

边坡监测与快速反馈分析

吕建红 袁宝远

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

杨志法 刘文亮

(中国科学院地质研究所 北京 100029) (南京地质学校 南京 210008)

摘 要 讨论了边坡监测系统建立的目的、设计原则及关键技术问题,总结了边坡监测信息的常规分析方法,研究了用于边坡监测信息快速反馈分析的信息获取技术、信息管理技术、快速分析技术和快速反馈技术,介绍了其在五强溪水电站左岸船闸边坡的应用。

关键词 边坡;监测;信息分析;快速反馈

中图号 U416.14

边坡稳定问题由于受其复杂的地质条件的影响,一直是岩土工程界关注的焦点问题。随着国民经济的快速发展,人类的工程活动必然越来越频繁,规模也越来越大。同时,由于工程场地的可选余地正在减少,工程设计在一定程度上将面临更加复杂的地质条件。因此,在进行边坡设计时需要更多的考虑边坡的地质条件对其稳定性的影响及其变化趋势。

长期以来,工程地质界、岩土力学界对边坡稳定性进行了大量的研究工作,但至今仍难以找到准确评价的理论和方法。比较有效地处理这类问题的方法,就是理论分析、专家群体经验知识和监测控制系统相结合的综合集成的理论和方法^[1]。

可见边坡监测与反馈分析是边坡工程中的一个重要环节。同时,为了使监测与反馈符合岩土工程动态优化设计和信息化施工的要求,需要建立监测信息快速反馈分析技术。

1 边坡监测系统的建立

1.1 监测目的

边坡工程监测的主要目的:(a)为了保证工程施工和运行的安全;(b)评价边坡理论分析结果和经验判断成果的依据,是修改设计和指导施工的客观标准;(c)为工程岩土体力学参数的反演分析提供资料;(d)为掌握边坡变形特征和规律提供资料,指导在边坡发生严重变形条件下的应急处理;(e)为分析岩体结构与边坡变形破坏的关系,预测边坡变形破坏趋势,评价边坡的长期稳定性提供条件。

1.2 监测系统的设计原则

由于监测系统对边坡设计、施工和运行都起着相当重要的作用,重要工程的监测系统应当通过综合各种有关资料和信息进行精心设计。一般要按照以下设计原则:(a)可靠性原则 包括监测方法的可靠性和监测仪器的可靠性;(b)多层次原则 指采用多种监测手段以便互相补充和校核;采用地表监测和地下监测相结合的立体监测;(c)以位移为主的监测原则 变形监测是边坡监测的主要手段,也是变形破坏分析的基本依据;(d)关键部位优先原则 分析各种有关资料,确定监测的关键部位和敏感部位等重点部位,并优先布置监测点;(e)整体控制原则 保证监测系统对整个边坡的覆盖;(f)遵照工程需要原则 监测系统的布置要充分考虑工程的特点和工程建筑对边坡的要求;(g)方便适用原则 监测方法和仪器要便于操作和分析,力求简单易行;(h)经济合理原则 监测系统要考虑信息的丰富性和造价的合理性两方面的要求。

1.3 建立监测系统的的核心技术问题

建立能满足以上原则的监测系统 ,要解决好关键部位和敏感部位的确定和监测技术水平等关键问题 .

1.3.1 关键部位和敏感部位的确定

根据突破理论^[2] ,岩土体发生破坏 ,不可能各个部位都同时发生 ,只能从一处或少数几处开始发生点破坏 ,然后随着应力调整、强度和外界条件等的变化 ,或者继续发生逐次破坏 ,或者转向稳定 .因此 ,优先监测潜在变形破坏点能提高整个监测系统的效率 .

突破理论应用的关键是确定关键部位和敏感部位 ,这就需要综合研究各种信息 ,包括工程信息、地质条件信息、理论分析成果、专家群体经验、施工运行中的信息及气象信息等 ,分析边坡各种可能的变形破坏机理 ,研究各种变形破坏机理下的可能的关键部位和敏感部位 ,最后综合确定边坡的关键部位和敏感部位 .

工程应用表明 ,由有理论、有经验且熟悉各种信息的人员主持监测系统的设计 ,不仅可以使监测系统具有更高的效率 ,而且还可以节约大量的监测经费 .

1.3.2 监测技术研究

监测系统的功能主要依靠监测技术来实现 .系统的可靠性很大程度上取决于监测仪器的可靠性 .所以建立监测系统时首先要了解当前监测技术的发展状况 ,选择合适的仪器 ,必要时可研制适用仪器^[3] ,提高监测技术水平 .

由于岩土工程的地质条件和工程条件的复杂性 ,为了满足具体工程的不同要求 ,人们对监测技术的发展极其重视 .监测仪器种类繁多 ,从功能上看 ,监测仪器分为位移监测、动态监测、应力监测以及地表水和地下水监测(见表 1) .原理上看 ,分为机测、电测和光学测量等类型 .从读数方法上看 ,主要有接触测量、有线遥测和无线遥测三种 .

表 1 边坡监测仪器分类
Table 1 Types of slope monitoring devices

类型	位移监测仪器	动态监测仪器	地表水、地下水监测仪器	应力监测仪器
亚 类	伸长计类	声发射仪类	雨强和雨量监测仪器类	钢筋应力计类
	收敛计类	测振仪类	渗压仪类	压力盒类
	倾斜仪类	微振仪类	流量仪类	
	测缝计类		水位监测仪类	
	光测仪器类			

2 边坡监测信息的常规分析

监测信息分析是边坡监测的一个重要环节 .通常先根据现场情况对监测数据作初步分析 ,即现场考察仪器是否正常、测点是否损坏、测值有无人为错误等 ,目的是剔除已被证明为不可靠的测值和对边坡稳定状况作初步判断 .监测数据集中后 ,可用多种分析方法进行分析 ,目的是研究监测信息反映的边坡状况 .常规的分析方法主要用于位移信息的分析研究 .

- a. 位移 - 时间曲线分析法 是常规分析法 ,具有直观、快捷的优点 ,在分析中注意曲线形态和曲线是否收敛 .
- b. 回归分析法 用于研究位移变化规律 ,预测以后的位移变化 .曲线通常分指数型、对数型和双曲线型等 .
- c. 时间序列分析法 用于处理与时间有关的离散有序数列 ,以预测位移 .
- d. 灰色系统分析法 灰色理论将随机变量看作一定范围内变化的灰色量 ,它的基本思想是把无规则的原始数据序列进行累加 ,生成有规律数据序列 ,然后进行建模预测 .以 $GM(m,n)$ 模型为基础 ,对监测对象进行预测 .
- e. 综合损害度分析法 边坡在开挖、降雨及地震等不利情况下 ,有可能受到损害 ,即强度减弱、稳定性降低 ,其损害程度将因部位和时刻的不同而不同 .因此 ,可根据位移量测值对损害度作出评价 ,为加固设计服务 .
- f. 综合加固度分析法 当边坡进行削坡、排水和加固时 ,稳定性将提高 ,因为位移曲线的变化是岩体加固的综合反映 ,所以用综合加固度来评价加固效果 ,并分析下一步的加固方向 .
- g. 位移时空综合分析法^[4] 由于大型边坡范围大、测点多 ,对不同部位的测点在同一时间的位移测值分布规律及不同时间空间位移变化的分析较全面 ,这有利于边坡整体变形破坏规律的研究 .
- h. 位移反分析法^[5] 根据实测的开挖前后的位移值反演岩体力学参数 ,提高岩体力学参数的准确程度 .

3 监测信息快速反馈分析技术

监测系统建立的目的,主要是获取被测边坡所处状态的信息,并在获取信息后分析边坡的稳定状况,了解边坡在被施加控制(包括开挖、排水和喷锚等)后的反应,为下一步的控制作出决策.因此,信息反馈的速度和质量决定了监测系统的效益.为了提高监测系统的效益,必须研究信息快速反馈分析技术,提高反馈的速度和质量.监测信息的快速反馈分析,依赖于四方面技术的提高,即监测信息获取速度的提高、监测信息管理水平 的提高、监测信息分析水平和速度的提高以及监测反馈水平和速度的提高.

3.1 监测信息获取技术

传统的监测信息获取主要依赖于手工监测,获取速度慢.随着测量技术的不断发展,自动监测已逐渐成熟起来,使监测信息获取的速度和质量的提高成为可能.许多大型边坡已开始部分或全部使用自动监测.考虑到经费的限制,可以选择一些关键点进行自动监测,提高监测信息获取的速度和质量.

3.2 监测信息管理技术

传统的监测信息管理是靠人工管理、分散储存.数据管理效率低,数据中的错误不能及时校正,不利于监测信息的有效分析.建立监测信息管理系统能使监测信息集中管理、及时校正,为及时分析提供方便.

3.3 监测信息快速分析技术

传统的监测信息分析要经过数据收集、向上报告、专家分析、向下传达的复杂过程,分析周期长,难以充分发挥监测系统的效用.建立与监测信息管理系统相连接的监测信息分析系统,特别是利用可视化技术建立的分析系统,能使数据分析快速、直观,具有很高的分析效率.

3.4 监测信息快速反馈技术

监测的主要目的是通过获取的边坡监测信息,反馈边坡的稳定状况,帮助工程师修改设计和指导施工.传统的手工式预报和专家组讨论的方法很难达到及时反馈.

编制边坡稳定分析系统,能及时反馈边坡的稳定状况,符合动态设计、及时处理的现代设计思想的要求.适用的边坡监测信息稳定分析系统应能吸取传统反馈分析的特点,通过建立以边坡变形破坏机制为基础的稳定性分析判据,及时的、动态的反馈边坡的稳定状况,为工程师修改设计和指导施工提供依据.

4 在五强溪水电站左岸船闸边坡的应用

4.1 工程概况

五强溪水电站是湖南西部沅水上装机 120 万 kW,坝高 87.5 m 的大型水电站.其通航建筑物为三级船闸,布置在左岸.左岸船闸边坡高达 165 m,地质结构复杂,船闸边坡的稳定问题是其主要的工程地质问题.

4.2 左岸船闸边坡监测系统的建立

为了保证边坡稳定,在左岸布置了以变形监测为主的大型监测系统,该系统采用点、线、面相结合,形成了完整的监测网,见图 1.

4.3 边坡监测信息管理系统的建立

为了管理边坡监测信息,建立了监测信息管理系统^[6].数据库管理了二十多个监测项目的数据,许多项目从 1992 年就开始监测,积累了大量的监测数据,目前这些数据均已入库,布置的自动监测点能自动把监测数据送入

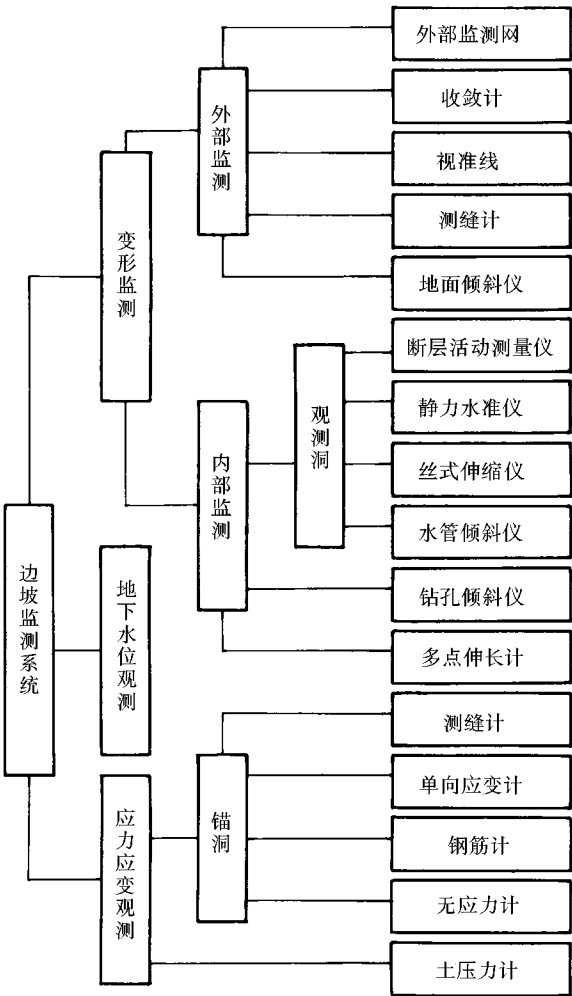


图 1 边坡监测系统项目关系

Fig.1 Relation of slope monitor items

数据库。

4.4 边坡监测信息可视化分析系统

为了分析监测信息特征,建立了具有可视化特征的监测信息分析系统,对监测信息进行常规分析,以图形的方式显示和打印分析结果,见图 2。

4.5 边坡稳定性反馈分析系统的建立

4.5.1 反馈分析的思路

将稳定程度分五级：
监测数据相当正常为稳定(代码为 A)；监测数据在正常范围之内为基本稳定(代码为 B)；监测数据稍微超过允许范围为稍不稳定(代码为 C)；监测数据超过允许范围并有发展的趋势为一般不稳定(代码为 D)；监测数据大大超过允许范围并有可能恶化为严重不稳定(代码为 E)。

属于 A 和 B,认为稳定情况较好；属于 C 为中间状况,应引起注意；属于 D 已有少量不稳定先兆,稳定状况较差,应考虑采取措施；属于 E 有明显的不稳定先兆,必须紧急处理。

用监测信息判别其稳定级别,即判别边坡不稳定先兆类型。首先分析各监测项目所有可能的先兆类型判别方法,对每种方法都编制相应的处理程序,然后根据实际需要,由监测信息查询分析,结合专家经验,特别是现场工程师的经验,选择和确定所研究边坡的先兆分析方法及分析判据(界限参数),最后根据分析方法和分析判据建立边坡稳定性反馈分析系统。由现场技术人员利用反馈分析系统随时动态地分析边坡的稳定状况。随着专家对边坡的了解程度的深入,判据可动态修改。

4.5.2 先兆分析参数

4.5.2.1 测点先兆分析参数

a. 位移类测点经验界限值
根据现场不同专业的专家群体对边坡实测数据、边坡真实变形破坏形式和稳定状态的分析,确定用月速率和位移阶段增幅来判断位移类测点先兆类型,并定出有关界限值(见表 2)。

b. 钻孔倾斜仪曲线形态经验界限值

同样,由专家确定用曲线上出现的台阶高度来判断钻孔倾斜仪曲线形态先兆类型,表 2 给出了界限值。

4.5.2.2 项目先兆参数

由专家确定用该项目达到某先兆类型的测点的百分数与界限百分数进行比较的方法,作为判断该项目先兆类型的依据,具体界限值如表 2 所示。

4.5.2.3 边坡整体先兆参数

为了最后划分边坡先兆类型,还需要用边坡某先兆类型的项目数与界限项目数进行比较,以作为判断边坡先兆类型的依据。这一比较的界限值也应由专家们确定,见表 2。

4.5.3 边坡稳定性反馈分析

作者曾多次用边坡不稳定先兆分析子系统来分析五强溪水电站左岸船闸边坡。不稳定先兆分析结果如下：多点位移计第一点、钻孔倾斜仪第一点和杆式测缝计总位移属于基本稳定先兆类型,沟埋式伸长计、钻孔倾斜仪曲线形态属于稍不稳定先兆类型。

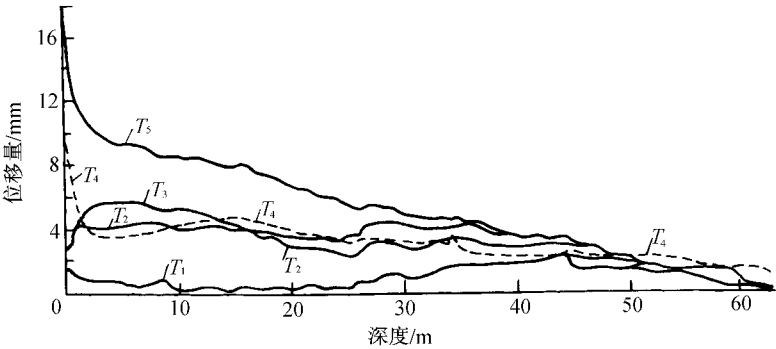


图 2 ZK10 不同时刻位移变化曲线对比
Fig.2 Displacementvs depth for different times of Zk10

表 2 边坡先兆类型界限值

先兆类型	A	B	C	D	E
多点伸长计第一点位移/(mm·月 ⁻¹)	<0	0~0.2	0.2~1.0	1~4	>4
测量外观点位移/(mm·月 ⁻¹)	0	0~2	2~10	10~40	>40
沟埋式伸长计位移/(mm·月 ⁻¹)	0	0~5	5~25	25~100	>100
杆式测缝计总位移/(mm·月 ⁻¹)	0	0~1	1~5	5~20	>20
钻孔倾斜仪第一点位移/(mm·月 ⁻¹)	<0	0~0.5	0.5~2.0	2~10	>10
位移阶段增幅/%	<0	0~5	5~30	30~60	>60
曲线台阶高/mm	0	0~10	10~50	50~400	>400
项目先兆界限值/%		20	20	10	10
边坡先兆界限项目		2	2	1	1

5 结 论

- a. 监测与反馈是边坡工程不可缺少的组成部分 ,是维护边坡稳定的重要依据 .
- b. 边坡监测系统布置应优先考虑关键部位和敏感部位 ,关键部位的确定是布置监测系统的关键技术 .
- c. 快速分析技术可以及时发现边坡存在的问题 ,及时反映工程措施对边坡的影响 .
- d. 快速反馈技术可以及时预报边坡的稳定状况 ,为工程师修改设计和指导提供条件 .
- e. 边坡的监测反馈是边坡系统工程的组成部分 ,监测反馈必须与边坡系统工程中的理论分析和专家群体经验等组成部分有机地结合 ,才能提高整个系统的效益 .

参 考 文 献

1 杨志法.系统科学在工程地质力学中的应用.中国科学院地质研究所工程地质力学开方实验室—1992 年年报 ,北京 :地震出版社 ,1993. 127 ~ 136

2 尚彦军.关于地质工程设计中突破口预测方法的研究.工程地质学报 ,1996. (2) :1 ~ 11

3 刘英.可用于岩体工程动态监测的某些便携式监测技术.中国岩石力学与工程学会第四次学术大会论文集 ,北京 :中国科学技术出版社 ,1996. 152 ~ 159

4 杨志法.位移时空综合分析法及其在深基坑中的应用.工程地质学报 ,1995. (4) 32 ~ 38

5 杨林德.岩土工程问题的反演理论与工程实践 . 北京 :科学出版社 ,1996. 1 ~ 10

6 袁宝远.边坡监测信息数据库管理系统面向对象的程序设计.桂林工学院学报 ,1998. 18(4) 352 ~ 356

Study on Slope Monitoring and Quick Feedback

Lu Jianhong Yuan Baoyuan

(College of Civil Engineering Hohai Univ. , Nanjing 210098)

Yang Zhifa

(Institute of Geology , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100029)

Liu Wenliang

(Nanjing Geology School Nanjing 210008)

Abstract The objectives , rules of design , and key techniques of the establishment of the slope monitoring system are discussed. The methods of analysis of slope monitoring information are reviewed. Information acquisition techniques , information management techniques , quick analysis techniques , and quick feedback techniques are studied for the quick analysis and feedback of slope monitoring information. Finally , it application to the left bank ship-lock slope of the Wuqiangxi Hydropower Station is introduce.

Key words slope ; monitoring ; information analysis ; quick feedback