

某调水工程高填方渠段沉降变形分析

海 亮 孙璎璎

中国南水北调集团中线有限公司渠首分公司 河南 南阳 473000

摘 要：调水工程高填方渠堤发生沉降易导致衬砌面板结构内力变化，影响渠道的运行安全，本文结合某调水工程高填方A渠段测压管水位、垂直位移测点及降雨量的变化规律，得到了该渠段表面变形与测压管水位存在较强的相关性，地下水位变化是导致区域地表变形的主要因素，研究成果对高填方渠堤沉降防治具有科学的参考意义。

关键词：高填方；沉降；变形

引言：某调水工程高填方A渠段在2020年5月~12月出现先沉降、后回弹的变形后，2022年6月~12月、2024年5月~9月再次出现相似的变形情况，2024年9月~2025年4月整体趋势相对平稳，2025年5月至11月再次出现较大沉降变形。截至2026年1月25日，该渠段的最大累计沉降量达102.67mm（1断面左岸堤顶）。自2020年发现该现象以来，陆续在坡顶路肩下部、外坡马道、坡脚截流沟内外侧及下游渠段增设了水平位移测点、垂直位移测点、测压管等监测设施。通过对比可知，该渠段的沉降变形与地下水位变化的相关性较强，而渠堤本身的内部变形较小。

1 工程概况

1.1 基本情况

A渠段为全填方渠段，属Ⅱ级阶地，填方高度10~17m，渠堤填土为弱膨胀土，渠基为Q3粉质粘土。

1.2 建设期施工情况

该渠段使用符合设计标准的土料，未使用含冰、冻土、杂质等不合格物质。土料的块体大小、含水率、干密度满足设计要求。填筑前已进行碾压工艺试验，确定铺土厚度、碾压设备和参数（速度、遍数等）。土料的含水率接近最优含水率。水泥土搅拌桩施工中，通过现场试验确定施工参数，严格按照参数施工。按水平分层，从低处向高处逐层填筑，层间结合紧密^[1]。采用进占法卸料，统一碾压。按碾压试验确定的参数施工，分段填筑错开接缝。边削坡、边铺土、边压实，接合部压实度 $\geq 98\%$ 。复合土工膜铺设基底碾压平整，无尖角。坡面铺设从上至下进行，保持平整。防渗土工膜焊接采用专用设备，双焊缝搭接宽度 $\geq 10\text{cm}$ ，通过试验确定焊接参数。建筑物相接处的渠道填筑，清理建筑物表面的乳皮、粉尘及油污，对外露铁件进行防护处理。涂泥浆铺土时，泥浆浓度1:25~1:3，涂浆与铺土、夯实同步进行。

2 安全监测状况

2.1 监测设施布置

高填方A渠段左岸堤顶、左岸马道、右岸堤顶、右岸马道各布置了1个垂直位移测点，相邻断面间距100m。

2020年7月，在高填方A渠段左右岸外坡脚截流沟内侧共增加8个垂直位移测点；2021年4月在高填方A渠段左右岸外坡脚截流沟外侧共增加了8个垂直位移测点，在4断面、6断面左右岸外坡马道分别安装1孔测斜管（兼做测压管、沉降管使用），在左右岸外坡脚截流沟外侧分别增加1孔测压管；2021年7月，在高填方A渠段4断面、6断面渠堤维护道路外侧各增加1对水平位移观测墩；2022年9月，分别在该段高填方下游B渠段的左、右岸堤顶和防护林内共增加16个垂直位移测点和2个垂直位移墙标；2025年3月在高填方C渠段左、右岸堤顶增加4个垂直位移测点和2个垂直位移墙标。

3 安全监测成果分析

3.1 变形监测

高填方A渠段垂直位移测点在2020年5月2日至6月11日大流量输水期间沉降变化较大，沉降量在3.69mm~21.28mm之间，累计沉降量在-6.58mm~89.33mm之间；2020年6月11日至2020年12月6日又呈现大幅度回弹状态，量值在4.84mm~32.85mm之间，累计沉降量在-29.64mm~69.28mm之间。2022年6月至8月呈大幅度下沉状态，沉降量在8.17mm~33.01mm之间，累计沉降量在-6.48mm~98.35mm之间；2022年8月至2023年2月又呈现稍小幅度回弹状态，量值在0.38mm~22.70mm之间，累计沉降量在-20.81mm~88.52mm之间；2023年2月至2024年5月整体趋势相对平稳，2024年6月至9月再次出现先沉降后回弹的变形，2024年9月至2025年4月整体趋势相对平稳，2025年5月至11月再次出现较大沉降变形。截至2026年1月25日累计沉降量在-22.8mm~102.67mm之间，相较12月24日，变化量在-1.35mm~1.17mm范围内，本期变形趋势平稳。沉降过程曲线图如下图1

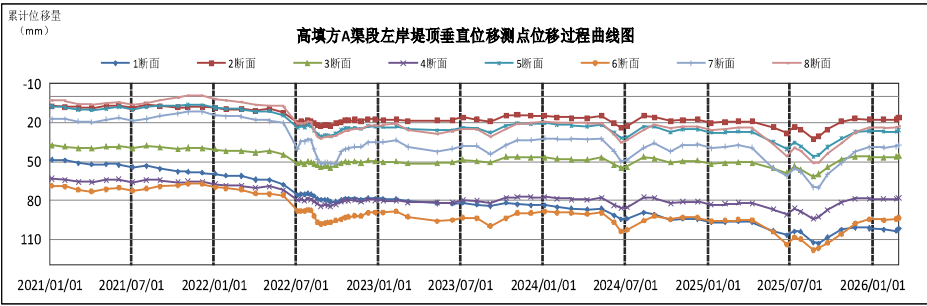


图1 高填方A渠段左岸堤顶垂直位移测值过程线

根据各测点的当前累计沉降量，绘制四个部位的沉降量纵向分布图如下图3.1-2。外坡马道测点沉降量分布规律体现为上游侧测点的沉降量相对较大，向下游侧逐渐减小；对于左右岸堤顶而言，沿纵向的沉降不均匀，4断面、6断面的累计沉降量相对较大；同断面外坡马道的沉降变形均小于堤顶，符合正常规律。

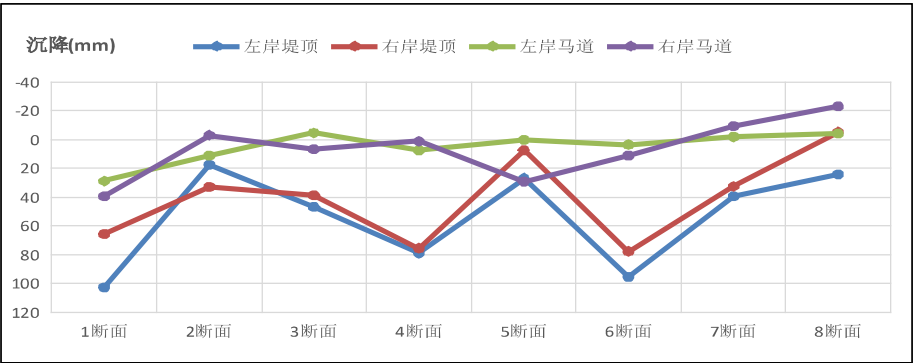


图2 高填方A渠段各部位沉降量纵向分布图

2020年8月在高填方A渠段左右岸外坡脚截流沟截流沟内外侧共增设16个垂直位移测点，截至2026年1月25日，截流沟内侧测点累计沉降量在-39.22mm ~ 29.89mm之间，相较12月24日变化量在-1.86mm ~ 0.34mm范围内，近3个月变化量在-15.93mm ~ -0.14mm之间，截流沟外侧测点累计沉降量在-25.26mm ~ -9.48mm之间，相较12月24日变化量在-0.79mm ~ 0.04mm范围内，近3个月变化量在-14.15mm ~ -1.47mm之间，整体呈回弹趋势。该部分新增测点与原有测点变形情况基本类似。

2022年9月在高填方B渠段左右岸坡顶路面、左右岸防护林及桥墩上共增加18个垂直位移测点。截至2026年1月25日，坡顶路面垂直位移测点累计沉降量在-13.68mm ~ -9.79mm之间，相较12月24日变化量在-2.72mm ~ -0.33mm范围内，近3个月变化量在-12.87mm ~ -9.71mm之间，整体呈回弹趋势；桥墩上垂直位移测点累计沉降量分别为-9.57mm、-8.25mm，相较12月24日变化量分别为-2.16 mm、-1.76mm，近3个月变化量分别为-11.59mm、-10.50mm之间，呈回弹趋势。该部分新增测点与原有测点变形情况基本类似。

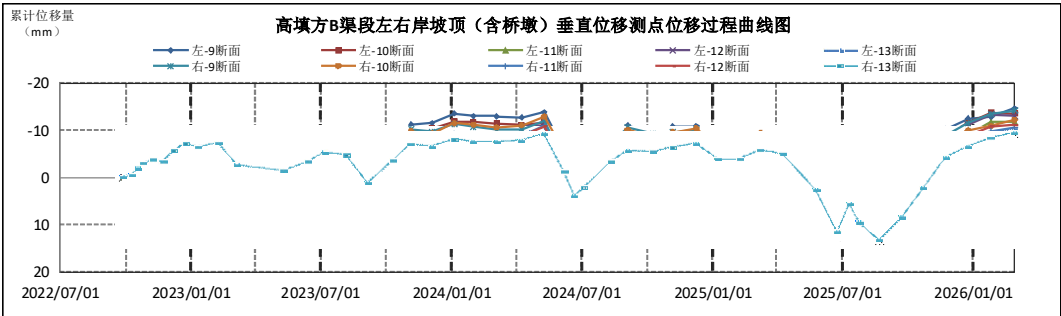


图3 高填方B渠段左右岸坡顶(含桥墩)表面垂直位移测值过程线

2025年3月在高填方C渠段左、右岸堤顶及桥墩共增加6个垂直位移测点。于2025年3月8日取得初始值，2025年12月24日 ~ 1月25日期间，沉降变化量分别为-2.67mm ~

-1.50mm、-1.98mm、-1.57mm，近3个月变化量分别为-11.11 mm ~ -9.77mm、-10.39mm、-9.31mm，整体呈回弹趋势。该部分新增测点与原有测点变形情况基本类似。

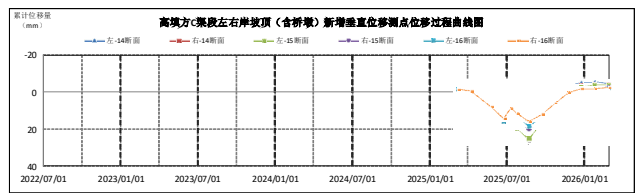


图4 高填方C渠段左右岸坡顶(含桥墩)新增垂直位移点位移过程曲线图

2021年7月在4断面、6断面附近渠顶公路两侧增加的2对水平位移收敛点,截至2026年1月26日累计位移量分别为-26.92mm、-25.93mm,较12月22日分别变化了-0.79mm、0.10mm,近3个月变化量分别为-2.01mm、-1.49mm,呈缓慢向渠道外坡扩展趋势。

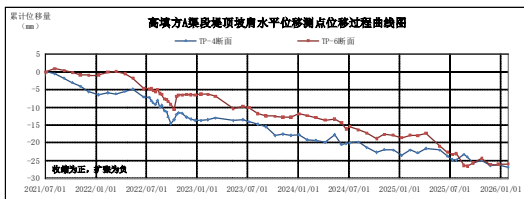


图5 高填方渠段A渠段新增表面水平位移收敛测值过程线

4断面、6断面外坡马道新增测斜管、沉降管于2021年4月21日取得初始值,截至2026年1月25日,其累计变形量均比较小,暂未发现明显的异常情况^[2]。

3.2 渗流监测

4断面、6断面左右岸外坡马道、外坡脚绿化林带内分别布设1孔测压管,截至2026年1月23日,外坡马道测压管水位在133.91m ~ 136.78m之间,外坡脚测压管水位在129.59m ~ 131.35m之间,较12月25日变化了-1.32m ~ -0.81m。2025年12月26日 ~ 2026年1月26日期间,右岸围网外两口民井水位本月分别下降了0.86m、0.08m。2025年12月24日 ~ 2026年1月25日,累计降雨量为4mm,综合以上地下水位监测成果,本期地下水位呈下降趋势。通过对比可知,测压管水位与围网外民井水位的变化规律相似,且均受环境降雨的影响较大。如图6、7所示,该渠段沉降变形与测压管水位、围网外民井水位深度之间存在明显的相关性,因此初步判断高填方A渠段的沉降、回弹变形可能为区域地表沉降、回弹变形所致,区域地表的变形与地下水位变化的相关性较为明显。

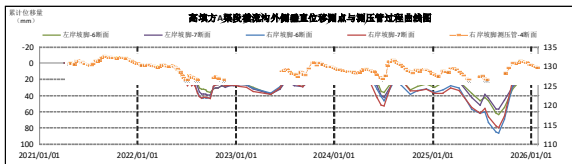


图6 高填方A渠段沉降变形与测压管水位对比情况

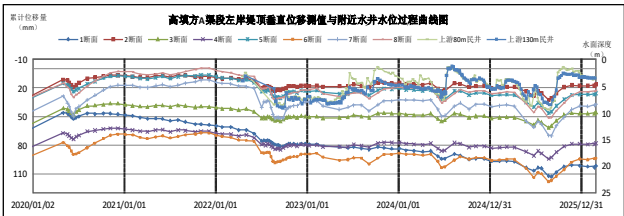


图7 高填方A渠段沉降变形与附近水井水位对比情况

结束语:

(1) 高填方A渠段在2020年期间出现了先沉降、后回弹变形,2021年期间沉降量变化不大,2022年6月至8月出现大幅度沉降,2022年8月至2023年2月呈现小幅度回弹,2023年2月至2024年5月整体趋势相对平稳,2024年6月至9月再次出现先沉降后回弹的变形,除此之外整体趋势平稳。目前该渠段处于安全状态,不影响输水运行安全。(2) 通过对比高填方A渠段与下游B渠段的沉降变形可知,二者的变形规律相似,量值有所差异;而内部变形的监测成果显示,仅渠堤表层存在较小的变形,渠堤深层土体的水平、垂直位移均比较稳定。因此,高填方A渠段的沉降、回弹变形可能为区域地表变形所致。(3) 7断面渗流监测成果显示,该断面衬砌板虽存在渗水现象,但渠堤填土下方渗压计基本无水,相邻断面外坡马道、外坡脚测压管水位不与渠道水位相关,因此渠堤内部尚未形成明显的渗透通道,衬砌板渗水尚未影响到渠堤的稳定。(4) 该渠段垂直位移测点的沉降变形与外坡马道、外坡脚测压管水位以及围网外民井水位的相关性明显。初步判断该渠段的沉降变形可能与地下水位变化引起的区域地表变形有关,而测压管水位及民井水位(地下水位)变化受降雨的影响较大,因此需特别关注连续降雨或连续干旱时段的监测数据变化情况,并加强现场巡查,主要查看渠堤外坡有无渗水情况。

参考文献:

[1]孙运前.某工程高填方渠堤沉降变形分析[J].工程技术研究,2020,5(12):114-115.

[2]罗文胜.某工程高填方渠堤沉降变形防治措施[J].珠江水运,2020(7):64-65.