

〔德〕P. 普罗福斯



机械工业出版社

TG 8-65

5-7

工业测量技术手册

[德] P. 普罗福斯 著

徐 鹏 王伯雄 方仲彦 译



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书为一本综合性的工业测量技术手册。全书共分为三大部分，第一部分为测量的理论基础，从测量的定义谈起，介绍了各种量的概念、测量的误差及其原因、一直到国际单位制；第二部分为测量仪器技术，介绍测量系统的组成、各种传感器的原理、测量信号的处理和输出技术；第三部分为工业测量技术，为全书重点，介绍工业上各种量（长度、时间、质量、力、压力、温度、流量、粘度、热、射线、光、噪声、各种电量、浓度、氧化还原电位等）的测量方法及仪器，全书内容涉及面广，理论与实践并重。

本书可供在测量与控制领域中从事科研，生产与教学的广大科技人员和大专院校师生用作工具书和参考书。

Prof·Dr·P·Profos

Herausgeber

HANDBUCH DER INDUSTRIELLEN

MESSTECHNIK

3. Auflage

VULKAN-VERLAG, ESSEN-1984

工业测量技术手册

[德] P.普罗福斯 著

徐鹏 王伯雄 方仲彦 译

责任编辑：曲彩云

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

通县向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本850×1168 1/32·印张 39 ·字数 1046千字

1992年8月北京第一版·1992年8月北京第一次印刷

印数 00,001—2880 ·定价：58.50元

ISBN7—111—03589—5/TH·422(x)

译者的话

测量技术在各行业中的位置越来越重要。我国至今为止还没有一本综合性的工业测量技术手册,为此我们翻译了这本《工业测量技术手册》。该书是由测量界著名的瑞士苏黎士工业大学 Profos 教授等三十多名各国测量专家共同编著的一本实用性综合测量工具书,目前在工业发达国家中广泛使用。自1978年问世以来多次再版,深受读者欢迎。本书的一大特点是内容丰富,复盖面广,工业生产中几乎所有需要测量的参数书中都有介绍,其中有些参数的测量方法在我国尚无参考书可查。本书的第二特点是理论与实践并重,书中除了介绍测量的理论基础、测量仪器技术,传感器的原理、测量信号的处理和输出技术等以外,还大量介绍了工业上各种量的实际测量方法和测量仪器,对致力于开发、研究和使用的各种测量仪器的科技工作者来说,这无疑是一本的一大特殊优点。本书的第三大特点是内容新。本书在短短的十多年时间里几经再版,每次再版均更新和增添了许多符合科技发展潮流的新内容。注重引入了测量信号的数字处理和电子计算机在测量控制中的应用等内容。我们把该书介绍给我国的广大读者,希望它能成为广大科技人员和大专院校师生在学习、研究测量技术和仪器时的良师益友。

在本书的翻译过程中得到了清华大学精密仪器系严普强教授的精心指教和帮助,对此我们表示衷心感谢。

由于本书篇幅大、内容广,加之我们水平有限,译文中难免有不少错误缺点,恳请广大读者批评指正。

译者

1992.4.

第三版序言

《工业测量技术手册》第二版问世以来尽管时间不长，编者就已经征得出版社的同意，在发行第三版之前对全书重新全面审阅，进一步修订和补充。这一次修订做了大量工作，其主要原因也是由于近年来在大多数测量技术领域里，尤其是在电子学和数字技术方面所取得的进一步迅猛发展。

修订的主要目的是使文字和插图符合最新的技术水平并使参考文献更具有时代气息。为此在许多章节里对文字都作了大量修改和补充，个别章节甚至完全重新改写。除了对现有文章的更新工作外，为满足广大读者经常提出的一个要求，趁此新版发行之际，将原先不连贯的长度测量（主要是制造技术中所实行的长度测量）部分编为新的一章。这样，尽管作者和编者在缩小篇幅方面作了不少努力，但本书的内容范围却进一步扩大了。

借此机会，我想对在本书各章节的修订工作中做出巨大努力的各位作者表示衷心的感谢。我还要感谢我们的出版社，感谢他们始终如一的真诚合作。

P. 普罗福斯

目 录

第一篇 理论基础

| | |
|----------------------|----|
| 第一章 基本概念和定义 | 1 |
| 1 测量的实质和基本前提 | 1 |
| 2 标准及其单位 | 1 |
| 2.1 长度 | 2 |
| 2.2 质量 | 2 |
| 2.3 时间 | 2 |
| 2.4 温度 | 2 |
| 2.5 电流强度 | 5 |
| 2.6 光强 | 5 |
| 2.7 物质量 | 5 |
| 3 理想化的方框图和一般概念 | 5 |
| 4 测量方法 | 7 |
| 4.1 直接测量方法和间接测量方法 | 7 |
| 4.2 模拟测量方法和数字测量方法 | 8 |
| 4.3 时间连续和时间离散方法 | 10 |
| 4.4 偏移法和补偿法 | 10 |
| 第二章 测量误差和误差原因 | 14 |
| 1 代表性和代表性误差 | 14 |
| 2 有误差的测量系统的一般框图 | 15 |
| 2.1 误差和校正值 | 16 |
| 2.2 测量过程对被测量的反作用, 负载 | 16 |
| 2.3 叠加外部干扰 | 16 |
| 2.4 变形外部干扰 | 17 |
| 2.5 内部干扰 | 17 |
| 3 与测量过程有关的误差 | 18 |

| | | |
|-----|----------------|----|
| 3.1 | 测量设备使用条件的影响 | 18 |
| 3.2 | 系统误差和随机误差 | 18 |
| 3.3 | 静态误差和动态误差 | 20 |
| 4 | 计算测量值时产生的误差 | 21 |
| 4.1 | 测量值的量化和读数误差 | 21 |
| 4.2 | 用数值计算作时间离散化 | 21 |
| 4.3 | 由求值假设规定的误差 | 22 |
| 4.4 | 求值引起的误差传递 | 23 |
| 5 | 测量仪器的误差特性 | 23 |
| 5.1 | 零点不敏感性、响应值和起动值 | 23 |
| 5.2 | 回差、迟滞和弹性后效 | 23 |
| 5.3 | 分辨率 | 24 |
| 5.4 | 零点稳定性 | 25 |
| 5.5 | 测量不确定度和误差限 | 25 |
| 5.6 | 线性度和公差带 | 26 |
| 5.7 | 品质等级 | 28 |
| 第三章 | 静态测量误差 | 29 |
| 1 | 误差种类 | 29 |
| 2 | 误差获取 | 30 |
| 2.1 | 单次测量的随机误差 | 30 |
| 2.2 | 均值的随机误差 | 37 |
| 2.3 | 系统误差和校准 | 38 |
| 3 | 误差传递 | 40 |
| 3.1 | 系统误差 | 40 |
| 3.2 | 随机误差 | 40 |
| 3.3 | 误差限 | 42 |
| 4 | 统计误差的求值方法 | 42 |
| 4.1 | 高斯分布假设的检验 | 42 |
| 4.2 | 逸出值 | 46 |
| 4.3 | 均值的差别 | 46 |
| 4.4 | 线性回归 | 48 |
| 4.5 | 线性相关 | 53 |
| 5 | 误差的自动校正方法 | 56 |

| | | |
|--------------------|--------------------------|-----|
| 5.1 | 干扰量屏蔽原理 | 58 |
| 5.2 | 误差补偿原理 | 58 |
| 5.3 | 反馈原理 | 59 |
| 第四章 动态测量误差 | | 61 |
| 1 | 测量是信号传递过程 | 61 |
| 2 | 信号及其数学描述 | 61 |
| 2.1 | 信号分类 | 62 |
| 2.2 | 时域中确定信号的描述 | 63 |
| 2.3 | 时域中随机信号的描述 | 65 |
| 2.4 | 频域中周期信号的描述 | 69 |
| 2.5 | 频域中非周期信号的描述 | 72 |
| 2.6 | 频域中随机信号的描述 | 75 |
| 2.7 | 用脉冲序列来描述信号 | 77 |
| 3 | 测量系统传递特性及其数学描述 | 81 |
| 3.1 | 用微分方程描述传递特性 | 81 |
| 3.2 | 用响应函数描述传递特性 | 82 |
| 3.3 | 用传递函数或频率响应过程描述传递特性 | 84 |
| 3.4 | 传递特性描述方法间的关系 | 90 |
| 4 | 基本测量系统的动态特性 | 91 |
| 4.1 | 一阶测量系统 | 91 |
| 4.2 | 二阶测量系统 | 95 |
| 4.3 | 具有延迟时间的测量系统 | 103 |
| 5 | 动态测量误差 | 104 |
| 5.1 | 动态测量误差的定义 | 104 |
| 5.2 | 动态测量误差的计算 | 105 |
| 5.3 | 测量系统的动态参数 | 109 |
| 5.4 | 动态测量误差的校正 | 111 |
| 6 | 动态干扰影响 | 113 |
| 6.1 | 计算动态干扰所引起的误差 | 114 |
| 6.2 | 消除动态干扰作用的措施 | 115 |
| 第五章 计量学的法定基础 | | 119 |
| 1 | 序言 | 119 |
| 2 | 国际单位制 (SI) | 120 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 2.1 基本单位 | 120 |
| 2.2 国际单位制的导出单位 | 120 |
| 2.3 单位的十进制倍数和小数 | 122 |
| 3 计量单位的法律规定 | 123 |
| 3.1 法定的国际单位制单位 | 123 |
| 3.2 其它的法定单位 | 123 |
| 3.3 有限应用范围的法定单位 | 125 |
| 4 有关计量和校准的法律条文 | 125 |

第二篇 仪器技术概论

| | |
|------------------------------|-----|
| 第一章 测量系统基本功能 | 128 |
| 1 功能块概念 | 128 |
| 2 测量系统的重要功能块 | 129 |
| 2.1 被测量的获取 | 129 |
| 2.2 被测量的转换和放大 | 129 |
| 2.3 运算操作 | 130 |
| 2.4 测量值处理 | 130 |
| 2.5 测量值输出 | 130 |
| 3 功能块之间的反作用 | 131 |
| 第二章 被测量的获取 | 134 |
| 1 被测量获取的概念 | 134 |
| 1.1 代表性被测量的获取 | 134 |
| 1.2 对代表性被测量尽可能无误差获取的方法 | 134 |
| 1.3 被测量的初始转换 | 136 |
| 2 获取测量值的类型 | 136 |
| 3 初始转换的效应和被测量传感器 | 137 |
| 3.1 输出机械量的传感器 | 137 |
| 3.2 输出气动量的传感器 | 137 |
| 3.3 输出电子模拟量的传感器 | 138 |
| 3.3.1 主动传感器 | 138 |
| 3.3.1.1 压电传感器 | 138 |
| 3.3.1.2 电动力式传感器 | 140 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 3.3.1.3 | 热电偶 | 141 |
| 3.3.1.4 | 阻挡层光电池 | 142 |
| 3.3.2 | 被动传感器 | 143 |
| 3.3.2.1 | 电阻传感器 | 143 |
| 3.3.2.2 | 电感传感器 | 153 |
| 3.3.2.3 | 电容传感器 | 156 |
| 3.4 | 具有数字量输出的传感器 | 160 |
| 第三章 | 被测量的转换和测量值放大 | 161 |
| 1 | 基本原理 | 161 |
| 1.1 | 目的和意义 | 161 |
| 1.2 | 概念 | 161 |
| 2 | 用物理效应或物理-化学效应来连接被测量转换器的输入量 和输出量 | 163 |
| 2.1 | 连接矩阵 | 163 |
| 2.2 | 转换方向的改变 | 165 |
| 2.3 | 专门用途 | 168 |
| 3 | 非电信号转换为电信号 | 170 |
| 3.1 | 机械量 | 170 |
| 3.2 | 热量 | 176 |
| 3.3 | 声学量 | 178 |
| 4 | 电信号转换 | 180 |
| 4.1 | 从一种被测电物理量转换为另一种被测电物理量 | 180 |
| 4.2 | 电信号转换为非电信号 | 182 |
| 第四章 | 运算操作 | 184 |
| 1 | 模拟运算 | 184 |
| 1.1 | 加法和减法 | 184 |
| 1.1.1 | 电子加法和减法 | 184 |
| 1.1.2 | 气动加法和减法 | 185 |
| 1.2 | 乘法和除法 | 185 |
| 1.2.1 | 电子法 | 185 |
| 1.2.2 | 气动法 | 187 |
| 1.3 | 乘方和开方 | 188 |
| 1.3.1 | 电子法 | 188 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 1.3.2 气动法 | 191 |
| 1.4 微分和积分 | 192 |
| 1.4.1 电子法 | 192 |
| 1.4.2 气动法 | 193 |
| 2 数字运算方法 | 195 |
| 2.1 用计数法进行加减运算 | 196 |
| 2.2 用逻辑元件进行加减运算 | 197 |
| 2.3 用计数法进行乘法和除法运算 | 200 |
| 2.4 用逻辑电路实现乘法和除法 | 202 |
| 第五章 测量信号处理 | 205 |
| 1 概述 | 205 |
| 1.1 测量信号处理的任务和意义 | 205 |
| 1.2 发展趋势 | 206 |
| 1.3 信号匹配 | 206 |
| 2 用专用仪器作信号处理 | 210 |
| 2.1 任务和解决方法概述 | 210 |
| 2.2 幅值分布测量仪器 | 211 |
| 2.2.1 概述 | 211 |
| 2.2.2 应用 | 212 |
| 2.2.3 概念和定义 | 212 |
| 2.2.4 幅值分布的图解研究 | 213 |
| 2.2.5 测量方法 | 214 |
| 2.2.6 幅值域中的特殊分布 | 216 |
| 2.2.7 联合分布 | 218 |
| 2.2.8 确定分布时产生的误差 | 219 |
| 2.3 确定均值的仪器 | 220 |
| 2.3.1 时间均值 | 220 |
| 2.3.2 总体均值 | 229 |
| 2.3.3 联合均值 | 233 |
| 2.3.4 均值函数(相关函数) | 233 |
| 2.4 滤波器 | 239 |
| 2.4.1 概述 | 239 |
| 2.4.2 应用范围、任务和使用 | 240 |

| | | |
|-------|---------------------------|-----|
| 2.4.3 | 理想的、理想化的和实际滤波器函数 | 240 |
| 2.4.4 | 截止频率和带宽 | 241 |
| 2.4.5 | 滤波器组合 | 242 |
| 2.4.6 | 滤波器类型 | 244 |
| 2.4.7 | 无源和有源滤波器 | 245 |
| 2.4.8 | 滤波器的实现 | 245 |
| 2.5 | 频率分析 | 246 |
| 2.5.1 | 概述 | 246 |
| 2.5.2 | 滤波器法 | 247 |
| 2.5.3 | 算法 (FFT)..... | 251 |
| 3 | 用过程计算机作测量信号处理 | 253 |
| 3.1 | 概述 | 253 |
| 3.2 | 测量信号的匹配 | 255 |
| 3.2.1 | 信号传递 | 255 |
| 3.2.2 | 采样 | 257 |
| 3.2.3 | 开口时间 | 258 |
| 3.2.4 | 多路转换器 | 259 |
| 3.2.5 | 量化 | 260 |
| 3.2.6 | A/D转换器 | 261 |
| 3.2.7 | 反混叠滤波器 | 266 |
| 3.3 | 过程计算机硬件 | 269 |
| 3.3.1 | 计算机类型 | 270 |
| 3.3.2 | 外部设备 | 273 |
| 3.4 | 过程计算机的编程 | 276 |
| 3.4.1 | 程序设计语言 | 276 |
| 3.4.2 | 操作系统 | 277 |
| 3.4.3 | 用户程序 | 278 |
| 3.4.4 | 程序库程序/实用程序 | 279 |
| 3.5 | 用过程计算机进行信号处理的方法 | 279 |
| 3.5.1 | 过程计算机使用的条件和限制 | 280 |
| 3.5.2 | 测量信号的检查 and 校正 | 281 |
| 3.5.3 | 过程计算机应用中的专门测量方法和可能性 | 283 |
| 3.5.4 | 信号分析, 数字滤波和运算方法 | 285 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 3.5.5 过程的监视、控制和调整..... | 290 |
| 第六章 输出仪器..... | 292 |
| 1 模拟输出仪器 | 292 |
| 1.1 显示仪器 | 292 |
| 1.2 落弓式记录仪 | 293 |
| 1.3 测量机构——线记录仪 | 293 |
| 1.4 补偿记录仪 | 294 |
| 2 数字输出仪器 | 295 |
| 2.1 数字显示器 | 295 |
| 2.1.1 机械数字显示器 | 295 |
| 2.1.2 光学数字显示器 | 296 |
| 2.1.3 电子数字显示器 | 297 |
| 2.2 D/A转换器 | 299 |
| 2.2.1 多级分压式D/A转换器 | 299 |
| 2.2.2 多级分流式D/A转换器 | 300 |
| 2.2.3 电阻式梯形网络D/A转换器 | 301 |
| 2.3 测量值打印机 | 301 |
| 2.4 数据显示器 | 303 |
| 第七章 测量过程自动化..... | 308 |
| 1 概念和定义 | 308 |
| 2 自动化的任务和目的 | 309 |
| 3 自动化手段 | 310 |
| 4 自动化测量系统的范围 | 319 |
| 第八章 测量系统的可靠性..... | 327 |
| 1 可靠性计算中最重要参量及其关系 | 327 |
| 2 组件的可靠性 | 330 |
| 2.1 故障率 | 330 |
| 2.2 幸存概率的指数分布 | 331 |
| 2.3 故障标准 | 333 |
| 2.4 负荷 | 336 |
| 3 概率逻辑方面的一些基本理论 | 336 |
| 4 仪表和系统的可靠性 | 337 |

| | | |
|-----|--------------------|-----|
| 4.1 | 简单电路的可靠性 | 341 |
| 4.2 | 冗余电路的可靠性 | 341 |
| 4.3 | 修复和检查 | 343 |
| 4.4 | 分支系统可靠性的计算方法 | 345 |

第三篇 测量方法和测量仪表

| | | |
|-------|--------------------------|-----|
| 第一章 | 电量的测量 | 348 |
| 1 | 电量测量的基础 | 348 |
| 1.1 | 度量单位制和单位 | 348 |
| 1.2 | 周期变化电量定义 | 349 |
| 1.3 | 电动率定义 | 354 |
| 1.4 | 测量瞬时值的频率特性过程和上升时间 | 356 |
| 1.5 | 测量均值和有效值时的频率特性 | 356 |
| 2 | 经典电测方法和电测仪表 | 357 |
| 2.1 | 电流、电压、电功率、电能和频率的显示 | 357 |
| 2.1.1 | 比例仪表,线性均值 | 357 |
| 2.1.2 | 平方仪表,均方值 | 360 |
| 2.1.3 | 求积仪表 | 362 |
| 2.1.4 | 其它各种仪表 | 364 |
| 2.1.5 | 整流仪表 | 366 |
| 2.1.6 | 对自身能耗的补偿方法 | 366 |
| 2.1.7 | 精度和误差 | 367 |
| 2.1.8 | 测量机构的符号图示 | 369 |
| 2.2 | 电量的直接记录 | 369 |
| 2.3 | 电测量转换器 | 372 |
| 2.4 | 电阻和阻抗测量 | 375 |
| 2.4.1 | 电阻测量 | 375 |
| 2.4.2 | 阻抗性质及其表示法 | 376 |
| 2.4.3 | 阻抗测量 | 377 |
| 2.4.4 | 接地电阻的测量 | 379 |
| 2.5 | 电磁场量的测量 | 379 |
| 2.6 | 三相电网的测量 | 380 |
| 3 | 电子测量方法和测量仪表 | 382 |

| | | |
|------------|-------------------------------|------------|
| 3.1 | 电子放大器 | 382 |
| 3.2 | 电子射线示波器 | 388 |
| 3.3 | 电子显示仪表 | 401 |
| 3.3.1 | 电压测量 | 401 |
| 3.3.2 | 计数器和频率测量 | 402 |
| 4 | 电测仪表的校准和标定 | 402 |
| 5 | 减小系统测量误差 | 404 |
| 5.1 | 由测点负载引起的误差 | 404 |
| 5.2 | 测量仪表输入端加不合适信号所导致的误差 | 406 |
| 5.3 | 外界电磁场对测量仪表作用产生的误差 | 406 |
| 5.4 | 外界电磁场和外界干扰信号在测量导线上的寄生影响 | 407 |
| 第二章 | 时间和时间测量 | 410 |
| 1 | 导言 | 410 |
| 2 | 时间单位 | 410 |
| 3 | 时间测量、钟表 | 412 |
| 3.1 | 钟表的结构 | 412 |
| 3.2 | 特征参数 | 417 |
| 第三章 | 事件计数 | 419 |
| 1 | 导言 | 419 |
| 2 | 一般工作条件 | 419 |
| 3 | 计数脉冲和脉冲发生器 | 420 |
| 3.1 | 计数脉冲和机电计数器的脉冲发生器 | 420 |
| 3.2 | 计数脉冲和电子计数器的脉冲发生器 | 421 |
| 4 | 机械计数器 | 422 |
| 5 | 机电计数器 | 423 |
| 5.1 | 累积计数器/预选计数器 | 424 |
| 5.2 | 差动计数器 | 426 |
| 6 | 气动计数器 | 426 |
| 7 | 电子计数器 | 427 |
| 7.1 | 单积计数器/预选计数器 | 427 |
| 7.2 | 多功能可编程计数器 | 430 |
| 7.3 | 差动计数器 | 431 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 第四章 长度及其导出量的测量 | 433 |
| 1 不连续的长度测量 | 433 |
| 1.1 标准单位的定义和概念 | 433 |
| 1.2 简易的数字测量仪器 | 434 |
| 1.3 光学长度计量仪器 | 433 |
| 1.3.1 测量显微镜 | 438 |
| 1.3.2 图像分析仪器 | 438 |
| 1.3.3 光电传感器 | 439 |
| 1.3.4 全息干涉法长度测量 | 446 |
| 1.3.5 自动准直测量仪器 | 448 |
| 1.4 多坐标测量仪器 | 449 |
| 1.4.1 多坐标测量机的结构 | 450 |
| 1.4.2 多坐标测量机的测量系统 | 451 |
| 1.4.3 多坐标测量机的测头系统 | 453 |
| 1.4.4 多坐标测量机的测量精度 | 457 |
| 1.4.5 用于多坐标测量仪器的计算机 | 459 |
| 1.4.6 多坐标测量机的软件 | 460 |
| 1.5 表面测量仪器 | 466 |
| 1.6 生产线的监控 | 472 |
| 2 连续的长度和距离测量 | 476 |
| 2.1 测量方法的选择 | 476 |
| 2.2 厚度与面密度测量 | 476 |
| 2.2.1 用离子射线测量厚度与面密度 | 476 |
| 2.2.2 用机械扫描法测量厚度与面密度 | 488 |
| 2.2.3 测量厚度和面密度的其它方法 | 489 |
| 2.3 膜层厚度测量 | 491 |
| 2.3.1 用电离辐射测量膜层厚度 | 491 |
| 2.3.2 差分法测定膜层厚度 | 493 |
| 2.3.3 测量镀层厚度的其它方法 | 493 |
| 2.4 宽度测量 | 494 |
| 2.4.1 用光电棱边扫描法测定宽度 | 494 |
| 2.4.2 测量宽度的其它方法 | 499 |
| 2.5 长度与路程测量 | 501 |

| | | |
|-------|--------------------------|-----|
| 2.5.1 | 用光电棱边扫描法测量长度 | 501 |
| 2.5.2 | 网栅法测量长度 | 501 |
| 2.5.3 | 测量长度和路程的其它方法 | 503 |
| 2.6 | 直径测量 | 504 |
| 2.6.1 | 光电扫描法测量直径 | 504 |
| 2.6.2 | 强度比较法测量直径 | 505 |
| 2.6.3 | 直径测量的其它方法 | 506 |
| 3 | 液位测量 | 508 |
| 3.1 | 引言 | 508 |
| 3.2 | 机械方法 | 508 |
| 3.2.1 | 浮子法 | 508 |
| 3.2.2 | 探测板法 | 510 |
| 3.3 | 机电法 | 510 |
| 3.3.1 | 电阻测量法 | 510 |
| 3.3.2 | 自整角机测量法 | 510 |
| 3.3.3 | 步进开关法 | 510 |
| 3.3.4 | 脉冲电传测量法 | 511 |
| 3.3.5 | 磁耦合实现浮子运动的液位显示 | 512 |
| 3.3.6 | 感应法实现浮子运动的液位显示 | 512 |
| 3.3.7 | 具有探测板和伺服系统的精密液位测量仪 | 513 |
| 3.3.8 | 机电测锤法 | 514 |
| 3.3.9 | 评价 | 514 |
| 3.4 | 通过直流与交流阻抗的变化测定液位 | 516 |
| 3.4.1 | 电容法测液位 | 516 |
| 3.4.2 | 电导率测量法 | 522 |
| 3.5 | 液压与气动方法 | 522 |
| 3.5.1 | 应用范围 | 522 |
| 3.5.2 | 物理基础 | 523 |
| 3.5.3 | 评价 | 524 |
| 3.6 | 超声测量法 | 524 |
| 3.6.1 | 应用范围 | 524 |
| 3.6.2 | 物理基础 | 525 |
| 3.6.3 | 液位测量 | 525 |