

# 山区高速公路弃渣场工程安全稳定监测方法

叶咸<sup>1</sup>, 陈文<sup>2</sup>, 张新民<sup>1</sup>, 李果<sup>1</sup>, 赵鑫<sup>1</sup>, 潘俊良<sup>1</sup>

(1. 云南省交通规划设计研究院有限公司 陆地交通气象灾害防治技术国家工程实验室, 云南 昆明 650041;  
2. 玉溪市晋红高速公路投资有限公司)

**摘要:**随着山区高速公路建设不断推进,附属的弃渣场工程数量剧增。弃渣场工程属于典型的人工松散堆积体,其稳定性很差,威胁着下游的公路工程构筑物、河流以及人类生命财产安全。结合山区弃渣场工程特性,选取合适手段对边坡进行安全稳定监测,不仅利于防范工程风险,还利于避免和减轻工程灾害造成的损失。该文通过陆家屯弃渣场工程监测实例,初步探讨了无人机倾斜摄影测量、GNSS地表相对位移监测、地下深部位移监测、降雨量监测等多种监测手段相结合的综合监测方法。研究表明该监测方法可行性、可靠性、实用性较高,为边坡的安全监测预警提供了有力的数据支撑。

**关键词:**高速公路;弃渣场;稳定性;监测方法

受到复杂的地质环境条件制约,山区高速公路的桥隧比高,公路隧道、高路堑边坡工程大量开挖,因此产生大量的弃渣,分布于公路沿线,需选定适宜的弃渣场进行集中处置。作为公路的重要附属工程,弃渣场主要表现出:①数量多:在中国东南部丘陵区,平均100 km需要设置29处弃渣场;在西南山岭重丘区则密度更大,如云南省施甸至勐简高速公路施甸至链子桥段全线87.035 km的线路分布36处弃渣场;②危害大:施工完成后弃渣场在暴雨、地震等诱因下可能发生滑塌、泥石流等次生灾害,对渣场附近的建筑物或人民生命财产安全构成严重威胁。如四川的蒲虹公路,全长26 km,沿线共设置17座弃渣场,2010年3月底,在强降雨影响下多座弃渣场发生泥石流,其中13#弃渣场规模较大,泥石流翻越拦渣坝、淤埋公路,对下游居民产生严重威胁。弃渣场一旦出现安全稳定问题,将造成严重的后果。由于弃渣场地质条件复杂、弃渣成分复杂等,弃渣场安全稳定评价结果不准确。因此,对于库容较大、危险性较大的高陡弃渣体边坡,进行安全稳定监测工作十分必要。

通过查阅文献资料发现,目前山区高速公路取弃土场的监测主要是环境监测,包括水土流失监测、破坏面积监测、地表水污染监测、植被恢复监测等,而弃渣场安全稳定监测方面的研究少见报道。该文以云南省

晋红高速公路陆家屯弃渣场为例,结合无人机倾斜摄影测量、GNSS地表相对位移监测、地下深部位移监测、降雨量监测等多种监测手段,对适用于山区高速公路弃渣场的安全稳定监测方法进行初步的探讨。

## 1 监测方法

弃渣场系大型人工堆积体,岩土体结构松散,变形破坏机制复杂。在弃渣场建成后,大多数弃渣场经过固结沉降逐步稳定,但是部分弃渣场在受到降雨、地下水、机械振动等影响下,容易发生垮塌、滑坡或泥石流。不同于一般的公路边坡或滑坡监测,弃渣场安全稳定监测应通过多种监测手段进行。弃渣场的安全稳定监测,应基于宏观观察,从整体上把握弃渣场各区域的稳定性,再对比分析渣场表面以及岩土体内部位移变化趋势,结合降雨量、地下水动态变化等,最终综合判定弃渣场的安全稳定性。

### 1.1 无人机倾斜摄影测量

无人机倾斜摄影测量技术近年来发展较快,在高陡危岩、泥石流、滑坡等地质灾害中得到广泛运用。无人机倾斜摄影测量成果用于真三维地形建模,可以展现弃渣场工程全局形态并保持局部细节,可以清楚反映弃渣场变形破坏的类型、规模、区域范围等。通过无

收稿日期:2021-05-26(修改稿)

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2018YFC1504906);2019年云南省基础研究计划项目青年项目(编号:2019FD003);交通运输部科技示范工程项目(编号:2017-09);云南省交通运输厅2019年科技创新管理咨询研究项目(编号:2019301)

作者简介:叶咸,男,硕士,高级工程师。E-mail:478451744@qq.com

人机倾斜摄影测量技术,可从宏观上把握弃渣场施工前后地形的变化,亦可为位移监测和人工巡查等提供数据支撑。因此,在进行位移监测之前先进行无人机倾斜摄影测量十分必要。

### 1.2 GNSS 地表相对位移监测

全球导航卫星系统(GNSS)能够全天候、高精度和自动化获取地表三维坐标,而且在实际监测时不受站点间通视条件限制,定位误差不随时间积累,在地质灾害监测中应用较为广泛。GNSS 监测系统由一个监测基站和多个监测站构成,在实际布设时,将监测基站布设在安全稳定的区域,监测站布设在弃渣场地面比较典型的区域。通过物联网技术,可将地表位移数据传至室内电脑、服务器或手机终端,供技术人员使用。GNSS 监测数据通常能做到半小时传递一次,数据连续性好。通过布设 GNSS 监测站,采集弃渣场地表相对位移,有助于掌握弃渣场整体变形趋势。

### 1.3 深部位移监测

根据无人机倾斜摄影成果,在弃渣场典型位置布设深部位移监测钻孔,安装深部位移测斜装置,可以获得弃渣场内部不同深度范围处的位移。根据位移时间变化曲线、深度位移曲线等数据处理手段,可以准确地获取潜在滑动面位置及变形趋势。目前深部位移监测装置较为常用的有两种:①带滑轨的测斜管,通过人工监测,每次需将测斜探头沿滑轨由下向上滑动,经过简单的操作即可获得一期位移数据;②近年来用途较为广泛的一种基于阵列式加速度传感器 MEMS 的新型柔性测斜装置,该装置放入钻孔中,设置好主要方向后即可实现高精度、大量程、自动化连续监测。

### 1.4 地下水动态变化监测

地下水对弃渣场的整体稳定性影响程度与弃渣场岩土体类型有关。例如灰岩类弃土含有大量红黏土,具有吸水膨胀的特点,在暴雨作用下,弃渣受到地下水影响,静水压力和动水压力急增,容易产生滑坡或形成较大规模的黏性泥石流。因此应根据弃渣场类型,在弃渣场合理位置布置地下水动态变化监测孔。

### 1.5 降雨量监测

降雨是造成弃渣场病害最为显著的因素,因此通过监测手段监测弃渣场区域降雨量,对分析弃渣场位移变化和工程稳定性预测预报均十分必要。降雨量监测可以采用翻斗式雨量计,设备成本较低。

综上,在实际监测工程中,可先采用无人机倾斜摄影技术,在宏观上查明弃渣场详细情况及周边环境,根据该测量成果选取弃渣场较为敏感的位置(易发生变

形的位置或一旦发生变形破坏危害较大的位置)布设 GNSS 地表位移监测站和深部位移监测装置,获取弃渣场变形监测数据。最后结合降雨量、地下水位情况、位移变化情况,辅助现场人工巡查,进行综合分析。由于监测数据源较多,应注意分析各数据之间的关联性。

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况

陆家屯渣场位于晋红高速公路 K28+620 右侧,是典型的沟道型弃渣场。弃渣场所在区域属构造剥蚀低中山地貌,地表多为林地、果园、荒地。区内年平均降雨量 1 094.1 mm,历年最大日降雨量 256.7 mm。弃渣场所处沟谷延伸较远,天然坡比为 14.6%,汇流面积约为 2 km<sup>2</sup>。主要地层为第四系冲洪积层、残坡积层粉质黏土及碎石土,下伏前震旦系昆阳群美党组板岩。区内发育一条平移断层,无其他地质构造。根据 GB 18306—2015《中国地震动参数区划图》,区内地震动峰值加速度为 0.20g,对应地震基本烈度为Ⅷ度,地震动反映谱特征周期为 0.40 s。总体上,陆家屯地质环境较为复杂。

陆家屯渣场的弃渣成分复杂,主要为附近隧道洞渣、路基挖方,以及部分原有铁路弃渣与生活垃圾。渣场上坝设计高程为 1 884.419 m,下坝设计高程为 1 831.758 m,渣场堆高较大。需要说明的是,在渣场所处沟道的下游有晋红高速公路主线、看守所以及铁路桥梁等重要设施。弃渣场一旦发生滑坡,将对相关设施和人员安全造成巨大危害。因此对弃渣场的安全稳定进行监测十分必要。

### 2.2 监测布设

采用无人机倾斜摄影测量技术,宏观掌握弃渣场特点,弃渣场整体上可分为下坝区、中部平台及上坝区,分别布设监测手段(图 1)。

#### (1) 下坝区

由于下坝区紧邻公路主线及红塔区看守所,填土厚度大,临空面范围大,是监测的重点。在下坝区边坡顶部布置两个 GNSS 监测点,编号为 G2 和 G3。在下坝区边坡底部、中部、顶部分别布置 1 个深部位移监测点,其中中部监测点采用深部自动化位移测量装置,监测点编号为 SZ1;底部和顶部采用滑动式测斜仪进行监测,监测点编号为 S1、S2。

#### (2) 平台区

中部平台区范围较大,上游局部为原铁路弃渣,由

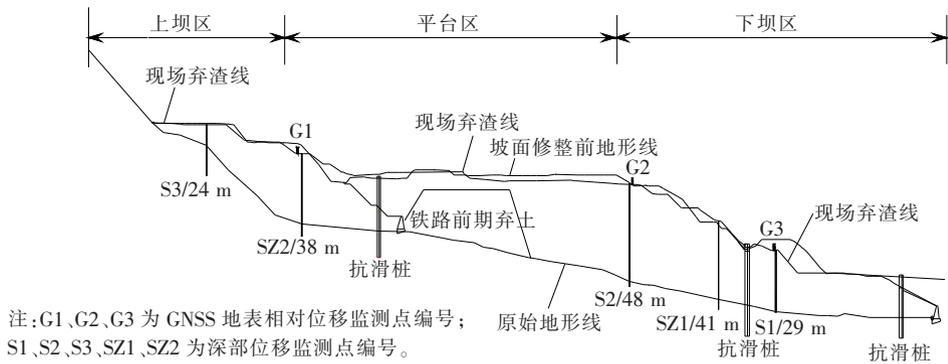


图 1 监测点剖面位置图

于较为松散,并且现弃渣与铁路弃渣间界面为一软弱结构面,具有一定的安全风险,需对其进行监测。在中部平台表面上游布置 1 个 GNSS 监测点,编号为 G1。在中部平台上游布置 1 个深部位移监测点,采用深部自动化位移测量装置,监测点编号为 SZ2。

(3) 上坝区

弃渣在上坝区形成边坡,在雨水、地震等因素作用下有一定失稳风险,需进行监测。在上坝区边坡中上部布置 1 个深部位移监测点,采用滑动式测斜仪,监测点编号为 S3。

在该工程实例中,共布置表面位移监测点 3 个。GNSS 监测点 3 个(G1~G3),布置于弃渣场各处,用于长期、自动、高频监控下坝区边坡顶部及铁路弃渣区表面变形。共布置深部位移监测点 5 个,其中采用深部自动化位移测量装置监测点 2 个(SZ1、SZ2),分别布置于下坝区及上坝区边坡,用于长期、自动、高频监控上、下坝区边坡深部位移;采用滑动式测斜仪深部位移监测点 3 个(S1~S3),分别位于上、下坝区边坡,作为自动深部位移监测的有效补充。此外,还可以通过深部位移监测孔,对弃渣场的整体地下水位进行监测。另布置降雨量监测点 1 个(Y1),布置于下游高速公路隧道管理所空旷场地内,监测弃渣场区域降雨量。

2.3 监测数据分析

(1) GNSS 地表相对位移监测数据分析

图 2 为从 2017 年 8 月 1 日至 2019 年 5 月 25 日, G1 监测点在 Y 方向(东西向)向正西(弃渣场反坡向)移动 5 mm,在 X 方向(南北向)向正北方向移动 2 mm,在 Z 方向(垂直方向)的位移量为 7 mm。从位移量上看,X、Y、Z 3 个方向的位移变化都不明显。

图 3 为从 2017 年 8 月 1 日至 2019 年 5 月 25 日, G2 监测点在 X 方向朝正北(渣场左侧)移动量为 20 mm;在 Y 方向(东西向)向正西(弃渣场反坡向)移动

量为 4 mm;在 Z 方向(垂直方向)的沉降量为 122 mm。2017 年 10 月 14 日,Z 方向位移陡增,与当日发生强降雨有关。从监测结果来看,X、Y 两个方向的位移量变化不明显,Z 方向的竖向沉降量较大。

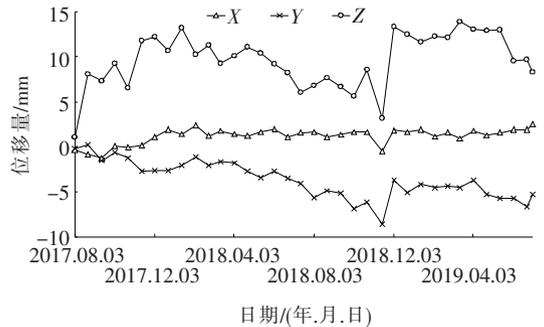


图 2 G1 监测点数据曲线图

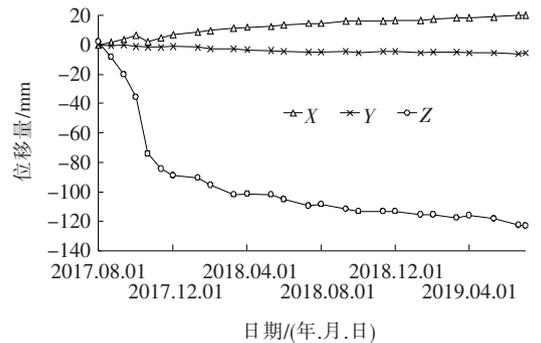


图 3 G2 监测点数据曲线图

图 4 为从 2017 年 8 月 1 日至 2019 年 5 月 25 日, G3 监测点在 X 方向(南北向)向正北(渣场左侧)位移量为 10 mm;在 Y 方向(东西向)向正西方向(弃渣场反坡向)发生位移量为 3 mm;在 Z 方向(垂直方向)的位移量为 13 mm。从监测结果来看,X、Y、Z 3 个方向的位移量变化都不明显。

(2) 深部位移监测数据分析

图 5 为 S1 监测孔朝渣场下游方向位移—深度曲

线,从图5可以看到:2017年6月至2019年3月,15 m深度以上区域存在向渣场上游的变形,最大变形量约为37 mm,位移增加较为缓慢。

图6为SZ1监测孔朝向渣场下游方向位移-深度曲线,图6显示:在38 m深度处明显存在滑移面(该位置是填土与原地表接触面位置),35 m深度以上位移表现出持续增加。

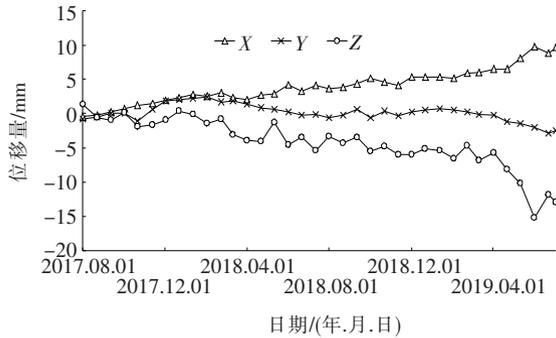


图4 G3监测点数据曲线图

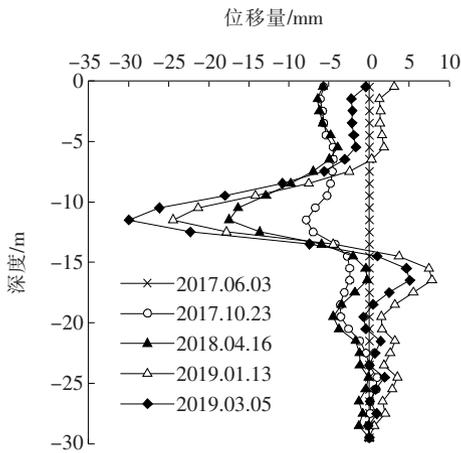


图5 S1监测孔朝渣场下游方向位移-深度曲线

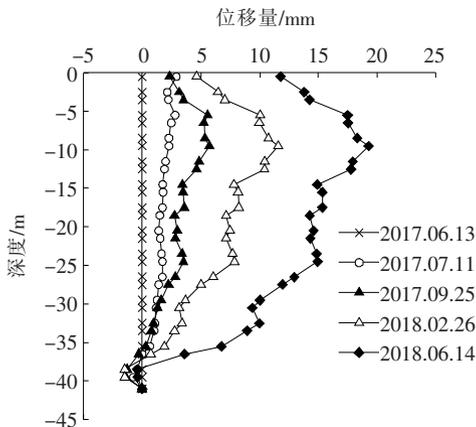


图6 SZ1监测孔朝渣场下游方向位移-深度曲线

线图,图7显示从2017年6月监测开始,朝渣场下游方向位移持续增加,2017年10月下旬至2018年4月,位移量基本未增加,2018年4月中旬开始,随着雨季的到来,位移量再次增加。表明SZ1监测孔周边弃渣体的位移变形与降雨具有紧密的联系。



图7 SZ1监测孔朝渣场下游5.5 m深度处位移-时间曲线

图8为S2监测孔朝向下游方向的位移-深度曲线。

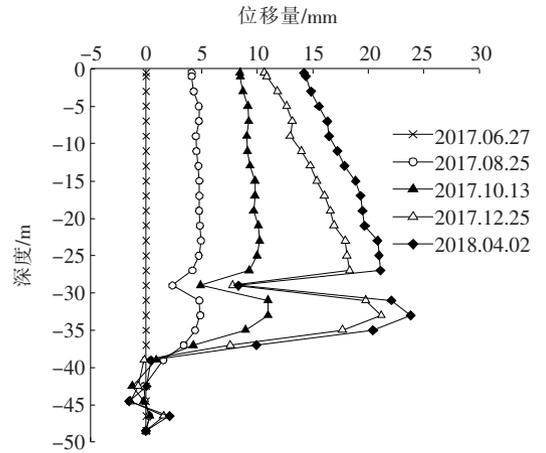


图8 S2朝渣场下游方向位移-深度曲线

从图8可以看出:在38 m深度处位移量陡然增加,该处显示出滑移面(该位置是填土与原地表接触面位置),上部除28 m处外其他深度均表现出位移量增加的现象,28 m深度处推测有较大块石或其他原因对测斜管产生了阻碍。2017年6月至2019年3月,朝渣场下游方向位移共增加约27 mm,位移量较小。

图9为S2朝渣场下游方向5 m深度处时间一位移曲线。

从图9可以看出:位移主要发生在2017年6月至2017年底,随后位移量增加较小,位移变形趋势趋于平缓。

图10、11分别为SZ2、S3监测孔朝渣场下游方向位移-深度曲线。从图10、11可知,两孔位置处位移

图7为SZ1监测孔5.5 m深度处位移-时间曲

量变化小,未见有明显的变形破坏趋势。表明弃渣场上坝区处于较为稳定的状态。

### (3) 降雨量监测数据分析

降雨量监测期间,陆家屯渣场共发生大暴雨 1 次,暴雨 2 次,大雨 8 次,其余主要为小~中雨(图 12、13)。从图 12、13 可看出:陆家屯弃渣场每年 5 月至 10 月为雨季,干湿分明。从 2018 年降雨数据看,2018 年全年降雨量 926.4 mm,雨季降雨量 853.8 mm,旱季 72.6 mm,雨季降雨量占全年雨量的 92.16%。

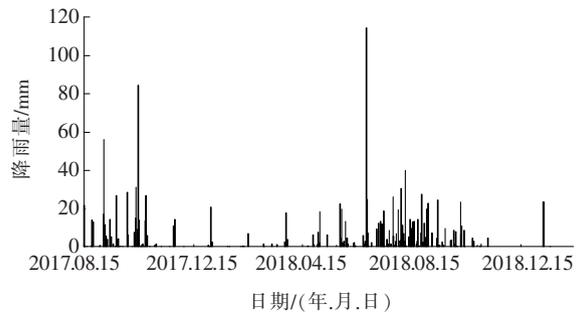


图 12 日累积降雨量

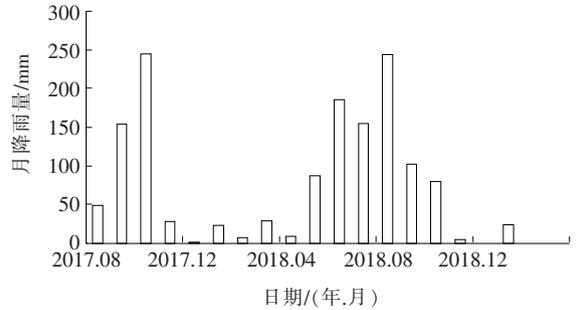


图 13 月累积降雨量

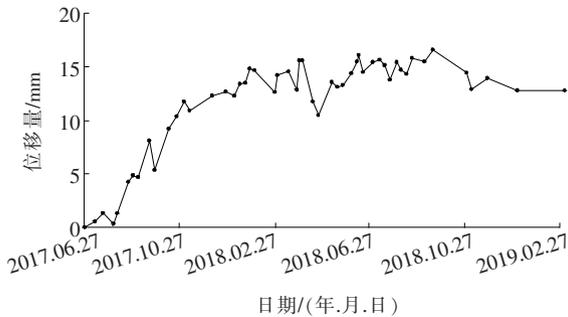


图 9 S2 朝渣场下游 5 m 深度处时间一位移曲线

在 7、8 月,降雨强度一般,但是降雨较为连续。此类降雨易导致渣体内部含水量提高,地下水水位上升,不利于渣场边坡稳定。

结合前述深部位移与地表位移监测成果分析,弃渣场边坡局部仍在缓慢沉降变形,且该变形受降雨影响较为明显,降雨是控制边坡安全稳定的重要因素。

### (4) 地下水位监测数据分析

图 14 为监测孔地下水位变化曲线。

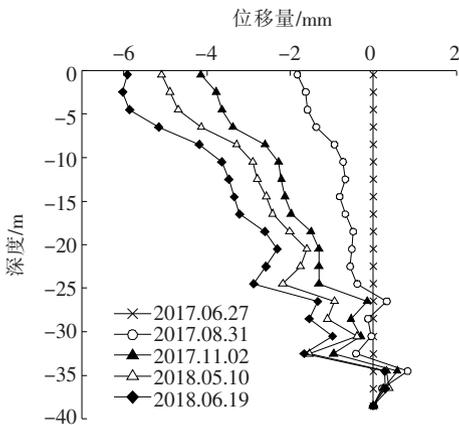


图 10 SZ2 朝渣场下游方向位移—深度曲线

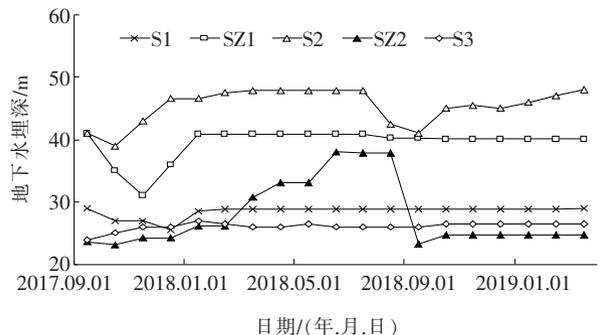


图 14 监测孔地下水水位变化曲线

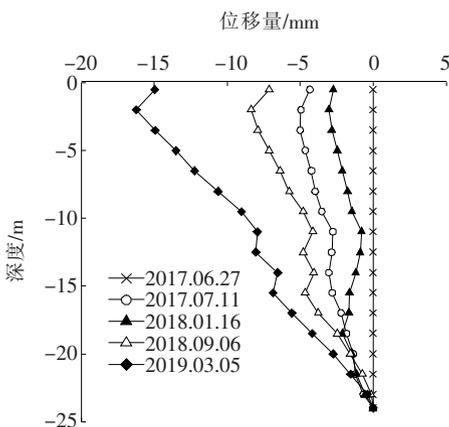


图 11 S3 朝渣场下游方向位移—深度曲线

从图 14 可知,S1 和 S3 监测孔水位较为稳定,一方面,表明受地表降雨影响较小;另一方面可以推测两处地下水径流通道较为畅通,降雨进入渣体后,这两处地下水迅速向下游径流,因此在两处地下水水位变化不大。S2 监测水位在 8 月至 9 月出现上涨,而在雨季 5、6、7、10 几个月地下水水位与旱季地下水水位基本一致,8 月与 9 月属于降雨较为连续、集中的月份,表明

在该处地下水径流受到一定程度的影响,在大雨或连续降雨下,该处地下水水位上升,对S2监测孔处渣体边坡的稳定性产生不利影响,而该处正是弃渣场填土厚度最大的位置,应注意降雨的影响,做好地表水排水,减少地表水进入渣体内部。

地下水监测结果与降雨监测结果对应较好,降雨后,地表水入渗进入渣体内部,由于渣体松散,孔隙较多,渗透能力很强,因此地下水水位变化与降雨量相比并没有出现明显的滞后。在降雨后,地下水水位抬升,在渣体内部局部存在较高的静水压力,此外还存在渗流、动水压力等,均对渣体稳定性产生一定的影响。因此在降雨后将地表水迅速、顺畅排出非常重要。

### (5) 人工巡查结果

通过定期人工巡查,对弃渣场地表积水、排水沟等进行调查,能够及时反映出相关病害,并给出处治对策,是对位移监测等的有效补充。如图15所示,弃渣场施工完毕1年后,多处排水沟开裂、淤堵,局部出现低洼,一旦发生强降雨或者连续降雨,将出现积水。

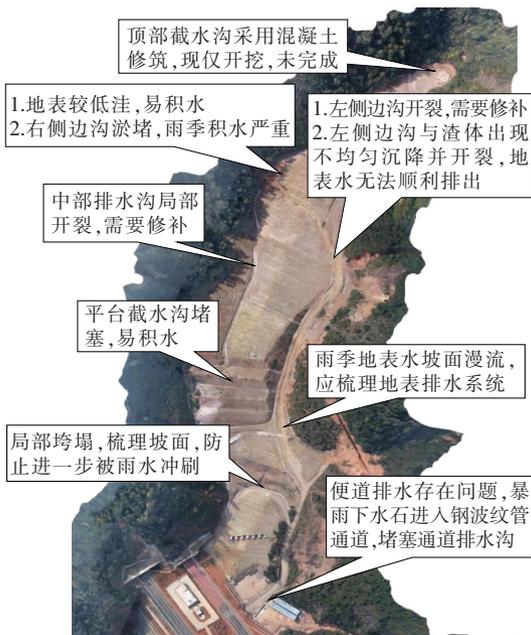


图15 人工巡查结果(基于无人机三维模型)

## 2.4 监测成果发布

通常情况下,从监测数据采集端获取的数据,要么分散在网络数据库,要么只能通过监测报告呈现,业主很难实时获取监测数据,对弃渣场现状安全情况的把握不足,使用效果不佳。

在该工程实例中,研发了集深部位移监测、GNSS地表位移监测、降雨量、地下水等多种数据源的信息平台。通过平台实时发布监测数据,工程师、业主均可实

时查询监测信息,了解弃渣场安全状况,在暴雨、地震前后,迅速获取弃渣场变形情况,为弃渣场安全稳定性分析提供强力支撑。

## 2.5 监测结果

截至2019年5月,陆家屯弃土场整体稳定性较好。通过综合监测表明,弃渣体变形与雨季关系密切,变形未表现出快速增加的趋势,但也未呈现出收敛特征。需要指出,下坝区上部(SZ1~S2附近)坡度较陡、弃渣填土厚度较大,受降雨、地下水影响,在填土范围内监测到变形,潜在滑面较为明显,位移量匀速增加,变形速率目前较为缓慢,应注意该部的变形情况。

## 3 结语

山区高速公路弃渣场工程数量越来越多,由于弃渣场属于大型人工堆积体,成分复杂、压实度低,在暴雨、连续强降雨、地震等不良作用影响下,容易发生滑坡、泥石流等不良地质灾害,严重威胁下游建筑物及人类生命财产安全。

该文初步探讨一种综合无人机倾斜摄影测量技术、GNSS地表相对位移监测、深部位移监测、降雨量与地下水水位动态监测等监测技术为一体的监测方法。实例研究表明:该方法在山区高速公路弃渣场工程安全监测上具备可行性,结果可靠性较高,适合在山区高速公路建设区推广应用。

## 参考文献:

- [1] 王韬,叶咸,吴晓南. 浅议西南山区高速公路弃渣场工程[J]. 公路交通科技(应用技术版),2019(1).
- [2] 童云深. 山区高速公路工程弃渣与生态保护[J]. 公路,2013(12).
- [3] 周海波. 山区公路不同弃土类型泥石流成灾特征浅析[J]. 西南公路,2014(3).
- [4] 雷哈. 阿花洛河公路弃渣型泥石流的危险性评价和运动特征研究[D]. 成都理工大硕士学位论文,2017.
- [5] 肖鸿,王开洋. 基于专家调查法的高速公路弃土场安全风险评价[J]. 公路交通科技(应用技术版),2017(12).
- [6] 杨啸. 高速公路建设项目水土保持监测现状及发展方向[J]. 交通世界,2017(10).
- [7] 吴晓峰. 山区高速公路取土场和弃土堆的环境监控[J]. 公路,2008(3).
- [8] 谭万鹏,郑颖人,陈卫兵. 基于宏观观察、位移监测、数值分析的滑坡预警预报研究[C]. 自主创新与持续增长第十一届中国科协年会,2009.