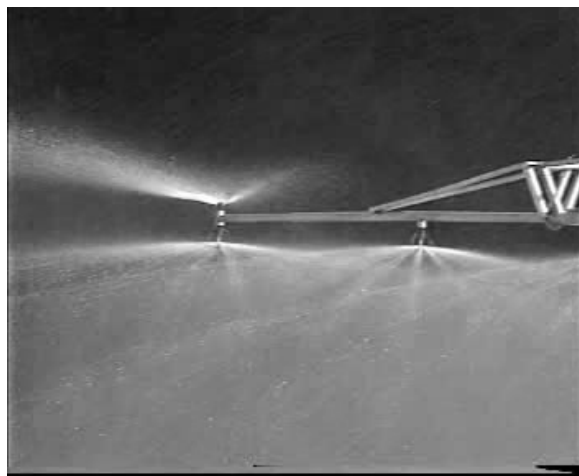


图 2-1 悬臂式喷灌机用折射式喷头（七）

第二节 喷灌机工作原理

1、底盘

底盘连接两个车轮承载绞盘式喷灌机整机重量，在牵引动力作用下，带动整机移动；底盘上部与喷灌机回转支撑连接，实现绞盘 360 度旋转。

2、卷管

卷管起到输水和牵引喷头车回收作用。由特殊 PE 材料制成，具有柔韧性好、耐磨、抗拉、抗冲击强度高和使用寿命长特点，在充水和空管状态下，始终保持圆形或椭圆形状状态。

3、绞盘

绞盘起到存放卷管和缠绕卷管作用。水涡轮动力通过变速箱和链条传动到绞盘，通过绞盘卷绕回收卷管。

4、喷水行车

作为喷枪和安装多个折射式喷头的悬臂承载部件，喷头车连接软管和喷洒部件，在喷洒过程中，喷水行车带着灌水部件，均匀回卷，实现灌溉均匀性。

5、水涡轮驱动装置

水涡轮作为绞盘式喷灌机的核心部件，是一种混流式高效水涡轮。水涡轮通过变速箱、驱动链轮和链条把动力传递到绞盘。

6、传动机构

传动装置由连接水涡轮和绞盘的变速箱、齿轮和链条等组成，能够将水涡轮产生的动力准确、稳定地传送到绞盘，实现喷头小车匀速回卷。

7、排管机构

排管机构是保证 PE 管排布紧密、均匀排布的关键部件，确保 PE 管在拉出和回收时能够有序排列，同时排管机构中的速度补偿机构能保证在整个灌溉过程中，喷水行车回收速度均匀。

喷水行车回收至主机前时，自动停车装置会将动力自动切断，从而在无人值守的情况下安全结束回卷过程。

第三章 绞盘式喷灌机喷灌工程设计

在绞盘式喷灌机组喷灌系统的规划设计中，规划设计重点包括：水源工程的规划设计，规划设计参数的确定，灌溉制度的拟定，机组布置方式，台数确定，水泵选型等。

第一节 规划设计参数

喷灌系统的规划与设计参数主要包括基本参数、质量控制参数、设计参数等。

一、基本参数

（一）灌溉设计保证率

灌溉设计保证率指的是在多年运行中，灌区用水量能得到充分满足的机率。喷灌灌溉保证率包含了水源来水量的保证程度和灌溉设备的保证程度两个方面。

《喷灌工程技术规范》（GB/T50085）规定，以地下水为水源的喷灌工程其灌溉设计保证率不应低于 90%，其它情况下喷灌工程灌溉设计保证率不应低于 85%。

对于一个具体的喷灌工程，确定灌溉保证率不但要考虑水源等自然条件，还要考虑作物价值等经济条件。灌溉保证率确定后，通过对有关资料组成的较长系列进行频率计算，选出符合设计保证率的某一年，作为设计代表年，并以此作为拟定喷灌工作制度和规划水源工程的依据。

（二）设计日最大耗水量 ET_a

作物日最大耗水量 ET_a 可按彭曼-蒙蒂斯（Penman-Monteith）公式和作物系数来计算，资料缺乏地区可参考相关标准或其他资料直接选取。

（三）设计喷洒水利用系数

喷洒水利用系数是指降落到地面和作物上的水量与喷头喷出水量的比值，用 η_p 表示。影响 η_p 值大小的因素主要有风速、气温、空气湿度以及喷洒水的雾化程度等。有条件时宜通过实测确定，无实测资料时，可根据气候条件在下列数值范围内选取：

（1）风速低于 3.4m/s， $\eta_p=0.8\sim 0.9$ ；

（2）风速为 3.4~5.4m/s， $\eta_p=0.75\sim 0.8$ 。

当风力超过 3 级，即风速大于 5.4m/s 时，喷洒水的漂移损失将要大大增加，一般不进行喷洒（下喷折射式、散射式喷头适应风速可大些）。

(四) 设计灌溉水利用系数

$$\eta = \eta_p \times \eta_G \quad (3-1)$$

式中： η --灌溉水利用系数；

η_p --喷洒水利用系数；

η_G --管道系统水利用系数，可在 0.95~0.98 之间选取。

二、质量控制参数

质量控制参数是衡量喷灌工程质量好坏的主要指标，主要包括喷灌强度、喷灌均匀度和雾化指标。

(一) 喷灌强度

喷灌强度是指单位时间内喷洒到地面的水层深度，工程设计时，应根据土壤类型和地形坡度选用不同喷灌强度的喷嘴，喷灌机灌溉时允许地面有少量积水，其喷灌强度可略大于下表中土壤允许喷灌强度。

表 3-1 各类土壤的允许喷灌强度(mm/h)

土壤类别	允许喷灌强度
沙土	20
沙壤土	15
壤土	12
壤粘土	10
粘土	8

注：有良好覆盖时，表中数值可提高 20%。

表 3-2 坡地允许喷灌强度降低值(%)

地面坡度(%)	允许喷灌强度降低值
5~8	20
9~12	40
13~20	60
>20	75

(二) 喷灌均匀度

喷灌均匀度是指在喷灌面积上水量分布的均匀程度,通常用喷灌均匀系数来表征。

喷灌机喷灌均匀系数主要受喷灌机运行速度稳定性、喷头结构、喷头工作压力和布置形式、地面坡度、风速和风向等因素影响。

喷灌均匀系数可按下式计算:

$$C_u = 1 - \frac{\Delta h}{h} \quad (3-2)$$

式中: C_u --喷灌均匀系数;

Δh --喷洒水深的平均离差, mm;

h --喷洒水深的平均值, mm。

按照《喷灌工程技术规范》,喷灌机设计喷灌均匀系数不应低于 0.85。

(三) 雾化指标

雾化指标用喷头设计工作压力和主喷嘴直径的比值计算,公式如下:

$$W_h = \frac{h_p}{d} \quad (3-3)$$

式中: W_h ——雾化指标;

h_p ——喷头设计工作压力水头, m;

d ——喷头主喷嘴直径, m。

设计时,根据灌溉作物的不同,选择适宜的喷头配置。不同作物种类的适宜雾化指标见表 3-3。

表 3-3 不同作物的适宜雾化指标

作物种类	W_h
蔬菜及花卉	4000~5000
粮食作物、经济作物及果树	3000~4000
饲草料作物	2000~3000

三、设计参数

(一) 设计灌水定额

设计灌水定额和设计灌水周期是确定喷灌系统设计流量的依据,也是确定系

统其它设计参数的基础数据。

灌水定额指一次灌水单位面积的灌水量。最大灌水定额可按式确定：

$$m_s = 0.1h(\beta_1 - \beta_2) \quad (3-4)$$

$$m_s = 0.1\gamma h(\beta_1' - \beta_2') \quad (3-5)$$

式中： m_s ——最大灌水定额，mm；

h ——计划湿润层深度，cm；

β_1 ——适宜土壤含水量上限（体积百分比）；

β_2 ——适宜土壤含水量下限（体积百分比）；

γ ——土壤容重， g/cm^3 ；

β_1' ——适宜土壤含水量上限（重量百分比）；

β_2' ——适宜土壤含水量下限（重量百分比）。

设计灌水定额 m 应在不大于最大灌水定额的前提下，根据作物的实际需水要求和试验资料进行选择。

（二）设计灌水周期

灌水周期指一次灌水所需的天数。设计灌水周期应根据当地试验资料确定，缺少试验资料时灌水周期可按式计算：

$$T = \frac{m}{ET_a} \quad (3-6)$$

式中： T ——设计灌水周期，计算值取整，d；

ET_a ——设计日最大耗水量，mm/d；

m ——设计灌水定额，mm。

（三）设计日灌水时间

设计日灌水时间是指系统一天内总的喷洒时间，中心支轴式喷灌机一般按24h计。

第二节 田间工程设计

一、机组选型及技术参数选择

机型的选择，应综合分析设计灌溉面积大小、地形及地块形状；作物种类、根系深度、高峰需水量；土壤类型及持水能力；风速等。对已建供水系统，还应

考虑系统泵的扬程或给水栓处所能提供的水压力。

喷灌机型号选择后，应对喷嘴型号、连接压力参数等进行选择、确定喷灌机在选定以上参数情况下工作流量。

二、喷灌强度校核

喷灌机型号确定后，需对其喷灌强度进行校核，喷灌强度不应超过灌溉地块土壤允许喷灌强度。一般喷枪以 240° - 300° 的扇形角喷洒，从横向喷洒均匀度考虑，扇形角以 270° 为好。此时应注意喷灌强度比全园喷洒有所增大。桁架式喷灌机喷灌强度计算简单。本文详细介绍带单喷头的绞盘式喷灌机喷洒过程。

绞盘式喷灌机运行过程中，喷头车一方面在绞盘卷绕力驱动下匀速向后移动，另一方面喷头以 240° - 300° 的扇形角边旋转喷洒边后退。这样，喷头喷洒的湿润外周的轨迹就是两种运动合成所形成的有缺口椭圆形，并且呈螺旋形后退的重叠区域。如图 8-9 所示，喷头车由 O 点开始移动喷洒，喷头由 A 移至 A1，此时喷洒范围为 ACDEFGA1A(ABC 形成的湿润区域忽略不计)，喷头由 A1 移至 H1 时，喷洒范围为 A1GE1F1G1H1A1(A1B1C1 形成的湿润区域忽略不计)。图 3-1 只是示意喷洒过程，图 3-2 更接近于实际喷洒过程。喷头车从 O 点开始运行到 N 点，湿润区域为 MNPQRSTUUVWNM。

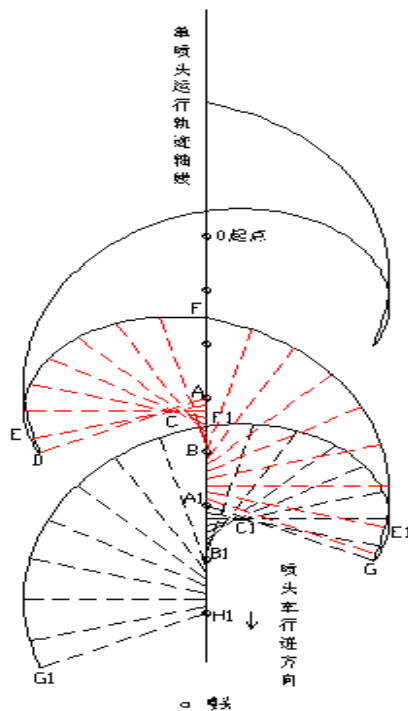


图 3-1 绞盘式喷灌机单喷头运行喷洒轨迹图

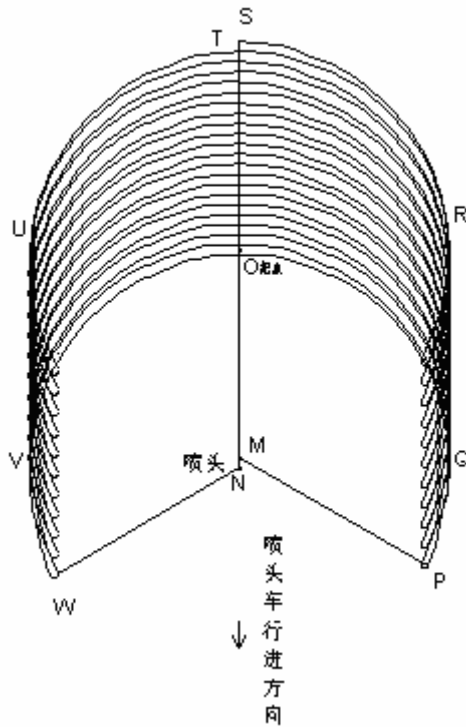


图 3-2 绞盘式喷灌机单喷头运行喷洒湿润带示意图

绞盘式喷灌机的平均喷灌强度可由下式计算：

$$\rho_p = \frac{1000q}{\pi R^2} \cdot \frac{360}{\beta} K \quad (3-7)$$

式中：

ρ_p —平均喷灌强度，mm/h；

q —为喷头喷水量， m^3/h ；

R —为喷头射程，m；

β —为扇形喷洒角， $240^\circ - 300^\circ$ ；

K —为重叠系数， $K = 1.1-1.5$ ，按运行速度的快慢选取。

三、估算系统总流量和喷灌机数量

1、系统总流量估算

$$Q = \frac{0.667ET_a A}{t\eta} \quad (3-8)$$

式中：

Q—系统总流量， m^3/h ;

A—系统控制的总灌溉面积，亩;

ETa—高峰期日需水量， mm/d ;

t—机组一日内净工作小时数，h;

η —喷洒水利用系数。

2、喷灌机数量估算

当系统总流量小于喷灌机流量时，只需一台喷灌机；当系统总流量大于喷灌机流量时，喷灌机台数按下式确定。

$$N = \frac{Q}{q} \quad (3-9)$$

式中：

N—所需喷灌机台数，递进取整；

q—单台喷灌机额定流量， m^3/h 。

四、田间布置

卷管牵引绞盘式喷灌机系统的田间布置如下：

(1)主管道确定。考虑作物种植方向，水源位置、地形坡度等因素，确定供水主管道布置走向。根据从主管道取水喷灌机台数和单台喷灌机流量等因素确定管径大小。

(2)根据主管道布置确定田块划分以及给水栓位置。垂直于主管道方向将田块分成长条形地块，给水栓沿主管道布置，给水栓间距为相邻长条形地块轴线之间距离。喷灌机沿主管道双侧灌溉时，长条地块最大设计长度可略大于2倍管长L；单侧灌溉时，长条地块最大长度可略大于管长L；当地块两头设置给水栓时，长条地块最大长度可略大于2倍管长L。对于不规则地块，亦可分成长度不等的条形地块来灌溉。

长条地块最大设计长度应考虑以下因素：

(1)喷头车牵出时，绞盘上至少留半圈以上牵引软管，不能全长拉出。

(2)喷头车牵出后，不必牵到地头，一般距离地头0.5倍的喷头射程即可。

例如双侧灌溉时，设计选用机型为75-300型：喷头射程为50m，牵引PE软管长度300m。因此长条形地块最大设计长度可以设计为320m，双侧最大设计长

度可设计为 640m。

喷灌机田间布置示意图见图 3-3。

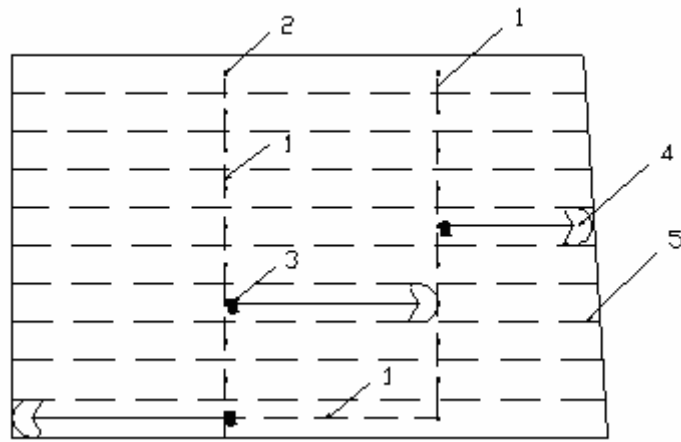


图 3-3 卷管牵引绞盘式喷灌机田间布置图

1—主管道；2—给水栓；3—喷灌机；
4—喷头车；5—长条地块边界线

(2)在长条地块中央布设喷头车或桁架车行走通道，通道宽度根据轮距设计，一般喷头车或桁架车轮距可根据需要进行宽窄调节，常规通道设计宽度为 1-3m。灌溉低矮作物时，可调节轮距使车轮在垄沟内行进，不设专用通道。喷头车或桁架车高度可根据灌溉作物高度需要作一定程度调整。

(3)考虑风向和地面坡度，条形地块的轴线应垂直主风向。卷管牵引式喷灌机可在坡度低于 11° 的地面上运行。

(4)为了提高横向灌水均匀度，条形地块湿润带要搭接一部分，条形地块轴线之间的距离与风速及喷头的湿润直径有关。一般设计时参考厂家提供的建议值，无资料时，无风情况下可取喷头直径的 80%作为条形地块设计宽度。

其他风速条件下，条形地块轴线间距设计系数参见表 3-4。

表 3-4 条形地块轴线间距设计系数

风速 (m/s)	无风	<2	2~4.5
系数	0.8	0.7~0.75	0.6~0.65

五、轮灌设计

1. 确定机组牵引速度

可以根据厂家提供的喷灌机工作参数表，根据流量、条形地块轴线间距、灌

水定额等参数进行选定牵引速度。

某厂家 TX75-300 型单喷头绞盘式喷灌机工作参数表见表 8-3。

也可根据下式计算：

$$v = \frac{1000q\eta_p}{Bm} \quad (3-10)$$

式中：

v—机组牵引速度，m/h；

q—喷灌机流量，m³/h；

B—条形地块轴线间距，m；

m—设计灌水定额，mm。

表 8-3 TX75-300 型单喷头绞盘式喷灌机工作参数表

喷嘴直径 mm	喷嘴压力 MPa	喷头射程 m	长条地 块轴线 间距 m	机组 流量 m ³ /h	不同灌水量下喷头车回卷速度 (m/h) 和连接压力 (MPa)											
					10mm m/h,MPa		15mm m/h,MPa		20mm m/h,MPa		25m m/h,MP a		30mm m/h,MP a		35mm m/h,MP a	
16	0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50	30	51	15.5	30	0.44	20	0.42	15	0.41	12	0.39	10	0.38	9	0.38
		33	55	17.0	31	0.50	21	0.49	15	0.46	12	0.45	10	0.45	9	0.45
		35	58	18.4	32	0.57	21	0.53	16	0.53	13	0.52	11	0.52	9	0.52
		36	61	19.7	32	0.63	21	0.61	16	0.59	13	0.59	11	0.59	9	0.58
		38	64	20.9	33	0.68	22	0.67	16	0.66	13	0.66	11	0.65	9	0.65
		40	67	22.0	33	0.75	22	0.74	16	0.73	13	0.72	11	0.72	9	0.72
18	0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50	32	55	19.7	36	0.49	24	0.46	18	0.45	14	0.44	12	0.44	10	0.43
		35	58	21.5	37	0.55	25	0.53	19	0.53	15	0.52	12	0.52	11	0.51
		37	62	23.3	38	0.62	25	0.61	19	0.60	15	0.60	13	0.59	11	0.59
		39	65	24.9	38	0.70	26	0.69	19	0.68	15	0.67	13	0.67	11	0.67
		40	68	26.4	39	0.77	27	0.76	20	0.76	16	0.75	13	0.75	11	0.75

							6		9		6	5	3	5		4
		42	71	27.8	39	0.85	2 6	0.84	2 0	0.83	1 6	0.8 3	1 3	0.8 2	11	0.8 2
20	0.30 0.35 0.40 0.45 0.50	37	62	26.6	43	0.63	2 9	0.62	2 1	0.61	1 7	0.6 1	1 4	0.6 0	1 2	0.6 0
		39	66	28.7	44	0.72	2 9	0.71	2 2	0.70	1 7	0.7 0	1 5	0.6 9	1 2	0.6 9
		41	69	30.7	45	0.81	3 0	0.80	2 2	0.79	1 8	0.7 8	1 5	0.7 7	1 3	0.7 7
		43	72	32.6	45	0.90	3 0	0.88	2 3	0.88	1 8	0.8 6	1 5	0.8 6	1 3	0.8 6
		45	75	34.3	46	0.98	3 1	0.97	2 3	0.96	1 8	0.9 5	1 5	0.9 5	1 3	0.9 4
		39	65	32.2	50	0.74	3 3	0.72	2 5	0.72	2 0	0.7 2	1 7	0.7 1	1 4	0.7 0
22	0.30 0.35 0.40 0.45	41	69	34.8	50	0.85	3 4	0.83	2 5	0.82	2 0	0.8 1	1 7	0.8 1	1 4	0.8 0
		43	73	37.2	51	0.95	3 4	0.93	2 5	0.92	2 0	0.9 2	1 7	0.9 1	1 5	0.9 1
		45	76	39.4	52	1.05	3 5	1.03	2 6	1.02	2 1	1.0 2	1 7	1.0 1	1 5	1.0 1

注：长条地块轴线间距是按喷洒直径的 85%计算的，适合无风状态下使用，有风状态下按相应系数进行折减。

2. 一块条形地块所需的灌水时间

$$t_1 = \frac{L}{v} \quad (3-11)$$

式中：

t_1 ——一块条形地块所需灌水时间，h；

L ——条形地块长度，m；其余符合同前。

3. 轮灌周期

$$T = \frac{m}{ET_a} \quad (3-12)$$

式中：

T ——轮灌周期，d；其余符号同前。

4. 一台机组可控制条形地块数目

$$n = \frac{iT}{t_1} \quad (3-13)$$

式中：

n --一台机组所担负的条形地块数目；其余符号同前。

求出一台机组所灌溉条形地块数 n 后，即可算出灌溉面积。

5. 所需机组的台数

设计灌溉面积内，需要机组的台数，可从总条形地块数除以一台机组可担负的条形地块数 n 而得。如条形地块长度不等时，则在轮灌排序后，再确定所需机组台数。

6、水泵选型参见中心支轴式喷灌机相关部分内容。

第四章 绞盘式喷灌机运行与管理

第一节 喷灌机使用前的检查

- 1、检查各组成部件是否有漏装或错装。
- 2、检查设备上的往复丝杠、丝杠滑块、驱动链、各轴承及变速箱是否充分润滑，用顶丝顶紧轮胎半轴，并检查轮胎气压是否符合要求。
- 3、检查各种警示牌是否完整、清晰。
- 4、检查各组成部件连接处的螺栓是否紧固。

第二节 喷灌机运行操作

一、运行前准备工作

1、将喷灌机牵引至工作位置，并用千斤顶将底盘调整到水平位置。摘下回转支撑定位销，旋转喷灌机，使喷水行车正对灌溉带的方向，再用定位销将回转支撑固定。见图 4-1。



图 4-1 固定回转支撑



图 4-2 锚桩入地

2、摘下锚桩上的定位销，并用手轮将锚桩插入地下，再插上定位销锁紧。若地面较硬，应掘出足够深的坑以放下锚桩头。见图 4-2。

3、根据作物种类及工作区域的实际情况，设定喷水行车的轮距，并用顶丝紧固。喷水行车必须对称连接。见图 4-3。



图 4-3 调整喷水行车轮距



图 4-4 抬起锁定杆

4、抬起锁定杆，缓慢压下变速杆放松 PE 管使喷水行车缓缓落下。喷水行车落到地面后，将变速杆放置并固定在“PE 管铺放”位置。见图 4-4。

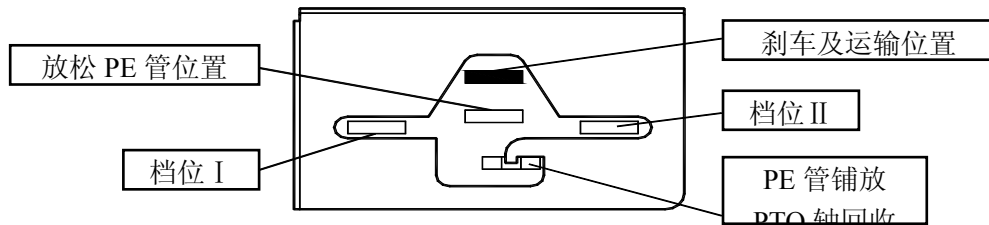


图 4-5（如图 4-3 示）放下喷水行车下喷水行车

5、设定喷枪的扇形喷洒范围，通常情况下建议设定为 $180^{\circ} \sim 270^{\circ}$ ，见图 4-6。



图 4-6 设定扇形喷洒角度



图 4-7 连接牵引杆

6、连接牵引机与喷水行车的牵引杆。见图 4-8。

7、铺放 PE 管。喷水行车拉出时，最大速度不得超过 1000 m/h，铺放 PE 管到尽头时，应减缓牵引速度并慢慢停下来，当绞盘上出现白色标记时，应立即停止铺放。见图 4-8。



图 4-8 铺放 PE 管

二、喷灌机喷洒运行

1、用软管连接喷灌机进水管和给水栓，打开水泵或给水栓，开始灌溉。



图 4-9 连接给水栓



图 4-10 连接进水管

2、当入机压力达到工作压力并无气泡喷出时，将变速杆置于适当的回收档位，调整速度控制手柄的位置，观察液晶速度计，使 PE 管的回收速度达到要求，用五星螺母锁紧速度控制手柄。

3、喷水行车回收至主机前，关闭杆将喷水行车抬升，同时变速箱自动脱档，从而结束回卷过程。如需中途停止喷灌，PE 管须通过 PTO 轴（可选备件）回收或者人力回收。

4、PE 管回收完毕后，继续喷灌 5 分钟，然后关闭给水栓或水泵。

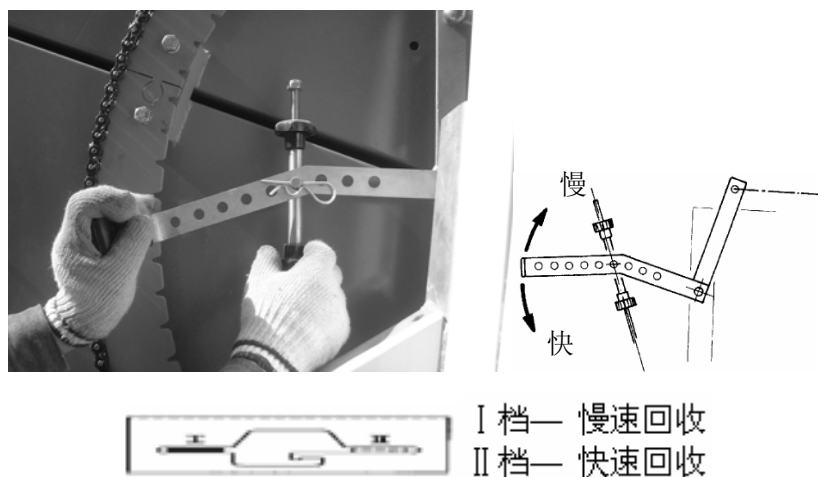


图 4-11 调节变速杆

三、喷灌机转移

将连接软管与水栓脱开。摘下锚桩上的定位销，并用手轮将锚桩收起，再插上定位销锁紧。此时，可移动喷灌机至下一灌溉位置或拉回库房存放。



图 4-12 拆卸连接软管



图 4-13 等待转移

第五章 绞盘式喷灌机保养与维护

一、喷灌机日常保养内容和频率

每次灌溉季节开始和结束时，应彻底检查、清洗相关设备，保养内容见表 5-1。

表 5-1 日常保养内容和频率表

项目	保养部位	保养周期	保养内容
1	往复丝杠及滑块	每 250 小时	清理污垢后加注黄油
2	往复丝杠驱动链条	每 250 小时	清理污垢后加注黄油
3	变速箱	第 1 次 500 小时， 此后每年 1 次	如变速箱出现渗油现象，应立即检查油量并修复漏油处。润滑油应采用 220# 齿轮油。
4	主机及喷水行车轮胎	气压不足时	按规定气压充气
5	千斤顶	每半年 1 次或需要时	加注黄油
6	水涡轮	灌溉季节结束时	松开水涡轮放水丝堵，放净水涡轮中积水
7	绞盘驱动链条	每 250 小时	清理污垢后加黄油
8	绞盘轴承座	每 500 小时	加注黄油
9	关闭杆滑板	需要时	清理污垢后加注黄油
10	回转支撑	每 500 小时	加注黄油
11	各部位连接螺栓	每工作 50 小时	旋紧螺栓或螺母

二、喷灌机冬季保养

1、在气温降至 0℃ 以前，拆下喷水行车的连接软管，用一台气压 0.25MPa、出气量 800L/min 的空气压缩机，连接在机器的进水口，将 PE 管内的水吹出。

2、将 PE 管内水吹出后，用扳手拧开水涡轮下部的放水堵，将水涡轮内的水排出，下次使用时再将放水堵装上。

3、拆下连接软管，排干净软管内的水，刷干净外表面的泥土，将软管卷起来，保存在干燥、通风、避光的地方。

4、将机器清洗干净，在合适的部位涂上黄油，并将机器放置在遮风挡雨的

地方，不宜直接暴露在外。

5、注意变速箱的油窗上的油位，确保在油窗处能观察到齿轮油。若观察不到，则加注齿轮油至油窗位置。

三、常见故障分析与排除

喷灌机运行过程中常见故障及解决办法见表 5-2。

表 5-2 常见故障分析与排除表

故障现象	原因	排除方法
PE 管不能拉出	变速杆位置不正确	将变速杆置于“铺放 PE 管位置”。
	刹车带粘连在刹车轮上	使刹车带脱离刹车轮。
	排管机构出现问题	检查丝杠、滑块，并排除问题。
卷筒中途停止回卷 PE 管	水涡轮遭外来物阻挡	去除外来物。
	连接压力突然减小	检查水泵及给水栓。
	三角 V 带有缺陷	更换三角 V 带。
	三角 V 带太松弛	检查传动机构并调整。
	PE 管缠乱	停机，将 PE 管整理整齐。
	驱动链条脱落	重新安装驱动链条或更换驱动链条。
铺放 PE 管时，卷筒回转或 PE 管排列变松	牵引机突然停车	牵引机缓慢停车。
	变速箱没有机油或机油过少	添加机油。
PE 管缠乱	排管机构出现问题	检查丝杠、滑块，并排除问题。
喷水行车无法被举升起来	变速箱提前脱档	调整变速箱及相关部件
喷枪射程不足	喷嘴堵塞	清理喷嘴去除异物。
	连接压力减小、水流量不足	依据工作性能表上的数值检查连接压力及流量。
无法达到所选定的回收速度	传动机构的变速比不正确	选择合适变速比。