

File No. 55

中心枢纽灌溉系统和施肥

中心枢纽灌溉系统(Center pivot irrigation) 是一种使用自走式喷洒装置的灌溉方式, 在美国中西部大平原地带, 沙特阿拉伯, 埃及, 澳大利亚等沙漠或半沙漠干燥地区是一种主要的农业灌溉方式。

中心枢纽灌溉系统的特点是用泵从灌溉用井中抽取地下水, 压送到自走式洒水器, 通过装在洒水器上的喷头将水撒布到耕地上。除了地下水外, 亦有极少数是抽取河水作为灌溉用水的中心枢纽灌溉系统。标准的中心枢纽灌溉系统, 其自走式洒水器的行走半径为 400 米, 圆型灌溉范围内的耕地面积约 54 公顷。超大型的自走式洒水器行走半径可达 1000 米, 灌溉面积达到 314 公顷。自走式洒水器的运行次数因季节气候, 土壤种类以及作物种类而异, 通常是 1~3 天运行 1 次。为了防止灌溉区域内的喷水量不均衡, 通过调节洒水器上的喷头数量和排列方式, 使得行走速度快的外圈部的单位时间内喷洒水量多, 行走速度慢的内圈圆心部的喷洒水量少, 达到整个区域内灌溉水量基本均衡。

中心枢纽灌溉系统是 1940 年代发明的。最初是以内燃机为动力的简单粗糙的东西, 到了 1960 年代, 电动机逐渐取代了内燃机, 自走式洒水器完全实现了自动化。进入 1970 年代之后, 作为省力低成本的灌溉方式在美国中西部素有粮仓地带美称的德克萨斯州, 堪萨斯州, 内布拉斯加州的玉米和小麦栽培农户中快速地得到普及。图 1 是美国中西部大平原的中心枢纽灌溉系统。



图 1. 美国中西部大平原的中心枢纽灌溉系统



图 2. 沙特阿拉伯的中心枢纽灌溉系统

在中心枢纽灌溉系统的推广普及中, Robert B. Daugherty 和他设立的 Valmont Industries 公司起了非常重要的作用。1947 年 Frank Zybach 发明了中心枢纽灌溉系统, 但得不到农户的认可, 无法获得客户。1954 年 Daugherty 和他设立的 Valmont Industries 公司取得了中心枢纽灌溉系统设备的制造权利后, 不断地对设备进行改良和积极地展开营业活动, 使得该灌溉设备得到推广普及。现在, Valmont Industries 公司仍占有美国国内中心枢纽灌溉系统设备 50% 以上的销售额。

1970 年代以后，中心枢纽灌溉系统走出了美国，干旱和半干旱地区的沙特阿拉伯，埃及等中东诸国和澳大利亚等国也开始使用该灌溉方式来大量栽培玉米和小麦等粮食作物。例如，沙特阿拉伯政府为了实现粮食自给，从 1980 年起通过国营的农业银行对设置中心枢纽灌溉系统的农户给予相当于设置费用 50% 的补助金，对于购买种子，肥料和农药也发放补助。经过数 10 年的努力，尽管国土的 95% 是沙漠，小麦，土豆和乳业的生产仍得到快速增长。2011 年的数据是小麦生产量 120 万吨，土豆 51 万吨，牛奶 170 万吨，实现了自给之外，剩余农产品还可以出口到周围的国家。图 2 是从飞机上摄影到的沙特阿拉伯沙漠中的中心枢纽灌溉系统风景。

中心枢纽灌溉系统的特点是：

- ① 灌溉次数和灌溉水量可以自由调节，没有送水途中的沟渠渗透和蒸发导致浪费，灌溉水可以得到有效的利用。与漫灌和沟灌相比，可以节约 20% 以上的水量。
- ② 使用定时器，电脑和远距离操作系统，整个灌溉系统的操作可以完全自动化。除了维修维护之外，现场完全不需要操作人员。
- ③ 可以将肥料等溶解于灌溉水中，在灌溉的同时进行施肥。因为肥料是完全水溶性的，施后肥效快，可按照作物生长需求合理施肥。
- ④ 漫灌和沟灌等难以灌溉的凹凸起伏的坡地也可以利用。不需预先平整土地。
- ⑤ 劳动生产性高，只需数人就可以管理大面积的耕地。节约人工，降低劳动强度。

由于中心枢纽灌溉系统具有上述特长，以前不能利用的干燥土地也可以用于农业生产，大大地降低了生产成本。所以很快就得到了普及，成为美国现代化大农业方式的基础。



图 3. 中心枢纽灌溉系统的供水系统（使用内燃机发电，用电力从灌井中抽水和压送到洒水器）

但是，中心枢纽灌溉系统也存在着以下的缺点：

- ① 喷洒中水分蒸发率高。消耗水量要比滴灌高出 5 倍。
- ② 灌溉用水主要来自地下水，过量抽水的结果，导致地下水位降低，需要花费更多的动力来抽水。有的地区在 10 数年后出现井水干枯现象，只能放弃耕地。

③ 没有排水系统。长期使用高盐分的地下水灌溉会导致地表土层盐分积累，影响作物生长和收获。

由于中心枢纽灌溉系统存在上述缺点，部分地区已经放弃该方式，改用以滴灌为代表的更加节水的局部灌溉方式。



图 4. 自走式洒水器

沙特阿拉伯政府考虑到地下水的减少枯竭，已经做出计划在 2016 年全面废除中心枢纽灌溉系统，改用微型滴灌方式。

中心枢纽灌溉系统的施肥方式与水耕栽培和设施栽培有所不同。最初也是与通常的大田栽培一样，采用将固体肥料作基肥和追肥撒到耕地上后再喷洒灌溉。这是因为当时的化肥不能达到完全水溶，不溶的残渣会堵塞洒水器的喷口。1970 年代开始实行省力化，在播种前使用固体的肥料作基肥，追肥则是将尿素或硝酸铵预先溶解，在灌溉时混合到灌溉水中以液体肥的形式喷洒到作物上。随着 UAN（尿素硝酸铵液体肥料）的出现，现在主要是在灌溉水中掺入 UAN，有时还添加氯化钾或硫酸钾作为追肥施用。所以 UAN 已经成为美国销售量最大的氮肥品种之一。

UAN (Urea Ammonium Nitrate solution) 是尿素和硝酸铵混合成的液体氮肥。其特征是同时含有硝酸态氮，氨态氮和脲态氮这 3 种不同状态的氮，既有速效性又有缓效性，可以广泛对应各种作物对氮的要求。制造工程简单，稳定性好，不会爆炸，基本没有腐蚀性，在运输，保管，施用过程中非常安全。另外，UAN 在常温下化学反应性很低，容易与其他化肥和农药混合，非常适合按照水溶肥的方式施用。

UAN 是美国在 1970 年代开发出的新型肥料，因为它具有安全性，稳定性，速效性，廉价性等特点，适合于机械化施用，短短的 20~30 年就在美国和欧洲等先进国家得到普及。2012

年的数据是全球的 UAN 生产量超过 2000 万吨，其中美国就生产了 1360 万吨，法国 200 万吨，加拿大，德国，英国，澳大利亚，白俄罗斯，俄罗斯，阿根廷等国的生产量也达到 100 万吨以上。

通常，使用中心枢纽灌溉系统的耕地在播种前使用磷酸二铵和氯化钾作为基肥，用耕耘机将基肥翻入耕作土层中，与土壤混合后播种。出苗后根据作物的生长情况将 UAN 添加到灌溉水中，混合后进行追肥。磷和钾都是作为基肥施用，追肥基本上只是使用氮肥，有时也会加入少量的氯化钾。因为完全不使用高价的水溶肥，所以肥料成本低，施肥操作简单，施肥量可按照作物的生长状态和肥料需求进行调节，可以做到适量施肥，不会浪费。图 3，图 4 和图 5 分别是中心枢纽灌溉系统的供水系统，自走式洒水器和液体肥料储罐的相片。



图 5. 中心枢纽灌溉系统的液体肥料储罐和添加装置

虽然中心枢纽灌溉系统方式的耗水量少于常规的漫灌和沟灌，但仍远远超出以滴灌为代表的局部灌溉方式。现在中心枢纽灌溉系统已经过了最盛期，开始走向下坡。除了可以利用河流水源的部分地区会继续使用该方式外，逐渐会被滴灌等微型局部灌溉方式所取代。