

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2015.11.007

基于传感器和无线模式的高速公路 边坡自动化监测系统

敖道朝¹, 李国维², 李临生³, 侯宇宙²

(1. 广东省高速公路有限公司, 广东 广州 510100; 2. 河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210098;
3. 河北工程大学水电学院, 河北 邯郸 056001)

摘要: 为开发适于公路工程边坡安全监测的自动化系统, 广东高速公路工程建设中开展了边坡安全自动化监测系统试验研究。基于现有技术和现场条件研发出了实用化的边坡自动监测系统: (1) 坡体深层位移板式载体探头串联监测系统, 解决了现有固定式测斜传感器间并联方式导致的出线多、单孔设置探头数量受限的问题。板式固定式测斜传感器结构简单, 探头易于加工, 安装方便, 定位准确; (2) 坡顶边坡外部变形位移计监测法, 采用明挖开槽法安装位移传感器, 根据地质条件和坡体状态预估潜在滑移面范围确定基桩位置, 可以实现坡体外部位移的自动监测, 技术合理可行, 现场实施方便; (3) 现场监测数据采集、发射、接收和处理系统, 现场测站之间无线连接, 减小了现场安装难度, 提高了施工期系统安全保障, 低能耗设计和光伏能源系统提供了系统连续工作的条件。

关键词: 道路工程; 公路边坡; 自动化监测系统; 板式固定; 安全监测

中图分类号: U415.12

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2015)11-0041-07

Auto-monitoring System of Expressway Slope Based on Sensor and Wireless Modes

AO Dao-chao¹, LI Guo-wei², LI Lin-sheng³, HOU Yu-zhou²

(1. Guangdong Provincial Expressway Co., Ltd., Guangzhou Guangdong 510100, China;
2. School of Civil Engineering and Transportation, Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098, China;
3. School of Water Conservancy and Hydropower, Hebei University of Engineering, Handan Hebei 056001, China)

Abstract: For development of suitable automatic monitoring system for highway engineering slope safety, the experimental study of slope safety automatic monitoring system is carried out in the construction of Guangzhou-Lechang expressway project. Based on the existing technology and field conditions, the practical automatic slope monitoring system is developed. (1) Plate carrier probe in series monitoring system can be applied in deep displacement of slope as it solved the problems of more wire and limited probes at single hole in parallel connection of in-place inclinometer sensors. Plate in-place inclinometer sensor has simple structure, easily processing, convenient installation, and accurate positioning. (2) The displacement monitoring meter outside the top of slope cutting uses open cutting slot method for installing displacement sensors. According to the geological conditions and slope state, it estimates the range of potential sliding surface to determine the foundation pile position. It can realize automatic monitoring the displacement outside slope with rational and feasible technology, convenient implementation in field. (3) The system for monitoring data collection, transmitting, receiving and processing is suitable for on-site monitoring. Wireless connection between the stations can reduce the difficulty of installation and improve the system security during construction period.

收稿日期: 2014-09-25

基金项目: 广东省交通科技重点项目 (2009-01-001)

作者简介: 敖道朝 (1973-), 男, 广东阳江人, 高级工程师. (625281627@qq.com)

Low power consumption design and photovoltaic energy system provides continuous working conditions.

Key words: road engineering; highway slope; plate fixing; safety monitoring

0 引言

我国经济持续高速发展,经济核心区周边的基础设施建设受到拉动,近年来山区高速公路建设项目逐渐增多,路基切坡产生的深挖高填路段的稳定状态成为时下高速公路建设的普遍问题。人工边坡在施工期及运行期的稳定问题直接影响工程的进度、投资和日后运行的安全^[1]。

公路边坡安全监测,目前国内采用的方法主要为常规的人工观测和日常巡查^[2]。常规监测人为因素产生的测量误差不确定,受气候环境影响大,监测数据的时效性差,不能及时检测到事故发生的临界变化,不能确定事故发生的准确时间,从而不能准确分析事故相关的外部诱导因素。由于常规监测存在诸多局限性,为了确保公路边坡的稳定性,及时预报险情,公路边坡实现自动化监测是必然趋势^[3-4]。

现有边坡自动化监测系统存在的问题,主要表现在两个方面:一是当前自动化监测系统的结构复杂,实施条件要求高,现场安装难度大,另外造价昂贵,除大型水电工程或个别重要工程外,难以在条带状分布的公路工程中推广应用^[5];二是监测系统大多采用有线连接^[6-7]和外源供电,施工期监测容易和施工工序构成相互干扰,极易收到损坏,且难以保证连续供电。由此,控制系统成本,实现现场无线布设是边坡自动化监测系统亟待解决的问题。

1 实用化边坡自动监测系统的关键技术

表1为目前采用的边坡监测方法的具体情况。边坡运行状态的常规人工监测方法包括,坡体外部

位移监测,采用安装基桩、测桩和现场人工光学仪器测量的方式。内部位移、加固结构应力、地下水位、降雨量和不同深度的水平位移等项目,采用安装传感器和现场人工测试的方式。测点之间无须导线连接,现场测试采用自备电池供电。

常规自动化监测方法,坡体外部位移监测,采用可自动跟踪目标的TCA全站仪测量系统^[8],或全球定位系统(GPS)^[9-11]两种方式。坡体深层水平位移监测,采用固定式测斜传感器并联测量。测点之间需要采用电缆连接,采用外接电源连续供电。监测过程有系统软件控制,自动定时完成测量并传输数据到监测中心。

由表1可以看出,常规自动化监测法相对于人工监测法,须解决系统现场连接、供电问题,由于连线易被损毁,连续电源成本高,这使得自动化监测的实施难度大大增加。另外,坡体外部位移和深层位移监测采用的技术方法,由于TCA、GPS系统的仪器成本和维护费用高,固定式测斜仪传感器质量大、定位难、出线多,相对于人工监测增加了较高的成本投入和复杂的现场维护工作。

由此,目前被采用的常规边坡自动化监测方法,对于线状分布的公路边坡工程,实用性不强,性价比不高。针对公路工程边坡的特点,即单体边坡规模相对不大、工点儿多,实施边坡稳定自动化监测需要解决的关键技术包括:(1)开发坡体外部位移监测手段的简化方法;(2)改进固定式测斜仪传感器的结构和连接方式;(3)系统现场连接采用无线模式,系统供电采用自供电的低功耗模式。表1中的理想自动化监测方法即为实用化方法的开发目标。

表1 边坡稳定监测方法比较

Tab.1 Comparison of slope stability monitoring methods

监测方法	坡体外部位移	坡面松动深度	加固结构荷载	坡体深层位移	地下水位	降雨强度	连接及供电
常规人工监测方法	光学交汇法 (水平、垂直)	位移传感器 (单点、多点)	荷载传感器 (锚索、锚杆)	测斜传感器 (滑动式测斜仪)	压力传感器 (渗透压力计)	翻斗式 雨量计	无连接 临供电
常规自动监测方法	自动全站仪系统 GPS系统	同上	同上	固定式测斜仪 (双向、并联)	同上	同上	有线 外供电
理想自动监测方法	位移传感器 联合基桩	同上	同上	板式测斜仪 (单向、串联)	同上	同上	无线 自供电

2 坡体深层位移自动监测实用方法

2.1 固定式测斜传感器板式载体设计

图1为目前国内外应用的固定式测斜传感器探

头形式。本监测试验开发了测斜传感器板式载体,并获得国家发明专利授权(ZL 201210590867.8)^[12],如图1(e)所示。图1显示,目前被应用的测斜传感器型式共计4种,按有无导轮分两类(单、双),

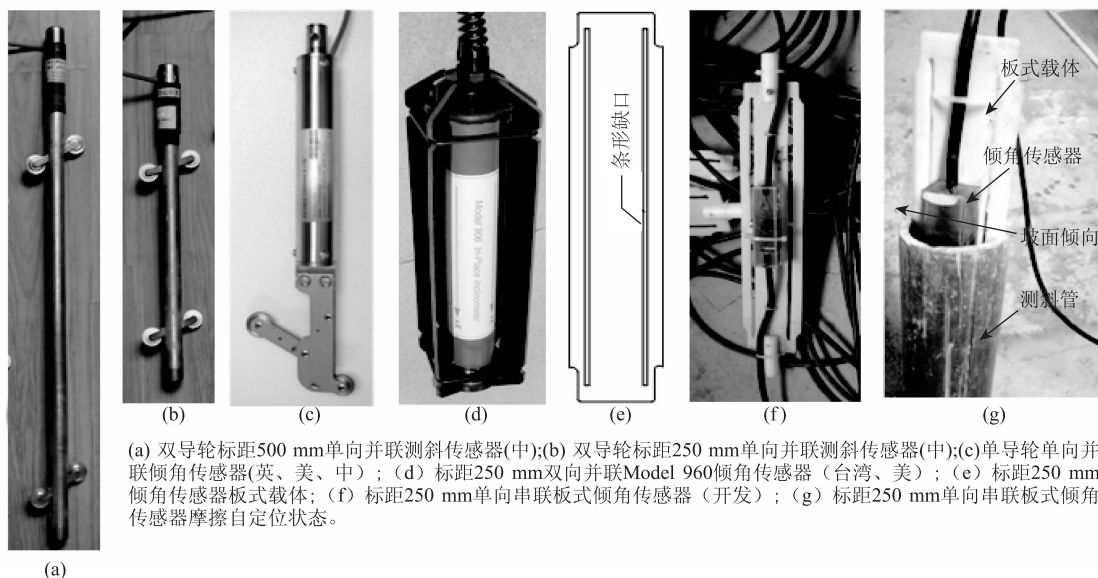


图 1 国内外固定式测斜传感器探头型式

Fig. 1 Sensor probe types of in-place inclinometer at home and abroad

按测量方向分两类（单、双），按传感器连接方式分两类（并、串）。

图 1 (a) ~ (c) 显示，有导轮传感器探头一般为金属壳体，探头滑动容易，自重较大，安装时须附加保持探头定位稳定用的悬挂拉线；图 1 (d) 显示，无导轮双向探头，同时具有 4 条翼翅与测斜管内壁耦合，自重较轻，安装时与管内壁的摩擦力较大，需要在下部悬挂配重辅助现场安装。

图 1 (f) ~ (g) 显示，板式载体的两条缺口一方面可使载体具有一定的弹性，另一方面也保证了载体的整体强度。条形缺口设计能实现载体与管内壁的紧密耦合且具有一定的摩擦力。板式载体加工方便，传感器制作简单。板式载体传感器自重轻，摩擦力即可保持探头定位稳定。板式载体探头在孔内安装时，间隔交叉板式载体的方向即可实现双向测量。

综合比较各自在应用中的功能表现，板式载体测斜传感器在制作工艺、组装、现场安装和维护方面，相对于其他类型的传感器具有明显的优势。

2.2 固定式测斜传感器的低功耗串联模式

图 2 为本监测试验采用的板式载体测斜传感器的串联方法和现场安装工艺，本项技术已申请国家发明专利 (ZL 201210588526.7)^[13]。如图 2 所示，板式固定式测斜传感器采用串联方式连接，全部传感器探头使用同一条电缆连接，探头之间采用可弯曲的连杆连接，依次将探头推入测斜管，依靠载体板两边摩擦力克服探头及连杆自重使探头定位。安

装时为保证探头沿导槽滑动顺畅，安装前向测斜孔内壁适量喷水。

图 3 为固定式测斜探头串联系统工作框图。如图 3 所示，系统数据采集过程是逐点进行，完成采集后探头处于休眠状态，仅发挥导电功能。系统发出采集指令，此时探头处于待命模式，若指令为采集指令“1”，则该探头采集并回传数据；若指令为待传话指令“0”，则该探头进入传话筒模式，仅充当采集电缆线作用，通过采集指令采集下一级测斜探头，直到所有探头数据采集完毕。最终借助现场无线发送系统，将数据远程发送至监控中心。这种采集模式，同时工作的探头只有一个，系统工作启动功耗小，工作时的功耗更小，采用一节 1.5 V 锂电池即可满足需要，现场长期工作时，配有太阳能电池板系统及时给电池充电，使用情况显示，每周 2 h 的阳光即可保证系统工作正常。

综上，板式载体固定测斜探头串联模式，具有安装方便，系统出线少，探头安装量大，工作耗能低等优势，适合野外现场应用。

3 外部位移自动监测实用方法

开挖形成的最高一级边坡（堑顶）尚未达到天然山体顶点的情况，堑顶边坡也具有发生位移的可能性，同样需被列为监测对象。堑顶边坡外部位移监测，相对于采用 TCA 全站仪系统或 GPS 系统，采用位移传感器（位移计）方案具有易于实施和低造价的优势。

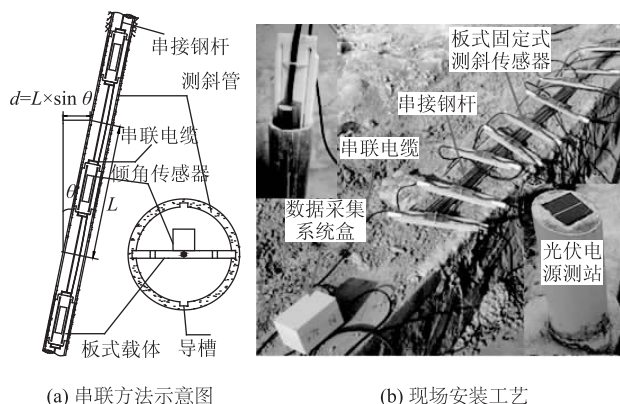


图2 板式固定式测斜探头串联方法和现场安装工艺

Fig. 2 Series method and installation process of plate in-place inclinometer probe

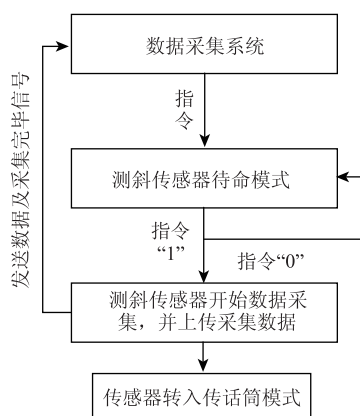


图3 探头串联系统工作框图

Fig. 3 Block diagram of working principle of probe series system

采用位移计方案须设置连杆锚固基点。铎顶位移计安装,理论上同样可采用打设水平孔法进行连杆锚固,由于铎顶风化土层松散,水平孔上覆土层厚度小,容易导致水平孔塌陷,成孔施工难度增大,实际上难以保证仪器的安装质量。为避免铎顶水平钻孔施工困难,简化安装过程,本试验采用明挖开槽方案埋设铎顶位移计,如图4所示。

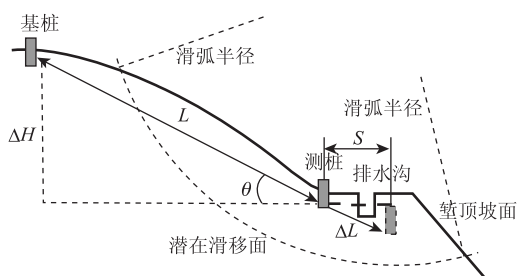


图4 铎顶位移计测量原理和位移算法

Fig. 4 Measuring principle and computation method of cutting top displacement meter

基点选于潜在滑移面以外,潜在滑移面上出口位置根据均质土坡圆弧滑动稳定分析判断。基点位置设立基桩,内部锚固位移计连杆锚头。铎顶排水沟内侧设置测桩,测桩内部锚固单点位移计。基桩与测桩之间采用传递杆连接,连线需垂直于坡面走向,传递杆外部使用PVC套管保护隔离。

安装工艺要求为,开槽深度40 cm,槽底平直,10 cm厚C15砂浆垫层,连杆安装后上覆10 cm厚C15砂浆,原土回填夯实。测量基桩和测桩之间的距离和高差,用于计算测桩的初始位置参数。

明挖开槽方案埋设铎顶位移计的位移计算方法如图4所示。当铎顶发生某一位移 ΔL 时,测桩同步发生等大位移,根据倾角计算水平位移增量。图中: L 为基桩与测桩之间的斜面距离; θ 为位移倾角; ΔH 为基桩和测桩的高差; S 为水平位移。其中 ΔH 由水准测量测得; L 仪器现场埋设时易得。由于 $L \gg \Delta L$,可忽略位移导致的倾角 θ 的变化。

广乐高速公路LK0+421~880左铎顶位移监测,采用明挖开槽法安装位移计方法进行监测,如图5所示,现场实际应用情况良好,精度满足要求。



图5 广乐高速LK0+600左铎顶位移计安装

Fig. 5 Installing cutting top displacement meter in section LK0+600 of Guangzhou-Lechang expressway

4 数据自动监测采集发射实用方法

4.1 现场数据自动采集无线发射系统

本监测试验研发的边坡自动化监测系统由两个子系统组成:现场数据采集无线发射系统和远程数据接收处理系统组成,系统构成如图6所示。

现场每个传感器作为一个测量分点安装一个测量采集发射模块,光伏供电;模块之间采用无线连接形成现场监测小组合控制单元,根据现场情况设计控制单元数量,各控制单元独立向监测中心远程

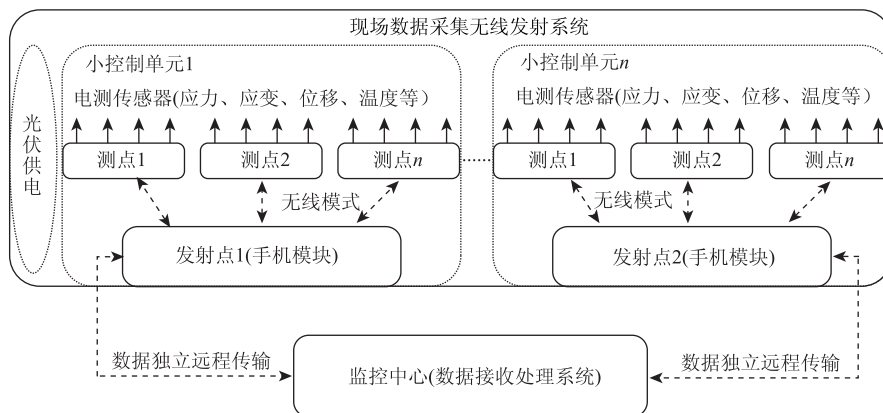


图 6 自动化监测系统结构图

Fig. 6 Structure chart of auto-monitoring system

发射数据, 数据处理系统根据单元编号汇总整理数据。传感器与分点数据自动采集器为总线连接, 总线为各类传感器匹配的电缆, 分点采集器与系统主点接收器之间为无线连接, 主点具有发射功能, 向 GPRS 网或 GSM 网发送数据信息, 在远程监控中心通过互联网接收监测数据。

现场数据采集无线发射系统, 将边坡现场工作的传感器电压、频率信号连接到主电路板, 经过数

据处理, 最后由短信模块 (SIM 卡), 通过 GSM 或 GPRS 网络, 以短消息方式发送至远程监控中心。不同传感器可实现边坡内部位移、表面位移、加固结构、环境量等测试项目。现场数据采集无线发送系统测站结构如图 7 所示, 测站外部由混凝土基座、太阳能电池板组成, 内部为系统盒, 设有系统硬件设备。传感器引线通过基座 PVC 管与系统盒连接。分点测站和主点测站之间的无线收发距离为 1 000 m。

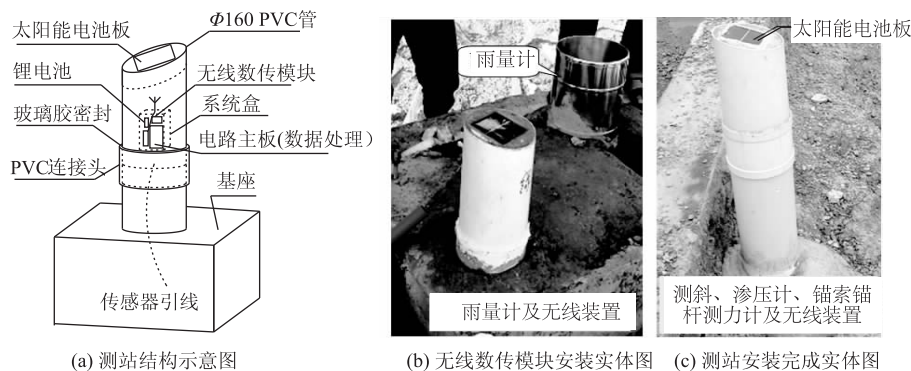


图 7 广东高速公路边坡监测现场数据采集发射系统测站结构及实体图

Fig. 7 Structure and entity photo of field data collection and transmitting system for monitoring slope of Guangzhou - Lechang expressway

图 8 显示, 系统硬件组成为: (1) 主电路板、(2) 短信发射模块、(3) 无线接收模块、(4) 锂电池和太阳能板。系统由单节 18650 型号锂电池供电, 低功耗定时器定时唤醒工作, CPU 内部计数次数决定是否采集数据。工作结束即进入休眠状态。系统外置太阳能板对锂电池进行充电, 从而实现系统低能耗长期稳定工作。

现场数据采集发射硬件系统解决了监测现场的测试用电供给问题, 无需有线电源或定时更换蓄电池, 实现了低能耗数据采集, 现场安装灵活, 极大地节约了人工成本, 减轻了现场的工作量。目前,

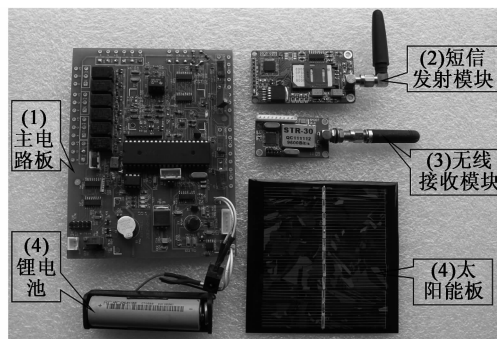


图 8 现场数据采集发射系统硬件

Fig. 8 Hardware of field data collection and transmitting system

工程应用效果良好。

4.2 数据接收处理软件系统

现场数据接收处理软件系统，是基于低能耗现

场数据采集传输硬件系统开发的一套软件系统，含监测现场主点程序、分点程序和监测中心数据接收处理程序，系统组成结构如表 2 所示。

表 2 现场数据监测、采集、发射、接收软件系统结构

Tab. 2 Structure of scene data monitoring, acquisition, transmitting and receiving software system structure

项目级	边坡级	点群级	发射点级	测点级	传感器类	数据个数	数据 ID	分点编码	发射点编码	说明
05 广乐高速韶关段	01 LK0 + 421 ~ + 880 左	01 测点群	01 发射点	0 直辖 1(位移)	04	0501 - 0101 - 0104	0501 - 0101 - 0104		050101 01 - 3	本发射点隶属于 01 LK0 + 421 ~ + 880 左 01 测点群,带 3 个分点
				1 分点 2(倾角)	16	0501 - 0101 - 1216	0501 - 0101 - 1216			
				2 分点 3(沉降)	08	0501 - 0101 - 2308	0501 - 0101 - 2308			
			02 发射点	0 直辖 1(位移)	04	0501 - 0102 - 0104	0501 - 0102 - 0104		050101 02 - 2	本发射点隶属于 01 LK0 + 421 ~ + 880 左 01 测点群,带 3 个分点
				1 分点 2(倾角)	08	0501 - 0102 - 1208	0501 - 0102 - 1208			
				2 分点 3(沉降)	08	0501 - 0102 - 2308	0501 - 0102 - 2308			
		02 测点群	01 发射点	0 直辖 1(位移)	04	0501 - 0201 - 0204	0501 - 0201 - 0204		050102 01 - 2	本发射点隶属于 01 LK0 + 421 ~ + 880 左 02 测点群,带 1 个分点
				1 分点 2(倾角)	08	0501 - 0201 - 1208	0501 - 0201 - 1208			
				2 分点 3(沉降)	08	0501 - 0201 - 2308	0501 - 0201 - 2308			
			02 发射点	0 直辖 1(位移)	04	0501 - 0202 - 0104	0501 - 0202 - 0104		050102 02 - 4	本发射点隶属于 01 LK0 + 421 ~ + 880 左 02 测点群,带 3 个分点
				1 分点 2(倾角)	08	0501 - 0202 - 1208	0501 - 0202 - 1208			
				2 分点 2(倾角)	08	0501 - 0202 - 2208	0501 - 0202 - 2208			

本系统由项目组成，各个项目构成本系统的全部数据。整个系统的数据，都存储在数据库中，数据库包含各个项目，每个项目进一步由边坡组成，边坡又分成几个测点群，测点群里有发射点，发射点涵盖着若干测量点，测点带着一串传感器，每个传感器有自己的数据，整个系统构成了一个树状的结构。

本软件系统实现了现场数据采集传输硬件系统的定时，数据采集，处理，传输，以及主点与分点，工地与办公场所的连接，使工程监测实现了数据全自动密集型采集，节约了大量劳动力。

5 结论

(1) 坡体深层位移板式载体探头串联监测系统可应用性好。固定式测斜传感器和单线串联的测试控制传输系统，解决了现有固定式测斜传感器间并联方式导致的出线多、单孔设置探头数量受限的问题，同时大大降低了固定测斜传感器的造价，使得常规工程边坡的深层水平监测自动化成为可能。板式固定式测斜传感器结构简单，易于加工，加工成型后载体即带有弹性，探头安装方便，定位准确。间隔交叉板式载体的方向也可实现双向测量。

(2) 堑顶边坡外部变形开槽安装位移计法监测性价比高。采用明开挖槽法安装位移传感器，根据地质条件和坡体状态预估潜在滑移面范围确定基桩

位置，可以实现坡体外部位移的自动监测。该方法技术上合理可行，具有实施方便、造价低的优势。

(3) 现场监测数据采集、发射、接收和处理系统适合现场施工期监测使用。现场测站之间无线连接，减小了现场安装难度，提高了施工期安全保障，低能耗设计和光伏能源系统提供了系统连续工作的条件，短信息方式发送数据限定了信息服务费用的额度。

参考文献:

References:

- [1] 黄志怀, 李国维, 王思敬, 等. 粤赣高速公路 K35 高边坡加固效果监测与评价 [J]. 岩土力学, 2008, 29 (10): 2783 - 2788.
HUANG Zhi-huai, LI Guo-wei, WANG Si-jing, et al. Monitoring and Evaluation High Slope K35 of Yue-Gan Expressway [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29 (10): 2783 - 2788.
- [2] 夏柏如, 张燕, 虞立红. 我国滑坡地质灾害监测治理技术 [J]. 探矿工程: 岩土钻掘工程, 2001 (增 1): 87 - 90.
XIA Bo-ru, ZHANG Yan, YU Li-hong. Geological Hazard Monitoring and Management Technology of Landslide in China [J]. Exploration Engineering: Rock and Soil Drilling and Tunneling, 2001 (S1): 87 - 90.
- [3] 李卫民, 黄志怀. 粤赣高速公路高边坡安全自动化监测试验研究 [J]. 中外公路, 2006, 26 (2): 63 -

66.
LI Wei-min, HUANG Zhi-huai. Experimental Study on Automation Monitoring Security of High Slope of Yue-Gan Expressway [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2006, 26 (2): 63 - 66.
- [4] 柳和平, 陈荣卓, 潘炬坤. 公路边坡自动测斜技术及远距离监测系统 [J]. 广东公路交通, 2005 (3): 51 - 53.
LIU He-ping, CHEN Rong-zhuo, PAN Ju-kun. Automatic Slope Tester and Distant Monitoring System for Highway Side Slope [J]. Guangdong Highway Communications, 2005 (3): 51 - 53.
- [5] 刘绍波. 边坡数字无线监测系统关键技术研究 [D]. 湖北: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 2010.
LIU Shao-bo. Key Techniques of Digital Wireless Monitoring System for Slope [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Rock and Soil Mechanics of Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [6] 梁志刚, 陈云敏, 陈仁朋, 等. 同轴电缆电磁波反射技术监测滑坡研究 [J]. 岩土工程学报, 2005, 27 (4): 453 - 458.
LIANG Zhi-gang, CHEN Yun-min, CHEN Ren-peng, et al. Study on Applications of Coaxial-cable Electromagnetic Wave Reflection Technique in Monitoring Slope Stability [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27 (4): 453 - 458.
- [7] 丁勇, 施斌, 崔何亮, 等. 光纤传感网络在边坡稳定监测中的应用研究 [J]. 岩土工程学报, 2005, 27 (3): 338 - 342.
DING Yong, SHI Bin, CUI He-liang, et al. A Fiber Optic Sensing Net Applied in Slope Monitoring Based on Brillouin Scattering [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27 (3): 338 - 342.
- [8] 谢法权, 张国栋, 袁月明. 青山水库大坝变形监测系统 [J]. 大坝与安全, 2005 (5): 35 - 38.
XIE Fa-quan, ZHANG Guo-dong, YUAN Yue-ming. Design on Dam Deformation Monitoring System in Qingshan Reservoir [J]. Dam and Safety, 2005 (5): 35 - 38.
- [9] 殷建华, 丁晓利, 杨育文, 等. 常规仪器与全球定位仪相结合的全自动化遥控边坡监测系统 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (3): 357 - 364.
YIN Jian-hua, DING Xiao-li, YANG Yu-wen, et al. Integration of Conventional Instruments and GPS for Remote Automatic Monitoring of Slopes [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23 (3): 357 - 364.
- [10] 王劲松, 陈正阳, 梁光华. GPS 一机多天线公路高边坡实时监测系统研究 [J]. 岩土力学, 2009, 30 (5): 1532 - 1536.
WANG Jin-song, CHEN Zheng-yang, LIANG Guang-hua. Study of Real Time Monitoring System of Highway Steep Slopes Based on GPS with Multi-antenna [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30 (5): 1532 - 1536.
- [11] 欧阳祖熙, 张宗润, 丁凯, 等. 基于 3S 技术和地面变形观测的三峡库区典型地段滑坡监测系统 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 25 (18): 3203 - 3210.
OUYANG Zu-xi, ZHANG Zong-run, DING Kai, et al. Slope Monitoring System of Three Gorges Area Based on 3S Techniques and Ground Deformation Observation [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 25 (18): 3203 - 3210.
- [12] 吴建涛, 李国维, 李临生, 等. 一种固定式测斜传感器的板式载体: 中国, CN 103292788 A 29 - 37 [J]. 2013 - 09 - 11.
WU Jian-tao, LI Guo-wei, LI Lin-sheng, et al. A Plate Carrier for In-place Inclinator Sensors: China, CN 103292788 A 29 - 37 [P]. 2013 - 09 - 11.
- [13] 李国维, 李临生, 熬道朝, 等. 一种固定式测斜仪系统: 中国, CN 103063197 A 29 - 17. 2013 - 04 - 24 [P].
LI Guo-wei, LI Lin-sheng, AO Dao-chao, et al. A Fixed Inclinator System: China, CN 103063197 A 29 - 17 [P]. 2013 - 04 - 24.