

6.水土保持与生态修复

宇宙射线中子法在黄土丘陵区土壤水分监测中的适用性研究

白锦涛、郑涵

长安大学

摘要: 准确监测土壤水分在水文学和生态学研究至关重要,但是区域地表土壤水分的获取是长期以来的研究难点。近年来,利用宇宙射线快中子法(CRNS 法)测量区域地表土壤含水量的研究得到了长足发展,作为一种新型的中尺度土壤水分无损测量方法,宇宙射线快中子法能够获得百米尺度源区内的土壤水分,填补了原位观测与遥感反演之间的空间尺度缺陷。宇宙射线快中子土壤水分监测方法具有非侵入性、非接触式、连续测量等优点,同时监测范围大、不受土壤盐碱程度影响,对旱涝预警、节水灌溉、生态环境保护及土壤生产力提升等具有重要意义。宇宙射线中子法逐渐被应用到各种条件下的土壤水分监测领域,但是其在下垫面地形较为复杂的黄土丘陵沟壑区的适用性和准确性还有待检验。本研究选取黄土丘陵沟壑区典型流域为研究对象,以 CRNP 为技术手段,于 2018-2019 年开展了 12 次大范围分布式烘干称重法测量,在不同的校准方案下评估了 CRNP 法在黄土丘陵沟壑区的测量足迹和准确性;并通过与频域反射法(FDR 法)的连续监测数据对比,分析了 CRNP 法土壤含水量连续性反演结果的稳定性及其对降雨事件的响应能力。结果表明,太阳中子是影响快中子数校正的主要影响因素,而空气湿度的影响几乎可以忽略;不同校准方案下 N0(测量源区土壤不含水条件下的中子数)差异不明显,CRNP 法与多点烘干称重法的线性拟合 R^2 均大于 0.9、均方根误差介于 $0.028\text{—}0.067\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$,表明 CRNP 法在黄土丘陵地区能够准确测量区域土壤含水量;CRNP 法的测量范围随气压、土壤含水量等因素变化而变化,其水平半径在两种不同定义下变化范围分别为 $368.4\text{—}375.1\text{m}$ 和 $167.9\text{—}200.9\text{m}$,平均值分别为 370.9m 和 184.6m ,有效测量深度介于 $17.8\text{—}32.0\text{cm}$,平均有效测量深度 24.0cm ;在稳定性方面,CRNP 法反演的区域土壤含水量与 FDR 法获的沟道 10cm 深土壤含水量的变化趋势,除冬季结冰期外完全一致,二者对于降水量 $>2\text{mm}$ 的降水过程均有明显响应,且 CRNP 法的灵敏性优于 FDR 法。综上所述,CRNS 法在黄土丘陵沟壑区土壤水分估算中表现出较好的适用性,对于地形异质性不敏感,对于百米级范围的平均土壤含水量的测量准确可信。本研究结果可为 CRNP 法相关的土壤水分监测与研究提供了理论和实践依据。

关键词: 土壤水分; 宇宙射线中子法; 烘干称重法; 频域反射法; 黄土丘陵区