

Control & Forecast of Environmental Pollution

环境污染控制与预报

张孟威 编著

中国建筑工业出版社

Control & Forecast of Environmental Pollution

环境污染控制与预报

张孟威 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境污染控制与预报 / 张孟威编著. —北京: 中国建筑工程工业出版社, 2014. 9

ISBN 978-7-112-16989-4

I. ①环… II. ①张… III. ①环境污染-污染控制 ②环境监测 IV. ①X506 ②X83

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第131004号

本书共有三篇, 各篇相互依存为一体。第一篇适用于监测数据或实验数据的处理, 帮您分析该批数据的规律性; 第二篇是本书的重点, 着重解决饮用水水源污染及大气雾霾天气的防治, 解决环境污染控制与预报问题; 第三篇用于环境规划和环境管理, 为环境监测方案、环境标准、环境法规及排污收费办法的制定, 提供了定量的依据。本书涉及的饮用水水源污染, 包括地上水域(河流、湖泊、水库、近海河口)及地下水域污染防治, 大气雾霾防治及其他大气有毒有害气体的防治。

本书由浅入深, 循序渐进, 通俗易懂并配有例题, 具有可读性、实用性强的特点, 配有计算软件, 使得本书可操作性强, 提供的理论和方法具有创新性和通用性。本书可作为监测台站和科研院所、环境管理部门的工具书。亦可作为院校师生的教材。还可供其他专业人员, 如水文地质、气象及有关工业、农业、卫生部门的监测人员、管理人员、工程师、科研人员使用。

责任编辑: 于 莉

责任设计: 张 虹

责任校对: 李美娜 陈晶晶

环境污染控制与预报

张孟威 编著

*

中国建筑工程工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京京点图文设计有限公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19½ 字数: 475 千字

2015年1月第一版 2015年1月第一次印刷

定价: 68.00 元(含光盘)

ISBN 978-7-112-16989-4

(25769)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



前 言

本书遵照定性定量相结合地解决环境污染问题的原则,并基于物质平衡及守恒原理,提供了解决环境污染问题的基础理论与应用。对于有志于解决我国环境污染问题的人们。您必须从本书开始,进而结合现实的污染问题,在应用本书的理论方法的同时,进一步推演出更新的污染控制与预报方法。最终解决我国的环境污染问题。

本书受到读者的欢迎,主要是内容好。本书首先定性地分析了环境污染问题;进而作了定量分析,从中给出了可行的数学方法及其算例;在此基础上,提供了将全部内容融会贯通的计算机软件。这些软件一方面验证了书中理论的正确性和严密性;同时便于理论联系实际。使得本书成为集可读性、实用性、创新性、通用性及可操作性于一体的好书。

本书共有三篇,各篇相互依存为一体。第一篇适用于监测数据或实验数据的处理与分析,可找到数据的规律性;第二篇是本书的重点,着重解决饮用水水源污染及大气雾霾天气的防治,适用于环境污染控制与预报;第三篇用于环境规划和环境管理,为环境监测方案、环境标准、环境法规及排污收费办法的制定,提供了定量的依据。

启动书中软件,可打印出以下结果,如:

(1) 可打印出环境污染状况报告书,例如:

1) 可预报大气污染,大气颗粒物, SO_2 , CO_2 , NO_2 , 雾霾,粉尘及有害重金属;可预报雾霾污染的地面污染源种类及其成因比率,便于依次治理,最终根治雾霾污染。

2) 可预报水域污染状况:如河流热污染、油污染、溶解氧, BOD 等有害物质,预报湖泊与水库、近海河口污染状况及其治理方案;便于根治饮用水水源污染问题。

3) 可预报生物圈元素循环状况:如碳、氮元素在自然界(大气、水域、土壤地层、生物圈)循环状况及其大气温室效应,气温变化的预报。

(2) 若进行环境影响评价,可打印出环境影响评价污染指数;

(3) 若进行区域环境研究,可打印出区域环境污染物迁移转化结果;

(4) 可打印出环境监测或科研实验数据的多种分析报告(便于直接编纂学术论文);

(5) 对于环境规划,可打印环境治理规划报告书;

(6) 用于环境数据处理,可打印环境监测数据分析处理结果(便于直接编写监测报告书);

(7) 若作为标准研制,可打印环境标准制定报告书及排污收费办法制定依据报告书;

(8) 若作为教材,可打印出学生作业及老师备课题材的计算结果等。

总之,当输入少量监测数据后,软件可立即打印出各种成文所需要的报告书。软件易学易用,方便。这样的好书和软件令人欣喜,可说在现今环境出版物中难能可贵。

作者毕业于清华大学土木与环境工程系,继而毕业于该校数学力学系,毕业后留校从事教学及科研工作,比较熟悉教学与教材编写,作者经历有助于本书成为一本好

教材；从清华到中科院从事环境监测、教学及科研工作，深知这类部门需要什么样的工具书和参考资料，经历有助于本书成为这些单位，人人可读、人人可用的案边不离的工具和参考书。

本书的出版得到出版社的大力支持，表示感谢！敬请各位读者帮助、指正。谢谢你们！

张孟威 2014-4-10 于北京

Email: ZMWKDEMENG@YAHOO.COM

目 录

第 1 篇 数据处理与预报

第 1 章 数据处理与预报方程	2
1.1 数据的基本特征数	3
1.2 数据子样与总体	
基本特征数预报软件 [RM1_ 特征数预报]	4
1.3 插值预报方程	8
1.3.1 通过两个监测点的插值公式	9
1.3.2 通过 3 个监测点的插值公式	9
1.3.3 通过 $n+1$ 个监测点的插值公式	11
1.4 回归预报方程	
[RM1A_ 回归预报] 软件	12
1.4.1 n 个监测点的回归公式	12
1.4.2 n 个监测点的回归公式实例	14
1.4.3 回归预报方程软件 [RM1A_ 回归预报]	14
1.5 插值及回归预报软件 RM2	15
1.5.1 [RM2_ 插值及回归预报] 功能	15
1.5.2 软件输入输出及例题计算结果	15
第 2 章 线性预报方程	16
2.1 线性预报方程的建立	16
2.1.1 计算原理	16
2.1.2 计算相关系数 R 及剩余标准差 S	17
2.1.3 回归方程式 $Y = a + b \cdot X$ 的预报和控制问题	19
2.2 线性预报方程实例	20
2.2.1 环境气象实例	20
2.2.2 环境噪声实例	21
2.3 线性预报方程软件 RM3	22
2.3.1 软件编制原理及功能	22
2.3.2 软件运行步骤	22

2.3.3	软件例题	23
2.3.4	软件界面	23
第 3 章	非线性预报方程	25
3.1	非线性方程的建立	25
3.1.1	非线性方程的建立方法	25
3.1.2	非线性方程的建立方法例题	25
3.1.3	非线性方程式常用图形	26
3.1.4	非线性方程式线性化方法	29
3.2	非线性预报方程实例	30
3.2.1	实例 1——环境水力学参数	31
3.2.2	实例 2——河道中生物降解污染物	31
3.2.3	实例 3——土壤中铝溶出量	32
3.3	非线性预报方程软件 RM4	33
3.3.1	软件编制原理及功能	33
3.3.2	软件运行步骤	34
3.3.3	软件例题	34
3.3.4	软件界面	34
第 4 章	大气 NO₂ 浓度预报	36
4.1	大气 NO ₂ 浓度预报方法	36
4.1.1	环境污染物的多因素问题	36
4.1.2	环境污染物多因素问题的计算方法	36
4.2	大气 NO ₂ 浓度预报实例	38
4.2.1	大气中 NO ₂ 浓度预报实例	38
4.2.2	计算及结果	38
4.3	大气 NO ₂ 浓度预报相关分析	39
4.3.1	多因素相关分析问题	39
4.3.2	多因素相关分析计算方法	40
4.3.3	多因素相关分析例题	40
4.4	大气 NO ₂ 浓度预报软件 RM5	41
4.4.1	软件编制原理及功能	41
4.4.2	软件运行步骤	42
4.4.3	软件界面	42
第 5 章	大气 NO₂ 浓度最优预报	44
5.1	最优问题及计算方法	44

5.1.1	控制与预报的最优方程	44
5.1.2	多因素最优方程求法	44
5.2	大气 NO ₂ 浓度最优预报实例	46
5.2.1	实例 1——大气中 NO ₂ 浓度预报	46
5.2.2	实例 2——大气中 NO ₂ 浓度预报	48
5.3	大气 NO ₂ 浓度最优预报软件 RM6	48
5.3.1	软件编制原理及功能	48
5.3.2	软件运行步骤	49
5.3.3	软件界面	49
5.3.4	软件例题计算	50
第 6 章	雾霾污染源识别	51
6.1	雾霾污染源识别问题及解法	51
6.1.1	雾霾污染源识别问题	51
6.1.2	雾霾污染源识别因子分析解法	52
6.2	雾霾与地面污染源识别实例	58
6.2.1	实例 1——北京某地区雾霾颗粒物污染源的识别	58
6.2.2	实例 2——美国波士顿地区雾霾颗粒物污染源识别	68
6.2.3	实例 3——(RM7 软件 例题 1)	70
6.3	雾霾污染源识别预报软件 RM7	73
6.3.1	软件编制原理及功能	73
6.3.2	软件运行步骤	74
6.3.3	软件界面	75
6.3.4	软件例题计算	75
第 7 章	群分析预报	76
7.1	监测数据群分析法	76
7.1.1	原始数据的标准化及正规化	77
7.1.2	计算分类尺度	78
7.1.3	分类树形图的绘制	84
7.2	群分析预报实例	91
7.2.1	天津地区土壤环境中若干元素的群分析	91
7.2.2	环境污染源因子的群分析	92
7.3	群分析预报软件 RM8	94
7.3.1	软件编制原理及功能	94
7.3.2	软件运行步骤	94

7.3.3	软件界面	95
7.3.4	软件例题	95
第 8 章	模糊聚类预报	96
8.1	模糊聚类预报方法	96
8.1.1	样品与聚类因子的确定	97
8.1.2	对数据作归一化处理	97
8.1.3	标 定	98
8.1.4	模糊等价关系矩阵	100
8.1.5	分类——建立模糊动态聚类图	100
8.1.6	进行环境评价	101
8.2	模糊聚类预报举例	101
8.3	模糊聚类预报软件 RM9	108
8.3.1	软件编制原理及功能	108
8.3.2	软件运行步骤	108
8.3.3	软件界面	109
8.3.4	软件例题计算	109
第 9 章	环境质量评价	110
9.1	水质评价	110
9.1.1	计算污染指数	110
9.1.2	环境质量评价准则	112
9.2	水质评价实例	112
9.3	河流水质评价软件 RM10	115
9.3.1	软件编制原理及功能	115
9.3.2	软件运行步骤	115
9.3.3	软件界面	116
9.3.4	软件例题计算	116

第 2 篇 环境污染的控制与预报

第 10 章	环境污染的控制与预报概要	118
10.1	环境污染的控制与预报目的和任务	118
10.1.1	环境污染控制与预报问题举例	118
10.1.2	环境污染控制与预报的基本方法	118

10.2	控制与预报基本方程及其解法	120
10.2.1	控制与预报基本方程	120
10.2.2	基本方程的简化	120
10.2.3	模式方程的举例	121
第 11 章	污染物迁移扩散预报方程	124
11.1	水的迁移预报方程	124
11.2	污染物的迁移预报方程	125
11.2.1	污染物的一维迁移方程	125
11.2.2	迁移方程最普遍的形式——三维方程	127
第 12 章	污染物迁移预报方程的解算	128
12.1	基本方程的解析解法	128
12.1.1	稳态解	128
12.1.2	特征线法解河流水质方程	129
12.1.3	拉普拉斯 (Laplace) 变换法解迁移方程	130
12.2	迁移方程的有限差分解法	134
12.2.1	显式差分体系	134
12.2.2	隐式及混合差分体系	136
12.2.3	有限差分法数值性离散问题	137
12.3	迁移方程的有限元解法	138
12.3.1	有限元法的基本原理	138
12.3.2	有限元法的解算公式	141
12.3.3	有限元法解方程简例	142
12.3.4	有限元法解河流迁移方程实例	144
12.4	弥散系数 K 的测定方法	148
12.5	水力学计算式	149
第 13 章	河流污染的控制与预报	150
13.1	河流污染迁移预报方程	150
13.2	河流污染预报方程的参数估计	
	生化需氧量 BOD 总量及其衰变系数估计软件 RM11	
	河流水质污染预报参数估计软件 RM12	154
13.2.1	生化需氧量 BOD 总量及其衰变系数的估计	154
13.2.2	复氧系数 K_2 的估计	157
13.2.3	河流污染预报方程的参数估计	157

13.3 河流溶解氧的控制与预报

 河流溶解氧的预报软件 RM12A 162

 13.3.1 河流溶解氧模式 162

 13.3.2 河流溶解氧预报举例 165

 13.3.3 河流溶解氧的预报软件 RM12A 166

13.4 河流热污染的控制与预报 170

 13.4.1 河流热污染的控制与预报（一）——非线性模式

 河流热污染的控制与预报 1 软件 RM13 170

 13.4.2 河流热污染的控制与预报（二）——线性模式

 河流热污染的控制与预报 2 软件 RM14 178

第 14 章 湖泊与水库污染的控制与预报 183

 14.1 湖泊与水库模式基本方程 183

 14.2 湖泊与水库生态模式 184

 14.2.1 单一组分的生态模式 184

 14.2.2 多组分的湖泊模式 185

 14.3 深湖与水库温度模式 189

 14.3.1 深湖与水库中的温度变化 189

 14.3.2 建立湖泊温度模式的主要假定 190

 14.3.3 深湖与水库的温度模式 191

 14.3.4 MIT 水库模式的应用 195

第 15 章 河口污染的控制与预报 196

 15.1 河口污染基本方程 196

 15.1.1 生化需氧量 BOD 方程 196

 15.1.2 氧亏方程 197

 15.2 河口污染非稳态方程 197

 15.3 河口污染一维稳态方程 198

 15.3.1 河口污染一维稳态方程 198

 15.3.2 河口污染一维稳态方程例题 199

 15.3.3 河口生化需氧量一维稳态方程软件 RM19 201

 15.4 河口污染二维稳态方程 203

 15.4.1 河口污染二维稳态方程 203

 15.4.2 BOD 的二维稳态方程例题 204

 15.4.3 河口生化需氧量二维稳态方程软件 RM20 209

第 16 章 地下水污染的控制与预报	212
16.1 地下水污染的控制与预报目的和任务	212
16.2 地下水污染的控制与预报模型	213
16.2.1 区域地下水污染迁移方程	213
16.2.2 迁移方程的解析解法	214
16.3 地下水污染的控制与预报应用	220
16.3.1 地下水污染的控制与预报例题	220
16.3.2 地下水污染的控制与预报软件 RM17	221
第 17 章 大气污染的控制与预报	225
17.1 箱型模式	225
17.1.1 一维箱型模式	225
17.1.2 二维箱型模式	226
17.1.3 三维箱型模式	228
17.2 高斯扩散模式	228
17.2.1 大气污染物扩散的基本方程	228
17.2.2 基本方程的解——高斯扩散模式	230
17.3 大气稳定度	236
17.3.1 帕斯奎尔分级法	236
17.3.2 汤纳弥散等级划分法	236
17.4 大气汞污染预报	237
17.4.1 汉沽区汞污染预报范围及原则	238
17.4.2 大气中汞扩散的数学模式	239
17.4.3 数学模式的检验、汞污染预报	241
17.4.4 大气中汞污染控制与预报软件 RM15	243
17.5 雾霾污染的控制与预报	247
17.5.1 雾霾天气的形成	247
17.5.2 雾霾污染的防治	249
17.5.3 雾霾污染的控制与预报	250

第 3 篇 环境治理系统分析

第 18 章 环境治理系统分析预报	260
18.1 环境治理系统分析方法	260
18.2 环境治理系统分析举例	261

18.2.1 排污收费与企业管理的系统分析例题 261

18.2.2 大气污染防治的系统分析例题 263

18.3 河流污染防治规划系统分析 265

18.3.1 河流污染防治规划系统分析方法 265

18.3.2 河流污染防治规划举例 269

18.4 河口污染防治规划系统分析 272

18.4.1 河口数学模式 272

18.4.2 治理规划的制订 277

18.5 环境治理系统分析预报软件 RM16 281

18.5.1 软件编制原理及功能 281

18.5.2 软件运行步骤 281

18.5.3 软件界面 281

18.5.4 软件例题计算 282

第 19 章 大气温室效应系统分析预报 283

19.1 大气温室效应系统分析 283

19.2 大气温室效应动态模式 283

19.2.1 碳、氮元素生态模型的建立 283

19.2.2 碳、氮元素生态模式 284

19.3 大气温室效应动态模式解算 290

19.3.1 模式的基本解法 290

19.3.2 温室效应动态模式验证 290

19.3.3 模式方程的参数估计 291

19.4 大气温室效应控制与预报结果讨论 293

附录 295

参考文献 299

第 1 篇 数据处理与预报

通过对环境监测数据的处理与分析，可正确认识这批监测数据并从中找到规律，以便科学地评价环境，为环境污染的控制与预报提供依据。本篇介绍了监测数据处理的数学方法，为了便于应用这些数学方法，提供了相应的计算机软件。

本篇根据环境监测数据的特点，分别提出了不同的数学方法。数据在维数上的特点，包括维数是一维的还是多维的，即，是单变量（只有一种变量，将在第 1、2、3 章中讲述）还是多变量（第 4 章及后续各章讲述）。数据在时空方面的特点，如取样（监测数据）的范围，是土壤中、水域，还是大气中的样品？本书分别提出不同的数学方法。但这些数学方法当有维数差别时，是不能混用的，而在时空不同时，是可以相互借鉴的。如处理单变量的数学方法，是不能解决多变量问题的，但对于本书解决大气问题的因子分析方法（该法是一种由果及因的分析方法），有可能去解决水域或土壤问题。对本书提供的数学方法应作深入了解，可先对本书通读，然后按照监测数据的特点，选用最适用的数学方法。

第 1 章 数据处理与预报方程

对一组监测数据进行处理和分析，有效的办法是找到数据的函数关系，即找到数据的表达式。找表达式的方法可归纳为三类。

(1) 第一类方法。当监测数据为一维时，即监测数据为一维变量 $x_1, x_2, \dots, x_n$ (没有对应的 y 值)。此种情况，若对其进行分析，只能从求特征数开始，然后作直方图。如图 1-1 用监测数据作直方图描绘出函数曲线关系 (图中用虚线表示)，再对函数曲线进行分析。对此，本章 1.1 节及 1.2 节作了分析。并提供了相应软件。

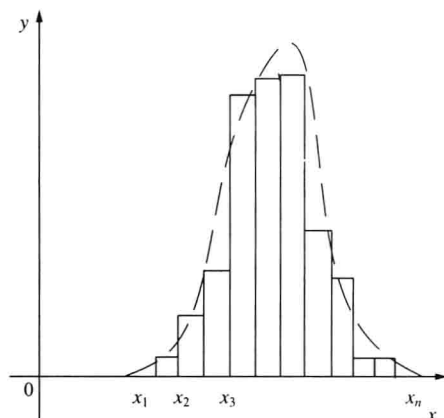


图 1-1 一维监测数据作直方图

(2) 第二类方法。监测数据为二维的，即 x 与 y 有对应值，这类问题分为两种情况，分别有两种解法，一类是插值法，如图 1-2 函数曲线通过监测点 (插值问题)。在本章 1.3 节将讲解插值法，可直接找到监测数据的函数关系。即 x 与 y 的对应关系，插值公式为 $y=f(x)$ 。

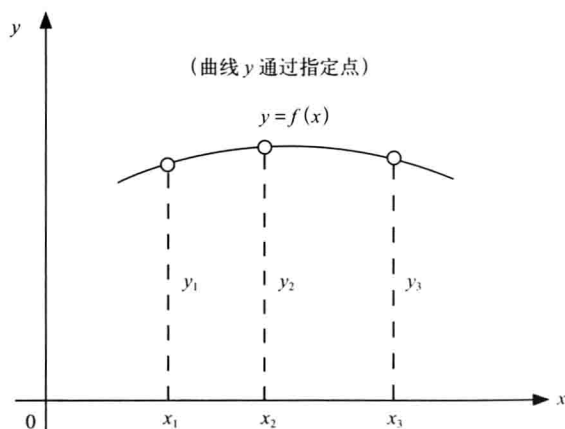


图 1-2 函数曲线通过监测点 (插值问题)

(3) 第三类方法。监测数据为二维的, x 与 y 有对应值, 但只要求监测点接近函数曲线, 不要求监测点均在函数曲线上。此种情况需要采用回归法, 如图 1-3 所示。将在 1.4 节讲解回归方法。

用此法找到监测数据的函数关系, 即回归公式 $y=f(x)$, 亦给出相应软件 [RM1A_ 回归预报]。1.5 节综合了前两节的方法, 一组监测数据, 同时给出用两种方法分析的计算结果, 便于两种结果对比、选用。亦提供了插值公式与回归公式计算软件 [RM2_ 插值及回归预报]。

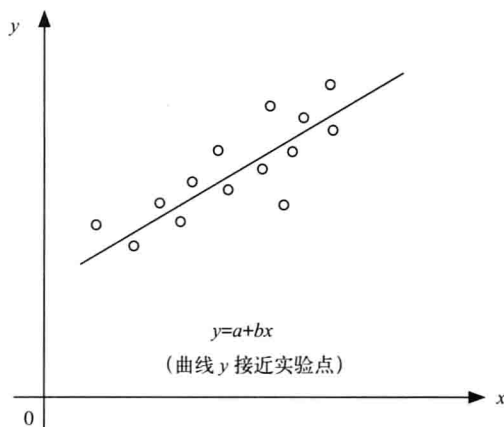


图 1-3 函数曲线接近监测点 (回归问题)

1.1 数据的基本特征数

本节计算监测数据的 7 项基本特征数, 为 1.2 节引用监测数据作直方图作了准备。假定从总体中抽取一个子样, 即一组监测数据 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 则可计算得到下列 7 项基本特征数:

(1) 子样均值 $\bar{X}$

表示子样的算术平均值, 如公式 (1-1) 所示:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-1)$$

式中 $\sum_{i=1}^n x_i$ ——从 x_1 加到 x_n 。

(2) 极差 R

表示数据中最大值与最小值之差, 反映数据绝对的波动值, 如公式 (1-2) 所示:

$$R = \max \{x_1, x_2, \dots, x_n\} - \min \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1-2)$$

式中 $\max \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 、 $\min \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ——分别表示 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 中最大值和最小值。

(3) 标准离差 s

简称标准差 s ，反映数据绝对的波动值，如公式 (1-3) 所示：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \tag{1-3}$$

(4) 方差 s^2

即上式的平方，如公式 (1-4) 所示：

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \tag{1-4}$$

(5) 变异系数 CV

反映数据相对的波动值，如公式 (1-5) 所示：

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} \tag{1-5}$$

(6) 监测数据排序

将监测数据整理为有序的数据，包括整理成从小到大或从大到小的有序数据。

(7) 监测数据频数及累计频率 (见 1.2 节)

1.2 数据子样与总体

基本特征数预报软件 [RM1_特征数预报]

计算子样特征数的目的，除了对子样有进一步的认识外，主要是通过它们可以去认识和研究总体。从数理统计的方法讲，当子样的个数足够多时，子样的特征数会近似等于总体的特征数，因此，可以用子样的特征数去分析和估计总体。

例如，将表 1-1 的监测数据 (共 100 项) 作为一个子样来研究其总体。步骤如下：

(1) 第一步——引用子样特征数：

- 1) 子样均值 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 1.4042$
- 2) 极差 $R = \max \{x_1, x_2, \cdots, x_n\} - \min \{x_1, x_2, \cdots, x_n\} = 0.28$
最大值 $\max \{x_1, x_2, \cdots, x_n\} = 1.55$
最小值 $\min \{x_1, x_2, \cdots, x_n\} = 1.27$

监测数据								表1-1	
1.36	1.49	1.43	1.41	1.37	1.40	1.32	1.42	1.47	1.39
1.41	1.36	1.40	1.34	1.42	1.42	1.45	1.35	1.42	1.39
1.44	1.42	1.39	1.42	1.42	1.30	1.34	1.42	1.37	1.36