

# 荒漠化草原紫花苜蓿大型喷灌实用技术 培 训 手 册



水利部牧区水利科学研究所  
内蒙古自治区水利科学研究院  
中国农机院呼和浩特分院  
鄂托克前旗水务和水土保持局

二〇一三年三月

荒漠化草原  
紫花苜蓿大型喷灌实用技术

# 培 训 手 册



策划：李和平 程满金

撰稿：郑和祥 白巴特尔 佟长福  
苗 澍 杨燕山 王 军  
马兰忠 李 建 勋 赵治军

编辑：郑和祥 白巴特尔

# 目 录

第一章 紫花苜蓿生长特性和品种筛选.....	1
1.1 紫花苜蓿概述 .....	2
1.2 紫花苜蓿生长特性 .....	4
1.3 紫花苜蓿品种筛选 .....	7
第二章 紫花苜蓿高产种植综合技术（农艺农机） .....	21
2.1 土壤耕作（农机配套） .....	22
2.2 播种（农机配套） .....	23
2.3 施肥（农艺措施） .....	26
2.4 病虫害防治（农艺措施） .....	28
2.5 杂草管理（农艺措施） .....	31
2.6 生长发育（农艺措施） .....	34
2.7 刈割（农机配套） .....	38
2.8 干草调制（搂草打捆装载农机配套） .....	41
第三章 时针式喷灌机基本知识和应用.....	44
3.1 时针式喷灌机概述 .....	45
3.2 时针式喷灌机主要机型和参数.....	49
3.3 时针式喷灌机主要组件 .....	55
3.4 时针式喷灌机安装与调试.....	60
3.5 时针式喷灌机的微调与操作.....	68
3.6 时针式喷灌机日常使用和维护.....	71
3.7 喷灌机的常见故障及排除.....	75
第四章 时针式喷灌紫花苜蓿高效节水灌溉制度.....	79
4.1 紫花苜蓿需水量和需水规律.....	80
4.2 紫花苜蓿高效节水灌溉制度.....	83
4.3 紫花苜蓿时针式喷灌工作制度.....	86

## 第一章 紫花苜蓿生长特性和品种筛选



优质紫花苜蓿品种

## 1.1 紫花苜蓿概述

紫花苜蓿是多年生豆科牧草，也是我国乃至世界上种植最多的牧草品种。苜蓿在我国栽培已有 2000 年的历史，广泛分布于西北、华北和东北地区喜温暖半干旱气候，日均温度 15-20℃ 最适生长。高温高湿对苜蓿生长不利，抗寒性强，能耐 -30℃ 的低温。由于根系入土深，能充分吸收土壤深层的水分故抗旱能力强，对土壤要求不严格，沙土、粘土均可生长。但以深厚疏松，富含钙质的土壤最为适宜。一年四季均可播种，在春季墒情好，风沙危害少地区可春播，春季干旱晚霜较迟、风沙多地区可在雨季夏播。由于其适应性强、产量高、品质好等优点，素有“牧草之王”之美称。苜蓿的寿命一般是 5—10 年，在年降雨量 250—800 毫米、无霜期 100 天以上的地区均可种植。喜中性土壤。PH 值 6—7.5 为宜，6.7—7.0 最好。成株高 1—1.5 米。

苜蓿的营养价值很高，粗蛋白质、维生素含量很丰富，动物必需的氨基酸含量高，苜蓿干物质中含粗蛋白

质 15—26.2%，相当于豆饼的一半，比玉米高 1—2 倍；赖氨酸含量 1.05—1.38%，比玉米高 4—5 倍。苜蓿的产量根据不同品种、不同地区、管理水平和刈割次数不同，产量差异很大。

在我国，由于它产草量高，利用年限长，再生性强，且肥田增产，因此在畜牧业上，紫花苜蓿的优势完全凸现出来。紫花苜蓿是各种牲畜最喜食的牧草。叶的粗蛋白质含量比茎高 1.0-1.5 倍，粗纤维含量比茎少 50%。栽种五年后可作为放牧地使用，但应有计划地做到分区轮割或轮牧。越是幼嫩，叶的比重较大，营养价值越高。因此，紫花苜蓿的营养价值与收获时期关系很大，幼嫩苜蓿含水量较高，随生长阶段的延长，蛋白质含量逐渐减少，粗纤维含量显著增加。初花期刈割的苜蓿消化率高，适口性好。播种后 2-5 年内生产力高，青刈或调制干草可以获得更高的经济效益。

紫花苜蓿茎叶中含有丰富的蛋白质、矿物质、多种维生素及胡萝卜素，特别是叶片中含量更高。紫花苜蓿

鲜嫩状态时，叶片重量占全株的 50%左右。在同等面积的土地上，紫花苜蓿的可消化总养料是禾本科牧草的 2 倍，可消化蛋白质是 2.5 倍，矿物质是 6 倍。

## 1.2 紫花苜蓿生长特性

紫花苜蓿是豆科苜蓿属多年生草本植物，根系发达，主根入土深达数米至数十米；根颈密生许多茎芽，显露于地面或埋入表土中，颈蘖枝条多达十余条至上百条。茎秆斜上或直立，光滑，略呈方形，高约 100~150 厘米，分枝很多。



图 1-1 紫花苜蓿现蕾—初花期

叶为羽状三出复叶，小叶长圆形或卵圆形，先端有锯齿，中叶略大。总状花序簇生，每簇有小花 20~30 朵，蝶形花有短柄，雄蕊 10 枚，1 离 9 合，组成联合雄蕊管，有弹性；雌蕊 1 个。荚果螺旋形，2~4 回，表面光滑，有不甚明显的脉纹，幼嫩时淡绿色，成熟后呈黑褐色，不开裂，每荚含种子 2~9 粒。种子肾形，黄色或淡黄褐色，表面有光泽，陈旧种子色暗；千粒重 1.5~2.3 克，每千克约有 30~50 万粒。



图 1-2 紫花苜蓿盛花期

紫花苜蓿抗逆性强，适应范围广，能生长在多种类型的气候、土壤环境下。性喜干燥、温暖、多晴天、少

雨天的气候和高燥、疏松、排水良好，富含钙质的土壤。最适气温  $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ ；年降雨为  $400\sim 800$  毫米的地方生长良好，越过  $1000$  毫米则生长不良。年降雨量在  $400$  毫米以内，需有灌溉条件才生长旺盛。夏季多雨湿热天气最为不利。紫花苜蓿蒸腾系数高，生长需水量多。每构成  $1$  克干物质约需水  $800$  克，但又最忌积水，若连续淹水  $1\sim 2$  天即大量死亡。紫花苜蓿适应在中性至微碱性土壤上种植，不适应强酸、强碱性土壤，最适土壤 pH 值为  $7\sim 8$ ，土壤含可溶性盐在  $0.3\%$  以下就能生长。在海拔  $2700$  米以下，无霜期  $100$  天以上，全年  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $1700^{\circ}\text{C}$  以上，年平均气温  $4^{\circ}\text{C}$  以上的地区都是紫花苜蓿宜植区。紫花苜蓿属于强光作用植物，刚开展的叶片同化二氧化碳的最大量每小时每平方米为  $70$  毫克；叶片的淀粉含量昼夜变幅大，干重从上午的  $8\%$  增加至日落时的  $20\%$ ，其后含量急剧下降，叶片是进行光合作用的场所，一个发育良好的苜蓿群体叶面积指数通常为  $5$ ，每平方米有中等大小的叶片  $5000\sim 15000$  个。

### 1.3 紫花苜蓿品种筛选

我国苜蓿育种工作始于建国初，相比国外的育成品种的数量和质量，我国苜蓿的育种工作落后许多。国内的研究培育过程在规模上、程序上，相对于国外缺乏系统性，总体研究水平还处于国外上世纪七十年代的水准。美国是世界上苜蓿第一生产大国，目前美国的苜蓿品种有几百个，其育成品种多以适应性和抗虫能力为选育目标，近年来育成苜蓿新品种固氮能力强且对镰孢菌枯萎病、疫霉根腐病和苜蓿斑点蚜均有较高抗性。



图 1-3 紫花苜蓿种子

目前，我国审定登记的首蓿品种共计 60 多个。按其生长特性分为耐寒品种、耐旱品种、耐盐碱品种、耐湿热品种和高产品种。

#### **耐寒品种有：**

龙牧 801、龙牧 803、龙牧 806、草原 1 号、草原 2 号、草原 3 号、图牧 1 号、图牧 2 号、甘农 1 号、甘农 2 号、新牧 1 号、新牧 2 号、新牧 3 号、阿勒泰杂花首蓿、北疆首蓿、新疆大叶首蓿、河西首蓿、蔚县首蓿、敖汉首蓿和肇东首蓿。

#### **耐旱品种有：**

草原 1 号、草原 2 号、草原 3 号、图牧 1 号、图牧 2 号、敖汉首蓿、蔚县首蓿、准格尔首蓿、陕北首蓿、河西首蓿、北疆首蓿和阿勒泰杂花首蓿。

#### **耐盐碱品种有：**

中苜 1 号、中苜 3 号、龙牧 801、龙牧 806、新牧 2 号、新牧 3 号、沧州首蓿、保定首蓿、无棣首蓿、河西首蓿和阿勒泰杂花首蓿。

**耐湿热品种有：**渝苜 1 号和淮阴苜蓿。

**高产品种有：**

中苜 1 号、中苜 2 号、中苜 3 号、公农 1 号、公农 2 号、龙牧 801、龙牧 803、龙牧 806、草原 3 号、甘农 3 号、甘农 4 号、新牧 2 号和新牧 3 号。

现介绍几个有代表性的苜蓿品种：

**国内品种有：**

### **(1) 草原 1 号苜蓿**

草原 1 号苜蓿以内蒙古锡林郭勒天然草原的野生黄花苜蓿 (*Medicago falcata* L.) 为母本，以内蒙古准格尔苜蓿为父本，采用人工授粉进行种间杂交育成。

株型直立或半直立。花色有深紫、淡紫、紫、黄绿、黄黄绿、白色、淡黄、金黄色等。荚果形状有螺旋形 (49.0%)、镰刀形 (25.5%) 和环形 (25.5%) 三种。生育期 110 天左右。抗寒性强、较抗旱。适宜在内蒙古东部、东北和华北北部种植。



图 1-4 草原 1 号苜蓿

## (2) 草原 2 号苜蓿

草原 2 号苜蓿是以锡盟黄花苜蓿作母本，准格尔苜蓿、武功苜蓿、府谷苜蓿、亚洲苜蓿、原苏联一号苜蓿等五个苜蓿品种作父本，天然杂交选育而成。特征特性：有直立、半直立、匍匐三种株形，以半直立为主。杂色花。生育期 120 天左右。能耐零下  $37\sim 43^{\circ}\text{C}$  低温。抗旱、抗寒、抗风沙。适应区域：适应内蒙古西部及东北、西北地区种植。

## (3) 草原 3 号

耐寒，耐旱。干草产量 12 吨/公顷以上。适宜于北方寒冷干旱、半干旱地区种植。

#### **(4) 新牧 1 号**

抗寒。部分植株有根茎、具根蘖性状。适宜种植区域为新疆、甘肃河西走廊和宁夏引黄灌区。

#### **(5) 教汉苜蓿**

耐旱、耐寒。适宜于北方干旱、寒冷地区种植。50 年代初引自甘肃省，经过在教汉 40 多年的栽培驯化，成为适应当地气候条件的地方品种。适宜于年平均温度  $5\sim 7^{\circ}\text{C}$ ，最高气温  $39^{\circ}\text{C}$ ，最低气温  $-35^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的年活动积温为  $2400\text{—}3600^{\circ}\text{C}$ ，年降水量为  $260\text{—}460$  毫米的东北、华北和西北各省区均宜种植。该品种叶片小，根系入土深，茎叶上疏生白色柔毛，株型直立，花冠淡紫色。生育期  $100\text{—}105$  天，抗旱、抗寒性强，抗风沙、耐瘠薄，适应性较为广泛，适宜旱作栽培，干草产量为  $700\text{—}1000$  公斤/亩。

#### **(6) 肇东苜蓿**

耐寒。在肇东地区旱作干草产量 7~11 吨/公顷。适宜于北方寒冷地区种植。

### **(7) 新疆大叶苜蓿**

叶片大。干草产量 12 吨/公顷左右。适宜种植区域为新疆南疆、甘肃河西走廊和宁夏引黄灌区。

### **(8) 陇东苜蓿**

旱作高产品种。陇东苜蓿为国产优质苜蓿地方品种。北方许多省区已有大面积种植，最适宜于黄土高原及华北地区种植。叶片较小，色泽浓绿，花序短而紧凑，花色深紫，在旱作条件下生产持续期很长，第 2—7 年产量高且非常稳定、均衡，尤其是第一茬草产量高。抗旱性较强，抗寒性中等，为中熟品种，鲜草产量为 2000—3000 公斤/亩。但苗期生长较为缓慢，刈割后的再生能力处于中等水平。

### **(9) 甘农 1 号**

该品种是以黄花苜蓿与苜蓿杂交后代为亲本，采用改良混合选择方法培育而成。特征特性：株形多为半直

立,花以浅紫色和杂色为主,荚果以松螺旋形(0.5~1.5回)和镰刀形为主。根为主根型,但侧根较多,有5%左右的植株具有根蘖。抗寒性和抗旱性强,属于中早熟品种,产量中等。适应区域:黄土高原西部、北部,青藏高原边缘海拔2700米以下,年平均气温2°C以上的地区。



图 1-5 甘农 1 号苜蓿

### (10) 甘农 2 号

该品种是由国外引进的 9 个根蘖型苜蓿品种,经多年抗寒筛选和根系鉴定,从中选出 7 个无性繁殖系形成的综合品种。株型半匍匐或半直立,根系具有发达的水

平根，根上有根颈膨大部分，可形成新芽出土成为枝条。花多为浅紫花和少量杂色花，荚果为松散螺旋形。本品种的主要性状是根蘖性状明显，开放传粉后代的根蘖株率在 20% 以上，有水平根的株率在 70% 以上；扦插并隔离繁殖后的根蘖株率在 50%~80%，水平根株率在 95% 左右，越冬性好，产量一般，在温暖地区比普通苜蓿品种产量稍低。适应地区：该品种是具有根蘖性状的放牧型苜蓿品种，适宜在黄土高原地区、西北荒漠沙质壤土地区和青藏高原北部边缘地区栽培作为混播放牧、刈割兼用品种。因其根系扩展性强，更适宜于水土保持、防风固沙护坡固土。

### **(11) 甘农 3 号**

丰产。干草产量 12~15 吨/公顷。适宜于西北内陆灌溉农业区和黄土高原种植。

### **(12) 甘农 4 号**

丰产。干草产量 15 吨/公顷。适宜种植区域为西北内陆灌溉农业区和黄土高原。

### (13) 中苜 1 号

耐盐碱，该品种株形直立，株高 80~100cm，主根明显，侧根较多，根系发达，叶色深绿，花紫色或浅紫色。总状花序，荚果螺旋形 2~3 圈。分枝多，叶色亮绿，叶片较大。具有抗盐、耐旱、耐瘠薄和生长迅速、早熟等特点。适应地区：中苜一号苜蓿不仅适应于黄淮海平原一带，以氯化钠为主的大面积盐碱地及中低产田种植，而且在西部地区内陆盐碱地，及中低产田种植表现亦非常好。

### (14) 中苜 2 号

耐湿重和高地下水位。干草产量 14~16 吨/公顷。适宜于黄淮海平原非盐碱区域种植。

### (15) 中苜 3 号

耐盐碱，在含盐量为 0.18%~0.39% 的盐碱地上，比中苜 1 号增产 10% 以上。干草产量 15 吨/公顷。适宜于黄淮海平原、环渤海湾附近和西北地区的轻、中度盐碱地种植。

### **(16) 龙牧 801**

抗寒，冬季少雪-35℃和冬季有雪-45℃以下安全越冬。耐盐碱，pH8.4的盐碱地生长良好。干草产量7~9吨/公顷。适宜于小兴安岭寒冷湿润区和松嫩平原温和半干旱区种植。

### **(17) 龙牧 803**

抗寒，冬季少雪-35℃和冬季有雪-45℃以下安全越冬。适宜种植区域为小兴安岭寒冷湿润区、松嫩平原温和半干旱区和牡丹江半山间温凉湿润区。

### **(18) 龙牧 806**

抗寒，在黑龙江省北部寒冷区和西部半干旱区-45℃以下越冬率可达92%~100%。较耐盐碱，在pH8.2的碱性土壤上生长良好。适宜于东北寒冷气候区、半干旱区及盐碱土区种植，亦可在西北和华北北部种植。

**国外品种有：**

#### **(1) WL323**

丰产。高抗多种病虫害，对疫霉病和根腐病抗性尤

高。干草产量 18~20 吨/公顷。适宜种植区域为华北中、南部和西北相对温暖区。

### **(2) 爱费尼特 (Affinity)**

丰产。叶量大。抗多种病害，抗线虫。适宜于华北中、南部和西北相对温暖区种植。

### **(3) CW200 直立型。**

中等偏细的茎秆，多叶性高达 88%。在大田中，整体均匀性好，高抗性决定它能够持续多年生长，春季返青中等，第一次收割成熟期中等（10%的花期），CW200 是个高产品种，在各种土壤中表现都很好。适合年收割 2-3 茬的地区种植。

### **(4) CW400 为直立型高秆品种。**

CW400 型苜蓿叶茎比高，在大田生产中，该品种叶片以三叶为主，但叶冠浓密。由于它的抗性综合指标高，适合于多种不同的气候、土壤条件。它的第一次成熟期中等、收割后再生快。它的高产性表现在收割次数多时（收割间隔短），产量仍然很高。它对病虫害抗性

综合指数高。尤其适应于较干旱地区的种植。收割后再生长快，适应于年收割 3-5 茬地区的种植。

### (5) 巨人 201+Z

“巨人 201+Z”是美国新培育的在严寒地区表现非常出色的紫花苜蓿品种。它的粗壮根茎储藏有大量的碳水化合物，使其越冬和再生能力非常强，同时也增强了它对包括黑茎霉在内的各种茎腐病的抗性。+Z 技术的采用提高了种苗抗性，种苗活力强，更容易种植。



图 1-6 巨人 201+Z 苜蓿

“巨人 201+Z”茎秆细叶量大，具有极高的遗传产量优势，亩产鲜草达 5000~7500kg，干草达 1900kg。它

在衣阿华州和威斯康辛州的多次产量、品质和越冬能力试验中排名总是第一。“巨人 201+Z”还含有丰富的维生素、矿物质和大量的必需氨基酸，营养价值很高，为各种家畜，尤其奶牛、奶羊、猪、兔等所喜食。无论用于放牧还是半干青贮、调制干草都是理想的品种，很适宜在我国华北、东北、西北等寒冷地区种植。

## (6) 驯鹿

“驯鹿”是加拿大紫花苜蓿新品种之一，花色为杂色，以紫色为主；喜冷凉半干旱气候，是抗寒性强、耐旱、越冬性能和抗倒春寒能力出色的品种。该品种拥有以下几点特性：抗寒性强，秋眠级 1 级；越冬性能和抗倒春寒能力出色，目前我国北方寒冷地区表现最好；根系发达，根瘤多，能够更有效地改良土壤结构、增加土壤肥力；分枝多，覆盖能力强，能有效控制地表蒸发；适应性强，能在降水量 250mm，无霜期 100 天以上的地区正常生长；能耐冬季低于 $-40^{\circ}\text{C}$ 的严寒，有雪覆盖时在 $-60^{\circ}\text{C}$ 的低温下可安全越冬；再生快、产量高，在

良好的生产管理条件下，鲜草产量 75~130 吨/公顷（亩产 5000~8800kg）；抗病虫害性能强，对多种常见病虫害高抗。如雪腐病、根腐病、枯萎病等；叶量丰富，草质柔嫩，粗蛋白质、维生素和矿物质的含量高。适合在我国东北、西北等地的大部分地区种植，尤其能够在纬度高，较寒冷的地区或倒春寒严重的地区种植。

在鄂托克前旗推荐使用的紫花苜蓿国内品种有：草原 2 号、甘农 2 号和龙牧 806；国外品种有：巨人 201+Z 和驯鹿。

## 第二章 紫花苜蓿高产种植综合技术（农艺农机）



紫花苜蓿机械刈割

## 2.1 土壤耕作（农机配套）

整地包括清除残茬、杂草、杂物，耕耙整平，利于种植、出苗、生长和收获利用。紫花苜蓿种子细小，幼芽细弱，顶土力差，整地必须精细，要求地面平整，土块细碎，无杂草，墒情好。紫花苜蓿根系发达，入土深，对播种地要深翻，才能使根部充分发育。



图 2-1 紫花苜蓿种植耕作

紫花苜蓿生长年限长，年刈割利用次数多，从土壤中吸收的营养亦多。据报道，紫花苜蓿每亩每年吸收的营养，氮为 13.3 千克，磷 4.3 千克，钾 16.7 千克。氮和磷比小麦多 1~2 倍，钾多 3 倍。用作播种紫花苜蓿

的土地，要于上年前作收获后，即进行浅耕灭茬，再深翻，冬春季节作好耙耱、镇压蓄水保墒工作。水浇地要灌足冬水，播种前，再行浅耕或耙耱整地。微碱或中性的壤土和沙壤土最好，土壤不宜过湿，地下水位低于2m，有良好的排水条件。

## 2.2 播种（农机配套）

播种前要晒种 2~3 天，以打破休眠，提高发芽率和幼苗整齐度。种子应尽量选用纯度高（ $\geq 98\%$ ）、净度高（ $\geq 95\%$ ）、千粒重重（ $\geq$ 品种标准）、含水量适宜（ $\leq 14\%$ ）、发芽率高（ $\geq 85\%$ ）和种子用价高（ $\geq 80\%$ ）和无病虫害的优质种子。

纯度 = (供试种子粒数 - 异种或品种粒数)  $\div$  供试种子粒数  $\times 100\%$ 。

净度 = (样品总质量 - 杂质质量 - 其它植物种子质量)  $\div$  样品总质量  $\times 100\%$ 。

发芽率 = 发芽试验终期全部正常发芽种子数  $\div$  供试种子数  $\times 100\%$ 。

种子用价=净度×发芽率×100%。

在从未种过苜蓿的土地播种时，要接种苜蓿根瘤菌，每千克种子用5克菌剂，制成菌液洒在种子上，充分搅拌，随拌随播。无菌剂时，用老苜蓿地土壤与种子混合，比例最少为1:1。接种根瘤菌的方法很多，有粉施法、干粉拌种法、菌浆拌种法、种子丸衣化接种法等。

正常情况下，用于牧草生产的苜蓿播种量1.0千克/亩。当土壤性状优良、整地精细和气候较为适宜时，播种量可降至0.8千克/亩。相反，播种条件较差时，播种量应增至1.2千克/亩。撒播时播种量应增加20%左右。用于种子生产的播种量仅为0.2千克/亩。

因气候不同，可分为三种情况，春播：春季土地解冻后，与春播作物同时播种，春播苜蓿当年发育好产量高，种子田宜春播。夏播：干旱地区春季干旱，土壤墒情差时，可在夏季雨后抢墒播种。秋播：在中国北方地区，秋播不能迟于8月中旬，否则会降低幼苗越冬率。



图 2-2 紫花苜蓿播种

播种深度视土壤墒情和质地而定，土干宜深，土湿则浅，较壤土宜深，重粘土则浅，一般 1.0~2.5 厘米。紫花苜蓿常用播种方法有条播、撒播和穴播三种；播种方式有单播，混播和保护播种（覆盖播种）三种。可据具体情况选用。种子田要单播，穴播或宽行条播，行距 50 厘米，穴距 50×70 厘米或 50×50 厘米或 50×60 厘米，每穴留苗 1~2 株。收草地可条播也可撒播，可单播也可混播或保护播种。条播行距 30 厘米。撒播时要先浅耕后撒种，再耙耱。混播的可撒播也可条播，可同

行条播，也可间行条播，保护播种的，要先条播或撒播保护作物，后撒播苜蓿种子，再耙耱。灌区和水肥条件好的地区可采用保护播种，保护作物有麦类，油菜或割制青干草的燕麦、草高粱、草谷子等，但要尽可能早的收获保护作物。在干旱地区进行保护播种时，不仅当年苜蓿产量不高，甚至影响到第二年的收获量，最好实行春季单播。混播，紫花苜蓿生长快，分蘖多，枝叶盛，产量高，再生性强，刈割次数多，混播中其他牧草难于相配合，故以单播为宜。但若要提高牧草营养价值、适口性和越冬率，也可采用混播。适宜混播的牧草有：鸡脚草、猫尾草、多年生黑麦草、鹅冠草、无芒雀麦等。混播比例，苜蓿占40%~50%为宜。

### 2.3 施肥（农艺措施）

苜蓿一次种植利用多年，播种之前一定要施足底肥，尤其是有机肥，结合深翻或播种前浅耕，每亩施有机肥1500~2500千克，过磷酸钙20~30千克为底肥。对土壤肥力低下的，播种时再施入硝酸铵等速效氮肥，

促进幼苗生长。每次刈割后要进行追肥，每亩需过磷酸钙 10~20 千克或磷二氮 4~6 千克。

每亩收获 1500kg 苜蓿干草时，大约从土壤中带走 37kg 氮，3.7kg 磷，37kg 钾和 26kg 钙。因此，在苜蓿的快速生长期或刈割后应通过施肥，及时向土壤中补充损失的养分。由于苜蓿可以固氮，故对 N 要求不高，可少施或不施；磷肥能促进苜蓿根系的发育和生长，获得高产；钾肥能促进植株活力和健康，增强抗性，防倒伏。有机肥最好在播种前作为基肥施入，每亩 2000~3000kg；追施有机肥时，每次每亩不要超过 600kg。过磷酸钙每亩 20~30kg 左右。

### (1) 有机肥

有机质含量是土壤肥力的最重要指标之一，必须通过施用有机肥把土壤有机质含量维持在较高水平上。施有机肥 45 吨/公顷，约可使土壤有机质含量提高 0.2%。有机肥宜全耕层均匀基施。土壤有机质含量丰缺指标和推荐有机肥施用量参见表 2-1。

**表 2-1 土壤有机质储量丰缺参考指标和推荐有机肥施用量**

项目	有机质含量 (%)	有机肥施用量 (吨/公顷)
缺乏	<1.5	45-75
中等	1.5-2.5	30-45
丰富	>2.5	0-30

## (2) 氮肥

紫花苜蓿根瘤固氮功能强大，一般不需要施用氮肥。但当土壤氮素过于缺乏时，可以考虑播种前基施少量氮肥，播种时作为种肥施用亦可。土壤氮含量丰缺指标和紫花苜蓿氮肥推荐施肥量参见表 2-2。

**表 2-2 土壤氮含量丰缺参考指标和推荐施氮量**

项目	全氮 (%)	硝态氮 (NO <sub>3</sub> -N, 毫克/千克)	施氮量 (N, 千克/公顷)
缺乏	<0.05	<10	0-75
中等	0.05-0.10	10-20	0
丰富	>0.10	>20	0

## 2.4 病虫害防治 (农艺措施)

紫花苜蓿病虫害较多，常见的苜蓿病害主要有锈病、霜霉病、褐斑病、白粉病、夏季黑茎病、黑茎和叶斑病、黄斑病和轮斑病。其中以锈病分布最为广泛，其

次为霜霉病、褐斑病和白粉病。除了选用抗病品种、用农药防治。



图 2-3 紫花苜蓿喷药

锈病防治：植株密度过高，倒伏，田间湿度大，易发生此病。在发病初期，选用 20%粉锈宁 (triadimefon) 乳油 1000~1500 倍液，或 75%百菌清 (达克宁) (chorothalonil) 可湿性粉剂 600 倍液，或 70%代森锰锌 (大生) (mancozeb) 可湿性粉剂 600 倍液进行喷雾。视病情隔 7~10 天喷药 1 次。

霜霉病防治：冷凉潮湿条件下易发生此病。在发病初期，选用 65%代森锌 (zineb) 可湿性粉剂 400~500

倍液，或 70%代森锰锌（大生）可湿性粉剂 400~600 倍液，或 72%普力（霜霉威）(propamocarb)克水剂 600~800 倍液进行喷雾。

白粉病防治：温暖、昼夜温差大、湿润条件下易发生此病。在发病初期，选用 20%粉锈宁乳油 3000~5000 倍液，或 70%甲基托布津（甲基硫菌灵）(thiophanate-methyl) 可湿性粉剂 1000 倍液，或 40%福星（氟硅唑）(flusilazole) 乳油 8000~10000 倍液进行喷雾。

叶斑病防治：湿润条件下易发生此病。在发病初期，选用 50%多菌灵（carbendazim）可湿性粉剂 500~800 倍液，或 70%甲基托布津（甲基硫菌灵）可湿性粉剂 600~1000 倍液，或 75%百菌清（达克宁）可湿性粉剂 600 倍液，或 70%代森锰锌（大生）可湿性粉剂 600 倍液进行喷雾。

炭疽病防治：气候温暖湿润，或植株密度过高、田间湿度大时，易发生此病。在发病初期，选用 10%世高

水分散粒剂 (difenoconazole) 600~1000 倍液, 或 80% 炭疽福美 (锌双合剂) (thiram,ziram) 可湿性超微粉 500 倍液, 或 80% 大生 (代森锰锌) (mancozeb) 可湿性粉剂 400 倍液进行喷雾。

菌核病防治: 高温高湿条件下易发生此病。在发病初期, 选用 50% 速克灵 (腐霉利) (procymidone) 可湿性粉剂 1000~1500 倍液, 或 70% 甲基托布津 (甲基硫菌灵) 可湿性粉剂 500 倍液进行喷雾。

## 2.5 杂草管理 (农艺措施)

首宿苗期易遭杂草危害, 应尽量避免杂草危害高峰期播种。对于多年生杂草为害较重的地块, 应在耕翻前杂草旺盛生长期进行防除。可采用 41% 农达 (glyphosate) 水剂 6~9 升/公顷, 或 10% 草甘膦 (glyphosate) 铵盐水剂 18~30 升/公顷, 对水 600 升进行茎叶喷雾。喷药 6 天之内不要放牧或割草, 6 天之后耕翻播种。

播种后出苗前, 可以考虑进行土壤化学封闭处理,

将杂草消灭在萌发出苗阶段。可采用 96% 金都尔 (s-metolachlor) 乳油 750~1050 毫升/公顷, 或 90% 禾耐斯 (acetochlor) 乳油 1200 毫升/公顷, 或 5% 普施特 (豆草特、豆施乐) (imazethapyr) 水剂 3750 毫升/公顷, 或 48% 地乐胺 (butralin,dibutralin) 乳油 750~1050 毫升/公顷, 或 48% 地乐胺乳油 180 毫升+90% 禾耐斯乳油 900 毫升/公顷, 或 80% 阔草清 (flumetsulam) 水分散粒剂 60 克+96% 金都尔乳油 750 毫升/公顷, 或 80% 阔草清水分散粒剂 60 克+90% 禾耐斯乳油 900 毫升/公顷, 对水 450~600 升进行土壤表面喷雾。



图 2-4 紫花苜蓿打除草剂

出苗后，应于首蓓 3 片三出复叶展开、杂草 3~5 叶期进行茎叶处理，将杂草消灭在幼苗阶段。可采用 5% 普施特（豆草特、豆施乐）水剂 1500~1800 毫升/公顷，或 25% 苯达松（灭草松）（bentazon）水剂 2700 毫升+6.9% 威霸（fenoxaprop-p-ethyl）水乳剂 900 毫升/公顷，或 25% 苯达松（灭草松）水剂 2700 毫升+15% 精稳杀得（fluazifop-p-butyl）乳油 750 毫升/公顷，或 25% 苯达松（灭草松）水剂 2700 毫升+5% 精禾草克（精喹禾灵）（quizalofop-p-ethyl）乳油 750 毫升/公顷，或 25% 苯达松（灭草松）水剂 2700 毫升+10.8% 高效盖草能（haloxyfop-R-methyl）乳油 750 毫升/公顷，或 50% 高特克（草除灵）（benazolin-ethyl）悬浮剂 450 毫升+6.9% 威霸水乳剂 900 毫升/公顷，或 50% 高特克（草除灵）悬浮剂 450 毫升+15% 精稳杀得乳油 750 毫升/公顷，或 50% 高特克（草除灵）悬浮剂 450 毫升+5% 精禾草克（精喹禾灵）乳油 750 毫升/公顷，或 50% 高特克（草除灵）悬浮剂 450 毫升+10.8% 高效盖草能乳油 750 毫

升/公顷，对水 600 升进行茎叶喷雾。

春季苜蓿返青后，杂草幼苗期至起身前，可采用 5% 普施特（豆草特、豆施乐）水剂 1800 毫升/公顷对水 600 升进行茎叶喷雾。菟丝子的化学除杀措施为，在其转株为害时，采用 48% 地乐胺乳油 100~200 倍液喷雾，75~150 毫升/平方米。其他时期发生杂草危害时，若非毒害草，可以考虑随同苜蓿一道刈割。

## 2.6 生长发育（农艺措施）

### 种子萌发、出苗：

苜蓿种子萌发的最适环境温度为 20℃；5~10℃亦可萌发，但速度明显减慢；高于 35℃萌发受到抑制。苜蓿种子萌动时需先吸水膨胀，吸水量为种子干重之 85%~95%。种子萌发的适宜土壤含水量为田间持水量之 60%~80%。种子萌发的适宜环境氧气含量为 10% 以上，低于 5% 不能萌发。土壤含盐量超过 0.2% 时，种子萌发出苗和幼苗生长均受到抑制。土壤铝离子含量不宜超过 0.1 毫摩尔/升。覆土厚度以 1 厘米为佳；超过 3

厘米出苗缓慢，出苗率降低，苗弱。播种后表土板结会抑制出苗。环境条件适宜时，播种后 4~7 天出苗；否则可能需要 2~3 周或更长时间。幼苗生长的最适气温为 20~25℃，低于 10℃或高于 35℃，生长十分缓慢。在适宜的环境条件下，幼苗生长约 3~4 周进入分枝期。



图 2-5 紫花苜蓿出苗

#### 分枝、现蕾和开花：

分枝期及其后苜蓿生长发育的最适气温为 15~25℃；高于 30℃生长变缓或出现休眠，高于 35℃常发生死亡；低于 5℃地上部生长停滞，低于-2.2℃地上部

死亡。土壤含水量以田间持水量之 60%~80%为宜；高于 100%（即处于淹水状态）持续 1 周以上将导致烂根；低近凋萎系数则生长停滞。酸、碱、盐等障碍因子不利于根系生长。土壤 pH 值 7~8 最佳，低于 6 时根瘤难以生成，低于 5 或高于 9 时根系生长受到强烈抑制。土壤含盐量不宜超过 0.3%。土层过薄或地下水位过高都将限制根系下扎。



图 2-6 紫花苜蓿分枝—现蕾

在适宜的环境条件下，分枝期持续约 3 周进入现蕾期。现蕾期持续约 3 周进入初花期。从初花经盛花至末花，群体花期持续约 1~1.5 个月。小花开放约 2~5 天，

雌蕊授粉后约 5 天形成荚果。结荚后约 3~4 周种子成熟。春播当年苜蓿生育期（从出苗到种子成熟）110~150 天；第 2 年及以后各年生育期（从返青到种子成熟）95~135 天，需要大于 5℃ 的活动积温约 2000~2800℃。分枝期和现蕾期植株高度增加最为迅速，环境条件适宜时可达 2cm/天。从出苗（或返青）经分枝、开花至结荚，地上生物量逐渐升高，结荚期达到高峰，尔后下降；但蛋白质含量、干物质消化率和饲用价值逐渐降低。

### **越冬和返青：**

初花期前后，苜蓿根颈及茎基（合称为根冠）部位开始生成再生芽，并进一步发育为再生枝条。若及时刈割，则再生枝条迅速生长发育；否则将受到抑制。若刈割过晚，再生枝条高度超过 5 厘米，则其顶部生长点在刈割时将会遭受伤害，从而对下一茬的生长造成不利影响。在适宜的栽培管理条件下，初花期刈割，东北、西北和华北地区每年可刈割 2~5 茬；淮河流域每年可刈割 5~7 茬。如齐齐哈尔每年可刈割 2~3 茬，河套平原

3 茬，银川平原 3~4 茬，北京平原区、河北沧州和山东黄河三角洲地区 4~5 茬。第 1 茬和最后 1 茬所需生长期较长，约 7~9 周；中间各茬所需生长期较短，约 4~6 周。北京平原第 1~4 次刈割时大于 5℃的活动积温依次约为 900、1600、2800 和 4000℃。

入冬前，根冠部位形成的再生芽进入休眠状态，度过寒冷的冬季，春天气温升至 2~5℃时开始萌动，逐步发育为枝条，进入返青期。越冬期间根冠及休眠芽能耐-10℃，甚至-30℃的严寒（因品种而异）；若有积雪覆盖，在极端气温低于-40℃的酷寒地区亦可安全越冬。萌动~返青期苜蓿抗寒性下降，如遇-8℃以下的倒春寒，则将造成冻害。

### **生长年限和利用年限：**

在适宜的气候和土壤环境条件下，生长年限可长达数十年。在集约化生产条件下，通常利用 3~7 年，然后轮作其它作物。

## **2.7 刈割（农机配套）**

紫花苜蓿以刈割调制干草利用为主，或进一步加工成草粉或草颗粒；刈割直接青饲利用亦较常见；在调制干草较为困难的雨季可以刈割制作青贮；还可用于提取蛋白质。



图 2-7 紫花苜蓿刈割

生产干草、加工草颗粒、制作青贮和青饲的最佳刈割时期为初花期，生产草粉以现蕾至初花期为佳，而提取蛋白质则宜在分枝至现蕾期刈割。刈割留茬高度以 3~5 厘米为宜。

晴天刈割是获得优质干草的前提条件。避开阴天和雨天，选择 3~5 天连续晴天。阴天干燥速度慢，营养

物质损失数量大。如遭雨淋，则干草质量下降极大。最好采用具有茎秆压扁装置的割草机。压扁可加快茎秆的干燥速度，使茎秆和叶片的干燥进程趋于同步，可有效地减少因叶片过干而造成的落叶损失。

刈割后，先以草躺状态晾晒 0.5~1 天，使苜蓿含水量降至 40%~50%。草躺应均匀摊开，使苜蓿充分暴露在阳光下和空气中，并应考虑翻晒 1~2 次。当苜蓿茎秆开始萎蔫，叶子尚处于柔软状态时，应当用搂草机将草躺搂成草垄，以草垄状态进一步晾晒。草垄应尽量松散，以利于通风和透光。当苜蓿含水量降至安全贮藏水平（23% 以下）时进行捡拾打捆。含水量过高会导致发热或霉变损失，过低则会造成叶片过量脱落损失。

初花期刈割，苜蓿干草粗蛋白（CP）含量 18% 以上，酸性洗涤纤维（ADF）含量 35% 以下，中性洗涤纤维（NDF）含量 45% 以下，可消化干物质（DDM）含量 60% 以上，相对饲用价值（RFV）125 以上。

留茬高度：留茬高度可分：低茬（低于 4cm）、中

茬(5~7cm)、高茬(8~10cm),一般以中茬刈割为宜。为控制杂草可适当低茬刈割,但留茬过低,特别是齐地面刈割,不但影响下茬生长,也影响越冬和苜蓿的利用年限。越冬前的最后一次刈割以高茬为好,以利越冬,但留茬过高会降低当茬产量。就当茬而言,若留茬4cm的产量为100%,则留茬8cm和12cm的产草量分别下降12.6%和24.3%,也就是说,留茬每高出1cm,产草量则减少2~3%。

## 2.8 干草调制(搂草打捆装载农机配套)



图 2-8 机械搂草

一般用自然干燥法，即晾晒：刈割后翻动晾晒，含水量至 50%左右时集成小垄或小堆；含水量降至 20—25%时（可折断）打捆；含水量降至 20—25%时（可折断）打捆；含水量降至 14—17%时可堆垛或入草棚安全储存。烘干法，一般多在自然干燥难于进行的地方，如多雨地区；或需要快速干燥时。

高密度打捆，当含水到 12—14%时，用双高压打捆机进行压缩打捆，规格 30×40×55cm。高密度打捆主要是缩小体积，便于保存和运输。打捆后用封塑包装，可长期保存。



图 2-9 紫花苜蓿打捆



图 2-10 紫花苜蓿打捆后

密度要求：干草捆  $350-400\text{kg}/\text{m}^3$ ，重量  $30-40\text{kg}/$ 捆；草块、草饼的密度  $500-900\text{kg}/\text{m}^3$ 。

质量要求与检测：肉眼观测，主要看收获阶段，叶量保存程度，颜色（绿度），味道，有无异物。营养成分分析，主要是蛋白质含量，一般不低于 17%。



图 2-11 紫花苜蓿人工和机械装载

### 第三章 时针式喷灌机基本知识和应用



优质牧草—紫花苜蓿时针式喷灌

### 3.1 时针式喷灌机概述

20 世纪 50 年代初，美国人发明了时针式喷灌机（center pivot sprinkling machine）。早期以液压驱动和水力驱动为主，1965 年出现电力驱动时针式喷灌机。此后，时针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。



图 3-1 大型时针式喷灌紫花苜蓿

由于时针式喷灌机自动化程度高、灌溉质量好、单机控制面积大，尤其是圆形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。时针式喷灌机的喷水管由一节一节的薄壁镀锌钢管连接而成，其上按一定要求布置有许多低压喷头。主要适用于大面积的农业灌溉。它具有经济、高效、坚固耐用和操作简便的特点。长长的、多跨式连接臂围绕着自身固定的中心圆形旋转，循环灌溉土地，根据跨的数目和长度，直径可高达 1200 米长。

时针式喷灌机工作时，由固定式或移动式输水管给水栓送水，也有的就在支轴中心处打机井，直接由水泵抽取机井中的水供水。压力水由中心支轴下端进入，经支管到各个喷头喷洒到田间，驱动机构带动各塔架的行走机构，使整个喷洒支管绕中心支轴作缓慢的转动，实现行走喷洒。

时针式喷灌机与其他喷灌设备和喷灌系统相比，时针式喷灌机主要有以下优缺点。

### **优点：**

(1) 时针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) 时针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) 时针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。

#### **缺点：**

(1) 如果不采用地角装置，时针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。

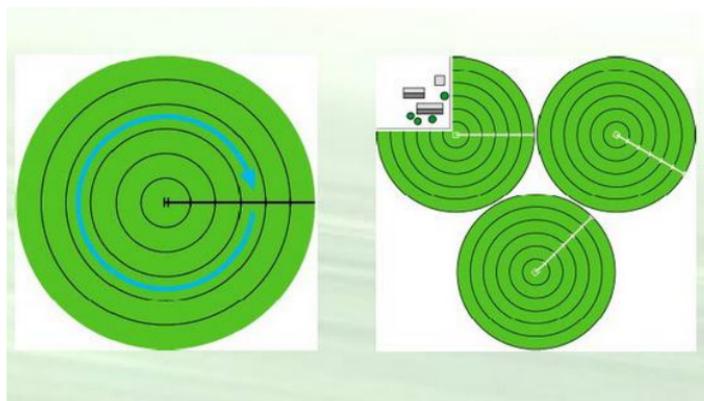


图 3-2 时针式喷灌地角未能灌溉

(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  $100\text{mm/h}$ ；采用射程较小的散射喷头时，该值通常大于  $150\text{mm/h}$ 。

(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，甚至需要将时针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，时针式喷灌机通常应灌溉较大的地块。如果灌溉小地块，采用时针式喷灌机可能不经济。

### 3.2 时针式喷灌机主要机型和参数

#### 国外时针式喷灌机：

国外生产时针式喷灌机的厂商较多，仅美国就有 Lindsay 公司、Valmont 公司、Reinke 公司、T-L 公司、Lockwood 公司等，其它如奥地利的 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。上述公司中，当属美国公司的综合实力最强，技术力量最雄厚，其产品规格多、功能强、整机综合技术性能最先进。上述生产厂商大都在我国设有代表处，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海外的生产基地加工。

### (1) 美国 Valmont 时针式喷灌机部分型号和参数：



图 3-3 美国 Valmont 时针式喷灌机

表 3-1 时针式喷灌机型号和参数

项目	DYP-145	DYP-205	DYP-265	DYP-325	DYP-385	DYP-445	DYP-505
长度 (m)	145	205	265	325	385	445	505
面积 (亩)	99	198	330	500	697.5	933	1200
最大流量 (m <sup>3</sup> /h)	56	106	156	176	210	240	278
每圈时间 (h/r)	4.72	7.08	9.45	11.8	14.16	16.52	18.88
跨距 (m)	50/60						
末端压力 (Mpa)	0.15/0.2						
均匀系数 (%)	≥90						
降雨量 (mm/h)	5.21-52.1						
电机功率 (kw)	0.55						
轮胎型号	14.9-24						

(2) Reinke 时针式喷灌机部分型号和参数:



图 3-4 Reinke 时针式喷灌机

表 3-1 时针式喷灌机型号和参数

控制面积 (亩)	控制半径 (米)	跨架长度 (米)	跨数	悬臂类型	设备选型			
					VXP 193	VXP 168	VXP 141	VXP 127
50	103.5	48	2	8m	主管道最大流量 345m <sup>3</sup> /h	主管道最大流量 255 m <sup>3</sup> /h	主管道最大流量 175 m <sup>3</sup> /h	主管道最大流量 125 m <sup>3</sup> /h
100	145.7	61	2	28m				
200	204.6	61	3	21m				
300	252.8	61	4	8m				
400	293.5	55	5	21m				
500	327	61	5	21m				
600	355	55	6	28m				
700	388.2	61	6	21m				
800	409.5	55	7	28m				
900	436.4	61	7	8m				
1000	464	55	8	28m				
1200	504.5	55	9	14m				

### 国内时针式喷灌机：

我国时针式喷灌机技术的研究开始于 1976 年，经历了起步阶段，引进关键部件阶段；完善提高和稳妥推广阶段；技术创新和产业化阶段(1998 年至今)。在国内规模以上生产大型喷灌机的厂商有 10 余个，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。有河北沧州华雨、江苏天水灌排、山东

华泰保尔、北京现代农装、宁波维蒙圣菲等公司的产品。



图 3-5 江苏天水灌排时针式喷灌机

(1) 宁波维蒙圣菲 DYP 时针式喷灌机

表 3-3 时针式喷灌机型号和参数

型号 Model	DYP-560
喷灌机长度 System Length (m)	560
跨距 Span Length (m)	62、56
灌溉面积 Irrigation Area (ha.)	98.47
最大流量 Suitable Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	310
末端工作压力 End Pressure (MPA)	0.15
每圈最快运行时间 Maximum Rotation Rate (h/r)	21.1
运行电机功率×数量 Gear Motor Power (KW)	1.1kw ×9sets
轮胎规格×数量 Tire Size	14.9-24×18 sets
降雨量 Rainfall (mm/h)	5.2-52
喷头数量 Quantity of nozzles (set)	200
喷洒均匀系数 (%)	≥85



图 3-6 维蒙圣菲时针式喷灌机

(2) 北京现代农装时针式喷灌机

表 3-4 时针式喷灌机型号和参数

型号	DYP-258	DYP-326	DYP-345	DYP-400	DYP-455	DYP-460
系统长度(m)	258	326	345	400	455	460
塔架数	4	5	6	7	8	8
流量(m <sup>3</sup> /h)	100	120	130	160	180	180
桁架高度(m)	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
面积(亩)	313	500	560	753	975	1000
每圈时间(h/r)	5.9	7.8	8.4	14.9	17.6	17.25
跨距(m)	55.0、60.8					
悬臂长度(m)	15					
末端最小压力(MPa)	0.10~0.15					
降雨量(mm)	5.21					
均匀度(Cu)	≥86%					
爬坡能力	20%					
功率(kW)	0.55					



图 3-7 现代农装时针式喷灌机

### 3.3 时针式喷灌机主要组件

时针式喷灌机由中心支轴轴座、喷洒系统、桁架、塔车、轮胎、驱动装置等几部分构成。它是一种常见的大田节水增产机械。现代农业普遍应用节水灌溉技术，喷灌机的种类也得到发展，不同的喷灌机适用于不同的地块。下面介绍一下时针式喷灌机的主要组件：

#### (1) 中心塔

起固定作用，可以抵抗恶劣室外环境。锚固在混凝土基座上，能很好地吸收消化掉由于机器在不平整的土

地上运转而产生的作用力。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。

## (2) 行走电动机

设备的驱系统，国际上使用的多为防水外壳，双向传动系统。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  $1.1\sim 1.5\text{kW}$ ；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  $0.55\sim 0.75\text{kW}$ 。



图 3-5 中心塔



图 3-6 行走电机

### (3) 主管道材质

一般为镀锌薄壁钢管，也有外面涂漆的，壁厚 $\geq 3\text{mm}$ ，在寒冷地区使用双面焊接对于延长设备的使用寿命作用很大。

### (4) 设备入口工作压力

整个设备配备低压喷头，设备中心入口处的压力一般为 2.0 巴—2.5 巴。

### (5) 中心支点和桁架

多为热浸镀锌高强度钢材。由于各跨桁架之间采用柔性连接，所以时针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,那种认为时针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,就可以采用时针式喷灌机进行灌溉作业。

### (6) 地隙

设备下拉筋和地面的高度称为地隙,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,如果灌溉的作物为牧草等矮秆作物,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。

### (7) 减速机

设备的传动系统,机体和齿轮为铸铁。螺栓高强处

理,大直径中轴 2"1/4,圆锥轴承可以安装大直径齿轮。内部装有润滑膨胀室。

### (8) 主控箱

对整个设备起控制作用,屏幕显示运行状态,实时监测,故障定位报警等功能。其控制器一般有以下功能:水压过低或停机时控制器自动关闭喷灌机和水泵;启动喷灌机时自动开启水泵;调节喷灌机的运行速度和灌水量;灌溉时控制器能使喷灌机自动回转或停机;控制箱面板能显示喷灌机运行故障原因。



图 3-6 减速机



图 3-6 主控箱

### (9) 跨连接

目前用得比较多的为柔性万向节连接,该接头具有

密封性好，坡限大的优点，橡胶套密封在钢套内，避免了橡胶套过早的老化，延长使用寿命。

### (10) 灌水均匀度

时针式喷灌机最大的优点之一就是灌溉均匀度高，灌溉均匀度一般都在 90% 以上。

### (11) 喷头

时针式喷灌机所配喷头均为低压喷头，工作压力在 2.0 以下，目前使用比较多的尼尔森低压旋转喷头 R3000 和 D3000。



图 3-6 R3000 旋转喷头



图 3-6 柔性万向节

## 3.4 时针式喷灌机安装与调试

时针式喷灌机零部件多、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，我国还没有时针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。

### (1) 安装前应具备的条件

喷灌机安装前，应具备以下条件：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；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；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；喷灌机的所有零部件已运抵现场，并完好无损。

### (2) 安装所需的设备、仪表及安装准备

吊装设备 1 台。小型短途运输工具 1 台；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；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。

### (3) 中心支座组合

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。将上、中、下横梁和斜梁与立柱相连。安装柔性接头。安装定点停机装置。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。安装主控制箱支架，并将主控制箱安装在支架上。将所有连接螺栓紧固。将 V 型密封圈安放在支轴管内的密封槽里，其开口应向下。将电缆管插入支轴管内。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。将电缆管的一端从支轴管孔引出，并用压紧螺母固定。将集电环拧在电缆管的另一端。在安装支轴弯管和球形接头时，安装一块支撑板。将带有分线盒的电缆管安装在集电环上。

### (4) 桁架安装

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。将所有输水管转到喷头座向上的位置，并用木块垫平。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。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。安装各个 V 型支撑，但此时螺栓不要拧紧。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。用吊车在桁架输水管的中部将其吊起，中部离地 1.5m 左右。安装横支撑、固定拉筋和调整拉筋。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。将连接桁架的所有螺栓拧紧。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。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。



图 3-7 桁架安装

#### (5) 塔架车安装

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。安装车轮减速器固定框架和车轮,此时螺栓不要拧紧。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。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。各个部位安装合适后，拧紧所有螺栓。

### (6) 喷灌机总装

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。

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。

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。

### (7) 喷头和压力调节器

安装喷头时，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。



图 3-8 喷头安装

### (8) 接线调试

每根电缆线内共有十根不同颜色的线，每根线代表

意义不同：黑色线、红色线、蓝色线为动力线。紫色与深橙色线为安全回路线。黄色与绿色线控制各电机正反转。浅橙色线为机器行走速度百分率线。白色为零线。花线为备用线。

喷灌机安装后，能否正常运行，关键在于喷灌机的同步调整。由同步调整机构可知，喷灌机的同步，是由控制杆带动控制盒内的凸轮，凸轮拨动微动开关来实现的。微动开关控制交流接触器动作，交流接触器控制驱动电机的运转，通过一、二级减速器减速，使喷灌机同步运行。喷灌机安装后，应使整个喷灌机处于一条直线上，并把控制杆按要求装上。转动调节螺母，使凸轮压向运行微动开关，直到听到“咔”的响声，表示微动开关已动作，即常开触点闭合，然后再小心地反向转动此螺母约 1-3 圈，并锁紧，然后拧紧旋转轴螺母与定位螺栓。而后可用左手握住控制杆，以均力沿水平方向推拉控制杆，来回均能听到“咔”“咔”的响声。若不能，则微动开关位置需微调。若只能在推的过程中听到动作

的声音，而拉的时候却听不到动作声音，则表明凸轮与微动开关的间隙过小，需要重新调整；反之，则说明凸轮与微动开关的间隙过大，需重新调整。

### **3.5 时针式喷灌机的微调与操作**

#### **(1) 使用前的检查**

检查各部件连接处的螺栓紧固情况；检查各部件是否有漏、错装处；检查电控系统接线是否正确、可靠；检查各塔盒内的调整凸轮和微动开关的相对位置是否正确，交流接触器的触头表面是否良好；检查柴油机、发电机、水泵是否符合规定要求；检查轮胎的气压是否充足。

#### **(2) 开机前的调整**

开机前先将已调试的机器认真检查一遍。确定所有部件正常无误即可启动喷灌机正向运行。在运行过程中，若发现某塔架车滞后，需要重新调整该塔盒内的同步调整机构。调整方法：松开旋转轴螺母(但不全部松开)和调整螺栓螺母，拧紧调整螺母，每次调整 1-3 圈，

直到该塔架车在运行中和其他塔架车基本保持在一条直线上为止。

### (3) 喷水后的调整

喷灌机在喷水过程中，如发现塔架车不同步现象，即要停机，需要重新调整。调整方法和喷水前相同，直到达到同步为止。如不受外力，处于自然状态。喷灌机长期停止运行后，在使用前，应按上述方法重新调整后方可使用。

### (3) 行走轮的调整

喷灌机运行前需要对行走轮进行调整。调整时将行走梁底部调整板 M10 的螺母松开，使调整板移动，当行走轮与行走梁平行时，再拧紧调整螺母。

### (4) 喷头的调整

喷灌机正常运行后，喷头随即喷水。若压力调节器或喷嘴有堵塞应立即清理。

### (5) 喷灌机的启动

启动水泵，打开闸阀供水，同时供电。为防止水锤，

开始抽水时，要注意闸阀稍开启即可，当输水管充满水后，再全部打开闸阀，直至所有喷头喷水正常。

检查入机压力，而其压力大小由闸阀控制。按照喷灌作物降雨量的要求，调节百分率时间继电器，按照运行方向，选定方向转换开关。

将电压调到 400-420V。按启动按钮，使喷灌机运行。同时观察各相电压情况是否正常。

#### **(6) 喷灌机运行中的检查**

检查入机电压、频率是否正常，入机压力是否在规定的范围内；检查电机运转有否异声，电流是否正常；检查转动部件润滑情况。检查有无漏油、漏水；检查整机弓度是否在允许范围内，行走轮是否同迹。检查喷头喷水是否正常。

#### **(7) 停机后检查**

检查闸阀是否关闭。

#### **(8) 时针式喷灌机的保养**

表 3-1 时针式喷灌机保养项目

保养部位 & 保养项目		一次灌水后	260h	长期停放
时针式	1.所有的紧固件			*
	2.链锁的紧固	*	*	*
	3.管路连接处是否漏水	*	*	*
	4.支轴弯管和转动套的润滑		*	*
	5.中枢控制箱元件		*	*
桁架	1.连接处的紧固情况		*	*
	2.桁架连接处螺母是否松动		*	*
	3.法兰连接处是否漏水	*	*	*
	4.电缆有无损伤老化			*
	5.喷头喷水是否正常	*	*	*
	6.桁架间连接胶管是否漏水	*	*	*
塔架车	1.连接处的紧固情况		*	*
	2.轮胎压力		*	*
	3.行走轮的同迹情况		*	*
	4.减速器的润滑情况	*	*	*
	5.更换减速器润滑油			*

\*表示需要保养

### 3.6 时针式喷灌机日常使用和维护

#### (1) 使用前的准备

①采用三角皮带传动时，动力机主轴和水泵必须平行，皮带轮要对齐，中心距不得小于两皮带轮直径之和的两倍。当水泵和动力机相连时，应配共同底盘，采用爪型弹性联轴器，并注意动力机主轴和水泵的同轴度。

②水泵安装高度（以吸水池水面为基准）应低于允许水吸上空高的 1-2 米。作业位置的土质应坚实，以防崩塌或陷入地面。

③进水管路的安装要特别注意防漏气。滤网应淹没于水下 30 厘米左右。并与池底、池壁保持一定距离，防止吸入泥砂等杂质和空气。

④铺设出水管时，软管应避免与石子、树木等物体摩擦，避免车轮碾压和行人践踏，切勿与运行机件接触。管道在移动时，如是软管，则应卷成盘状搬动。硬管则应拆成单节搬运，禁止多节联移，以防损坏管子及接头。管道避免爆晒和雨淋，以防塑料管变形或老化。

⑤将喷架支撑在地面，喷架接头端面应尽量安置平稳，以便喷头转动均匀，后固定喷架，检查喷头和转向

机构转动是否灵活，拉开摇臂看其松紧是否合适，并在转动部位加注适量机油。然后将快速接头揩试干净连接好。

⑥起动机前检查泵轴旋转方向是否正确，转动是否均匀，不能有卡住、异声等现象。

⑦离心泵起动机前，应向泵内加水至进水管及泵体均充满水后，方可起动机。

## (2) 日常使用注意事项

①如水泵起动机3分钟未出水，应停机检查。

②水泵运行中若出现不正常现象（杂音、振动、水量下降等），应立即停机，并注意轴承温升不可超过75℃。

③观察喷头转动有无不均、过快或过慢甚至不转动现象，转向是否灵活，有无异常现象。

④应尽量避免引用泥砂含量过多的水进行喷灌，否则水泵叶轮和喷头的喷嘴易磨损，并影响作物生长。

⑤对不同的土质和作物，需更换喷嘴。调整喷头

转速时，可通过拧紧或放松摇臂弹簧来实现。也可转动调位螺钉来调整摇臂头部的入水深度和控制喷头转速。调整反转的位置可改变反转速度。

⑥ 喷头转速较好的标志是：在不产生地表径流的前提下，尽量采用慢的转动速度，一般小喷头为 1-2 分钟/圈，中喷头 3-4 分钟/圈，大喷头 5-7 分钟/圈。

### **(3) 机组保养**

① 对机组松动部位应及时紧固。

② 对各润滑部位要按时润滑，确保润滑良好和运转正常。

③ 机组的动力机、水泵的保养，应按有关使用说明书进行。

④ 机组长时间停止使用时，必须将泵体内的存水放掉，拆检水泵、喷头，擦净水渍，涂油装配，将进出口机件包好，停放在干燥的地方保存。管道应洗净晒干（软管卷成盘状），放置在阴凉干燥处。切勿将上述机件存放在有酸碱和高温的地方。

⑤机架上的螺纹（或快速接头）和易锈部位应涂油妥善存放。

### **(3) 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。

## **3.7 喷灌机的常见故障及排除**

时针式喷灌机的常见故障及排除方法如下：

### **(1) 故障 1**

**故障现象：**

当将方向开关扭向正向或反向运行、按下启动按钮时，运行信号灯不亮，喷灌机不运行，听不到触头通断声音，电流表无指示。

### **排除方法：**

拧紧接触不良的熔断器或更换已熔断的保险管；修理或更换接触不良的相应触头；修理或更换运行接触器的接触不良触头，也可将相应导线换接在其闲置触头上。

## **(2) 故障 2**

### **故障现象：**

当方向开关扭向正向或反向运行、按下启动按钮时，喷灌机运行，而松开启动按钮后，则停止运行

### **排除方法：**

观察电流表读数，每个数值代表一个塔架；如指针指示在 1，表明第 1 塔架出现了故障，该塔架盒内的热继电器 RJ1 或安全开关 AK1 动作；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。

### **(3) 故障 3**

#### **故障现象：**

当方向开关扭向正向或反向运行、连续、断续开关扭向断续位置、按动启动按钮时，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

#### **排除方法：**

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。排除车轮打滑故障；更换某塔架盒内接触不良的端子板；拧紧接触器线圈上的松动螺栓或更换烧损的线圈。

### **(4) 故障 4**

#### **故障现象：**

喷灌机运行中自动停机

### **排除方法：**

重新调整过雨量保护时间继电器整定时间，一般为4min；观察电流表读数，判定出现故障的塔架车，并予以修复；重新调整安全微动开关与凸轮之间的相对位置；修理或更换损坏的百分率计时器；排除车轮打滑故障；修理或更换接触不良的端子板；更换烧损的接触器线圈或触头；查找热继电器动作的原因，并手动复位。

### **(5) 故障 5**

#### **故障现象：**

连续、断续开关 3K 扭向断续位置时，末端塔架车不运行。

#### **排除方法：**

修理或更换百分率计时器。

## 第四章 时针式喷灌紫花苜蓿高效节水灌溉制度



紫花苜蓿时针式喷灌

## 4.1 紫花苜蓿需水量和需水规律

### (1) 紫花苜蓿需水量

作物需水量：生长在大面积上的无病虫害作物，土壤水分和肥力适宜时，在给定的生长环境中能取得高产潜力的条件下为满足植株蒸腾、棵间蒸发、组成植株体所需要的水量。



图 4-1 时针式喷灌紫花苜蓿

在实际中由于组成植株体的水分只占总需水量中很微小的一部分，一般小于 1%，而且这一小部分的影响因素较复杂，难于准确计算，故人们均将此部分忽略不计，即认为作物需水量就等于植株蒸腾量和棵间蒸发

量之和，即“蒸发蒸腾量”。

作物需水规律随作物种类、品种、土壤、气候、生产力水平等诸多因素而变化，目前确定作物需水量的方法很多，可以分为两大类，一是直接计算法；另一类是间接计算法。该研究采用直接计算法中的水量平衡法，这是一种常用且比较成熟的计算作物需水量的方法。

水量平衡法的计算公式：

$$ET = \sum_1^n (w_t - w_0) * 666.7 / 100 * s * d + M + P_0 \quad (4-1)$$

式中：ET—时段内作物田间需水量；

$W_0$ —时段前土壤含水率（重量百分比）；

$W_t$ —时段末土壤含水率（重量百分比）；

s—对应土层土壤容重；

d—对应土层土壤厚度；

M—时段 t 内对应土层的有效灌水量；

$P_0$ —时段 t 内对应土层的有效降雨量。

根据试验观测资料 2012 年（丰水年）鄂托克前旗

紫花苜蓿需水量见表 4-1。

表 4-1 紫花苜蓿需水量

年份	作物	生育期天数 (d)	需水量 (mm)	需水强度 (mm/d)
丰水年	紫花苜蓿	172	456.73	2.66

## (2) 紫花苜蓿需水规律

紫花苜蓿为多年生豆科牧草，根据试验观测资料在鄂托克前旗紫花苜蓿在种植的第一年只能收割一茬，其需水规律为：苗期的需水强度最小，在 1 mm/d~2 mm/d，到拔节和分枝期逐渐增大到 2 mm/d~3mm/d，紫花苜蓿需水强度的高峰期出现在气温较高的开花期，到 3mm/d~4mm/d。

紫花苜蓿从种植的第二年开始可收割三茬，第一、第二和第三茬紫花苜蓿在整个生育期需水强度总的变化趋势是一致的，在返青期需水强度最小，在 1mm/d~2mm/d，到拔节和分枝期逐渐增大到 2 mm/d~4mm/d，苜蓿需水强度的高峰期出现在初花期，在 3mm/d~5mm/d。分枝期和开花期是紫花苜蓿生长对水分最敏感

的生育期，也是灌水关键期。

## 4.2 紫花苜蓿高效节水灌溉制度

紫花苜蓿灌溉制度与粮食作物等不同，其以茎叶生产为目的，在有限水量条件下追求地上最大生物量。紫花苜蓿灌溉制度是指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。

### 4.2.1 灌溉制度设计基本参数

#### (1) 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%。

#### (2) 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 $\eta_p$ 表示。影响因素主要有

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：

风速低于 3.4m/s,  $\eta_p=0.8\sim 0.9$ ；风速为 3.4~5.4m/s,  $\eta_p=0.75\sim 0.8$ ；当风速大于 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。

### (3) 设计灌溉水利用系数

$$\eta = \eta_p \times \eta_G \quad (4-2)$$

式中： $\eta$ ——灌溉水利用系数；

$\eta_p$ ——喷洒水利用系数；

$\eta_G$ ——管道系统水利用系数，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取 1。

## 4.2.2 推荐灌溉制度

### (1) 灌溉定额

$$\text{计算公式：} m = E - P - W_{\text{地}} - W_0 - W_1$$

式中： $m$ ——生育期灌溉定额 ( $\text{m}^3/\text{亩}$ )；

$E$ —作物需水量 ( $\text{m}^3/\text{亩}$ );

$P$ —生育期有效降雨量 ( $\text{m}^3/\text{亩}$ );

$W_0-W_1$ —播前及期末土层内储水量 ( $\text{m}^3/\text{亩}$ );

$W_{\text{地}}$ —地下水补给量 ( $\text{m}^3/\text{亩}$ )。

其中, 生育期有效降雨量测定值为  $213.75 \text{ m}^3/\text{亩}$ , 地下水补给量  $W_{\text{地}}$ 采用负压计测定值为  $37.02 \text{ m}^3/\text{亩}$ , 土壤储水量变化量实际测定值为  $19.14 \text{ m}^3/\text{亩}$  (2012 年试验数据)。计算紫花苜蓿灌溉定额结果, 详见表 4-2。

表 4-2 紫花苜蓿灌溉定额计算表 单位:  $\text{m}^3/\text{亩}$

年份	作物	需水量	有效降雨量	土壤储水量变化量	地下水补给量	灌溉定额
丰水年	紫花苜蓿	304.49	213.75	19.14	37.02	146.90

## (2) 推荐灌溉制度

2012 年项目组在鄂托克前旗开展了紫花苜蓿时针式喷灌灌溉制度试验, 根据测定的气象、土壤参数、含水率、灌水和产量等试验资料得出丰水年紫花苜蓿时针式喷灌推荐的灌溉制度。

表 4-3 紫花苜蓿推荐灌溉制度

年份	牧草	灌水日期	灌水定额 (m <sup>3</sup> /亩)	灌水次数 (次)	灌溉定额 (m <sup>3</sup> /亩)
丰水年	紫花苜蓿	5-9、7-6、7-22、 8-15、9-18	30	5	150

推荐的喷灌灌溉制度为紫花苜蓿全生育期灌水 5 次，灌水定额为 30m<sup>3</sup>/亩，灌溉定额为 150m<sup>3</sup>/亩。该灌溉制度的灌水次数为 5 次，比牧民实际的灌水次数多了 1 次，但灌溉定额基本相同，而比牧民实际的产量高 182.3kg/亩，通过调整灌水定额、灌水时间和灌水次数，推荐的灌溉制度比实际的灌溉制度更合理。

## 4.3 紫花苜蓿时针式喷灌工作制度

### 4.3.1 工作制度设计基本参数

时针式喷灌机工作制度设计基本参数应除了对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强度、喷灌均匀度和雾化指标等进行符合。

#### (1) 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，时针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，时针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 4-4 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

**表 4-5 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

## (2) 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。时针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。



图 4-2 时针式喷灌紫花苜蓿（无风时）

喷灌均匀系数可按下式计算：

$$C_u = 1 - \frac{\Delta h}{h} \quad (4-3)$$

式中： $C_u$  ——喷灌均匀系数；

$\Delta h$  ——喷洒水深的平均离差，mm；

$h$  ——喷洒水深的平均值，mm。

项目组在鄂托克前旗示范区对某品牌时针式喷灌机（142 亩）灌水均匀性开展了试验测定。

### 试验 1 测定结果：

在平均风速：2.6m/s，方向为东南风，喷灌行走速度 30%，理论降雨量为 12.67mm 的试验情境下，测定灌水均匀性结果见表 4-6 和图 4-3。

表 4-6 时针式喷灌试验 1 灌水均匀性测定表

雨量筒 编号	距圆心距离 (m)	雨量筒直径 (cm)	降雨量 (ml)	降雨量 (mm)
1	5	14.5	225	13.63
2	20	14.5	217	13.14
3	35	14.5	232	14.05
4	50	14.5	211	12.78
5	65	14.5	219	13.26
6	80	14.5	207	12.54
7	95	14.5	182	11.02
8	110	14.5	169	10.23
9	125	14.5	182	11.02
10	140	14.5	173	10.48
平均值				12.21

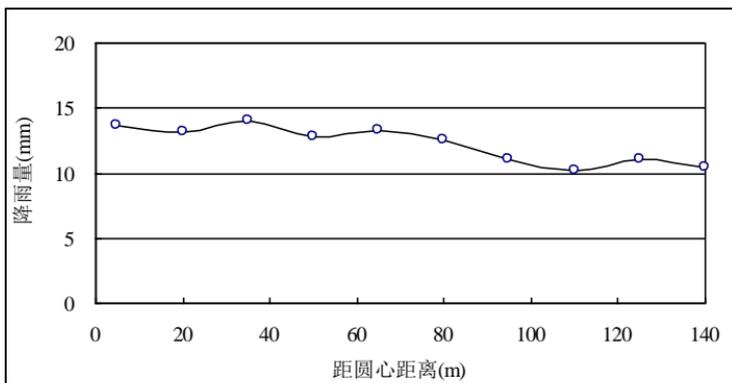


图 4-3 时针式喷灌试验 1 灌水均匀性测定结果  
试验 2 测定结果:

在平均风速: 2.1m/s, 方向为东南风, 喷灌行走速度 10%, 理论降雨量为 19.0mm 的试验情境下, 测定灌水均匀性结果见表 4-7 和图 4.4。

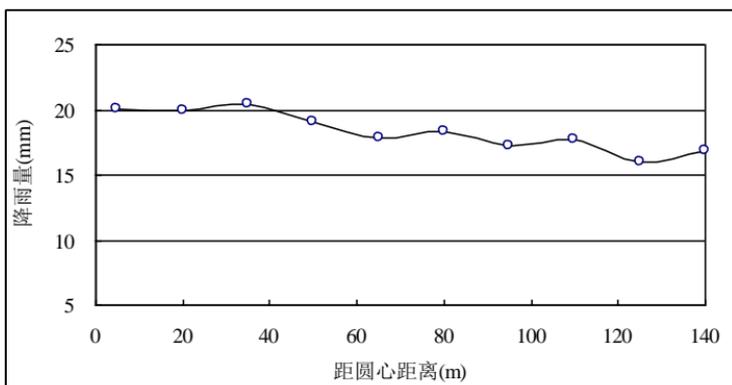


图 4-4 时针式喷灌试验 2 灌水均匀性测定结果

表 4-7 时针式喷灌试验 2 灌水均匀性测定表

雨量筒 编号	距圆心距离 (m)	雨量筒直径 (cm)	降雨量 (ml)	降雨量 (mm)
1	5	14.5	332	20.11
2	20	14.5	330	19.98
3	35	14.5	338	20.47
4	50	14.5	315	19.08
5	65	14.5	295	17.86
6	80	14.5	302	18.29
7	95	14.5	285	17.26
8	110	14.5	292	17.68
9	125	14.5	265	16.05
10	140	14.5	279	16.90
平均值				18.37

### (3) 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，公式为：

$$W_h = \frac{h_p}{d} \quad (4-4)$$

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 4-8。

表 4-8 不同作物的适宜雾化指标

作物种类	雾化指标 $W_h$
蔬菜及花卉	4000~5000
粮食作物	3000~4000
饲草料作物	2000~3000

### 4.3.2 喷灌机工作制度

#### (1) 喷灌机控制速度百分率

不同厂家、不同型号的时针式喷灌机的控制速度百分率、旋转 1 周时间及其对应的降水量均不同。制定紫花苜蓿时针式喷灌工作制度时除了要确认喷灌机的品牌和型号外，还要考虑作物本身的需求特性和土壤质地，鄂托克前旗示范区主要土壤类型为砂土，地面坡度较小，选取喷灌强度应在 10mm—20mm 较为适合。

表 4-9 维蒙特 8120 型喷灌机 (1000 亩)

序号	灌水量		控制速度百分率 (%)	旋转 1 周时间 (h)
	(mm)	(m <sup>3</sup> /亩)		
1	3.8	2.5	100	21
2	5.1	3.4	77	28
3	7.6	5.1	51	41
<b>4</b>	<b>10.2</b>	<b>6.8</b>	<b>39</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>12.7</b>	<b>8.5</b>	<b>31</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>15.2</b>	<b>10.1</b>	<b>26</b>	<b>83</b>
<b>7</b>	<b>17.8</b>	<b>11.9</b>	<b>22</b>	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>20.3</b>	<b>13.5</b>	<b>19</b>	<b>110</b>
9	22.9	15.3	17	124
10	25.4	16.9	15	138
11	31.8	21.2	12	172
12	38.1	25.4	10	207
13	44.5	29.7	9	241
14	50.8	33.9	8	276
15	63.5	42.3	6	345
16	76.2	50.8	5	413
17	88.9	59.3	4	482

表 4-10 维蒙特 8120 型喷灌机 (800 亩)

序号	灌水量		控制速度百分率 (%)	旋转 1 周时间 (h)
	(mm)	(m <sup>3</sup> /亩)		
1	3.6	2.4	100.0	10.4
2	5.1	3.4	70.0	15.0
3	7.6	5.1	47.0	22.4
<b>4</b>	<b>10.2</b>	<b>6.8</b>	<b>35.0</b>	<b>30.0</b>
<b>5</b>	<b>12.7</b>	<b>8.5</b>	<b>28.0</b>	<b>37.1</b>
<b>6</b>	<b>15.2</b>	<b>10.1</b>	<b>23.3</b>	<b>45.0</b>
<b>7</b>	<b>17.8</b>	<b>11.9</b>	<b>20.0</b>	<b>52.2</b>
<b>8</b>	<b>20.3</b>	<b>13.5</b>	<b>17.5</b>	<b>60.0</b>
9	22.9	15.3	15.6	67.0
10	25.4	16.9	14.0	74.3
11	31.8	21.2	11.2	93.0
12	38.1	25.4	9.3	112.0
13	44.5	29.7	8.0	130.0
14	50.8	33.9	7.0	149.0

表 4-11 维蒙特 8120 型喷灌机 (160 亩)

序号	灌水量		控制速度百分率 (%)	旋转 1 周时间 (h)
	(mm)	(m <sup>3</sup> /亩)		
1	1.7	1.1	100.0	4.4
2	2.5	1.7	64.8	6.8
3	5.1	3.4	32.4	13.6
4	7.6	5.1	21.6	20.4
<b>5</b>	<b>10.2</b>	<b>6.8</b>	<b>16.8</b>	<b>27.2</b>
<b>6</b>	<b>12.7</b>	<b>8.5</b>	<b>13.0</b>	<b>33.8</b>
<b>7</b>	<b>15.2</b>	<b>10.1</b>	<b>10.8</b>	<b>40.7</b>
<b>8</b>	<b>17.8</b>	<b>11.9</b>	<b>9.3</b>	<b>47.3</b>
<b>9</b>	<b>20.3</b>	<b>13.5</b>	<b>8.1</b>	<b>54.3</b>
10	22.9	15.3	7.2	61.1
11	25.4	16.9	6.5	67.7
12	31.8	21.2	5.2	84.6

**表 4-12 某品牌 DYP437 型喷灌机 (800 亩)**

序号	灌水量		控制速度百分率 (%)	旋转 1 周时间 (h)
	(mm)	(m <sup>3</sup> /亩)		
1	4.0	2.7	100	15.0
2	6.0	4.0	69	22.5
3	8.0	5.3	52	30.0
<b>4</b>	<b>10.0</b>	<b>6.7</b>	<b>41</b>	<b>37.5</b>
<b>5</b>	<b>15.0</b>	<b>10.0</b>	<b>28</b>	<b>56.2</b>
<b>6</b>	<b>20.0</b>	<b>13.3</b>	<b>21</b>	<b>75.0</b>
7	25.0	16.7	17	93.5
8	30.0	20.0	14	112.4
9	35.0	23.3	12	131.2
10	40.0	26.7	10	149.8

**喷灌机理论降水量与实测值对比测试 1:**

在平均风速: 2.6m/s, 风向为东南风, 喷灌行走速度 30%, 理论降雨量为 12.67mm 的试验情境下, 测定设备理论降水量与实测值的误差见表 4-13。

**表 4-13 某品牌喷灌机理论降水量与实测值对比 (142 亩)**

喷灌机参数	喷灌行走速度 (%)	喷灌连接压力 (Mp)	喷灌机总长度 (m)	理论降雨量 (mm)	与实测值误差 (%)
参数值	30	0.25	140	12.67	3.73

## 喷灌机理论降水量与实测值对比测试 2:

在平均风速：2.1m/s，方向为东南风，喷灌行走速度 10%，理论降雨量为 19.0mm 的试验情境下，测定设备理论降水量与实测值的误差见表 4-14。

表 4-14 某品牌喷灌机理论降水量与实测值对比（142 亩）

喷灌机参数	喷灌行走速度 (%)	喷灌连接压力 (Mp)	喷灌机总长度 (m)	理论降雨量 (mm)	与实测值误差 (%)
参数值	10	0.25	140	19.00	3.44

### (2) 对应灌溉制度的工作计划

确定了喷灌机控制速度百分率和相应的降水量范围，就可以根据制定的灌溉制度进行灌溉管理。如果灌溉制度中的灌水定额为 45mm，则可选定灌水深度为 15mm 的喷灌行走速度，连续灌水三次，达到灌水要求。而如果灌溉制度中的灌水定额为 30mm，则可选定灌水深度为 15mm 的喷灌行走速度，连续灌水两次，达到灌水要求。