

预应力锚固工程中测试技术的现状与发展趋势

胡时友

(中国地质科学院探矿工艺研究所,四川 成都 611734)

摘要:预应力锚杆(索)由于具有主动加固、深层加固、布置灵活、施工快速、对岩(土)体扰动小、经济性好等显著特点,因此在桥梁、边坡、基坑、隧道、大坝加固、结构抗浮和抗倾、地质灾害治理等工程中得到了广泛的应用。总结了预应力锚固工程中常用测试方法与仪器的发展现状和存在的问题,指出了预应力锚固工程测试技术的研究与发展方向。

关键词:岩土锚固;预应力锚杆(索);腐蚀;测试

中图分类号:TV554⁺.13;U418.5⁺2;P642.22 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2008)07-0005-04

Present Situation and Development Trend of the Measuring and Testing Techniques in Pre-stress Anchoring Engineering/HU Shi-You (The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: Pre-stress anchor rod (rope) has the outstanding features with driving reinforcement, in-depth reinforcement, the flexibility in arrangement, short construction period, less disturbance to the rock (soil) body, good economical efficiency and so on, therefore it is widely applied in the engineering of such as bridge, side slope, foundation pit, tunnel, dam reinforcement, anti-floating and anti-leaning structures, geological disaster control and so on. This article summarized the testing method in common use and the present development of the apparatus and existent problems, pointed out the research and development trend of the measuring and testing techniques in pre-stress anchoring engineering.

Key words: ground anchoring; pre-stress; corrosion; measuring and testing

1 概述

预应力锚杆(索)由于具有主动加固、深层加固、布置灵活、施工快速、对岩(土)体扰动小、经济性好等显著特点,因此在桥梁、边坡、基坑、隧道、大坝加固、结构抗浮和抗倾、地质灾害治理等工程中得到了广泛的应用。但锚索在施加预应力后,由于地质、地下水、地震等自然因素和杆体材料的蠕变、腐蚀、锚具的效率损失、爆破振动等人为因素的影响,在相当长的一段时间内,其锁定预应力必然会发生变化,变化严重时甚至会导致整个工程的失败。因此,为了规范预应力锚固工程的设计、施工和监测工作,各国都制定了相应的标准和规程、规范,我国涉及岩土锚固测试的几个主要规范有《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086-2001)、《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)、《水工预应力锚固设计规范》(SL 212-98)、《水电工程预应力锚固设计规范》(DL/T 5176-2003)、《水电水利工程预应力锚索施工规范》(DL/T 5083-2004)、《岩土锚杆(索)技术规程》(CECS 22:2005)等等。

2 岩土锚固工程量测的目的及任务

为了了解锚固工程结构物的工作状态,检验锚固工程结构的设计和施工质量,必须采用有关测试手段对工程结构进行监控量测、检定试验或施工、运营期监测,以确保锚固工程结构的安全。试验测量的主要任务是:(1)进行竣工检查和测试,以检验工程质量及设计的预期效果;(2)确定锚固结构的受力状态,判定其承载能力及运营条件,掌握病害发展变化规律,提出养护措施和整治意见;(3)对新型锚固结构进行试验以了解其技术性能,掌握其在荷载作用下的工作状态;(4)进行科学研究与试验,积累技术资料,以充实锚固工程的设计计算理论和施工经验。

3 测试内容

按照预应力锚固的国家标准和相关的行业规范,根据设计、施工的不同阶段和地层情况,一般要进行锚索的基本试验、验收试验、蠕变试验和长期监测,根据监测结果对锚索采取相应的维护措施。

3.1 锚固规范中涉及的主要测试内容

锚固规范中涉及的主要测试内容有:(1)锚固

收稿日期:2008-05-31

作者简介:胡时友(1964-),男(汉族),重庆合川人,中国地质科学院探矿工艺研究所所长、党委书记、教授级高级工程师,探矿工程专业,工学硕士,从事探矿工程和地质灾害监测与防治技术的研究、开发和管理工作的研究,四川省成都市郫县成都现代工业港港华路139号,hushiyou737@sina.com。

体(水泥砂浆胶结材料)与围岩(孔壁)粘结强度;(2)钢筋、钢绞线等杆体材料与胶结材料之间的粘接强度;(3)锚索基本试验;(4)锚索的验收试验;(5)锚索预应力的长期监测;(6)锚索的蠕变试验。在上述的测试中,主要是检测锚索的预应力(应力)、位移(应变)2个参数。

3.2 锚固结构和机理研究中涉及的测试内容

近年来,在新型锚固结构和锚固机理研究中所涉及的测试内容主要有:(1)锚杆(索)内力传递与分布规律的测试;(2)砂浆饱满度测试;(3)锚索腐蚀程度检测;(4)锚杆(索)的长度测试,包括杆(索)的全长、内锚固段长度和自由段的长度测试。

4 锚索预应力测试

4.1 对锚索预应力长期监测传感器的基本要求

(1)追求良好的自然线性;(2)尽量有较高的输出灵敏度;(3)抗侧向能力强,结构简单,易于加工和密封;(4)长期稳定性好,能够适应野外长期监测的恶劣环境;(5)具有智能性、通用性和互换性。

4.2 锚索预应力传感器的类型

从结构形式上分为圆筒式、轮辐式和液压式,见图1。从敏感元件上分为电阻应变计式、差动电阻应变计式、钢弦式和光纤式。目前国际上以电阻应变计、钢弦为敏感元件的圆筒式结构的锚索传感器应用较为普遍。

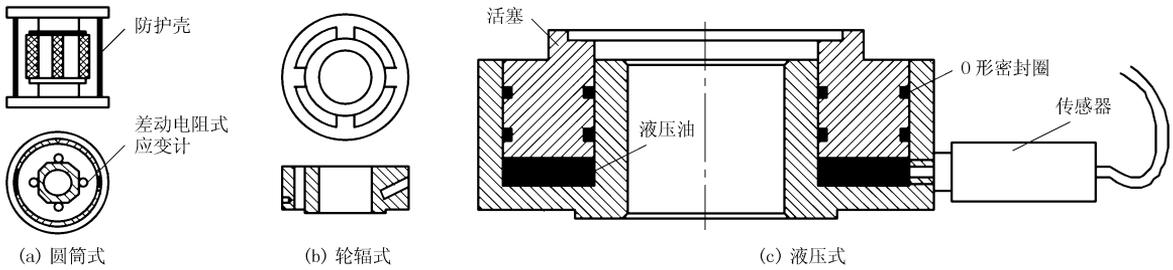


图1 锚索预应力传感器结构示意图

5 发展趋势

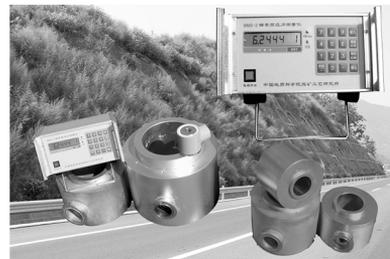
5.1 锚索预应力传感器结构形式和敏感元件更加多样化,国产传感器的长期稳定性和可靠性大幅度提高

(1)随着电子技术的进步,电阻应变计的长期稳定性大幅度提高,长线传输问题得到解决,由于电阻应变计具有高灵敏度、高分辨率的优点,与钢弦类传感器有并驾齐驱的发展趋势,国际上也形成了电阻应变计和钢弦传感器的两大阵营。我所研制的BHR系列电阻应变计式锚索传感器如表1和图2所示,其具有如下显著优点。

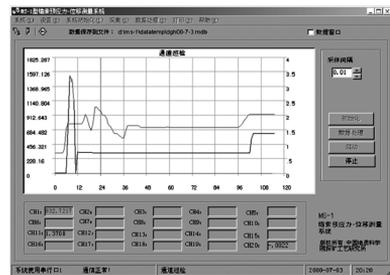
①电阻应变计式传感器温度漂移小,零点稳定,长期稳定性好。通过对电阻应变计锚索预应力传感

表1 BHR系列锚索预应力传感器的规格型号

型号	额定承载力 /kN	空心直径 /mm	高度 /mm	适用锚具型号
BHR300	300	18	72	Φ15-1
BHR500	500	70	165	Φ15-3、15-4
BHR1000	1000	96	170	Φ15-5、15-6、15-7
BHR1500	1500	115	180	Φ15-8、15-9
BHR2000	2000	132	220	Φ15-10、15-11、15-12
BHR3000	3000	170	280	Φ15-15、15-17、15-19



(a) 锚索测力计及 BMS-2 型便携式读数仪



(b) MS-1 型锚索预应力测量系统

图2 探矿工艺研究所研制的应变计式锚索测力系统

器进行零点和温度双重补偿,零点和温度的补偿温度达到了60℃,完全可以满足野外使用的高温和低温环境条件。

②采用最新电子技术和六线制,可以剔除信号线电阻对测量结果的影响,使测量数据不受信号线长短的影响,现场可以随意增加或减少传感器导线

长度。

③电阻应变计式锚索传感器精度高、重复性好、分辨率高。电阻应变式传感器的精度一般都在 0.3%~1% FS,分辨率可以达到 0.05% FS 以上,这就是当前几乎 90% 以上的力传感器、地磅、电子秤使用应变式传感器的原因。

④耐冲击、耐振动性能好。

⑤动态响应好,可以进行动态测试。

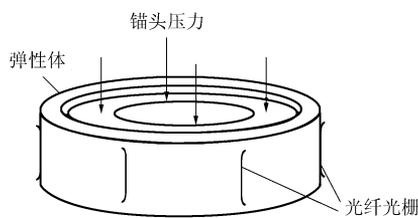
(2) 光纤传感器发展前景良好。光纤传感器由于具有抗干扰性能好、分辨率和灵敏度高、能够测量多种变量,因而在岩土工程中显示出了较好的发展前景,国外发达国家已经进入实用阶段,如日本共和

电业株式会社、NTT 公司、美国基康公司等都已将光纤应用于锚固力测试中(见图 3)。国内的许多高校、科研院所和企业都在积极研究和开发(见图 4)。光纤测量当前还存在一些亟待解决的问题,如光纤测量的二次仪表价格昂贵、光纤测量容易受温度影响、光纤保护困难等。

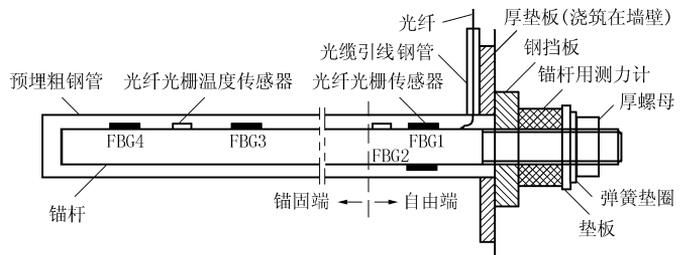


(a) 美国基康公司光纤光栅锚索测力计 (b) 日本的光纤锚索测力计

图 3 国外的光纤锚索测力计



(a) 光纤光栅锚索预应力传感器结构图



(b) 光纤光栅锚杆锚固力测试

图 4 武汉理工大学进行的光纤锚固力测试

5.2 二次仪表向小型化、高度集成化方向发展

在小型化方面,大都采用低功耗器件、直流供电方式,实现了数据的自动采集和存储、直接显示被测物理量(智能化)、能与计算机接口等功能。如日本共和电业株式会社 RMH301A 型电阻应变式记录仪的外形尺寸为 126.7(长) mm × 66.5(宽) mm × 28(高) mm,大小跟一个香烟盒差不多,质量约 180 g,可以记录、存储 2 万多组测量数据,具有 LCD 液晶显示、USB 口数据传输、日期和时间、仪器自诊断等功能,可以设定测点名称、测点编号、初期值、校对系数、测量单位、测定开始时间、间隔、测定次数、测定停止时间等参数,可以生成数据表格、预应力-时间曲线。美国基康公司 BGK-408 型振弦式读数仪,大屏幕液晶显示器具有高亮背光,即使在夜晚也能清晰显示读数。读数仪不仅可直接显示基康各种振弦式仪器的振弦信号与温度,存储的数据还可通过通讯电缆连接到计算机上,并输出电子表格或数据。BGK-408 型读数仪利用 RS-485 通讯接口可实现对 BGK-AC-32/64 系列集线箱进行自动测量并存储读数。随机存储器 64 K,可存 2000 组数据,有 RS232 接口,外形尺寸 166 mm × 126 mm × 136 mm,质量 1.5 kg,体积小,携带十分方便(见图 5)。



(a) 日本共和电业株式会社 RMH301A 型电阻应变式记录仪 (b) 美国基康公司 BGK-408 型振弦式读数仪

图 5 国外新型袖珍记录仪

5.3 数据存储、传输和处理方式方便灵活

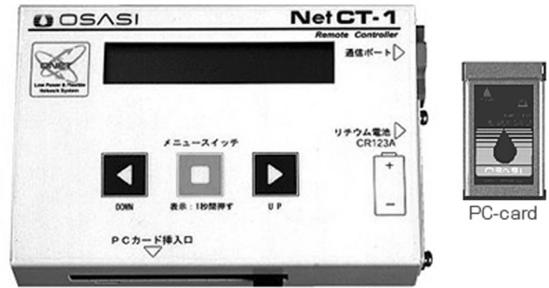
在便携式仪器的数据存储方式上,已经使用了 E²ROM、闪存、存储卡等介质;在数据传输方面,从过去传统的有线方式逐步向数传电台、GPRS、手机短信、光纤、卫星通讯等方式发展;在数据处理方面,仪器供应商提供标准处理软件,人机界面友好,使用简单方便,数据格式统一,数据库对用户开放。图 6 (a) 为光纤传感器测量、光纤数据传输和实时显示,图 6(b) 为存储卡的数据记录方式。

5.4 研究开发锚杆(索)的无损检测技术

作为永久的预应力锚索工程,它们的使用寿命有多长,是否有一天会失效使工程毁于一旦?这一



(a) 光纤传感器数据实时显示



(b) OSASI 公司 NetCT-1E 型记录仪

图6 国外记录仪的数据存储、曲线实时显示

问题已引起工程界的广泛关注。锚固体系的耐久性、安全性检测方法及其评价方法是一个亟待解决的问题。

影响锚固安全性的因素除了材料、设计、施工方面的原因,与锚固结构本身的耐久性和长期性能密切相关。锚固缺陷的失效的模式主要有锚空、滑丝、锚固体断裂、锚固结构腐蚀、应力松弛、外锚头脱板、外锚头开放。在岩土锚固安全性检测指标选择方面,工程界希望在无预埋传感器和不开挖的情况下,利用外锚头测量以下参数:(1)锚长,用于评价锚固体系是否能有效地发挥作用以确保锚固岩土体的安全;(2)灌浆饱满度,用于评价锚固工程施工质量的好坏及其对锚固安全性带来的影响;(3)腐蚀程度,用于评价锚固体系自身的安全性;(4)预应力,用于评价主动的预应力锚固发挥作用的程度及其对被锚固岩土体安全性的保证程度。

6 结语

近年来,随着传感器技术、电子技术的快速发展,国产锚固测试仪器的长期稳定性、可靠性、精度、抗恶劣环境能力等指标大幅度提高,仪器出现了小型化、模块化、智能化的发展趋势,传感器结构形式、敏感元件和数据存储、传输方式多样化,光纤测量等测试新技术也在不断探索研究之中,基本满足了我国预应力锚固工程的需求。但我们同时也应看到,受过去我国预应力钢绞线品种单一、防腐性能差、锚固技术规范要求低、施工单位人员素质等多种因素的影响,需要对过去施工的那些重要的预应力锚固

工程进行定期检查、测试和维护,以评估其工作性能和安全状况,但目前还缺乏行之有效的检测方法和仪器。因此,无论从监理单位质量检验,还是从业主单位对锚固工程的维护管理角度出发,都亟需加强对预应力锚固工程无损检测技术的研究。

参考文献:

- [1] 胡时友,王全成,姜昭群. 数字式智能化锚索预应力传感器的研究与设计[J]. 探矿工程, 2001, (2): 30-33.
- [2] 胡时友,姜昭群,王全成. 长江三峡水库区岩土锚固监测技术[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(7): 1-4.
- [3] 唐树名,罗斌,刘涌江. 岩土锚固安全性无损检测技术[J]. 公路交通技术, 2005, (5): 29-32.
- [4] 王清标. 大量程高精度直读式振弦式锚索测力仪研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2004.
- [5] 郝义昶. 光纤 Bragg 光栅锚索测力环的研制及工程应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006. 19-37.
- [6] 南秋明,姜德生,梁磊. 光纤光栅测力环的应用[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(9): 63-65.
- [7] 姜德生,左军,信思金,等. 光纤 Bragg 光栅传感器在水布垭工程锚杆上的应用[J]. 传感器技术, 2005, 24(1): 72-74.
- [8] 高俊启,施斌,等. 分布式光纤传感器监测预应力锚索应力状态的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(S2): 5605-5610.
- [9] 柴敬,兰曙光,李继平,等. 光纤 Bragg 光栅锚杆应力应变监测系统[J]. 西安科技大学学报, 2005, 25(1): 1-4.
- [10] 储海宁,张德康. 差阻式仪器的发展和应用[J]. 大坝与安全, 2005, (5): 44-48.
- [11] 马洪连,王明龙. 振弦式锚索计检测仪的开发与研制[J]. 国外电子元器件, 2001, (1): 50-51.
- [12] 张德康,江晓明,徐晓乐. 有关大坝安全监测仪器制造及使用中几个问题的讨论[J]. 大坝与安全, 2005, (5): 49-52.
- [13] 黄志怀,刘汉东. BOTDR 技术监测 GFRP 锚杆应变的试验研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2005, 26(2): 49-51.