




- 国家重点基础研究发展规划项目  
《灾害环境下重大工程安全性的基础研究》系列专著

# 岩土工程监测技术及 监测系统问题

杨志法 齐俊修 刘大安 著  
董万里 刘 英



 海洋出版社

## 内容提要

本书是一本系统论述岩土工程监测问题的学术专著。内容既包括岩土工程监测的必要性和理论根据,又论及监测技术、监测系统建立的原则和方法、监测信息反馈、监测数据分析、监控设计方法等,并且介绍了这些研究成果在边坡工程、地下工程、深基坑等实际工程监测中的成功应用实例。

本书可供从事岩土工程设计、施工、科研的工程技术人员和大专院校工程地质、岩石力学专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

岩土工程监测技术及监测系统问题/杨志法等著. —北京:海洋出版社,2004.8  
(灾害环境下重大研究安全性的基础环境系列专著)

ISBN7-5027-6307-4

I. 岩… II. 杨… III. 岩土工程-监测 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 020828 号

责任编辑:屠 强

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京华正印刷厂印刷

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:24.75

字数:65 千字 印数:1~1000 册

定价:88.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

## 序

本书以 15 章的篇幅论述了一个对于岩土工程设计、施工和山地地质灾害防灾减灾等方面来说都是十分重要的问题——监测技术及监测系统,它是作者们长期从事岩土工程监测研究的总结,也是他们多年来心血的结晶。

纵观全书,可以找出以下几个特点:

(1)从工程地质力学、系统论以及由它们结合而成的工程地质力学综合集成方法论等理论研究入手,论证了监测是岩土工程,特别是大型岩土工程的设计和施工所不可缺少环节这一观点。在该方法论的实际应用方面,作者做了大量工作。他们首次提出将该方法论用来指导监测系统设计。显然,这将有助于我国岩土工程监测水平的提高。例如,为了设计一个具体岩土工程的监测系统,先通过对有关理论分析成果、专家群体的经验等信息的综合集成而确定“突破口”,再根据优先监测突破口的原则,设计出监测效率高的监测系统。可以相信在工程地质力学综合集成方法论指导下精心设计出来的监测系统,并非各种监测仪器的“堆积”,而是一种监测效率较高的所用监测经费较少的监测系统。

(2)作者十分重视监测的地质基础问题,应值得肯定,因为无论是监测仪器选型、布点以及监测数据的解释等都离不开工程地质条件的研究。

(3)作者不仅重视现有的监测技术,而且还根据实际工程的监测需要自行研制新的监测技术多达 30 多种(其中有 5 项取得了国家实用新型专利)。毫无疑问,技术创新将有助于提高解决实际工程问题的能力,也将有助于工程地质学和岩石力学的发展。

(4)本书不仅注重监测新技术,而且还重视发展监测信息分析新方法,例如,时空位移预测法等都是作者首先提出来的,包括位移正算反演分析法、位移综合损害度和位移综合加固度分析法等。

(5)作者在研究监测技术和监测系统的同时,也十分重视信息反馈问题。他们不仅强调保持信息流动渠道畅通的重要性,而且还就采用具体的信息反馈方法进行了研究。

(6)作者本着学以致用、研究的目的在于致用的原则,十分重视将他们的各种研究成果用于不少工程实践,例如,书中论及了作者在 20 多个工程中进行的成功监测。对其中五强溪水电站船闸边坡、十三陵抽水蓄能电站地下厂房、大朝山水电站地下厂房和济南彩云大厦深基坑等工程的监测还作了相当详细

的论述。另外,作者还列举了国内外许多成功的监测例子。读者不难发现、这些成功的工程应用,可以为新的实际工程监测系统设计、监测仪器选型、监测信息分析等提供重要参考资料,很有参考价值。

对于我国,特别是我国西部的山区来说,由于地质条件、地形条件极为复杂,山地地质灾害频繁,造成了巨大经济损失和人员伤亡,而监测往往能起到避免或减少这些损失和伤亡的作用。所以由国家重点基础研究发展规划项目(973)的“灾害环境下重大工程安全性的基础研究”(2002CB412701)资助这本书的出版是一件很有意义的事。首先,该书所涉及的与监测有关的工程地质力学综合集成方法论、地质基础、多项技术、监测系统设计方法、信息反馈和设计方法等,不仅对从事岩土工程(包括地质灾害防灾减灾整治工程)设计、施工和科研的人们有所帮助,还将有助于我国重大工程在地质灾害条件下安全性的提高。

王思敬

中国工程院院士

2004年5月

# 前 言

国家建设的快速发展,需要进行大规模的岩土工程建设。但很多岩土工程都修建于十分复杂的地质体中。大量工程实践证明,如果按照传统方法进行稳定性分析和设计,则必将遇到各种难题(例如在开挖条件下如何预测岩土体变形破坏的发展和如何评价其稳定性等问题),因为工程岩土体毕竟不是一般的建筑材料,而是一种地质体。与在岩土工程建设中常用的混凝土和钢材等材料相比,它们要复杂得多:这些可称为工程岩土体(特别是岩体)不仅具有复杂的结构,存在着各种结构面而具有显著的不连续性、各向异性和不均匀性等特性,而且它们通常还处于复杂的应力场和渗流场之中。正因为如此,工程设计和施工者们很难利用传统岩土力学方法来准确地预测应当属于复杂巨系统的岩土工程在开挖、加固等条件下所发生的变形、破坏过程。在这种情况下,对工程岩土体的稳定性进行准确评价,通常是很困难的。设计和施工往往也很难把握准确,在很多情况下有可能做出偏保守的设计,但也可能偏危险。如果处理不当,甚至有可能发生塌方等工程事故。根据系统科学的观点,对于这种可看做为开放的复杂巨系统的岩土工程来说,要预测它们在一定条件下所发生的变形破坏,应该采用由理论(包括地质理论、力学和具体工程学科的理论等)分析、专家群体(包括岩土力学、工程地质、监测专家以及设计、施工工程师等)经验和现场监测等3个方面组成的工程地质力学综合集成方法论。在该方法论中,通过监测逐步向真实情况逼近,以达到以满足工程要求的精度进行预测的目的,并据此逐步实现岩土工程的可变更设计和信息化施工。由此可见,监测对于岩土工程设计来说是必不可少的重要环节。除此以外,工程实践上,监测是确保工程安全,特别是重大工程安全的一个极为重要措施。所以,在研究灾害环境下重大工程的安全问题时,除开展各种理论和方法研究外,还必须结合具体工程的实际条件进行监测系统和监测技术等方面研究。本书就是为这一研究提供必要的支持。

另外,监测还将在确定工程岩土体力学参数等方面起重要作用。按照作者的观点,监测岩土工程设计的工程师们,是在地质灾害防治、避免工程事故、赢得社会效益和经济效益斗争中的一个重要“法宝”。正因为如此,岩土工程界、工程地质界和岩土力学界都越来越重视岩土工程(尤其是重要岩土工程)的现场监测问题。随着理论研究的深入,工程实践的增加和量测技术的进步,岩土工程监测水平得到迅速的提高。不少重要岩土工程的监测,不仅成功,而且还可以称得上范例。另外,还有大量论著和新型仪器不断地涌现出来。

事物总是一分为二,在监测快速进步的同时,有些岩土工程确实也存在着若干有待改进的问题。有时,因这些问题的存在而产生了相当严重的后果。例如:

——有些岩土工程监测设计者对地质因素在监测系统设计中的影响重视不够,以致在监测点布置上出现偏差和造成监测信息解释方面的困难;

——过于追求监测仪器的先进性而付出过多的监测经费,则是进一步提高监测系统效率的重要障碍;

——有些岩土工程监测设计者存在着“重仪器,轻(信息)反馈”的倾向。这有可能使监测系统不能发挥应有的作用;

——对于施工期很长的岩土工程(例如水利水电工程、采矿工程等),应当重视合理的分期监测问题,因为前期(段)监测信息对后来的设计(包括工程设计和监测系统设计等)修改和施工方案制定具有重要作用。如果对合理的分期监测注意不够,则很可能导致监测成本的提高或者使某些重要信息未测到,从而失去了利用前期应能测到的信息的价值(如用于岩土体力学参数反演)的机会等;

——由于对某些仪器(如钢筋计)的特点认识不足而在某种错误布点(如锚固洞的钢筋计未布置在断层出露的薄弱部位)的条件下有可能导致监测者对测值的误判。

这些问题的存在,有其理论方面的原因,也有方法技术方面的原因。为了解决这些问题,以进一步提高我国岩土工程的监测水平,长期以来,作者在若干工程项目和国家自然科学基金项目的资助下,就监测问题开展了若干研究,但由于问题涉及面广,十分复杂,故尚缺少系统研究。有关监测的理论依据的研究也仅停留在初步阶段考虑到监测的重要性,作者在国家重点基础研究发展规划项目资助(2002CB412701)下,就有关监测的理论、方法技术和应用等方面问题开展了较系统的研究,并将有关研究成果,连同长期以来的工作积累整理写成此书。还应说明,本书不仅涉及诸多量测技术和仪器,而且还论述了不少有关监测的理论、监测信息的分析方法和实际工程应用等问题。这就是为什么将本书写成为专著而不是手册的主要原因。另一个原因则是在本书所提及的众多仪器中有多达32种监测仪器和1种配套仪器是作者自己研制或参与研制的,其中5项还曾因此而获得国家专利。这是作者立足于创新的结果。也许作者的局部经验和一家之见对从事岩土工程监测、设计、施工的工程技术人员和工程地质、岩土力学研究人员具有一定参考价值。希望通过本书能为提高岩土工程监测水平作出自己的微薄贡献。但愿能实现作者写此书的本意!

本书共分15章,具体为:

- 第1章 绪论(杨志法、齐俊修);
- 第2章 监测系统设计的理论根据(杨志法);
- 第3章 监测中关于地质因素的考虑(杨志法);
- 第4章 伸长计的工作原理及其实际工程应用(杨志法、董万里);
- 第5章 倾斜仪的工作原理及其实际工程应用(杨志法、刘英);
- 第6章 收敛计的工作原理及其实际工程应用(杨志法、刘英);
- 第7章 测缝计的工作原理及其在岩土工程监测中的应用(杨志法);
- 第8章 全球定位系统、全站仪和其他光学仪器在岩土工程监测中的应用(刘英、杨志法);
- 第9章 可用于岩土工程监测的其他技术(杨志法、刘英);
- 第10章 岩土工程自动监测系统的若干技术问题(刘大安、杨志法、刘英);
- 第11章 监测信息的分析和预报方法的研究(杨志法、张路青、张红梅);
- 第12章 五强溪水电站船闸边坡监测问题(杨志法、刘大安、刘英);
- 第13章 十三陵抽水蓄能电站地下厂房监测(齐俊修);
- 第14章 大朝山水电站地下厂房监测(齐俊修);
- 第15章 济南彩云大厦深基坑监测(杨志法、张红梅、刘英、董万里)。

作者感谢国家重点基础研究发展规划项目的资助(2002CB412701)。

在作者开展有关岩土工程监测问题的研究中,得到了不少同行和同事的关心和帮助。借出书的机会我们对长期以来支持和帮助我们的教授、总工、专家和其他合作者:王思敬院士、许兵研究员、杜伯辉总工、柯天河总工、王常敏总工、王敬、曾昭明、刘凤成、唐纯华、邢念信高级工程师、张红梅博士、张路青博士、尚彦军副研究员、盛祝平博士、吴芝兰高级实验师等,表示深切的谢意!

另外,参加十三陵抽水蓄能电站及大朝山水电站地下工程围岩监测工作的主要有:北京国电水利电力公司有限公司刘克贤、刘力、杨国华、刘凤成、魏友利、周正新、郭心锐、贡保臣、胡五星、吴元辉、崔学臣、高祥平、王洪江等同志及国家电力公司昆明勘测设计研究院研究所:赵华、王保生、董泽荣、袁建波、陈维霞、陈华、赵志勇、尹森簪、李一兵、杨贵等同志,由于他们的辛勤工作取得了大量的实测资料;邵兴亚同志负责书稿出版和图件审校工作,刘英同志负责文稿录入工作,在此谨表感谢!

因作者水平所限,时间仓促,难免出错,敬请有关专家和广大读者不吝赐教!

作 者

2004年7月25日于北京

# 目 次

<b>第 1 章 绪论</b> .....	( 1 )
1.1 岩土工程监测研究现状和发展趋势 .....	( 2 )
1.2 岩土工程分类 .....	( 3 )
1.3 监测系统设计的理论问题及相应设计原则 .....	( 5 )
1.4 岩土工程监测的主要目的 .....	( 7 )
1.5 监测技术的发展及其分类 .....	( 9 )
1.6 关于监测信息反馈分析和预测方法的研究 .....	( 15 )
1.7 创新问题 .....	( 15 )
1.8 实际工程监测的应用研究 .....	( 15 )
<b>第 2 章 监测系统设计的理论根据</b> .....	( 17 )
2.1 工程地质力学综合集成方法论在监测设计中的指导作用 .....	( 17 )
2.2 突破观点及其在监测系统设计中的应用 .....	( 29 )
2.3 岩土工程监测系统的设计原则 .....	( 32 )
<b>第 3 章 监测中关于地质因素的考虑</b> .....	( 34 )
3.1 结构面和结构体 .....	( 34 )
3.2 岩体结构分类及其在监测系统设计中的作用 .....	( 38 )
3.3 地应力问题及其对监测系统布置的影响 .....	( 42 )
3.4 钻孔壁地质信息的获取问题 .....	( 47 )
<b>第 4 章 伸长计的工作原理及其实际工程应用</b> .....	( 49 )
4.1 钻孔伸长计的基本原理及技术性能 .....	( 49 )
4.2 无测杆分节滑动钻孔伸长计的基本原理及技术性能 .....	( 61 )
4.3 沟埋式伸长计的基本原理及技术性能 .....	( 62 )
4.4 伸长计监测中值得重视的若干问题 .....	( 63 )
4.5 伸长计监测实例 .....	( 68 )
<b>第 5 章 倾斜仪的工作原理及其实际工程应用</b> .....	( 80 )
5.1 钻孔倾斜仪基本原理及技术性能 .....	( 80 )
5.2 水平表面式倾斜仪基本原理及技术性能 .....	( 87 )
5.3 水管倾斜仪基本原理及技术性能 .....	( 93 )
5.4 垂线监测与垂线坐标仪 .....	( 98 )
5.5 倾斜仪监测中值得重视的若干问题 .....	( 100 )
5.6 倾斜仪监测实例 .....	( 104 )
<b>第 6 章 收敛计的工作原理及其实际工程应用</b> .....	( 118 )
6.1 带式收敛计基本原理及主要技术性能 .....	( 119 )
6.2 丝式收敛计基本原理及主要技术性能 .....	( 124 )
6.3 杆式收敛计基本原理及主要技术性能 .....	( 126 )



6.4	收敛计监测中值得重视的若干问题	(133)
6.5	收敛计监测实例	(136)
<b>第7章</b>	<b>测缝计的工作原理及其在岩土工程监测中的应用</b>	(144)
7.1	测缝计的特点及与其他类型仪器的比较	(144)
7.2	测缝计基本原理及技术性能	(145)
7.3	测缝计的一般监测方法	(164)
7.4	测缝计监测实例	(166)
<b>第8章</b>	<b>全球定位系统、全站仪和其他光学仪器在岩土工程监测中的应用</b>	(171)
8.1	GPS工作原理	(172)
8.2	全站仪及其他光学仪器的工作原理	(174)
8.3	岩土工程的照相和摄像的监测技术	(181)
8.4	遥测与遥感	(183)
8.5	GPS、全站仪和其他光学仪器的一般监测方法	(183)
8.6	监测实例	(185)
<b>第9章</b>	<b>可用于岩土工程监测的其他技术</b>	(195)
9.1	应力监测技术	(195)
9.2	应变监测技术	(201)
9.3	脆性材料监测技术	(205)
9.4	岩土工程开挖爆破振动量测	(206)
9.5	工程岩体破裂监测	(206)
9.6	水的监测	(208)
9.7	声波法的地下工程松动圈量测	(212)
9.8	光纤监测	(213)
9.9	巡检	(213)
9.10	一般监测方法	(214)
9.11	工程监测实例	(220)
<b>第10章</b>	<b>岩土工程自动监测系统的若干技术问题</b>	(227)
10.1	边坡位移无线遥测系统	(228)
10.2	岩土工程自动监测硬件系统	(232)
10.3	岩土工程自动监测软件系统	(235)
10.4	自动监测系统实现技术	(237)
<b>第11章</b>	<b>监测信息的分析和预报方法的研究</b>	(242)
11.1	基于监测物理量与时间关系曲线的监测曲线形态判断法	(243)
11.2	滤波	(244)
11.3	拟合法	(245)
11.4	回归分析	(246)
11.5	灰色系统	(248)
11.6	时间序列分析	(253)
11.7	位移时空综合分析法	(260)

11.8	地下水水位时空综合分析法	(264)
11.9	反演正算综合分析法	(266)
11.10	综合损害度分析法和综合加固度分析法	(269)
<b>第 12 章</b>	<b>五强溪水电站船闸边坡监测问题</b>	<b>(272)</b>
12.1	工程概况和地质条件	(272)
12.2	五强溪水电站船闸的施工期监测	(273)
12.3	五强溪水电站船闸边坡的运行期监测	(279)
12.4	综合地质信息系统 SGIS 及其在五强溪水电站船闸边坡中的应用	(292)
<b>第 13 章</b>	<b>十三陵抽水蓄能电站地下厂房监测</b>	<b>(297)</b>
13.1	工程概况	(297)
13.2	厂区工程地质条件	(297)
13.3	厂房系统锚喷支护设计	(299)
13.4	围岩监测系统设计与仪器测点安装	(301)
13.5	监测成果及实际工程应用	(305)
13.6	位移和锚杆应力规律性分析	(315)
13.7	地下厂房系统三维非线性有限元分析及和实测值的比较	(317)
13.8	围岩稳定判别标准及变化趋势判断	(317)
13.9	监测成果的工程应用	(322)
13.10	主要结论	(324)
<b>第 14 章</b>	<b>大朝山水电站地下厂房监测</b>	<b>(325)</b>
14.1	工程概况	(325)
14.2	厂区工程地质条件	(325)
14.3	地下厂房系统布置及锚喷支护设计	(327)
14.4	围岩监测系统设计	(328)
14.5	主厂房主要监测成果	(335)
14.6	尾水调压室主要监测成果	(345)
14.7	大朝山水电站地下厂房监测成果分析	(348)
14.8	尾水调压室监测成果的分析	(350)
14.9	主厂房围岩位移和锚杆(索)应力规律分析和稳定性评价	(351)
14.10	主要结论	(353)
<b>第 15 章</b>	<b>济南彩云大厦深基坑监测</b>	<b>(354)</b>
15.1	深基坑监测的意义	(354)
15.2	彩云大厦工程及邻近建筑物的概况	(356)
15.3	彩云大厦深基坑设计中的若干问题	(358)
15.4	彩云大厦深基坑工程监测系统的建立	(361)
15.5	基于监测数据的可变更设计和信息化施工	(364)
<b>参考文献</b>		<b>(377)</b>
<b>后 记</b>		<b>(383)</b>

# 第 1 章 绪 论

岩土工程,包括大坝工程、铁路隧道、采矿工程和某些军事工程等都是修建于岩土体上或岩土体中的地质工程。岩土体的物质组成、结构以及它们所处的环境是如此复杂,以致于单纯靠数学、力学方法是很难以工程设计要求的精度对工程岩土体的变形破坏过程进行预测的。根据工程地质力学综合集成理论(EGMS)<sup>[1]</sup>,对于岩土工程变形破坏预测和以此为基础进行的工程设计来说,可行的方法是以理论分析和专家经验为基础进行初步设计,然后以监测手段逐步对之进行修正,以便向更合理、更真实的实际情况逼近,达到优质设计的目的。显然,在岩土工程设计中监测是一个必不可少的环节。换言之,凡重要岩土工程都需要进行监测,以便达到以下目的:

(1)为可变更设计和信息化施工提供大量的宝贵数据,使岩土工程在可靠和经济条件下建成;

(2)确保重要岩土工程,特别是处于灾害环境下重要岩土工程的安全建成和安全运营;

(3)有助于岩石力学、土力学、工程地质等学科的发展。

事实上,从我国情况看,重要岩土工程基本上都进行了监测,而且大多数岩土工程都取得了很好的效果,达到了预期的监测目的。但也不能不指出,还有一些岩土工程在监测方面仍存在着需要改进和提高的地方。

——有些工程监测系统的设计者对地质因素在监测系统设计中的重要影响注意不够,以致于在监测系统实施和监测信息分析中遇到困难;

——过于追求监测仪器的先进性而付出过多的监测经费,则是阻碍进一步提高监测系统效率的障碍。例如,在施工期如果过分强调采用昂贵的高档电测仪器,就可能出现保护难、监测与施工干扰大,监测费用高等问题。根据作者的经验,施工期适宜采用那些对监测环境要求不高,量测可靠、易保护、价格较低的监测仪器。这是由施工期特点所决定的。一般而言,仪器或整个监测系统的监测功能越大,成本越低,其价值就越大。这是价值工程的基础观点。

在施工初期就因启用自动化程度很高,但需要相当长安装时间的监测仪器而未测到发生于施工初期的宝贵数据。此外,在施工期因施工人员和车辆、器具往来频繁以及尘、潮超标等而使仪器的保护条件较差,且施工期很长,故有些仪器未到施工期结束或进入运行期不久就失效了,十分可惜。

——不少岩土工程监测系统的设计者存在着“重监测、重仪器,轻(信息)反馈”的倾向。这有可能使监测系统不能充分发挥应有的作用。

据分析,上述这些问题之所以存在,既有理论研究不足方面的原因,也有方法、技术方面的原因。为了解决这些问题,以提高我国岩土工程的监测水平,作者就有关监测的理论、方法、技术和应用等方面开展了较系统的研究。作者将有关研究成果,连同长期以来的工作积

累整理写成此书,希望能为增强岩土工程防灾减灾的能力、提高岩土工程监测设计水平和节约监测经费等方面有所贡献。

大量的工程实践和理论研究表明,监测在重要岩土工程设计和施工中起着不可代替的重要作用。实际上,由于我国大规模工程建设的巨大需要,岩土工程监测得到了快速发展。其中包括有关监测理论依据的研究、新的监测仪器的研制、高效监测系统的设计、监测方法研究方面的进展以及有关如何从监测数据抽取有用信息等。本书主要讨论岩土工程监测系统建立的理论根据、作者长期以来有关监测技术和实际工程现场监测的研究成果。另外,为了便于读者参考,也力求较系统地介绍国内外的重要监测技术和监测成果。

## 1.1 岩土工程监测研究现状和发展趋势

如上所述,在自然结构和力学特性都十分复杂的岩土体中进行工程建设时,监测是不可缺少的重要措施。国内外每年都有相当多的资金投入 to 岩土工程监测中。同样,国内外每年也都有很多有关岩土监测的论文发表。本书及参考文献所列的只是其中一部分。据不完全统计,国内先后已有多本专门讨论岩土工程监测的书出版。例如,徐祯祥(1984)的《地下工程试验与测试技术》、黄仁福等(1990)的《地下洞室原位观测》、曹乐安等(1990)的《建筑物及其基础的安全监测》(葛洲坝工程丛书)、甘肃省电力工业局编(1996)的《水工观测技术》、二滩水电开发有限责任公司(1999)的《岩土工程安全监测手册》和夏才初等(1999)的《地下工程测试理论与监测技术》<sup>[2~7]</sup>等。至于论文,则多得不胜枚举。国外也有大量论文发表。

从国内外发表的论文和专著看,来自研究单位、设计单位现场工程技术人员是研究监测问题的主力。他们不仅从实际工程需要出发,并依据现场工程条件和地质条件,研究如何为一个具体岩土工程建立高水平监测系统的方法,而且也着手研制监测仪器。当然,监测仪器的制造主要出于国内外监测专业公司之手。如瑞士的 LEICA、SOLExperts、德国的 INTERFELS、美国 IRADGAGE、日本的旭精密株式会社、尼康等。我国的专业公司也在快速发展,如丹东三达测试仪器厂、南京电力自动化设备厂、中翰集团、南方测绘仪器公司和银河科学仪器厂等。

纵观有关岩土工程监测问题的当前研究动态和发展现状,作者认为,以下几点发展趋势也许对从事岩土工程监测技术研究和实施的工程技术人员具有重要参考价值。

### 1) 在监测仪器方面向“可移动监测”和“高档化”方向发展

这里的“可移动监测”一词,是指可多次利用仪器(或仪器的测读部分)对岩土工程进行重复性测试的一种监测方式。这就是说,在完成某点某次监测以后,可根据需要以携带方式将仪器(或仪器的测读部分)移走,以便进行下一测点或同一测点的下一次监测。显然,这类“可移动监测”仪器(或仪器的测读部分)通常可置于良好环境中加以保护。毫无疑问,在进行同一测点的多次监测或用一台仪器对不同测点的监测时,都要求仪器与测点之间有着良好的配合(配合的误差应是总误差的组成部分)。正因为是可移动的,即仪器可用于重复监测的,所以即使仪器(包括专门测座)价格较高,但其单点单次的量测费用却较低。这就为采用先进高科技监测手段制造高价格的高档监测仪器提供了重要理由。各种 GPS、全站仪、各种钻孔倾斜仪以及自动监测系统等都代表了当前监测技术的发展方向(即“可移动监测”和“高档化”的发展方向)。应当说,这种发展势头方兴未艾。

2)在监测系统设计方面则越来越重视以各种信息综合集成结果为基础的设计方法

在 20 世纪 70~80 年代,不少岩土工程的监测系统主要由具体工程学科的工程技术人员设计。如与大坝有关的高边坡的监测系统主要是由以水工专业工程师为主的工程技术人员设计的;矿山监测则主要由采矿工程师来完成。不难看出,主要由具体工程学科的工程技术人员设计的监测系统的优势,是他们对工程条件以及所担心的问题十分了解,目的性很强。他们很容易将所熟悉的本专业的知识带入监测设计之中。但一般而言,这类设计仍然存在不少问题。例如对工程地质和岩石力学的知识以及仪器本身的技术性能等的了解不一定很多、很全面。这样很可能难以做到监测系统设计(包括仪器选型、布点和经济合理性分析等内容)能同时满足可靠、高效和经济等多项要求。

为了进一步提高岩土工程监测水平,不少研究者主张根据各种工程信息(包括设计意图、设计方法、工程尺寸、形状、各部分布局,以及施工方法)、地质条件(包括工程地质条件、水文地质条件和环境地质条件等)的评价、岩土体的力学性质、气象资料、专家群体经验、数值分析的结果、已经发生的各种工程事故及其所用监测仪器的性能、监测经费等方面信息等的综合集成结果进行监测系统设计。理论研究和岩土工程实践表明,这种以多方面信息综合集成为基础的监测系统设计方法,是今后发展的方向。事实上,它正在受到越来越多的重视。

还应指出,监测系统设计是岩土工程可变更设计(也可称为监控设计或动态设计)的一个重要组成部分。

3)在信息反馈方面越来越重视工程监测的实用性

虽然各类岩土工程乃至各个具体岩土工程的监测条件各不相同,但是其监测结果都必须及时反馈到主管工程师手中这一点上却是相同的。尽管越来越重视“信息反馈”和选择最符合本工程的反馈途径的研究动向,但某些岩土工程确实也存在着“重监测、重仪器,轻(信息)反馈”的倾向。

## 1.2 岩土工程分类

由于岩土工程都开挖和修建于地质体中,因此它们的稳定程度以及变形破坏的发展过程等,必然受地质体本身特性的制约。除此以外,还受岩土工程的类型、几何尺寸和形状、设计参数以及施工方法等重要因素的影响。显然,作为动态设计和信息化施工的一个重要环节,在选择具体监测技术和建立监测系统时,既需要考虑岩土工程的地质条件,还需要考虑工程类型、几何尺寸等一系列因素,以便进行有的放矢的监测。

### 1.2.1 一般分类

从岩土工程介质角度可将岩土工程简单地分为岩石工程和土体工程两大类。应当指出,不少岩土工程,特别是大型岩土工程还同时涉及岩体和土体;从工程类型角度进行的分类,通常可分为地下工程(包括来自铁道、交通、水利水电、矿山、军事工程以及属于文化部门等的地下巷道、厂房、隧道、石窟等)、边坡工程、地基工程、大坝工程等。表 1-1 给出了岩土工程的主要类型,以作监测仪器选型和监测系统设计时参考。一般而言,因不同工程类型的岩土工程所具备的监测条件和对监测的要求等彼此不甚相同,故所用的监测方法、监测技术

以及所建立的专门监测系统也将是不同的,应当具体情况具体分析。

表 1-1 岩土工程主要类型

主要工程类型	举 例
地下工程	隧道、地下厂房、矿井、采矿巷道、斜坡道、地下飞机库、导弹发射井、大型古地下工程、石窟等
边坡工程	露天矿边坡工程、船闸边坡工程等
地基工程	高层建筑地基、飞机场地基等
大坝工程	坝基、坝肩等

### 1.2.2 岩土工程规模分级

一般而言,工程规模有两层含义。第一层含义是指工程建设上的规模。它包含该工程建设所涉及的所有内容。例如抽水蓄能电站的建设,将涉及上水库、下水库及其边坡、地下厂房洞室群、水道系统和地面开关站等,而地下厂房群又包括主厂房、副厂房、主变室、尾水闸室、廊道、母线洞、交通洞和出线洞等;第二层含义是指其中所研究的单一洞室或单一边坡的尺寸。这里所讨论的是后者。

岩土工程实践和理论分析都表明,岩土工程的规模(这里所指的是单一洞室或单一边坡的尺寸)对工程稳定性及变形破坏有着很大的影响,所以在监测仪器选型和监测系统设计时也应考虑岩土工程的规模或尺寸。

但由于有关各种岩土工程形状和几何尺寸的讨论过于复杂,所以这里不准备详细地进行分类研究,而仅以地下工程和边坡工程这两种主要岩土工程类型为对象来研究有关规模分级问题。

对于地下工程的规模,目前尚无统一的等级划分可用。从工程量测角度看,按毛洞跨度对地下工程进行分级也许是可取的。虽然影响地下工程规模分级的因素很复杂,但根据作者的经验和参考有关资料提出了表 1-2 的地下工程规模按毛洞跨度分级方法<sup>[8]</sup>。

表 1-2 地下工程(隧道式)按毛洞跨度分级

等 级		毛洞跨度(m)
大型地下工程	I	$B > 25$
	II	$20 < B \leq 25$
中型地下工程	I	$15 < B \leq 20$
	II	$10 < B \leq 15$
	III	$5 < B \leq 10$
小型地下工程	II	$B \leq 5$

至于边坡工程,有关规模分级的研究很少。但考虑到边坡高度是衡量边坡规模的重要参数,所以作者根据自己的经验和研究成果,提出了以边坡高度为主的有关岩石边坡的规模分级标准(见表 1-3)。

表 1-3 岩石边坡规模分级

岩石边坡规模等级		边坡高度 $H(m)$
大型边坡	I	$H > 300$
	II	$100 < H \leq 300$
中型边坡	I	$50H \leq 100$
	II	$20 < H \leq 50$
小型边坡	I	$H < 20$
	II	

## 1.3 监测系统设计的理论问题及相应设计原则

### 1.3.1 监测系统设计的理论依据和工程地质力学综合集成方法论

根据有关研究成果,岩土工程所涉及的岩土体不仅是地质体,而且还是一种工程地质体,即在内、外动力作用下形成并经过地质演化、受环境因素制约、服务于工程的地质体<sup>[9]</sup>。由此可见,工程岩土体介质是一种经过多次而反复的地质作用,经受过多次变形破坏,形成一定的组成成分,具有一定结构,且赋存于一定的地质环境(即复杂的地应力环境和地下水环境)中的地质体。所以它们可以看做为一种由不计其数的结构体、结构面等组成的、其自然特性和力学特性等都极其复杂的巨系统。当然,该系统还包括人为施工系统和工程构筑物等。

进一步研究表明,岩土工程在施工和运营过程中,不断地与外界交换着物质、能量和信息。例如,开挖爆破的能量、外界地震波的影响;又例如,施工中把部分岩土运走,并进行排水,而把所需要的水泥、石子、砂子、钢筋和各种设备等运入,雨水、部分地表水和地下水等也可以降落或流入等;此外,在施工期和运营期进行的监测也是一种信息交换过程。综上所述,岩土工程不仅是一个复杂巨系统,而且还是一个不断变化着的、开放的复杂巨系统<sup>[12]</sup>。

鉴于开放的复杂巨系统目前尚无从子系统相互作用出发建立起来的统计力学理论,所以对于这类复杂巨系统来说,可行方法是定性和定量相结合的综合集成的方法论,即将理论分析、专家群体的经验和现场观测相结合的半定量方法<sup>[10~12]</sup>。

在应用该方法论时必须将这一属于思维层次上的东西与具体的专业(即与本书主题相关的工程地质力学)相结合。据此,作者提出了由理论分析、专家群体经验、现场监测及监测信息分析等三部分所组成的工程地质力学综合集成理论(简化为 EGMS),以作为研究岩土工程的一个重要工程地质力学研究的方法论<sup>[1,13]</sup>。

在 EGMS 中,理论分析通常应包括地质理论研究(包含工程地质、水文地质和环境地质等内容)、力学分析和本工程学科的理论分析等。对于本学科一词还需说明:如果研究水电站的船闸边坡或坝基,则本学科是指水工学;如果所讨论的岩土工程是铁路隧道,则本学科是指隧道工程;对于与地下开采有关的岩土工程来说,矿建与采矿专业就是所谓的本学科。

EGMS 方法的专家群体经验,是指由来自有关工程设计、施工、工程地质勘察、岩石力学

等专业的专家所组成的专家组所拥有的经验知识及他们在重要工程决策时所作的判断。工程类比法<sup>[14~16]</sup>和智能化了的专家系统也是其重要组成内容。

关于现场监测及监测信息分析这一内容,它作为 EGMS 的一个重要组成部分,将涉及一系列十分重要内容:

——监测方法的制定和有针对性的监测仪器选型;

——根据具体岩土工程的实际工程条件、地质条件、有针对性的理论分析结果和专家群体经验的判断,进行监测系统设计;

——监测信息的传递方法;

——监测信息分析和据此而作出被监测的具体岩土工程当前所处的状态、施工(处理)效果的判断以及进一步作出工程处理的决策等。

图 1-1 给出了 EGMS 的组成。

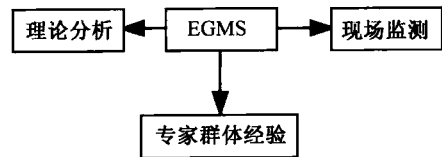


图 1-1 工程地质力学综合集成理论(EGMS)的组成

### 1.3.2 岩土工程监控设计的一般方法

由于监测是监控设计的基础,且两者密切相关,所以在讨论岩土工程监测问题的时候有必要简述有关监控设计的思路。根据工程地质力学综合集成方法(EGMS),岩土工程的监控设计一般可按图 1-2 所示的思路进行。为了便于操作,作者还进一步给出了下列 8 个监控设计步骤。

(1)熟悉工程建设目的,了解设计意图,并通过该工程的地质勘察,对工程地质、水文地质和环境地质条件进行评价。

(2)岩土工程设计需要确定某些重要岩体力学参数和地应力分量。所以在设计中需要进行必要的力学试验,包括实验室取样试验、现场力学试验、地应力测试以及关于岩体力学参数和地应力的反分析<sup>[17~21]</sup>等。

(3)岩体结构分类和力学分析是监控设计中的重要环节,应当重视。关于岩体结构分类将在本书第 3 章论述。

(4)对施工期和运行期可能出现的严重变形破坏问题的估计。

(5)按照优先监测突破口的原则建立可靠、高效和符合经济合理原则的监测系统。其中关于“突破口”的概念及应用等问题<sup>[22~24]</sup>,将在第 2 章作进一步讨论,可以参考。

(6)按照工程类比法<sup>[16]</sup>、理论计算法和监控法相结合的方法可以进一步作出岩土工程的初步设计<sup>[15,23,25]</sup>。

(7)施工过程中进行及时监测和及时反馈信息(也包括有关工程岩土体、构筑物的开裂

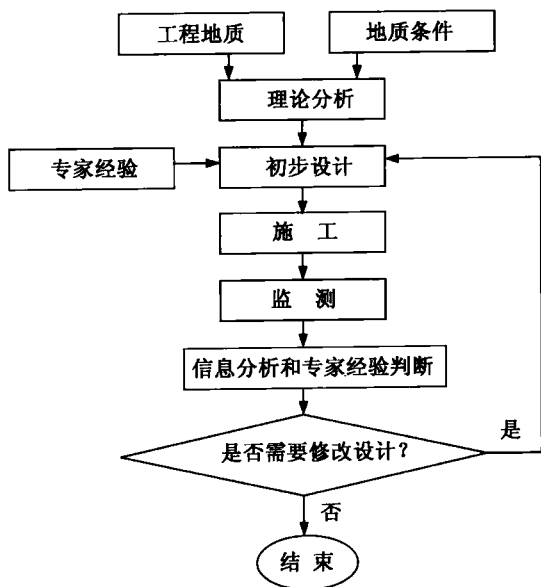


图 1-2 根据 EGMS 的监控设计思路



情况和新揭露出来的重要地质信息)。

(8)信息分析方法及其对设计和施工指导作用。

由于在第 2.1.4.1 节将要作更详细的论述,故这里不再赘述。

### 1.3.3 监测系统设计的一般原则

由于岩土工程的规模通常较大,且地质条件也较复杂,所以有关岩土工程监测系统的设计决不是各种量测仪器的“堆积”。只有遵循一定的原则才能提高监测系统的可靠性和效率。从工程地质力学综合集成方法论(EGMS)出发,并根据一系列实际岩土工程的应用经验,作者提出了由以下 12 条组成的监测系统设计原则<sup>[26,27]</sup>。

(1)可靠性原则。

(2)以地质条件为基础的设计原则。

(3)以位移为主的监测思路。

(4)多层次监测原则。有两层含义:第一,采用多种手段进行监测,以便互相补充和校核;第二,考虑地表和地下相结合的立体监测系统。

(5)优先重点监测“突破口”的设计原则。为了建立高效而经济的监测系统,借助于对包括地质信息在内的各种信息的综合集成,来确定“突破口”,以便对之进行优先重点监测(可参见第 2.2 节)。

(6)从实际工程的地质条件、工程条件和工程岩土体性质出发的监测仪器选型原则。

(7)安装和监测操作方法的简便实用原则。

(8)高效信息反馈的原则。应当尽可能快地把监测信息传递给主管工程师,以便及时地作出决策,因为高效的信息反馈是实现可变更设计和信息化施工的保证。

(9)无干扰和少干扰的设计原则。尽量避免或减少施工与监测之间的互相干扰。

(10)地质信息、开裂信息和仪器监测信息并重的设计原则。该原则告诉我们,除重视利用监测仪器取得的信息外,还应重视新发现的开裂(包括工程岩土体和构筑物的新开裂)和在开挖中新发现的构造、地层等的变化信息。

(11)有利于仪器保护的设计原则。

(12)经济合理的设计原则。

从 EGMS 方法论角度看,监测是它的三大组成部分之一(见图 1-1)。所以认为监测已成为岩土工程可变更设计和信息化施工过程中不可缺少的重要环节的观点,是有其理论根据的。显然,监测系统设计的理论依据问题对于岩土工程监测来说十分重要,但以往的研究却较少。所以本书将在第 2 章作更详细的论述。

## 1.4 岩土工程监测的主要目的

一般而言,岩土工程监测主要有三个目的:第一,对在灾害环境下岩土工程安全问题进行安全预报(即在施工期和运营期中保证有关人员和工程本身等的安全);第二,借助于反分析技术对岩土工程岩土体的某些力学参数和地应力进行估算。而这些参数的确定历来为岩土工程设计工程师所重视;第三,为岩土工程可变更设计和信息化施工提供可靠的依据。

具体简述如下。