

# 施工期水库岸边坡安全监测自动化控制系统研究

崔凯<sup>1</sup>, 葛玉宁<sup>1</sup>, 王军<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山东省路桥集团有限公司, 山东 济南

<sup>2</sup>青岛建通浩源集团有限公司, 山东 青岛

收稿日期: 2021年9月29日; 录用日期: 2021年10月14日; 发布日期: 2021年10月28日

## 摘要

对危险滑坡体的现场监测是保证其安全的重要措施, 特别是当周围有大规模施工时, 震动会引起地应力释放, 极易诱发滑坡。能够进行实时监测的自动化监测系统不仅能够更加全面的对滑坡体进行安全检查, 而且其更加精确的测量数据和其长期的稳定性已经被各界认可, 并在获取数据后中心控制系统可以立即完成处理、分析的工作, 及时反馈数据信息, 对危险状况提出预警, 指导工程施工和提示人们进行紧急避险。位于山东境内的某水库附近滑坡体有三处危险断面, 采用表面位移和内部土压力相结合的自动化监测方法对其进行安全监测, 整个系统利用太阳能供电、GPRS进行点对点无线传输, 不仅为工程的安全施工提供了可靠的信息, 也推动了低碳环保理念在水利工程监测领域内的应用。

## 关键词

自动化, 监测, 滑坡, 全站仪, 土压力计

# Research on Automatic Control System of Reservoir Bank Slope Safety Monitoring during Construction

Kai Cui<sup>1</sup>, Yuning Ge<sup>1</sup>, Jun Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shandong Road and Bridge Group Co., Ltd., Jinan Shandong

<sup>2</sup>Qingdao Jiantong Haoyuan Group Co., Ltd., Qingdao Shandong

Received: Sep. 29<sup>th</sup>, 2021; accepted: Oct. 14<sup>th</sup>, 2021; published: Oct. 28<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The on-site monitoring of dangerous landslide is an important measure to ensure its safety, espe-

cially when there is large-scale construction around, the vibration will cause the release of in-situ stress, which is very easy to induce landslide. The automatic monitoring system capable of real-time monitoring can not only conduct more comprehensive safety inspection on the landslide, but also its more accurate measurement data and its long-term stability have been recognized by all walks of life. After obtaining the data, the central control system can immediately complete the processing and analysis, feed back the data information in time and give early warning of dangerous conditions, guide the construction of the project and remind people to avoid danger. There are three dangerous sections of landslide mass near a reservoir in Shandong Province. The automatic monitoring method combining surface displacement and internal earth pressure is used for safety monitoring. The whole system uses the solar power supply and GPRS for point-to-point wireless transmission, which not only provides reliable information for the safe construction of the project, It also promotes the application of low-carbon environmental protection concepts in the field of water conservancy project monitoring.

## Keywords

Automation, Monitor, Landslide, Total Station, Earth Pressure Gauge

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 工程概况

山东省某大型水库, 肩负着供水、灌溉、防洪、补源等重要任务。由于建坝时施工质量较差, 结构老化等因素, 原水库放水洞已不能满足大坝安全稳定的要求, 需要废弃并在水库西北侧的山体开挖新的水工隧洞。位于该山体南临即是需要监测的滑坡体, 如图 1 所示。根据地质情况、地形地貌及危险程度, 将该滑坡体分为三个不同区域: ① 滑体 I: 滑体 I 区域几乎呈直立边坡, 下部主要为寒武系徐庄组紫红色易碎页岩, 层理呈水平向分布, 上部由薄层灰岩及张夏组石灰岩块、碎石及坡残积物组成, 该滑体上部存在多个大孤石; ② 路堑边坡(挡土墙): 挡土墙后岩体风化严重, 墙体较高(约 7~9 m); ③ 滑体 II: 滑体 II 以破碎石灰岩及强风化破碎页岩为主, 土质条件较差, 该处局部区域存在明显的剪切斜裂缝, 受降雨、行车震动等因素的影响, 时有表层破碎岩体滑落。同时, 整个山坡地表植被破坏较重, 大量地表水入渗, 岩体风化严重, 抗剪强度明显不足, 曾出现多次出现孤石滚落或局部滑坡现象, 属于重点监测滑坡体。

鉴于开挖水工隧洞时产生的震动应力会直接引发滑坡体的局部滑塌或崩落; 即使山体滑坡没有立即产生, 释放的地应力导致处于非平衡状态的山体在力学平衡调整的过程中会进一步产生滑坡; 碎落平台上崩塌堆积物也会对下部坡体产生的附加应力, 存在诱发下级坡体发生推动式滑坡的可能。针对以上复杂的地质情况, 单靠理论分析很难把握其稳定状态, 必须建立动态监测体系, 随时了解边坡的位移变化情况、变形方向和发展趋势, 提供边坡发生严重变形条件下的应急处理。

基于以上工况进行本项目研究: 本项目的研究内容是设计实时监测的自动化监测系统, 对危险滑坡体的现场进行监测来保证其安全。具体研究方法则是通过研究滑坡体的监测原则及基础理论来设计实时监测的自动化监测系统, 进而实现滑坡体的远程自动化监测, 最后通过试验得出相关数据验证此自动化监测系统的准确性及可行性。

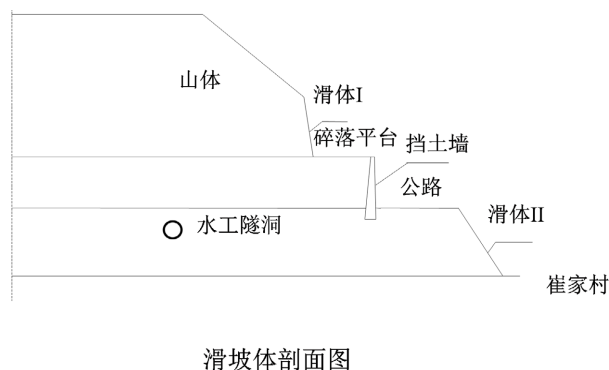


Figure 1. Profile of landslide mass  
图 1. 滑坡体剖面图

## 2. 滑坡体的监测原则

根据不同的地质特点和潜在危险，在监测布置上应以整体稳定性监测为主，兼顾局部区域的稳定性监测，同时需要充分考虑岩层岩体的风化、爆破振动、运输扰动以及降雨等因素[1][2]。根据各种监测方法的特点，以表面位移监测为主，同时进行应(压)力监测[3]。为了更好的掌握山体边坡的变形的发展趋势、了解潜在滑动区域内不同部位、对不同岩体的变形及发展情况进行预报，并对边坡进行实时监测，掌握边坡的稳定性状态，实现在边坡发生滑坡前进行有效的预防措施[4][5][6]，监测设计应该具备实时性、可靠性、全面性和耐久性。当重点监测区域附近进行大规模施工时，滑坡监测应能够做出相应调整，加大观测密度。

## 3. 滑坡体远程自动化监测

为达到监控施工安全和工程运行安全的目的，并满足工程需要和动态设计要求，必须建立立体化的复合监测设施网络系统[3]。一般而言，自动化监测系统主要组成部分应包括：具有自动监测功能的监测仪与埋设于地质体内和表面上的传感器；将自动监测仪监控信号与传感器信号引至监控中心的监控网络；进行系统监控的计算机及其自动监控软件系统。这些部分形成一个有机的整体，以满足长期安全监控岩土工程的状态的要求。本次监测的自动化监测系统结构布置如图 2 所示。

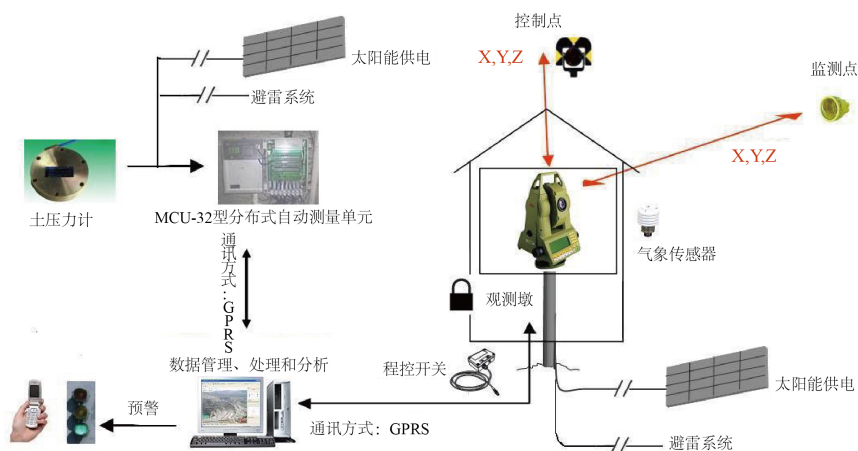


Figure 2. Structural layout of automatic monitoring system  
图 2. 自动化监测系统结构布置图

### 3.1. 表面位移测量系统

采用徕卡 TCA2003 全站仪监测系统可以对较危险滑坡进行应急监测, 可实现测量的全自动化, 集自动目标识别、自动照准、自动测角、自动测距、自动跟踪目标、自动记录于一体。相对与 GPS, 全站仪更适于小范围、高精度测量。全自动实时平差得到变形监测点的三维坐标, 已在我国三峡、小浪底等水利工程中成功应用[1] [6]。

系统运行模式如下: 由观测墩和参考控制点作为坐标系基准点, 在关键的山体滑坡变形点上布设监测点棱镜; 由 TCA2003 自动全站仪对监测点棱镜按照设定周期进行观测, 实时的把变形点的三维坐标通过无线方式传到系统控制中心的 GeoMoS 计算机进行处理。全站仪安装在观测房内的观测墩上, 观测墩独立浇注在基岩上, 避免与观测房连接, 以防止基准点位变形。

测点布置: 全站仪观测站、基准控制点是整个系统的原始基准, 点位必须布设在稳定可靠的地方。观测点现场布置如图 3 所示, 其中左侧 3 个观测点作为山体整体表面位移观测关键点, 兼顾滑体 I 的监测; 下侧 12 个点作为滑体 II 的表面位移观测关键点; 右侧 3 个观测点作为临时基准点。

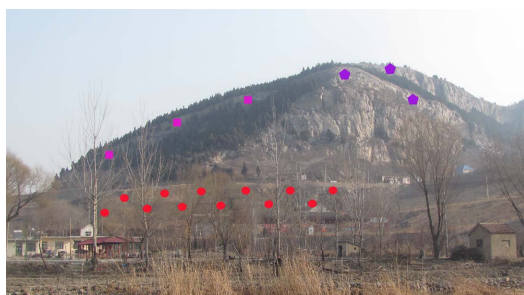


Figure 3. Layout of surface displacement monitoring points and rear viewpoint

图 3. 表面位移监测点及后视点布置

### 3.2. 土压力监测系统

滑坡地质灾害发生之前, 边坡岩体内应力会连续发生变化, 当滑动力大于岩土体的抗滑力后, 会发生变形和滑动, 其应力变化超前于表面位移的发生, 捕捉边坡岩体内应力的变化必不可少。整个土压力监测分为三个部分, 分别是土压力计、数据采集装置和远程控制中心。

数据采集装置: 在观测现场设置一台 MCU-32 型分布式自动测量单元按照设定周期采集信号, 对土压力计监测数据进行采集, 并将测量数据转换为数字量, 实时把土压力值通过无线传输方式传到系统控制中心进行处理。测量设定的三个断面由 12 个土压力计构成, 如图 4 所示。



Figure 4. Layout of earth pressure monitoring points

图 4. 土压力监测点布置

控制及预警系统：MCU-32 型分布式模块化自动测量系统有分布式网络化测量、测量数据存贮、自动间隔测量、计算机通讯、越限报警、测量数据管理、测量成果输出、附设人工比测等功能。其监控级别的划分以及预警标准的确定可以参照全站仪变形监测系统。

### 3.3. 现场巡视

自动化监测系统中，对现场进行定期巡视也是必要的。边坡稳定是一个复杂的体系，开挖阶段应力释放、机械振动、雨水的渗透、断层及软弱层的再生等都会对其定性产生影响；各种监测设备也需要不定期的进行校核；地质巡查的结果还与可以仪器监测结果比较，互为补充。

监控级别及预警划分：根据工程类比经验、地质条件、环境因素和边坡稳定性等诸多因素，可以将该边坡工程的安全监控级别划分为红(特别严重)、橙(严重)、黄(较重)、蓝(一般)、绿(正常)等 5 个级别状态。在施工期无监测成果的情况下，原则上按黄、蓝级监控级别控制实施；在已取得一定监测成果的情况下，主要根据监测成果和揭示的地质条件分别综合动态判断。当边坡位移-时间曲线出现拐点、深层和表面变形方向与地质结构特征逐步趋向统一、边坡表面出现裂缝等现象时，可作为红、橙监控标准的判断，系统会做出相应的提示，进入预警和警戒监控状态。

## 4. 数据分析

在施工期的 8~9 月份，全站仪与监测点之间的距离变化速率如下图 5 所示，每个测点每天的位置变化于  $y = 0$  轴基本呈对称分布，且在  $\pm 3$  mm 以内，是由于温度、空气等引起的系统误差，可判断滑坡体是暂时安全的。

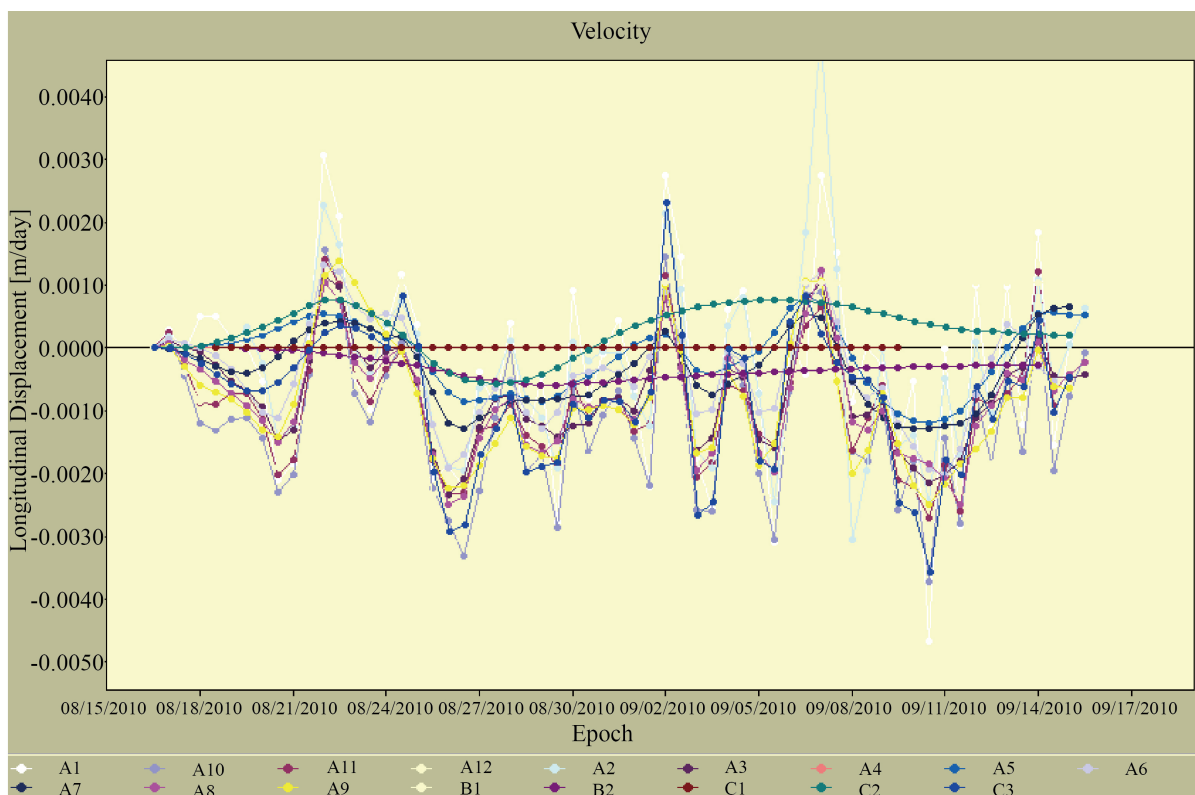


Figure 5. Position change speed-time diagram of surface displacement monitoring points

图 5. 表面位移监测点位置变化速度 - 时间图



同时期的内部土压力监测也证实了这一点, 见图 6。土压力监测仅选取三个位置最低的断面, 应力变化都在 1 kPa 以内, 说明施工期对滑坡影响较小, 边坡处于稳定状态。除了施工对监测造成应力上的波动外, 汛期降雨以及系统误差也是造成数据小幅波动的原因。

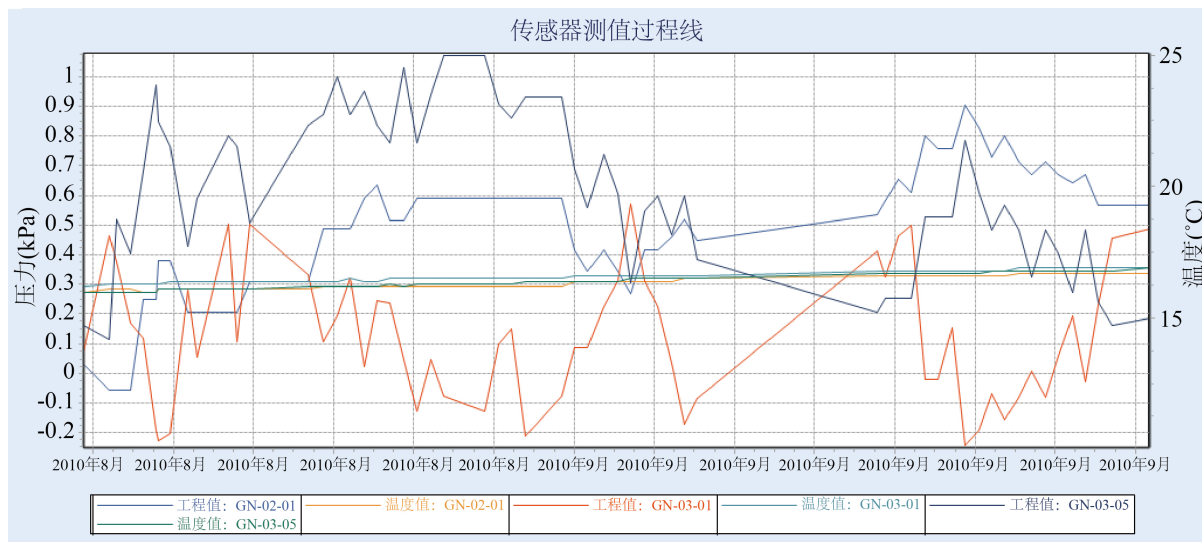


Figure 6. Pressure-time variation diagram of earth pressure sensor  
图 6. 土压力传感器压力 - 时间变化图

## 5. 结论

在水工隧洞挖掘过程中对危险滑坡建立动态监测系统, 通过表面位移和内部土压力监测, 及时掌握施工和运行期边坡的变化情况并指导工作人员发现问题并对施工进行调整。采用多种自动化监测技术相结合的手段来实施这种动态监测不仅能够从各个角度对滑坡体的安全提出健康诊断, 在丰富全面地了解滑坡体安全状况的同时, 还能够提示并剔除监测系统误差, 使监测变得更加精确, 并且具有可持续性, 可以很好地指导工程施工。整个系统利用太阳能供电、GPRS 进行无线传输, 长期的运行更加低碳环保, 为未来监测的发展提供了更加广阔的空间。

## 参考文献

- [1] 邱章云, 刘然中, 林阳. 铜街子水电站大坝左堆及滑坡体变形监测系统自动化观测设计及应用[J]. 葛洲坝集团科技, 2020(2): 20-22.
- [2] 陈佳, 董世勇, 王永甫, 唐晓松. 基于 GPS 的山区水库边坡滑坡体变形监测[J]. 地矿测绘, 2021, 4(4): 140-141.
- [3] 何满潮. 滑坡地质灾害远程监测预报系统及其工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(6): 1081-1090.
- [4] 汪剑, 何玉童, 姜春生. 北斗导航定位技术在三峡库区滑坡监测中的应用[C]//2016 年全国大坝安全监测技术与应用学术交流会. 2016 年全国大坝安全监测技术与应用学术交流会论文集. 成都: 全国大坝安全监测技术信息网, 2016: 186-194.
- [5] 郑建, 高红旗. 雅砻江卡拉水电站工程区滑坡体一期基准网稳定性检验的实践[J]. 大坝与安全, 2017(5): 39-47.
- [6] 赵明华, 刘小平, 冯汉斌, 等. 小湾电站高边坡的稳定性监测及分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(z1): 2746-2750.