

青藏铁路无人值守地应力综合监测站

彭 华^{1,2}, 吴珍汉¹, 马秀敏^{1,2}

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中国地质科学院地质力学研究所地壳变形地表过程实验室, 北京 100081)

摘 要: 介绍了安装在青藏铁路沿线一种新型的无人值守综合地应力监测站。该监测站采用无线 GPRS 通信技术, 通过 Internet 连接到安装在北京的地质力学研究所地应力监测局域网中心端服务器, 实现数据交换和监测站的远程控制, 该项技术克服了传统地应力测量需要人工现场信息采集的弱点, 使用数据终端来实现地应力监测的自动化。该监测站能够进行青藏铁路沿线的昆仑山、安多、羊八井深孔应力监测和昆仑山西大滩昆中断裂位移监测, 可以对青藏铁路沿线地球物理数据、地质灾害数据、地质环境数据及地球动力学过程实现不间断的监测, 为青藏铁路沿线的地质灾害、青藏高原构造变形动力学过程的研究和地震预报、高原环境研究提供基础数据, 增强了对青藏高原地质灾害、地震的预警能力。

关键词: 地应力监测; 地质灾害; 青藏铁路; 数据采集

中图分类号: TU459+.4

文献标识码: A

地应力测量和监测是地球动力学研究、地质灾害和工程稳定性研究的重要手段^[1]。过去, 地应力测量取得了很大进展^{[2-4]①②}, 但地应力的监测技术相对比较薄弱, 很多监测站需要人工现场采集信息, 成本高, 工作效率低, 无法获得地应力变化的连续观测数据。移动通信和 Internet 技术的发展给社会带来深刻的变化, 而 GPRS 无线数据传输技术的成熟, 使它在许多行业中得以应用, 为测控系统的数据传输提供了一种新的手段, 也为地应力监测设备的远程自动测控提供了手段。基于无线网络通讯和 GPRS 技术^[5], 采用高精度数字体应变仪和温度、压力测量仪器, 实现地应力、地形变、地温、地下水位与环境参数的自动监测和数据远程自动传输, 在青藏铁路沿线建立长期无人值守地应力综合监测系统, 实现地应力连续监测、无人值守、自动采集数据和远距离自动传输, 实现了大陆动力学参数综合监测。该监测系统在地球动力学、地质灾害、地震预报、地壳稳定性评价、工程地质勘察等领域, 具有广阔的应用前景。

收稿日期: 2006-02-22

基金项目: 中国地质调查局“青藏铁路活动断裂调查与监测”(1212010541403)项目。

作者简介: 彭华 (1964-), 男, 研究员, 湖北省武汉市人, 主要从事地应力测量、地质灾害、围岩稳定性和岩石力学与工程施工等方面的研究工作。E-mail: penghua@gs2005@yahoo.com.cn。

① 彭华, 李金锁, 马秀敏. 山东菏泽巨野煤田万福勘探区地应力测量分析报告 [R]. 中国地质科学院地质力学研究所, 2005.

② 彭华, 马秀敏, 李国歧, 等. 南水北调西线第一期工程地壳稳定性调查评价成果报告 [R]. 中国地质科学院地质力学研究所, 2005.

1 地应力自动监测站构成

地应力自动监测站是指在无人值守的情况下，由计算机来控制监测仪器，进行地应力测量、断层位移观测和其他地球物理及环境资料收集、传输的测量系统。青藏铁路地应力自动监测站由若干分布式监测基站（昆仑山地应力监测基站、昆中活动断裂监测基站、安多地应力综合监测基站、羊八井地应力综合监测基站）和地质力学研究所地应力监测局域网中心端服务器构成，通过扩展自动监测站的传感器系统，实现地应力数据、跨断层位移（135°和 90°）、环境数据（180m 钻孔水位、井下温度、孔隙压力、地下 0~4m 深度土壤温度、地表 0~1.5m 高度大气温度、湿度、大气压力、基站电源电压）等多种参数信息采集与监测。地应力综合监测站的组成（图 1），该监测站的数据传输方式有两种形式：一种是通过有线 Internet 网络发送信息；另一种是通过 GPRS 无线 Internet 方式直接发送信息（图 2）。

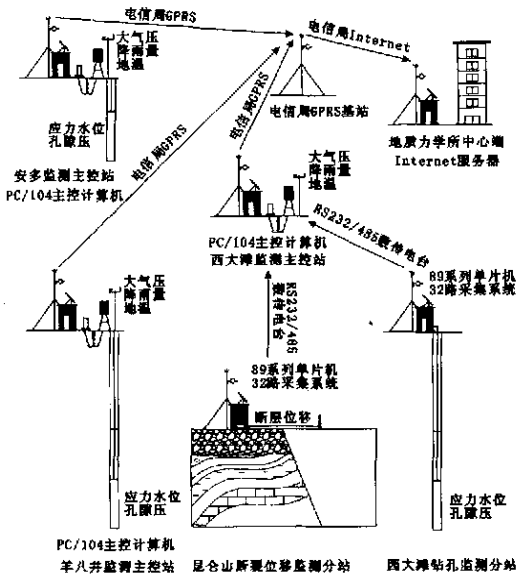


图 1 青藏铁路地应力综合监测站组成示意图

Fig.1 Diagram of in-situ stress monitoring station along the Qinghai-Tibet Railway

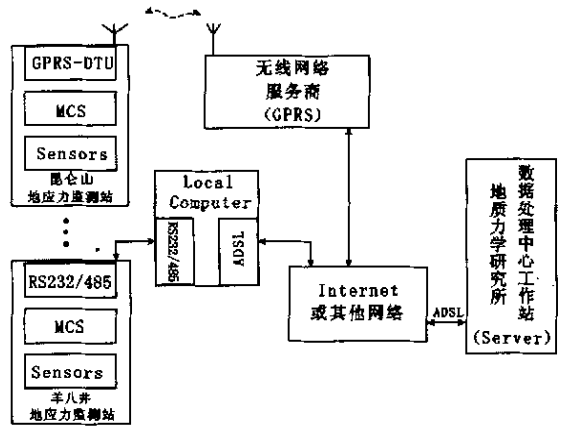


图 2 地应力监测网络结构示意图

Fig.2 Structure of in-situ stress monitoring network

1.1 分布式地应力监测基站

地应力监测基站作为系统的远程客户终端站安装于各个观测点，负责各种数据收集和发送工作，同时接受中心端遥控指令，由通信单元、光伏电源单元、测量传感器单元等 3 部分组成（图 3）。

1.1.1 数据通讯单元

(1) 通过 GPRS 无线方式连接。自动地应力监测网络无线数据传输部分，采用中心点对多点的指令遥控方式。通过 GPRS 数据终端将数据打成 IP 包，经 GPRS 空中接口接入无线 GPRS 网络，由移动服务商转接到 Internet，最终通过各种网关和路由到达统一的数据处理中心工作站。

ET* 221A GPRS DTU 系列模块带有 RS232/RS485 9Pin 数据接口，以便对模块供电和进行

数据交换。在终端所有连接完成之后，通过超级终端方式或专用管理与调试工具对 GPRS 数据终端进行管理，终端设备（图 4），设置要连接的中心端服务器 IP 和端口，便于用户在使用前配置相关参数，在调试过程中灵活地改变相关参数以及软件升级和简单的测试。

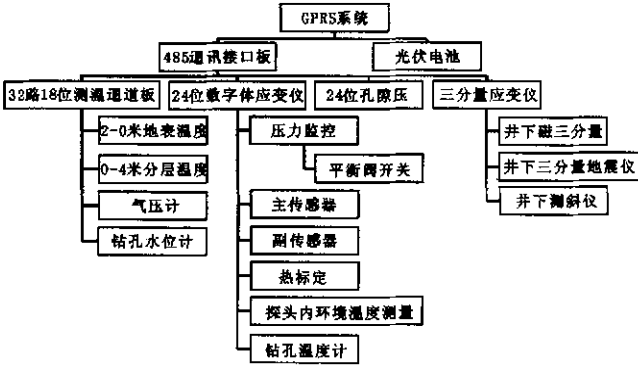


图 3 地应力监测基站构成示意图

Fig.3 Diagram of in-situ stress monitoring base station

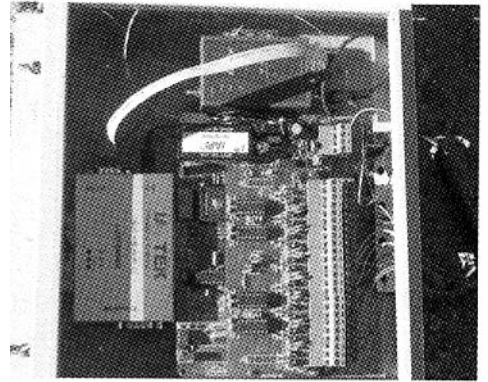


图 4 无线 GPRS 终端

Fig.4 Terminal of wireless GPRS

(2) 通过有线网络连接。在有线地应力监测站中，AT89C52 单片机、MSC1200 单片机将传感器获得的地应力信息用串行通信（RS232 或 RS485）的方式送到局地 PC104 微型计算机上。计算机首先把数据进行处理和编码，然后通过互连网把数据信息送到有固定 IP 的数据业务中心站。在这一过程中，采用 C 语言开发局地计算机数据处理和发送通讯软件，进行数据传送，同时数据业务中心站指定对应服务器端的数据接收软件实现数据接收和保存。

1.1.2 高精度数字体应变仪测量单元

图 5 所示为 Ty-03 型体应变仪结构原理图。采用 $\phi 89\text{mm}$ 直径 304 不锈钢管整体焊接，由工作舱段、压力平衡舱段和仪器舱段组成，总长 2500mm。其中，工作舱段长 1000mm，工作体积 5000ml，装 2 支量程分别为 0.1MPa 和 0.07MPa 的高精度压力传感器；压力平衡舱段长度 400mm，封闭 350ml、1 个大气压氩气，由温度标定装置、电磁阀及电缆穿线密封器组成；仪器舱段长 400mm，内置 MSC1200 单片机，在中心站的遥控下负责数据采集和传输，由 1.5mA 恒流源给压力传感器供电，产生 $\pm 200\text{mV}$ 压力信号，再由 MSC1200 单片机 24 位 4 通道高精度 AD 转换器转换成数值信号，通过光隔离 RS485 总线传输到地面 GPRS 数据终端，为防止压力超过传感器量程，损坏压力传感器，增加了压力监控电路，当探头内压力超过一定数值时，自动打开电磁阀平衡工作舱段压力，使传感器归零，整个探头系统精度为 10^{-9} 应变，能观测到固体潮。热标定装置由 120 Ω 电阻丝和恒流源及控制电路组成，在中心站的遥控下 MSC1200 单片机控制电阻丝对工作段硅油进行加热，由于电阻丝电阻和电流能够长期保持不变，因而每次标定时产生的热量和硅油热体积变化量是恒定的，所产生恒定的体应变用来标定系统。通过标定能修正系统长期运行所产生的各种误差，同时也能检验应变仪的工作可靠性。MSC1200 单片机内置精度 0.2 $^{\circ}\text{C}$ 的温度传感器，用来测量探头内温度变化。工作舱的下部设有空隙压力和温度传感器，用它们来测量岩石的孔隙压力和温度。

1.1.3 太阳能电池单元

地应力监测站采用太阳能光伏电池，120W 光伏电池板和 100AH 铅酸蓄电池，能保证系统在 10W 功率和连续阴天的条件下工作 72h。

1.2 数据中心工作站

数据处理中心工作站是整个网络系统的主控部分，主要由主服务器、有线数据接收处理服务器、无线数据接收处理服务器、WWW 服务器、ADSL 数据终端和 GPRS 数据终端组成（图 6）。主服务器用于发送控制信号、接收数据、数据解析和处理地应力资料。

主服务器安装 Windows Server 2003 操作系统，并安装了 SQL Server 2000 数据库管理软件。所有来自终端自动地应力监测站的数据，经过网络首先进入具有固定 IP 地址的主服务器，或有固定域名的网站。但是考虑到服务器的稳定运行问题，通常不允许在服务器上安装其他应用软件。由于系统作地震数据传输时，数据流量较大，为了降低主服务器的负荷，系统中需要另外增加 3 台服务器来分担主服务器的数据处理任务。这 4 台服务器共同构成类似于内部局域网的数据中心工作站（DSC）。虽然数据中心站有多台服务器，但它对外部公网只提供一个 IP 地址（或域名），因此在架设过程中采用了一种网络地址转换（NAT）技术。NAT 端口映射功能将一台主机的假 IP 地址映射成一个真 IP 地址，当用户访问提供映射端口主机的某个端口时（如 `http://kx81.com:xxxx`），服务器将请求转到内部提供这种特定服务的主机（如 102 号主机）。可以让内部网络中某台机器对外部提供 WWW 服务，而不是将真 IP 地址直接转到内部提供 WWW 服务的主机。

3 台处理服务器分别处理来自不同端口的信息，来自无线自动地应力监测站的信息经主服务器的端口映射到无线数据接收处理服务器接收，然后再送回主服务器保存在 SQL 数据库；通过有线方式接收信息的任务则由有线接收处理服务器来完成。最终 WWW 服务器从主服务器上调用 SQL 数据库，将地应力信息在 Web 页上实现动态更新显示，以供外部用户通过 Internet 访问。

1.3 软件设计

软件设计主要指利用计算机高级语言开发数据中心站上的数据接收和处理软件。对于有线数据传输方式，利用 VB6.0 和 VC++ 6.0 开发出客户端（局地计算机）数据发送软件和服务器端（有线数据接收处理服务器）数据接收软件。软件中数据的传输采用了 Winsock 方式。

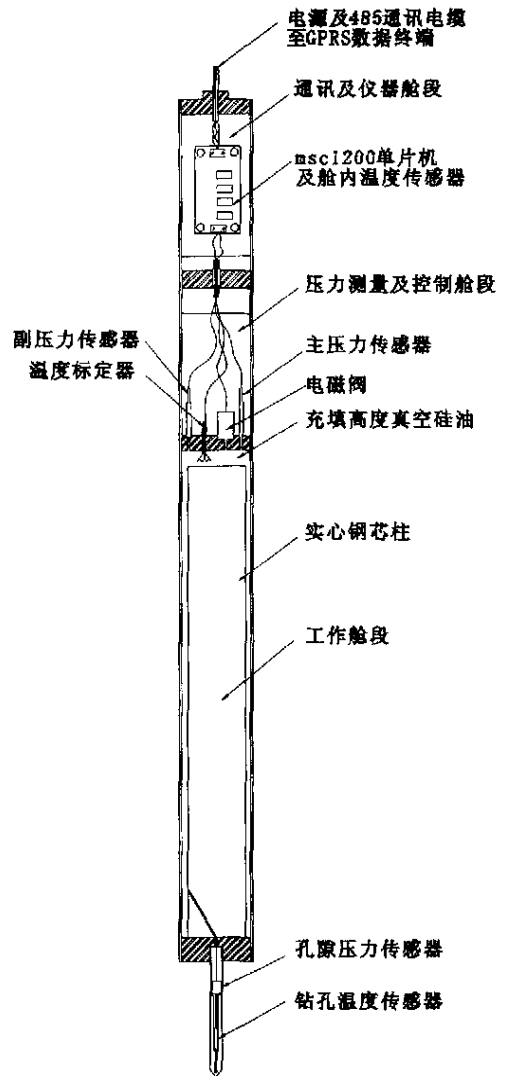


图 5 Ty-03 型高精度体应变仪组成示意图

Fig.5 Structure of Ty-03 model high-precision strainometer

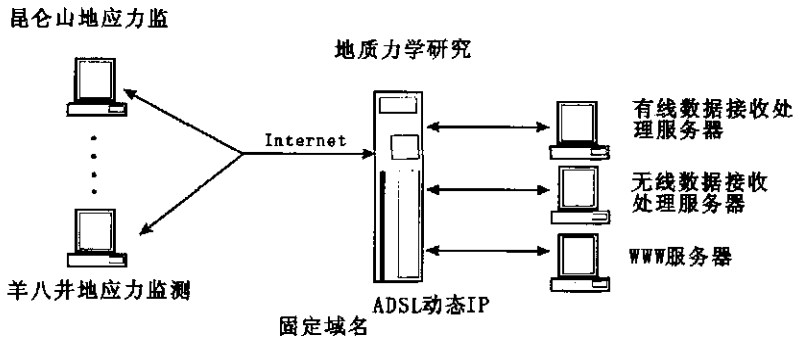


图 6 数据中心站构成示意图

Fig.6 Flow sheet of data central station

2 系统特点

地应力监测系统网络基站传输系统采用 ET + GPRS DTU 和有线 ADSL 局域网网络串口 DTU。产品基于中国移动的 GPRS 网络和中国电信的有线电话网络，提供 RS232、RS485、TTL 接口，支持 900/1800/1900MHz3 频 GSM/GPR，Windows95/98/2000/XP/LINUX 操作系统，ET + GPRS DTU 内嵌 TCP/IP 协议，为基站的数据设备提供透明传输通道；配置上电话自动拨号上网、连接网络，同时支持用户端发起命令连接或远程唤醒连接；实时监测网络连接情况，掉线自动重拨功能；提供主、副 IP 及动态域名解析；数据通信帧长度可设定。

系统采用的通讯方式决定了系统有以下特点。

(1) 实时性强。由于 GPRS 具有实时在线特性，系统无时延，无需轮回就可以同步接收、处理多个监测点的各种数据。可很好的满足系统对数据采集和传输实时性的要求。

(2) 可对各监测点仪器设备进行远程控制。通过 GPRS 双向系统还可实现对仪器设备进行反向控制，如：时间校正、状态报告、开关等控制功能，并可对深孔探头进行系统远程在线升级。

(3) 建设成本低。由于采用 GPRS 公网平台，无需建设网络，只需安装好设备就可以，建设成本低。

(4) 监控范围广。构建地应力综合信息采集传输系统采用无 GPRS 和有线电话的数据通信覆盖范围广，扩容无限制，接入地点无限制，能满足青藏高原、边远山区、乡镇和跨地区的接入需求。

(5) 具有良好的可扩展性。由于目前 GSM/GPRS 无线网络和电话有线网络已覆盖国内绝大部分地区，基本不存在盲区，可实现大范围的在线监控，满足全国性监测信息采集传输系统对覆盖范围的要求。

(6) 系统的传输容量大。中心站要和每一个信息采集基站实现实时连接。由于信息采集点数量众多，系统要求能满足突发性数据传输的需要，而 GPRS 技术能很好地满足传输突发性数据的需要。

(7) 数据传送速率高。信息采集基站在增加地震监测传感器时，数据传输量在 10Kbps 之内。GPRS 网络传送速率理论上可达 171.2kbit/s，目前 GPRS 实际数据传输速率在 40Kbps 左右，完全能满足本系统数据传输速率 ($\geq 10\text{Kbps}$) 的需求。

(8) 通信费用低。通讯采用包月计费方式, 运营成本低。

3 安全措施

由于地应力监测系统的特殊性, 系统基站大多运行在高海拔、高寒的无人区, 围护相当困难, 需要极高的系统安全保障和稳定性。每个基站内由 6~10 个 51 系列单片机组成, 通过 RS485 接口相连, 为了防止来自系统电子设备运行的程序死锁, 相应的单片机都安装了 Watchdog 软件。

通信采用遥控方式, 为了防止 GPRS 通信因信号、掉电及无线运营商的原因引起掉线, 程序设置了多种自动连接的方法自动修复, GPRS 数据终端只要通电, 就会自动上网与指定的 IP 地址的中心工作站保持联系, 获取中心站工作指令, 将测量仪器的 RS485 接口数据“透明”地传输到中心工作站。若通讯中断, 只要 GPRS 数据终端在 5min 内收不到中心端的遥控指令, 就会自动断电 5s, 然后重新发起连接与中心端联系, 修复中断的连接。同时, 还可以输出复位信号, 控制仪器复位。

网络安全防护措施包括信道加密、信源加密、登录防护、访问防护、接入防护、防火墙等。采用防火墙软件, 设置网络鉴权和安全防范功能, 保障系统安全。对于特定用户, 可通过数据中心分配特定的用户 ID 和密码, 其他没有数据中心分配的用户 ID 和密码的用户将无法登录进入系统, 系统的安全性进一步增强。可对整个数据传送过程进行加密保护, 有效避免非法入侵。

每个基站使用 SIM 卡的唯一性: 系统运行采用基站呼叫中心站的方式, 中心站服务器对用户 SIM 卡号码进行鉴别授权, 划定用户可接入某系统的范围, 只有属于指定的 SIM 卡号才能访问。

4 系统试验与运行

基于 GPRS 的全自动地应力综合监测系统于 2002 年基本研制成功, 2003 年在北京建立了试验站。北京试验站经过调试, 于 2004 年初开始试运行, 在试运行过程中, 对系统的通讯、光伏电源、高精度体积式应变仪、温度仪、压力探头反复进行了测试, 逐步完善了系统功能, 增加了基端的环境监测远程流入和数据程序, 改进了系统的软件和硬件, 在所有接口、电源都设置了防雷设施, 增设了系统的阳极保护措施, 增强了系统的安全。

2005 年 5~7 月, 在昆仑山南部西大滩完成地应力监测孔的钻探工作, 为安装监测仪器和设备提供了必要的地下空间。2005 年 8 月, 在西大滩青藏铁路北侧建立了全自动的西大滩地应力综合监测站, 实现了对大陆动力学参数如地应力、体应变、地温、地下水位、跨断层位移及环境参数如孔隙压力、土壤温度、气温、湿度、气压、基站电源电压的数据连续、定时、自动采集。

2005 年 9 月, 北京终端数据中心开始接收、处理、储存从西大滩地应力综合监测站远程传送过来的各类监测数据, 实现了对野外监测系统的自动控制。自 2005 年 9~12 月, 地应力综合监测系统在昆仑山高寒环境经历了不同季节的气候环境, 始终安全运行, 并连续传输各类监测数据 (图 7)。

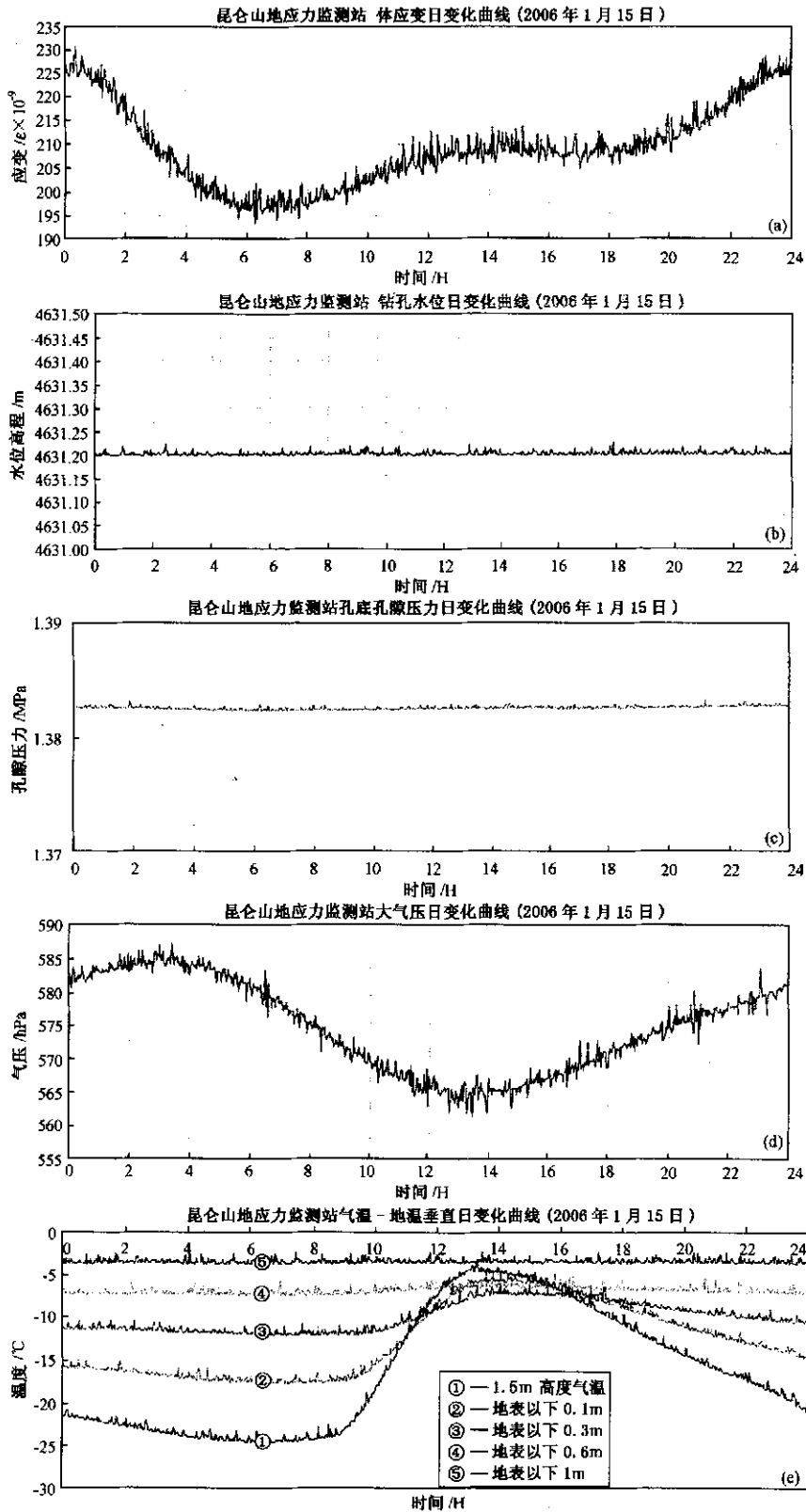


图7 昆仑山地应力综合监测站典型曲线

Fig.7 Typical curves of the in-situ stress monitoring station at the Kunlun Mountains

昆仑山地应力钻孔 (DZ-CL-XDT1) 孔口高程 4662m (按 1:10 万地形图计算), 孔深 181m, 孔底标高 4481m, 抛填 1.5m 粗中砂, 体应变仪安装标高 4493m, 孔隙压计插入砂中 0.4m, 孔内水位 4631.22m。检测结果表明, 在调整孔底体应变仪前置级放大倍数后, 体应变仪输出明显带有周期性变化的数据, 相对应变值为 $\Delta\epsilon = 227 - 196 = 31\mu\epsilon$; 孔内水位和孔底孔隙压日基本无变化; 气压日变化明显, 凌晨 2 点最大为 585hPa, 接近 14 点最小为 563hPa; 监测房内气温变化较大, 昼夜温差达 17℃, 夜间最低温度 -23℃, 地温变化滞后, 地表温差 11℃, 60cm 以下基本无变化。

2005 年 9~11 月, 相继完成了安多和羊八井地应力监测孔的钻探任务, 孔深分别为 123m 和 302m, 于 2005 年 12 月安装各类监测仪器, 建立安多地应力综合监测站和羊八井地应力综合监测站 (图 8)。



图 8 安多地应力监测站外貌

Fig.8 View of the in-situ stress monitoring station at Amdo

计划在 2006~2007 年建立五道梁、沱沱河和浪卡子地应力综合监测站。在完成这些监测站后, 就可以对青藏铁路沿线地球物理数据、地质灾害数据、地质环境数据及地球动力学过程实现不间断的监测, 实现对青藏高原中段地应力、地应变、地温、地下水位、断层位移等大陆动力学参数的实时监测, 大幅度提高了青藏铁路沿线活动断裂及地质灾害^[6-8]的监测能力, 为青藏高原腹地地震监测预报和青藏铁路沿线地质灾害防治提供重要的技术支持。

参 考 文 献

- [1] 吴珍汉. 旋转地球动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 117~125.
- [2] 马秀敏, 彭华, 李金锁. 新疆西部地应力测量在隧道工程中的应用 [J]. 地质力学学报, 2005, 11 (4): 386~393.
- [3] 李金锁, 彭华, 崔巍, 等. 云南西北部铁路隧道地应力测试及工程应用 [J]. 地质力学学报, 2005, 11 (2): 135~144.
- [4] 王连捷, 潘立宙, 廖椿庭, 等. 地应力测量及其在工程中的应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1991. 1~171.
- [5] 赵志伟. GPRS 技术及网络建设综述 [J]. 移动通信, 2002, (6): 23~28.
- [6] 吴珍汉, 胡道功, 吴中海, 等. 青藏高原中段活动断层及诱发地质灾害 [M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [7] Wu Zhenhan, Patrick J. Barosh, Daogong Hu, Zhonghai Wu, Xitao Zhao, Peisheng Ye and Wan Jiang. Hazards posed by active major faults along the Golmud-Lhasa railway route, Tibetan Plateau, China [J]. Engineering Geology, 2004, 74 (3~4): 163~182.

- [8] Wu Zhenhan, Patrick J. Barosh, Daogong Hu, Zhonghai Wu, Ye Peisheng, Liu Qisheng and Zhou Chunjing. Migrating pingos in the permafrost region of the Tibetan Plateau, China and their hazard along the Golmud-Lhasa railway [J]. *Engineering Geology*, 2005, 79: 267 ~ 287.

UNMANNED IN-SITU STRESS MONITORING STATIONS ALONG THE QINGHAI-TIBET RAILWAY

PENG Hua, WU Zhen-han, MA Xiu-min

(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: The paper introduces a new type of unmanned automatic in-situ stress monitoring station installed along the Qinghai-Tibet Railway. By using the wireless GPRS communication technology, the station is linked through Internet to the central server located in the LAN for in situ stress monitoring in the Institute of Geomechanics, Beijing to achieve data exchange and telecontrol by the monitoring stations. This network overcomes the shortcoming of conventional in-situ measurements needing artificial in-situ information collection and uses the data terminal to realize the automation of stress monitoring. The monitoring stations can monitor deep-hole stresses in the Kunlun Mountains, Amdo and Yangbajain along the Qinghai-Tibet Railway and displacements of the Central Kunlun fault at Xidatan, Kunlun Mountains. Through continuous monitoring of the geophysical, geological disaster and geo-environmental data and geodynamic process along the Qinghai-Tibet Railway, the stations can offer basic data for the study of geological disasters occurring along the railway and tectonic deformation dynamic process of the Qinghai-Tibet Plateau, earthquake forecast and plateau environment. Additionally, they can enhance the early-warning ability for geological disasters and earthquakes on the Qinghai-Tibet Plateau.

Key words: in-situ stress monitoring; geological disaster; Qinghai-Tibet Railway; data collection