

基坑变形监测与VB编程

Foundation Pit Deformation Monitoring and VB Programming

谢才军　林贤根　著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

基坑变形监测与 VB 编程

谢才军　林贤根 著

ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内容简介

基坑变形监测要求实时、准确，而电子表格是应用最广的数据处理的工具之一，因此本书介绍了VB的SpreadSheet控件，并用其编写了基坑变形监测的数据计算与处理的程序。基坑变形的估算方法为监测技术人员提供了一种预估基坑变形发展趋势的方法，也可为分析基坑变形的异常情况、监测数据异常情况提供参考。本书旨在为监测技术人员提供数据计算与处理和基坑变形分析的方法，为高校相关专业的学生和工程技术人员提供运用理论知识解决工程问题的方法。

图书在版编目（CIP）数据

基坑变形监测与VB编程 / 谢才军，林贤根著.
—杭州：浙江大学出版社，2012.5
ISBN 978-7-308-09910-3

Ⅰ.①基… Ⅱ.①谢…②林… Ⅲ.①基坑工程－监测②BASIC语言－程序设计 Ⅳ.①TU46②TP312

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第080664号

基坑变形监测与VB编程

谢才军　林贤根 著

责任编辑　王　波
封面设计　刘依群
出版发行　浙江大学出版社
（杭州市天目山路148号　邮政编码310007）
（网址：http://www.zjupress.com）
排　　版　杭州中大图文设计有限公司
印　　刷　富阳市育才印刷有限公司
开　　本　787mm×1092mm　1/16
印　　张　22.25
字　　数　541千
版 印 次　2012年5月第1版　2012年5月第1次印刷
书　　号　ISBN 978-7-308-09910-3
定　　价　68.00元

版权所有　翻印必究　　印装差错　负责调换
浙江大学出版社发行部邮购电话　(0571)88925591

目　录

第 1 章　基坑变形监测与数据处理 …… 1

1.1　基坑监测基础知识 …… 1
1.1.1　基坑工程监测概述 …… 1
1.1.2　监测项目布设原则 …… 4
1.1.3　监测频率及报警值 …… 6
1.2　监测仪器 …… 9
1.2.1　振弦式孔隙水压力计 …… 9
1.2.2　振弦式土压力计 …… 12
1.2.3　振弦式钢筋测力计 …… 14
1.2.4　钢尺水位计 …… 15
1.2.5　测斜仪 …… 17
1.2.6　钢尺沉降仪 …… 19
1.2.7　钢尺收敛计 …… 21
1.2.8　振弦式测缝计 …… 23
1.2.9　振弦式位移计 …… 25
1.2.10　MJ-101 型振弦式锚索测力计(锚索计) …… 26
1.3　监测方法 …… 27
1.3.1　竖向位移与水平位移监测 …… 27
1.3.2　深层水平位移监测 …… 35
1.3.3　倾斜监测及裂缝监测 …… 36
1.3.4　支护结构内力监测 …… 37
1.3.5　土压力与孔隙水压力监测 …… 39
1.3.6　地下水位监测 …… 40
1.3.7　锚杆拉力监测 …… 40
1.3.8　坑外土体分层竖向位移监测 …… 40
1.3.9　基坑监测记录表表式 …… 42
1.4　误差分布的统计假设检验与平差 …… 49
1.4.1　误差与精度指标 …… 49
1.4.2　误差分布的统计假设检验 …… 51
1.4.3　平差计算 …… 56

1.5 基坑变形监测数据处理系统…… 62
1.5.1 概 述…… 62
1.5.2 闭合差的计算…… 64
1.5.3 双测站计算闭合差…… 65
1.5.4 双测站计算测点高程…… 66
1.5.5 垂直位移计算…… 70
1.5.6 水平位移(水位)计算…… 72
1.5.7 测斜(深层位移)计算…… 74
1.5.8 轴力计算…… 76
1.5.9 土压力(孔隙水压力)计算…… 77
1.5.10 基坑监测→工具→坐标转换 …… 78
1.5.11 基坑监测→工具→生成日报表 …… 78
1.5.12 日报表 …… 79
1.5.13 曲线 …… 80
1.5.14 保存 …… 81
1.5.15 三四等水准测量 …… 81
1.5.16 控制测量—支导线 …… 85
1.5.17 测量→控制测量→全站仪测量 …… 85
1.5.18 测量→平差→统计 …… 88
1.5.19 测量→平差→条件平差 …… 89
1.5.20 测量→平差→间接平差 …… 90
1.5.21 误差方程 …… 93

第 2 章 基坑监测的 VB 编程 …… 100

2.1 SpreadSheet 控件概述…… 100
2.2 通过可视化配置设定 OWC 的呈现效果及相关属性 …… 101
2.3 SpreadSheet 控件的常用属性…… 108
2.4 SpreadSheet 控件的常用方法…… 118
2.5 绘 图 …… 133
2.6 ChartSpace 对象 …… 141
2.6.1 ChartSpace 控件的对象 …… 141
2.6.2 ChartSpace 对象的属性 …… 143
2.7 Excel 表格复制到 SpreadSheet …… 161
2.8 SpreadSheet 表格打印…… 161
2.9 曲线拟合 …… 164
2.10 矩阵转置…… 167
2.11 解方程…… 168
2.12 坐标变换…… 169
2.13 求最大位移…… 171

2.14　求最大日变量…… 172
2.15　绘 *V*-*S*-*t* 曲线 …… 172
2.16　基坑监测程序…… 173
2.16.1　闭合差计算程序…… 173
2.16.2　三、四等水准测量程序 …… 176
2.16.3　双测站计算程序…… 181
2.16.4　测点高程及垂直位移计算程序…… 183
2.16.5　测斜计算程序…… 185
2.16.6　轴力计算程序…… 188
2.16.7　土(孔隙水)压力计算程序…… 190
2.17　应用程序的打包和安装…… 192

第 3 章　土体及围护结构变形估算…… 198

3.1　概　述 …… 198
3.1.1　围护结构变形 …… 198
3.1.2　坑外土体的位移 …… 202
3.1.3　降水对基坑变形的影响 …… 205
3.1.4　围护支撑的轴力 …… 205
3.2　土体沉降的弹性解 …… 207
3.2.1　弹性力学的基本方程 …… 207
3.2.2　土体应力及沉降计算 …… 209
3.2.2　力学参数的确定 …… 212
3.3　土体的固结变形 …… 215
3.3.1　一维固结理论 …… 216
3.3.2　分层总和法计算固结沉降 …… 218
3.4　围护桩的弯曲计算 …… 221
3.4.1　弹性地基梁的基本方程 …… 221
3.4.2　围护桩的变形计算 …… 227
3.4.3　围护桩计算参数确定 …… 232
3.5　有限元法计算土体的变形 …… 235
3.5.1　有限元法的基本方程 …… 235
3.5.2　梁结构的有限元分析原理 …… 236
3.5.3　平面问题的有限单元法 …… 238
3.6　弹塑性增量理论计算土体的变形 …… 243
3.6.1　土的弹塑性增量理论 …… 243
3.6.2　增量理论本构模型 …… 246
3.6.3　土体计算参数的确定 …… 248
3.6.4　等向硬化不可压缩材料的本构模型的矩阵表达式 …… 252

第 4 章　API 函数的应用 …… 256

4.1　API 函数概述 …… 256
4.1.1　图形及其文件格式 …… 258
4.1.2　颜色、像素和分辨率 …… 260
4.1.3　VB 的坐标系统 …… 261
4.2　元文件结构 …… 266
4.2.1　元文件(Metafiles) …… 266
4.3　常用的 API 函数 …… 273
4.3.1　基本的绘图函数 …… 273
4.3.2　元文件常用函数 …… 282
4.4　图形的缩放、平移和旋转 …… 288
4.5　图元复制和删除 …… 296
4.6　直线的延伸和修剪 …… 300
4.7　图形的线型、颜色与填充 …… 303
4.8　文字添加 …… 306
4.9　引用外部数据绘图 …… 312
4.10　坐标提取 …… 314
4.11　鼠标画线 …… 316
4.12　打印页设置对话框 …… 316
4.13　文件转换 …… 317
4.14　Scrollbar 控件 …… 318
4.15　画立方体 …… 319
4.16　画圆柱体 …… 320
4.17　设备场景函数 …… 323
4.18　综合程序 …… 331
4.19　应　用 …… 346
4.19.1　基坑围护图 …… 346
4.19.2　监测点布置图 …… 348
4.19.3　网格图 …… 349

参考书目 …… 350

第1章　基坑变形监测与数据处理

1.1　基坑监测基础知识

1.1.1　基坑工程监测概述

随着深基坑的大量涌现，基坑工程事故的发生数量也在不断增加，其造成的经济损失和社会影响也越来越大。因此，加强对施工过程中基坑围护体及周边环境的监测也越来越受到重视。

由于基坑工程中土体和结构的受力性质及地质条件复杂，在基坑支护结构设计和变形预估时，通常对地层条件和支护结构进行一定的简化和假定，因而与工程实际存在一定的差异；同时由于基坑支护体系所承受的土压力等荷载存在着较大的不确定性，加之基坑开挖与支护结构施工过程中基坑工作性状存在的时空效应，以及气象、地面堆载和施工等偶然因素的影响，使得在基坑工程设计时，对构件内力计算以及结构和土体变形的预估与工程实际情况之间存在较大的差异。因此，通过对实测数据的分析可以验证和改进设计的计算和方法。基坑工程事故的发生伴随着基坑围护体及临近土体结构的破坏，从而导致周边土体应力状态的显著的改变，使临近土体发生明显的变形，当周边建筑物、道路和管线距离基坑较近时，会造成邻近建筑物的倾斜和开裂，以及管道的渗漏等事故。因此，在基坑施工过程中，对基坑支护结构、基坑周围的土体和相邻的建(构)筑物进行全面、系统的监测十分必要。

1.基坑工程监测的目的

(1)为施工开展提供及时的反馈信息；

(2)作为设计与施工的重要补充手段；

(3)作为施工开挖方案修改的依据；

(4)积累经验以提高基坑工程的设计和施工水平。

2.基坑工程现场监测的对象

(1)支护结构；

(2)相关的自然环境；

(3)施工工况；

(4)地下水状况；

(5)基坑底部及周围土体；

(6)周围建(构)筑物；

(7)周围地下管线及地下设施;

(8)周围重要的道路;

(9)其他应监测的对象。

3.基坑工程等级(见表 1-1)

表 1-1　基坑工程等级

等　级	分类标准
一　级	1)重要工程或支护结构做主体结构的一部分 2)开挖深度大于 10m 3)与临近建筑物、重要设施的距离在开挖深度以内的基坑 4)基坑范围内有历史文物、近代优秀建筑、重要管线等需严加保护的基坑
二　级	一级和三级外的基坑属二级基坑
三　级	开挖深度小于 7m,且周围环境无特别要求时的基坑

4.基坑工程监测项目(见表 1-2)

表 1-2　建筑基坑工程监测项目

监测项目		一　级	二　级	三　级
(坡)顶水平位移		应测	应测	应测
墙(坡)顶竖向位移		应测	应测	应测
围护墙深层水平位移		应测	应测	宜测
土体深层水平位移		应测	应测	宜测
墙(桩)体内力		宜测	可测	可测
支撑内力		应测	宜测	可测
立柱竖向位移		应测	宜测	可测
锚杆、土钉拉力		应测	宜测	可测
坑底隆起	软土地区	宜测	可测	可测
	其他地区	可测	可测	可测
土压力		宜测	可测	可测
孔隙水压力		宜测	可测	可测
地下水位		应测	应测	宜测
土层分层竖向位移		宜测	可测	可测
墙后地表竖向位移		应测	应测	宜测
周围建(构)筑物变形	竖向位移	应测	应测	应测
	倾斜	应测	宜测	可测
	水平位移	宜测	可测	可测
	裂缝	应测	应测	应测
周围地下管线变形		应测	应测	应测

注:基坑类别的划分按照国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202－2002 执行。

基坑施工前应对周边建(构)筑物和有关设施的现状、裂缝开展情况等进行前期调查,并详细记录或拍照、摄像,作为施工前档案资料。前期调查范围宜达到基坑边线以外3倍基坑深度。监测范围宜达到基坑边线以外2倍以上的基坑深度,并符合工程保护范围的规定,或按工程设计要求确定。

5.巡视检查

变形监测除用先进的仪器设备测量监测点的变形量外,还应配合巡检工作,可早期发现基坑不稳定因素。巡检工作是变形监测中的基本方法之一,配合先进仪器监测,是防止基坑及周围环境隐患事故发生的重要手段。巡检主要依靠人的感觉器官(手、眼、鼻),对基坑及周围环境进行检查。巡检人员应由具高度责任感和丰富的监测经验的人员承担,并有一定分析能力。

巡视检查的内容包括:1)支护结构;2)施工工况;3)周边环境;4)监测设施。

巡视检查的基本要求:

(1)巡检工作的频率与仪器监测频率相同,但监测点变形量达到报警地段应重点检查。

检查地段主要在:

1)支撑差异沉降或支撑受力较大地段。

2)基坑渗水、流沙地段。

3)周围地表土体沉降段。

4)周围房屋沉降段。

5)管线变形报警地段。

6)在搅拌桩施工时,在施工段30m范围内,对地表、道路、地下管线、建筑物等进行裂缝观察。

7)其他异常段。

(2)巡检应作记录归档。

(3)裂缝观察的内容主要指裂缝的长度、宽度,其观察方法除了用裂缝计及仪器观察外,还可用下列方法测量裂缝的宽度与长度,供选择使用。

1)沿裂缝嵌入石膏粉。

2)裂缝拓片对比。

3)使用厘米(或毫米)量板。

4)对裂缝定期照相。

6.监测方案编写的依据

《建筑基坑工程监测技术规范》(GB50497—2009)规定,监测单位在基坑工程施工前须制定合理的监测方案。监测方案应包括工程概况、监测依据、监测目的、监测项目、测点布置、监测方法及精度、监测人员及主要仪器设备、监测频率、监测报警值、异常情况下的监测措施、监测数据的记录制度和处理方法、工序管理及信息反馈制度等。编写监测方案有关的规范及依据:

(1)《工程测量规范》(GB50026—2007);

(2)《建筑基坑工程监测技术规程》(GB50497—2009);

(3)《建筑变形测量规程》(JGJ8—2007);

(4)有关的地方规范和规程;

(5)岩土工程勘察成果文件;

(6)基坑工程设计说明书及图纸;

(7)基坑工程影响范围内的道路、地下管线、地下设施及周边建筑物的有关资料。

1.1.2 监测项目布设原则

1.基坑边坡顶部的水平位移和竖向位移监测点应沿基坑周边布置,基坑周边中部、阳角处应布置监测点。监测点间距不宜大于 20m,每边监测点数目不应少于 3 个。监测点宜设置在基坑边坡坡顶上。

2.围护墙顶部的水平位移和竖向位移监测点应沿围护墙的周边布置,围护墙周边中部、阳角处应布置监测点。监测点间距不宜大于 20m,每边监测点数目不应少于 3 个。监测点宜设置在冠梁上,布置在两根支撑的中间部位,布置在围护墙侧向变形(测斜)监测点处。

3.围护墙深层水平位移监测孔宜布置在围护墙周边的中心处,间距宜为 20～50m,每边至少应设 1 个监测孔。

当用测斜仪观测深层水平位移时,设置在围护墙内的测斜管深度不宜小于围护墙的入土深度。

4.围护墙内力监测点应布置在受力、变形较大且有代表性的部位,监测点数量和横向间距视具体情况而定,但每边至少应设 1 处监测点。竖直方向监测点应布置在弯矩较大处,监测点间距宜为 3～5m。监测点平面间距宜为 20～50m。

5.支撑内力监测点的布置应符合下列要求:

(1)监测点宜设置在支撑内力较大或在整个支撑系统中起关键作用的杆件上。

(2)每道支撑的内力监测点不应少于 3 个,各道支撑的监测点位置宜在竖向保持一致。

(3)钢支撑的监测截面根据测试仪器宜布置在支撑长度的 1/3 部位或支撑的端头,每个截面内传感器埋设不应少于 2 个。钢筋混凝土支撑的监测截面宜布置在支撑长度的 1/3 部位,每个截面内传感器埋设不宜少于 4 个。

(4)每个监测点截面内传感器的设置数量及布置应满足不同传感器测试要求。

6.立柱的竖向位移监测点宜布置在基坑中部、多根支撑交汇处、施工栈桥下、地质条件复杂处的立柱上,监测点不宜少于立柱总根数的 10%,逆作法施工的基坑不宜少于 20%,且不应少于 5 根。

监测点竖直布置在受力较大的立柱上,每个截面内传感器埋设不应少于 4 个,监测点宜布置在坑底以上立柱长度的 1/3 部位。

7.锚杆的拉力监测点应选择在受力较大且有代表性的位置,基坑每边跨中部位和地质条件复杂的区域宜布置监测点。每层锚杆的拉力监测点数量应为该层锚杆总数的 1%～3%,并不应少于 3 根。每层监测点在竖向上的位置宜保持一致。每根杆体上的测试点应设置在锚头附近位置。

8.土钉的拉力监测点应沿基坑周边布置,基坑周边中部、阳角处宜布置监测点。监测点水平间距不宜大于 30m,每层监测点数目不应少于 3 个。各层监测点在竖向上的位置宜保持一致。每根杆体上的测试点应设置在受力、变形有代表性的位置。

9.基坑底部隆起监测点应符合下列要求:

(1)监测点宜按纵向或横向剖面布置,剖面应选择在基坑的中央、距坑底边约 1/4 坑底

宽度处以及其他能反映变形特征的位置。数量不应少于2个。纵向或横向有多个监测剖面时，其间距宜为20～50m。

(2)同一剖面上监测点横向间距宜为10～20m，数量不宜少于3个。

10.围护墙侧向土压力监测点的布置应符合下列要求：

(1)监测点应布置在受力、土质条件变化较大或有代表性的部位。

(2)平面布置上基坑每边不宜少于2个测点，监测点平面间距宜为20～50m。在竖向布置上，测点间距宜为2～5m，测点下部宜密。

(3)当按土层分布情况布设时，每层应至少布设1个测点，且布置在各层土的中部。

(4)土压力盒应紧贴围护墙布置，宜预设在围护墙的迎土面一侧。

11.孔隙水压力监测点宜布置在基坑受力、变形较大或有代表性的部位。监测点竖向布置宜在水压力变化影响深度范围内按土层分布情况布设，监测点竖向间距一般为2～5m，并不宜少于3个。

12.基坑内地下水位监测点的布置应符合下列要求：

(1)当采用深井降水时，水位监测点宜布置在基坑中央和两相邻降水井的中间部位；当采用轻型井点、喷射井点降水时，水位监测点宜布置在基坑中央和周边拐角处，监测点数量视具体情况确定。

(2)水位监测管的埋置深度(管底标高)应在最低设计水位之下3～5m。对于需要降低承压水水位的基坑工程，水位监测管埋置深度应满足降水设计要求。

13.基坑外地下水位监测点的布置应符合下列要求：

(1)水位监测点应沿基坑周边、被保护对象(如建筑物、地下管线等)周边或在两者之间布置，监测点间距宜为20～50m。相邻建(构)筑物、重要的地下管线或管线密集处应布置水位监测点，如有止水帷幕，宜布置在止水帷幕的外侧约2m处。

(2)水位监测管的埋置深度(管底标高)应在控制地下水位之下3～5m。对于需要降低承压水水位的基坑工程，水位监测管埋置深度应满足设计要求。

(3)回灌井点观测井应设置在回灌井点与被保护对象之间。

14.土体深层侧向变形(测斜)监测点布置应符合下列要求：

测点应布置在邻近需要重点监护的地下设施或建(构)筑物周围的土体中，测点布置间距宜为围护墙侧向变形监测点布置间距的1～2倍，并宜布置在围护墙顶部水平位移监测点旁，每侧边监测点至少1个；土体侧向变形监测(测斜)孔埋设深度宜大于围护墙(桩)埋深的5～10m。

15.土体分层垂直位移监测点布置应符合下列要求：

监测点应布置在紧邻保护对象处，监测点在竖向上宜布置在各土层分界面上，在厚度较大土层中部应适当加密；测点布置深度宜大于2.5倍基坑开挖深度，且不应小于基坑围护结构以下5～10m。

16.周边建(构)筑物的测点布置原则

(1)从基坑边缘以外1～3倍开挖深度范围内需要保护的建(构)筑物、地下管线等均应作为监控对象。必要时，尚应扩大监控范围。

(2)位于重要保护对象(如地铁、上游引水、合流污水等)安全保护区范围内的监测点的布置，尚应满足相关部门的技术要求。

(3)建(构)筑物的竖向位移监测点布置应符合下列要求:

1)建(构)筑物四角、沿外墙每 10～15m 处或每隔 2～3 根柱基上,且每边不少于 3 个监测点;

2)不同地基或基础的分界处;

3)建(构)筑物不同结构的分界处;

4)变形缝、抗震缝或严重开裂处的两侧;

5)新、旧建筑物或高、低建筑物交接处的两侧;

6)烟囱、水塔和大型储仓罐等高耸构筑物基础轴线的对称部位,每一构筑物不得少于 4 点。

(4)建(构)筑物的水平位移监测点应布置在建筑物的墙角、柱基及裂缝的两端,每侧墙体的监测点不应少于 3 处。

(5)建(构)筑物倾斜监测点应符合下列要求:

1)监测点宜布置在建(构)筑物角点、变形缝或抗震缝两侧的承重柱或墙上;

2)监测点应沿主体顶部、底部对应布设,上、下监测点应布置在同一竖直线上;

3)当采用铅锤观测法、激光铅直仪观测法时,应保证上、下测点之间具有一定的通视条件。

(6)建(构)筑物的裂缝监测点应选择有代表性的裂缝进行布置,在基坑施工期间当发现新裂缝或原有裂缝有增大趋势时,应及时增设监测点。每一条裂缝的测点至少设 2 组,裂缝的最宽处及裂缝末端宜设置测点。

(7)地下管线监测点的布置应符合下列要求:

1)应根据管线年份、类型、材料、尺寸及现状等情况,确定监测点设置。

2)监测点宜布置在管线的节点、转角点和变形曲率较大的部位,监测点平面间距宜为 15～25m,并宜延伸至基坑以外 20m。

3)上水、煤气、暖气等压力管线宜设置直接监测点。直接监测点应设置在管线上,也可以利用阀门开关、抽气孔以及检查井等管线设备作为监测点。

4)在无法埋设直接监测点的部位,可利用埋设套管法设置监测点,也可采用模拟式测点将监测点设置在靠近管线埋深部位的土体中。

(8)基坑周边地表竖向沉降监测点的布置范围宜为基坑深度的 1～3 倍,监测剖面宜设在坑边中部或其他有代表性的部位,并与坑边垂直,监测剖面数量视具体情况确定。每个监测剖面上的监测点数量不宜少于 5 个。

(9)土体分层竖向位移监测孔应布置在有代表性的部位,数量视具体情况确定,并形成监测剖面。同一监测孔的测点宜沿竖向布置在各层土内,数量与深度应根据具体情况确定,在厚度较大的土层中应适当加密。

1.1.3 监测频率及报警值

1.监测频率

监测项目的监测频率应考虑基坑工程等级、基坑及地下工程的不同施工阶段以及周边环境、自然条件的变化。当监测值相对稳定时,可适当降低监测频率。对于应测项目,在无数据异常和事故征兆的情况下,开挖后仪器监测频率的确定可参照表 1-3。

表 1-3　现场仪器监测的监测频率

基坑类别	施工进程		基坑设计开挖深度			
			≤5m	5～10m	10～15m	>15m
一　级	开挖深度(m)	≤5	1次/1d	1次/2d	1次 2d	1次/2d
		5～10		1次/1d	1次/1d	1次/1d
		>10			2次/1d	2次/1d
	底板浇筑后时间(d)	≤7	1次/1d	1次/1d	2次/1d	2次/1d
		7～14	1次/3d	1次/2d	1次/1d	1次/1d
		14～28	1次/5d	1次/3d	1次/2d	1次/1d
		>28	1次/7d	1次/5d	1次/3d	1次/3d
二　级	开挖深度(m)	≤5	1次/2d	1次/2d		
		5～10		1次/1d		
	底板浇筑后时间(d)	≤7	1次/2d	1次/2d		
		7～14	1次/3d	1次/3d		
		14～28	1次/7d	1次/5d		
		>28	1次/10d	1次/10d		

注：(1)当基坑工程等级为三级时，监测频率可视具体情况要求适当降低；
(2)基坑工程施工至开挖前的监测频率视具体情况确定；
(3)宜测、可测项目的仪器监测频率可视具体情况要求适当降低；
(4)有支撑的支护结构各道支撑开始拆除到拆除完成后 3d(d 指“天”)内监测频率应为 1 次/1d。

当出现下列情况之一时，应加强监测，提高监测频率，并及时向委托方及相关单位报告监测结果：

(1)监测数据达到报警值；
(2)监测数据变化量较大或者速率加快；
(3)存在勘察中未发现的不良地质条件；
(4)超深、超长开挖或未及时加撑等未按设计施工；
(5)基坑及周边大量积水、长时间连续降雨、市政管道出现泄漏；
(6)基坑附近地面荷载突然增大或超过设计限值；
(7)支护结构出现开裂；
(8)周边地面出现突然较大沉降或严重开裂；
(9)邻近的建(构)筑物出现突然较大沉降、不均匀沉降或严重开裂；
(10)基坑底部、坡体或支护结构出现管涌、渗漏或流砂等现象；
(11)基坑工程发生事故后重新组织施工；
(12)出现其他影响基坑及周边环境安全的异常情况。

当有危险事故征兆时，应实时跟踪监测。

2. 监测报警值

(1)周边环境监测报警值的限值应根据主管部门的要求确定，如无具体规定，可参考表

1-4 确定。

表 1-4　建筑基坑工程周边环境监测报警值

监测对象 \ 项目				累计值		变化速率/mm·d^{-1}	备　注
				绝对值/mm	倾斜		
1	地下水位变化			1000	—	500	—
2	管线位移	刚性管道	压力	10～30	—	1～3	直接观察点数据
			非压力	10～40	—	3～5	
		柔性管线		10～40	—	3～5	—
3	邻近建(构)筑物	最大沉降		10～60	—	—	—
		差异沉降		—	2/1000	0.1H/1000	—

注：1. H——为建(构)筑物承重结构高度。

2. 第 3 项累计值取最大沉降和差异沉降两者的小值。

(2)基坑及支护结构监测报警值应根据监测项目、支护结构的特点和基坑等级确定，可参考表 1-5。

当出现下列情况之一时，必须立即报警，若情况比较严重，应立即停止施工，并对基坑支护结构和周边的保护对象采取应急措施。

(1)当监测数据达到报警值；

(2)基坑支护结构或周边土体的位移出现异常情况或基坑出现渗漏、流砂、管涌、隆起或陷落等；

(3)基坑支护结构的支撑或锚杆体系出现过大变形、压屈、断裂、松弛或拔出的迹象；

(4)周边建(构)筑物的结构部分、周边地面出现可能发展的变形裂缝或较严重的突发裂缝；

(5)根据当地工程经验判断，出现其他必须报警的情况。

表 1-5　基坑及支护结构监测报警值

序号	监测项目	支护结构类型	基坑类别								
			一　级			二　级			三　级		
			累计值		变化速率/mm·d^{-1}	累计值		变化速率/mm·d^{-1}	累计值		变化速率/mm·d^{-1}
			累计值/mm	相对基坑深度(h)控制值		累计值/mm	相对基坑深度(h)控制值		累计值/mm	相对基坑深度(h)控制值	
1	墙(坡)顶水平位移	放坡、土钉墙、喷锚支护、水泥土墙	30～35	0.3%～0.4%	5～10	50～60	0.6%～0.8%	10～15	70～80	0.8%～1.0%	15～20
		钢板桩、灌注桩、型钢水泥土墙、地下连续墙	25～30	0.2%～0.3%	2～3	40～50	0.5%～0.7%	4～6	60～70	0.6%～0.8%	8～10

续表

序号	监测项目	支护结构类型	基坑类别								
			一级			二级			三级		
			累计值		变化速率/mm·d^{-1}	累计值		变化速率/mm·d^{-1}	累计值		变化速率/mm·d^{-1}
			累计值/mm	相对基坑深度(h)控制值		累计值/mm	相对基坑深度(h)控制值		累计值/mm	相对基坑深度(h)控制值	
2	墙(坡)顶竖向位移	放坡、土钉墙、喷锚支护、水泥土墙	20～40	0.3%～0.4%	3～5	50～60	0.6%～0.8%	5～8	70～80	0.8%～1.0%	8～10
		钢板桩、灌注桩、型钢水泥土墙、地下连续墙	10～20	0.1%～0.2%	2～3	25～30	0.3%～0.5%	3～4	35～40	0.5%～0.6%	4～5
3	围护墙深层水平位移	水泥土墙	30～35	0.3%～0.4%	5～10	50～60	0.6%～0.8%	10～15	70～80	0.8%～1.0%	15～20
		钢板桩	50～60	0.6%～0.7%	2～3	80～85	0.7%～0.8%	4～6	90～100	0.9%～1.0%	8～10
		灌注桩、型钢水泥土墙	45～55	0.5%～0.6%		75～80	0.7%～0.8%		80～90	0.9%～1.0%	
		地下连续墙	40～50	0.4%～0.5%		70～75	0.7%～0.8%		80～90	0.9%～1.0%	
4	立柱竖向位移		25～35		2～3	35～45		4～6	55～65		8～10
5	基坑周边地表竖向位移		25～35		2～3	50～60		4～6	60～80		8～10
6	坑底回弹		25～35		2～3	50～60		4～6	60～80		8～10
7	支撑内力		(60%～70%)f			(70%～80%)f			(80%～90%)f		
8	墙体内力										
9	锚杆拉力										
10	土压力										
11	孔隙水压力										

注：(1)h——基坑设计开挖深度；f——设计极限值。

(2)累计值取绝对值和相对基坑深度(h)控制值两者的小值。

(3)当监测项目的变化速率连续3天超过报警值的50%，应报警。

1.2 监测仪器

1.2.1 振弦式孔隙水压力计

KJ系列(生产厂家：金坛市金源土木工程仪器厂)型振弦式孔隙水压力计(渗压计)如图1-1所示。



图 1-1

1. 主要技术指标(见表 1-6)

表 1-6　KJ 系列型振弦式孔隙水压力计技术指标

型　号		KJ-40		KJ-41	KJ-46		KJ-47
规格		2、4、6、8、10、16、25、40			1、2、4	1、2、4、6、8、10、16、25、40	
外形尺寸	最大直径/mm	58	58	30	30	117～128	117～128
	长度/mm	220	250	130	180	35～40	85～90
压力测量范围/MPa		0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.6、2.5、4.0			0.1、0.2、0.4	0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.6、2.5、4.0	
分辨率(%F·S)		≤0.07	≤0.05		≤0.02	≤0.07	≤0.05
测量范围/℃		−25～+60					
测量精度/℃		±0.5					

KJ 系列振弦式孔隙水压力计是一种供长期测量混凝土或地基内的孔隙(渗透)水压力，并可同步测量埋设点温度的数字式压力传感器。加装配套附件即可在测压管、地基钻孔中使用。

2. 埋设与安装

孔隙水压计的埋设可采用钻孔法和压入法。孔隙水压力探头埋设前符合下面两个要求：

①进水条件：必须确保仪器的进水口畅通，谨防水泥浆堵塞进水口，为此应在进水口用中砂、细砂做成人工的过滤层，滤层直径为 8cm。

②仪器预饱和：孔隙水压力计前盖空腹内有一定容积，需要一定的水量才能充填满。因此，在仪器埋设前必须将前盖空腹装满水，排除水泡，滤层的中细砂也需充分饱和。同时要防止上下层水压力的贯通。

(1)钻孔法

埋设点采用钻机钻孔，钻孔直径宜为 110～130mm，不宜使用泥浆护壁成孔，钻孔应圆