

时针式大型喷灌机 在大田作物灌溉中的技术应用

（网上技术讲座）

中国灌溉排水发展中心

2010 年 12 月

目 录

一、时针式大型喷灌机在我国应用的概况.....	1
二、应用的主要机型和工作原理及特点.....	2
1、我国应用时针式大型喷灌机的主要机型.....	2
2、时针式大型喷灌机的结构组成.....	3
3、时针式大型喷灌机的工作原理和特点.....	4
4、时针式大型喷灌机的优缺点.....	5
5、时针式大型喷灌机的适用条件.....	6
三、时针式大型喷灌机工程规划设计.....	6
1、规划和设备选型.....	6
2、供水和输水工程设计.....	7
3、田间工程设计.....	8
四、与时针式大型喷灌机喷灌配套的农艺技术措施.....	9
五、时针式大型喷灌机的管理技术措施.....	11
1、运行前应进行检查，并应符合下列要求.....	11
2、运行时的管理措施.....	11
3、作业结束后的管理措施.....	11
4、喷灌机拖移时应遵守下列规定.....	12
六、时针式大型喷灌机灌溉大田作物的效益.....	12
1、喷灌玉米.....	12
2、柴达木牧场喷灌马铃薯.....	13
3、内蒙古察右后旗喷灌马铃薯和红萝卜等.....	14
七、时针式大型喷灌机工程典型设计案例——内蒙古锡林浩特沃原奶牛场万亩饲 草料基地喷灌工程设计.....	15
（一）基本情况.....	15
（二）工程设计.....	16

(三) 施工要点.....	23
(四) 投资.....	27
(五) 效益.....	29
八、时针式大型喷灌机推广应用典型经验.....	29
1、甘肃省民采县沙漠马铃薯基地喷灌.....	29
2、内蒙马铃薯喷灌.....	30
3、内蒙古察右后旗当郎忽洞苏木喷灌马铃薯和红萝卜.....	31
九、时针式大型喷灌机灌溉大田作物存在的主要问题.....	33
1、规划设计时未充分考虑水资源平衡和环境评估.....	33
2、技术培训不够，不能正确操作机组.....	34
3、为降低设备投资，缺乏必需的配套设施与控制量测设备.....	34
4、与自然地貌、水源、土壤、农艺及种植作物不协调.....	35
5、过度依赖进口设备，增加生产成本，配件价高难买.....	35
十、发展时针式大型喷灌机喷灌的对策措施.....	36
1、科学合理的规划设计.....	36
2、强化农业生产综合配套技术.....	36
3、加强技术培训，发挥设备效益.....	37
4、完善农机购置补贴政策，支持国内大型喷灌机的产业化.....	37





一、时针式大型喷灌机在我国应用的概况

时针式喷灌机（也称中心支轴或圆形喷灌机，农民也称为“喷灌圈”）是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械。时针式大型喷灌机在我国大田作物灌溉中的应用技术是为了扩大单机控制面积，解决大块农田和草场所存在的生产效率低、劳动强度大、单位面积投资成本高的问题而发展起来的，它经历了起步、攻关、完善提高的曲折发展历程，如今已经走过了 20 多年的历程。目前以时针式喷灌机为主的大型喷灌机，在全国保有量约 5000 多台，主要分布在黑龙江、吉林、内蒙古、甘肃、新疆、河北、山东、北京、安徽等省(市、自治区)。灌溉着近 250 万亩的土地，经济效益显著。



图 1：时针式大型喷灌机

根据各地的实践，应用时针式大型喷灌机灌溉大田作物有以下优点：

(1) 提高农作物产量。喷灌时灌溉水以水滴的形式像降雨一样湿润土壤，不破坏土壤结构，为作物生长创造良好的水分状况；由于灌溉水通过各种喷灌设备输送、分配到田间，都是在有控制的状态下工作的，可以根据供水条件和作物需水规律进行精确供水。此外，喷灌还能够调节田间小气候，在干热风季节用喷灌增加空气湿度，降低气温，可以收到良好效果；在早春可以用喷灌防霜。实践表明，喷灌比地面灌可提高产量 15%~25%。

(2) 节约用水量。因为喷灌系统输水损失极小，能够很好地控制灌水强度和灌水量，灌水均匀，水的利用率高。喷灌的灌水均匀度一般可达到 80%~85%，

水的有效利用率为 80% 以上，用水量比地面灌溉节省 30%—50%。

(3) 具有很强的适应性。喷灌一个突出的优点是可用于各种类型的土壤和作物，受地形条件的限制小。例如，在砂土地或地形坡度达到 5%、地面灌溉有困难的地方都可采用喷灌。在地下水位高的地区，地面灌溉使土壤过湿，易引起土壤盐碱化，用喷灌来调节上层土壤的水分状况，可避免盐碱化的发生。由于喷灌对地形要求低，可以节省大量农田地面平整的工程量。

(4) 节省劳动力。由于喷灌系统的机械化程度高，不需要人工打埂、修渠，可以大大降低灌水劳动强度，节省大量的劳动力。比地面灌溉方式可以提高效率 20—30 倍。

(5) 提高耕地利用率。采用喷灌可以大大减少田间内部沟渠、田埂的占地，增加了实际播种面积，可提高耕地利用率 7%—15%。

二、应用的主要机型和工作原理及特点

1、我国应用时针式大型喷灌机的主要机型

我国目前应用的时针式大型喷灌机既有进口机型也有国产的机型。进口机型主要有维蒙特 (Valmot)、瑞克 (Reinke)、林赛 (Lindsay)、T-L、Irrifrance、Bauer 公司的产品。国产的有河北沧州华雨、北京现代农装、宁波维蒙圣菲等公司的产品。



图 2：左为 Bauer 喷灌机、右为现代农装喷灌机

2、时针式大型喷灌机的结构组成

（1）中心支轴轴座

是喷灌机的转动支轴，安装在灌溉面积的中心，可固定在钢筋混凝土基础上。支轴座中心的竖管，下端与井泵出水管或压力管道相连，上端通过旋转机构与旋转弯管连接。

（2）喷洒系统

喷洒系统由喷洒支管和安装在其上的喷头组成。喷洒支管一般采用直径125~200mm的薄壁镀锌钢管，长度一般为400m左右，用柔性接头与旋转弯头连接。支管上装有若干喷头，喷头种类可采用摇臂式或折射式；喷头的工作压力可采用高压或低压；喷头的流量随安装位置距中心支轴越远则越大。

（3）桁架

是组成喷灌机的基本单元，每个桁架的长度为25~40m，喷洒支管是桁架的组成部分。其中，水动时针式喷灌机采用钢索悬吊喷洒支管；电动时针式喷灌机则采用空间拱架支承喷洒支管。

（4）塔车

由塔架、行走轮和驱动系统等组成，既是桁架的支座，也是喷灌机的驱动部件。

（5）驱动装置

驱动装置有水动和电动两种，水动驱动装置是用水压缸产生的推力通过传动杠杆推动轮缘上的抓泥条使行走轮移动的；电动驱动装置是采用有过流过载保护的三相异步电动机，通过蜗轮蜗杆减速器或链轮，带动行走轮移动的。

（6）调节控制机构

包括速度调节机构和同步控制机构。速度调节机构的主要部件是安装在末端塔车上的速度调节阀（水动式喷灌机采用）或安装在喷灌机中心处主控箱内的百分率定时器（电动式喷灌机采用）。通过控制末端塔车的行走速度，从而控制整机的运行速度。同步控制机构安装在除末端塔车外的其它各塔车上。当末端塔车前进后，即形成了它和相邻塔车不在一条直线上的状态，这时同步控制机构动作，使相邻塔车同时向前移动，使各个塔车保持成一条直线向前缓慢移动。

（7）安全保护装置

有机械式和电气式两种。安全保护装置包括同步保护、过水量保护、刹车装置等。

3、时针式大型喷灌机的工作原理和特点

时针式喷灌机工作时喷灌机像钟表针一样围绕中心支轴旋转，沿管道布设的喷头同时喷洒，旋转一周可以灌溉一个半径略大于喷灌机长度的圆形面积。如图 3 所示。

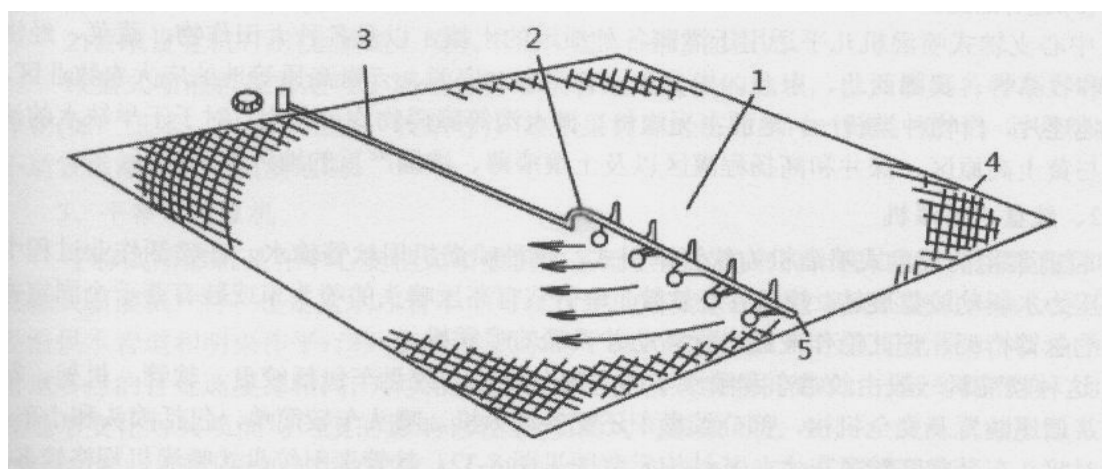


图 3：时针式大型喷灌机工作原理图

（注：1-自动行走的塔架车；2-转动中心；3-输水干管；4-末端远射程喷头控制范围；5-装有喷头的喷灌管道）

常用的喷灌机长度 400-500m，运行一周需 2-20 天，可灌溉面积 800-1000 亩。喷灌管道一般由桁架支承在塔架上，高出地面 2-3m，塔架间距一般 25-70m，塔架安装在电机或水力驱动的滚轮上。喷头按一定设计间距安装在喷洒支管上，早期多为摇臂式喷头。为了降低工作压力、节约能源，近年普遍采用折射式喷头，并降低安装高度，以减少风对喷洒的影响。如图 4 所示。



图 4：下垂安装的低压折射式喷头

时针式喷灌机的机械化和自动化程度高，可以不要人工操作而长期连续运行，生产效率高，并且喷洒支管上可以安装很多喷头互相重叠喷洒，提高了灌水均匀度。由于每个塔架上都装有驱动轮，爬坡能力强，可以适应起伏的地形。时针式喷灌机的灌溉范围是圆形，而地块一般是方形的，四个角落喷不到水。为了克服这一缺点，有时在塔架管道末端接一根角臂，在管道行至四角时，角臂自动伸出，以延长塔架管道长度对地角实施喷灌，当管道走出四边地角时，角臂又自动收回，以免与相邻的时针式喷灌机相碰。但由于角臂成本相对较高，在实际灌溉工程中使用得很少。

时针式喷灌机结构复杂，技术性较强，要求操作管理人员具备相应的专业知识。一台时针式喷灌机一般仅在一个位置上工作，为了提高喷灌机的利用率，有时也拖移转点作业，在多个位置上工作，但需预留拖移的道路。

4、时针式大型喷灌机的优缺点

（1）时针式大型喷灌机的优点

1) 自动化程度高：与地面灌溉相比可节省 90%以上的劳力，与其他喷灌机相比，可节省 25%-75%的劳力，能昼夜自动喷灌，一个人在中心控制室可同时操作 8-12 台喷灌机，喷灌上万亩土地，工作效率很高。

2) 灌水质量好：灌水定额可在 5-100mm 内调节，均匀度高，均匀系数可达 85%以上。

3) 能耗低、抗风能力强：可采用低压喷头并低垂安装，降低了能耗，提高

了抗风能力。

- 4) 适应性强：爬坡能力可达 30° ，几乎适宜所有的作物和土壤。
- 5) 一机多用：可结合喷施化肥与农药等，对于氮肥溶液有很好的喷施效果。

(2) 时针式大型喷灌机的缺点

- 1) 喷灌形状为圆形，对于方形地块地角漏喷，配备角臂系统成本高。
- 2) 喷灌范围内地面上不得有树木和其他障碍物。
- 3) 对备件和维修技术要求高。
- 4) 喷灌机远端喷头的喷灌强度较大，选配不当易产生地面径流。

5、时针式大型喷灌机的适用条件

时针式大型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，对于干旱缺水的浅丘区与黄土高原区，深井和高扬程灌区以及土壤瘠薄、渗漏严重、劳动力缺乏的地区效果更好。

时针式大型喷灌机应用的更大优势在于治理改造我国 3933 万亩已荒漠化的土地(其中包括 825 万亩沙漠)和 54 亿亩不同程度“三化”(沙化、碱化、退化)的天然草场。荒漠、沙漠和已“三化”的草场主要都集中在我国西部。西部国土面积占全国土地面积的 57%，居住着全国 23%的人口，而且全国绝大部分最贫困人口也集中在那里。无论从开发西部、保护环境、解决粮食安全问题的方面来看，还是从传统农业转变为现代大农业的生产需求来分析，时针式大型喷灌机在我国都具有极大的市场潜力。要发展农业规模经营，应用时针式大型喷灌机是必然趋势。

三、时针式大型喷灌机工程规划设计

1、规划和设备选型

时针式大型喷灌机一般是由机井或压力管道供水。进行水源工程规划时，应规划平面布置供水系统，如果是一个喷灌机灌溉两块地时，还应规划拖移喷灌机的机行道，用电网电源时，还应规划供电系统。

进行时针式大型喷灌机的灌溉规划时，首先要探明水源的水量能否满足多大喷灌面积的需求，水质情况是否符合灌溉标准。然后根据供水能力和发展喷灌的要求，选择适合的喷灌机型号。在选择机型时，还应考虑喷灌机的适应性，如地形坡度、土壤状况、灌溉作物，以及进行技术经济比较和分析计算。

2、供水和输水工程设计

按照选定机型的要求进行水源工程设计。当用机井供水时，井位设在地块的中心，即喷灌机的中心支轴处，在地下水丰富时，可通过地下输水管道，1眼机井可同时向2~3台喷灌机供水；在单井出水量较小的浅井区，也可以考虑用多井联合供1台喷灌机用水。在地下水利用困难的地区，也可以在河、湖、库等水源地建设泵站提水，用地下输水管道或明渠输水到喷灌机中心支轴处进行供水。

时针式大型喷灌机供水集中，都是在中心支轴处向喷洒系统供水，取水方式一般有以下三种：

(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。这要求灌区内有丰富的浅层地下水源及较大的给水度，单井出水量一般为80~200m³/h。目前，最常采用这种取水方式。



图 5：单机井向喷灌机供水



图 6：三井通过汇流罐向机组供水



图 7：四井通过汇流罐向机组供水



图 8：机井汇流入蓄水池供水

（2）由高压管网供水。在田间布置地下高压管网将有压水送到喷灌机的中心支轴处，无需自备加压水泵机组。供水点应能完全满足喷灌机对水压力与流量的要求，压力一般应达到 500~600kPa。

（3）由低压管网供水，是介于前两种之间的一种供水方式。将低压水通过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。对供水管网的抗压强度要求较低，但需增加加压机组。

3、田间工程设计

时针式大型喷灌机田间工程的布置方式一般如图 9 和图 10 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%，因此，采用三角形布置有利于提高土地利用率。如果采用带有角臂的时针式喷灌机喷灌，可以解决漏喷问题，提高灌溉土地利用率，但造价也相应提高。

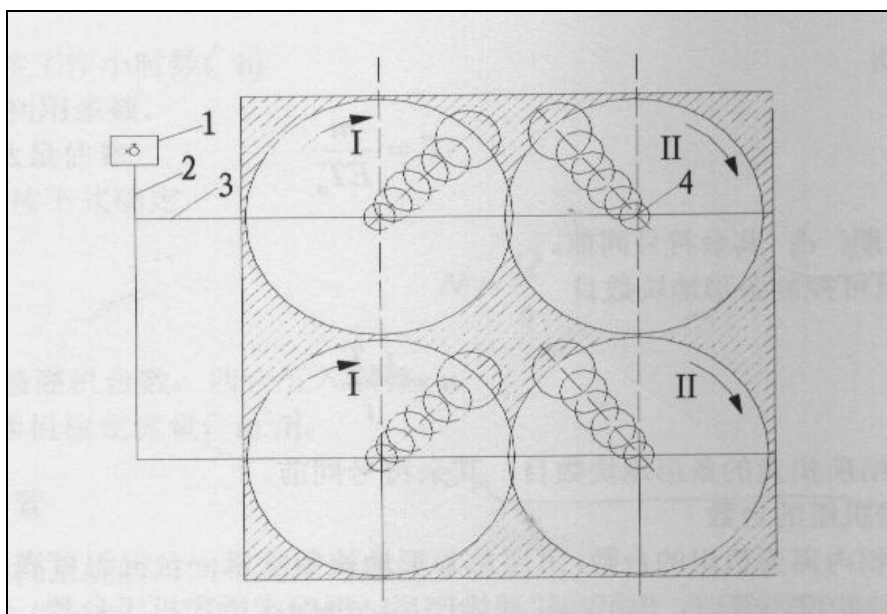


图 9：时针式喷灌机方形配置时的田间工程布置

（注：1-泵站；2-干管；3-分干管；4-中心塔架）

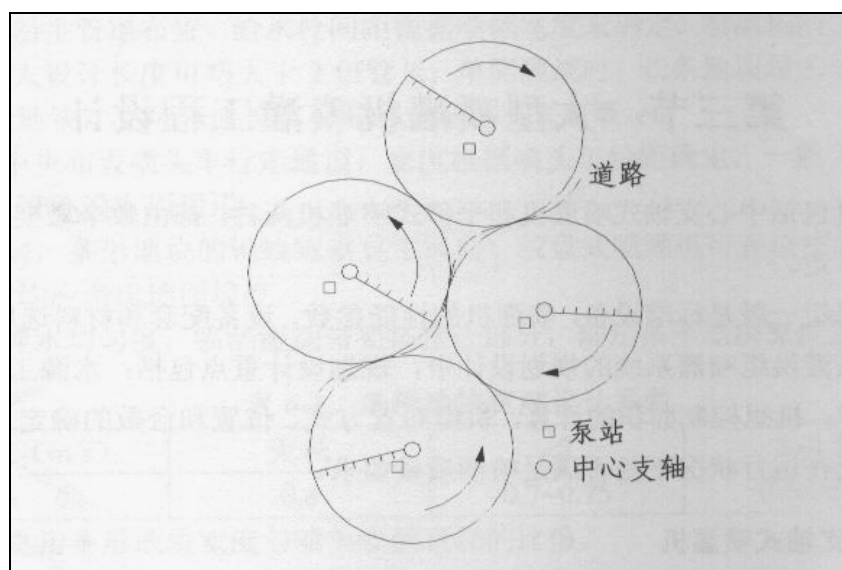


图 10：时针式喷灌机三角形配置时的田间工程布置

四、与时针式大型喷灌机喷灌配套的农艺技术措施

1 台时针式大型喷灌机控制的灌溉面积一般都在 400 亩以上，因此，需用农业机械按传统方式耕地、整地、施底肥、起垄、下种、喷药、收获等。



图 11: 施肥机械



图 12: 喷药机械



图 13: 马铃薯收获机



图 14: 马铃薯分检机

当种植马铃薯时，轮作方式可采用喷灌圈内一半面积种马铃薯，另一半面积种青贮玉米，来年轮换，或今年种马铃薯，来年种青贮玉米。按照马铃薯的需水规律，每年从4月中旬至8月底，喷灌约50天，喷灌机运行速度一般控制为2天转1圈。运行时应注意观察机组中心支轴处安装的压力表和机组运行情况，如压力不稳或下降或机组行走异常，应检查机电设备状况，进行适当调整，必要时停机检查。为向马铃薯叶面喷施叶肥，可在中心支轴附近开挖肥液池，将肥料和水拌匀并达到规定浓度后，用水泵机组将肥液通过中心支轴竖管预留的接口输入喷灌机管道中，实施喷肥。

五、时针式大型喷灌机的管理技术措施

1、运行前应进行检查，并应符合下列要求

- (1) 轮辙上无凹陷、突起以及可能影响喷灌机行走安全的障碍物。
- (2) 动力传动装置护套完整无损。
- (3) 同步控制装置动作灵敏可靠，同步角设置正确。
- (4) 百分率计时装置和过水量保护装置按设计灌水定额调整到位。
- (5) 塔架控制盒手动开关闭合，盒内的交流接触器和微动开关触点无明显灼痕。
- (6) 各塔架车驱动电动机旋转方向一致。
- (7) 塔架车动力传动轴联接牢固。
- (8) 轮胎气压符合要求。
- (9) 停车或自动返回控制装置按预定的灌溉计划调整到位。

2、运行时的管理措施

- (1) 喷灌机运行中应经常监视其工作状况，并应符合下列要求：
 - ① 机组进水口处工作压力在设计要求范围内；
 - ② 观测仪器仪表工作稳定、可靠；
 - ③ 转动部件运转平稳，无异常声音；
 - ④ 紧固件无松动；
 - ⑤ 密封处无泄漏；
 - ⑥ 喷头工作正常。
- (2) 喷灌机运行中各塔架车应按设置的同步角自动行进、停止。
- (3) 喷灌机运行时桁架和末端悬臂上的泄水装置应可靠密封，停机时应能自动泄空余水。
- (4) 气温低于 4℃时，不宜进行喷灌作业。
- (5) 运行中出现故障应及时停机，予以排除。
- (6) 施用化肥、农药后，应对管道进行清洗。

3、作业结束后的管理措施

- (1) 作业完毕，应排除管道内余水。
- (2) 作业完毕，应及时切断电动或电控喷灌机的电源。
- (3) 喷灌机长期停用，除应对配套零件进行维护外，还应符合下列要求：
 - ① 清除行走部件上的泥土、杂草等；
 - ② 对易锈蚀部位进行防锈处理。

4、喷灌机拖移时应遵守下列规定

- (1) 有专人指挥；
- (2) 喷灌机事先停放在拖移路线上；
- (3) 行走轮调整为拖移状态；
- (4) 牵引钢丝绳按要求连接、调整并紧固；
- (5) 拖移路线上无障碍物；
- (6) 拖移速度不宜超过 3km/h。

六、时针式大型喷灌机灌溉大田作物的效益

1、喷灌玉米

以天山农牧业机械有限责任公司生产的时针式大型喷灌机（DYP-325 型）为例，每台的价格是 26.5 万元，加上打井配套费用共投资需 30 万元，可以灌溉 500 亩面积的土地。按喷灌 500 亩玉米计算，1 亩玉米收 750kg，按每公斤 1.5 元计算，可收入 56.25 万元。扣除种地的投资：种子、化肥、机械、人工、地租、电费等，每亩需投资 700 元（见表 1），500 亩种地总投资 35 万元，可余利润 21.25 万元。两年即可收回投资。

表 1：喷灌玉米每亩地投资明细表

项目	金额(元)	说明
种子	20	2kg/亩、10 元/kg
化肥、农药	75	25kg/亩、3 元/kg
地租	400	
人工费	50	
机械费	115	
电费	40	175m ³ /亩
其他	0	
合计	700	

如果不用喷灌，按最好年景算每亩纯收入 150 元，500 亩地年的纯收入 7.5 万元，如果遇上早年很可能绝收，还得损失种子、化肥和耕作费。可见用喷灌比不用喷灌 500 亩可增收 13.75 万元，这样的话，两年半收回投资还有盈余。可见经济效益是很高的。此外，使用喷灌还能调节田间气候，增加空气湿度，防霜，对防止沙尘有很好的效果，能产生很好的社会效益。

2、柴达木牧场喷灌马铃薯

美国百事公司在内蒙绍根镇（原柴达木牧场）现在的百事农场内种植马铃薯有 4 年时间了，每年都在 3000-6000 亩之间，亩产马铃薯都在 3.5 吨以上。虽然由于采用了对环境条件的适应性强，对病毒病菌有较强的抵抗力，具有丰产特性的优良品种起了一定的增产作用，但主要还是应用了时针式大型喷灌机，使本来干旱少雨的土地获得丰产丰收。在马铃薯栽培中，不良的生长环境可造成病害，形成畸形薯、空心薯、次生薯、压伤擦伤薯等等，由于使用了时针式大型喷灌机通过改善当地的气候环境条件，使之尽量适宜于马铃薯生长的需要来减轻或杜绝病虫害的发生，即使发病也不会传染给下一代，危害不大；类菌原质体病害和线虫病害再发病轻；若选用脱毒种薯病毒病发病率也不会高，在自然隔离条件好的高海拔凉山区则更轻；但有些真菌、细菌性病害发病的环境条件极易形成，时针式大型喷灌机模仿自然降雨过程使得连片的土地形成气候湿润的小气候，更有利

于马铃薯的生长，从而达到了稳产高产的效果，在原本沙化的干旱的土地上创造了奇迹。取得的各项效益如下：

（1）经济效益：使用时针式大型喷灌机后，不用修渠筑埂节省土地、不用平整土地节省人力。将种植效益转化成为社会效益，才能获得更大的经济效益，起到真正地具有高起点、高标准、高科技、高效益的示范带动作用。

（2）节水节电效益：使用时针式大型喷灌机后，产生了明显的节水节电效益，提高了灌溉水利用率，改变了以往那种土渠大水漫灌，既浪费时间，又浪费水资源，耗费电力的现象，达到预期的节水目的。原灌溉年定额为 $400\text{m}^3/\text{亩}$ ，现灌溉年定额减少到 $175\text{m}^3/\text{亩}$ ，节水量为 $225\text{m}^3/\text{亩}$ ，节水率为 56%，节约电力 40% 以上。

（3）生态效益：使用时针式大型喷灌机后，可增加植被面积 500 亩，直接保护面积 600 亩。同时可使周边沙化、退化草场得到“休牧还草”。调节当地小气候，提高植被覆盖率，有利于作物的生长，有效地改善日益恶化的生态环境。

（4）社会效益：使用时针式大型喷灌机后，通过科学合理的开发利用水资源，提高灌溉水的利用率，减少了灌溉费用，缓解工业、农业、人民生活和社会各行各业用水的供需矛盾。又可增加牧民收入，使社会稳定因素增加。

3、内蒙古察右后旗喷灌马铃薯和红萝卜等

内蒙古察右后旗 2008 年统计，全旗从事喷灌圈种植的农户有 1850 户，0.65 万人，共 87 套喷灌圈，4.35 万亩种植面积。其中，以马铃薯种植为主，共 71 套，占总数的 81%，面积 3.55 万亩；其它 16 套，因作物轮茬，种植红萝卜、糖菜、葫芦、葱头、胡麻等作物，共 0.8 万亩。每亩马铃薯可增产 1000kg，按市场价每公斤 1.0 元计算，每亩增加收入 1000 元。综合计算马铃薯、红萝卜、糖菜、葫芦、葱头、胡麻等经济作物，喷灌圈每亩最低可增加收入 750 元，总收入 3262.5 万元，人均增收 5019.2 元。折算后，2008 年从事喷灌圈种植的农户人均收入可达到 8398 元。是全旗 2008 年农牧民平均收入 3620 元的 232%。由于喷灌圈种植发展不平衡，发展好的地区人均拥有喷灌圈种植面积 13.2 亩，数量少的地区也有 5.1 亩左右，拥有喷灌圈种植面积 13.2 亩的农户人均收入可达到 1.32 万元。

2009 年，时针式喷灌机新增 60 套，从事喷灌种植的农户有 2620 户，0.92 万人，7.35 万亩种植面积。其中，喷灌马铃薯种植的有 121 套，6.05 万亩，占喷灌圈总数的 81%；喷灌红萝卜、糖菜、葫芦、葱头、胡麻等农作物轮茬种植的有 11 套，0.55 万亩。按 2009 年市场价马铃薯每公斤 1.2 元预测，综合计算每亩最低可增加收入 800-900 元，总收入 6615 万元，人均增收 7190 元。折算后，2009 年从事喷灌圈种植的农户人均收入预测可达到 10570 元。比 08 年增收 25%。

杨贵村位于察右后旗当郎忽洞苏木最西端，与察右中旗乌素图镇接壤，紧靠乌科公路，是全旗新农村试点村之一。全村常住户数 131 户，人口 410 人。现有耕地 5500 亩。该区域地形平坦，土壤属沙壤土，地下水丰富，日照充足，空气干燥，昼夜温差大，具有独特的地理位置和气候条件，非常适宜红萝卜的种植。

2006 年，村主任组织 4 户农民首先在自家改造完的机电井上联户建起了第一套大型指针式喷灌圈，种植胡萝卜，当年受益 25 万多元。2007 年，村民又联户新建了 6 套喷灌机，并全部投入了运行。当年，喷灌圈内的红萝卜因品质好受到商贩青睐，亩均红萝卜纯收入达到 3000 多元，全村平均下来人均纯收入超万元，在大旱之年创下了奇迹，成了全旗第一个万元村。2008 年，该村又上 2 套喷灌圈。到 2009 年，全村共安装大型指针式喷灌 10 套，5500 亩耕地大型指针式喷灌圈覆盖 5000 多亩，占耕地面积的 90.9%。2008 年红萝卜产量是历史上最好的一年，喷灌圈红萝卜亩均 3000—4000kg，虽受红萝卜市场价格下滑影响，人均纯收入仍达 6300 元。2009 年，全村 5000 亩喷灌圈，种植红萝卜 3500 亩、马铃薯 1000 亩、甜菜 500 亩。通过订单农业的形式被山东客商全部以每公斤 1.3 元的价格收购了 2000 亩红萝卜，亩均收购价均在 2300-2700 元之间。加上马铃薯和甜菜的收入，人均收入突破了 1.41 万元。

七、时针式大型喷灌机工程典型设计案例——内蒙古锡林浩特沃原奶牛场万亩饲草料基地喷灌工程设计

（一）基本情况

内蒙古锡林浩特沃原奶牛场万亩饲草料基地位于内蒙古自治区锡林郭勒大草原中部的锡林浩特市，锡林郭勒盟地处中纬度西风气流带内，全盟多年平均降雨量 289mm，蒸发量 2640mm。锡林浩特市年均气温 1.7℃，平均日照 2877h，

平均风速 3.5m/s, 无明显主风向。平均无霜期 110 天。根据频率分析, 多年平均降雨量为 294.9mm, P=50%频率降雨为 287.6mm, P=85%频率降雨为 216.0mm。锡林浩特市平均海拔高度 988.5m。锡林浩特沃原奶牛场万亩饲草料基地地形根据实测, 为平整缓坡, 平均坡度 6.7%。土壤为砂壤土质地, 土壤干容重 $1.45\text{g}/\text{cm}^3$, 田间持水量 32%(对比: 天然草地土壤干容重 $1.50\text{—}1.60\text{g}/\text{cm}^3$, 田间持水量 25%), 土层 40~50cm 深处有白干土夹层。天然草地类型为典型干草原, 植被群落为针茅(主要为大针茅和克氏针茅)、羊草型。天然草地土壤肥力检测, 有机质含量 $2000\text{mg}/100\text{g}$ 土; 全氮、全磷、全钾含量分别为 $49\text{mg}/100\text{g}$ 土、 $128\text{mg}/100\text{g}$ 土、 $3191\text{mg}/100\text{g}$ 土; 速效氮含量 $0.51\text{mg}/100\text{g}$ 土、速效磷含量 $0.02\text{mg}/100\text{g}$ 土、速效钾含量 $3.43\text{mg}/100\text{g}$ 土, 土壤肥力较低。基地地处内陆河—锡林河流域, 为河谷平原区, 第四系河谷堆积发育, 松散沉积物最大厚度 108m, 含水层为 40m 左右的砂砾, 单井最大涌水量一般 $\geq 50\text{m}^3/\text{h}$, 最大可达 $100\text{m}^3/\text{h}$, 矿化度在 $0.5\text{g}/\text{L}$ 左右。水位埋深 12-16m。水循环特征为地表水与地下水循环, 地下水接受山丘区降雨径流补给。可利用水资源 1.6 亿 m^3 , 现年利用量 4300 万 m^3 。近年来锡林浩特市相继实施了工业供水、中水回用、污水处理、城市给水扩建等工程, 建成后年可供工业用水 5000 余万 m^3 , 生活用水日供水能力达到 5 万 m^3 。

(二) 工程设计

1、水源工程设计

奶牛场基地灌溉水源全部采用地下水, 水源井型式为中深机电井。井管采用 8"铸铁管, 井深 100m, 单井涌水量 $50\text{m}^3/\text{h}$ 以上, 静水位埋深为 12-16m, 以 $50\text{m}^3/\text{h}$ 抽水时, 降深 $\Delta h=5.0\text{--}7.0\text{m}$, 平均动水位埋深为 20m。基地共打机井 70 眼。

2、作物种植比例

奶牛场基地总土地面积 27000 亩, 耕种面积 21000 亩。从 1999 年开始建设节水灌溉系统, 到 2001 年全部配套了喷灌系统, 其中半固定管道喷灌系统 1000 亩, 大型喷灌机系统(时针式和平移式) 5000 亩(2 套平移系统 3000 亩, 2 套时针系统 2000 亩), 卷盘喷灌机系统 15000 亩(以 75 型和 90 型为主)。作物种植比例为: 青贮玉米: 多年生牧草=1:9。2002 年以后, 基地体会到时针系统省工、高效优点突出, 自筹资金逐渐淘汰、改造, 到 2004 年将所有灌水系统改造成为时针喷灌机系统, 机组主要来自奥地利 BAUER 公司和美国维蒙特公司。参见时

针喷灌机系统平面布置图 16。奶牛场基地这时又抓住市场机遇，大力发展马铃薯种植，作物种植比例逐渐调整为：马铃薯: 青贮玉米: 多年生牧草=2:3:2。



图 15：内蒙古锡林郭勒草原时针式喷灌机灌溉马铃薯和谷草

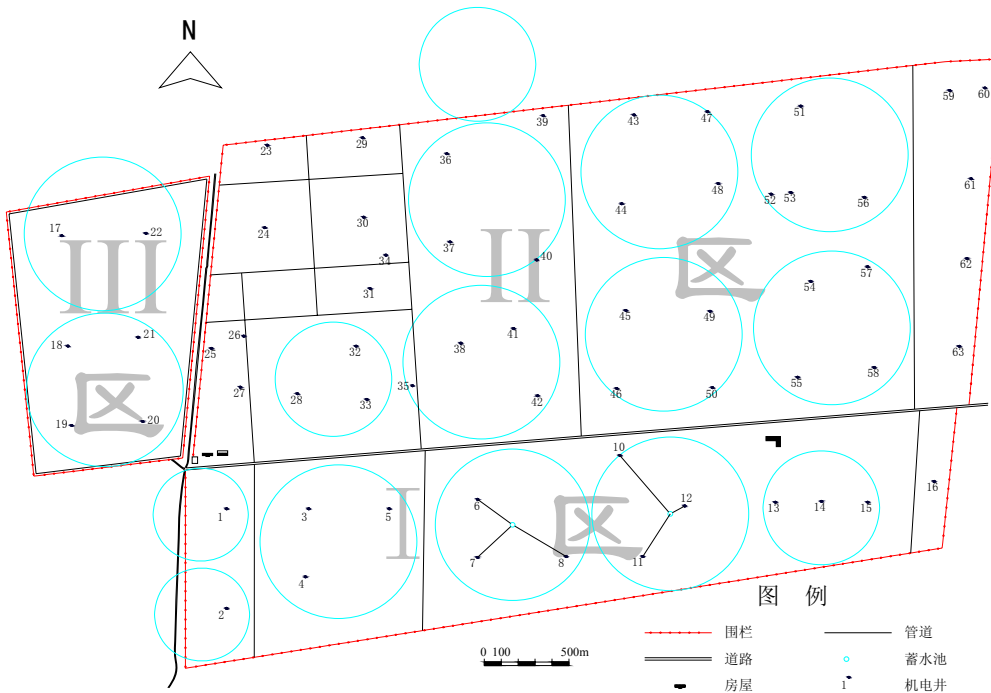


图 16：沃原奶牛场基地时针喷灌机系统平面布置图

3、灌溉设计保证率

根据《节水灌溉技术规范（SC207-98）》，灌溉设计标准以灌溉设计保证率表

示，即：

灌溉设计保证率= [(设计灌溉用水量全部得到满足的年数) / (计算总年数+1)] × 100%

喷灌工程其灌溉保证率取 90%，管道水利用系数取 0.98，田间喷洒水利用系数取 0.85（即灌溉水利用系数为 0.83）。

4、灌溉定额

根据当地饲草料作物（青贮玉米、紫花苜蓿等）丰产经验，P=90%干旱年份牧草灌溉定额如下：

表 2：P=90%年份不同作物时针喷灌机丰产灌溉定额

作物	灌溉方式	灌溉定额（mm）	灌水次数（次）
马铃薯	时针喷灌机 喷灌	900	25
青贮玉米		280	8
牧草		210	6

5、设计灌水定额

基地农作物以青贮玉米、牧草为主，土壤属于草甸土，含有少量沙壤土和粘土，土壤干容重 $\gamma=1.45\text{g/cm}^3$ ，田间持水量 $\beta=32\%$ （体积含水量）。采用喷灌方式时取土壤湿润层深度 $H=30\text{cm}$ ，适宜土壤含水量上限 β_1 取田间持水率的 95%，下限 β_2 取 65%。喷灌灌溉水利用系数 $\eta=0.83$ 。根据如下公式求得设计灌水定额 m 为：

$$m=10 \cdot H \cdot \beta(\beta_1-\beta_2) / \eta=10 \times 30 \times 0.32 \times (0.95-0.65) / 0.83=34.7\text{mm} \approx 23.1(\text{m}^3/\text{亩})$$

6、灌水周期

根据水利部牧区水利科学研究所内蒙古中东部牧区进行的作物需水规律研究成果，马铃薯最旺耗水出现在花期（7 月上中旬），日耗水强度为 $E=8.0\text{mm/d}$ ；青贮玉米和紫花苜蓿等作物最旺耗水出现在抽穗期，强度为 $E=5\text{mm/d}$ ，按马铃薯设计灌水周期：

$$T=m/E=34.7 \times 0.83 / 8.0=3.6(\text{天})，\text{取 } 3.5 \text{ 天}。$$

马铃薯设计在一个喷灌圈内半圈种植，另一半种植牧草，每年进行倒茬。每次灌水时，马铃薯半圈用 72 小时（3 天）完成，牧草半圈仅按抗旱水平灌溉（实际中如遇特别干旱时期，往往舍弃牧草灌溉），用 12 小时完成（即 0.5 天，时针喷灌机最快 18 小时走完一圈）。以美国维蒙特 168EL 型时针式喷灌机组为例，其性能如表 3。马铃薯半圈的灌水量为： $W_{薯}=0.25\times72\times2=36(mm)$ ；牧草半圈的灌水量为： $W_{草}=0.25\times12\times2=6(mm)$ （相当于湿润土壤 5.2cm）。

表 3：168EL 型时针式喷灌机组性能表

总跨长（5 跨加尾端悬臂）	322.4m
每跨长	59.8m
末端悬臂长	23.4m
净控制面积	489 亩
系统总流量	84.0m ³ /h
灌水率	0.69L/s/ha
入口工作压力	0.16MPa

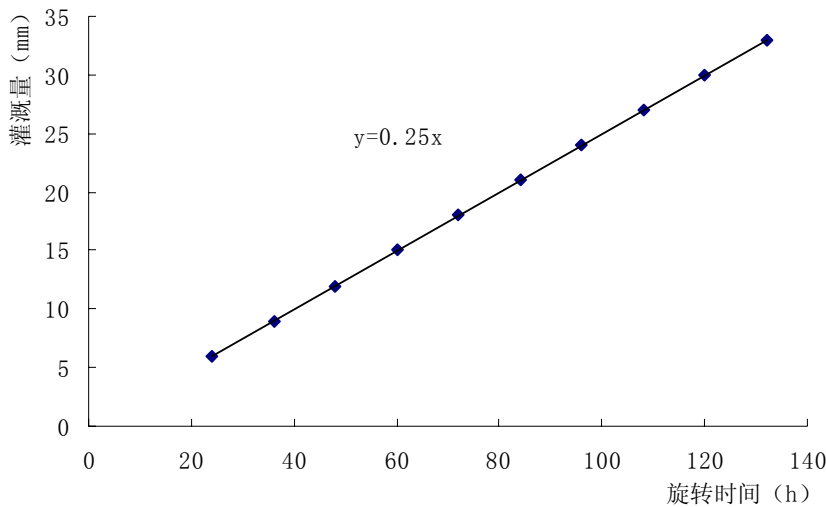


图 17：168EL 型时针式喷灌机灌水量与旋转时间关系曲线

单纯种植牧草的喷灌圈灌水周期设计取为 5.8 天，灌水量为 34.8mm。

7、灌溉制度

马铃薯的灌溉时期从 6 月下旬开始，至 9 月上旬结束，干旱年份灌溉次数约为 25 次，一般年份为 20-23 次。灌溉定额达 720-900mm。

青贮玉米的灌溉时期从 5 月上旬开始，至 8 月中、下旬结束。全生期灌水 8

次，每次 35mm，灌溉定额为 280mm，播种、幼苗、壮苗、抽穗等期为关键灌水期。

多年生牧草的灌溉时期从 5 月初开始，至 8 月中旬结束。绿期灌水 6 次，每次 35mm，灌溉定额为 210mm，返青、拔节、分蘖、花期、乳熟等期为关键灌水期。

8、可供水量

基地共有机井 70 眼，有效供水量按下式计算：

$$S=10^{-4} \cdot nQtT \eta$$

式中：S—灌溉系统有效供水量（万 m³）；

Q—设计出水量（m³/h），为 50m³/h；

t—每天供水时间（22h）；

T—灌水期（120 天，从 5 月至 8 月）；

n—机井数，70 眼；

η —管道系统水利用系数（0.98）；

经计算，在灌水周期内，项目区有效供水量为 905.5 万 m³，灌溉总需水量为 588.0 万 m³（考虑 3 种植情况计算：马铃薯 6000 亩，青贮玉米 9000 亩，与马铃薯搭配在同一喷灌圈内种植多年生牧草 6000 亩）。水源工程可供水量大于需水量，因此，设计的水源工程供水量满足灌溉需水要求。

9、水力计算及管道设计

该基地整个喷灌系统以机组为单位，各自独立。机组大小有两种，一种为控制 500 亩左右的小机组，5 跨，尾部有悬臂；一种为控制 1000 亩左右的大机组，8 跨，尾部有悬臂。大、小机组的选择受两种原因影响：一是地块大小形状。在较小地块、边角地块及改造原来采用半固定管道喷灌、卷盘喷灌机喷灌的地块时，往往选择小机组；二是时针式喷灌机发展不同时期的投入能力。发展初期，没有项目资金支持时，往往选择小机组。

每个机组系统一般由两部分组成：供水系统和灌水系统。供水系统从 2-3 眼井抽水供给机组中心的蓄水池，灌水系统则从蓄水池抽水、加压，通过悬臂管道、喷头实施喷灌。蓄水池是开敞式的，所以供水系统和灌水系统的水力联系在蓄水池处被切断。各单井独立向蓄水池供水，大机组由 3 眼井供水，小机组由 2 眼井

供水。本设计以小机组为例进行计算。

(1) 管材、管径的选择与布置

1) 管材:

供水管道为由水源井到喷灌机中心点的输水管道, 采用硬聚氯乙烯管道 (UPVC)。

2) 管径选择:

经济管径按下式计算:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = 1.13 \sqrt{\frac{Q}{V}}$$

式中: D—输水管道内径 (m)

Q—管道设计流量 (m^3/s), 每眼井供水流量 $Q=50\text{m}^3/\text{h}=0.0139\text{m}^3/\text{s}$

V—管道内径经济流速 (m/s), PVC 管为 $1\sim 1.5\text{m/s}$, 取 $V=1.2\text{m/s}$

经计算得: $D=0.109\text{ (m)}$

取 $D=110\text{mm}$ 。

3) 管道布置:

地形基本平整, 管道倒坡埋置, 坡度不小于 3%, 平均埋深 1.0m。管沟开挖断面采用梯形, 沟底宽度 $\geq D+40\text{ cm}$ (D 为管道直径)。在供水管首部逆止阀前安装一泄水球阀, 这样即可在冬季来临前排空管道中的水, 防止冻裂管道。

(2) 水力计算与水泵选配

1) 供水系统:

供水管长度平均为 $L_1=300\text{m}$; $\phi 110\text{PVC}$ 管内径 $d_1=103.6\text{mm}$ 。水泵出水管选择 4 吋焊接钢管 (外径 $D=108\text{mm}$), 其内径为 $d_2=102\text{mm}$, 泵管一般下 10 段, 每段长度 3m, 因此总长为 $L_2=30\text{m}$ 。供水设计流量为: $Q=50\text{m}^3/\text{h}$ 。

硬塑料管沿程损失计算公式为:

$$h_f = 0.948 \times 10^5 \cdot \frac{Q^{1.77}}{d^{4.77}} \cdot L$$

式中: h_f —沿程水头损失, m;

Q—管道流量, m^3/h ;

d—管道内径, mm;

L—管道长度，m；

旧钢管沿程水头损失计算公式为：

$$h_f = 6.25 \times 10^5 \frac{Q^{1.9}}{d^{5.1}} \cdot L$$

式中物理量意义同上。

经计算，泵管沿程水头损失为：

$$h_{f1} = 1.81 \text{ (m)}$$

供水 PVC 管沿程水头损失为：

$$h_{f1} = 7.04 \text{ (m)}$$

总沿程损失：

$$\sum h_f = h_{f1} + h_{f2} = 8.85m$$

总局部水头损失：

根据经验取10% $\sum h_f$ ，即 $\sum h_j = 0.1 \times 8.85 = 0.89m$ 。

井动水位深度为 $\Delta h=20m$ ，忽略井位与中心蓄水池之间地面地形高差，考虑3m注水水头，则供水设计扬程为：

$$H=8.85+0.89+20+3= 32.74 \text{ (m)}$$

选择 200QJ50-39/3 型潜水电泵，其性能表如下：

表 4：200QJ50-39/3 型潜水泵性能表（供水水泵）

型号	额定流量 (m ³ /h)	额定扬程 (m)	转速 (r/h)	机组重量 (kg)	功率 (KW)	配套电缆 规格 (mm ²)
200QJ50-80/4	50	39	2850	135	9.2	3×4

2) 灌水系统：

机组进水口伸入蓄水池中，直接由水泵加压实施灌溉。将整个机组视为灌水器，其进口工作压力为 $P=16m$ ，机组入口压力测试段与蓄水池平均水位高差约为 2m，另外考虑 2m 局部水头损失。机组工作流量 84.0m³/h。

设计扬程计算：

$$H=16+2+2=20m$$

选择 250QJ100-18/1 型潜水电泵，其性能表如下：

表 5：250QJ100-18/1 型潜水泵性能表（灌水水泵）

型号	额定流量 (m^3/h)	额定扬程 (m)	转速 (r/h)	机组重量 (kg)	功率 (KW)	配套电缆 规格 (mm^2)
250QJ100-18/1	100	18	2875	138	7.5	3×4

10、蓄水池设计

按日调节设计，每日供水量：

$$W_{\text{供}} = 50 \times 2 \times 22 = 2200 \text{ (m}^3\text{)}$$

每日用水量：

$$W_{\text{用}} = 84 \times 24 = 2016 \text{ (m}^3\text{)}$$

则蓄水池调蓄容积为：

$$\Delta W = W_{\text{供}} - W_{\text{用}} = 184 \text{ (m}^3\text{)}$$

蓄水池设计为圆形现浇钢筋混凝土结构，外径 10m，总高度 3.0m，地下部分 2.8m，地上部分 0.2m，壁侧厚 30cm。顶部加盖，厚度 15cm，设检查口、工作口、通风口等。蓄水池设计水深为 2.5m，对应有效容积为 173.5 m^3 。

（三）施工要点

1、放线

使用经纬仪根据设计图纸进行放线。距离量测在放线阶段使用 100m 测绳。在管线转弯、交叉、端点及长直段 50m 间隔点等处打桩，桩以木制，长 30cm 左右，粗 3-5cm，一端略微削尖。在始点、终点向外延长 10-20m 处，各打 1 根方向桩，以便管沟开挖毁掉管线桩时寻找管线位置。较长管线两端方向桩处还需加设醒目红色小旗标志。放线时配合计算开挖深度，即计算地面高程和管底设计标高的差，标注在桩上（顶部附近侧面空白处），以便开挖时掌握深度。

2、开挖

管沟开挖先用深耕犁顺着管线犁出深约 40cm 的沟，然后人工挖掘直至约 0.8-1m 的深度。管沟以方便人工在沟内操作为宜，一般开口宽 65cm，底宽 45cm。

阀门井处一般为直径 1m 的圆坑，深度比相同位置处管沟深度深 10cm 左右。中心蓄水池开挖先用挖掘机开出毛坑，再用人工修整，侧面超宽 50cm，底部深过设计池底深度 50cm（池底设石砾垫层）。

3、抄平

为了使管道中的水在秋季末能够放空，需要为管道设置一定坡度。实践证明，对于地表水平的平原地区来说，3%-5%的坡度是适宜的。首先在沟底每隔 10m 打桩，管道交叉、转弯、端点也要打桩，为 20cm 长的木桩，用水准仪控制桩顶高程为管道底部设计高程，桩距量测使用皮卷尺或钢卷尺。然后桩顶挂工程线进行抄平，使用铁锹产高垫低使工程线悬空高出沟底地面约 0.5cm。一般一条长直沟抄平由一名工人完成。坡度一般设置为逆坡，即顺水流方向上升。这样利于注水时排除管道内的空气。

4、管道安装

目前灌溉用较大口径 PVC 管道（63mm 以上直径）一般为 R 扩口承插式，胶圈止水。管段可以在承插处伸缩，所以尽管在寒冷地区施工，也不用专门设置伸缩节。管道连接需要准备手锯、木锉、抹布、手套、盒尺、洗洁精（承插口润滑用）、记号笔等工具。首先在管道沟抄平以后，用农用四轮车搬运管材、管件、胶圈、PVC 胶和其他相关材料等至管沟旁，管材顺沟逐节摆放，注意管道如有脏污要及时清理，坏损要及时更换。然后安装工人分组作业，每组一般 4 人，2 人在沟底，2 人在沟上。承插口擦拭干净、上好止水胶圈、抹上润滑液以后，由沟底、沟上各 1 名工人持稳、对准插入。较大口径管道（如 110mm 口径以上）插入费力，需要以厚木板垫口，重铁锤敲入。泄水处以异径三通或增接口接出，一般采用 63mm、75mm 管用异径三通，110mm 以上管用增接口。泄水阀一般采用 50mm 球阀，三通或者增接口向下旋转 45 度，以避免在出口处的主管道内积水。管道连接还有首部各种控制件的连接，一般是法兰加止水胶垫连接。

5、机组安装

机组安装是专业性很强的工作，需要在专业技师指导下，由培训上岗的工人完成。需要一系列的安装设备、工具与材料，同时需要配合做一些预埋件工程。表 6 是奥地利 BAUER 机组安装施工所需设备与工具及安装程序。

表 6：时针式喷灌机系统装配所需设备、工具及施工程序

序号	工具、设备或施工内容
1	起重吊车 1 辆，要求： 1. 起重能力 3 吨； 2. 吊钩活动范围 5m； 3. 吊车工作范围 3m。
2	越野汽车
3	拖拉机（带拖车）
4	发电机（最小功率 2KW）
5	3m 以上长度钢丝绳 2 根，用于起吊 3 吨左右设备
6	气动或电动改锥（1/2"头，扭矩 30-250Nm）1 台
7	3-6m 双节梯 1 个
8	工具： ▲ 双头呆扳（Din31107），13，17，19，22，24，27，30，36 ▲ 双头眼圈扳（Din838），13，17，19，22，24，27，30，36 ▲ 气动（或电动）改锥所用插座和插头（Din3124，17，19，22，24，27，30 ▲ 改锥 1 套 ▲ 小改锥，6.5×25 和 8×35 各一 ▲ 1/2"管钳 1 个 ▲ 电缆去皮钳 0.8-6mm² ▲ 组合钳子 1 套（Din5244） ▲ 电缆折弯工具 1 套，折弯直径 2.5-6mm² ▲ 克丝钳子 1 把，200mm ▲ 电工刀 1 把，190mm ▲ 锤子 1 把，200 克 ▲ 装配用撬棒 2 根，400mm ▲ 钢丝刷 1 把 ▲ 平锉 1 把，250mm ▲ 圆锉 1 把 ▲ 平凿 1 把 ▲ 圆凿 1 把 ▲ 金属剪切钳 1 把 ▲ 钻头 1 根（3/4"） ▲ 旋转带丝（套扣用，3/4"）1 个 ▲ 水平 1 个 ▲ 黄油枪 1 把 ▲ 可旋紧箍 2 个 ▲ 万用表（可显示电流强度）1 个
9	基座施工 时针喷灌系统安装前，基座必须首先做好，至少提前 1 周。 1、定位和开挖。修筑基座时，其位置必须通过测量精确定位。基础开挖与加

	固必须按照有关技术要求进行。一般来说，时针系统基座是水平的。但是如果地块有一定坡度，则基座可以顺着地面坡度修筑。这样时针系统安装时可不配备地形适应装置（参见随机说明书）。 2、基座浇筑、预埋件。基座浇筑时要用仪器与地面找平，基础也按照要求建筑。预埋件要在水泥未硬化时插入，并且随时注意其出留高度，螺丝应有 4cm 左右的高度。
10	设备卸货时分组 为了便于运输、储存和装配，很多小物件按其功用预先分装于不同的箱中，集束撑件妥善捆扎、编号。 为了不影响组装的速度，以下配件应按要求方式分类放置： ■ 松散配件靠近系统控制板和小组件； ■ 干管放到一起； ■ 末端管 1 和 2、悬臂管放到一起； ■ 集束撑； ■ 连接棒，分长短放置； ■ 悬臂管； ■ 轮基座； ■ 塔架支撑； ■ 左轮、右轮分开放置； ■ 小件箱、齿轮箱、驱动电机箱、传动轴及传动轴导向器箱等等分别放置； 垂吊管及喷嘴。
11	系统组件的搬运和布设 一般可以用卡车运送系统的组件，每车 7-8 跨。存放尽量注意靠近安装地点，并且顺着安装顺序、按类别摆放。 这样还利于检查厂方发货是否完整。从仓库往地里运送时，可用拖拉机带拖车进行，摆放原则不变。
12	组装 从中心机座开始，选择一块尽量平整的地方，这样保证组装起来的系统彼此不较劲或扭劲； 从中心法兰开始，量好每一跨的间距，在跨间处可以用木桩作为标志，这样可把相应的组配件放置准确。
13	装配时组件的摆放 一般来说，系统的各种组配件总得几趟才能完全运至安装位置，预备一个叉车是非常有必要的。为了减少人工搬挪的工作量，组配件必须尽量放置准确，为此注意以下几点： ★ 中心塔有关的東西放在中心基座附近，如：中心支脚、集束撑、中心塔头、进水管、控制板、中心总成、以及中心位置所需各种配件； ★ 主管顺着装配线摆放，各跨相应的配件对应放置。起点应该离开中心机座约 0.5m，如果装有适应地形装置，则此距离应约 1m； ★ 下列组件在每一跨间均需放置：塔架轮支座，左轮，右轮，梯子支撑，配件箱（跨长在箱子上有标注，这一点很重要，因为关联到缆绳长度、螺丝和连接件的数量等）； ★ 每一跨的法兰连接位置放一箱集束撑（其中有 5 个角形件），短角放在跨尾，长角放在跨首；

	★ 悬臂管及其配件放在系统尾部，相应小物件在一个单独的箱内，或与尾部它包装箱放在一起。
--	---

（四）投资

典型单机工程设备及材料费、土建费直接投资如表 7 和表 8 所示。

管道、设备安装费根据实际施工情况（2000-2005 年情况）按设备/管道材料费 15%考虑，其中包括了运杂费、采购、保管费等费用。经计算为 62542.5 元。

总投资为设备材料费、安装费、土建工程费三项合计，即 55.05 万元，平均每亩 1100 元。

根据亩投资可以推算该基地时针式机组喷灌工程总投资约为 2300 万元。

根据调查，沃原奶牛场自 1999 年开始进入快速发展新阶段，在地方政府支持下，先后争取到国家财政部现代畜牧业建设，自治区农业开发草原建设以及奥地利政府贷款等多个大型项目资助，同时积极自筹资金，迄今累计投资达 4500 万元。用于打井、上电、节水灌溉、房建等基础设施建设、完善，以及购置各类大中型农用机械设备。目前种植业从耕地、种植、施肥（药）到收获各环节均实现机械化。

表 7：时针式喷灌机单机系统工程设备材料表

工程位置	项目	规格及型号	单位	数量	单价 (元)	复价 (元)	备注
供水部分	水泵系统	200QJ50-80/4	套	2	11000.00	22000.0	每套包括： 200QJ50-80/4 型潜水电泵，配 套 4"×3000 泵 管 10 根，电缆 50m，10KW 减 压启动器 1 台。
	流量表	4"	个	2	260.00	520.0	
	逆止阀	4"	个	2	180.00	360.0	
	空气阀	4"	个	2	330.00	660.0	
	钢管	4"	m	20	50.00	1000.0	
	焊接弯头	4"	个	12	15.0	180.0	

	法兰片	4"	片	20	20.0	400.0	
	泄水管	Φ110×2"	套	2	125.00	250.0	
	球阀	2"	个	2	32.00	160.0	
	UPVC 管	Φ110/0.6MPa	m	660	28.00	18480.0	
	小计					44010.0	
灌水部分	水泵系统	250QJ100-18/1		1	7500.00	7500.0	每套包括: 250QJ100-18/1 型潜水电泵, 电 缆 10m, 50KW 减压启动器 1 台。
	钢管	6"×6000	根	1	350.00	350.0	
	焊接弯头	6"	个	2	45.00	90.0	
	安装附件				5000	5000.0	螺丝、胶垫、特 殊工具等
	小计					12940.0	
机组部分	时针式喷 灌机系统	168EL	台	1	360000.0	360000.0	
	合计					416950.0	

表 8：土建工程量统计表

序号	工程或费用 名称	单位	数量	单价 (元)	复价 (元)	备注
1	泄水井	眼	3	500.0	1500.0	工：料=1：1
2	蓄水池钢筋 混凝土	m ³	75	850	63750.0	
3	挖方	m ³	780	5.0	3900.0	
4	填方	m ³	540	1.5	810.0	
5	镇墩	个	5	15.0	75.0	工：料=1：1
6	支墩	个	40	15.0	600.0	
合计					70635.0	

（五）效益

沃原奶牛场基地 2002 年以前，以种植青贮玉米和牧草为主，效益一般。2002 年以后，该场与北京辛普劳公司（麦当劳公司薯片供应商）建立了长期供货关系，开始种植马铃薯，从 1000 亩，到 3000 亩，目前达到 6000 亩，由于产量稳定，质量上乘，种植规模不断扩大，产品价格稳中有升，市场需求关系稳固，效益因此节节攀升。以 2009 年为例予以说明。

2009 年，基地种植马铃薯 6000 亩，多年生牧草、谷草 6000 亩，青贮玉米 9000 亩。马铃薯以订单的形式销售给辛普劳公司，饲草料则被当地政府以基本保护价格收购作为冬季抗灾保畜的储备。

各种产品价格为：马铃薯 1.2 元/kg，青贮玉米 0.2 元/kg，干草 0.5 元/kg。马铃薯平均亩产量 3000kg，青贮玉米平均亩产量 5000kg，干草平均亩产量 650kg。总产量马铃薯 1800 万 kg，青贮玉米 4500 万 kg，干草 390 万 kg。

计算出总效益为 $1800 \times 1.2 + 4500 \times 0.2 + 390 \times 0.5 = 3255$ （万元）。

种植投入的各种费用水平为：马铃薯 1800 元/亩，青贮玉米 360 元/亩，牧草 300 元/亩。

计算种植总费用为： $1800 \times 6000 + 360 \times 9000 + 300 \times 6000 = 1584$ （万元）。

因此 2009 年净效益为： $3255 - 1584 = 1671$ （万元）。

按静态经济分析，该基地农业投资 3 年即可回收。可见目前发展大面积马铃薯种植，其经济效益是很可观的。

八、时针式大型喷灌机推广应用典型经验

1、甘肃省民采县沙漠马铃薯基地喷灌

甘肃省民采县沙漠马铃薯基地使用时针式大型喷灌机喷灌马铃薯，2009 年 4 月投入使用。属于绿洲农业开发有限公司建设项目，公司出资 30%，政府出资 70%。沙漠绿洲中共有 12 套时针式喷灌系统，其中 9 套是马铃薯基地的。喷灌机为美国瑞丽的产品，智能型微喷，有探头，但没有使用。9 台机组有一台实现过智能化，现在也不用了。系统首部有化肥池，注射泵。1 台机组 27.6 万元，控制 423

亩地，控制半径 300m。马铃薯根系 25cm 深，3 天灌 1 次水，喷灌机转 1 圈 14 小时，转动速度是根据沙土特性设定的。1 眼井加水泵共需 27 万元，机井静水位 70m，动水位 120m，水质好，含沙量小，水量足够。每亩种植成本 1500 元，可产 2t 马铃薯，1600 元/t。4 个人管理所有机组，目前使用状况良好，维修有配件可用，不同位置喷头型号不同，灌水均匀。

2、内蒙马铃薯喷灌

时针式大型喷灌机在内蒙古灌溉马铃薯获得成功推广与时针式大型喷灌机的灌溉技术适应马铃薯规模化生产密切相关。时针式大型喷灌机的自动化程度高、节省劳力的优点可以大大缓解劳动强度、降低人力成本，一般只需 1 人就可以操作管理 1 台时针式大型喷灌机；爬坡能力强、无需平整土地的优点使时针式大型喷灌机完全适应内蒙古的草原地形，不需要平整土地所需的资金投入；操作方便、灌溉与施肥一体化的特点既增加了设备利用率，又可以对马铃薯生产进行精准灌溉与施肥，提高水肥利用率；使用寿命长、工作可靠的优点极大地降低了设备运行维护成本。时针式大型喷灌机的主要桁架结构件和行走机构可正常使用 15 年以上。以一台控制面积 500 亩的时针式大型喷灌机计算，一次性设备投资 30 万元，折合每亩投资 600 元，如果以 15 年折旧年限计算，静态每亩投资折旧费仅 40 元，大大低于微灌系统和其他形式的喷灌系统。

此外，马铃薯的高垄密植、允许喷施液体肥料的种植栽培技术及适合马铃薯生长的砂土或砂壤土等自然条件非常符合时针式大型喷灌机灌溉施肥作业的技术要求。应用时针式大型喷灌机生产的马铃薯平均每公顷产量可达 36 t，分别是覆膜栽培和传统方式生产的马铃薯平均每公顷产量的 2 倍和 4 倍。除马铃薯产量和品质明显提高外，应用大型喷灌机灌溉比粗放的漫灌还具有明显的省水、省肥、省工、省地效益。实践证明，应用时针式大型喷灌机的喷灌工程经济效益显著，机组设备和配套设施总投资的还本年限约 2~3 年。综上所述，时针式大型喷灌机是最适应内蒙古马铃薯生产的农业灌溉设备。

内蒙古自治区的农户在购买大型喷灌机时，可以享受 1/2 设备总价的补贴资金，同时还可以享受打井、铺设地理电缆、安装变压器等配套设施总额的 1/3~1/2 的补贴。农机购置补贴资金的发放明显减轻了农民购置农机具的经济压力，有利于激发农户购置农机、进行规模化农业生产的积极性。最近在内蒙古自治区

乌兰察布市安装的时针式大型喷灌机几乎都是在农机购置补贴政策的支助下得到顺利推广的。乌兰察布市截止到 2008 年上半年已安装时针式大型喷灌机达 600 余台(单台控制面积约 500 亩)，按计划到 2010 年，推广应用时针式大型喷灌机总数要达到 2000 台。

3、内蒙古察右后旗当郎忽洞苏木喷灌马铃薯和红萝卜

从 2007 年到 2009 年安装时针式喷灌机达到 76 套，灌溉面积扩大到 4 万多亩。时针式喷灌区种植马铃薯 3 万亩、红萝卜 7500 亩。

规模种植的形成，不仅全面提高了农产品的竞争力，而且节省了灌溉费用。喷灌种植马铃薯和红萝卜，形成规模对半种植模式后（即 1 台喷灌机的喷灌范围内对半种植马铃薯和红萝卜），每亩可节省浇地费用 5-10 元。

在当郎忽洞苏木杨贵村喷灌圈种植的红萝卜，每亩最高产量 300-400kg，比一般灌溉种植多产 25%左右。红萝卜块大、形齐、质优、价高，销售看好，市场竞争力强。

正常市场行情下，一台控制 500 亩的时针式型喷灌机灌溉优质红萝卜，可纯收入 60-70 万元；种植优质马铃薯可纯收入 30-50 万元。

在强力推进时针式大型喷灌设施农业示范区建设的实践中，苏木的主要做法是：

一抓干部思想解放，强力推进设施农业。几年来，当郎忽洞苏木坚持推进以设施农业为标志的现代农业建设，从解决干部群众思想认识入手，采取“请教别人，自己创新、共同商讨”的方式深化认识。抓思想观念更新，把干部群众思想调活；抓发展思路创新、把优势产业调大；抓结构模式创新，把典型村辐射力调强；抓科技良种运用、把品种调优；抓市场开拓建设，把产品竞争力调高。全苏木形成了思想观念大解放、设施农业大发展的良好氛围。

二抓村户典型培育，增强带动辐射能力。当郎忽洞苏木围绕“红萝卜、马铃薯”两大产业，培育重点村庄和能人大户。培育建设了杨贵村。这个村 2007 年一次性建成 8 套喷灌圈，争取国家支持 350 多万元，群众自筹 150 多万元。全村 5500 亩耕地喷灌灌溉面积达 4800 多亩。杨贵村成为苏木设施农业示范村，成为辐射带动周边地区的典型。2009 年能人大户、群众联户建设喷灌圈的积极性很

高。全苏木大户建设喷灌圈 20 套，农牧民联户建设喷灌圈 4 套。现在全苏木“农户+农户”形式的农民联户大型喷灌圈达 38 套。

三抓产业结构调整，努力形成产业优势。积极探索适应设施农业发展的新机制。2009 年入春，苏木主要领导，苏木副科干部深入嘎查村就“六统一分”（统一品种、统一耕作、统一种植、统一浇水、统一施肥、统一管理、分户经营）的实施与农牧民召开座谈会，商讨运作办法，确定操作措施，落实具体做法。邀请市、旗科技人员就农产品市场前景、种植技术开展了科技培训。全苏木累计培训农牧民 1300 多人次。通过培训座谈，全面推动了优势品种规模化种植。全苏木采取副科以上领导包 1—2 个喷灌圈抓产业结构调整。重点在杨贵村、三补和村搞试点。包“圈”领导进村入户动员，引导群众调整种植结构，协调春耕生产物资资金。这两村 14 个喷灌圈，统一种植甜菜的 2 个圈，种植红萝卜的 6 个圈，种植马铃薯的 1 个圈，5 个圈马铃薯和红萝卜各半种植。

现在全苏木主导产业以马铃薯、红萝卜为主。全苏木总播面积 5.9 万亩，其中喷灌圈种植马铃薯 3 万亩、红萝卜 7500 亩。规模种植的形成，不仅全面提高了农产品的竞争力，而且节省了浇地费用。喷灌圈内种植马铃薯和红萝卜，形成规模对半种植模式后，每亩可节省浇地费用 5-10 元。

四抓农机作业队伍，大力提高种植水平。把农机作业队组建作为提升规模化种植水平的切入点，以机械化水平提升种植水平。2009 年补力图村委会组建 2 个农机作业队，已购进“1204 型”拖拉机、翻转犁、中耕机、悬耕机各 1 台。春耕春播中已投入使用且运行良好。

五抓专业协会建设，推进组织化的进程。农牧民专业合作组织和行业协会是发展现代设施农业的保障。2005 年苏木组建红萝卜协会 1 个。2007 年组建用水协会 1 个。把“土专家”、“田秀才”吸收到协会。现在两个协会会员人数已发展到 270 多人，初步形成了制度健全、规范运作、机制灵活、作用明显的专业性合作组织，为农牧民提供了产前、产中、产后服务。今年红萝卜协会引进红萝卜良种 3000 多筒，引进大户承包种植红萝卜 2000 多亩。用水协会在引导群众调结构、搞春汇中发挥了积极作用。

六抓合作社的组建，助推设施农业建设。实施“六统一分”，壮大主导产业，农牧民是生产经营的主体。发展规模生产，只有激活农牧民主体的积极性，才能

实现主导产业规模化、集约化、组织化发展。苏木结合实际,在条件较好的补力图村委会引导群众组建农牧民合作社,以“圈”为单位推荐“圈长”为法人代表,成立农牧民专业合作社 25 个。以“圈”联合成立农机专业合作社 2 个。合作社的组建方便了群众参与、有利于争取贷款、促进了产业发展。今年通过合作社与旗农行协商争取贷款 220 多万元。农行以“惠农卡”的方式发放贷款,“惠农卡”使用期三年,利息 0.54%。这种合作组织形式为产业规模化发展提供了组织、资金、技术、管理保障。

七抓土地合理流转,增加群众地工收益。以大型喷灌圈为重点的设施农业发展,不仅为农牧区土地合理流转带来了契机,而且为农牧民就近就地转移务工创造了条件,增加了收入。近年来,当郎忽洞苏木采取“以水定井,以井定地,以地定户”的办法,大力引进企业、能人、大户发展设施农业。把土地流转融入设施农业,以地增收,以工创收。现全苏木土地流转面积达 1.9 万亩,农牧民土地流转户每亩土地收益 80-120 元。通过设施农业的发展,农牧民从自己承包经营的土地中走出来,到企业公司、能人大户经营的喷灌圈里打工务农创收。全苏木就地就近转移农牧民劳动力 2000 多人,人均年收入 1600 多元。

九、时针式大型喷灌机灌溉大田作物存在的主要问题

时针式大型喷灌机体积庞大,结构复杂,集合了水利、机械、车辆、自动化、农作物、土壤学等众多学科技术。如果要使时针式大型喷灌机真正成为帮助农户增产致富的主力军,规划设计时必须使时针式大型喷灌机与项目实施地的水源、土壤、作物、地形、气候、经济等条件相适应,而且要求农户参加技术培训,学好用好喷灌机。近几年各地在发展推广普及时针式大型喷灌机灌溉大田作物的高潮背后,也暴露出一些灌溉工程设计、管理及服务等问题。如果不加以重视,不但会影响时针式大型喷灌机的灌溉质量,导致作物减产,而且会阻碍时针式大型喷灌机的推广应用。这些问题可以归纳为以下几点:

1、规划设计时未充分考虑水资源平衡和环境评估

当前我国发展的时针式大型喷灌机主战场大都集中在草原或沙化地,这些地区自然条件恶劣、干旱少雨、水资源严重短缺。由于长期以来连年干旱,天然

水资源及草地资源已被超限度利用, 导致草原退化、沙化、荒漠化严重, 生态环境急剧恶化而且加重了自然灾害。目前正在使用的时针式大型喷灌机绝大多数抽取地下水进行灌溉, 在工程规划设计初期, 一般只进行简单的水资源需求平衡分析, 很少进行环境评估分析。这种只追求短期利益、缺少全局思想、不科学的设计推广模式极可能破坏水资源环境, 甚至恶化脆弱的草原生态环境。如内蒙察右后旗水资源形势十分严峻, 目前的经济社会发展基本上是靠超采地下水来维持的。全旗范围地下水位持续下降, 平均每年下降 2m 多, 2009 年因干旱下降达 20m。人们形象地说: “井越打越深, 泵越换越大, 钱越花越多, 水越抽越少”。每年浅井报废率达 9%, 深井报废率在 3% 以上。2000 多眼筒井现在还能使用的不足百眼。大部分喷灌圈需补打机井, 用水成本加大, 为此每亩成本增加 200 元。

时针式大型喷灌机的工程规划设计时必须要按照可持续发展、高效利用、因地制宜等基本原则合理进行水资源平衡、土地规划及环境评估; 必须以水资源承载能力为基础, 实行有计划的用水管理, 以供定需, 总量控制。在大型喷灌机的使用过程中, 严禁过多开采地下水、造成地下水位下降; 同时应密切跟踪监测喷灌马铃薯等种植对周边生态环境造成的影响。

2、技术培训不够，不能正确操作机组

时针式大型喷灌机生产厂家和销售代理商往往只关心设备销售和安装工作, 缺少对农户进行必要的技术培训工作。很多国外供货厂商或代理商甚至不能提供中文版的设备操作和维修保养手册, 农户看不懂外文技术资料, 不能正确操作机组, 更不懂得维修保养方法。实际上, 操作喷灌机运行只是第一步, 如果要使机组真正发挥效益, 还需要掌握科学的灌水技术, 需要根据作物不同生育期的需水要求, 正确地调整喷灌机的工作运行参数。在调查中发现, 农户很迫切希望进行系统的技术培训, 掌握大型喷灌机的灌水与维护管理。

3、为降低设备投资，缺乏必需的配套设施与控制量测设备

时针式大型喷灌机市场竞争激烈, 生产厂商和代理商为争夺一席之地, 只能降低喷灌机的配置标准, 甚至减掉一些必要的设备, 影响机组的工作性能。如安装低压喷头的时针式大型喷灌机一般需要安装压力调节器以消除地形变化对喷洒均匀性的影响, 但调查中发现, 部分大型喷灌机并没有安装压力调节器, 整机的喷

洒水均匀性较差；在机井出口和中心支轴的入口处不安装控制闸阀和水表,无法控制时针式大型喷灌机的入机工作压力、也不能量测每次灌溉水量,当然更谈不上灌水定额的精确执行了；时针式大型喷灌机工程往往缺乏有效的过滤处理设施,在较高含沙量的水源条件下工作时,会堵塞输水主管,磨损喷头喷嘴,恶化喷头水力特性,使水泵动力机组运行偏离设计工况,情况严重时甚至发生不及时排除输水主管中的淤沙而压塌桁架的后果；绝大部分已安装的时针式大型喷灌机均未配置喷施肥料、农药、除草剂等附属设施,无法完全发挥设备的自动化高效作业能力；为降低成本,多数进口的时针式大型喷灌机选配 20 世纪 70 、80 年代的主控箱,而且删减了部分安全保护、警报系统,从而使喷灌机的安全性能降低。

4、与自然地貌、水源、土壤、农艺及种植作物不协调

缺乏对时针式大型喷灌机工作特点及适用范围的全面了解,在推广使用过程中不能很好地适应自然地貌、水源、土壤、农艺等多种情况。如时针式大型喷灌机田间规划时采用方形布置,则不能灌溉的地块死角面积约占 21.5 % ,需要采用其他灌溉技术；对于多井联合供水的地区,部分机井出水量有限、水压不稳,造成时针式大型喷灌机工作效率低下,设备投资与运行成本过高；由于前期规划和调查工作欠仔细,个别规划地区井水量不足甚至不出水,导致大型喷灌机无法正常灌溉,只能重新选址打井,浪费人力财力；在大型喷灌机的喷头配置与机组运行参数确定时本应考虑土壤质地,避免发生大面积的地表径流,但技术人员往往忽略这个关键问题；农户缺乏对时针式大型喷灌机的基本灌溉理论与技术的掌握,不能科学地根据作物生育期需水要求实施灌溉,不了解灌水定额与机组运行参数的关系。不能科学灌溉做到勤灌、单次少灌。

5、过度依赖进口设备,增加生产成本,配件价高难买

据调查,目前内蒙古自治区安装的时针式大型喷灌机中,国外进口设备的市场占有率超过 80 % ,在有些地区甚至接近 100 % 。就目前安装在内蒙古自治区的各种机型分析,国产机型的性价比并不低于进口产品。“九五”以来,随着我国大型喷灌机产业化工作的不断推进,电控系统、桁架结构等关键技术与工艺已得到突破,常用机型的整体技术水平已达到国外 20 世纪 90 年代中期的水平。近期由于人民币升值、原材料成本上涨、劳力成本增加等多重因素的共同作用,国内机

型的价格优势逐渐减弱,严重影响了国产设备的推广应用。国产设备批量上不去,就不会采用先进的加工制造设备,继而使国产设备在制造工艺上与国外有一定差距。

不难看出,过度依赖进口设备将会出现诸多弊端:如增加农民购买设备的经济负担;不利于国内时针式大型喷灌机的产业化发展;配件价格昂贵,需要从国外进口,既增加生产成本,又会耽误作物灌溉、影响农业生产收益。

十、发展时针式大型喷灌机喷灌的对策措施

1、科学合理的规划设计

我国地域辽阔,各地自然条件、社会条件差异很大,在时针式大型喷灌机组喷灌工程规划设计时应强调因地制宜的原则,统筹考虑当地的地形地貌、土壤、水资源、气候、作物等因素,切忌盲目照搬引进、一味追求高标准的政绩形象工程。设计者和农户必须要了解时针式大型喷灌机的应用特点和适用范围,在进行系统规划设计时重点进行水源工程的规划设计,灌溉制度的制定及与机组运行工作参数的确定,机组布置方式、位置和台数的确定与水土资源承载力的协调性,并根据喷灌机的性能参数校核系统在运行状况下是否满足喷洒质量的要求。

2、强化农业生产综合配套技术

为发挥时针式大型喷灌机在规模化农业生产中的显著优势,需要将灌溉技术与良种培育、耕作栽培、测土配方施肥、机械化作业、病虫害防治等技术措施综合配套,形成特定农作物的生产管理规程,进行农业标准化、规范化、规模化生产,提高农作物产量和品质,并配合农产品的流通、运输、销售及加工等环节,提高农业生产综合效益。

一是种子工程。种子的好坏是土地能否达到高产最关键的基础因素之一,如内蒙察右后旗 147 个喷灌圈按 60 个(3 万亩)种植马铃薯,约需良种 6000 吨。但后旗仅有 200 多亩的良种繁育基地,仅能满足少部分“克新一号”良种的需求,其他专用薯种子没有繁育基地。所以良种繁育基地建设迫在眉睫。

二是农机具配套。喷灌圈的建设基本实现了规模化种植，耕作、播种、施肥、收获需大量大型农机具配套，如内蒙察右后旗现仅有 10 多个喷灌圈具备农机具条件。所以要分区域建立农机服务队，为喷灌圈的规模种植提供服务。

三是种植技术。传统的种植技术已远远不能适应现代农业发展需求，种子的选择、耕作技术、施肥农时的把握、病虫害防治等要全面了解掌握，只有这样才能提高种植水平，才能使喷灌圈的效益综合发挥。所以要加强马铃薯栽培技术及其他农业生产技术培训。

四是产后服务体系的配套。规模种植，现代设备的装备，土地产出效益显著，但是市场信息把握不准确，同样存在风险。如为了发展马铃薯种植规模，打造自己的马铃薯品牌，以及降低马铃薯种植户风险，加强马铃薯加工业和储藏业的配套发展，为马铃薯种植户提供产后服务。

3、加强技术培训，发挥设备效益

加强农户的技术培训，让农户掌握时针式大型喷灌机的结构组成、操作方法与维修要点，机组运行参数设定与作物灌溉制度之间关系，机组布局与水土承载能力之间关系，以提高灌溉水利用系数和灌溉效率，最大限度地发挥时针式大型喷灌机组灌溉工程经济效益，让时针式大型喷灌机成为农户农业生产的主力军。

4、完善农机购置补贴政策，支持国内大型喷灌机的产业化

继续落实国家支农惠农政策、完善农机购置补贴政策和管理实施办法，鼓励农户购买使用时针式大型喷灌机的积极性，要积极发挥时针式大型喷灌机组在机械化大农业生产中的优势，实现农业丰收、农民致富的目标。

当前我国时针式大型喷灌机整体技术水平相当于国外 20 世纪 90 年代的水平，已具备较强的产业化基础，生产能力可以满足国内 60 %以上的市场需求量。对于目前时针式大型喷灌机难得的市场机遇，国内生产厂商迫切需要政府出台利好支持政策，如给予国内生产时针式大型喷灌机企业的税收优惠政策，取消进口设备的税收优惠政策，大力支持民族产业发展，使我国的时针式大型喷灌机技术和产业化工作得以良性发展，更好地服务于我国的西部开发和规模化农业生产。