



中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0263—2014

地面核磁共振法找水技术规程

Technical specification of surface nuclear magnetic
resonance method in groundwater detection

2014-09-22 发布

2014-12-01 实施

中华人民共和国国土资源部 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、缩略语..... 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 4

4 总则 4

 4.1 方法原理 4

 4.2 应用范围 5

5 仪器 5

 5.1 仪器的技术指标 5

 5.2 仪器维护 5

6 技术设计 6

 6.1 设计前的准备 6

 6.2 工作装置形式及选择 6

 6.3 测网设计 8

 6.4 设计书编写与审批 8

7 野外作业 9

 7.1 野外作业前的准备 9

 7.2 测线和测点的布设 9

 7.3 数据采集 9

 7.4 信号质量监控和系统质量检查 10

 7.5 技术安全要求 11

8 野外资料验收..... 11

 8.1 验收内容 11

 8.2 资料质量评价 12

9 资料处理与解释..... 12

 9.1 资料处理 12

 9.2 资料解释 12

10 成果报告编写 13

 10.1 基本要求 13

 10.2 内容 13

附录 A（资料性附录） 常用比例尺和测网密度表 14

附录 B（资料性附录） 信号叠加次数参考值 15

附录 C（规范性附录） 野外记录表 16

附录 D（资料性附录） 原始曲线及成果图件示例 17

附录 E（资料性附录） 视横向弛豫时间常数和含水层类型的近似关系 20

附录 F（资料性附录） 确定和估算的含水体参数 21

参考文献 22

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国国土资源部提出。

本标准由全国国土资源标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本标准起草单位：中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、中国地质大学(武汉)、水利部牧区水利科学研究所。

本标准主要起草人：朱庆俊、潘玉玲、李凤哲、李振宇、刘伟、杨桂新、连晟。

地面核磁共振法找水技术规程

1 范围

本标准规定了地面核磁共振法应用条件、仪器选择与维护、技术设计、野外作业、质量评价、野外资料验收、资料处理与解释、成果报告编写等工作的基本要求。

本标准适用于地下水勘查及与地下水活动有关的工程、环境等领域的地面核磁共振法工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

DZ/T 0153 物化探工程测量规范

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

磁旋比 gyromagnetic ratio

γ

原子核的磁矩与自旋动量矩(角动量)的比值。计算见式(1):

$$\gamma = \frac{|\mu|}{|L|} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

γ ——原子核的磁旋比,单位为安培平方米每焦耳秒 $[A \cdot m^2/(J \cdot s)]$;

μ ——原子核的磁矩,单位为安培平方米 $(A \cdot m^2)$;

L ——原子核的自旋动量矩(角动量),单位为焦耳秒 $(J \cdot s)$ 。

注:在能够产生核磁共振信号的物质中,质子(氢核)的磁旋比最大。

3.1.2

磁化强度 magnetization

M

单位体积样品中核磁矩矢量统计分布的总和。计算见式(2):

$$M = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum_i \mu_i}{\Delta V} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

M ——磁化强度,单位为安培每米 (A/m) ;

μ_i ——核磁矩矢量,单位为安培平方米 $(A \cdot m^2)$;

ΔV ——单位体积,单位为立方米 (m^3) 。

注：磁化强度用来描述原子核的磁化程度，反映原子核系统的宏观磁性，与稳定磁场和晶格作用有关。

3.1.3

拉莫尔进动 larmor precession

磁化强度矢量在稳定磁场作用下，除自旋外，还以稳定磁场方向为轴线作回旋运动。

3.1.4

拉莫尔频率 larmor frequency

f

拉莫尔进动的频率。

注：拉莫尔频率与地磁场磁感应强度和原子核的磁旋比有关，单位为赫兹(Hz)；地面核磁共振法的激发频率等于拉莫尔频率。

3.1.5

核磁共振 nuclear magnetic resonance

具有核子顺磁性的物质选择性地吸收和释放电磁能量的现象。在稳定磁场和晶格的作用下，原子核处于一定的能级(热平衡状态)。如果用适当频率的交变磁场作用，原子核吸收电磁能量，并在能级间产生共振跃迁；在交变磁场撤去后，原子核释放电磁能量，从高能级非平衡状态逐渐恢复到低能级的热平衡状态。

注：核磁共振是稳定磁场、交变磁场的作用，晶格对原子核的弛豫作用和原子核间的弛豫作用的共同作用结果。

3.1.6

地面核磁共振 surface nuclear magnetic resonance

在地磁场作用下，地下水中的氢核处在一定的能级上。在地面上敷设发射回线并施加以拉莫尔频率的交变磁场对地下水中的氢核进行激发，氢核吸收电磁能量，在能级间产生跃迁；在交变磁场撤除后，氢核释放电磁能量，此间在地面上用接收回线拾取氢核产生的信号。

3.1.7

弛豫 relaxation

在地面核磁共振技术中，氢核系统从一种能量状态到另一种能量状态的变化，包括纵向弛豫和横向弛豫。

注：弛豫过程中磁化强度分量随时间的变化遵循指数变化规律，变化过程快慢用弛豫时间常数衡量。

3.1.8

纵向弛豫 longitudinal relaxation

在地面核磁共振技术中，在地磁场和晶格的作用下，氢核系统经过一定时间形成稳定纵向(平行地磁场方向)磁化的过程。

注：原子组成物质的晶格，晶格本身不断地作热运动，原子核处于热运动的晶格包围之中。因此，宏观样品可认为是由原子核系统和晶格系统组成的，两系统间存在着相互作用，进行能量交换，达到热平衡状态。这时，低能级的核粒子数比高能级的多，有过剩的低能级的核粒子沿稳定磁场方向的核磁矩纵向分量存在。在此期间，磁化强度纵向分量随时间以指数形式增长，趋向其平衡值。微观上称为自旋-晶格弛豫。

3.1.9

横向弛豫 transverse relaxation

在地面核磁共振技术中，在地磁场的垂直方向上施加一个固有进动频率(拉莫尔频率)的交变磁场，它使氢核在能级间跃迁，并使核磁矩的进动相位从随机分布趋于密集分布，产生横向(垂直地磁场方向)磁化。撤除该交变磁场，横向磁化强度向数值为零的初始状态恢复的过程。

注：与纵向弛豫过程不同，横向磁化强度随时间增大按指数规律衰减；在横向弛豫过程中，核自旋体系内部，即自旋与自旋之间发生能量的耦合，使核磁矩进动的相位从有规律分布趋向无规律分布。此时，自旋系统的总能量没有变化，自旋与晶格之间不交换能量。微观上称为自旋-自旋弛豫。

3.1.10

纵向弛豫时间常数 longitudinal relaxation time constant

T_1

在地面核磁共振技术中,表征氢核系统纵向弛豫过程快慢的特征参数,即纵向磁化强度分量增长到稳定值的 $(1-1/e)$ 所需时间。

注:单位为毫秒(ms)。

3.1.11

横向弛豫时间常数 transverse relaxation time constant

T_2

在地面核磁共振技术中,在交变磁场撤除后,表征氢核系统横向弛豫过程快慢的特征参数,即横向磁化强度分量由极大值衰减到 $1/e$ 所需时间。

注:单位为毫秒(ms)。

3.1.12

视纵向弛豫时间常数 apparent longitudinal relaxation time constant

T_1^*

在地面核磁共振工作中实测的纵向弛豫时间常数。

注:由于地下介质的不均匀性,实际观测到的纵向弛豫时间常数不是含水体的真值,而是在交变磁场作用范围内的地下各含水体的综合反映。视纵向弛豫时间常数值的大小与含水介质的孔隙大小有直接关系,单位为毫秒(ms)。

3.1.13

视横向弛豫时间常数 apparent transverse relaxation time constant

T_2^*

在地面核磁共振工作中实测的横向弛豫时间常数。

注:由于地下介质的不均匀性,实际观测到的横向弛豫时间常数不是含水体的真值,而是在交变磁场作用范围内的地下各含水体的综合反映。视横向弛豫时间常数值的大小与含水介质的孔隙大小有直接关系,单位为毫秒(ms)。

3.1.14

脉冲矩 pulse moment

q

交变电流脉冲的幅值与其持续时间的乘积(又称激发脉冲强度)。

注:通常称为激发脉冲矩,与探测深度相关。单位为安培毫秒(A·ms)。

3.1.15

自由感应衰减信号 free induction decay signal

ϵ

在地面核磁共振技术中,当交变磁场终止后,接收回线接收到的由氢核自由进动衰减而产生的随时间周期变化的感应电动势。计算见式(3):

$$\epsilon \approx \mu_0 n_T A M \omega_0 e^{\frac{-t}{T_2}} \sin \omega_0 t \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

ϵ ——自由感应衰减电动势,即为核磁共振信号,单位为纳伏(nV);

μ_0 ——真空中磁导率,单位为牛顿每平方安培(N/A²);

n_T ——回线匝数;

A ——回线面积,单位为平方米(m²);

M ——磁化强度,单位为安培每米(A/m);

ω_0 ——角频率,单位为弧度每毫秒(rad/ms);

t ——时间,单位为毫秒(ms);

T_2 ——横向弛豫时间,单位为毫秒(ms)。

注:核磁共振信号幅值随时间按指数形式衰减,其与地磁场磁感应强度 B_0^2 和氢核的磁旋比 γ 成正比,信号频率等于拉莫尔频率。

3.1.16

核磁共振信号初始振幅 initial amplitude of nuclear magnetic resonance signal

E_0

地面核磁共振技术中,在激发电流脉冲停止经延迟时间后,接收回线接收到的自由感应衰减信号经过零时外延处理后得到的核磁共振信号振幅。

注: E_0 大小与含水量成正比,单位为纳伏(nV)。

3.1.17

核磁共振信号初始相位 initial phase of nuclear magnetic resonance signal

φ_0

自由感应衰减信号相对激发电流的相位移。

注:反映地层的导电性,单位为度(°)。

3.1.18

E - t 曲线 E - t curve

核磁共振信号振幅随时间按指数规律变化的衰减曲线。

注:一个激发脉发矩 q 对应一条 E - t 曲线,由 E - t 曲线可以求出对应 q 值探测深度内含水层的 T_2^* 。

3.1.19

E_0 - q 曲线 E_0 - q curve

核磁共振信号初始振幅与激发脉冲矩的关系曲线。

注:又称为核磁共振测深曲线。对 E_0 - q 曲线进行解释后,可得到该测深点探测范围内的含水层的深度、厚度、单位体积含水量。

3.1.20

φ_0 - q 曲线 φ_0 - q curve

核磁共振信号初始相位与激发脉冲矩的关系曲线。

注: φ_0 - q 曲线是测深点探测范围内的核磁共振信号的初始相位的响应,反映地下不同深度岩层的导电性。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

NMR:核磁共振(Nuclear Magnetic Resonance)

SNMR:地面核磁共振(Surface Nuclear Magnetic Resonance)

MRS:磁共振测深(Magnetic Resonance Sounding)

4 总则

4.1 方法原理

SNMR 法基于地下水中氢核的弛豫特性差异,在地面上利用核磁共振系统,观测地下水中氢核产生的 NMR 信号的变化规律,研究地下水的赋存特征。

在 SNMR 法中,向敷设在地面上的发射回线(T_x)中供入拉莫尔频率的交变电流脉冲,在该脉冲产生的交变磁场激发下,地下水中氢核形成宏观磁矩并在地磁场中产生拉莫尔进动。在切断交变电流脉

冲后,用接收回线(R_z)拾取由不同的脉冲矩激发产生的 NMR 信号。信号幅值与所探测空间内自由水含量成正比,信号幅值的衰减快慢与含水体的结构有关。因而,SNMR 法是一种直接探测地下水信息的地球物理方法。

4.2 应用范围

- 4.2.1 探测地下水,探测深度一般小于 150 m。
- 4.2.2 查证由岩溶、裂隙等充填物引起的其他物探方法异常的性质。
- 4.2.3 探测、监测与地下水活动有关的工程地质、环境地质问题。
- 4.2.4 易受电磁噪声干扰,不宜在强电磁噪声干扰区段开展工作。
- 4.2.5 受地磁场的不均匀性干扰,不宜在强磁性火成岩发育区或局部磁性体存在区开展工作。

5 仪器

5.1 仪器的技术指标

应合理地选用仪器,选择的仪器应满足以下技术指标:

- a) 发射机单元:
 - 1) 频率范围:1.5 kHz~3 kHz;
 - 2) 最大输出电压:4 000 V;
 - 3) 最大输出电流:450 A;
 - 4) 脉冲幅值和范围:可编程;
 - 5) 脉冲矩范围:100 A·ms~15 000 A·ms(与线圈和频率有关)。
- b) 接收机单元:
 - 1) 增益范围: $10^4 \sim 10^6$;
 - 2) 带通滤波器带宽:100 Hz;
 - 3) 采样率:4 倍拉莫尔频率;
 - 4) 本底噪声: $<10(\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}})$;
 - 5) A/D 转换器:14 位。
- c) 温度范围:
 - 1) 工作温度: $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - 2) 保存温度: $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 仪器维护

应按仪器用户手册的要求,进行管理和维护:

- a) 仪器应存放在阴凉、干燥、无腐蚀性气体的环境中;
- b) 仪器若在一个半月内未使用,应将系统按顺序连接,用试验回线进行室内模拟测试,以延长电子部件的使用寿命;
- c) 仪器在运输过程中,应固定放置在有减振装置的运输箱中,以免颠簸致仪器部件损坏;
- d) 仪器发生故障应及时维修、填写记录并存档。

6 技术设计

6.1 设计前的准备

6.1.1 资料收集

编写工作设计前,应根据工作任务收集以下资料:

- a) 地理、地质与水文地质资料;
- b) 钻孔、测井资料;
- c) 岩、矿石导电性、导磁性等物性资料;
- d) 设计需要的其他资料。

6.1.2 野外踏勘

野外踏勘应包括下列内容:

- a) 检查、核对前期收集的资料;
- b) 调查机(民)井的水位埋深、水质,了解施工条件(地形、地物、交通、居民分布等);
- c) 调查对 NMR 信号有影响的电磁噪声干扰源及其分布范围。

6.1.3 方法试验

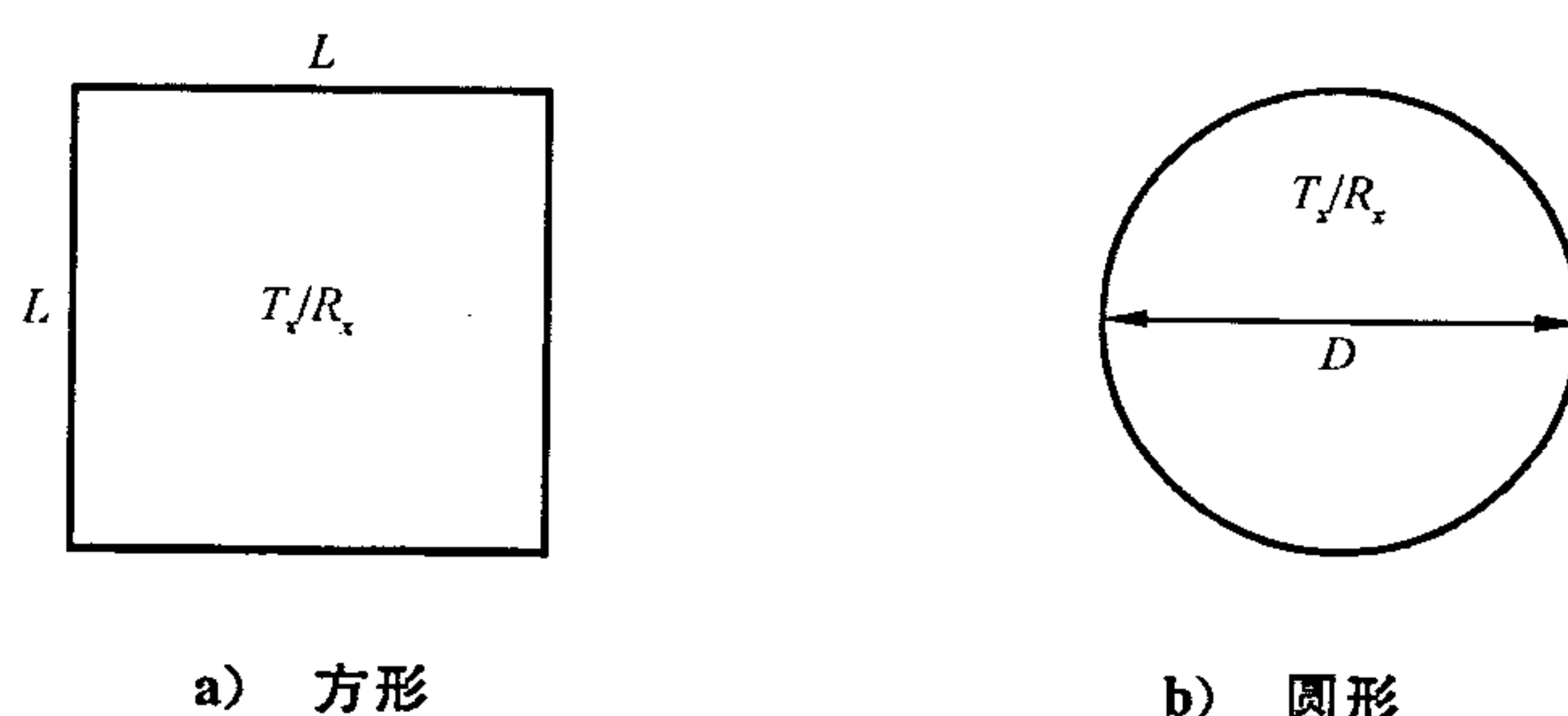
结合收集的资料和野外踏勘情况,选择适宜场地开展方法试验,试验应满足下列要求:

- a) 在地质盲区或地质条件复杂时,开展方法试验,为确定装置形式和工作参数提供依据;
- b) 试验点应选在地质、水文地质情况已知地段,且尽可能靠近已知钻孔;
- c) 试验点应选在具有不同地电断面、不同地形条件的地段,使试验具有代表性。

6.2 工作装置形式及选择

6.2.1 装置形式

6.2.1.1 同一单回线装置(见图 1 和图 2)。



说明:

L ——边长,单位为米(m);

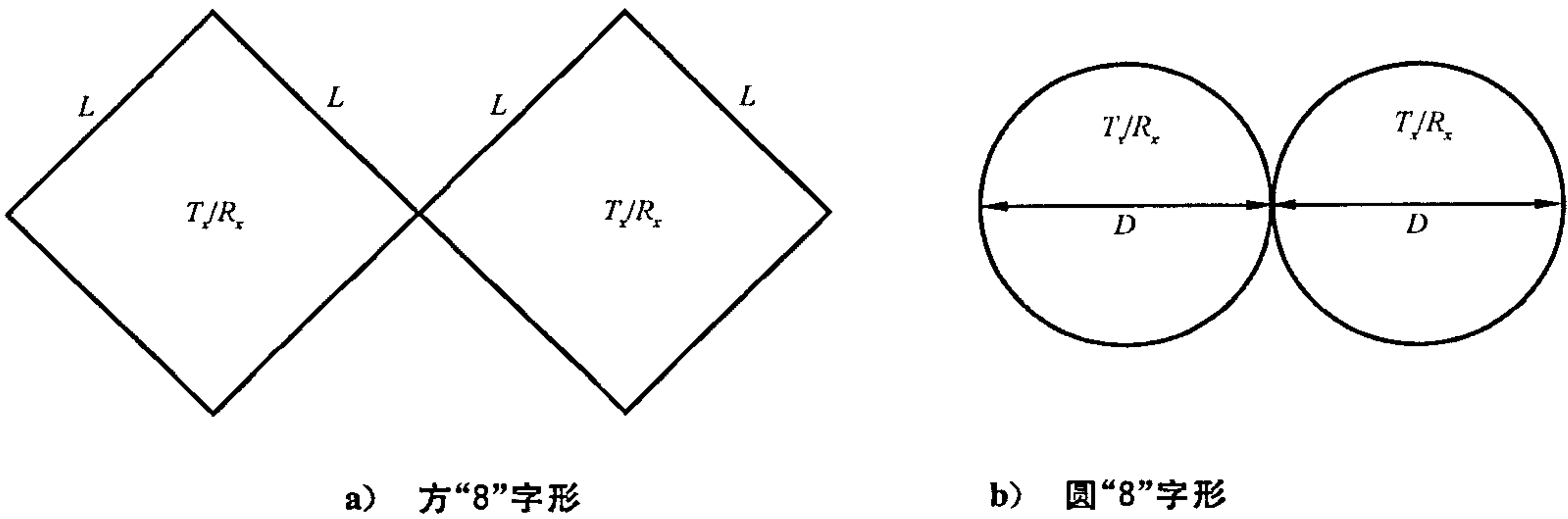
D ——直径,单位为米(m);

T_x ——发射回线;

R_x ——接收回线。

注:适用于电磁噪声小、地域开阔、含水体埋深较大的区域。

图 1 方形、圆形单回线装置示意图



注：适用于电磁噪声较大、含水体埋深较浅的地区。布设回线时，使回线长轴方向与线型电磁干扰源的方向平行[见图 3 a)]；或使点型电磁干扰源位于回线长轴中垂线上[见图 3 b)]。

图 2 方“8”、圆“8”字形单回线装置示意图

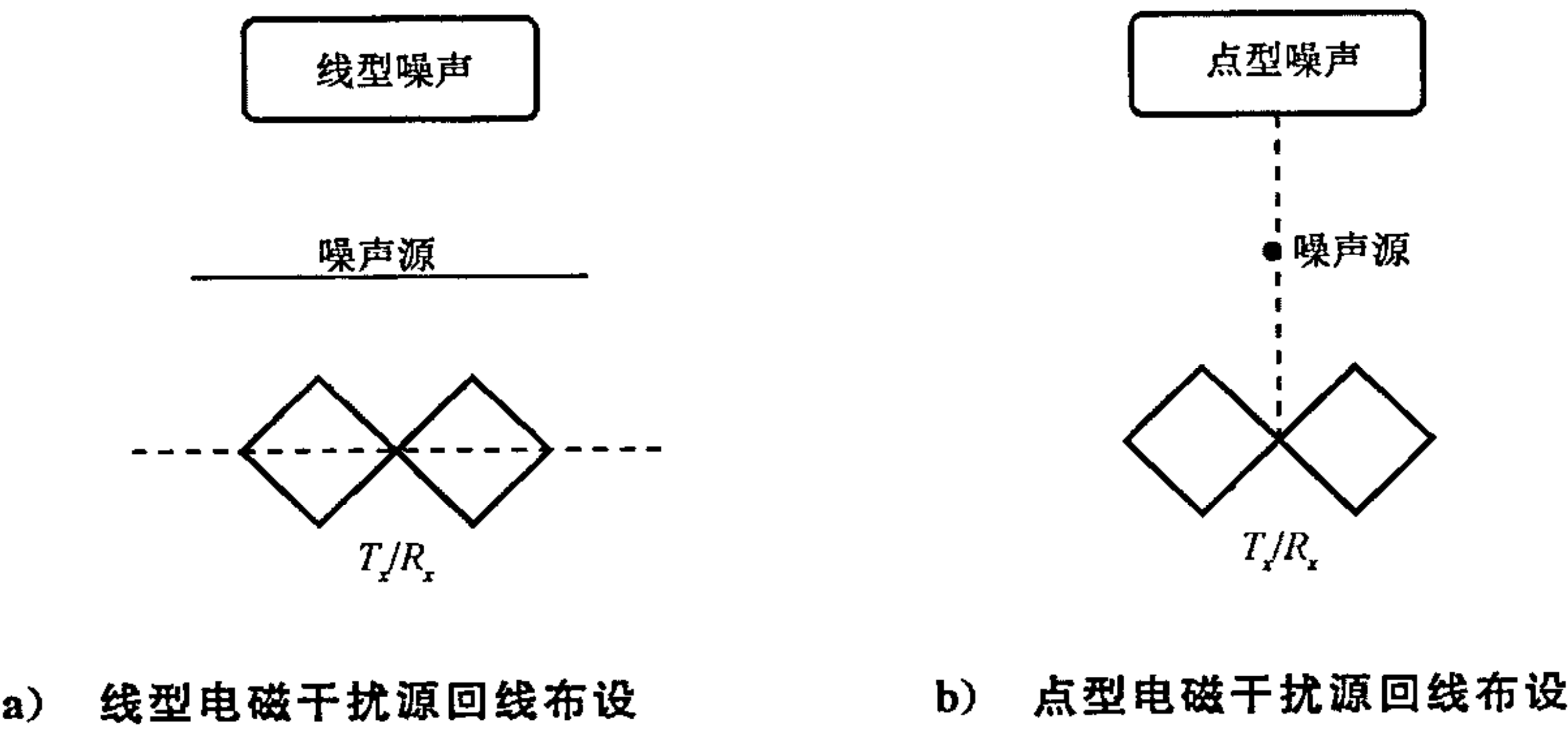
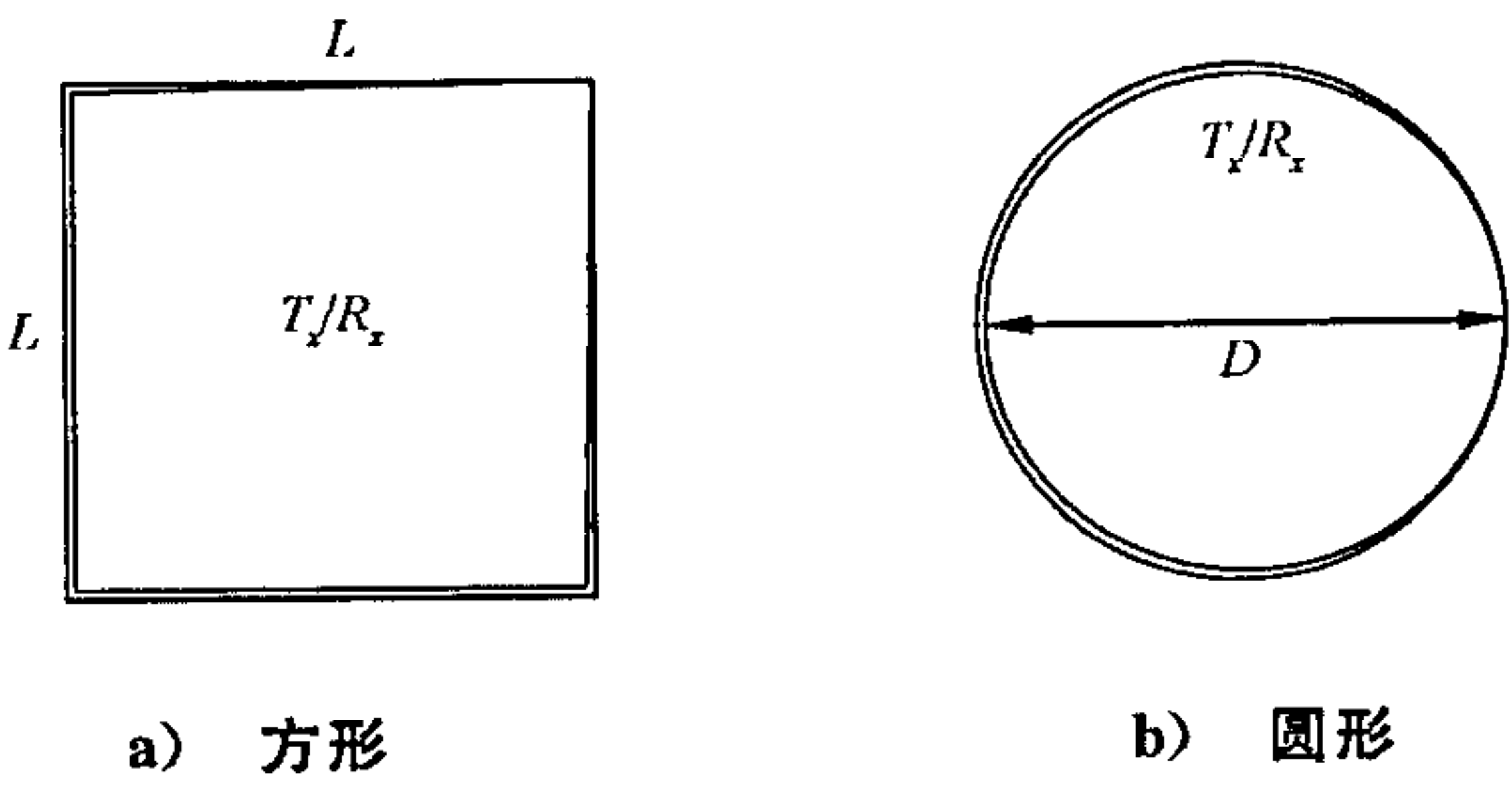


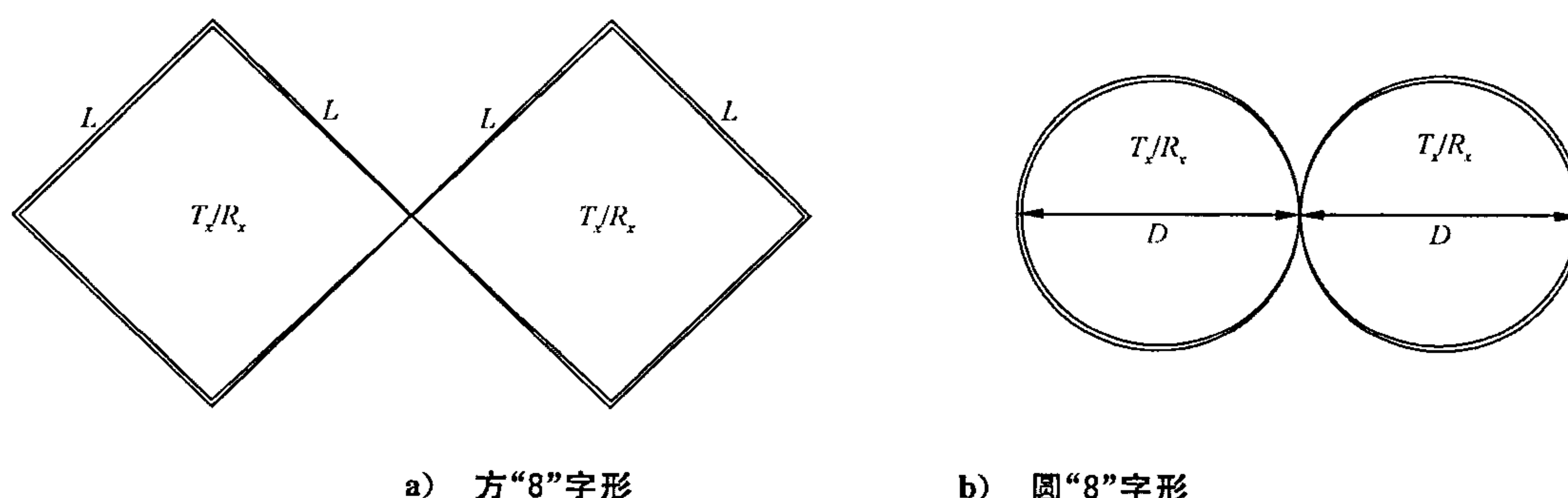
图 3 回线与噪声源位置关系示意图

6.2.1.2 同一双回线装置(见图 4 和图 5)。



注：适用于电磁噪声干扰较小、含水体埋深较浅、工作场地较小的区域。

图 4 方形、圆形双回线装置示意图



注：适用于电磁噪声干扰较大、含水体埋深较浅、工作场地较小的区域。

图 5 方“8”、圆“8”字形双回线装置示意图

6.2.1.3 同一多回线装置。装置形式为方形、圆形、方“8”字形、圆“8”字形。

6.2.2 装置选择原则

应依据探测目标体的埋深、电磁噪声干扰程度、场地条件及装置特点，选择最佳工作装置形式：

- a) 方形发射回线边长 L 大约等于探测目标体的最大深度；
- b) 圆形发射回线直径 D 大约等于探测目标体的最大深度；
- c) “8”字形回线能有效压制电磁噪声干扰，适用于电磁噪声干扰较大区域；
- d) 同一多回线装置的横向分辨率高于单回线装置。

6.3 测网设计

6.3.1 测区范围应包括被探测对象的赋存地段并适当向外延伸，应保证所得到的异常完整性及有一定范围的正常背景场衬托。

6.3.2 测线应尽量与测区内已知的其他物探测线位置一致，测点应靠近已有的钻孔或水井。

6.3.3 测线应避开电磁干扰源、金属管道及磁性体。

6.3.4 测线应垂直于构造走向布置。

6.3.5 已有物探资料的测区，要在相关物探异常部位布设测点；若无物探资料的测区，测点的位置和数量由工作任务和测区的条件决定。

6.3.6 同一回线装置开展面积性工作时，工作比例尺和测网密度依工作精度要求而定（参见附录 A）。

6.3.7 剖面测量方式，依工作任务确定线距与点距。

6.4 设计书编写与审批

6.4.1 设计书的编写

6.4.1.1 基本要求

设计书应在 6.1 的基础上编写，且编写的设计书应满足以下要求：

- a) 目标明确、任务具体、技术要求合理、工作布置得当；
- b) 编写前应综合分析前期收集的资料，使设计有充分的依据和可操作性；
- c) 内容完整、文字精炼、重点突出、附图附表齐全美观。

6.4.1.2 基本内容

设计书应包括下列内容：

- a) 工作目的、任务、测区概况；

- b) 地质、水文地质概况及地球物理特征；
- c) 工作方法、工作量、技术要求及工作部署；
- d) 人员组成、仪器设备配备和经费预算；
- e) 工作进度和安全生产措施；
- f) 预期工作成果和必要的附图、附表。

6.4.2 设计书审批

设计书应由上级主管单位审批或经任务下达单位批准方可实施。

7 野外作业

7.1 野外作业前的准备

7.1.1 人员准备

配备专门的仪器操作员和物探工程师。

7.1.2 仪器设备准备

野外作业开始前,应对所选用的仪器设备进行检查:

- a) 所用仪器设备的技术指标应满足 5.1 或设计书的要求；
- b) 连接仪器系统,采用试验回线进行室内模拟测试,实际振幅值、回线阻抗值、供电电压、实际脉冲值、放大倍数等均处于正常范围内,方可开展野外作业。

7.2 测线和测点的布设

7.2.1 实际测线允许在设计测线距 10% 范围内调整,施工困难区可在 20% 范围内调整。

7.2.2 作业中如实测资料表明原设计的测线长度不足于完成地质任务时,应延长测线。

7.2.3 测点偏移距不应超过原设计点距的 20%,地形复杂区,测点偏移距离不应超过点距的 30%。

7.2.4 测点由卫星定位系统和适当比例尺地形图定位,定位精度可参照 DZ/T 0153 或按设计工作要求执行。

7.2.5 测点应埋设木桩,桩上标明线点编号。

7.3 数据采集

7.3.1 确定激发频率

使用高精度磁力仪测量地磁场磁感应强度,确定激发频率,即拉莫尔频率。计算见式(4):

$$f_0 = CB_0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

f_0 ——激发频率,单位为赫兹(Hz);

C ——常数, $C=0.042\ 58\ \text{Hz/nT}$;

B_0 ——地磁场磁感应强度,单位为纳特(nT)。

7.3.2 确定采集参数

7.3.2.1 确定采集参数的原则

根据探测目标体的埋藏深度、电磁噪声干扰水平以及试验结果来确定有关的参数。

7.3.2.2 确定的采集参数

数据采集前,结合方法试验,确定下列参数的取值:

- a) T_x/R_x 回线的类型、尺寸和匝数;
- b) 信号范围:视电磁噪声大小而定;
- c) 记录长度:通常取 240 ms;
- d) 脉冲持续时间:通常取 40 ms;
- e) 脉冲矩的个数:通常选 16 个;
- f) 叠加次数:叠加次数的多少取决于信噪比的大小(参见附录 B)。

7.3.3 测量步骤

7.3.3.1 按 7.3.2.2 或设计要求敷设回线。

7.3.3.2 开始野外探测前,仪器各部件应严格按用户手册规定的连接顺序连接。

7.3.3.3 仪器连接完毕,数据采集前,应确定系统已“接地”。

7.3.3.4 将有关参数输入到计算机(见 7.3.2.2)。

7.3.3.5 通过计算机监测采集过程,了解 NMR 信号、噪声变化水平。如达不到质量要求,重复观测并增加叠加次数。

7.3.3.6 数据采集过程中,实时观察振幅值、回线阻抗值、供电电压和实际脉冲矩值,若出现异常情况要及时找到原因,排除故障后重新开始探测。

7.3.3.7 按一定数据格式存储采集到的 NMR 信号信息。

7.3.3.8 认真填写野外观测记录(见附录 C)。要求字迹清楚,符号正确。

7.3.3.9 数据采集完毕,仪器的电容器单元应充分放电,然后按照仪器用户手册的要求,顺序拆除仪器的连接。

7.4 信号质量监控和系统质量检查

7.4.1 信号质量监控

7.4.1.1 开始测量之前,测定观测系统的放大倍数,应符合仪器技术指标要求。

7.4.1.2 监测叠加信号和叠加噪声变化:在数据采集期间,从计算机屏幕上所观察到叠加的信号振幅比叠加的噪声振幅高,并且叠加的信号振幅随时间的变化呈现出衰减的特征,其表示探测到了 NMR 信号(参见图 D.1)。

7.4.1.3 在每个脉冲矩测量时,监测接收到的 NMR 信号频率与激发电流脉冲频率之间的差值 Δf 的变化,要求 $\Delta f \leq \pm 5$ Hz;否则须调整激发频率,重新观测。

7.4.2 系统质量检查

7.4.2.1 质量检查点个数不得少于测点数的 3%。

7.4.2.2 检查点应在全测区均匀分布,重点检查异常地段。

7.4.2.3 检查点应是同一测点、同一仪器、相同激发脉冲矩、重新敷设 T_x/R_x 回线、不同时间的重复观测点。

7.4.2.4 检查点与被检查点的 E_0-q 曲线形态应一致,经编辑、插值、剔除明显畸变的激发脉冲矩后,检查点上各个脉冲矩初始振幅的均方相对误差 $\delta_i \leq 15\%$,全区各检查点总的平均均方相对误差 $\delta \leq 15\%$ 。

δ_i 和 δ 的计算公式分别见式(5)和式(6):

$$\delta_i = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{E_0(q_i)' - E_0(q_i)}{\overline{E_0(q_i)}} \right]^2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\delta = \pm \sqrt{\frac{1}{2nm} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[\frac{E_0(q_i)' - E_0(q_i)}{\overline{E_0(q_i)}} \right]^2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$E_0(q_i)$ ——第 i 个激发脉冲矩原始观测的初始振幅值($i=1,2,3,\dots,n$)；

$E_0(q_i)'$ ——第 i 个激发脉冲矩系统检查观测的初始振幅值($i=1,2,3,\dots,n$)；

$\overline{E_0(q_i)}$ —— $E_0(q_i)$ 与 $E_0(q_i)'$ 的算术平均值；

n ——参加统计计算的激发脉冲矩数；

m ——检查点个数。

7.4.2.5 绘制检查点的质量检查对比曲线。

7.4.2.6 在某些强电磁干扰区,检查点均方相对误差达不到 7.4.2.4 规定,应在设计中提出具体要求。

7.5 技术安全要求

7.5.1 野外工作期间应经常进行安全生产教育。

7.5.2 供电作业人员应使用绝缘防护用品。

7.5.3 发射回线附近应设有明显的安全警示标志,必要时派专人看管。

7.5.4 放线、收线和处理供电线路故障时,严禁供电。在未确认停止供电时,不得触及发射回线。

7.5.5 发射回线所有连接处应保持干燥、无灰尘、不漏电。

7.5.6 探测过程中仪器设备应注意防雨、防震、防暴晒,遇雷雨天气应终止野外作业。

8 野外资料验收

8.1 验收内容

8.1.1 原始资料应包括：

- a) 原始数据光盘,应含有 $E-t$ 和 E_0-q 数据；
- b) 野外观测记录；
- c) 测地工作记录。

8.1.2 基础资料应包括：

- a) 实际材料图；
- b) $E-t$ 时序曲线图(参见图 D.1)和 E_0-q 测深曲线图(参见图 D.2)；
- c) 检查点误差统计表。

8.1.3 野外工作报告应包括下列主要内容：

- a) 项目来源、工作任务、工区位置、工作量；
- b) 任务完成情况；
- c) 方法技术及质量情况；
- d) 质量保证措施；
- e) 初步成果分析。

8.2 资料质量评价

8.2.1 测点质量评价

8.2.1.1 测点质量评价依据

$E-t$ 和 E_0-q 曲线形态反映了测点原始数据质量的优劣,合格的曲线应为:

- a) $E-t$ 曲线包络线呈指数规律衰减或呈近平直的曲线(参见图 D.1);
- b) E_0-q 曲线出现极大值或呈上升趋势(参见图 D.2)或呈近平直的曲线。

8.2.1.2 测点质量评价标准

测点数据质量分为Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级 3 个等级,其评价标准为:

- a) Ⅰ级(优秀):85%以上激发脉冲矩的数据连续性好,能严格内插唯一确定曲线,异常地段的观测曲线满足 8.2.1.1 的要求,检查点的均方相对误差 $\leq 10\%$;
- b) Ⅱ级(良好):75%以上激发脉冲矩的数据没有 3 个连续的畸变点,异常地段的观测曲线满足 8.2.1.1 的要求,检查点的均方相对误差 $\leq 15\%$;
- c) Ⅲ级(差):数据点分散,低于Ⅱ级要求,数据不能用于资料解释。

8.2.2 全区质量评价

8.2.2.1 Ⅰ级(优秀):80%以上测点的数据质量为Ⅰ级,全区总平均均方相对误差 $\leq 10\%$,原始记录齐全、清楚、可靠。

8.2.2.2 Ⅱ级(良好):90%以上测点的数据质量为Ⅱ级,全区总平均均方相对误差 $\leq 15\%$,原始记录齐全。

8.2.2.3 Ⅲ级(差):低于Ⅱ级要求。

9 资料处理与解释

9.1 资料处理

9.1.1 零时外延:将测量开始时刻 t 时的 NMR 信号振幅 $E(q, t)$ 进行外延,得到激发电流脉冲终止时刻($t=0$)的 NMR 信号初始振幅 $E_0(q)$ 。

9.1.2 化为标准观测值:将实际观测的各个激发脉冲矩的 $E(q, t)$ 值化为等间距的激发脉冲矩对应的值,以便满足反演解释的需要。

9.1.3 噪声滤波:利用弱信号处理技术,对已进行零时外延的实测信号进行噪声滤波,降低噪声水平,改善和提高反演求解的质量。

9.2 资料解释

9.2.1 解释原则

9.2.1.1 由已知到未知,由点到面,点面结合,由定性向定量。

9.2.1.2 资料解释时,要考虑影响 NMR 信号的因素。

影响 NMR 信号的主要因素为:

- a) 岩石导电性:含水层上覆岩层为低阻层时产生的低阻屏蔽效应,会使 NMR 信号衰减,导致 SNMR 法的探测深度和垂向分辨率降低,甚至可能漏掉深处含水层;
- b) 地磁场磁感应强度、地磁场倾角:在进行大范围水文地质填图或圈定找水远景区时,要考虑地磁场磁感应强度和地磁场倾角变化对 NMR 信号的影响特点;

- c) 含水介质类型和 T_2^* 的关系(参见附录 E);
- d) 电磁噪声使 SNMR 法的测深曲线畸变,甚至产生假异常;
- e) T_x/R_x 回线形状、大小和敷设方向对核磁共振信号的影响;
- f) q 大小和个数:通常, q 大小反映探测深度的变化,地下分层的层数与使用的 q 的个数一致。

9.2.1.3 利用综合方法进行多参数对比解释。

9.2.2 解释方法

SNMR 法的资料反演解释是将观测到的参数变为水文地质参数的过程。在 SNMR 法资料反演解释中,建议利用目前比较广泛使用的吉洪诺夫正则化法,或选用目前已成熟的其他解释方法。

9.2.3 解释结果

NMR 信号经处理、反演后,可提供的水文地质参数为(参见附录 F):

- a) 含水层的深度、厚度和单位体积含水量;
- b) NMR 信号的平均衰减时间常数;
- c) 地层的导电性;
- d) 含水层的渗透系数;
- e) 含水层的导水系数。

10 成果报告编写

10.1 基本要求

- 10.1.1 应按工作任务和设计书要求编写。
- 10.1.2 所用资料必须是经质量验收合格的正式资料。
- 10.1.3 应图文并茂、重点突出、文字简练、结构严谨、立论有据、结论客观。
- 10.1.4 附图、附表和附件应配置合理、规范、美观整洁,文字说明应简练。

10.2 内容

10.2.1 正文:

- a) 工作任务及任务完成情况;
- b) 测区自然地理和以往工作程度;
- c) 测区的地质、水文地质概况及地球物理特征;
- d) 野外工作方法和质量评价;
- e) 数据处理方法和处理结果;
- f) 资料解释和推断;
- g) 结论与建议。

10.2.2 图件:

- a) 实际材料图;
- b) 含水量直方图(参见图 D.3);
- c) T_2^* 或 T_1^* 直方图(参见图 D.4)。

10.2.3 附图:

- a) 含水量断面等值线图(参见图 D.5);
- b) 含水层的导水系数等值线图;
- c) 资料综合解释图(推断地质断面图、地质及地球物理综合解释图)等。

附 录 A
(资料性附录)
常用比例尺和测网密度表

SNMR 法常用比例尺和测网密度见表 A.1。

表 A.1 SNMR 法常用比例尺和测网密度

比例尺	测线间距 m	沿测线点距 m	每平方公里的测点个数 个
1 : 50 000	500~2 000	500~1 000	1~4
1 : 25 000	250~1 000	250~500	2~16
1 : 10 000	100~500	100~250	18~100
1 : 5 000	50~250	50~100	40~400

附 录 B
(资料性附录)
信号叠加次数参考值

开展野外工作时,SNMR 法每个脉冲矩叠加次数的选择数视环境电磁噪声和信号幅值而定。叠加次数的选择可参照表 B.1。

表 B.1 SNMR 法信号叠加次数参考值

环境电磁噪声范围 nV	信号幅值 nV	叠加次数 (次/脉冲矩)
200~500	30	64
	100	32
	300	16
500~1 000	30	128
	100	65
	300	32
>1 000	30	256
	100	128
	300	64
注：回线边长 75 m 或 100 m。		

附 录 C
(规范性附录)
野外记录表

SNMR 法野外记录表见表 C.1。

表 C.1 SNMR 法野外记录表

测 区						测区编号				
测点编号						测点坐标				
日 期						仪器型号				
开工时间						收工时间				
天 气						地磁场倾角/°				
地磁场磁感应强度/nT						激发频率/Hz				
回线类型										
电磁噪声干扰水平/nV						信号幅值范围/nV				
激发脉冲矩个数			叠加次数			记录长度/ms			放大倍数	
电 池 电 压 V	激发脉 冲 矩 (A·ms)	最大输 入电压 V	回线 阻抗 Ω	平均电 磁噪声 nV	接收 频率 Hz	初 始 振 幅 nV	初始 相位 (°)	视横向 弛豫时间 ms	视纵向 弛豫时间 ms	备 注
地形、 地物描述										
操作人			记录人			审核人			页码	

附录 D
(资料性附录)
原始曲线及成果图件示例

D.1 NMR 信号振幅、噪声振幅与时间关系图(见图 D.1)

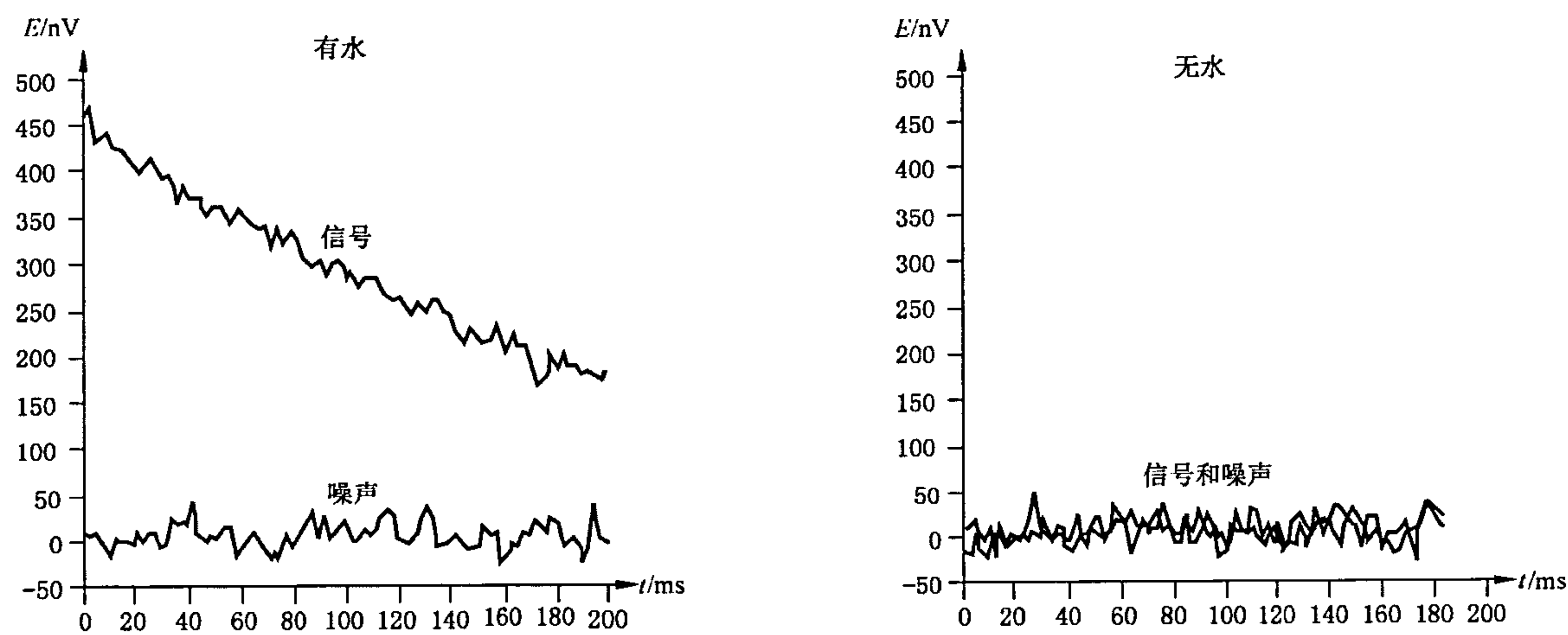
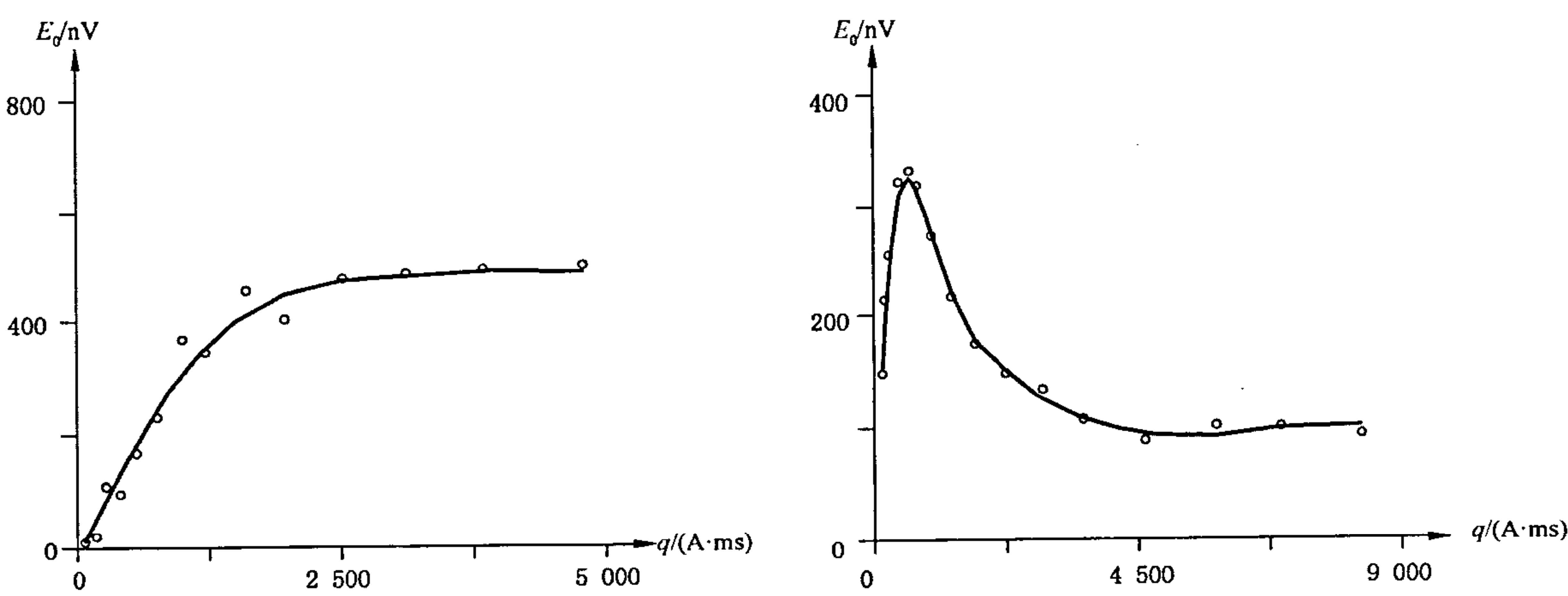


图 D.1 NMR 信号振幅、噪声振幅与时间关系图

D.2 异常地段(富水地段) E_0 - q 测深曲线图(见图 D.2)



说明：
图中圆圈表示实测 E_0 值；
实线表示理论计算的 E_0 值。

图 D.2 E_0 - q 曲线图

D.3 含水层单位体积含水量直方图(见图 D.3)

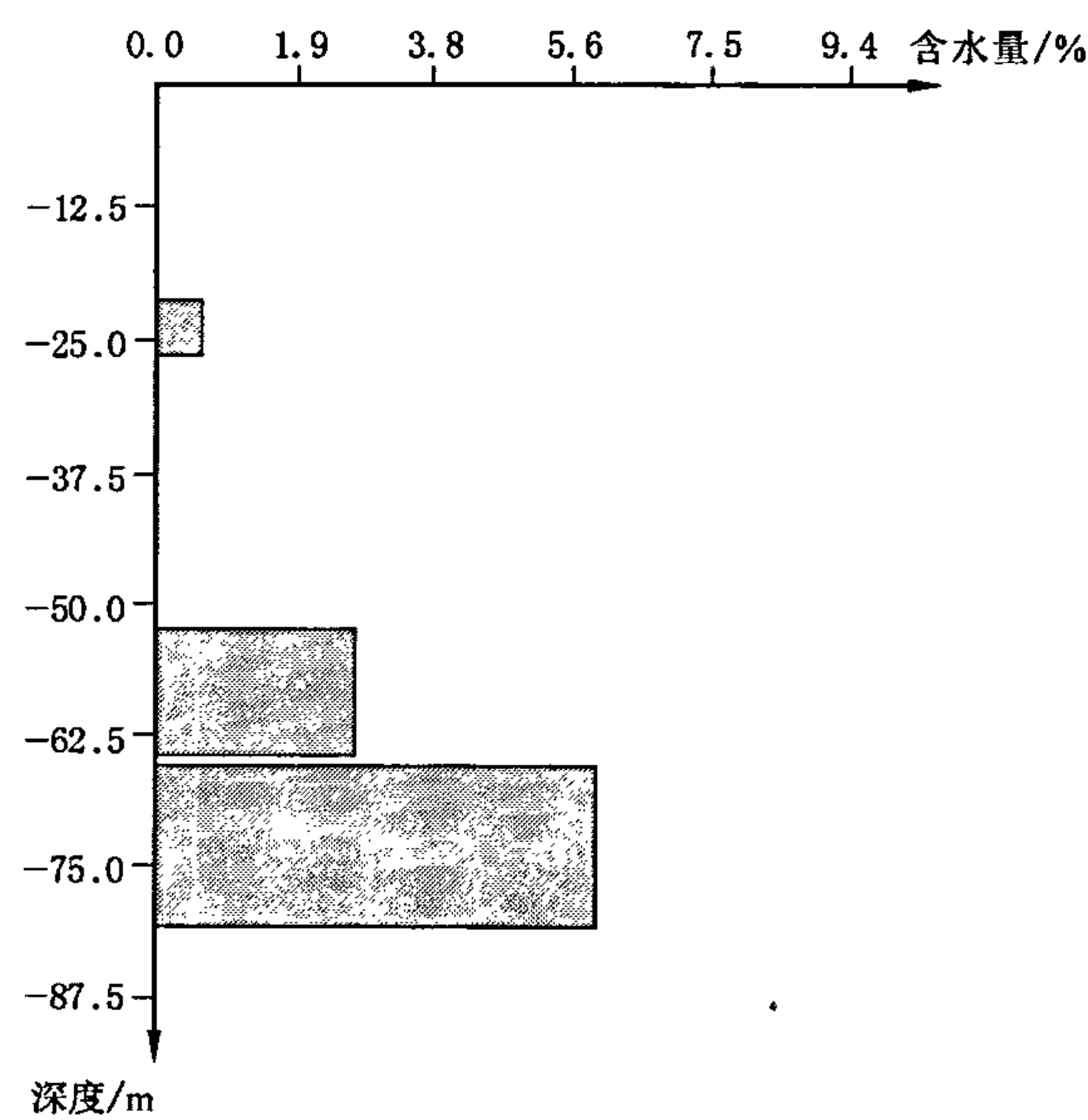


图 D.3 单位体积含水量直方图

D.4 含水层 T_2^* 直方图(见图 D.4)

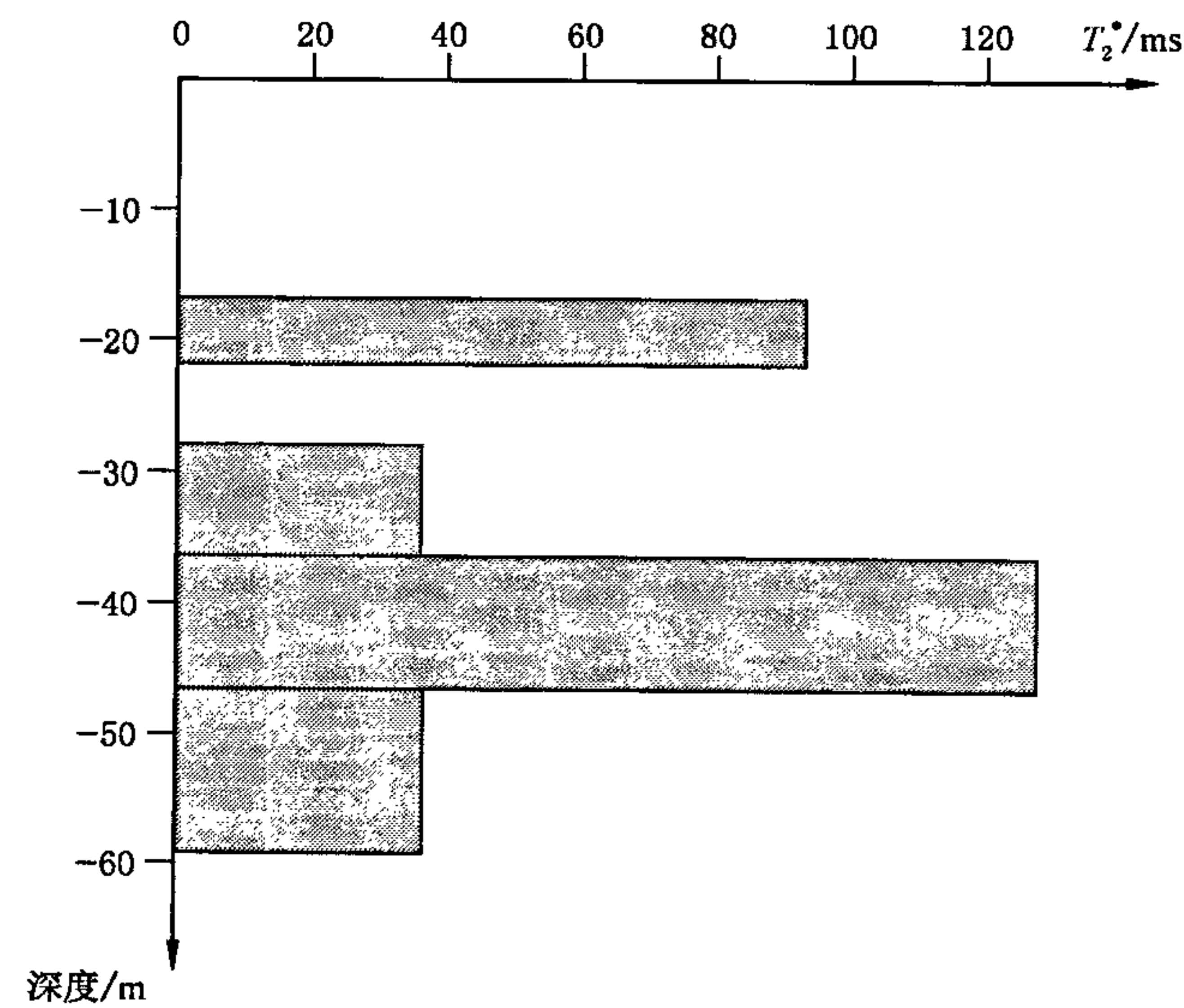


图 D.4 T_2^* 直方图

D.5 单位体积含水量断面等值线图（见图 D.5）

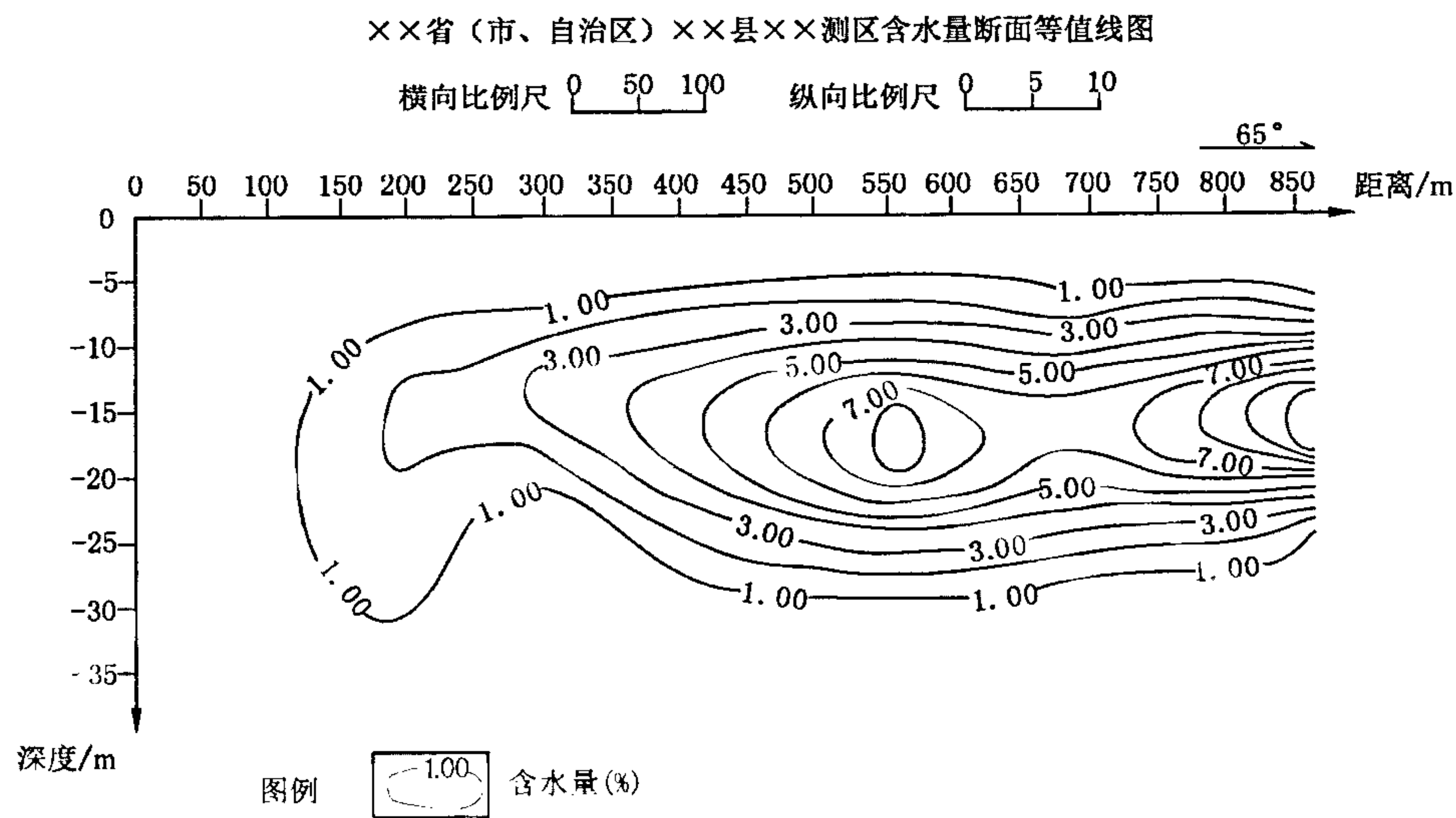


图 D.5 某地含水量断面等值线图

附 录 E
(资料性附录)

视横向弛豫时间常数和含水层类型的近似关系

T_2^* 和含水层类型的近似关系见表 E.1。

表 E.1 T_2^* 和含水层类型的近似关系

T_2^* ms	含水层类型
<30	砂质粘土层
30~60	粘土质砂、粉砂
60~120	细砂层
120~180	中砂层
180~300	粗砂和砾质砂层
300~600	砾石沉积层
600~1 000	地面水体

附录 F
(资料性附录)
确定和估算的含水体参数

F.1 含水层深度、含水量

通过对 NMR 信号反演解释,可以直接得到地下各含水层的深度、厚度和单位体积含水量(φ_{MRS})。

F.2 NMR 信号的平均衰减时间常数

NMR 信号的平均衰减时间(也称弛豫时间) T_2^* 或 T_1^* 与岩土体平均孔隙度有密切关系。 T_2^* 或 T_1^* 表征岩土体孔隙的大小和孔壁表面的性质。

F.3 地层的导电性

NMR 信号初始相位为测量到的自由感应衰减信号相对激发电流的相位移,其反映地下岩层的导电性。

F.4 含水层的渗透系数

根据 SNMR 法获得的数据,用试配法得到式(F.1)的数值模型:

$$K_{\text{MRS}} = C_P \cdot \varphi_{\text{MRS}} \cdot (T_1^*)^2 \quad \dots\dots\dots(\text{F.1})$$

式中:

- K_{MRS} ——由 SNMR 法测量结果估算的渗透系数,单位为米每秒(m/s);
- C_P ——常数,由水文钻孔标定,与地质条件有关,($\text{m} \cdot \text{ms}^{-2}$)/s,取值范围为: $10^{-8} \sim 10^{-12}$;
- φ_{MRS} ——SNMR 法测量得到的单位体积含水量,%;
- T_1^* ——视纵向弛豫时间,单位为毫秒(ms)。

F.5 含水层的导水系数

导水系数是表示含水层导水能力的参数,按式(F.2)计算:

$$T_{\text{MRS}} = K_{\text{MRS}} \times M_{\text{MRS}} \quad \dots\dots\dots(\text{F.2})$$

式中:

- T_{MRS} ——由 SNMR 法测量结果估算的导水系数,单位为平方米每秒(m^2/s);
- K_{MRS} ——渗透系数,单位为米每秒(m/s);
- M_{MRS} ——由 SNMR 法测量得到的含水层厚度,单位为米(m)。

参 考 文 献

- [1] GB/T 14499 地球物理勘查技术符号
- [2] DZ/T 0069 地球物理勘查图图式图例及用色标准
- [3] DZ/T 0173—1997 大地电磁测深法技术规程
- [4] DZ/T 0187—1997 地面瞬变电磁法技术规程
- [5] SY/T 5171—2011 陆上石油物探测量规范
- [6] SY/T 5772—2012 可控源声频大地电磁法勘探技术规程
- [7] SY/T 5820—1999 石油大地电磁测深法技术规程
- [8] SY/T 5930—2010 电法仪使用与维护
- [9] SY/T 6688—2013 时频电磁法勘探技术规程
- [10] A. Legchenko, M. Ezersky, J.-F. Girard, et al. Interpretation of magnetic resonance soundings in rocks with high electrical conductivity[J]. Journal of Applied Geophysics, 2008, 66:118~127.
- [11] A. Legchenko, M. Ezersky, C. Camerlynck, et al. Locating water-filled karst caverns and estimating their volume using magnetic resonance soundings[J]. geophysics, 2008, 73(5):51~61.
- [12] Boucher M , Favreau G & Vouillamoz J M , et al. Estimating specific yield and transmissivity with magnetic resonance sounding in an unconfined sandstone aquifer (Niger)[J] , Hydrogeology Journal, 2009, 17: 1805~1815.
- [13] Bernard, J. Instruments and field work to measure a Magnetic Resonance Sounding[J]. Boletín Geológico y Minero, 2007, 11, 8 (3): 459~472.
- [14] Lachassagne P , Baltassat J-M , Legchenko A, et al. The links between MRS parameters and the hydrogeological parameters[J], Near Surface Geophysics, 2005, 3:259~265.
- [15] Martina Braun, Ugur Yaramanci. Inversion of resistivity in magnetic resonance Sounding [J]. Journal of Applied Geophysics, 2008, 66:151~164.
- [16] M.D. Schirov, A.D. Rojkowski. On the accuracy of parameters determination from SNMR measurements[J]. Journal of Applied Geophysics, 2002, 50:207~216.
- [17] Shuqin Sun, Jun Lin, Haisheng Li, et al. Combining surface NMR measurements and Hydrogeological parameters to estimate the yield capacity of water-saturated layers[A]. 19th International Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth, 2008, 10:36~40.
- [18] Schirov M et al. A new direct noninvasive groundwater detection technology for australia [J]. Exploration Geophysics, 1991, 22(2) :333~338.
- [19] Zhongxing Wang, Jun Lin, Liangliang Rong, et al. Real-time power line harmonics suppression from MRS based on stacking and ANC[A], 2nd International Congress on Image and Signal Processing, 2009, 8:4115~4119.
- [20] 陈文升.核磁共振地球物理仪器原理[M],北京:地质出版社,1992.
- [21] 李振宇,潘玉玲,张兵等.利用核磁共振方法研究水文地质问题及应用实例[J].水文地质工程地质, 2003, 30(4):50~54.
- [22] 林君,段清明,王应吉等.JLMRS-I 核磁共振地下水探测仪研发与应用[A],第九届中国国际地球电磁学术讨论会论文集.2009, 11:79~82.
- [23] 李振宇,唐辉明,潘玉玲.地面核磁共振方法在地质工程中的应用[M].武汉:中国地质大学出版社,2006.

- [24] 杨桂新,武毅,郭建强,朱庆俊.地面核磁共振技术勘查西北干旱浅层地下水效果浅析[J].CT理论与应用研究,2000,(增刊):53~55.
- [25] 肖立志.核磁共振成像测井与岩石核磁共振及其应用[M].北京:科学出版社,1998.
- [26] 潘玉玲,张昌达等编著.地面核磁共振找水理论和方法[M].武汉:中国地质大学出版社,2000.
- [27] 潘玉玲,李振宇,张兵,顾涛.核磁共振技术在秦始皇陵考古中的应用效果[J].工程地球物理学报,2004,1(4):299~303.
- [28] 万乐,潘玉玲.利用核磁共振方法探查岩溶水[J].CT理论与应用研究,1999,(3):15~19.
- [29] 孙淑琴,赵义平.用地面核磁共振方法评估含水层涌水量的实例[J].地球物理学进展,2008,23(4):1317~1321.
- [30] 张小华,林君,王应吉等.地面核磁共振(NMR)找水仪发射机的研制[J].仪器仪表学报,2006,27(7):689~692.
- [31] 张昌达,潘玉玲.关于地面核磁共振资料岩石物理学解释的一些见解[J].工程地球物理学报,2006,3(1):1~8.
-

中华人民共和国地质矿产
行 业 标 准
地面核磁共振法找水技术规程
DZ/T 0263—2014

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

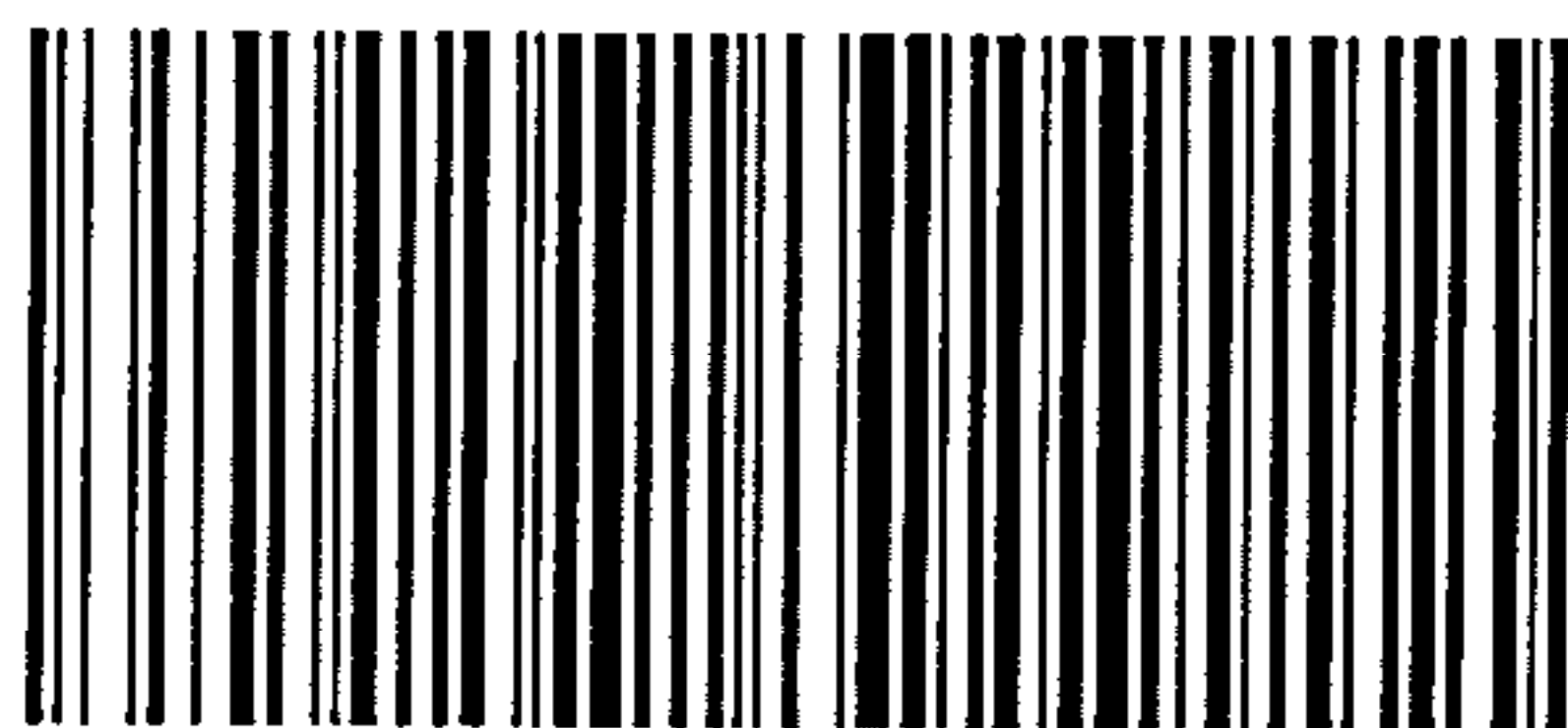
*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 46 千字
2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月第一次印刷

*

书号: 155066 · 2-27932

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



DZ/T 0263-2014