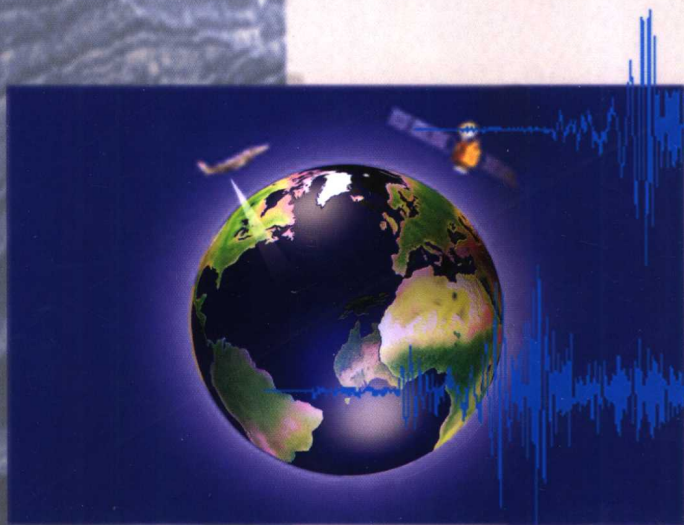


数字地震监测技术系统系列教材

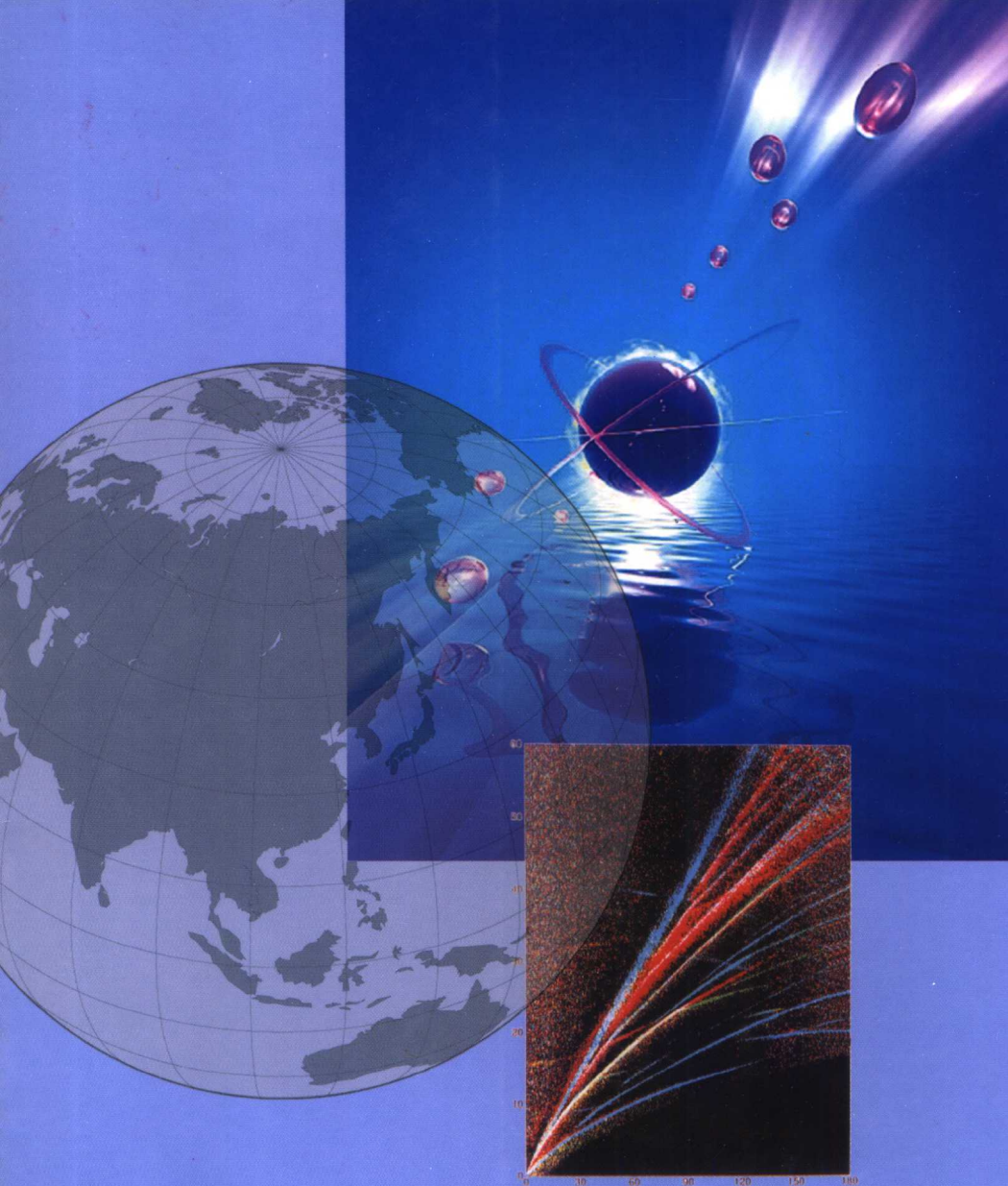
地震电磁数字观测技术

中国地震局监测预报司 编



.61

地震出版社



责任编辑 / 李和文
封面设计 / 邢秀芬

ISBN 7-5028-2174-0



9 787502 821746 >

ISBN 7-5028-2174-0/P · 1141

(2734) 定价: 30.00 元



数字地震监测技术系统系列教材

地震电磁数字观测技术

中国地震局监测预报司 编

地震出版社

2002

图书在版编目 (CIP) 数据

地震电磁数字观测技术/中国地震局监测预报司编.
—北京:地震出版社,2002.11
数字地震监测技术系统系列教材
ISBN 7-5028-2174-0

I. 地... II. 中... III. ①地电-地震观测-数字技术-教材
②地磁-地震观测-数字技术-教材 IV. P315.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 073170 号

数字地震监测技术系统系列教材

地震电磁数字观测技术

中国地震局监测预报司编

责任编辑:李和文

责任校对:孙铁磊

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路9号

邮编:100081

发行部:68423031 68467993

传真:68423031

门市部:68467991

传真:68467972

总编室:68462709 68423029

传真:68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销:全国各地新华书店

印刷:北京地大彩印厂

版(印)次:2002年11月第一版 2002年11月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:301千字

印张:11.75

印数:0001~2000

书号:ISBN 7-5028-2174-0/P·1141 (2734)

定价:30.00元

版权所有 翻印必究

《数字地震监测技术系统系列教材》编委会

主 编：阴朝民

副主编：孙其政 钱家栋 张 金 高荣胜 吴书贵 牛之俊

编 委：庄灿涛 付子忠 张少泉 吴忠良

吴 云 高玉芬 车用太 陈会忠

宋彦云 孙建中 宁为民 余书明

孙为民 熊道慧

《地震电磁数字观测技术》编写组

组 长：高玉芬

秘 书：卢 军

成 员：钱家栋 赵家骝 杨冬梅 周 勋

宋彦云 余书明 滕云田 席继楼

嵇才建 张世中 马森林 谭大成

何世根 关华平 王 晨 李艳东

王秀山

序

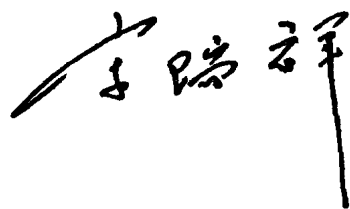
我国地震监测工作主要服务于地震预测预报研究与实践。地震监测技术系统大体分为测震观测、前兆观测、强震观测、流动台阵观测和活动断裂系统观测等,以及为地震信息传输的网络技术支撑系统。地震前兆观测技术系统按学科又分为地震电磁(包括地磁、地电、地震电磁扰动)、地形变(包括水平与垂直形变、应变、重力)和地下流体(包括物理动态、化学动态)三种观测技术系统。我国地震监测技术系统经历了自1966年邢台地震后30多年的不断演进和完善,形成了现今的格局,为地震预测预报、地震科学研究、国防建设和国际科技合作做出了重要贡献。

“九五”期间在国家及有关部门的大力支持下,中国地震局全面实施了中国地震监测技术系统的数字化技术改造和建设,其中包括“中国数字化地震观测系统的建设”,“地震前兆台网综合化数字化技术改造”和“全国地震通信网络系统的建设”,实现了地震监测技术系统从模拟技术向数字技术的跨越。

中国数字化地震观测系统最基本的功能是获得宽频带、大动态范围的地震记录,并运用这些记录测定出不同震源模型下的各种运动学与动力学参数,为数字地震学研究和地震预测预报研究提供基础数据。该系统包括国家数字地震台网、区域数字地震台网、流动数字地震台网等。地震前兆台网综合化数字化技术改造,通过对全国地震前兆基本台网和重点监视防御区台网进行技术及环境条件改造,实现台站观测对象综合化、台站观测技术数字化、数据处理计算机化、数据传输遥测化和台网中心网络化,使之提供稳定、可靠、便于计算机快速分析处理的各类地震前兆数据。

全国地震通信网络系统是以中国地震局计算机网络中心为龙头,通过X2.5、DDN或卫星等通信链路与各单位的计算机网络中心互联,同时,利用移动卫星设备与地震现场网络中心进行联接。各网络中心由网络管理运行中心、网络信息中心、数据管理系统和公用软件平台组成,并以多种不同的方式对地震系统和社会公众提供信息服务。

经过五年的努力，中国地震监测技术系统的数字化技术改造与建设的第一目标初步完成，并通过验收投入了运行。为使已建成的技术系统连续、稳定、可靠地运行，提供准确、精度高的观测数据，在加强管理的同时，必须尽快提高地震监测技术人员的业务水平。为此，监测预报司组织了有关方面的专家编写了“数字地震监测技术系统系列教材”共六册，这套教材突出实用性，紧密结合台站实践，适应于数字地震监测的专业技术培训，也对从事地震科学研究，特别是地震监测预报研究有重要的参考价值。这套教材对“十五”期间即将实施的“中国数字地震观测网络”项目也会有所帮助。我相信，该教材的出版，将为提高监测技术人员的技术水平和业务素质，起到积极地推动作用。

A handwritten signature in black ink, reading '李瑞军' (Li Ruijun). The signature is written in a cursive style with a long vertical stroke at the end.

2002年7月15日

前 言

地震电磁学是以孕震过程中有关地球介质电磁性质的变化及电磁场异常现象为研究对象的学科，是地震前兆研究的几大支柱学科之一。它包括地电学，地磁学与地震电磁扰动（对称地震电磁波）3个部分。《地震电磁数字观测技术》一书，是反映这一学科观测技术从模拟向数字化发展的最新成果的一本专著。

地震电磁学来自地球电磁学，在理论上经历了对地球电磁学的继承和发展，在观测技术上则经历了移植和改造的演化阶段，30多年的实践积累了丰富的经验，也取得了很大的成绩。地震电磁学观测技术的数字化，就是这种发展和改造的标志之一。以数字化、智能化为核心的具有高分辨率、长期稳定性和强抗干扰能力及观测数据实时远距传送为主要特征的地震电磁学数字观测技术，大大拓展了地震前兆和孕震过程研究的发展空间。

另一方面，地震电磁学和地球电磁学的联系是十分密切的，特别在观测技术的进步方面，两个学科是协调发展的。实际上，数字化电磁观测技术可广泛应用于相关地球电磁学的各个领域。因此，地震电磁学观测技术的发展，除了直接服务于地震预报的研究目的之外，还应当服务于国民经济和国防建设的需要，服务于地球及其相关科学发展的需要。例如，随着现代科学技术的发展，社会和科学发展对地磁场的观测与研究的需求日益增长，不仅在航海、航空、航天、通讯、导航、探矿等空间电磁环境监测和资源探测的实际应用中，而且在地磁场起源，大陆漂移，板块构造及空间科学等涉及地球的基础科学领域，发挥着越来越大的作用；又如，地电学的观测与研究，在关系国民经济建设发展的重大工程和都市浅层勘探以及城市活断层探查，甚

至在电波沿电离层与地面构成的波导的传播研究中日益受到重视。地震电磁学数字观测技术的发展，较好地满足了这些研究和应用的需求。从这个意义上说，地震电磁学数字观测技术，也是地球电磁学数字观测技术的重要组成部分。

地震电磁数字观测技术是以高科技的发展为前提的，但限于我们的工作深度和时间进程，本书的内容主要以地震电磁学观测技术中的检测仪器的数字化研究成果为主，因此它不可能是地震电磁学数字观测技术的一本全面教材。但它又确实是一本地震电磁学观测技术的启蒙的参考书，随着“九五”期间研制的各类数字化电磁仪器设备全面装备台站，它特别适用于台站观测人员、技术管理人员作为入门的向导，以掌握和熟悉新技术，确保数字化仪器的正常运转。同时，本书有利于促进预报以及科研人员，在研究和充分应用新技术提供的新信息中发展新的研究思路。

地震电磁学研究领域中电磁两大研究方向的结合，一直是我们努力的主要目标之一。数字观测技术的发展为其创造了良好的条件。这方面工作虽然刚刚开始，但起点较高，希望有兴趣的读者注意这一方面的研究和应用前景的开发。

总的来说，观测技术的数字化为地震电磁学方法的发展提供了极好的机遇，也带来了严峻的挑战。最主要的问题是缺乏对数字化技术的设备较长时间的使用实践，需要在实践中检验、完善和发展，这使本书的撰写过程遇到了不少困难，也使本书必然存在不少问题和不足，希望读者及时指出。另外，本书专业性较强，关于数字技术本身的一些基础知识，无法在本书中涉及。有兴趣的读者，可参考本系列丛书的其他部分或其他数字技术专用教材。

目 录

序

前言

第一章 地电阻率数字观测技术	(1)
第一节 地电阻率观测系统	(1)
1.1 地电阻率观测的原理及系统构成	(1)
1.2 对地电阻率观测系统的基本要求	(2)
第二节 ZD8B 地电阻率观测仪	(2)
2.1 仪器的构成与工作原理	(2)
2.2 仪器的性能与指标	(11)
2.3 测量 ρ_s 的过程	(12)
2.4 提高观测精度的主要技术措施	(13)
2.5 仪器安装与调试	(17)
2.6 仪器标定原理与稳定性检查	(23)
2.7 ZD8B 的通信功能	(25)
2.8 常用工作程序	(26)
2.9 常见故障分析处理	(26)
第三节 装置稳定性检查	(27)
3.1 装置稳定性	(27)
3.2 装置稳定性检查的原理	(28)
3.3 ZD8B 地电仪自动查“漏电影响”功能	(29)
3.4 ZD8T 装置稳定性检测仪	(29)
第四节 WL-5N 直流稳流电源	(33)
4.1 仪器的构成与工作原理	(34)
4.2 仪器的性能与技术指标	(37)
4.3 关键技术	(38)
4.4 仪器安装与调试	(40)
4.5 仪器绝缘性与稳定性检查	(40)
4.6 常见故障分析	(41)
第二章 地电场数字观测技术	(43)
第一节 地电场观测系统	(43)
1.1 地电场观测方法	(43)
1.2 地电场观测系统的基本组成	(44)
1.3 观测场地及其基本要求	(44)

1.4	测量装置系统及其建设方法	(45)
第二节	固体不极化电极	(46)
2.1	固体不极化电极的基本原理	(46)
2.2	主要技术指标	(47)
2.3	关键技术措施	(47)
2.4	电极埋设的基本要求	(48)
第三节	ZD9A 地电场仪	(49)
3.1	仪器的构成与工作原理	(49)
3.2	仪器的性能与指标	(51)
3.3	关键技术	(51)
3.4	仪器安装调试及技术要求	(55)
第四节	常见故障分析	(58)
4.1	地电场观测系统故障分析	(58)
4.2	固体不极化电极的故障分析	(59)
4.3	外线路故障分析	(59)
4.4	测量仪器故障分析	(60)
第三章	地电数据的处理与管理	(61)
第一节	地电阻率观测数据处理	(61)
1.1	地电阻率观测数据处理方法	(61)
1.2	地电阻率观测数据处理软件	(64)
第二节	地电场观测数据转换与处理	(64)
2.1	地电场观测数据处理方法	(64)
2.2	地电场观测数据处理软件	(67)
第三节	地电数据管理中心	(67)
3.1	地电数据收集入库	(67)
3.2	地电数据质量控制	(68)
3.3	地电数据服务	(68)
第四章	地磁场观测及观测系统	(69)
第一节	地磁观测对象及技术要求	(69)
1.1	地磁场七要素	(69)
1.2	地磁台站观测对象及技术要求	(70)
第二节	绝对观测	(70)
第三节	相对记录	(71)
第四节	地磁台站仪器配置	(74)
第五章	地磁数字化记录仪器	(75)
第一节	GM3 磁通门磁力仪	(75)
1.1	系统原理	(75)
1.2	仪器主要性能	(81)
1.3	磁通门磁力仪设计	(81)

1.4	仪器标定与灵敏度检验	(91)
1.5	仪器安装与调试	(93)
1.6	常见故障分析	(95)
第二节	FHD-1 分量质子旋进式磁力仪	(96)
2.1	仪器的构成与工作原理	(96)
2.2	仪器的性能与指标	(97)
2.3	关键技术	(98)
2.4	仪器安装与调试	(98)
2.5	仪器检定原理与稳定性检查	(102)
2.6	常见故障分析	(107)
第六章	地磁绝对观测技术	(110)
第一节	CTM-DI 磁通门经纬仪 (简称 DI 仪)	(110)
1.1	仪器的构成与工作原理	(110)
1.2	仪器的性能与指标	(117)
1.3	确保仪器主要性能与指标的关键技术	(117)
1.4	仪器安装与调试及技术要求	(118)
1.5	利用 DI 仪测量地磁偏角 D 和倾角 I	(121)
1.6	仪器标定原理与稳定性检查	(128)
1.7	常见故障分析	(130)
第二节	观测和计算实例	(130)
2.1	绝对观测工作要求	(130)
2.2	近零法绝对观测和基线值计算实例	(131)
2.3	DI 仪参数 δ 、 ε 、 S_0 计算实例	(135)
2.4	DI 仪格值标定实例	(135)
第七章	地磁数据的处理、产出与管理	(137)
	概述	(137)
第一节	地磁台站数据处理与产出	(138)
1.1	数据处理与产出要求	(138)
1.2	数据处理与产出应用软件	(138)
第二节	地磁台网中心数据管理	(141)
2.1	地磁台网中心数据管理工作内容	(141)
2.2	地磁台网中心建设与日常运行和管理	(141)
2.3	地磁台网中心数据管理发展方向	(145)
第八章	地震电磁扰动观测技术	(146)
	概述	(146)
第一节	地震电磁扰动观测系统	(148)
1.1	观测系统	(148)
1.2	频率的选择	(148)

第二节	EMAOS-L 超低频地震电磁扰动测量仪	(149)
2.1	仪器构成与工作原理	(149)
2.2	仪器的性能与指标	(157)
2.3	关键技术	(157)
2.4	超低频地震电磁扰动测量仪分类	(157)
2.5	仪器外形结构及面板布局	(163)
第三节	EMDOS-H 高频地震电磁扰动测量仪	(164)
3.1	前置滤波放大	(165)
3.2	控制软件	(165)
3.3	接收软件	(165)
3.4	仪器的安装与调试	(165)
3.5	实用化高频地震电磁扰动测量仪	(166)
第四节	电传感器和磁传感器	(167)
4.1	电极传感器	(168)
4.2	感应磁传感器	(169)
4.3	传感器的安装	(170)
第五节	地震电磁扰动观测的数据处理	(172)
5.1	均值的产出	(172)
5.2	总量产出	(174)
5.3	报表生成	(174)
参考文献		(176)

第一章 地电阻率数字观测技术

第一节 地电阻率观测系统

目前,我国预报地震的地电阻率台站大多采用四极对称装置、直流供电电源的观测系统。采用这种观测系统,在地表观测到的视电阻率与地下介质真电阻率的物理关系,与采用交流供电电源系统和天然场源的观测系统相比,解释较为简单,是一种较为简便的地电阻率观测方式。此种观测系统自 1966 年邢台地震后,由物探电法移植于地震预报,经地震系统的地电工作者 30 多年不断的改进、完善和创新,在观测方法研究和测量仪器研制等方面,均取得一些突破性进展,目前已形成一套基本满足地震预报监测研究的数字化、智能化的观测系统。

1.1 地电阻率观测的原理及系统构成

1.1.1 地电阻率观测的基本原理

地电阻率测量原理示意图,如图 1.1 所示:

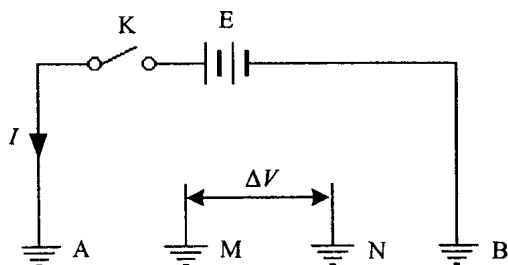


图 1.1 地电阻率测量原理示意图

图中, E 为供电电源, K 为开关, A、B 是供电电极, M、N 是测量电极。

地电阻率 ρ_s 的计算公式为:

$$\rho_s = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1.1.1)$$

式中, I 是经过 A、B 两电极向地下提供的电流强度; ΔV 是由于供电电流 I 流入地下在 M、N 两电极间产生的附加电位差, 又称人工电位差; K 为具有长度量纲的装置系数, 其大小取决于 A、B、M、N 4 个电极的相对位置, K 的计算公式为:

$$K = \frac{1/2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{BM}} \quad (1.1.2)$$

在式中, AM、AN、BN、BM 为相应电极间的距离, 单位为 m, ΔV 的单位为伏, I 的单位为安的条件下, ρ_s 的单位为 $\Omega \cdot m$ 。

1.1.2 地电阻率观测系统的结构

地电阻率观测系统的结构如图 1.2 所示:

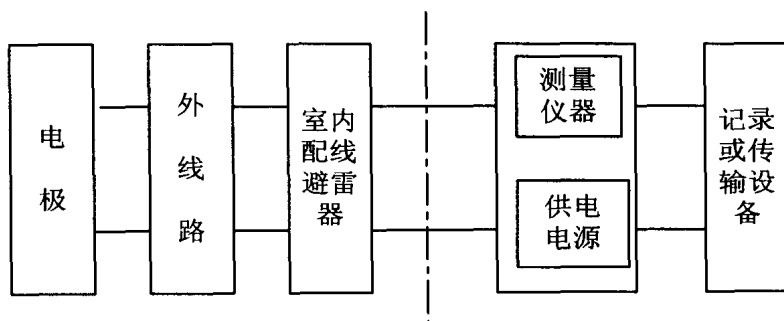


图 1.2 地电阻率观测系统示意图

从图 1.2 可见地电阻率观测系统可分为两大部分, 一是装置系统, 包括电极、外线路、室内配线及避雷系统; 二是测量系统, 包括测量仪器、供电设备及记录传输设备。

1.2 对地电阻率观测系统的基本要求

地电阻率观测地下介质电性结构随时间的变化。由于地下介质的电性随时间变化缓慢而且变化幅度较小, 因此要求观测系统有足够的分辨力和长时间范围内有足够的测量准确度。根据多年地震预报的经验, 震前地电阻率可能有 1% 的变化, 因此要求观测系统长期(1 年内)观测准确度优于 0.5 %。对观测系统的技术要求为:

- (1) 装置系统的稳定性, 对观测结果的影响, 不得超过 0.5 %, 并且定期进行检查。
- (2) 观测系统的系统误差不超过 0.1 %, 并定期用国家标准来检定。
- (3) 对测量的随机误差, 要求观测值日均值的相对均方差小于 0.3 %, 这除了选择良好的观测场地外, 还要求测量系统有很强的抗干扰能力。

目前, 我国研制的地电阻率观测系统, 已达到或超过上述要求。

第二节 ZD8B 地电阻率观测仪

2.1 仪器的构成与工作原理

2.1.1 ZD8B 仪器的构成

1. 电路组成

ZD8B 的电路主要由主控电路、键盘显示电路、A/D 转换电路、继电器电路、电源电路及工作状态指示电路组成, 如图 1.3 所示。

主控板 (ZDM) 是一个以单片微处理器 80C31 为基础的完整的单片机系统, 控制整个机器的运行。键盘显示电路 (ZDKD) 完成人工输入命令和显示处理结果, 是人机结合操作的界面。在前置放大、A/D 转换 (ZD8B1) 中, 前置放大器实现仪器和测量信号回路的阻抗匹配, A/D 转换器是将输入信号 (电压) 转换为数字, 该板上的继电器组用来切换不同的输入信号 (各道 MN 或 R_I)。

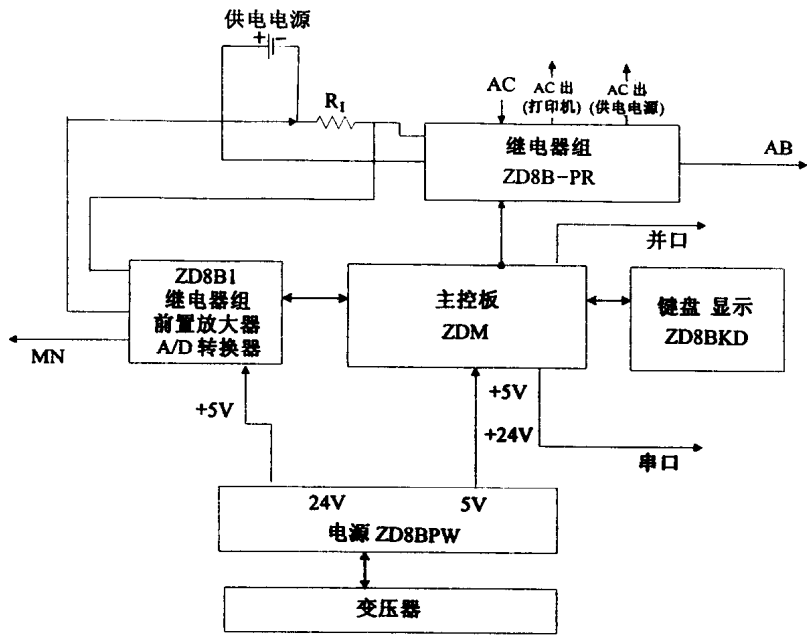


图 1.3 ZD8B 电路结构示意图

继电器电路 (ZD8B-PR) 完成将供电电源接向不同测道的 AB, 执行供电命令和按程序启动供电电源和打印机。

电源电路 (ZD8BP) 将市电转换成仪器工作所需的各类直流电源。

2. ZD8B 工作的主程序

ZD8B 工作的程序如图 1.4 所示。

2.1.2 电路原理简介

1. 主控电路

主控电路由中央处理器 (CPU)、存储器 (Memory)、I/O 接口电路、继电器驱动和时钟等电路组成。

(1) 中央处理器电路

参见原理图 1.5ZDM-CPU 和图 1.6 译码器电路

U5(8031)为单片微处理器,它是整台仪器的控制核心;U4 是低 8 位地址锁存器;U15:A、U15:B、U18:A、U19、U20 组成地址译码器。

(2) 存储器电路

参见原理图 1.7 存储器电路。

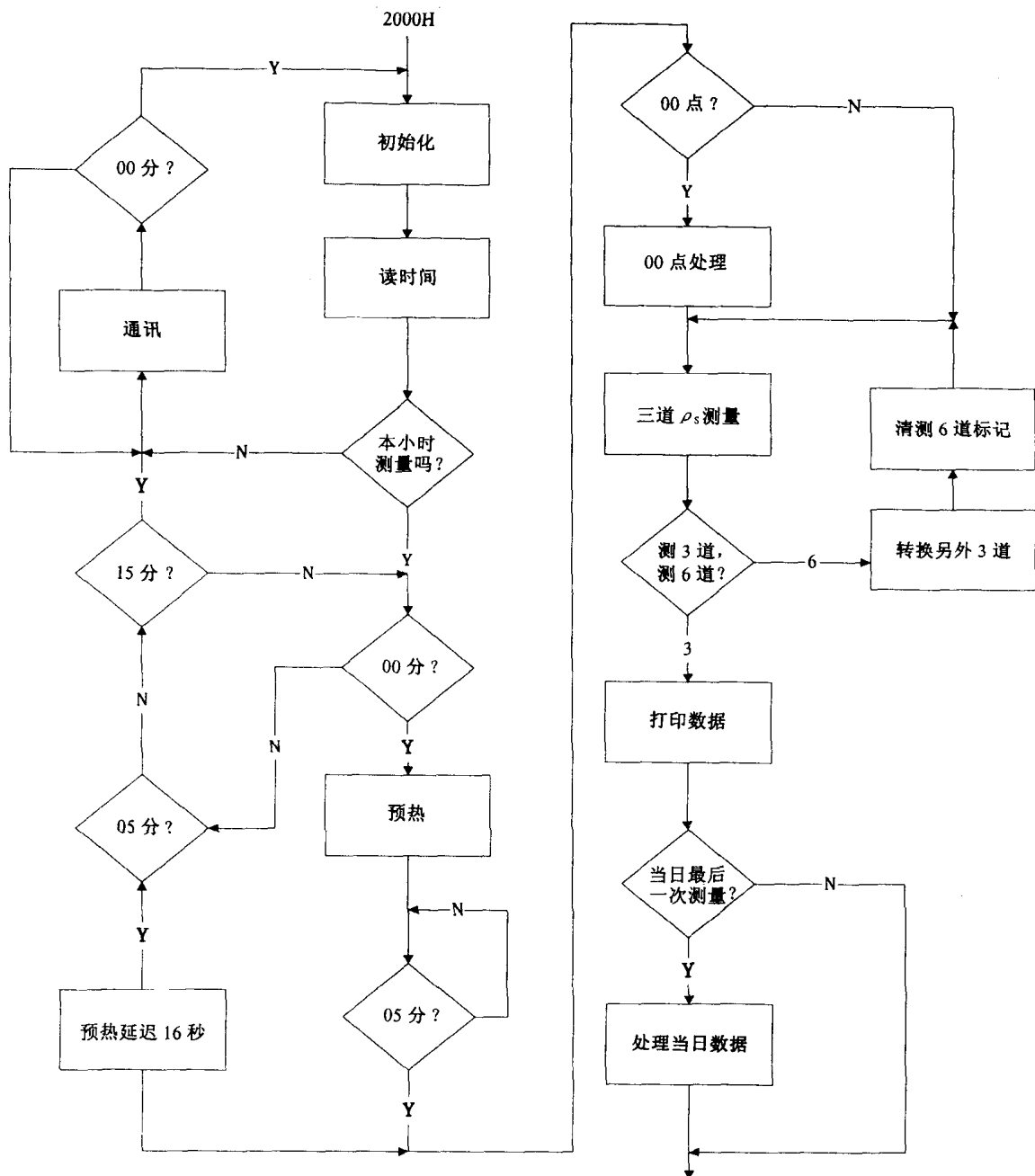


图 1.4 ZD8B 工作主程序

存储器用来存放工作程序、工作参数及各种数据。存储器可分为 RAM（随机存储器）和 ROM（只读存储器），ROM 又可分为 PROM（可编程存储器）、EPROM（可擦写编程存储器）、E²PROM（电擦写编程存储器）。

图 1.6 中，U2 和 U10 为 EPROM，地址是 0000H-3FFFH 与 8000H-BFFFH，存放工作程序；U4 为 E²ROM，地址是 4000H-5FFFH，存放工作参数；U5 为 RAM，地址是 6000H-7FFFH，