

# 美国西部井灌区地下水管理发展动态调研

水利研究所 胡亚琼, 刘 静, 盛祝平, 高黎辉

自 1950 年以来,美国西部干旱半干旱地区由于干旱气候和灌溉的快速发展,地下水开采量逐年增加,开采量超过其自然补给量,使得该区域内地下水水位呈现逐年下降的趋势,而地下水开采面积逐年递增。西部干旱半干旱地区是美国最重要的棉花和小麦生产基地,农业灌溉用水是第一用水大户,用水量占总供水量的 60.3%。以德克萨斯州为例,灌溉用水是德州主要用水户,2008 年总的灌溉面积达到 217 万  $\text{hm}^2$ ,2008 年总灌溉用水量为 84.1 亿  $\text{m}^3$ ,每公顷用水量为 3960 $\text{m}^3$ ,其中地下水灌溉面积为 190 万  $\text{hm}^2$ ,地下水抽取量为 68.5 亿  $\text{m}^3$ ,占了总用水量的 81.4%。自上世纪 80 年代以来美国德克萨斯州高平原地区在节水压采方面开展了大量水资源统一管理技术、节水技术、管理措施等工作,取得了较好的成效。

事实上,我国华北地区和美国西部干旱半干旱地区的地下水超采现象极为类似。本专项调研了美国西部干旱半干旱地区多年来在以地下水灌溉为主的农业区,应对水资源短缺和地下水超采,在科研、管理等方面采取的各种地下水保护及农业节水措施取得的成效及最新发展动态。这些经验和措施可为我国华北地区实施地下水压采工作在宏观管理及战略发展方面提供参考。

## 1、地下水资源管理的政策与行政措施

(1) 划分地下水管理单元加强地下水管理。由于受气候变化影响、用水方式不同、含水层特征不同等因素的影响,在每个州内实行地下水统一管理是有一定难度的。因此为延长含水层的寿命,保持其可持续性,一个关键的管理方法是将含水层划分为若干子单元,而小范围的管理决策就是基于这些子单元;(2) **立法和法规**。最具代表性的是《高地平原地下水保护区一号条例》,该《条例》2012 年颁布,2013 年 2 月修订,规定抽取地下水不得超出“生产许可范围”,否则将构成违法。另外还有井网密度的设定、禁止浪费水、安全产量和消耗(safe-yield and depletion formulas)、计量要求、用水报告制度(Water use reporting)、年度地下水位监测计划(The annual groundwater-level monitoring program)和中央水库计划(Central Water Bank)等法律法规;(3) **设定多代可持续发展目标、推演和适应性管理的地下水资源管理方法**;(4) **用水户参与决策**;(5)

地表水和地下水资源的综合利用；(6) 重视保护。

## 2、地下水资源管理的技术措施

(1) **地下水监测技术**。美国历史上有监测记录的地下水监测井 850000 个，目前仍有 20000 多眼在进行观测；其中，11061 眼地下水监测井有长系列监测资料，实时地下水监测井 1189 个，每天采集一次数据；监测数据通过 NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) 美国国家海洋和大气署的卫星将数据传输至地质调查局的数据库。美国地质调查局是收集水文资料的中心，设有国家水资料储存和检索系统 (WATSTORE)，监测资料由设在各州的监测站点经过卫星等传输信道，自动采集输送到系统中，WATSTORE 储存全国的地下水监测数据。WATSTORE 的检索可用文字和图表给出，储存和检索由一个大型计算机网控制，数据收到后若干小时即可供全国使用。此外，还有州级数据库，其规模也相当可观。资料年限最长的监测井有超过 100 年的资料，访问地质调查局的数据库可免费查询到库中的监测数据；(2) **地下水动态预测方法**。美国在地下水预测模拟方面一直走在世界前列。在常用的地下水模拟模型的基础上，又开发了如下模型及框架：①综合区域水政策模型；②使用重力恢复与气候试验卫星 GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) 数据进行地下水模拟；③新的地下水管理概念框架；④地下水灌溉净收益水利经济模型；⑤综合水文经济模型；(3) **农业节水技术**。主要包括①提高单方水的作物生产力：包括种植抗旱栽培品种或减少投入（如肥料或水），以减少植物活力。②提高种植者的管理能力：通过增加种植者利用因地制宜的灌溉技术、增强供水系统、决策支持工具和其他一些先进的方法在时间和空间中优化灌溉量的能力来实现节水。包括具有较高灌水效率的新灌溉系统—低能精密应用 (LEPA—low-energy precision application) 系统、无线灌溉传感器网络等先进的节水灌溉技术。③在空间上优化水的应用和使用：通过各种科学灌溉调度方案来实施，包括非充分灌溉，将特定作物地理位置转移到具有最大适应和生产力的地区，以及完全或部分休耕地，以便将水转移到更有生产力的领域或用途。

本调研还以德克萨斯州为研究案例，依据灌溉作物特征给出了 7 种节水战略选择，这些节水战略的目标是在不减少灌溉面积和作物生产率的情况下减少地下水的抽取。这 7 种节水战略选择是：①用德克萨斯州高地平原蒸腾蒸发网络 (The

Texas High Plains Evapotranspiration Network, TXHPET) 进行灌溉管理；②改变作物品种；③改进灌溉技术；④改变种植结构；⑤保护性耕作方法；⑥加强降雨管理；⑦将小部分灌溉农田转为旱作农田。

总之,为了解决该地下水超采的问题,美国采取了通过立法限制地下水开采,通过立法划分地下水管理单元,开发利用模型研究地下水开采量与农业经济的关系,综合应用节水技术和管理措施实现节水和减少对地下水的开采。美国西部在控制地下水开发利用、实现可持续的水资源管理方面取得了良好的效果,值得学习借鉴。另外,地下水管理是一门综合学科,建议加大地下水管理学科的研究工作,特别是开展把管理立法、模型研究、经济评价等方面综合在一起的跨学科实用研究。