



THEORY AND DESIGN OF MAGNETIC RESONANCE
SOUNDING INSTRUMENT
FOR GROUNDWATER DETECTION
AND ITS APPLICATIONS

地球探测技术及仪器系列专著

核磁共振找水仪 原理与应用

林 君 段清明 王应吉 等著



科学出版社
www.sciencep.com

地球探测技术及仪器系列专著

核磁共振找水仪原理与应用

林 君 段清明 王应吉 等著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了核磁共振地下水探测方法及仪器特点；应用领域、发展历史与现状，探测的基本原理与正演计算方法；探测仪系统设计、噪声干扰抑制技术、数据特征参数提取及解释技术；野外工作方法、应用实例和最新研究进展等，并指出了相关领域进一步研究的发展方向。

本书内容主要涉及仪器仪表、地球物理、电子测量、信号处理和控制技术，是一本理论联系实际的科研成果专著，可供从事地下水资源调查与管理、工程勘察、地球探测技术和仪器仪表研究与设计等领域的科研人员、教师、本科生及研究生使用，也可供地球物理工作者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

核磁共振找水仪原理与应用/林君等著. —北京：科学出版社，2010

(地球探测技术及仪器系列专著)

ISBN 978-7-03-028357-3

I. ①核… II. ①林… III. ①核磁共振-应用-地下水资源-水文地质勘探
IV. ①P614.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 139820 号

责任编辑：韦 沁 朱海燕/责任校对：刘亚琦

责任印制：钱玉芬/封面设计：耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年1月第一版 开本：787×1092 1/16

2011年1月第一次印刷 印张：14 1/4

印数：1—3 000 字数：319 000

定价：79.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

序

2002年，长春地质学院（今吉林大学地学学科）50周年校庆时，林君教授向我介绍了他们的地球物理仪器开放研究实验室，使我了解到在中国的大地上有一批科学家几十年如一日地研究和开发地球物理技术与仪器。他们不为名，不为利，在极其艰苦的条件下坚持工作，并做出成绩。从而，我对他们的敬佩之心油然而生。

长春地质学院和北京地质学院都是1952年院系调整时建立的。当时两院师生对地球物理勘探都是陌生的，但是，大家都有一个为发展中国地球物理勘探事业而献身的愿望和决心。两个学院之间的交流是频繁的，发展是共同的。1964年地质部党组决定，成建制地抽调以长春地质学院业冶铮教授为首的海洋地质教研室、以北京地质学院刘光辉教授为首的海洋物探教研室和朱光教授所在的柴达木石油地质队，在南京组成地质部海洋地质研究所，该团队开创了中国的海洋地质事业，在中国四大海域中的三个海域找到了石油，并且进军世界三大洋，登上南极洲。

海洋油气勘探使我们开始认识到地球物理技术与仪器的重要性。几十年来，从导航定位到各种地球物理探测仪器设备，几乎样样都要靠引进，使我们依赖外国，失去独立自主。我们也将陆地地球物理仪器进行改装，以适应海洋条件，但只能应付低水平的观测，而难以满足海底油气勘探的高精度要求。40年的中国海洋地球物理勘探使我们深刻认识到油气资源关系到国民经济建设，而海洋地球物探仪器的现代化更关系到祖国的主权和权益，关系到国家的安全。联合国海洋法公约要求相邻和相向国家解决海洋划界问题，为此需要精密的海底地形图以及通过地球物理场了解更深层次的海底矿产资源，特别是油气资源的分布。同时，地球物理场又是监测核潜艇活动的基础。

基于这种认识，长期以来，我们四处呼吁发展中国的地球物理勘探事业，为寻找更多的油气、煤炭、金属矿床和水资源，满足国民经济建设的需求，而其中的重要基础环节则是中国地球物理探测技术与仪器的现代化发展。

应该说,在我国社会主义市场经济的初级阶段,还没有为地球物理探测技术与仪器的发展创造出良好的环境条件。但是,尽管如此,原长春地质学院的一批科学家不仅坚持教书育人,培养地球物理仪器的本科生和研究生,而且自主研制成功了一系列地球物理探测仪器设备,其中包括:

- ① 核子旋进航空磁力仪(国家科技发明奖);
- ② 航空光泵磁力仪与电法综合测站(国家科技大会奖);
- ③ GEM 系列数字大地电磁探测仪(国家教委科技进步二等奖);
- ④ 静力触探微机实时处理系统(上海市优秀新产品二等奖);
- ⑤ 智能综合工程探测仪(国家科技进步三等奖,地矿部科技进步二等奖);
- ⑥ 高密度电阻率仪(地矿部科技进步二等奖);
- ⑦ 滩海大地电磁测探仪(在辽宁滩海得到应用);
- ⑧ 电磁驱动高频可控震源(教育部科技进步二等奖);
- ⑨ 1000N 电磁驱动高频可控震源(国家发明专利,吉林省科技进步一等奖)。

现在,以林君教授为首的地球物理技术与仪器研制集体要在总结上述成就的基础上出版一系列专著,以推动我国地球物理探测技术与仪器的深化发展,我谨表示衷心的祝贺,并对他们的辛勤劳动表示深深的敬意。

中国科学院院士



2004 年 3 月 6 日

前 言

水资源是人类赖以生存最重要的自然资源之一，也是国民经济发展过程中不可替代的战略资源。我国幅员辽阔，水资源总量比较丰富，居世界第六位，但人均拥有量只有世界人均值的 $1/4$ ，被列为世界 13 个人均水资源缺乏的国家之一。联合国最近的一份报告认为，全世界超过 20 亿人口面临缺水问题，淡水资源缺乏已成为世界性重大难题。我国的淡水资源形势更为严峻，人均淡水资源占有量低于世界平均水平，面临缺水问题的人口比例高达 40% 以上。由于地表水的缺乏和污染，许多城镇和农村转而大量地开采地下水，这就需要探寻地下水的仪器。因此，研制快速高效的地下水探测仪器，在我国北方干旱、半干旱地区和西南岩溶地区寻找地下淡水以及高效、廉价地评价全国地下淡水资源是科技工作者所面临的重点任务之一。

地球物理方法是用于寻找地下水并进行地下水资源评价的先行方法，但常规的地球物理找水方法都是通过勘查含水构造和层位来间接找地下水，不具备解决何处有水、有多少水等一些与地下水紧密相关的基本问题的能力。近年来国际上已开发出一种新的地球物理方法直接探测地下水，即利用核磁共振（Nuclear Magnetic Resonance, NMR）技术探测地下水。这是 NMR 技术应用的新领域，是目前唯一的直接找水的新方法，亦称磁共振测深（Magnetic Resonance Sounding, MRS）。MRS 技术利用人工激发的电磁场使地下水中氢核形成宏观磁矩，这一宏观磁矩在地磁场中产生旋进运动，其进动频率为氢核所特有；用线圈拾取宏观磁矩进动产生的核磁共振信号，即可探测地下水是否存在，这就形成了一种直接找水的方法和仪器。与常规的地球物理探测地下水的方法相比 MRS 技术具有高分辨力、高效率、信息量丰富和解唯一性等优点，利用核磁共振找水仪不打钻就能高效率地进行区域水文地质调查，确定找水远景区，圈定地下水在三维空间内的分布，进而可靠地选定水井位置，还能测定地下水层的深度、储水量和储水层的孔隙度等水文地质信息。

核磁共振找水是一种很有发展前景的直接找水方法，早在 1962 年，Varian

就提出用核磁共振技术探测地下水的构想,并申请了核磁共振探测地下水方法与装置的美国专利,至今已经有近 50 年的历史;前苏联以 Semenov 为首的一批科学家在 20 世纪 80 年代研制出了核磁共振层析找水仪 (Hydroscope),后来又进行了不断地改进与完善,在世界多个国家和地区进行了大量的实验验证,并总结出了一套实用的核磁共振探寻地下水的方法技术;1994 年法国地调局 (BRGM) 的 IRIS 公司购买了该仪器的专利,并与原研制单位合作,于 1996 年春推出了商品化的核磁感应找水仪 (Nuclear Magnetic Introduction System, NUMIS),使人们逐渐了解核磁共振技术,并使应用该技术寻找地下水变成现实。显见研制与开发这种新方法的艰难,一方面是因为核磁共振找水仪利用的是天然磁场,天然磁场强度是目前医学核磁共振成像仪人工产生磁场强度的十万分之一左右,两者的频率范围分别为低场频率 $1\sim 3\text{kHz}$ 和射频 $10\sim 100\text{MHz}$,基于天然磁场的低场核磁共振仍有许多关键技术需要攻克;另一方面,地下 100m 或 150m 深处的地下水所产生的核磁共振信号在地表只有几个纳伏 (nV),在野外根本无法实现屏蔽的天然电磁场通常为豪伏级 (mV) 甚至更大 (医学核磁共振成像仪工作在室内,可以采取屏蔽措施减少电磁干扰,而且被测的目标人体距离仪器的距离不足 1m),如何在如此强的电磁干扰环境下检测到极其微弱的地下水产生的核磁共振信号就成为难题。

核磁共振找水仪主要应用领域包括直接为工农业和居民寻找地下水、进行区域水文地质调查、确定找水远景区、圈定地下水的污染范围、对大坝漏水和地下潜水面进行监测及进行地下水变化的动态监测与利用管理等。我国早在 1997 年就引进了法国生产的核磁共振找水仪并且利用该仪器在我国许多缺水地区找到了地下水;在核磁共振找水理论与方法方面开展了大量的研究工作,取得了可喜的科研成果;并总结出版了利用法国的核磁共振找水仪进行地下水探测的方法技术的论著。但我国一直没有自主研发的核磁共振找水仪问世,也没有专门介绍核磁共振找水仪设计方法技术的著作,而且引进的核磁共振找水仪价格昂贵、维修十分困难,有的用户引进仪器后由于仪器损坏而一直停放在仓库里,没有实际应用,这是影响核磁共振直接找水技术在我国应用推广的重要因素。作者所带领的科研团队在国家科技支撑计划重大项目课题的资助下于 2008 年自主研制出了核磁共振找水仪,并在蒙古和我国吉林、内蒙古等国家和地区进行了大量的野外实验和工程找水应用,取得了丰富的第一手资料和仪器

研发经验，并撰写了《核磁共振找水仪原理与应用》论著，旨在提升我国自主研发核磁共振找水仪等高端地球物理仪器装备的创新能力，扭转高端地球物理仪器长期依赖进口的局面，为缺水地区直接探测地下水提供有效的技术支撑。

本专著系国家“十一五”科技支撑计划重大项目“科学仪器装备研制与开发”课题“核磁共振找水仪研制与开发”（课题编号：2006BAK03A23）的主要研究成果，也是教育部重点科技项目“核磁共振地下水探测技术及仪器研究”（项目编号：106060）和吉林省重点科研项目“核磁共振找水仪研制”（项目编号：200800338）等研究成果与大量野外应用实践的总结。本书包括授权和公开的4项发明专利和3项实用新型专利，已发表和未发表的部分研究成果，有关研究成果2009年获教育部科技进步二等奖。

全书共分10章。第1章简要介绍了核磁共振地下水探测方法及仪器的特点、应用领域和发展历史与现状；第2章介绍了核磁共振地下水探测的基本原理与正演计算方法；第3章较详细地介绍了核磁共振地下水探测仪发射系统设计技术；第4章给出了核磁共振地下水探测仪接收系统的设计；第5章介绍了核磁共振地下水探测仪测试技术；第6章介绍了核磁共振地下水探测仪噪声干扰抑制技术；第7章给出了核磁共振测试数据特征参数提取及解释技术；第8章给出了核磁共振地下水探测仪野外工作方法；第9章介绍了核磁共振地下水探测仪应用；第10章介绍了核磁共振地下水探测技术的最新研究进展并对其未来发展趋势进行了预测，并提出进一步研究的重要发展方向。2010年春季，我国西南地区遭遇百年不遇的特大旱灾，本书作者组成了科技抗旱救灾队伍分赴云南、贵州和广西，用自主研发的仪器为少数民族居住的山区居民探查地下水，解决人畜饮水安全问题，为抗旱救灾做出了重要贡献，再一次显示出核磁共振找水仪器的重要作用。

作者、合作者、博士生和硕士生为本书出版做了大量的工作，林君教授撰写了第1、10章；段清明教授撰写了第3、9章；王应吉教授撰写了第4、5、8章；孙淑琴副教授撰写了第2、7章；田宝凤副教授撰写了第6章；水利部牧区水利科学研究所的魏永富高级工程师、李海生高级工程师和赵一平工程师参与撰写了第8、9章；王中兴博士撰写了第4、5、6章的初稿；荣亮亮博士、博士生蒋川东、尚新磊、易晓峰，硕士生习晓红以及刘焕江、杜志坚工程师等在仪器系统研制、野外实验及应用实践方面均做出了重要的贡献；硕士生庞博、王

健鹏和张哲等帮助校对了全文，作者向为本书做出贡献的同仁们表示最衷心的感谢。感谢国家科技部条件财务司的领导对我们《核磁共振找水仪研制与开发》课题的关心与支持，也感谢该课题的跟踪专家和项目办公室在核磁共振找水仪研制过程中给予的指导。

本书是《地球探测技术及仪器系列专著》之一，中国地球物理学会名誉理事长刘光鼎院士为本系列专著作序并多次亲临第一作者所领导的地球物理仪器实验室指导，为我国的地球探测技术及仪器的发展出谋划策，作者深表敬意。

限于作者的水平，书中不妥和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2010 年 7 月

于吉林大学

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 核磁共振探测地下水技术的国内外发展历程	2
1.3 核磁共振探测地下水探测技术的特点及其应用领域	7
1.4 核磁共振探测地下水方法与技术仍然存在的问题	11
第 2 章 核磁共振地下水探测基本原理	13
2.1 拉莫尔频率和核磁共振条件	13
2.2 原子核磁化强度的弛豫过程	17
2.3 核磁共振地下水探测原理	23
2.4 地面核磁共振响应的数值模拟	25
2.5 核磁共振信号影响因素分析	34
2.6 核磁共振地下水探测仪整体设计	40
第 3 章 核磁共振地下水探测仪大功率发射技术	45
3.1 核磁共振地下水探测仪发射系统概述	45
3.2 基于大容量电容器的瞬态大功率电源技术	46
3.3 发射控制技术	50
3.4 基于 IGBT 的 H 桥路大功率发射技术	53
3.5 快速切换技术	57
3.6 基于霍尔传感器的大功率发射电流检测技术	62
第 4 章 核磁共振地下水探测仪弱信号检测技术	63
4.1 核磁共振地下水探测仪接收系统概述	63
4.2 核磁共振地下水探测仪弱信号调理放大技术	64
4.3 基于数字正交的 FID 信号检测技术	69

第5章 核磁共振地下水探测仪测试技术	85
5.1 地下水探测仪控制技术	85
5.2 核磁共振地下水探测仪自检技术	88
5.3 核磁共振地下水探测仪野外测试方法与技术	92
第6章 核磁共振地下水探测仪噪声干扰抑制技术	105
6.1 核磁共振地下水探测仪噪声源与影响分析	105
6.2 基于仪器系统和测量方法的电磁干扰抑制技术	107
6.3 MRS信号随机噪声削弱技术	113
6.4 MRS信号工频干扰噪声的削弱技术	119
6.5 MRS信号奇异噪声剔除技术	128
第7章 核磁共振测试数据特征参数提取及解释技术	143
7.1 核磁共振测试数据特征参数的提取	143
7.2 测试数据解释技术	144
7.3 水文地质参数的估算	153
第8章 核磁共振地下水探测仪野外工作方法	155
8.1 野外测点激发频率选取	155
8.2 野外天线铺设方法与仪器连接	157
8.3 仪器测量操作	165
第9章 JLMRS型核磁共振地下水探测仪应用实例	176
9.1 JLMRS地下水探测仪应用概述	176
9.2 四子王旗农田灌溉水源地探测	177
9.3 二连浩特城市饮用水源地探测工程	183
9.4 蒙古国哈特乌拉铁矿供水水源地探测	186
9.5 鄂尔多斯市杭锦旗地下水资源普查	188
9.6 通辽地区截潜流水利工程	190
9.7 我国西南旱区抗旱救灾	194
第10章 核磁共振找水技术研究的新进展与发展趋势	200
10.1 二维和三维核磁共振地下水探测技术研究取得了重要进展	201
10.2 抗干扰技术研究取得了突破	203
10.3 数据处理与反演技术研究有了新进展	204

10.4	深层地下水探测技术有了新突破	206
10.5	核磁共振地下水探测应用从单纯的探测地下水向更多的领域扩展	207
10.6	核磁共振地下水探测技术展望	208
参考文献		211

绪 论

1.1 引 言

水资源是人类赖以生存的最重要的自然资源之一，也是国民经济发展过程中不可替代的战略资源。我国幅员辽阔，水资源总量比较丰富（居世界第六位），但人均占有水资源量仅为世界人均占有量的 $1/4$ 。

据大不列颠百科全书记载，地球水体总量为 13.86 亿 km^3 ，其中淡水占 2.53% ，淡水中地下水占 30.04% ；未溶解的冰山、冰川、永冻层和积雪占 69.56% ；河流、湖泊、沼泽、植物类和大气水只占 0.4% 。因此，可利用的淡水 97% 以上为地下水，加之地表水多已污染，人们越来越重视并依赖地下水，如欧共体中丹麦和意大利的工农业和生活饮用采用地下水的百分比大于 90% ；德国和比利时用水中采用地下水的百分比大于 70% ；美国 90% 以上的人口饮用地下水。

世界各国地表水和地下水资源状况差异较大，许多国家和地区处于缺水和严重缺水的境地，解决用水途径和缺水程度也各不相同，总的情况是城市饮用水绝大多数依靠地下水。联合国最近的一份报告表明，全世界超过 20 亿人口面临缺水问题，淡水资源缺乏已成为世界性重大难题。我国淡水资源缺乏的形势更为严峻，人均淡水资源占有量低于世界平均水平，面临缺水问题的人口比例高达 40% 以上；我国西部大开发的关键制约因素是淡水资源的不足和淡水资源“家底”不清。因此，研制快速高效的地下水探测仪对于在我国北方干旱、半干旱地区和西南岩溶地区寻找地下淡水，以及高效、廉价地评价全国地下淡水资源具有非常重要的意义。

寻找和评价地下淡水资源的方法有很多，包括地质、物探、钻探、遥感和化探等方法，其中，重力、磁法、电法、地震、放射性和地温等 6 大类物探方法

都可以用于探测地下水和进行地下水资源评价。6 大类方法中,应用最早且最广的是电法,目前我国使用较多的是激发极化方法和电磁法。

常规的物探找水方法都是通过勘查含水构造和层位来间接找水,不具备解决何处有水、有多少水等一些与地下水紧密相关的基本问题的能力。近年来,国际上已开发出一种新的地球物理方法直接探测地下水,即利用核磁共振(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)技术探测地下水(Schirov *et al.*, 1991),这是 NMR 技术应用的新领域,是目前唯一的直接探测地下水的新方法,近 20 年来在国内外得到了迅速发展。它利用人工激发的电磁场使地下水中氢核形成宏观磁矩,这一宏观磁矩在地磁场中产生旋进运动,其进动频率为氢核所特有;并用线圈(框)拾取宏观磁矩进动产生的电磁信号,即可探测地下水是否存在,因为 NMR 信号的幅值与所探测空间内的水含量成正比(结合水和吸附水除外),这就构成一种直接探测地下水的新技术,形成了一种新的探测地下水方法和仪器。NMR 技术与传统的地球物理探测地下水的方法相比,具有高分辨力、高效率、信息量丰富和解唯一性等优点,是一种很有发展前景的地下水探测方法,特别是探测地下淡水时更显示出这种新技术的优越性。利用核磁共振地下水探测仪可以高效率地进行区域水文地质调查、确定找水远景区及圈定地下水在三维空间内的分布,进而能够可靠地选定水井位置。

1.2 核磁共振探测地下水技术的国内外发展历程

1.2.1 国外发展历程

核磁共振(NMR)技术是当今世界上的尖端技术(Abragam, 1961),用核磁共振的方法直接探测地下水是该技术应用的新领域,开创了应用地球物理方法直接探测地下水的先河。

早在 1962 年,Varian (1962)就提出了用核磁共振技术探测地下水的构想,并申请了核磁共振探测地下水的方法和装置的美国专利,但以后其名下并未有商品化的仪器问世及有关的报道,他的研究仅集中于开发质子磁力仪和核磁共振波谱仪方面。最早利用核磁共振技术进行地下水勘探并研制出可用于探测地下水的仪器的国家是前苏联,从 1978 年起,苏联科学院西伯利亚分院化学动力学和燃烧研究所(ICKC)以 Semenov 为首的一批科学家在 Varian 专利的基础

上,开始利用核磁共振技术进行探测地下水的研究工作。他们用3年时间研制出了可以探测地下水的原型仪器,并在其后十年的时间里对所研制的原型仪器进行不断的改进,并开发出了世界上第一台在地磁场中测定NMR信号的仪器,称为核磁共振层析地下水检测仪(Hydroscope)(Legchenko *et al.*, 2008)。该仪器作为新的探测地下水的重要手段,于1988年在苏联和英国申请了专利(Semenov *et al.*, 1989; Legchenko *et al.*, 1990)。在此期间他们进行了仪器改进和解释方法的研究,试验研究遍及前苏联的大部分国土,北到极地附近的新地岛,南到中亚的哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、乌克兰及西部波罗的海沿岸的立陶宛和白俄罗斯。根据在中亚等地区已知的400多个水文站的对比试验,前苏联科学家总结和研制出了一套正反演数学模型、计算机处理解释程序和水文地质解释方法,这一成果居世界领先水平。与此同时,在澳大利亚、以色列等国家(地区)先后进行的试验,也证明了地面核磁共振方法是目前世界上唯一的可以直接探测地下水的地球物理新方法(Schirov *et al.*, 1991)。1991年俄罗斯科学院西伯利亚分院化学动力学和燃烧研究所与俄罗斯中央地质生产联合体共同创办水文地质层析成像公司,开展水文、工程地质和生态学方面的业务活动,在具有不同水文地质条件的地区进行了现场作业,包括葡萄牙、西班牙、沙特阿拉伯和我国辽宁、新疆等国家和地区,进一步检验和证实了该方法的探测效果(Legchenko *et al.*, 2008)。

1992年俄罗斯的核磁共振层析地下水检测仪在法国进行了成功演示。两年后,法国地调局(BRGM)的IRIS公司购买了该仪器的专利,并与原研制单位ICKC合作研制出了新型的核磁共振地下水检测仪,即核磁感应系统(NUMIS)。作为第二个成功研制核磁共振地下水检测仪的国家,法国在1996年春推出了商品化的核磁共振地下水检测仪,并生产出6套NUMIS系统。法国IRIS公司研制的NUMIS系统是在俄罗斯Hydroscope的基础上改进的,二者的工作原理一致,但NUMIS系统在重量、制造工艺和抗干扰能力等方面进行了许多改进。到目前为止,拥有NUMIS系统的国家除俄罗斯和法国外,还有中国和德国等。1999年IRIS公司将NUMIS系统(勘探深度为100m)升级为NUMIS^{PLUS}(勘探深度为150m),拥有NUMIS^{PLUS}系统的国家包括法国、中国、毛里塔尼亚和伊朗等。除俄罗斯和法国外,美国、德国等也先后开展了核磁共振探测地下水的方法技术与仪器研究工作(Braun *et al.*, 2005; Braun and Yaramanci, 2008; Chalikakis *et al.*, 2008; David,

2008; Girard *et al.*, 2008; Keating and Knight, 2008; Legchenko *et al.*, 2008; Müller-Petke and Yaramanci, 2008; Roy *et al.*, 2008; Vouillamoz *et al.*, 2008; Wattanasen and Elming, 2008)。

关于核磁共振探测地下水技术的名称,人们习惯用核磁共振的英文缩写,即 NMR,但是由于这种探测仪器是在地表上进行的,因此在 1999 年第一届核磁共振探测地下水技术的国际会议上,把核磁共振探测地下水技术简称为 SNMR。为了区别于医学等领域用的核磁共振技术,近年来人们又通常把核磁共振探测地下水技术简称为 MRS(Magnetic Resonance Sounding)。2002 年和 2008 年,由 Legchenko 等主编的“Journal of Applied Geophysics”(Guillen and Legchenko, 2002a, b; Legchenko and Baltassat, 2002; Legchenko and Valla, 2002; Schirov and Rojkowski, 2002; Valla and Legchenko, 2002) 分别出专集刊登了第一届(尹成勇、潘玉玲, 1996; 万乐等, 1999; 潘玉玲、张昌达, 2000; 李振宇等, 2003; 潘玉玲等, 2004; 翁爱华等, 2007)和第三届(Braun and Yaramanci, 2008; Chalikakis *et al.*, 2008; David, 2008; Girard *et al.*, 2008; Legchenko *et al.*, 2008; Müller-Petke and Yaramanci, 2008; Roy *et al.*, 2008; Vouillamoz *et al.*, 2008)核磁共振探测地下水技术国际会议上利用核磁共振技术探测地下水的方法技术、仪器研制及应用方面的文章。2005 年,“Near Surface Geophysics”刊登了第二届(Guillen and Legchenko, 2002b; Yaramanci, 2004; Braun *et al.*, 2005; Lubczynski and Roy, 2005)核磁共振探测地下水技术国际会议上的部分论文,这 3 届国际会议所发表的文章,代表着当今国际上核磁共振探测地下水的前沿和最新研究进展。

1.2.2 国内发展历程

我国最早开展的核磁共振探测地下水技术研究可以追溯到 20 世纪 60 年代,1965 年夏,长春地质学院的张昌达和崔岫峰等老师曾进行过 MRS 技术探测地下水的初步试验。他们在长春市净月潭水库的下游进行了现场测试,采用交流极化方式,即在铺设的大线圈里通以交变电流,交变电流的频率等于质子在当地地磁场中的旋进(共振)频率。由于受到当时技术条件的限制,未接收到共振信号,但获得了一些经验,这项试验几乎与国际上开展该项技术研究同步(潘玉玲、张昌达, 2000)。此后,国内的有关专家学者对国际上核磁共振探测地下水技术的发展

给予关注。直到 1997 年底,中国地质大学(武汉)引进了法国 IRIS 公司研制的 NUMIS 系统,这是我国引进的第一套 NUMIS 系统,标志着我国应用核磁共振探测地下水技术的新起点;1999 年中国地质科学院水文地质环境地质研究所、新疆水利厅石油供水办公室各引进一套 NUMIS;2001 年春天,水利部牧区水利科学研究所引进一套 NUMIS 系统的升级探测地下水设备——NUMIS^{PLUS},之后该所又增加引进了一套。上述单位利用引进的 MRS 地下水探测仪成功地在湖北、湖南、河北、福建、内蒙古和新疆等多个省市和地区进行了探测地下水实践,并在上述缺水地区找到了地下水。NUMIS 和 NUMIS^{PLUS}的引进,促进了我国核磁共振探测地下水技术应用的发展,使我国成为国外核磁共振地下水探测仪的终端用户,并且在应用核磁共振探测地下水方面与国际水平同步(尹成勇、潘玉玲,1996;潘玉玲、张昌达,2000;李振宇等,2003;潘玉玲等,2004;翁爱华等,2004;张小华等,2006;姜艳秋等,2007;翁爱华等,2007;王应吉等,2008)。

我国有很多地区的居民生活、农业灌溉和工业用水都需要使用地下水,从国外引进的仪器昂贵且经常损坏,特别需要自主研制低成本、高性能的地下水直接探测仪。自引进 NUMIS 系统以来,许多专家学者多次呼吁我国自主研制核磁共振地下水探测仪,但一直没有真正起步。直到 2001 年,吉林大学核磁共振探测地下水(MRS)仪器开发课题组(以下简称“课题组”)联合水利部牧区水利科学研究所和北京海光仪器公司参加了国家“十五”“科学仪器研制与开发”项目“核磁共振找水仪的研制与开发”课题投标工作。虽然在“十五”期间国家没有启动该课题,但在吉林大学的大力支持下,课题组从 2002 年开始自筹资金开展核磁共振地下水探测仪原理样机的研制及野外实验研究。经过两年多的刻苦努力,2004 年 10 月,课题组利用自行研制的核磁共振地下水探测仪原理样机,在长春市新立城镇腰高家窝堡西 500m 处探测到了十多米深处地下水的核磁共振信号,测量结果与已知的水文资料基本相符。

2005 年课题组自筹资金对 MRS 地下水探测仪原理样机进一步改进,改进内容主要包括:加大了发射电流、提高了弱信号检测与处理能力及研制出了原理样机的数据处理与解释软件。

2006 年 10 月,课题组申请了“十一五”国家科技支撑计划项目“科学仪器设备研制与开发”课题之一“核磁共振找水仪研制与开发”,并获得资助。

2007 年课题组研制出第一套 MRS 地下水探测仪科研样机(JLMRS)。经过