

资讯

INFORMATION

2018年第6期

执行编辑 郑 爽

编者按：今年纪念“世界水日”“中国水周”活动的宣传主题是“实施国家节水行动，建设节水型社会”。发展高效节水灌溉是农业节水增产行动的重要组成部分，加强其关键核心技术和装备研发攻关，对全面落实国家节水行动、促进农业现代化具有重要意义。本刊特邀中国灌溉排水发展中心首席专家、教授级高级工程师谢崇宝，介绍由我国首次提出与研发的地理式自动伸缩高效节水灌溉技术与设备，从灌溉技术创新、产品创制到应用为您展现中国的现代灌溉智慧。

地理式自动伸缩高效节水灌溉 关键产品创制及集成应用模式

文/谢崇宝

一、技术与产品研发背景

人工成本过高，是中国农产品在国际市场上缺乏竞争力的主要因素之一。要提高当前农业效益，其重要措施就是降低生产成本，特别是要降低人工成本，而农业机械化是降低劳动成本的重要手段，也是实现农业现代化的重要标志。在全面推进农业机械化进程中，灌溉如何协同发展才能有力促进农业现代化，是值得研究的重大课题。包括喷灌、微灌和管道输水灌溉等在内的高效节水灌溉技术是现代灌溉发展的必然趋势，也是实现农业现代化的必然要求。然而，现行部分高效节水灌溉设施在不同程度上阻碍了农业机械化的有效推进，在实现了节水的同时却耗费了大量人力物力，并占用了宝贵的耕地。中国作为世界灌溉大国，不仅人

均耕地少，而且水资源短缺，灌溉技术耗费劳动力大，是制约现代农业发展的明显短板。在当前“一带一路”建设受到沿线国家积极响应、农业灌溉成为深化合作重要领域的新形势下，中国更加有责任有义务积极研发一些新的现代灌溉技术，着力解决高效节水灌溉设备使用中存在的问题，实现节水、省工、便耕、省地等综合目标，为世界灌溉贡献中国智慧。

高效节水灌溉技术与产品，是当前和今后一个时期众多发展中国家提升农业现代化水平的重要选择。在现有条件下，为适应农业机械化，不得已采用人工重复拆装灌溉设施并搬运回库房存放的方法，即便如此，传统灌溉设施的地面给水栓、喷杆或其保护装置（见图1、2）依然妨碍机械化作业。为此，通过培训机耕手熟练驾



图1 传统的田间给水栓



图2 传统的固定管道式喷灌及草坪喷灌的地上设备

驶小型农机具进行耕作，以避免田间灌溉设施并保护农机具不被破坏，但机耕手需长时谨慎操作，一定程度上影响了耕作效率，且灌溉设施还是不可避免地占用了耕地。为解决上述问题，长期以来，灌溉实践者进行了诸多探索，最为典型的是将高效节水灌溉给水栓深埋在耕作层以下，灌溉时通过人工定位或金属探测寻找出水口位置并进行人工开挖，再配接后续灌溉设施实施灌溉，灌溉完成后拆卸全部耕作层内及其以上灌溉设施，再回填土壤，便于下次耕作。但这些措施并未从根本上解决问题。因此，研发不妨碍耕作、减少耕地占用、节约劳力的高效节水灌溉技术及设备，就成为有效推进农业机械化的迫切要求，也能够为大力推进规模化高效节水灌溉奠定坚实的技术基础和物质保障。

二、关键技术创新与核心产品创制

1. 地埋式自升起高效节水灌溉装置设计理论

地埋式自升起灌溉装置能够解决固定灌溉装置妨碍耕作、占用耕地和拆装费工等问题，为圆满达成上述目标，灌溉设备必须整体埋设于耕作层以下。基于湿润土壤抗剪强度降低的原理，通过科学分析创新地提出了地埋式自升起灌溉装置的结构设计理论：装置顶端应能够向上形成射流，使得土壤含水率迅速增加，从而导致土体抗剪强度快速下降，在“上冲下顶”双重作用下实现装置破土。根据埋地设备受力分析（见图3），计算了装置破土过程中所需克服的最大阻力和有效推动力，推导形成了多类型土壤条件的最小进水压强公式，研究了管径大小对破土的影响。结果表明，在顶端无出流的情况下，地埋灌溉装

置其底部输水压强需达到0.7MPa才能保证在不同类型土壤中实现破土，远大于现有喷灌的工作压力；在顶部有出流的情况下，底部输水压强0.15MPa就可以使装置顺利在不同类型土壤中破土而出；当伸缩管管径在0.01~0.09m范围变化时，破土所需的最小进水压强随着伸缩管管径的增大而减小，当管径超过0.09m，破土所需的进水压强基本不变。

地埋式自升起灌溉装置设计理论，可为地埋式自升降灌溉设备的结构优化提供依据，并据此开发相应的灌溉设备实现前述功能。当装置处于土壤中，开始灌溉时其顶端应相应能够形成射流，使得土体含水率迅速增加，从而使土体抗剪强度快速下降；同时，伸缩管在灌溉供水内部水压作用下，对上部土体产生顶推力。当装置所需克服的阻力逐渐降低至装置的顶推力时，土体结构逐步被破坏，在“上冲下顶”双重作用下最终实现破土出地。破土的有效推动力 W （即伸缩管的向上推力），由伸缩管顶部的有效压强乘以伸缩管的截面积 S_1 计算而来。其中，伸缩管顶部的有效压强为 $(P_0 - P_s - P_w)$ ， P_0 为系统底部的输水压强， P_s 为喷头出水而损失的压强（即管内局部损失）， P_w 为伸缩管内水柱的压强。有效推动力 W 与进水压强、局部损失、伸缩管长度和伸缩管截面积有关，当有效推动力 W 大于剪切力 T 、土重力 G 和摩擦力 f 等合力时，装置即可实现破土而出。

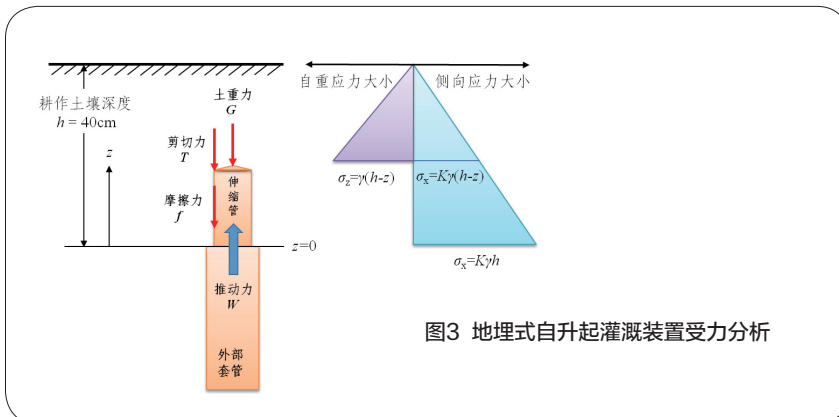


图3 地埋式自升起灌溉装置受力分析

2. 地理式自升起给水栓成套产品创制

现有的田间取水设备主要有两种型式：其一，依靠混凝土构筑物在地面以上形成保护装置；其二，在耕作层以下安装取水闸阀，每次使用前开挖土壤连接取水设备，使用后卸下取水设备，回填土壤保护取水闸阀。以上两种型式均不便于田间机械化作业，且耗费人工，并因寻找设备出水口困难，常造成“灌前田坑密布、灌后起伏不平”，严重破坏土壤耕作层结构。基于地理式自升起灌溉设备的破土机理，创制了地理式自升起给水栓，这些设备均采用独创设计的多功能钻土器，在其顶部设置一个或数个小孔，通过“射流液化破土”机制确保伸缩管从土中顶出地面，取水结束后再依靠外力将伸缩管压回至耕作层以下。该产品解决了现有田间取水设备普遍存在的影响耕作和农闲保护难题，促进了田间取水设备的重大技术革新和突破。

本技术主要包括4种新产品：地理式自升起滴灌专用给水栓、地理式自升起喷灌专用给水栓、地理式自升起管灌专用给水栓、地理式自升起喷滴管灌多功能给水栓。以上设备主体均为全塑结构，能够直接埋在土壤耕作层以下，在耕作层范围内无任何额外的保护装置或引导装置，而且在地面上也不需要保护装置，更不需要在田野中依靠人工开挖寻找出水口位置，灌溉时设备在设计水压作用下能够自动升出地面，如图4所示。由于无需寻找田间出水口位置，减轻了劳动强度，且避免了由于定位不准而开挖对田间耕作层的随意破坏，大大提高了工作效率，降低了灌溉成本。灌溉结束后，设备能够回缩至耕作层以下，有利于田间耕作及设备保护。

3. 地理式自升降喷头成套产品创制

现有的喷灌喷头主要包括旋转式喷头、固定式喷头和孔管式喷头，均不能够直接与土壤接触，更不能直接埋设在土壤耕作层以下。基于理论和实践有机融合的设计理念，为不影响耕作，喷灌喷头必须要能够埋设于耕作层以下并且能够自行穿过土壤耕作层，由此分析得出了地理式自升降喷头功能需求和设计思路。地理式自升降喷头要同时具备破土和喷洒功能，必须在结构设计上寻求技术突破。不同于传统喷头只有侧向喷嘴，地理式喷头考虑出地需求，设置有顶端出水口和侧端喷嘴（见图5）。理论上，顶端出水口在出地前工作，侧端喷嘴在出地后工作，从而实现一种设备“在地下为钻头、在地上为喷头”的双重

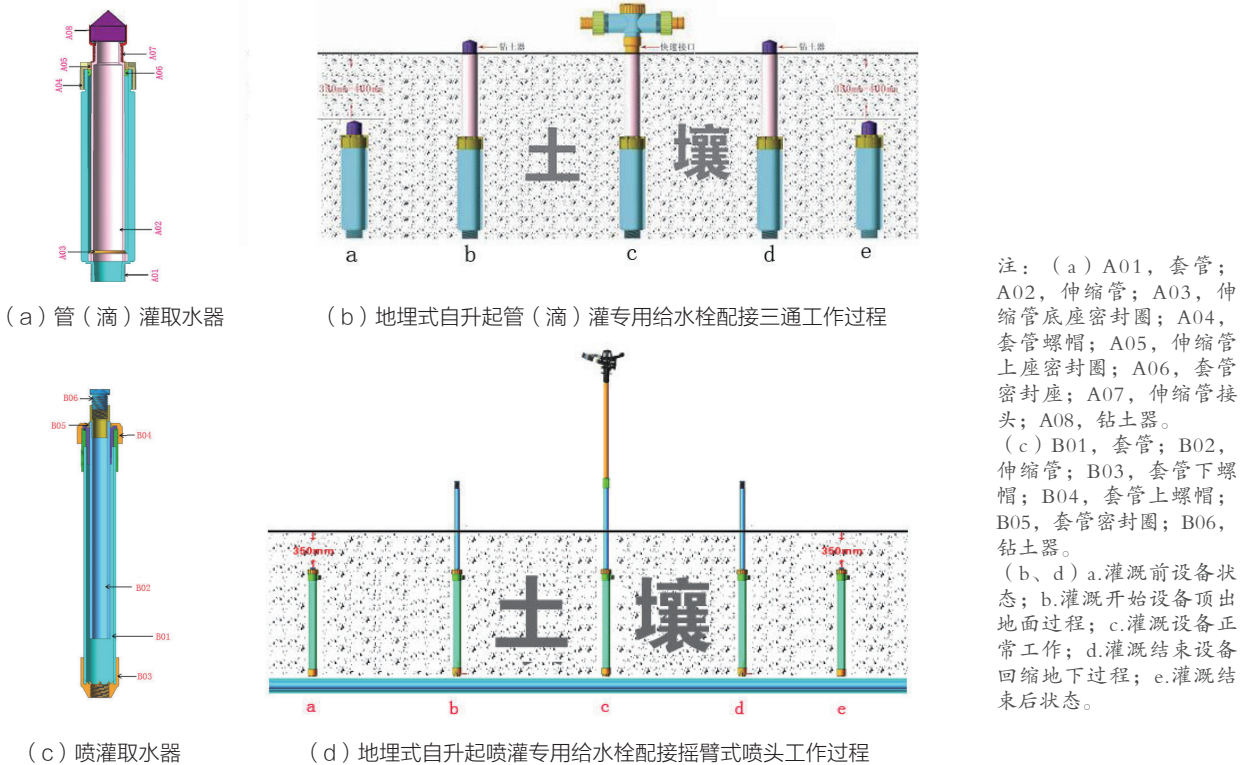


图4 配接不同灌溉设备的地理式自升起给水栓及其工作过程

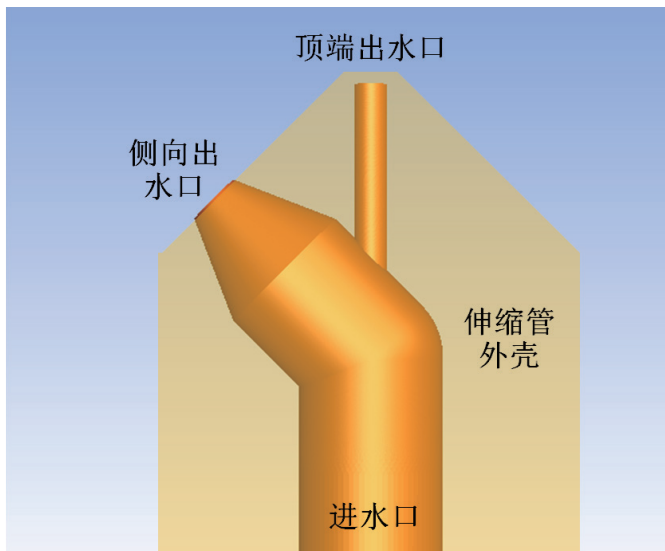


图5 地埋式自升降喷头设计

功能且能够自动切换。为简化制造工艺，通过特殊流道设计，出地前实现射流液化功能，出地后实现喷灌功能。同时，基于不同喷洒仰角控制不同喷洒范围的认识，设计多仰角多流道喷头。基于数值模拟提出了地埋式自升降喷头流道设计方法，优化了设备制造工艺，为地埋式自升降喷头设计提供了理论支撑。

本技术主要包括4种新产品：地埋式自升降微喷设备、钢珠击打驱动型地埋式自升降喷头、水力直击自旋型地埋式自升降喷头和地埋式自升降多喷嘴高均匀度喷头，如图6所示。这些喷头适应不同水质条件，通过采用合理的驱动、传动、流道等结构设计，既能实现破土顶出功能，又能有效阻隔土壤颗粒等杂物进入喷头内部影响作业。

地埋式自升降喷头彻底改变了现有喷头不能直接埋入土中的历史，解决了困扰喷灌行业多年的影响耕作等难题，有效推动传统喷灌设备的改造、升级和换代，真正实现了喷灌技术的节水省工增效等多种综合功能。



图6 地埋式自升降喷头产品

4.地埋式自动伸缩一体化喷灌成套产品创制

现有的固定式喷灌设备在灌溉前需要与遍布田间的取水口配接竖管和喷头，灌溉后，再将这些设备全部拆卸，并搬运回库房存放，金属结构还需进行防锈处理。除了影响耕作、耗费人力物力等，该设备还存在拆卸时损坏管件及占用库房、增加额外仓储费用等问题。基于地埋式自升起灌溉设备的破土出地原理，将现有固定式喷灌设备配套全新研制的地埋式自升降喷头，创制了地埋式自动伸缩一体化喷灌设备。这些设备集出水口、竖管和喷头于一体，无灌溉时整体埋设于土壤耕作层以下，灌溉时依靠设计水压将集成于一体的地埋式喷头从土壤中顶出并实施喷洒作业，灌溉结束后依靠水压或球体形成压差或人力将伸缩部分压回至耕作层以下。

本技术主要包括3种新产品：双管路地埋式自动伸缩一体化喷灌设备、单管路地埋式自动伸缩一体化喷灌设备、单管路地埋式自升起一体化喷灌设备，设备主体为全塑结构，如图7所示。地埋式自动伸缩一体化喷灌技术产品在喷灌作业前后均不再需要安装或拆卸任何设施，成功解决了固定管道式喷灌系统影响耕作、频繁拆卸、耗费人工、仓储损耗、占用耕地等诸多问题，极大地推动了固定管道式喷灌技术与设备的革新，全面提升了机械化耕作管护与收获效率，促进了灌溉技术从单一节水到节水、省工、便耕、省地的全面提升，为实现农业现代化提供了坚实的灌溉基础。

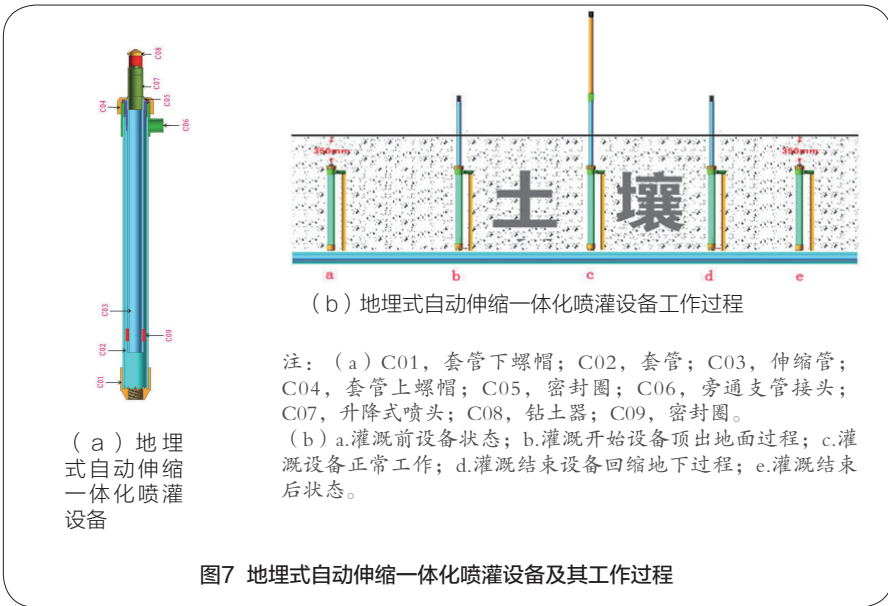


图7 地埋式自动伸缩一体化喷灌设备及其工作过程

三、技术集成应用模式

本技术产品具有共性的自动顶出功能，能根据不同应用环境实现取水或喷水等多种功能，同时也可根据实际需求采取多种回缩方式，避免对机械化耕作造成不利影响。特别是地埋式自动伸缩一体化喷灌设备，在灌溉作业前后均不需要安装或拆卸任何设施，只需控制支管首部的阀门即可完成灌溉装置的升降，实现喷洒作业，大大节约了劳动力，延长了设备使用寿命，提高了工作效率，极大地促进了高效节水灌溉技术的推广与普及。为更好推进地埋式高效节水灌溉技术的规模化应用，根据实践总结形成了地埋式自动伸缩高效节水灌溉产品成套技术应用模式。

1.地埋式自升起管（滴）灌专用给水栓配接三通模式

该模式主要包括水源首部、田间管网、地埋式自升起管（滴）灌专用给水栓、地面灌水系统等组成，如图8所示。其关键设备地埋式自升起管（滴）灌专用给水栓，包括套管、伸缩管和钻土器等3部分。套管埋于地面耕作层以下，可与输水管道相连，伸缩管置于套管内，可相对于套管管壁做垂直运动，从而伸缩管可以伸出地面或缩回地下；钻土器位于伸缩管顶端，可产生具有较强切割能力且快速湿润土壤的水流，在伸缩管顶出地面的过程中，钻土器可用来清除伸缩管上端的土壤；套管顶端装有特殊结构的密封圈，确保灌溉及埋设时设备的密封性良好。伸缩管出地后配接三通形成该种灌水模式。该模式适用性强、操作简单，在大田作物管灌和蔬菜滴灌等多种灌溉形式中均得到成功应用。

2.地埋式自升起喷灌专用给水栓配接立杆和摇臂喷头模式

该模式主要包括水源首部、田间管网、地埋式自升起喷灌专用给水栓、竖管、摇臂式喷头等组成，如图9所示。其关键设备地埋式自升起喷灌专用给水栓由套管、伸缩管和钻土器组成，其结构与地埋式自升起管（滴）灌专用给水栓相同，只是当伸缩管位于地面以上时，带喷头的立管取代钻土器与伸缩管相连，实

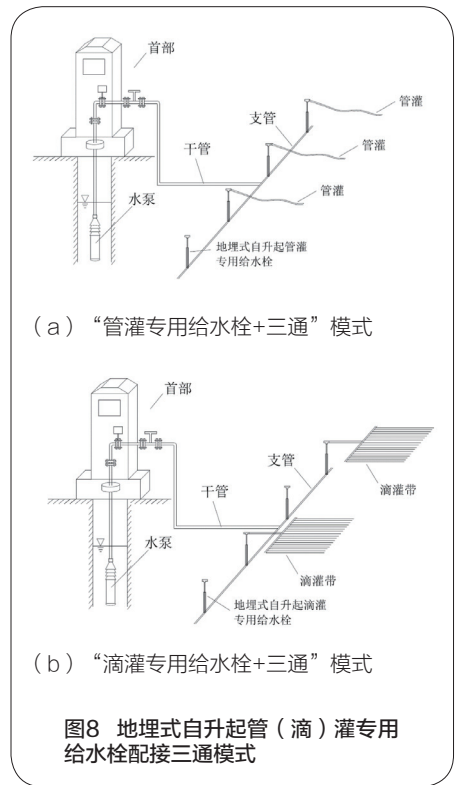


图8 地埋式自升起管（滴）灌专用给水栓配接三通模式

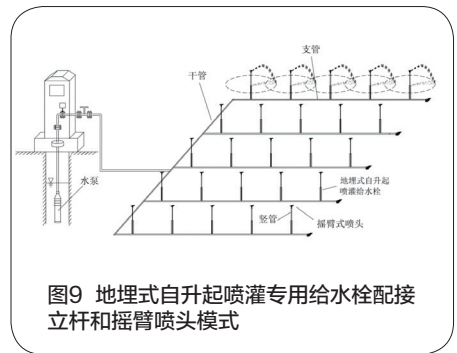


图9 地埋式自升起喷灌专用给水栓配接立杆和摇臂喷头模式

现喷灌功能。地埋式自升起喷灌专用给水栓配接立杆和摇臂喷头模式适用于多种农作物喷灌，其竖管长度可根据需求进行变化，尤其适合小麦、玉米等作物不同生长期的灌溉需求，可广泛用于固定管道式喷灌的改造升级和新建。

3.地埋式自动伸缩一体化喷灌模式

该模式主要包括水源首部、田间管网、地埋式自动伸缩一体化喷灌设备等组成，根据其运行方式可分为双管路地埋式自升降型一体化喷灌模式

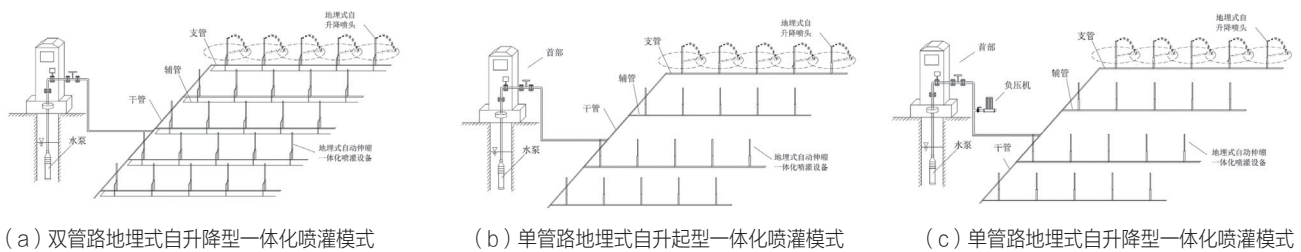


图10 地埋式自动伸缩一体化喷灌模式

和单管路地埋式自升起型及单管路地埋式自升降型一体化喷灌模式，如图10所示。其关键设备地埋式自动伸缩一体化喷灌设备由地埋式自升降喷头、伸缩管和套管等部分组成，伸缩管与地埋式喷头设计为螺纹连接方式；伸缩管是供水部件，为喷头提供灌溉水；套管是引水部件，也是伸缩管的固定部件，可防止设备地埋时泥土进入，确保伸缩管上下升降顺畅。地埋式自动伸缩一体化喷灌模式适用于大田作物、牧草、蔬菜等灌溉应用。

基于现实需要创建的适应不同条件下的地埋式自动伸缩高效节水灌溉成套技术应用模式，给出了能够指导设计施工的关键技术参数，以及便于实际使用的操作指南。通过科学分析，地埋式自动伸缩高效节水灌溉技术设备纳入了现有的国家标准技术体系。因此，给水栓系列归纳为3种类型，分别为地表式固定型、旱井式固定型和地埋式自升起型；喷灌系统中的管道式喷灌系统归纳为4种类型，分别为移动式系统、半固定式系统、固定式系统和地埋式自升起系统，如图11所示。正是由于已编制了产品技术指南以及产品可以纳入现有国家标准技术体系，新技术模式在实践中得到了大规模地推广应用。

四、应用前景

地埋式自动伸缩高效节水灌溉关键技术与核心产品，已取得国家授权发明专利5项、实用新型专利15项，全部通过了水利部新产品鉴定，技术创新与产品创制达到了国际领先水平，并填补了国内外在该方面的研发空白，具有原创性。该

项技术及集成应用模式具有四大显著特点：一是属于高效节水灌溉序列，具有很好的灌溉节水性；二是产品一体化设计无需频繁拆卸，节省劳力；三是设备埋于耕作层以下并依靠设计水压顶出地面，地面及耕作层内无任何妨碍耕作的设施，非常利于农业机械化；四是由于采用地埋设施，地面上无需保留任何保护装置，从根本上解决了传统灌溉设施占地问题，有效增加了播种面积，实现了农业增收。

地埋式自动伸缩高效节水灌溉技术与设备是由中国首次提出与研发的，是中国对世界灌溉的重大贡献。该技术针对实际问题研发，解决了现代农业重大关切，与现代农业发展相适应，具有普遍适用性；同时，技术产品通过试验示范已走向成熟，用水户使用热情高，具有可推广性，必将为我国现代农业的发展注入新的源动力。实践表明，该技术与市场需求、灌溉行业发展规划及国家产业政策高度一致，属于国家政策明确鼓励、支持的方向，它有效解决了现有技术产品影响耕作、占用耕地、频繁拆卸、仓储损耗、耗费人工等难题，推动了高效节水灌溉技术与设备的革新，市场潜力巨大，应用前景广阔，必将极大促进“十三五”期间发展1亿亩高效节水灌溉面积目标的落实与巩固。☑

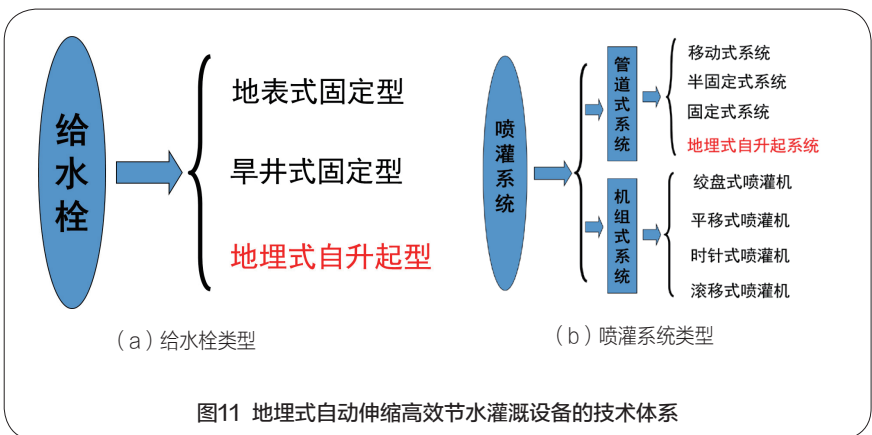


图11 地埋式自动伸缩高效节水灌溉设备的技术体系

(作者简介：谢崇宝，博士，教授级高级工程师，中国灌溉排水发展中心首席专家，主要从事农村水利技术与开发工作。)