

文章编号: 1672-3031(2008)04-0323-06

工程安全监测工作回顾

吴铭江, 袁培进

(中国水利水电科学研究院 工程安全监测中心, 北京 100044)

摘要: 简要回顾了近 50 年来在工程安全监测方面的发展历程与科研工作、工程实践及工作业绩, 包括测斜仪、多点位移计等监测仪器研制; 国家“六五”、“七五”科技攻关项目; 承担和参与的三峡、引滦工程、小湾、向家坝等主要安全监测工程、监测数据处理分析软件开发, 以及与安全监测方面有关的主要专著等内容。并对工程安全监测提出了若干认识, 同时强调工程实践对安全监测工作研究及发展的重要性。

关键词: 工程安全监测; 仪器研制; 数据分析; 发展历程

中图分类号: TV698.1

文献标识码: A

1 工程安全监测研究概述

新中国成立以来, 我国水利水电事业取得了举世瞩目的成就, 截止到 2006 年底, 全国累计建成水库大坝 8.6 万余座, 数量居世界第一位。水利水电事业的蓬勃发展, 为保障国家的经济发展和社会进步发挥了重要作用。众所周知, 由于地质条件、自然环境等因素的复杂性, 人们在认识上尚有一定的局限性, 还不可能在设计中预见所有的工程安全问题, 从而难免潜在的安全风险。然而, 很多失事工程一般要经历从性态变化而导致恶化过程, 因此工程安全监测是及时发现工程隐患的一种有效方法。通过仪器监测和人工巡视检查, 对工程进行系统的监测和测试, 可以及时获得工程安全的有关信息, 早期发现工程症状, 从而采取对策, 确保工程安全。因此在水利水电工程建立安全监测系统, 对工程进行施工、蓄水和运行全过程的监测是十分必要的。工程安全监测的主要目的可以归纳为以下 3 点: (1) 监测运行中工程性态变化, 监视工程运行安全; (2) 根据施工期监测资料, 掌握工程结构与基础的实际性态, 据以修改、完善设计或技术方案, 指导施工; (3) 监测资料反馈于设计, 以检验设计的正确性, 从而提高工程设计水平。

2 发展历程

中国水利水电科学研究院自 20 世纪 50 年代中期即开展有关安全监测工作方面的研究工作, 曾对观测仪器的制造、布置设计、施工埋设技术及观测资料的整理分析等方面进行了系统研究, 是我国最早设置“原型观测”课题进行研究的单位之一。

工程安全监测早期称之为原型观测, 不过工程安全监测与原型观测的目的不尽相同, 前者主要是以工程安全为目的, 后者则主要为工程、设计服务。中国水利水电科学研究院结构材料研究所早在 20 世纪 50 年代就开始对混凝土工程观测仪器的制造、布置设计、施工埋设及观测资料的整理分析等方面进行了系统研究, 并在一些工程中进行了实际的观测工作^[1]。在岩土工程安全监测方面, 我院岩土所在 20 世纪 60 年代初开始进行了地下洞室山岩压力观测仪器的研发工作, 并采用自制仪器在刘家峡地下厂房实施了山岩压力的观测。自上世纪我国改革开放以来, 我院承担了多项“六五”、“七五”国家科技攻关等重点科研项目, 在监测仪器研制、监测技术发展以及资料整编等方面均有长足进展。为贯彻科研为工程服务方针, 先后承担和参与了长江三峡水利枢纽(永久船闸、左岸大坝和大江围堰)、引滦引水工程、

收稿日期: 2008-07-30

韩城发电厂、天津新港、天生桥二级、漫湾水电站、紧水滩水电站、十三陵抽水蓄能电站、三门峡水库、岗南水库、小浪底水库、田湾核电站、沙岭子电厂、昌马水库、江口水电站、临淮岗水利枢纽、株洲航电枢纽、厦门机场、东胜煤田、小湾水电站、向家坝水电站、溪洛渡水电站；国家文物重点保护单位龙门石窟、蓬莱阁，以及阿尔及利亚布库尔丹水库等工程的安全监测工作。通过广泛参与国内外工程建设，以及结合生产实践的科研工作，取得了丰硕成果以及较好的社会效益。

在组织机构方面，文革前岩土所和结构材料所均设有独立的观测研究或仪器研发课题组，1986 年为了适应科研发展的需要，岩土所将原岩基室和土工室中的监测课题组合并，成立一个新的研究室——工程监测研究室。1996 年随着工程安全监测事业的发展，岩土所监测室与仪器研究所合并，成立了工程安全监测中心。2003 年初，随着我院科研体制改革，将工程安全监测中心整编制归入北京中水科水电科技开发有限公司。

本文主要介绍我院早期岩土所直至以后成立工程安全监测中心以来有关开展安全监测工作的情况。

3 主要业绩与成果

3.1 安全监测工程

3.1.1 土石坝 (1) 我院是我国最早开展土工原型观测研究单位之一。于 1964 年采用自制双管式孔隙水压力计，观测云南毛家村土坝，心墙孔隙水压力。

(2) 混凝土面板挠度是评价混凝土面板堆石坝安全的重要内容，1986~1992 年采用自主研发的斜坡测斜仪，对湖北西北口水库、辽宁关门山水库进行面板挠度变形监测，实测到水库初期蓄水时大坝挡水混凝土面板的挠度变形(法向位移)及其变化^[2]。这是我国混凝土面板堆石坝首次采用斜坡测斜仪测到的结果，对混凝土面板堆石坝的合理设计和安全评价具有实际意义。

(3) 1992~1993 年，承担国际工程——阿尔及利亚布库尔丹大坝安全监测系统工程，该工程使用的全部是当时世界上先进的仪器设备(包括自动化监测系统)。该工程安全完成，受到了国外业主和国内承包商的好评，笔者也首次全面接触到世界上先进的技术，学到了宝贵的知识和经验。

(4) 长江三峡工程大江土石围堰水深 60 余米，是世界上水深最深的围堰之一，1997~2001 年承担大江下游围堰的安全监测工作。在围堰防渗墙采用挂布法预埋压应力计、渗压计，采用吊绳法埋设应变计，采用预埋钢管成孔法埋设测斜管等监测施工技术，这些工作实施时风险较大，国内外成功经验不多。然而，笔者的仪埋成功率达 100%，直至围堰拆除时(运行四年后)仪器完好率仍有 93%，这在 60m 水深防渗墙内埋设仪器成功率如此之高，在国内尚属首例，在国外也不多见^[3]。

防渗墙的变位，国内外均有计算资料，但实测资料少见。笔者在长江三峡大江下游围堰采用测斜仪实测到 60m 深混凝土防渗墙自下而上的水平位移全貌(顶端最大位移近 300mm)，监测资料连续、可靠、规律，为围堰安全度汛及大坝主体工程施工安全提供了重要信息，尤其是为大坝基础施工顺利渡过历史罕见 1998 年特大洪水作出了贡献。根据监测成果编写的论文被编入“堤防及病险水库垂直防渗技术”专著。

(5) 2003 年承担了水利部科技创新项目《临淮岗洪水控制工程主坝施工安全监测技术研究》，该项目首次在国内均质土坝安全监测中采用引进的电介质式水平、垂直向固定式测斜仪，获得连续可靠的位移变化资料。成果于 2005 年 9 月通过水利部国际合作与科技司组织的验收鉴定，鉴定结果为国内领先，并获得淮河水利委员会科技进步一等奖。根据成果编写的论文^[4]，于 2005 年 11 月在《大坝安全与堤坝隐患探测国际学术研讨会》中发表。

3.1.2 混凝土坝 (1) 1997 年承担三峡左岸大坝(二期二标段)监测工程，监测项目有渗流、应力应变、动力(强震、振动和坝基岩体质量检测)等，完成仪埋 557 支(套)，坝基岩体质量检测点 805 个，坝基渗流量观测排水孔 667 个。历经 6 年多时间，工程完工验收时仪器完好率达 97%，实测资料规律、可信，工程获得业主和验收专家的好评，监测成果为大坝施工、水库初期蓄水以及合理设计提供了重要信息和科学

依据。

在三峡大坝工程采用新技术,并获得显著监测成果,具体为:①成功实施大面积坝基岩体质量检测,为大面积评价坝基岩体质量提供了重要的科学依据,在国内尚属首例;②在坝基深孔(45m孔深)水下布设强震仪测点对地震输入进行强震监测工作,目前我国尚无先例;③大坝渗流监测资料规律、可靠,监测成果很好地反映了工程实际,对揭示水库初期蓄水坝基渗流状态提供了宝贵资料。根据渗流监测成果编写的论文在“大坝与安全”发表以后^[5],又被“2003年中国水力发电年鉴”收录。

(2) 2005年参与了小湾水电站大坝安全监测工程,该大坝为世界上在建的最高混凝土双曲拱坝(292m),大坝安全监测项目基本涵盖了目前国内外最为先进的仪器设备,其中大坝坝基回弹变形监测引进高精度(0.003mm)滑动测微计测量,大坝温控监测引进分布式光纤测温系统,坝基应力变化监测引进岩石应力计测量,坝基(肩)岩体锚固(单索)达到目前我国水电工程建设最高吨位(600t),以及GPS区域变形测量等,这些国内外最先进的监测技术均在小湾大坝工程得到了较好的应用,并已取得了阶段性成果,目前工程正在建设之中。

3.1.3 边坡工程 (1) 1985年陕西韩城发电厂东侧山体发生滑坡,严重威胁到电厂正常运行及人身财产安全。根据原电力部指示,要求电厂停产并实施“抗滑抢险”。为监控滑坡变形动态,电厂委托中国水利水电科学研究院实施山体及厂区的滑坡变形、渗流及抗滑桩应力应变等项目监测。采用了当时国内外先进的监测手段,如钻孔测斜仪(美国进口)、土应变计(“六五”国家科技攻关项目)等。至2008年历时23年,主要监测仪器工作状态基本正常,监测资料完整可信,如此长时间的系统监测资料及成果,在我国滑坡监测工程中是不多见的。根据监测成果编写的论文《韩城电厂滑坡监测20年》,已被2008年“第十届国际滑坡与工程边坡会议”收录发表^[6]。

(2) 天生桥二级水电站为一大型引水式水电工程,随着厂房基坑开挖的进展,厂房后边坡岩土体发生明显滑移。受武警水电部队委托,1987年4月承担了该工程厂房后边坡滑坡变位监测及监测技术咨询服务工作。通过监测确定了滑坡面具体位置、滑移速率,对评估滑坡滑移趋势和加固处理效果提供了科学依据。根据监测成果编写的论文发表在“地质灾害与防治”杂志中^[7],实测的岩体位移-深度滑坡曲线已被国内规程、手册或著作引用,其主要内容还被国外俄文版权刊物所摘录。

(3) 三峡工程永久船闸系世界上最高的人工开挖边坡,其稳定性一直倍受关注。1996年承担该工程二期二标段安全监测(2003年完工)。本项目不仅有渗流、应力应变、锚固等常规的监测项目,而且还有水力学专项监测,埋设的监测仪器有1250余支(套)^[8]。通过监测为船闸施工和通水试运行期安全提供了重要信息,为开挖高边坡稳定性评价提供了科学依据。

(4) 小湾水电站开挖高边坡(500m)稳定是工程建设的关键技术问题,边坡开工初期塌方事故时有发生,严重威胁施工人员及施工机械的安全。2002年参与了高边坡安全监测,采用了世界上多种最先进监测手段,如GPS测点、滑动测微计等,共埋设监测仪器(测点)1265支(个)。通过监测,在确保主体工程边坡安全稳定、指导安全施工,以及适时调整加固参数等方面起到了重要作用。

该监测项目《小湾水电站饮水沟堆积体抢险加固工程安全监测成果分析及预警分析研究》获2006年云南省科技进步三等奖,根据该工程监测成果编写的论文已入选2007年“第11届国际岩石力学学术会议论文集”^[9]。

(5) 马延坡边坡是向家坝工程右岸的重要施工区域,自2006年7月以来,由于边坡开挖切脚和大量降雨影响,出现大范围变形(滑坡)迹象,边坡的稳定状态直接影响到右岸建筑物和设施的安全,对工程顺利施工影响很大。2006年在紧急抢险加固处理的同时,受业主委托承担该滑坡安全监测工作,包括内、外部变形、锚固(索)、地下水位、抗滑桩应力应变及温度等监测项目。

通过监测,已查明边坡滑动面所处位置、滑移速率及方向,为边坡稳定性评价及加固处理提供了科学依据,受到业主及专家的高度好评,目前该边坡稳定性监测工作正在进行之中。

3.1.4 地下洞室 我院较早开展地下洞室工程安全监测,所进行的工程主要有刘家峡水电站地下厂房、引滦工程“八·一林”隧洞、三峡工程永久船闸阀门井、连云港核电站引排水洞以及向家坝右岸地下厂房引水发电系统等。

(1) 在 20 世纪 60 年代初, 采用自制隧洞山岩压力监测设备在刘家峡地下厂房实施监测, 开创了我国水利水电大型地下洞室安全监测的先例。

(2) 引滦工程“八一林”隧洞稳定性监测。该项目系国家经委“隧洞快速施工法”科研项目的组成部分, 获水利电力部科技进步三等奖。隧洞稳定性监测主要是监测隧洞在开挖过程中围岩由表及里的变位情况, 以评估围岩稳定性, 并反馈于设计, 为及时修改支护参数及爆破等施工方法提供依据。隧洞变位监测的仪器当时大多埋设在掌子面附近, 此时围岩变位大多已释放, 仪器只能测到部分围岩变形。本项目的特点是, 仪器于隧洞未开挖到位以前在洞顶上方预埋, 这样可以测到洞顶围岩在开挖过程中的全变形^[10]。仪器为自主开发研制, 采用滑楔式锚头, 可以在极短时间内将锚头牢牢固定在孔内不同部位。传感器采用差动变压器式, 可以直读物理量, 量程大、精度高, 是当时国内先进的监测手段。

(3) 2006 年承担向家坝水电站右岸地下引水发电系统安全监测工程, 该项目系大型地下洞室群开挖工程, 其中地下主厂房高 85.5m, 宽 33.0m, 铅直埋深 110~220m。该部位地质条件复杂, 节理裂隙发育, 并有软弱岩层(夹层)及煤系地层分布, 地下洞室围岩稳定是工程关注的重点问题。本工程安全监测主要内容有围岩变形、锚索(杆)受力状态、渗流及衬砌内应力应变监测等项目, 其主要特点是, 地下洞室围岩变形监测布置在洞顶(顶拱及两拱肩)的多点位移计均是在上部围岩排灌廊道超前预埋, 这样就可以获得洞室开挖过程的顶拱全变形。目前工程已开挖至第 5 层(共 10 层), 已获得较好的阶段性监测成果, 为指导施工、校核设计及各阶段完工验收起到重要作用, 受到业主及有关方面的好评。

3.2 监测仪器的研制和国家科技攻关

3.2.1 界面土压力计 1962~1964 年, 采用自制的压力试验设备, 对界面土压力计在不同介质(粗、中、细砂)内的实测值进行对比试验, 是我国水利水电系统最早开展原型观测仪器的研究单位之一, 试验结果对土压力计的研制、率定以及观测结果分析均有指导意义。

3.2.2 伺服加速度计式测斜仪 1980 年从美国 Sinco 公司引进数显伺服加速度计式测斜仪, 是我国最早引进和使用先进测斜仪单位之一。20 世纪 80 年代初与航天部第 33 研究所合作, 开发研制伺服加速度计式 CX-01 型测斜仪^[11]。1986 年通过水电部、航天部联合技术鉴定, 鉴定意见认为, 该仪器的研制成功为我国填补了空白, 达到国际先进水平, 并获得航天部科技进步二等奖, 水电部 1990 年度科技推广项目。此仪器已批量生产, 广泛应用于水利水电、建筑、铁路、交通、矿山等岩土工程安全监测。

3.2.3 水管式沉降仪、渗压计 在国家“六五”科技攻关项目中, 完成的水管式沉降仪^[12]和水管式渗压计^[13]在国内尚属空白, 目前水管式沉降仪已广泛应用于土石坝变形观测中。

3.2.4 斜坡测斜仪 为适应混凝土面板堆石坝中面板挠度变形监测的需要, 1986 年承担国家“七五”科技攻关项目“斜坡测斜仪研制”, 于 1989 年研制成功, 应用于湖北西北口水库和辽宁关门山水库面板挠度变形监测。1990 年通过技术鉴定, 鉴定意见认为, 该仪器的研制成功为国内填补了空白, 仪器总体为国内领先水平, 部分达到国际先进水平, 并获水电部科技进步三等奖。随同该项目研发的附属设备——铝合金测斜管, 至今仍为国内主要供应商, 赢得很高的市场信誉。

3.2.5 钻孔三向变位装置 钻孔三向变位装置^[14]包括固定测斜仪、增量式位移计和测扭仪 3 种仪器, 可以单独使用, 也可以联合使用测定岩土工程的三向变位。该项目于 1986 年开展, 1990 年通过技术鉴定, 鉴定意见认为该装置采用了各专业领域内先进技术, 具有技术先进、设计合理、性能优良、适应性强、价廉, 便于在恶劣环境中使用等特点, 其综合指标均达到了国际先进水平。

3.2.6 YSC 型监测数据多点采集和处理系统 YSC 型监测数据多点采集和处理系统^[15], 该系统可实现钢弦式和差动变压器式传感器的数据采集、传输和数据处理自动化, 经专家鉴定为国内领先水平。

3.2.7 高坝坝基原位监测仪器埋设技术与观测方法 高坝坝基原位监测仪器埋设技术与观测方法研究, 该项目综合了国内外的先进经验, 完成了系统、完整、标准化的成果, 对指导原位监测设计、仪器选型^[16]、埋设观测、资料整理分析均有重大指导意义。

上述 3.2.5~3.2.7 项目均为国家“七五”科技攻关项目“岩体力学测试及高坝坝基原位监测技术研究”子题, 获国家颁发荣誉证书。

3.2.8 SDJ 钢丝式多点位移计和 DWG-40 杆式多点位移计 研制了 SDJ 钢丝式多点位移计^[17]和 DWG-

40 杆式多点位移计,前者在 20 世纪 80 年代初研制成功,并在引滦工程中应用;后者为国家“七五”科技攻关成果及国家“七、五”科技成果重点推广项目,并取得国家专利技术,该仪器适用于监测各种建筑物基础、边坡、地下洞室的变位,国内已有 50 余个工程得到应用。

3.3 监测数据库处理软件开发与研究 开发的软件主要包括:(1)漫湾水电站高边坡监测数据库管理系统(1981);(2)阿尔及利亚布库尔丹水库大坝安全监测系统(1992);(3)测斜仪监测数据库管理系统(1992~2002 多版本);(4)小浪底水库施工期安全监测数据库管理系统(2001);(5)长江三峡工程安全监测数据库管理系统(1998);(6)小湾水电站高边坡安全监测数据库管理系统(2002);(7)小湾水电站大坝安全监测数据库管理系统(2006);(8)向家坝右岸地下引水发电系统安全监测数据库管理系统(2006)。上述软件在监测工程中已得到了应用,并以运行良好、快捷、使用方便、经济效益明显而受到用户好评。

3.4 主要专著 黄仁福、吴铭江撰写了《地下洞室原位监测》^[18]、曹健人撰写了《土石坝观测仪器埋设与测试》^[19];吴铭江、袁培进参加编写了《水利水电工程岩石试验规程》、吴铭江参加编写了《岩土工程试验监测手册》;袁培进参加了《甘肃昌马水库坝址右岸山体稳定研究及加固处理》的撰写等。

4 结语

(1)我国工程安全监测水平与国外相比,差距最大的还是仪器设备。尽管近年来我国监测仪器发展较快,但总体仍不尽人意。目前我国生产监测仪器的厂家有数十家之多,但真正能够满足水利水电长期观测要求的为数不多,有些先进的监测仪器(如滑动测微计、三维激光扫描、孔径雷达监测技术等),目前尚属空白。因此,改进现有的监测仪器,使之符合长期观测的要求;研发先进的监测设备,无论是市场需要,还是提高工程安全监测工作的水平,都是十分必要的;(2)监测数据处理与分析是工程安全监测工作的一个重要组成部分,工程是否安全,最终要靠监测资料的分析评价来实现。目前我国在这个领域已接近和达到世界先进水平,但是监测资料得不到及时有效的分析和利用,有价值的信息经常未能从观测结果及报告中提取出来,是国际上较为普遍存在的问题,我国也不例外。这一问题除了抓好管理工作以外,研发更为实用、有效的大坝安全监测信息处理技术将有助于这一问题的解决^[20];(3)工程安全自动化监测系统,为应对野外现场恶劣工作环境条件的影响,具有超越一般工业测控自动化系统的诸多特性。经过 20 余年的工程实践,我国在自动化监测的设计与布置、采集系统、监控管理和安全评估等方面积累了丰富的经验,取得了丰硕的成果,但是要确保系统长期稳定运行,真正做到“无人值守或少人值守”还有不少工作要做;(4)工程实践是科学研究的源泉,应进一步积极参与工程实践,积极参加工程安全监测的招投标,争取更多的工程项目。与此同时,继续保持自身优势,努力增补弱势,可使监测技术水平得到更长足的全面发展,进一步增强在社会上的竞争实力。

参 考 文 献:

- [1] 水利水电科学研究院. 混凝土坝的内部观测[M]. 北京:水利电力出版社,1960.
- [2] 袁培进,吴铭江. 关于混凝土面板法向变形观测方法的探讨[J]. 大坝观测与土工测试,1997,(2).
- [3] 袁培进,吴铭江,等. 三峡工程二期下游围堰防渗墙安全监测[A]. 堤防及病情水库垂直防渗技术[C]. 天津:天津科学技术出版社,2000.
- [4] 熊成林,等. 电解质式垂直位移监测系统技术研究与应用[A]. 大坝安全与堤坝隐患探测国际学术会议论文集[C]. 2005.
- [5] 袁培进,吴铭江,等. 长江三峡左厂(非)坝段渗流监测[J]. 大坝与安全,2003,(6).
- [6] 吴铭江,等. 韩城电厂滑坡监测 20 年[A]. 第十届国际滑坡与工程边坡会议论文集[C]. 2008.
- [7] 吴铭江,袁培进. 天生桥水电站厂房边坡滑移监测[J]. 地质灾害与防治,1990,(8).
- [8] 中国水利水电科学研究院,等. 长江三峡水利枢纽永久船闸二期二标段安全监测工程竣工验收报告[R]. 北京:中国水利水电科学研究院,2003.
- [9] 赵华,姜云辉,等. 小湾水电站饮水沟堆积体边坡变形特征及稳定性趋势监测分析[A]. 第 11 届国际岩石力

学学术会议论文集[C]. 2007.

[10] 吴铭江. 引滦入还输水工程八一林隧洞围岩变形监测[A]. 水利水电科学研究院论文集(23)[C]. 北京: 水利水电出版社, 1986.

[11] 吴铭江, 袁培进. CX-01 型测斜仪及其在天生桥水电站厂房边坡监测中的应用[J]. 大坝观测与土工测试, 1988, (6).

[12] 曹健人, 祁福环. 水管式沉降仪研制报告[R]. 北京: 水利水电科学研究院, 1985.

[13] 曹健人, 祁福环. 水管式渗压计研制报告[R]. 北京: 水利水电科学研究院, 1985.

[14] 吴铭江, 陶纪昆. 钻孔三向变位计测量装置研究报告[R]. 北京: 水利水电科学研究院, 1990.

[15] 房纯刚, 等. YSC(I、II) 型原位监测多点数据采集和处理系统研制报告[R]. 北京: 水利水电科学研究院, 1989.

[16] 黄仁福, 吴铭江. 高坝坝基原位监测仪器选型[J]. 水利学报, 1992, (7).

[17] 吴铭江. SDJ 两用四点钻孔伸长计在八一林隧洞变形观测中的应用[J]. 水利水电技术, 1985, (5).

[18] 黄仁福, 吴铭江. 地下洞室原位监测[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990 年.

[19] 曹健人. 土石坝观测仪器埋设与测试[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990 年.

[20] 张进平. 大坝安全监测资料分析方法及信息处理技术的若干问题[J]. 大坝与安全, 2003, (6).

Review on engineering safety monitoring

WU Ming-jiang, YUAN Pei-jin

(Engineering Safety Monitoring Center, IWHR, Beijing 100044, China)

Abstract Evolutions of engineering safety monitoring of China Institute of Water Resources and Hydropower Research in last 50 years were reviewed. Achievements in scientific research and engineering practice of engineering safety monitoring are summarized, such as manufacture of monitoring instruments (inclinometer and multi-points extensometers) and development of monitoring data analysis software. Engineering safety monitoring technology have been applied in a few key water projects, such as, Three Gorges Project, Yin-Luan Water Diversion, Xiaowan Hydro Station, Xiangjiaba Hydro Station, etc. Some introductive view points to further development of engineering safety monitoring technology is also put forward.

Key words: engineering safety monitoring; instruments development; data analysis; evolution



作者简介: 吴铭江(1936-), 男, 浙江慈溪市人, 教授级高级工程师, 注册岩土工程师, 曾任中国水利水电科学研究院工程安全监测中心总工程师, 中国岩石力学与工程学会测试专业委员会第一、二届委员, 中国水力发电工程学会第二届地质勘探委员会委员, 主要从事工程安全监测的研究工作。

(责任编辑: 李琳)