

7724

地震出版社

56.581

中国地震地下水 动态观测网

WELL - NETWORK FOR EARTHQUAKE
PREDICTION IN CHINA



中国地震地下水动态观测网

主 编 汪成民

副 主 编 李宣珞 王铁城 贾化周 车用太

编 委 郭一新 黄振义 李介成 万登堡

吴景云 刘宝恒 孙天林 熊水英

顾 问 陈鑫连 王国治

编 辑 组 车用太 董守玉 黄祖彭 万迪瑩

孙天林

地 震 出 版 社

1990

内 容 提 要

本书总结了我国地震地下水动态观测网建设的理论与实践,系统介绍了布网原则、选井要求、井-含水层系统的特征、观测项目与观测技术、管理体系与方法,深入分析了井网地下水动态类型与特征、震例与预报经验,初步评述了井网水位对地壳应力应变动态的反应能力、对地震前异常反应的映震能力及在国民经济其他领域内开发应用的潜在能力。

本书对地震地质、水文与工程地质、构造地质、地球化学、环境、石油、煤炭等科学部门的科技与管理人员以及地学领域的师生有参考价值。

中国地震地下水动态观测网

国家地震局科技监测司

责任编辑:马 兰

责任校对:孔景宽

*

地震出版社出版

北京民族学院南路9号

北京计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 22印张 563千字

1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷

印数 001—900

ISBN 7-5028-0335-1/P·215

(724) 定价:11.50元

前 言

大地震的瞬时突发性，可在几秒到几十秒钟内毁灭一座现代文明的城市，几乎与一场核战争的摧毁程度相类同。另一方面，由于城市人口的高度密集，经济投资的相对集中，而城市建筑物与生命线工程的脆化，城市的地震灾害不因科学技术的进步而自然地有所减轻。人类既蒙受深重灾害的洗劫，又受到生存环境的严重挑战。严峻事实，说明减轻地震灾害是人类共同的责任。1988年，联合国大会通过的“国际减轻自然灾害十年”的决议，说明减灾工作是需要国际社会的科学家与各国政府官员之间的通力合作。

中国是世界上发生大陆地震最多的国家，本世纪以来，全球大陆有29.5%的7级以上地震发生在我国。全国有22个省、自治区、直辖市在历史上先后发生过6级以上的地震，全国约有60%的国土处在基本烈度6度以上的区域内。仅70年代，我国因地震死亡的人数就约占全球同期死亡总数的63%。惨重灾难的事实，指示人们要减轻地震灾害必须依赖三个环节的整体协同：即地震预测、预报在科学上的进步；政府防灾功能的强化；民族防灾意识的提高。其中，地震预测、预报是减灾的关键。在地震预测预报中，沿用国际先进的观测技术和观测方法固然是非常重要的，若能根据国情，创造性地发展自己的优势，走出一条具有特色的道路，则将是更为重要了。《中国地震地下水动态观测网》一书的问世，从一个侧面，充分显示了我国地震工作的特色。

地震是地壳介质在构造力作用下发生破裂的一种表现形式，应力积累过程，必然伴随岩石的变形和地下水的动态变化。因此，根据水的不可压缩性，直接观测一个时间尺度比以地震波传播为特征的地面运动要大的固体地球内部运动，可能是地下水动态观测的主要目标。

《中国地震地下水动态观测网》覆盖了我国大陆近1/4的国土，囊括了我国大多数的主要地震活动带。井孔之多，规模之大，质量之高，效能之好乃世上少有。仅能清晰记录地球物理场中自然界唯一赋有理论值的固体潮的井孔就不乏其数。这些数据，在顾及地球组成的不规则性、热量分布的不均匀性以及依赖于流变性质的其他因素后，可以为复杂的地球提供某种理想的模型。

本书由三部分组成：第一部分总论篇，概要阐述全网总体特点；第二部分为分论篇，详细介绍了全国六大片的地下水网的区域特点；第三部分为专论篇，讨论井网在地震预报及其他方面的应用。因此，本书不仅是地下水观测网的总结，而是一本集观测、实验、理论于一体的专著，是我国地震地下水工作者自邢台地震以来长时期研究成果的集成，也是当前国际上在这一领域内比较完整、有科学意义的一本参考书。

这本书是我国地震事业中地下水动态观测在建网、观测技术、观测方法等发展的真实记录和经验总结，希望本书的出版，对广大读者有所裨益。

陈鑫连

1989年8月

目 录

绪 论

一、地下水在地震预报研究中的地位与作用.....	(3)
二、中国地震地下水动态观测网建设简史.....	(5)

总 论

第一章 井网建设	(9)
第一节 建网的目的与任务.....	(9)
第二节 布网与建井.....	(11)
第二章 井网概貌	(18)
第一节 井孔的分布.....	(18)
第二节 井孔的特征.....	(20)
第三节 观测仪器.....	(25)
第四节 井网的基本特征.....	(30)
第三章 井网水位动态的成因类型	(32)
第一节 水位动态的成因类型.....	(32)
第二节 井网水位的宏观动态.....	(36)
第三节 井网水位的微观动态.....	(40)
第四章 井网水位观测数据的处理	(56)
第一节 水位观测数据的日常处理.....	(56)
第二节 水位微动态数据处理.....	(61)
第五章 井网管理	(77)
第一节 井网的宏观管理.....	(77)
第二节 井网的政策管理.....	(79)
第三节 井网的技术管理.....	(85)

分 论

第六章 华北井网	(91)
第一节 华北井网概述.....	(91)
第二节 华北井网的基本特征.....	(96)
第三节 华北井网的典型井孔.....	(102)
第七章 华东井网	(120)
第一节 华东井网概述.....	(120)
第二节 华东井网的基本特征.....	(123)
第三节 华东井网的典型井孔.....	(127)
第八章 西南井网	(138)

第一节	西南井网概述	(138)
第二节	西南井网的基本特征	(141)
第三节	西南井网的典型井孔	(143)
第九章	西北井网	(154)
第一节	西北井网概述	(154)
第二节	西北井网的基本特征	(158)
第三节	西北井网的典型井孔	(162)
第十章	东北井网	(172)
第一节	东北井网概述	(172)
第二节	东北井网的基本特征	(174)
第三节	东北井网的典型井孔	(178)
第十一章	华南井网	(187)
第一节	华南井网概述	(187)
第二节	华南井网的基本特征	(189)
第三节	华南井网的典型井孔	(192)

专 论

第十二章	震例与异常特征	(201)
第一节	典型震例	(201)
第二节	震前地下水位的异常特征及其讨论	(237)
第十三章	地下水预报地震的方法及其效能评价	(253)
第一节	预报方法	(253)
第二节	预报效能评价	(266)
第十四章	井网的水位微动态信息开发前景	(272)
第一节	井网为国民经济建设服务的方向与潜力	(272)
第二节	水文地质信息的开发	(275)
第三节	地质构造活动信息的开发	(280)
第四节	地球物理信息的开发	(286)
附录 I	中国地震地下水动态观测网观测井一览表	(294)
附录 II	41 次震例异常情况统计表	(330)
编后记		(338)
参考文献		(340)

CONTENTS

Introduction

- 1 The role of groundwater observation in earthquake prediction research (3)
- 2 Briefing on establishment of seismic waterwell network in China (5)

Generalities

Chapter 1	Establishment of the well-network	(9)
Section 1	Goals and missions of the well-network.....	(9)
Section 2	Selection of wells and establishment of the well-network.....	(11)
Chapter 2	Introduction to the well-network	(18)
Section 1	Distribution of the wells.....	(18)
Section 2	Characteristics of the wells.....	(20)
Section 3	Observational instruments	(25)
Section 4	Basic characteristics of the well-network	(30)
Chapter 3	Classifications of water level behaviors in the well-network	(32)
Section 1	Classifications of water level behaviors	(32)
Section 2	Macroscopic behaviors of water level in the well-network	(36)
Section 3	Microscopic behaviors of water level in the well-network	(40)
Chapter 4	Data processing of water level in the well-network	(56)
Section 1	Routine data processing of water level	(56)
Section 2	Data processing of groundwater micro-behaviors	(61)
Chapter 5	Management of the well-network	(77)
Section 1	Macroscopic management of the well-network	(77)
Section 2	Policy management of the well-network	(79)
Section 3	Technological management of the well-network.....	(85)

Particulars

Chapter 6	Well-network in North China	(91)
Section 1	Introduction to the well-network in North China.....	(91)
Section 2	Basic characteristics of the well-network in North China	(96)
Section 3	Typical wells of the well-network in North China	(102)
Chapter 7	Well-network in East China	(120)
Section 1	Introduction to the well-network in East China	(120)
Section 2	Basic characteristics of the well-network in East China	(123)
Section 3	Typical wells of the well-network in East China.....	(127)
Chapter 8	Well-network in Southwest China	(138)

Section 1	Introduction to the well-network in Southwest China.....	(138)
Section 2	Basic characteristics of the well-network in Southwest China.....	(141)
Section 3	Typical wells of the well-network in Southwest china	(143)
Chapter 9	Well-network in Northwest China	(154)
Section 1	Introduction to the well-network in Northwest China.....	(154)
Section 2	Basic characteristics of the well-network in Northwest China.....	(158)
Section 3	Typical wells of the well-network in Northwest China	(162)
Chapter 10	Well-network in Northeast China	(172)
Section 1	Introduction to the well-network in Northeast China	(172)
Section 2	Basic characteristics of the well-network in Northeast China	(174)
Section 3	Typical wells of the well-network in Northeast China	(178)
Chapter 11	Well-network in South China	(187)
Section 1	Introduction to the well-network in South China.....	(187)
Section 2	Basic characteristics of the well-network in South China.....	(189)
Section 3	Typical wells of the well-network in South China	(192)

Applications

Chapter 12	Earthquake cases and the characteristics of anomalies.....	(201)
Section 1	Typical earthquake cases.....	(201)
Section 2	Characteristics of anomalies of groundwater level before earthquakes and discussions thereon	(237)
Chapter 13	Methodology of earthquake prediction with groundwater and evaluation of its effectiveness	(253)
Section 1	Prediction methodology	(253)
Section 2	Evaluation of prediction effectiveness.....	(266)
Chapter 14	Future of information development of groundwater micro- behaviors in the well-network	(272)
Section 1	Orientation and potentiality of the well-network for economic construction	(272)
Section 2	Development of the information on hydrogeology	(275)
Section 3	Development of the information on tectonic activity	(280)
Section 4	Development of the information on geophysics.....	(286)
Appendix I		(294)
Appendix II		(330)
Postscript		(338)
References		(340)

结 论

自然灾害是各种灾害的主体。据联合国统计,从1900年到1976年,全世界有450多万人死于地震、火山、洪水、旋风、暴雪、滑坡等自然灾害,导致3亿3千多万人遭灾(受伤或失去家园),损失上千亿美元,波及全世界82%的城市。其中因地震而死亡的人数达260多万,占总死亡人数58.12%,遭地震破坏的城市占全世界受灾城市的50%以上(表1)。

表 1 1970—1981年自然灾害造成的生命和
经济损失初步统计 (据陈英方)

年 度 (年)	灾 害 类 型 及 损 失							
	风 暴 (93次)		地 震 (87次)		洪 水 (130次)		其 他 (87次)	
	死 亡 总 人 数	经济损 失 (百万美元)	死 亡 总 人 数	经济损 失 (百万美元)	死 亡 总 人 数	经济损 失 (百万美元)	死 亡 总 人 数	经济损 失 (百万美元)
1970	306159	490	88144	569	2628	1155	949	
1971	10131	600	1050	818	2205	542	231	
1972	734	3542	10400	801	1654	228	4250	
1973	3214	360	1060	—	1113	918	100000	4030
1974	10747	1740	25408	10	39060	1513	59791	
1975	607	560	2400	17	903	935	100121	600
1976	1785	1370	282355	5485	945	571	948	
1977	15307	1551	3196	801	1812	522	1247	
1978	2440	115	15122	—	3551	342	1863	
1979	2185	1630	1441	3504	2874	36	848	
1980	1078	620	5954	4762	2730	878	301	
1981	698	83	5365	1800	4628	1421	1231	1532
总 计	353 832	12661	441895	18567	64103	9061	272133	(6132)

值得注意的是,近几十年来由于以下原因地震灾害在自然灾害中所占比重越来越大,一方面,随着科学技术的发展,其他灾害的预报、防御能力有了较大提高,而地震研究与其他灾害研究的差距进一步扩大。另一方面,随着人口密集化,生产巨型化,生活电气化、煤气化,同样强度地震的致灾效率(损失程度)已大大提高,防御地震的难度也大大增加。因此,地震作为人类的大敌,已是当前世界普遍关注和亟待解决的难题。

中国是世界上蒙受地震灾害最为深重的国家。我国的地震活动具有频度高、强度大、分布广、震源浅、灾害重的特点。仅本世纪以来，截至1986年中国境内就发生6级以上地震648次，其中7.0—7.9级地震95次； ≥ 8.0 级地震9次，约占全世界7级以上的大陆地震的30%。在全国30个省、市、自治区中，本世纪以来已有21个发生过6级以上强震。自14世纪以来的680年间，有165万人以上死于地震，仅70年代以来因地震死亡人数已达26万人以上，占同期全世界死于地震人数的63%。因此，地震预报研究是一项保障我国的四化建设，造福人民的大事。

预报地震是人类的宿愿，是世代人民梦寐以求的理想。在漫长的历史进程中，为实现这一理想，多少代人进行过前仆后继，顽强不息的斗争。这种斗争大体可分为三个阶段。第一阶段为朦胧阶段。人们通过祈祷、卜占求助于神灵保佑苍生不受地震这个恶魔的损害。后来，逐步转向为纪实阶段，通过对每次大震伴生自然现象的描述以寻找出路。仅在近几十年，人类与地震的斗争才逐渐进入预报阶段，依靠科学技术探索地震活动规律。

中国是地震史料最丰富、最悠久的国家。历史上已有不少学者，将散布各处的地震史料汇编成册。宋初李昉等汇编了“太平御览”，元代马瑞临选编了“文献通考”，明朝的“永乐大典”、清代的“古今图书集成”等巨著中都为地震事件撰有专篇。这是中国古代文化宝库的重要遗产，是前人与地震灾害斗争的真实写照及宝贵经验。解放后，我国先后出版了《中国地震资料年表》及《中国地震历史资料汇编》等史料，全世界地震学者为之赞叹不已，认为是“其他国家无法仿效的对世界地震学最重要的贡献”（著名地震学家埃维森语）。

但是，在我国明确地提出地震预报并大力组织实施则起始于邢台地震。1966年3月8日、3月22日分别在邢台地区隆尧县、宁晋县发生6.8级和7.2级地震，使8000余人丧生，近4万人受伤。这是解放后第一次造成巨大破坏与伤亡的地震。震后周恩来总理3次亲赴现场，视察了强烈地震造成的惨重灾情，倾听了灾区群众要求“地震前打个招呼”的强烈呼声，他当即召集在现场的地震工作者并指出：“我们的祖先，只给我们留下了记录，没有留下经验，这次地震付出了很大代价，这些代价不能白费，必须从中取得经验，研究出地震发生的规律来”，周总理明确号召“希望你们这一代能解决地震预报问题”。从此中国地震工作进入了开创一条具有中国特色的地震预报实用化探索的新时期。

通过20余年的不懈努力，贯彻“以防为主、专群结合、土洋结合、多兵种联合作战”的地震工作方针，我国的地震工作获得了迅速的发展，取得了1975年2月4日海城7.3级地震的成功预报与预防，这是人类历史上第一次对强震预报获得成功。这一划时代的科学成就引起了全世界的瞩目。其后，1976年5月29日龙陵7.4级地震、1976年8月16日松潘7.2级地震等，也作出了一定程度的预报，不同程度地取得了减轻地震灾害的实效。当然，这些成就并不意味着地震预报这一科学难题已被攻克，人类与地震灾害斗争已取得了决定性胜利。事实上，由于地震预报的艰巨性、复杂性以及其他原因而造成的1976年7月28日唐山7.8级地震预报受挫的惨痛教训，更深刻地揭示了事物的另一侧面，就是地震预报探索之路仍然是漫长而艰巨的。地震工作者必须知难而进、潜心探索、广泛实践、努力拼搏，持久地为地震预报的崇高事业不断进取，中国地震地下水动态观测网的建设，就是在这条道路上迈出的有力的一步。

一、地下水在地震预报研究中的地位与作用

实现地震预报的途径与方法是多方面的，但最终总是归结为寻求确切可靠的地震前兆。所以前兆现象的观测是地震预报的核心问题。

如何寻找、捕捉地震前兆？总结迄今为止人类对地震前兆的认识，不难发现它们都起源于大地震现场的直观观测结果与由地震后效的追溯所得到的启示。例如，从大震现象发现断层错动，由此推想震前可能存在断层活动的加剧，从而布设跨断层位移观测；震后现场见到地面强烈变形，于是就开展了大范围地形变测量；震后现场见到井水剧变，喷砂冒水，于是就建立了观测地下水水位、流量、水温、水化、气体变化等的地下水观测网。诸如此类，不胜枚举。从诸多的地震现场观测记录中可以看到，在伴随地震所出现的各种自然异常现象中，数量最多、内容最丰富、异常最突出的当推地下水（气）的异常变化。

1. 从历史记载上看，地下水（气）异常是地震前兆异常的主体

中国古籍所载最古老的历史地震，也是世界史中第一次文字记载的地震，是由“太平御览”所引的“墨子曰：三苗欲灭时，地震泉涌。”禹征三苗当在帝舜 35 年，约公元前 23 世纪，距今已 4000 年之久。由此可见，在历史上，只要有地震发生，就相继伴随有地下水异常变化。

据统计，中国历史地震资料中所记载的地震前兆异常现象共计有 1160 条目之多，其中地下水、气及其有关异常约占 50% 以上。异常形式内容繁多，有描写井水、河水无风起浪的井涛、河涛、水斗、水僵立以及水喷、井溢、水竭、水变味、水变色、水发浑、井响、井燃、地烟、地气、地味、地雾等。许多描述十分明晰、生动，几乎与现代地震调查科学笔记无异。如宋《新安志》对宋哲宗元符 3 年安徽歙县一带地震的记载“黄山第四峰下有泉沸如汤，出香溪中，号朱砂汤。元符三年正月，休宁、太平县民三人来浴，凌晨水变赤如流丹，惊相视不敢言。倾之，地势倾动、波沸涌、声如雷、房舍皆震。”有些记载不仅客观地描述了现象，而且还进行了分析总结，把地下水变化作为地震前兆异常重要表现之一。如 1663 年宁夏“隆德县志”指出“地震之兆约有六端”。其中三端描述了与水气有关的现象。有些记载还涉及地下水异常的成因机制；另一些记载不仅是研究地震前兆的重要资料，而且有时还是研究地壳运动的有力佐证。如时振梁（1985 年）曾根据地震史料（主要是地下水、气现象）分析了发生在明万历 25 年 8 月 26 日前后 3 天的一系列水、气异常，推断它是一次以渤海湾为中心的影响 7 个省的区域性剧烈断层蠕动事件。

除中国外，历史地震记载较全的日本、西欧也同样发现地震前后地下水、气异常较其他种类异常更为广泛、突出。据浅田敏（1981）统计，日本历史大震记载中，水气异常在前兆异常中占据首位。在古希腊对地中海沿岸地震的历史记载中也同样可以发现地下水、气异常是前兆现象的主体。

2. 从二十余年的实践中看，地下水异常具有较高的预报效能

中国第一次对余震获得成功的预报是邢台地震现场对 1966 年 3 月 26 日发生在宁晋百尺口 6.2 级地震的判断。这次地震预报主要有 3 条依据：震中区水位急剧涨落、井水翻花、发浑，动物行为反常以及小震活动出现“密集—平静”的异常变化。其中地下水、气异常最为普遍、突出，在邢台地震工作队作出判断以前，当地群众根据地下水变化已自发地采取预防

地震的措施。

中国第一次预报破坏性主震获得成功并取得实效的地震是1975年2月4日辽宁海城7.3级地震。同样,震前震中区有大量的地下水、气异常与突出的前震活动是这一次载入史册的地震预报的一项主要依据。此外,1976年5月29日龙陵7.4级、1976年8月16日松潘7.2级等事先作出过一定程度预报的地震,地下水(气)异常变化在短临预报的判断中都起了重要的作用。

在总结唐山地震未能成功地作出短、临预报的沉痛教训时,许多学者一致指出,事先未能深入了解与足够重视地下水、气宏观异常是造成这次失败的原因之一。例如,唐山震前20余天在唐山以北35 km处的杨官林村的一口深56 m井大量喷气的重要事实未被地震部门了解到。该井从1958年成井后,18年来首次出现喷气现象,喷出气冲开了盖在井口上重80公斤的水泥预制板,并发出强烈的气哨声,周围十余里的群众纷纷前来围观。这井的强烈喷气现象在唐山7.8级地震后逐渐有起伏的衰减,每次起伏都与强余震有关,是唐山余震预报的主要判别依据之一。1978年,随着唐山地震区活动进一步减弱,该井的喷气现象方告平息,从此再也没有重演。再如,位于唐山极震区(XI度)内的唐山十中地震地下水专用观测井的异常也十分令人信服。该井深52 m,自1971年起作为唐山地区专用地震观测井,由唐山十中老师负责观测。该井自1976年5月初起发现井筒歪斜,水泥管错位,水位变化混乱。震前4天,这位老师发现井筒变形十分剧烈,直径60 cm,厚12 cm的水泥管壁破裂,局部剥落,大量泥砂涌入,无法测准水位。7.8级地震后,地震断层恰好从该井附近穿过,该井彻底塌落堵塞,这位老师也在这次地震中不幸遇难。

总结了地震预报正、反两方面的经验与教训后,国家地震局作出决定,将地下水列为地震前兆研究三项主攻项目之一,加强领导,拨出专款,建设全国地震地下水动态观测网。

3. 从今后发展看,地下水的研究在地震预报领域中将发挥愈来愈大的作用

地下水是地壳中最活跃的组分之一,它广布于深达20—30 km的岩体之中,由于它存在的普遍性、流动性与难压缩性,当形成一封闭条件的承压系统时,就能够客观地、灵敏地反映地壳中应力、应变状态。当今地震成因机制研究表明,地震孕育过程是与受力岩体裂隙演变过程密切关联的。这一论断客观地揭示了地下流体在地震研究中的地位与作用。因为岩体裂隙演化过程的每个细节都不可避免地要改变岩体中的孔隙压力,进而在地下水动态中表现出来。因此,能直接反映裂隙演变的充填在岩体中的地下水已被许多地震学者视为研究地震成因,解决地震预报的途径,因此,利用地下水动态研究地震预报具有明确的理论依据。

通过对地下水动态的分析可获得多种地壳应力、应变信息,如地球固体潮、气压变动、地震波扰动、地球自由振荡、地面水体负荷、液核动力学效应等,因此,地下水是个内涵十分丰富的信息源。它几乎可以反映迄今为止已经知道的一切地壳应力应变形式,并可与重力仪、应变仪、应力仪进行对比观测与观测值换算。因此,它的观测值具有明确的物理含义(表2)。

我国现已建成了迄今为止世界上数量最多、覆盖面最大、精度最高、效果显著的地下水观测网。这个水网无论与国内其他前兆观测方法相比,还是与国外同类观测手段相比,在观测精度、深度、频段、信噪比等方面都具有明显的优势(表3)。建网以来在地震监测实践检验中,已取得了良好效果。

综上所述,利用地下水动态观测研究地震预报具有可靠的理论依据,明确的物理含义,

表 2 井孔水位记录到的主要信息动态特征 (刘澜波)

信 息 源	频 率 (Hz)	周 期	应 变 量	波 长 (km)	波 速 (km/s)
地 震 波	$10^{-2} - 10^{-4}$	0.1 - 100 s	$10^{-8} - 10^{-11}$	1 - 200	2 - 8
地球自由振荡	$10^{-2} - 10^{-4}$	100 s - 1 h	$10^{-9} - 10^{-11}$	200 - 7200	2
气压变动	$10^{-2} - 10^{-6}$	1 min - 1 a	$10^{-9} - 10^{-12}$		0.005
地球固体潮	$5 \times 10^{-6} - 10^{-5}$	12 - 35 h	4×10^{-8}		
地表水体负荷	$5 \times 10^{-4} - 10^{-5}$	12 - 25 h			

完善的观测技术, 是一项具有巨大科学潜力的预报方法, 目前已在地震预报实践中初见成效, 可以预期在未来的地震预测预报工作中 (尤其是短临预报中) 发挥愈来愈大的作用。

表 3 观测地球固体潮的各种手段的观测精度对比

观测手段	主要观测仪器	一般观测精度	最高观测精度	资料来源
重 力	重力摆 ($l=25$ cm) 沃登重力仪 阿什卡尼亚重力仪	10^{-7} 10^{-8} 10^{-9}	10^{-9}	据力武常次等 (1980)
地 形 变	石英伸缩仪 水管倾斜仪 水平摆倾斜仪	$10^{-7} - 10^{-8}$	10^{-10}	同 上
应 变	小泽应变仪 激光应变仪 萨克斯应变仪	10^{-8} 10^{-6} 10^{-6}	10^{-10}	据 Mechior (1978)
井孔水位	机械水位仪	$10^{-8} - 10^{-10}$	10^{-11}	

另外, 通过多年实践表明, 地下水动态观测网不仅是个单纯的地震预报网, 而且也能提供地层的多方面的科学参数, 为某些工程建设、资源、能源、环境等项目服务。地下水微动态所揭示的丰富信息, 具有为国民经济建设提供服务的巨大潜力。

二、中国地震地下水动态观测网建设简史

中国地震地下水动态观测网的建设已有二十余年的历史。随着地震预报经验的积累以及对震、水关系认识的深化, 地下水动态网建设的指导思想、布局方式、建井方法均发生了巨大的变化。总体看来, 性质上由临时性井网逐步发展为固定性井网; 规模上由局部型井网逐步发展为全国型井网; 观测对象由以浅井为主逐步过渡到以中深井为主; 观测内容以单纯

水位或水氡观测逐步过渡到多项目的综合观测；组织形式由群众业余测报点逐步转变为专群结合的台点。上述认识过程与井网性质的变革，大体可分为以下三个阶段。

1. 余震区临时观测网的建设

虽然地下水与地震关系是个传统的研究课题，大震前地下水有异常变化的概念古已有之，但作为一种测报手段，大规模地进行实践，科学地进行研究却始于邢台地震。

1966年3月邢台地震后，广大科技人员响应周恩来总理“深入现场调查，抓住邢台(地震)不放”的号召来到震区与群众一起进行了深入细致的调查研究，了解到自3月8日隆尧6.8级地震后，群众已自发地对这次地震异常现象进行了总结，并归纳出3条地震征兆：有感地震增多后的突然停止(密集—平静)；井水急剧升降并伴有冒泡、发浑；动物出现各种行为异常。3月22日宁晋7.2级地震前又重现了上述3种异常。因此，邢台地震考察队决定以这些线索作为突破口，开展强余震试验预报。冯锐、蔡祖煌、汪成民等先后在宁晋东汪、隆尧白家寨、任县邢家湾一带选择了第一批二十几口水井投入地震监测。通过向群众学习，发现，以监测与预报地震为目的的地下水动态观测不应局限于传统的地下水动态研究方法，对观测次数、井的密度与井孔选择均应作必要调整，于是增加了观测次数，部分井安装了自记水位仪，加大了观测井的密度，开展了对比观测，并注意在地震破坏最重的地点选择敏感井。为了组织动员更多人观测地震前后地下水变化，科研工作者收集并宣传当地群众的地震谚语“地下水，有前兆，不是涨，就是落；甜变苦，苦变甜；又翻砂，又冒泡。见到了，要报告。”实际上已形成地震地下水观测的基本思想与地下水微动态的初步概念。以后，邢台地震的经验又传到河间、渤海、通海的地震现场，在那里，为监测余震，纷纷建立起临时性的地震地下水观测网。

2. 监测区固定观测网的建设

通过多年的实践，地震工作者认识到不能只停留在老震区摸索预报余震的办法，要想预报新震区的主震，就必须在尚未发生地震的地区建立固定的地下水监测井网。

1966年邢台地震后，事隔一年在河间又发生了6.3级地震，地震活动进一步逼近北京。这次距北京仅160 km的地震，引起京津地区强烈反映，周恩来总理发出“要密切注视京津地区地震动向”的指示。为了加强京津地区地震监测工作，吸取了邢台地区的经验，汪成民等通过国家科委地震办公室向周恩来总理与李四光教授提出了在京津地区建立地震地下水观测网的具体计划并获得了批准与支持。李四光亲自几次过问推动此事，明确提出“水位变化与地下构造活动是有一定联系的”。“这个网与一般地下水动态观测网不同，是测量地应力，分析构造活动的一个手段”。“要打些专用深井”。这些指示为我国地震地下水动态观测与研究事业的发展奠定了良好的基础。

1968年，在原国家科委地震办公室与原地质部地震办公室大力协同下，京津地区建网计划付诸实施，全部计划包括在京津地区共打地震专用深井18口，选建中、浅井250口(包括水位观测228口，水温观测32口)，水氡观测井21口，各种地下水宏观现象(冒泡、发响、发浑、变味等)观测井200口。全网由国家科委地震办公室与地质部地震办公室联合推荐的汪成民、宾德智、周作鑫等同志负责，数据汇总到北京水文地质大队进行分析处理。

随京津井网之后，河北、山东、云南等地也先后在一些地震监测区建设了规模不等的地震地下水固定观测网。由于十年间大震频繁发生，建立在震中区的井网越建越多，监测区的井网也日益扩展，并逐步连成一片(图1)。据不完全统计，截止到1975年，全国地下水动态

观测井已发展到 4500 余口，从事观测的专业人员与业余测报员近万人。全国除西藏、新疆、青海、台湾等省（区）外，几乎都被地震地下水观测网所覆盖。这种区域性广泛的观测方式保证了此期间发生的多次地震均处于距观测点不远的地区，从而留下许多有重要参考价值的观测记录。

但是，由于该网多由干扰严重的浅井组成，观测精度差，取样密度稀，利用这些资料排除干扰，提取信息困难较大。因此，在 1967 年至 1976 年相当长的一段时期内，尽管地下水动态观测发展很快，规模很大，但基本上把它列为宏观异常观测的范畴，由群众测报员负责。大部分从事地震地下水研究的专业人员都集中于地下水中氡含量与地震关系的观测、研究中去，对地下水动态的全面、深入研究有所忽视（图 1-1）。

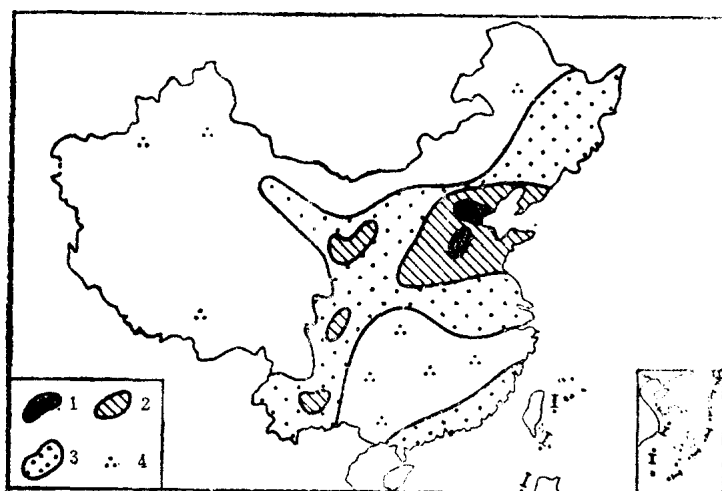


图 1-1 群测水位网分布示意图

1. 每 100 km² 内 1—2 口井；2. 每 1000 km² 内 1—9 口井；
3. 每 10000 km² 内 1—9 口井；4. 零星分布区

3. 全国地震地下水动态观测网（第二代井网）的建设

为了减少干扰，提高观测精度，扩大信息内涵，唐山地震前就曾计划将全国地震地下水动态网逐步改造为深井网。但由于工作量浩大，耗资过多，仅在京津地区布设少数深井外，未能进行全国范围的改造。1976 年唐山地震前后，在深入总结海城地震预报成功经验与唐山地震预报失败教训的基础上，重新认识了地下水观测对地震预报的作用，给予其更高评价，寄予更大期望。1975 年由国家局组织了京、津、唐、张地区地下水网改造与强化工作。1976 年组织了川、滇地区地下水网改造与强化工作。1977 年在哈尔滨召开的第一次全国地震规划会议上，明确指出将地下水列为我国地震前兆重点攻关项目。1978 年国家地震局正式决定测震、形变与地下水列为前兆攻关三大重点项目，并着手研究制定华北地震地下水网全面改建计划。1979 年国家地震局第一次全国地震局长会议上指出“地下水动态观测网是一个亟待建设的观测项目”，并成立了建网领导小组。先后参加领导小组的主要成员有：王树华、汪成民、王国治、贾化周、王铁城、吴锦秀、车用太、郭一新、尹伯忠等，并拨了专款，经过周密调研，制定了建网方案。在 1979 年联合国教科文组织于巴黎召开的国际地震预报讨论

会上,也把测震、地形变、地下水列为当今世界地震预报的重点研究项目。这一国际与国内对地震预报不谋而合的决策,大大地坚定了建立第二代地震地下水观测网的决心,有力地推动了这一系统工程的进程。

1980年8月,在安徽省黄山召开了全国地震地下水动态观测网建网工作会议。来自全国的代表深入讨论了由建网领导小组提出的“我国地震地下水动态观测网布局原则与建网方案”报告,确定了建网的指导思想、方法、途径与方案。会议对工作基础较好的华东井网逐井进行了验收,树立了样板,有57口井通过验收,授予国家井合格证书。1981年7月,在河北省石家庄对观测历史最长的华北网及辽宁省部分井进行验收,通过国家井59口。1982年11月,在四川省宜宾对地震震例最多的西南井网进行了验收,又有21口井纳入国家井网。1983年11月在山西省太原市对东北井网进行验收,并对山西、内蒙部分井孔进行了验收,通过国家井16口。1985年8月在甘肃省兰州市对西北井网进行了验收,通过了国家井30口。1986年11月在广东省佛山市召开了全国地震地下水观测网建成大会,通过了华南井网24口井的验收。至此,在国家地震局统一组织领导下,各地地震部门经过7年团结奋战和不懈努力的巨大工程宣布基本建成。这一井网的建设得到了国家地震局的充分肯定和较高的评价。在建成大会上,国家地震局局长安启元指出:“地震地下水动态观测网是我国监测地震的第二大网,建设此网投资少,周期短,性能好,成效大。这是专业与群测,预报人员与管理人员密切结合的成果,此经验很值得推广。”“这个网具有明显中国特色的网,体现了专群结合的中国地震工作方针与中国地震研究的一些新思想,达到了科学性、合理性、有效性的要求。现在看来已初见成效,可望在不久的将来卓有成效”。

综上所述,中国地震地下水动态观测网建设的科学思路与技术方案的确定,经历了一个很长的过程。随着地震预报的要求不断提高,监测预报的经验不断积累,以及震水关系研究的不断深化,建网的思路与技术方法才日臻明确、完善。其主要创新点在于根据我国特点,扬长避短,用科学、合理、经济的方法实现了建网的目的与要求。

众所周知,要研究地震前兆,观测精度要尽可能高,观测频段要尽可能宽,观测对象要尽可能深,观测干扰要尽可能少、观测地点须尽可能具有较高的震兆敏感性。如何在我国经济实力不足,技术条件较差的情况下满足上述要求,建立一个较理想的地震监测、预报系统?本网通过下列几点科学、技术途径,初步解决了这方面的问题。

1) 通过井孔-含水层系统的自身放大作用、过滤作用来提高观测精度与信噪比。而不依靠通常所采用的机械、电路放大的方法来达到此目的。

2) 根据“不稳定点”即“灵敏点”的观点与方法,寻找构造条件、热力条件、物质条件、地下流体运动条件不稳定处布设井点,从而取得较理想的观测效果。

3) 既不用开启性较好的浅井,也不一味追求深井,而以干扰较小,灵敏性较好的中深井作为本网的主体。

4) 井网布局上既不采用日本式的高精度点测,也不同于美国的线、苏联的面的布局,而是着眼于区域构造动态“场”的监测。

5) 发展了以水量增减的水均衡学说作为理论基础的傳統地下水动态学,创立了以研究含水岩体受力、变形、破坏过程中地下水变化的地下水微动态的新概念,并以其作为该网观测、研究的指导思想。

总 论

第一章 井网建设

第一节 建网的目的与任务

井网是一定数量的观测井（泉）按一定的原则布设而成的有机整体。中国地震地下水动态观测井网的建设，有着明确的建网目的与任务，科学的建网要求与方法。

一、建网任务的提出

为了对未来地震活动给出科学预测，首先要了解地震，认识地震。地震是复杂的地质作用，迄今为止，人类对其发生的环境、条件与过程等的了解尚不很清楚。但是越来越多的科学家指出，一次地震不单是一个孤立的局部事件，它的孕育与发生是与岩石圈板块的活动密切相关的，往往涉及到一个很大的区域范围；一次地震的发生，是瞬时的突然事件，但它的孕育却是一个较长的地质过程。因此，要认识地震和预报地震，必须了解与地震活动有关的区域范围内的地壳活动图象，同时也必须掌握尺度很长的时间过程中地壳活动的动态。这就必然要求建立一个分布范围较广、采用连续记录方式的“观测网”，从而进行地震预报的探索。

地震预报科学是古老地学领域中的新兴学科，其历史不过几十年。这个学科的兴起，给地球科学带来了新的活力，开辟了新的领域。但是她毕竟是科学园地中的新苗，需要相当长的发展壮大的过程。在这样一个地震预报科学发展的征途上，我国提出“多路探索”的工作方针，地下水动态预报地震则是多路探索中的一路。

1966年邢台地震后，我国在华北及其他一些地区相继建立起以浅层水为主的第一代地下水动态观测网。这一代观测网在邢台余震预报中起了重要作用，在唐山地震前数日内，有716眼井出现宏观异常，部分井水位还观测到较明显的阶段性趋势异常，积累了丰富的震兆信息，有力地证明地下水动态是一项较好的地震预报手段。国外一些国家也提出类似的想法。

我国第一代地震地下水动态观测井网虽然在地震的监测预报中起到了一定的作用，但也存在一些严重弱点。即：井网分布范围有限，在全国大多数地震带还未形成有效的监测网；观测井孔大多数是浅井，干扰大，难于排除，天然过滤作用和放大作用差，信息量少；观测