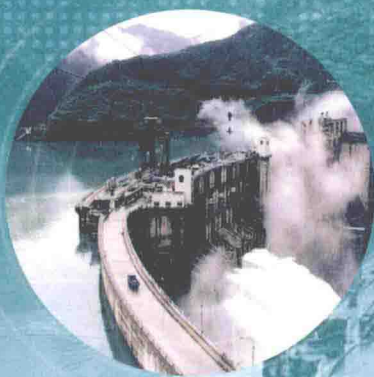


GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校测绘工程系列教材

安全监测技术与应用

主编 岳建平 徐佳



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校测绘工程系列教材

安全监测技术与应用

主编 岳建平 徐佳



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

安全监测技术与应用/岳建平,徐佳主编. —武汉:武汉大学出版社,
2018.8

高等学校测绘工程系列教材

ISBN 978-7-307-20268-9

I. 安… II. ①岳… ②徐… III. 安全监测—技术—高等学校—教材
IV. X924.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 119776 号

责任编辑:杨晓露

责任校对:汪欣怡

版式设计:汪冰滢

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷:湖北民政印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:21.75 字数:537千字

版次:2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷

ISBN 978-7-307-20268-9 定价:45.00元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 简 介

安全监测理论和技术是工程测量学中的一个重要研究内容，也是目前监测建筑物安全的一种重要手段，对保障国民经济建设和工程的正常运营有着重要的意义。本书重点介绍了安全监测的理论和方法，主要包括：安全监测的主要内容和要求，监测系统的设计，水平位移、垂直位移的监测方法，渗流监测技术，应力监测技术，并对现代监测技术作了详细深入的介绍，如自动化监测技术、光纤监测技术、GNSS 监测技术、InSAR 监测技术、三维激光扫描技术等。另外，还对监测数据的分析处理理论作了较详细的阐述。为了加强本书的实用性，针对多种类型工程的具体特点和要求，阐述了这些工程监测的内容和方法，对工程技术人员的实际应用有一定的参考价值。

前 言

本书是在总结多年教学经验的基础上，广泛征求同行的意见和建议，并根据当今测量技术的研究进展，全面介绍了安全监测的原理和方法，以及这些原理和方法在典型工程中的应用。在基本原理中，主要介绍了安全监测的目的和意义、精度要求、观测周期以及安全监测系统的设计原理等。在安全监测方法中，重点介绍了水平位移、垂直位移、挠度、裂缝等的监测技术。为扩大读者的知识面，还补充介绍了应力、渗流等安全监测的技术内容。为反映现代安全监测技术的研究进展，本书还介绍了 GNSS 监测技术、三维激光扫描监测技术、InSAR 监测技术以及自动化监测技术等。为了能够全面反映安全监测工作的全过程，本书对监测资料的整编和安全监测数据分析处理理论等作了系统的介绍。

本书整体理论先进，实用性强，适用于测绘工程、土木工程等相关专业的教学和科研工作，也可作为工程技术人员的参考书。

本书的编写分工如下：岳建平(河海大学)，撰写第 1、第 6 章，并负责全书的组织和统稿；徐佳(河海大学)，撰写第 9 章，并负责全书的校对；李明峰(南京工业大学)，撰写第 10 章；郑加柱(南京林业大学)，撰写第 8 章；席广永(郑州轻工业大学)，撰写第 7 章；周保兴(山东交通学院)，撰写第 4 章；刘志强(河海大学)，撰写第 3、第 12 章；李桂华(河海大学)，撰写第 13、第 14 章；张荣春(南京邮电大学)，撰写第 2 章；曹爽(南京信息工程大学)，撰写第 11 章；邱志伟(淮海工学院)，撰写第 5 章。

本书的部分内容取自所列的参考文献，在此对这些资料的作者表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中难免存在谬误，敬请读者批评指正。

编者

2017 年 12 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 安全监测的目的	1
1.2 安全监测的主要内容	2
1.2.1 巡视检查	2
1.2.2 环境监测	2
1.2.3 位移监测	3
1.2.4 渗流监测	3
1.2.5 应力、应变监测	3
1.2.6 周边监测	4
1.3 安全监测基本要求	4
1.3.1 监测系统设计	4
1.3.2 变形监测点的分类	4
1.3.3 变形监测的精度	5
1.3.4 变形监测的周期	7
1.3.5 变形监测的实施	8
1.4 安全监测研究进展	9
1.4.1 传统测量技术	9
1.4.2 GNSS 监测技术	10
1.4.3 光纤监测技术	12
1.4.4 GBSAR 监测技术	13
1.4.5 监测自动化技术	13
1.4.6 数学模型	14
1.4.7 安全评判	17
第2章 大地测量技术	19
2.1 精密水准测量	19
2.1.1 监测标志与选埋	19
2.1.2 监测仪器及检验	22
2.1.3 监测方法与技术要求	23
2.2 三角高程测量	25
2.2.1 单向观测及其精度	25
2.2.2 中间法及其精度	26

2.2.3 对向观测及其精度	27
2.3 交会测量	27
2.3.1 测角交会法	27
2.3.2 测边交会法	28
2.3.3 后方交会法	29
2.4 导线测量	29
2.4.1 边角导线	30
2.4.2 基准值计算	31
2.4.3 复测值计算	31
2.4.4 弦矢导线	32
2.4.5 基准值的计算	33
2.4.6 复测值的计算	34
2.5 三角测量	34
第3章 GNSS 监测技术	37
3.1 概述	37
3.1.1 GPS 系统	37
3.1.2 GLONASS 系统	38
3.1.3 BDS 系统	38
3.1.4 Galileo 系统	39
3.2 GNSS 定位误差源分析	39
3.2.1 与卫星有关的误差	39
3.2.2 与信号传播有关的误差	41
3.2.3 与接收机有关的误差	44
3.2.4 其他误差	45
3.3 相对定位监测原理	48
3.3.1 GNSS 相对定位数学模型	48
3.3.2 GNSS 相对定位模式	49
3.4 精密单点定位监测原理	50
3.4.1 PPP 函数模型	50
3.4.2 PPP 随机模型	53
3.4.3 参数估计方法	54
3.5 GNSS 在苏通大桥监测中的应用	55
第4章 三维激光扫描监测技术	59
4.1 概述	59
4.2 三维激光扫描测量基本原理	60
4.2.1 激光测距系统	60
4.2.2 激光扫描系统	61
4.2.3 CCD 相机	61

4.3	测量误差分析	62
4.3.1	影响三维激光扫描精度的因素	62
4.3.2	三维激光扫描系统的精度检测	64
4.4	点云数据处理方法	69
4.4.1	点云配准	69
4.4.2	数据滤波	72
4.4.3	数据分割	73
4.4.4	三角网格建立	77
4.4.5	三维建模	79
4.5	基于三维激光扫描测量的变形分析方法	79
4.5.1	基于点的变形分析方法	79
4.5.2	基于线的变形分析方法	80
4.5.3	基于面的变形分析方法	81
4.5.4	基于NURBS曲面的监测体表面变形分析	82
4.6	三维激光扫描技术在边坡变形监测中的应用	85
4.6.1	工程概况	85
4.6.2	点云数据的获取	86
4.6.3	点云数据配准	86
4.6.4	点云数据噪声剔除	87
4.6.5	变形量获取	88
第5章	InSAR 监测技术	91
5.1	概述	91
5.2	InSAR 监测基本原理	91
5.2.1	InSAR 技术基本原理	92
5.2.2	InSAR 技术处理流程	93
5.2.3	InSAR 技术误差分析	94
5.3	数据处理新方法	97
5.3.1	永久散射体干涉技术	97
5.3.2	相干目标分析方法	99
5.3.3	短基线集方法	100
5.4	GBSAR 监测技术与应用	103
5.4.1	GBSAR 监测原理	103
5.4.2	GBSAR 监测应用	107
5.5	工程应用	113
5.5.1	监测地区及数据概况	113
5.5.2	监测结果验证及分析	116
第6章	光纤监测技术	119
6.1	概述	119

6.2	光纤传感器介绍	120
6.2.1	光纤的基本结构	120
6.2.2	光纤传输的基本原理	121
6.2.3	光纤传感的基本原理	122
6.2.4	光纤传感器的特点	123
6.2.5	光纤传感器的分类	124
6.2.6	光纤传感器的应用领域	127
6.3	分布式光纤监测系统	128
6.3.1	总体结构	128
6.3.2	监测系统介绍	130
6.4	工程应用	133
6.4.1	结构工程监测	133
6.4.2	海底管道监测	135
6.4.3	滑坡体监测	137
第7章	自动化监测技术	140
7.1	引言	140
7.2	自动化监测系统	141
7.2.1	自动化监测系统的分类	141
7.2.2	自动化监测系统的设计	143
7.2.3	自动化监测系统的数据采集单元	145
7.3	自动化监测方法	148
7.3.1	变形监测	148
7.3.2	应力应变监测	164
7.3.3	渗压(流)监测	168
7.4	自动化监测系统应用实例	170
7.4.1	三峡大坝安全监测的目的和原则	171
7.4.2	三峡大坝自动化监测系统	171
第8章	监测资料整编与预处理	175
8.1	监测资料整编	175
8.1.1	平时资料整理	175
8.1.2	定期资料整理	175
8.1.3	整编资料刊印	177
8.2	监测资料初步分析	177
8.2.1	概述	177
8.2.2	监测资料的检核	178
8.2.3	变形分析	179
8.3	监测数据的预处理	181
8.3.1	粗差检验	182

8.3.2	系统误差检验	183
8.4	安全监测信息管理系统	186
8.4.1	监测数据管理与数据库管理系统	186
8.4.2	安全监测信息管理系统实例分析	186
8.4.3	总结	192
第9章	安全监测数学模型	193
9.1	概述	193
9.2	统计分析模型	193
9.2.1	一元线性回归模型	194
9.2.2	多元线性回归模型	194
9.2.3	逐步回归统计模型	195
9.2.4	算例分析	198
9.3	灰色系统模型	199
9.3.1	灰色系统理论的基本概念	199
9.3.2	GM(1, 1)模型	200
9.3.3	GM(1, N)模型	202
9.3.4	算例分析	203
9.4	时间序列模型	204
9.4.1	ARMA模型	204
9.4.2	ARMA模型建立的一般步骤	205
9.4.3	ARMA的Box建模方法	206
9.5	神经网络模型	210
9.5.1	神经网络基本原理	211
9.5.2	BP神经网络	213
9.5.3	广义回归神经网络	214
9.5.4	小波神经网络	216
9.5.5	算例分析	218
第10章	安全评判理论	220
10.1	概述	220
10.1.1	安全评判的意义	220
10.1.2	安全评判体系	221
10.1.3	安全评判的原则	222
10.1.4	安全评判方法	222
10.2	层次分析法	223
10.2.1	基本知识	223
10.2.2	层次分析法结构模型	226
10.2.3	层次排序	227
10.2.4	层次分析法评判决策	228

10.3	风险分析法	229
10.3.1	风险分析的框架结构	229
10.3.2	定性风险分析法	230
10.3.3	定量风险分析法	230
10.3.4	总结	232
10.4	模糊分析法	232
10.4.1	模糊聚类分析	233
10.4.2	模糊综合评判	234
10.4.3	大坝安全多层次模糊综合评判	235
10.5	安全评判专家系统	240
10.5.1	专家系统	240
10.5.2	大坝安全综合评价专家系统	241
第 11 章 水利工程安全监测		246
11.1	概述	246
11.1.1	监测工作的重要性	246
11.1.2	监测系统研究进展	246
11.2	主要监测内容与方法	249
11.2.1	概述	249
11.2.2	监测项目	250
11.2.3	监测方法	250
11.2.4	监测周期	253
11.3	监测系统设计与建立	253
11.3.1	监测断面布置	253
11.3.2	水平位移观测点布置	254
11.3.3	垂直位移测点布置	255
11.4	小浪底大坝安全监控系统设计	255
11.4.1	工程概况	255
11.4.2	大坝监测项目	256
11.5	大坝安全监测发展趋势	261
第 12 章 桥梁工程安全监测		263
12.1	概述	263
12.2	监测内容与方法	263
12.2.1	主要监测内容	263
12.2.2	常用监测方法	265
12.3	桥梁基础垂直位移监测	267
12.3.1	高程基准网与观测点布设	267
12.3.2	垂直位移观测	268
12.4	桥梁挠度和水平位移监测	269

12.4.1	平面基准网布设	269
12.4.2	索塔挠度观测	271
12.4.3	主梁挠度观测	271
12.5	应用实例	272
12.5.1	超高索塔挠度监测	272
12.5.2	预应力连续刚构桥挠度监测	274
第13章	城市地铁工程安全监测	277
13.1	概述	277
13.2	城市地铁工程施工期监测	278
13.2.1	主要监测内容与方法	278
13.2.2	监测资料整理和分析	285
13.2.3	地铁工程施工期监测方案设计	286
13.2.4	工程应用	287
13.3	城市地铁工程运营期长期监测	293
13.3.1	主要监测内容与方法	293
13.3.2	监测资料整理和分析	296
13.3.3	地铁工程运营期长期监测方案设计	296
13.3.4	工程应用	297
13.4	城市地铁工程运营期专项监测	301
13.4.1	主要监测内容与方法	301
13.4.2	监测资料整理和分析	305
13.4.3	地铁工程运营期专项监测方案设计	306
13.4.4	地铁保护区自动化监测系统	307
13.4.5	工程应用	309
第14章	高铁工程安全监测	315
14.1	概述	315
14.2	主要监测内容和方法	315
14.2.1	变形监测网	316
14.2.2	路基变形监测	318
14.2.3	桥涵变形监测	320
14.2.4	隧道变形监测	323
14.3	高速铁路工程监测方案设计	324
14.4	工程应用	325
14.4.1	工程概况	325
14.4.2	工程地质概况	325
14.4.3	沉降监测技术要求	325
14.4.4	基准点、工作基点、沉降监测点的布设	325
14.4.5	沉降监测方法	327

14.4.6	数据处理	328
14.4.7	资料整理	328
参考文献		329

第1章 绪 论

1.1 安全监测的目的

变形监测是指对被监测的对象进行测量,以确定其空间位置及其内部形态随时间变化的过程和特征。变形监测的对象主要包括工程建筑物、技术设备以及其他自然或人工对象,例如大坝、桥梁、隧道、高层建筑、滑坡体及高边坡等。

变形监测是掌握建筑物形变特征的基本手段,但仅对建筑物的形变特征进行监测是不够全面的,还需要对结构内部的应力、温度以及外部环境进行相应的监测,才能全面掌握建筑物的性态特征,为此,在变形监测的基础上发展出安全监测。安全监测的主要目的是确定建筑物的工作性态,保证建筑物的安全运营,为此需要建立一套完整的安全评判理论体系,以分析和评判建筑物的安全状况,由此而产生和发展了一种新的建筑物健康诊断理论。

由于大型建筑物在国民经济中的重要性,其安全问题受到普遍的关注,政府和管理部门对安全监测工作都十分重视。综合起来,安全监测的目的主要有以下几个方面。

1. 分析和评价建筑物的安全状态

由于工程地质、外界条件等因素的影响,建筑物及其设备在施工和运营过程中都会产生一定的变形,这种变形常常表现为建筑物整体或局部发生沉陷、倾斜、扭曲、裂缝等。如果这种变形在允许的范围之内,则认为是正常现象,如果超过了一定的限度,就会影响建筑物的正常使用,严重的还可能危及建筑物的安全。为此,在工程建筑物的施工和运营期间,都必须对它们进行安全监测,以监视其安全状态。

2. 验证设计参数

安全监测的结果也是对设计数据的验证,可以为改进设计和科学研究提供依据。由于人们对自然的认识不够全面,不可能对影响建筑物的各种因素都进行精确计算,设计中往往采用一些经验公式、实验系数或近似公式进行简化,安全监测结果可以验证设计的正确性,修正不合理的部分。

3. 反馈设计施工质量

安全监测不仅能监视建筑物的安全状态,而且对反馈设计施工质量等起到重要作用。由于新的设计理论、新型材料、新型工艺等的不断应用,其效果需要在实践中得到验证和修正,同时,对于具体工程的实际施工质量也需要在施工后进行检验和证实。安全监测结果可以为设计的正确性以及施工质量的好坏提供最直接的依据。

4. 研究正常的变形规律和预报变形的办法

由于对问题的认识需要一个由浅入深的过程,且由于建筑物结构类型、建筑材料、施工模式、地质条件等的不同,其变形特征和规律存在一定的差异。因此,对建筑物实施安

全监测，并对监测数据进行全面分析研究，可寻找出建筑物变形的基本规律和特征，从而为监控建筑物的安全、预报建筑物的变形趋势提供依据。

1.2 安全监测的主要内容

对于不同类型的监测对象，其监测的内容和方法有一定的差异，但总的来说可以分成巡视检查、环境监测、位移监测、渗流监测、应力、应变监测及周边监测等几个方面。

1.2.1 巡视检查

巡视检查是安全监测中的一个重要内容，它包括现场巡视和现场检测两项工作，分别采用简单量具或临时安装的仪器设备在建筑物及其周围定期或不定期进行检查，检查结果可以定性描述，也可以定量描述。

巡视检查不仅是工程运营期的必需工作，在施工期也应十分重视。因此，在设计安全监测系统时，应根据工程的具体情况和特点，制定巡视检查的内容和要求，巡视人员应严格按照预先制定的巡视检查程序进行检查工作。

巡视检查的次数应根据工程的等级、施工的进度、荷载情况等决定。在施工期，一般每周2次；在正常运营期，可逐步减少次数，但每月不宜少于1次。在工程进度加快或荷载变化很大的情况下，应加强巡视检查。另外，在遇到暴雨、大风、地震、洪水等特殊状况时，应及时进行巡视检查。

巡视检查的内容可根据具体情况确定，例如，对于大坝的坝体其主要检查内容有：相邻坝段之间的错动；伸缩缝开合情况和止水的工作状况；上下游坝面、宽缝内及廊道壁上有无裂缝，裂缝中渗水情况；混凝土有无破损、溶蚀、水流侵蚀或冻融现象；坝体漏水量和水质有无明显变化；坝顶防浪墙有无开裂、损坏情况。对于金属结构，还应检查其有无油漆脱落、锈蚀等现象。

巡视检查的方法主要依靠目视、耳听、手摸、鼻嗅等直观方法，也可辅以锤、钎、量具、放大镜、望远镜、照相机或摄像机等工器具进行。如有必要，可采用坑(槽)探挖、钻孔取样或孔内电视、注水或抽水试验、化学试剂、水下检查或水下电视摄像、超声波探测及锈蚀检测、材质化验或强度检测等特殊方法进行检查。

现场巡视检查应按规定做好记录和整理，并与以往检查结果进行对比，分析有无异常现象。如果发现疑问或异常现象，应立即对该项目进行复查，确认后，应立即编写专门的检查报告，及时上报。

1.2.2 环境监测

环境监测是指对影响建筑物安全的大气环境、荷载环境、地质环境等进行监测。大气环境主要包括：气温、气压、降水量、风力、风向等；对于水工建筑物，荷载及地质环境主要包括：库水位、库水温度、冰压力、坝前淤积和下游冲刷等；对于桥梁工程，荷载及地质环境主要包括：河水流速、流向、泥沙含量、河水温度、桥址区河床变化、车流量等。总之，对于不同的工程，除了一般性的环境监测外，还要进行一些针对性的监测工作。

环境监测的一般项目通常采用自动气象站、水文站等来实现，对于特定类型建筑物的

特定监测项目，应采用特定的监测方法和要求。地震是一种危害巨大的自然灾害，对于一些重大工程，为保证其安全，降低地震灾害所造成的损失，需要在工程所在地设立地震监测站，以分析和预报可能发生的地震。

1.2.3 位移监测

位移监测主要包括沉降监测、水平位移监测、挠度监测、裂缝监测等，对于不同类型的工程，各类监测项目的方法和要求有一定的差异。为使测量结果有相同的参考系，在进行位移测量时，应设立统一的监测基准点。

沉降监测一般采用几何水准测量方法进行，在精度要求不太高或者观测条件较差时，也可采用三角高程测量方法。对于监测点高差不大的场合，可采用液体静力水准测量和压力传感器方法进行测量。沉降监测除了可以测量建筑物基础的整体沉降外，还可以测量基础的局部相对沉降量、基础倾斜、转动等。

水平位移监测通常采用大地测量方法(如交会测量、三角网测量、导线测量、GNSS测量)，基准线测量(如视准线测量、引张线测量、激光准直测量、垂线测量)以及其他一些专门的测量方法(如裂缝计、多点位移计等)。目前，许多新的监测技术也在不断出现并得到应用(如三维激光扫描、光纤、InSAR等)。大地测量方法是传统的测量方法，基准线测量是目前普遍使用的实用方法，专门测量方法和监测新技术也是进行特定项目监测的十分有效的技术手段。

1.2.4 渗流监测

渗流监测主要包括地下水位监测、渗透压力监测、渗流量监测等。对于水工建筑物，还要包括扬压力监测、水质监测等。

地下水位监测通常采用水位观测井或水位观测孔进行，即在需要观测的位置打井或埋设专门的水位监测管，测量井口或孔口到水面的距离，然后换算成水面的高程，通过水面高程的变化分析地下水位的变化情况。

渗透压力一般采用专门的渗压计进行观测，渗压计和测读仪表的量程应根据工程的实际情况选定。

渗流量监测可采用人工量杯观测和量水堰观测等方法。量水堰通常采用三角堰和矩形堰两种形式。三角堰一般适用于流量较小的场合，矩形堰一般适用于流量较大的场合。

1.2.5 应力、应变监测

应力、应变监测的主要项目包括：混凝土应力应变监测、锚杆(锚索)应力监测、钢筋应力监测、钢板应力监测等。

为使应力、应变监测成果不受环境变化的影响，在监测应力、应变时，应同时测量监测点的温度。应力、应变的监测应与变形监测、渗流监测等项目结合布置，以便监测资料的相互验证和综合分析。

应力、应变监测一般采用专门的应力计和应变计进行。选用的仪器设备和电缆，其性能和质量应满足监测项目的需要，且应特别注意仪器的可靠性和耐用性。

1.2.6 周边监测

周边监测主要指对工程周边地区可能发生的对工程运营产生不良影响的监测工作，主要包括：滑坡监测、高边坡监测、渗流监测等。对于水利工程，由于水库的蓄水，使库区岸坡的岩土力学特性发生变化，从而引起库区的大面积滑坡，这对工程的使用效率和安全将是巨大的隐患，因此，应加强水利工程库区的滑坡监测工作。另外，对于水利工程中非大坝的自然挡水体，由于没有进行特殊处理，很可能会存在大量的渗漏现象，加强这方面的监测，对有效地利用水库，防止渗漏有很大的作用。

1.3 安全监测基本要求

1.3.1 监测系统设计

依据建筑物的特点设计一套监测系统，对建筑物及其基础的性态进行监测，是保证建筑物安全运营，及时发现和处理问题，防止事故发生的重要举措。在监测系统设计时，应遵循以下原则：

(1) 针对性。设计人员应熟悉设计对象，了解工程规模、结构设计方法、水文、气象、地形、地质条件及存在的问题，有的放矢地进行监测设计，特别是要根据工程特点及关键部位综合考虑，统筹安排，做到目的明确、实用性强、突出重点、兼顾全局，即以重要工程和危及建筑物安全的因素为重点监测对象，同时兼顾全局，并对监测系统进行优化，以最小的投入取得最好的监测效果。

(2) 完整性。对监测系统的设计要有整体方案，它是用各种不同的观测方法和手段，通过可靠性、连续性和整体性论证后，优化出来的最优设计方案。监测系统以监测建筑物安全为主，观测项目和测点的布设应满足资料分析的需要，同时兼顾到验证设计，以达到提高设计水平的目的。另外，观测设备的布置要尽可能地与施工期的监测相结合，以指导施工和便于得到施工期的观测数据。

(3) 先进性。设计所选用的监测方法、仪器和设备应满足精度和准确度的要求，并吸取国内外的经验，尽量采用先进技术，及时有效地提供建筑物性态的有关信息。对工程安全起关键作用且人工难以进行观测的数据，可借助于自动化系统进行观测和传输。

(4) 可靠性。观测设备要具有可靠性，特别是监测建筑物安全的测点，必要时在这些特别重要的测点上布置两套不同的观测设备以便互相校核并可防止观测设备失灵。观测设备的选择要便于实现自动数据采集，同时考虑留有手工观测接口。

(5) 经济性。监测项目宜简化，测点要优选，施工安装要方便。各监测项目要相互协调，并考虑今后监测资料分析的需要，使监测成果既能达到预期目的，又能做到经济合理，节省投资。

1.3.2 变形监测点的分类

变形监测点一般分为基准点、工作基点和变形观测点三类。

1. 基准点

基准点是变形监测系统的基本控制点，是测定工作基点和变形观测点的依据。基准点