

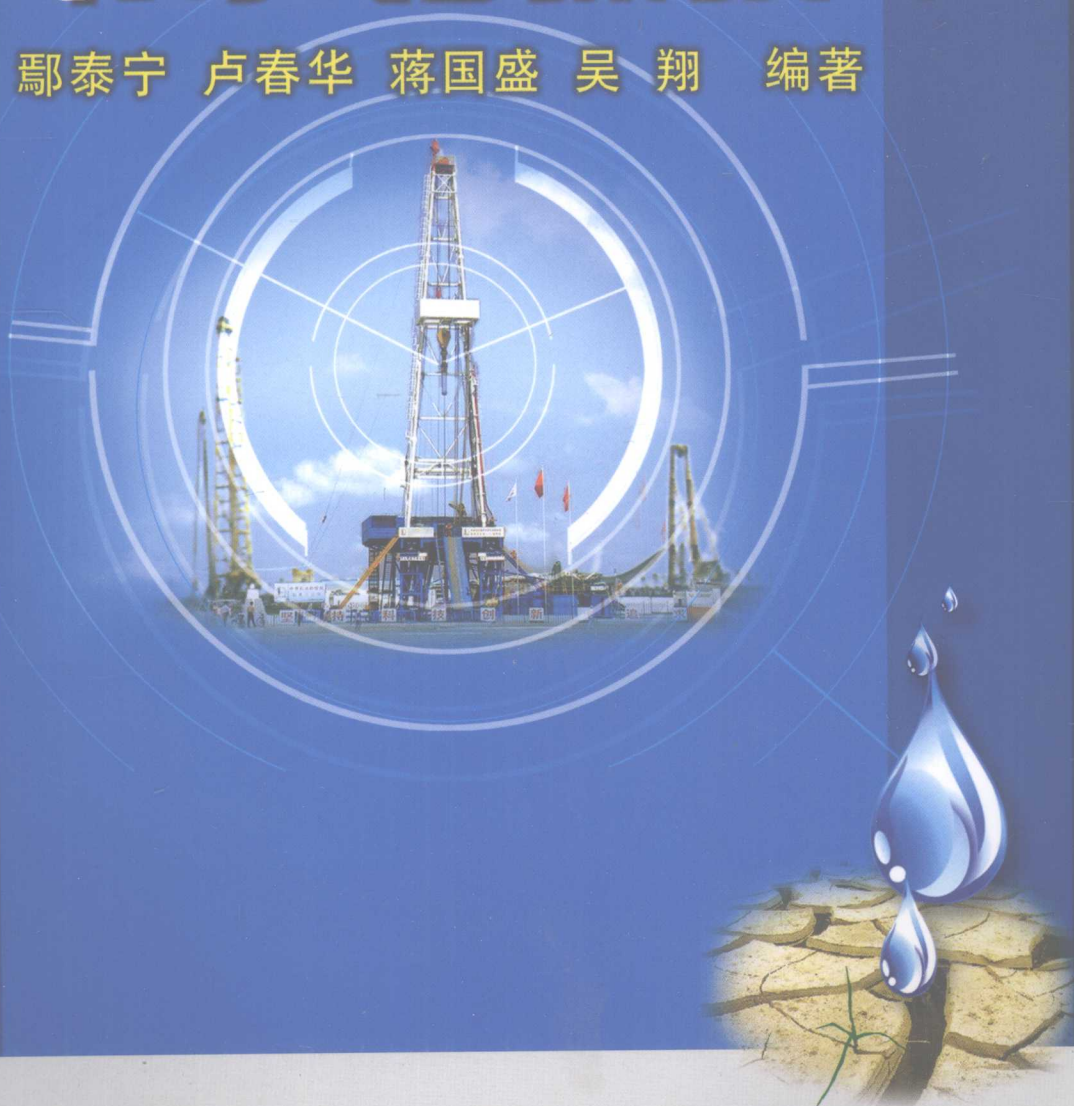
国家“十一五”规划重点图书

中国地质调查局“节水钻探技术”项目 资助
中国地质大学(武汉)学术著作出版基金

JIESHUI ZUANTAN JISHU

节水钻探技术

鄢泰宁 卢春华 蒋国盛 吴翔 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

国家“十一五”规划重点图书

中国地质调查局“节水钻探技术”项目

中国地质大学(武汉)学术著作出版基金 资助

JIESHUI ZUANTAN JISHU

节水钻探技术

郝泰宁 卢春华 蒋国盛 吴翔 编著

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书在概述我国水资源分布现状的基础上,分析国内外各种传统钻进方法的特点及其消耗地表水的情况;提出非传统节水钻探方法的创新思路;总结中国地质大学(武汉)近5年来在节水钻探领域中开展的中俄合作成果,详细论述以脉动式双向阀和潜水柱塞泵为主的节水钻探关键技术,全面介绍其结构和参数设计的理论依据和优化结果;研讨开发配套技术的必要性,逐项展开配套技术的结构设计及其操作要点;最后通过若干工程实例介绍钻探生产试验,取得既节水90%,又提高钻进效率、降低生产成本的实际效果,并给出生产单位推广应用该技术的用户操作指南。

本书反映了中俄钻探界科技合作的成果,可供广大从事地矿与油气钻探、水文水井、工程地质钻探、岩土工程与地质灾害治理钻孔施工的技术人员、生产管理人员及大专院校相关专业的师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

节水钻探技术/鄢泰宁等编著. —武汉:中国地质大学出版社,2009.3

ISBN 978-7-5625-2299-7

I. 节…

II. 鄢…

III. 钻探-节约用水

IV. P634.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 156088 号

JIESHUI ZUANTAN JISHU

节水钻探技术

鄢泰宁 卢春华 蒋国盛 吴 翔 编著

责任编辑:方 菊

责任校对:戴 莹

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511 传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:282 千字 印张:11

版次:2009 年 3 月第 1 版

印次:2009 年 3 月第 1 次印刷

印刷:武汉中远印务有限公司

印数:1—1 500 册

ISBN 978-7-5625-2299-7

定价:38.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

我国人均淡水资源为世界平均水准的 $1/4$, 居第 88 位, 是一个淡水资源严重缺乏的国家。当前全国上下都在响应党中央、国务院的号召, 为建设“节约型社会”努力工作, 节约用水就是其中的重要内容之一。工业用水在全国水资源消耗总量中所占比例非常之大, 钻探(井)工程就是用水大户之一。钻井过程中, 为了冷却钻头、排除岩粉和维护孔壁需要消耗大量地表水(配制水基泥浆), 在干旱地区为一台钻机配几辆水罐车远距离送水的情况司空见惯。而钻探(井)又是深入地下勘探和开采矿物原料, 解决我国资源、能源短缺不可替代的技术手段。因此, 在新形势下解决钻探工程性缺水的问题刻不容缓。研究适用于干旱缺水地区的节水钻探新技术, 不仅可以节约大量宝贵的地表水, 在很大程度上缓解水资源短缺问题, 同时可以降低钻探成本, 是建设“资源节约型”“环境友好型”社会的具体体现, 具有重要的经济价值和广泛的应用前景。

我国西部多为地表无水、地下浅部漏水的地区, 人们希望通过钻井打出地下水。但钻井过程又需要消耗大量地表水, 因此, 便形成了一个恶性循环。为了打井就必须从当地的水源地(小河、水塘)大量抽水, 在地层漏失的条件下, 只能眼睁睁地看着宝贵的地表水输入孔内“一去不复返”。如果最终钻到了地下含水层, 则皆大欢喜; 而一旦找不到地下水, 又把当地水塘(人畜的生命之水)抽干了, 就无法向老百姓交代。当然, 对于漏水地层可以在钻进过程中进行钻孔堵漏, 也可以采取空气钻进、泡沫钻进等技术。但钻孔堵漏不仅耗费资金, 而且多数堵漏材料都会造成环境污染, 尤其在长江、黄河的源头地区使用是不允许的。同时, 有些专用的勘探孔、矿层开采孔和工程孔在钻进过程中也不允许使用堵漏材料。而空气钻进、泡沫钻进虽然有大量节水的优越性, 但需要配备大型空压机、泡沫泵、地表采样分离系统等设备, 一次性资金投入大, 对操作人员素质的要求也较高。所以, 目前上述技术在我国西部仍未大量推广。

我们项目组针对西部地区虽然地表干旱无水、地下浅部漏水, 但深部有水的特点, 开动脑筋, 设法在钻具创新上下功夫, 让钻孔内的地层水能循环起来, 达到冷却孔底钻头、排除岩屑的目的, 得以维持正常钻进。在访俄期间, 我们了解到俄罗斯自然科学院院士叶戈罗夫(H. Г. Егоров)有一项“基于潜水泵的孔底局部循环钻进”的技术正好与我们的思路不谋而合, 该技术在试验中可使钻进过程中的地表水用水量下降 5~20 倍。但是, 俄罗斯近年来经济形势不好, 加之俄罗斯国内的干旱缺水地区并不多, 而且这些干旱地区也不急于开发, 所以在俄罗斯国内并未引起足够的重视。因此, 俄罗斯专家非常愿意来中国与我们合作, 结合中国国情(国家标准和行业特色等)把该新技术发展起来并推广应用。

我们的节水钻探创新思路一经提出, 即得到了中国地质调查局科技外事部领导的大力支持。从 2003 年起, 分别以“地质灾害防治节水钻探技术研究”(项目编号: 1212010561304)和“新型节水钻探技术的应用示范”(项目编号: 1212010660801)立项。同时, 该项目自 2004—2006 年还得到了国务院外国专家局引智项目的支持。经过项目组近五年的研究与实践, 通过

与俄罗斯专家合作,成功开发了“节水钻探新技术”。可在地表严重缺水、地下浅部漏水,但深部有水的地区,在采用传统钻探机具的前提下,借助孔内地下水的局部循环来保证矿产岩心钻探、工程勘察或水文水井钻探的正常钻进,使钻进过程用水量节约90%左右,钻进效率提高15%~20%,不仅大量节约了钻场送水费用,而且不必采用堵漏材料,避免其污染环境。同时,还开发了一系列与节水钻探配套的技术,已申报并获得8项与节水钻探有关的国家发明专利和实用新型专利。

项目组由蒋国盛(教授、博士)、鄢泰宁(教授、俄罗斯自然科学院外籍院士)负责,主要骨干成员有:吴翔(教授、硕士)、卢春华(讲师、博士)、张涛(工程师、硕士)、王荣璟(讲师、博士)和曾继田(技师)。本书是项目组近五年来开展节水钻探技术研究的成果总结,由鄢泰宁、卢春华执笔。本书从中国的水资源现状出发,阐述了研究节水钻探新技术的迫切性;回顾了干旱缺水地区现有的节水钻探方法——无泵反循环钻进、空气钻进、气动冲击-回转钻进和泡沫钻进的工作原理与特点;并在分析前述方法优缺点的基础上,提出了实现孔内局部循环节水钻探的基本原则与思路,详细介绍了节水钻探系统的结构与工作原理、关键部件的设计、节水钻探工艺(用户操作指南),并从数学模型及计算机仿真的层面对节水钻探系统的运动规律进行了较深入的探讨;书中还用一章的篇幅介绍了我们开发的节水钻探配套技术——可取代传统地表泵的“单缸柱塞泵”,新型高效“旋流除砂器”,可用于中软岩石进行回转-冲击钻进的“球体冲击器”,防止孔底岩屑糊钻、埋钻的“多功能防事故接头”和可提高钻探效率又不用地表水驱动的“节水钻探液动冲击器”等;最后,归纳了若干次室内外试验的节水效果,介绍了由中国地质调查局科技外事部主办、中国地质大学(武汉)承办、河南省地矿局第四地质探矿队协办的“节水钻探新技术现场示范与培训班”的学习交流情况。

本书在写作过程中除了参考本课题的历次项目任务书、设计书和总结报告外,还参考了关于中国水资源现状、空气钻进、泡沫钻进技术等方面的资料,在此向这些资料的作者和单位表示衷心感谢。

该书反映了中俄钻探界科技合作的成果,可供广大从事地矿与油气钻探、水文水井、工程地质钻探、岩土工程与地质灾害治理钻孔施工的技术人员、生产管理人员及大专院校相关专业的师生使用。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有错误和不足之处,敬请广大读者批评指正。

欢迎从事钻探(井)行业的同仁们积极参与节水钻探技术的推广应用,共同改进与完善这项新技术,为建设“资源节约型”“环境友好型”社会做出自己的贡献。

作者

2008年7月28日于中国地质大学(武汉)工程学院

目 录

第一章 中国水资源现状及节水钻探问题的提出	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 中国水资源的特点及缺水现状	(2)
一、人均、地均水资源拥有量少	(2)
二、水资源时空分布极不均衡	(2)
三、水资源与人口、耕地、矿产资源分布不匹配	(4)
四、中国的缺水现状	(4)
第三节 节水是缓解我国水资源短缺的重要措施	(6)
一、水资源短缺的基本形式	(6)
二、节水是缓解我国水资源短缺的重要措施	(7)
三、节水钻探新技术在水资源短缺的形势下应运而生	(8)
第二章 干旱缺水地区现有的节水钻探方法	(12)
第一节 无泵反循环钻进	(12)
一、无泵反循环钻进的工作原理及特点	(12)
二、无泵反循环钻进的适用范围	(14)
三、无泵钻具的结构	(14)
四、无泵钻具的钻进规程及操作注意事项	(14)
第二节 空气钻探技术	(15)
一、空气钻探技术的发展背景及应用领域	(15)
二、空气钻进的工作原理及特点	(16)
第三节 气动冲击-回转钻进技术	(17)
一、气动冲击-回转钻进技术概述	(17)
二、气动潜孔锤的结构及工作原理	(18)
三、气动潜孔锤与液动冲击器的比较	(22)
四、气动潜孔锤的钻进工艺	(23)
五、气动潜孔锤钻进的主要设备及配套机具	(26)
第三章 泡沫钻探技术	(27)
第一节 泡沫钻探技术的发展概况	(27)

一、国外泡沫钻探技术发展概况·····	(27)
二、国内泡沫钻探技术发展概况·····	(28)
第二节 泡沫钻进的工作原理及特点·····	(29)
一、泡沫钻进的工作原理·····	(29)
二、泡沫钻进的特点·····	(30)
第三节 泡沫流体的组成和性能·····	(31)
一、泡沫流体的组成·····	(31)
二、泡沫流体的性能·····	(32)
第四节 泡沫钻进的主要设备·····	(37)
一、地矿系统常用的泡沫钻进设备·····	(37)
二、石油系统常用的泡沫钻进设备·····	(39)
第五节 泡沫钻进工艺·····	(40)
一、泡沫钻进的循环方式与灌注方法·····	(40)
二、泡沫溶液的浓度、气液比和泡沫质量的控制·····	(42)
三、泡沫钻进的空气量、泡沫灌注量的确定·····	(42)
四、泡沫洗井时的注入压力·····	(43)
五、泡沫钻进的钻压、转速参数·····	(44)
六、金刚石泡沫钻进应注意的问题·····	(44)
第六节 泡沫流体的消泡与安全技术·····	(45)
一、泡沫钻进中的消泡技术·····	(45)
二、机械消泡装置·····	(46)
三、泡沫钻进中的安全技术·····	(46)
第四章 孔内局部循环节水钻探新方法·····	(48)
第一节 实现孔内局部循环的基本方法·····	(48)
一、建立孔内冲洗液局部循环的方法与机具·····	(48)
二、对现行孔内局部循环钻进工艺的评述·····	(48)
三、实现孔内局部循环节水钻探的基本原则与思路·····	(51)
第二节 孔内局部循环节水钻探系统的结构·····	(52)
一、往复式潜水泵的结构·····	(52)
二、地表专用单缸柱塞泵的结构·····	(53)
三、排气阀的结构·····	(55)
第三节 孔内局部循环节水钻探的工作原理·····	(56)
一、节水钻探系统的组成·····	(56)
二、节水钻探的工作原理·····	(56)
第四节 孔内局部循环节水钻探关键部件的设计·····	(58)

一、总的思路	(58)
二、往复式潜水泵的设计	(60)
三、脉动式双向阀的设计	(70)
四、地表面缸柱塞泵的设计	(70)
第五节 孔内局部循环节水钻探工艺	(74)
一、节水钻探系统的操作规程	(75)
二、节水钻探系统可能出现的故障及排除方法	(77)
三、节水钻探取心方法	(77)
第五章 孔内局部循环节水钻探系统的数学模型及计算机仿真	(82)
第一节 地表面缸往复泵的运动规律	(82)
一、单缸往复泵的工作原理	(82)
二、单缸往复泵主要参数的计算	(82)
第二节 地表面缸往复泵的压头	(84)
一、实际液体不稳定流的伯努利方程	(84)
二、吸入过程液缸内压头变化规律	(85)
三、排出过程液缸内压头变化规律	(87)
第三节 冲洗液循环时的压力损失	(88)
一、在钻杆中的压力损失	(88)
二、在环状空间中的压力损失	(89)
三、在接头中的压力损失	(89)
四、在岩心管和钻头中的压力损失	(90)
第四节 往复式潜水泵柱塞的运动规律	(90)
第五节 节水钻探系统的计算机仿真	(92)
一、仿真程序的开发	(92)
二、往复式潜水泵的工作特性	(95)
三、地表面缸往复泵的工作特性	(98)
第六节 节水钻探系统的计算机仿真结果分析	(99)
一、单缸泵容积效率对往复式潜水泵泵量的影响	(99)
二、往复式潜水泵在孔内的深度对单缸往复泵泵压的影响	(99)
三、孔深对单缸泵泵压的影响	(100)
四、高压管线中残留空气对单缸泵泵压和往复式潜水泵泵量的影响	(101)
第六章 节水钻探新方法的配套技术	(104)
第一节 气动球体冲击器	(104)
一、问题的提出	(104)
二、国外回转-冲击钻进用的钢球振动器、冲击器结构分析	(105)

三、球体冲击器的结构分析	(108)
四、球体冲击器的工作原理	(109)
五、球体冲击器关键部件的设计	(110)
六、球体冲击器的实验研究	(111)
第二节 新型旋流除砂器	(115)
一、问题的提出	(115)
二、传统旋流除砂器除砂效果分析	(116)
三、手动旋流除砂器	(118)
四、自动旋流除砂器	(120)
五、新型旋流除砂器的室内外试验研究	(121)
第三节 多功能防事故接头	(125)
一、问题的提出	(125)
二、多功能防事故接头的结构	(126)
三、多功能防事故接头的工作原理	(127)
四、多功能防事故接头的使用效果	(128)
第七章 节水钻探新方法的衍生技术	(129)
第一节 节水型液动冲击器	(129)
一、问题的提出	(129)
二、节水型液动冲击器的结构	(130)
三、节水型液动冲击器的工作原理	(132)
第二节 节水型液动冲击器的测试与研究	(134)
一、节水型液动冲击器性能参数的测试方法	(134)
二、泵压的测试	(135)
三、冲锤位移的测试	(137)
四、冲击频率及冲锤的速度曲线	(137)
五、借助位移曲线的傅里叶级数表达式求单次冲击功	(139)
六、节水型液动冲击器初步试验效果	(141)
第三节 潜水提水泵	(142)
一、问题的提出	(142)
二、由节水钻具改型的潜水提水泵	(143)
第四节 孔内打入式取样器	(145)
一、问题的提出	(145)
二、由节水钻具改型孔内打入式取样器	(145)
第八章 节水钻探新技术的室内外试验研究	(147)
第一节 室内试验研究	(147)

一、检测节水钻探往复式潜水泵工作柱塞的伸缩量	(147)
二、检测往复式潜水泵的局部循环流量	(147)
三、孔内实钻试验	(149)
第二节 野外实地生产试验(一)	(151)
一、试验概况	(151)
二、试验总结与建议	(153)
第三节 野外实地生产试验(二)	(153)
一、概述	(153)
二、ZK225 号孔的实钻试验	(154)
三、ZK228 号孔的实钻试验	(157)
四、山西试验的总结与建议	(158)
第四节 节水钻探新技术的应用与示范	(159)
一、概述	(159)
二、现场生产应用与示范	(160)
三、节水钻探新技术应用与示范座谈会纪要	(161)
参 考 文 献	(163)
后 记	(164)

第一章 中国水资源现状及节水钻探问题的提出

第一节 概述

太阳系有很多星球,为什么至今尚未发现其他星球上有生命存在?最重要的原因之一,是其他星球缺乏“生命之源”——水。

水是人类和各种动植物赖以生存和发展不可替代的自然资源,同时也是维系地球上生态平衡、决定环境质量状况最积极、最活跃的自然要素之一。

进入 20 世纪中期,随着科学技术的迅猛进步和全球经济的高速发展,人类创造出比以往更多的物质财富。与此同时,世界人口也加速膨胀,水资源需求量不断增长。据统计,20 世纪 90 年代水的年使用量达 30 000 亿 m^3 ,较 300 年前增长了 35 倍,远远超过了人口的实际增长率,并超过其他任何一种资源的使用量。近几十年来,发展中国家为了谋求发展,都在加快城市化的步伐,农村人口大规模转入城市。据研究,一个农村人口转入城市后,其所需用水量要比农村增加 30 倍。这是一个很大的数量,所以发展中国家的水资源压力更大。

最近二三十年来,不少国家和地区无节制地开发利用水资源,其消耗强度已超过地球水系的天然补偿更新能力,水资源的分布状态已发生巨变,并朝着枯竭的方向发展。同时,盲目发展的污染性工业企业随意排放废水,使地表水体和地下含水层遭受污染,可利用的水资源量锐减,加剧了水资源的短缺。众所周知,整个欧洲直至乌拉尔地区目前已经找不到一处既能饮用又可用于工程的干净地表水源。曾有人建议修建庞大的水管从目前还比较清洁的西伯利亚河中取水。有人重新提出从北方河流向中亚地区调水的问题。在这种情况下,水也变成了实实在在的商品,它的价格可能很快就可与西伯利亚送往欧洲的管道油气相提并论了。地表水和地下水资源已经成为具有重要战略意义的资源,也是保障民族安全的基本要素之一。

进入 21 世纪以来,全球气候持续变暖,降雨量的蒸发率将更高,出现干旱缺水的面积将更大。缺水,不仅成为包括中国在内的许多国家社会经济发展的关键性制约因素,在一些经济不发达国家和地区,缺水还将给人民带来饥饿、贫穷,甚至战争。1991 年,国际水资源协会(IWRA)在摩洛哥召开了第七届世界水资源大会。会上明确指出:“在干旱、半干旱地区,国际河流和其他水源地的使用权可能成为两国战争的导火线。”更早些时候,世界环境与发展委员会(WCED)也发出了类似的警告:“水资源正在取代石油而成为全世界引起危机的主要问题。”

人类在面对水资源短缺的严峻挑战中已意识到,不能再毫无节制地浪费地球上有限的淡水资源了。为了维持人类生存环境并持续发展,既要满足当代人对水资源的需求,又要考虑子孙后代获取水资源的权利不受损害;应将水资源的合理开发利用和保护提到国家乃至全球发展的战略高度。在寻求发展的同时,人类应自律,要对自己的行为负责,因为“人类只有一个地

球”，地球上的淡水是一种有限资源。

第二节 中国水资源的特点及缺水现状

受所处的地理位置、气候、降水、地形、地貌等自然条件以及人口、耕地与矿产资源分布的影响，中国水资源具有以下特点。

一、人均、地均水资源拥有量少

世界各国都将河川径流量作为动态水资源，近似地代表水资源量。与世界各国河川径流量比较，我国河川径流量居世界第 6 位，低于巴西、俄罗斯、加拿大、美国和印度尼西亚，约占全球河川径流量的 5.8%。

我国水资源总量虽然比较丰富，但按人口和耕地面积分配，水资源数量却极为有限，因而存在水资源与人民生活、生活不能完全适应的矛盾。按 1997 年统计，我国人均水资源量为 $2\,220\text{m}^3$ （以 12 亿人口计），比世界平均值的 $1/4$ 还低，约相当于美国人均占有量的 $1/6$ ，前苏联的 $1/8$ ，巴西的 $1/19$ ，加拿大的 $1/58$ 。而年径流量仅及我国 $1/5$ 的日本，人均占有的径流量却是我国的 2 倍。我国的人均水资源量排在联合国公布的 149 个国家中的第 109 位，属于世界上 13 个贫水国家之一。按国际上一般承认的标准，人均水资源量少于 $1\,700\text{m}^3$ 为用水紧张的国家，因此，我国未来水资源的形势非常严峻。

除了人均水资源量短缺外，我国按耕地面积平均水资源量仅为世界平均水平的 80%。据资料，目前我国农业年缺水总量为 300 亿 m^3 。

国内不同地区的人均、亩均水量也相差悬殊。北方地区人均水量为 938m^3 ，其中海滦河流域只有 430m^3 ；而南方人均水量为 $4\,170\text{m}^3$ ，其中西南诸河高达 $38\,431\text{m}^3$ 。北方四区亩均水量 454m^3 ，其中海滦河流域只有 251m^3 ；南方四区亩均水量 $4\,134\text{m}^3$ ，其中西南诸河高达 $21\,783\text{m}^3$ 。南方人均水量是北方的 464 倍，亩均水量为 9.1 倍；西南诸河人均水量是海滦河的 89 倍，亩均水量为 87 倍。内陆河人均、亩均水量虽然不少，但有人居住的地区资源有限，水量亦感不足。

据预测，未来 30 年中国的人口将达到峰值，到 2030—2040 年中国的人口将达 16 亿，届时中国的人均水资源拥有量仅为 $1\,760\text{m}^3$ 。按照当前专家学者对我国在人口峰值时期用水量的不同算法，低限为 7 000 多亿立方米，高限为 10 000 多亿立方米。中国目前的供水量为 5 650 亿 m^3 ，无论与低限预测还是高限预测相比都有巨大的缺口，届时中国淡水的供需矛盾将进一步加剧。世界上关于水资源的利用率有一个公认的标准，即使按其高限 40% 来计算，我国的人均可利用淡水资源也仅为 640m^3 。而世界标准为：人均可利用淡水量不足 $1\,000\text{m}^3$ 即为水荒，所以中国届时可利用淡水资源严重缺乏已成定局。

综上所述，我国按人口和耕地平均拥有的水资源相当紧缺。水资源将是我国越来越珍贵的自然资源。

二、水资源时空分布极不均衡

我国水资源受降水影响，其时空分布具有年内、年际变化大以及区域分布很不均匀的特点（图 1-1）。东南地区降水量可达 $1\,600\text{mm}$ ，造成涝灾，西北地区降水只有 500mm ，少的地区不

到 200mm。南方水资源较丰富,北方水资源贫乏,南北相差悬殊。长江流域及以南地区面积占全国总面积的 36.5%,却拥有占全国 81%的水资源总量,西北内陆地区及额尔齐斯河流域面积占全国的 63.5%,拥有的水资源量仅占全国的 4.6%。按面积平均,北方的水资源量均低于全国平均水平。如海滦河地区仅为全国平均值的 1/2,黄河地区还不到全国平均值的 1/3。

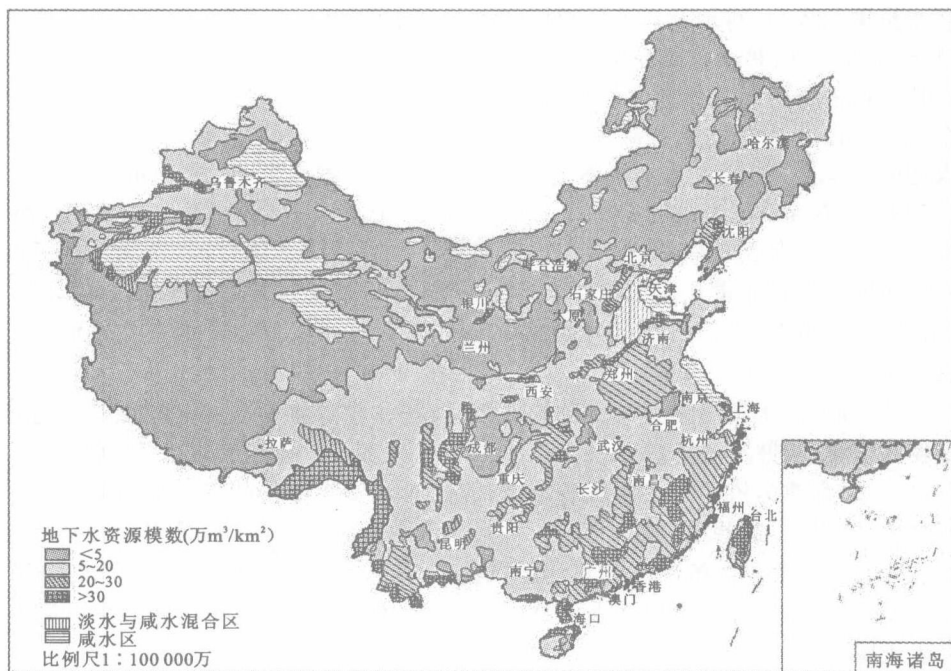


图 1-1 中国地下水资源分布图

我国大部分地区受季风影响,水资源的年际、年内变化大。南方地区最大年降水量与最小年降水量的比值达 2~4 倍,北方地区达 3~6 倍;最大年径流量与最小年降水量的比值,南方为 2~4,北方为 3~8。南方汛期水量可占年水量的 60%~70%,北方汛期水量可占年水量的 80%以上。大部分水资源量集中在汛期以洪水的形式出现,资源利用困难,且易造成洪涝灾害。南方伏秋干旱,北方冬春干旱,降水量少,河道流量枯竭(北方有的河流断流)造成旱灾,如遇持续干旱年,地下水位大幅度下降,有的地区不仅农作物失收,而且工业减产。我国最大与最小年径流的比值,长江以南的中等河流在 5 以下,北方河流在 10 以上。径流量的逐年变化存在明显的丰水枯水年交替出现以及连续数年为丰水段或枯水段的现象,径流年际变化大与连续丰枯水段的出现,使我国经常发生旱、涝及连旱、连涝现象,对生产及人民生活极为不利,加重了水资源利用的困难。

水资源地区分布不均匀是我国北方和西北许多地区出现资源性缺水的根本原因。水资源年际变化大,年内分配不均,则是我国半干旱、半湿润地区甚至南方多水地区,经常发生季节性缺水的原因。

水资源的上述特点,导致我国国土的大部分地区都出现水源短缺问题,这已成为制约 21 世纪中国社会经济持续发展的重要因素之一,尤其是成为制约西北地区经济社会发展的瓶颈。

因此,认识中国水资源特点,人为有效地加以控制,以促进水资源与环境、人口、经济的协调发展,是解决 21 世纪中国水问题的关键。

三、水资源与人口、耕地、矿产资源分布不匹配

我国水资源在空间上分布的不平衡性与全国的人口、耕地和矿产资源分布上的差异性,构成了我国水资源与人口、耕地及矿产资源不匹配的基本特点。

1. 水资源与人口、耕地的组合特点

北方片人口占全国总人口的 2/5 强,但水资源占有量不足全国水资源总量的 1/5,南方片人口占全国总人口的 3/5,而水资源为全国的 4/5,北方片人均水资源拥有量为 $1\,127\text{m}^3$,仅为南方片人均的 1/3。在全国人均水量不足 $1\,000\text{m}^3$ 的 10 个省区中,北方片即占了 8 个,而且主要集中在华北区;在全国人均水量超过 $2\,000\text{m}^3$ 的 13 个省区中,南方片占了 10 个,而北方片只有 3 个。长江流域及长江以南地区,江河径流量占全国径流总量的 81%,而耕地只占 36%。黄河、淮河、海河流域径流量只占全国的 6.5%,耕地却占 42%。又如华北地区(京、津、冀、豫、晋)人口密集,大城市多,人口的密度为全国的 3 倍,工业总产值占全国的 1/4,耕地占 17%,而水资源仅占全国的 2.3%。

就一个地区而言,水资源分布是分散的,而人口往往相对集中。尤其在城市化过程中,人口集中程度愈来愈高,并形成一些以大城市为中心的城市群。如东北以沈阳为依托的辽南地区城市群;华北以京津为依托的京津唐城市群;西北以西安为依托的关中城市群,以太原为依托的汾河盆地城市群。这些地区城市集中,人均水资源量很少,难以满足当地社会经济需求,往往要通过区域水资源调配解决。此外,有的地区即使未形成城市群,但当人口集中程度超过当地承受能力时,也会出现水资源严重不足,如乌鲁木齐市、金昌市、东胜市、铜川市以及其他一些新兴矿业城市。

由于缺乏统筹规划,水资源和土地资源都有过度开发的现象。全国地区间水资源的开发利用很不平衡,北方的黄河、淮河、海河,开发利用率超过了 50%,其中海河近 90%。许多内陆河的开发利用率都超过了国际公认的合理限度 40%。在黄、淮海流域,由于水资源的过度开发利用,造成海河流域的河湖干涸,黄河下游经常断流,甚至淮河中游在 1999 年也出现了历史上罕见的断流现象。

2. 水资源与矿产资源、工业水平的组合特点

随着社会进步和国民经济的发展,人类对资源和能源的需求量越来越大,对资源和能源的质量要求越来越高。而中国是一个资源相对贫乏的国家,煤炭资源量大,但油气资源短缺,金属矿藏资源品位较低。随着资源的开发深度逐渐延深,矿业工程用水量也越来越大。

据有关部门统计,我国矿产资源现已查明的潜在价值约 5.73 万亿元,其中北方片约占 59%,每 100 亿元矿产资源拥有的水资源量为 16m^3 ;而南方片矿产资源约占 41%,每 100 亿元矿产资源拥有的水资源量达 94m^3 ,后者是前者的 5.8 倍。各区中,华北区和西南区分别约占全国矿产资源潜在价值的 42% 和 32%;华北区和西南区每 100 亿元的矿产资源潜在价值拥有水量分别为 7m^3 与 70m^3 ,前者只及后者的 1/10。在各省区中具有丰富煤炭资源的山西、宁夏自治区每 100 亿元的矿产资源潜在价值拥有的水量几乎只是西藏的 1%。可见,相差悬殊。

四、中国的缺水现状

2003 年 11 月 9 日在中国地质大学(武汉)召开的水资源与城市环境国际学术会议上,专

家们对我国的缺水现状得出了一致的看法：“地下水越抽越深，水源地越来越远，远距离取水的城市越来越多，用水成本越来越高。”由于人口持续增长和经济高速发展，工农业和人民生活用水持续增加，使目前存在的水资源供求矛盾更趋激化。尤其三北（西北、华北、东北）地区缺水严重，甚至人畜饮水都出现困难。图 1-2、图 1-3 就是西北地区严重缺水情况的真实写照。其中，图 1-2 所示的是一位 74 岁的老奶奶找不到饮用水，她是多么希望能在自己的家乡找到一点地表水啊！图 1-3 所示的孩子正是学龄儿童，但他却没有出现在教室里，而是牵着毛驴去驮水，因为解决人畜饮水是生存问题，生存比上学更重要。这两张图片从另一个侧面反映了我国某些地区干旱缺水情况的严重性，给人以震撼。

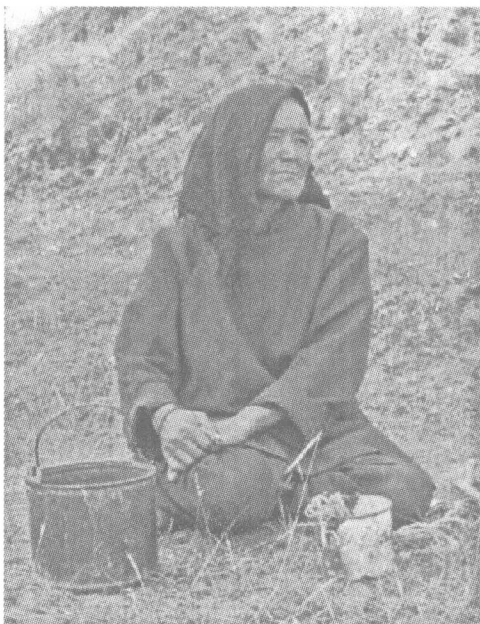


图 1-2 74 岁的老奶奶找不到饮用水



图 1-3 驮水比上学更重要

我国不仅水资源短缺，而且污染问题越来越突出：全国所有大中城市周边，已经没有可以直接饮用的地表水，在广大农村地区，可以直接饮用的地表水也逐渐减少。目前，我国农业灌溉区每年缺水 300 亿 m^3 左右，城市每年缺水 60 亿 m^3 ，我国 600 多个城市中有 400 多个城市缺水，其中严重缺水的城市达到 110 余个，缺水影响人口达 4 000 万。专家认为，治理水污染，1/3 靠技术，2/3 是社会学的问题。水污染的治理并不是尖端科学，除了少部分污水没有找到好的治理办法外，大部分污水都能治理。为什么有了技术却治不了水污染？每个城市都有污水处理厂，每个造成污染的大型企业都有污水处理设施，但实际效果并不理想。关于防治污染的法律法规管理问题不解决好，水污染问题就得到真正解决。

据分析估计，全国按目前的正常需要和不超采地下水，缺水总量约为 300~400 亿 m^3 。在一般年份，农田受旱面积 600 万~2 000 万 ha。从总体上说，因缺水造成的经济损失超过洪涝灾害。许多地区由于缺水，造成工农业争水、城乡争水、地区之间争水、超采地下水和挤占生态水。

按照国际经验，一个国家用水量超过其水资源的 20%，就很可能发生水资源危机。我国

1997 年总用水量为 5 566 亿 m^3 , 占水资源的 20%。实际上, 由于我国水资源时空分布不均的自然地理特征, 北方地区的水资源利用率远远超过了 20%, 其中海河流域通过减少多年调节水库库容、超采地下水包括超采难以恢复的深层地下水、外流域引水(引黄)、挤占生态用水等措施, 使水资源利用率远远超过了海河流域的水资源合理利用阈值。

黄、淮、海平原五省二市(冀、豫、鲁、皖、苏、京、津)是我国人口密集区之一, 是粮、棉、油产地, 工业发达, 经济繁荣。20 世纪 80 年代末, 全区水资源仅为 1 424.7 亿 m^3 , 在现有水利设施条件下, 中等干旱年份供水能力为 613.5 亿 m^3 , 而需水量却为 695.5 亿 m^3 , 缺水 82 亿 m^3 。以山西为中心, 内蒙古西部、河南西部、陕西秦岭以北及宁夏回族自治区是我国的能源和重工业基地, 又是全国干旱少雨、水资源缺乏地区。该地区面积 110 万 km^2 , 占全国总面积的 11.5%, 人口 6 950 万, 耕地 1 254.26 万 ha, 煤的储藏量占全国的 70%。因此, 水资源对该地区经济发展、能源建设极为重要。根据预测, 2000 年全区可供水量为 367 亿 m^3 , 其中利用河川径流为 280 亿 m^3 , 开采地下水 87 亿 m^3 , 总需水量为 399 亿 m^3 , 全区缺水 32.5 亿 m^3 。

21 世纪全球气候持续变暖, 降雨量和蒸发率将更高。我国 21 世纪的粮食增长地主要在北方, 而北方的蒸发量超过降雨量, 产粮与水资源缺乏的矛盾将更尖锐。黄河断流、北方水资源的利用率已近极限, 这些都将加剧我国水资源的供需矛盾。据预测, 到 21 世纪 30 年代在需水量实现零增长之前, 全国需水量将可能达到 7 000 亿 m^3 , 比目前需水量要增加 2 000 亿 m^3 左右, 平均每年需增加可供水量近 100 亿 m^3 , 可见任务之艰巨。因此, 必须严格控制人口的继续增长, 同时加强用水管理, 做到在人口达到零增长后, 需水也逐步达到零增长。

综上所述, 我国水资源与人口、耕地、矿产资源的组合状况很不理想。尤其是北方地区耕地资源、矿产资源丰富, 人口稠密, 而水资源占有量低。我国的西部地区虽然人口不稠密, 但其显著特点是耕地资源、矿产资源丰富, 工农业用水量大。所以, 水是北方和西部地区今后资源开发利用和社会经济持续发展的主要限制因素, 应全面深入开展区域资源优化配置和节约工农业用水的研究工作, 满足社会经济对水资源的需求, 确保国民经济可持续发展。

第三节 节水是缓解我国水资源短缺的重要措施

一、水资源短缺的基本形式

一般国际上把水资源短缺大致分成资源型缺水、水质型缺水、工程型缺水三种形式。

1. 资源型缺水

所在地区水资源总量少, 不能适应经济发展的需要, 形成供水紧张, 如京津华北地区、西北地区、辽河流域、辽东半岛、胶东半岛等地区。

2. 水质型缺水

所在地区水资源比较丰富, 但由于人为污染或破坏, 导致水资源不能再利用。不是因为水资源的人均占有量不足, 而是指因水源的水质达不到国家规定的饮用水或工业用水(例如锅炉)水质标准而造成的缺水, 即“有水不能用”。原来, 我国南方水量充沛, 北方水少但也能维持某种平衡。可是现在不仅南方和北方的江、河、湖基本上都污染了(整条黄浦江和珠江的水都不能饮用), 甚至连珍贵的地下水也被污染, 造成合格的水资源更加紧缺。

3. 工程型缺水

从所在地区的总量来看,水资源并不短缺,但由于工程建设没有跟上,造成供水不足,这种情况主要分布在我国长江、珠江、松花江流域,西南诸河流域以及南方沿海等地区。

二、节水是缓解我国水资源短缺的重要措施

1. 我国水资源面临的主要问题——水资源紧缺与用水浪费并存

我国一方面水资源短缺,供水量不足;另一方面用水效率低下,属粗放型用水,大大加剧了全国的供水矛盾。我国的产业结构属耗水型,工业和城市生活用水仍然浪费严重。据研究,一个国家处于人均 GDP 1 000~2 000 美元的经济发展阶段时,耗水量是很大的。我国正处于工业化初期阶段,大量工业生产设备陈旧,生产工艺落后,加上管理水平低,因此,绝大多数地区工业单位产品耗水率高,水的重复利用率低。我国的用水总量和美国相当,但国民生产总值(GNP)仅为美国的 1/8。1997 年全国工业万元产值用水量 136m^3 ,是发达国家的 5~10 倍。工业用水的重复利用率据统计为 30%~40%,而发达国家为 75%~85%。其中,日本、美国、苏联在 20 世纪 80 年代工业用水的重复利用率均在 75%以上。如果我国工业用水效率能达到上述国家的水平,工业用水紧张局面可以得到一定程度的缓和。目前城市生活因各种条件限制,水平还不高,人均日用水量仅达到 177m^3 ,县镇人均日用水量更低,只有 $50\sim 60\text{m}^3$,但还是存在相当程度的浪费现象,尤其是公共用水部分,如宾馆、学校和商业等部门。居民生活也同样存在浪费用水问题。

我国农业用水效率低下,渠灌区水的利用率仅 40%~50%,而先进国家为 70%甚至 80%。农田灌溉水量超过作物需水量 1/3 甚至 1 倍以上,印度吨稻用水量是 1 000t,而我国吨稻耗水 1 500t,如河北省承德为 1 300~1 800t。农民仍然习惯于大水漫灌,新的灌溉技术推广进度缓慢。不少学者研究指出,我国现在农业用水,如果能采取有效节水措施,可望节约用水量近 1 000 亿 m^3 ,潜力十分巨大。

2. 节水是缓解水资源短缺并保证国民经济可持续发展的重要举措

过去许多人认为,节约用水仅是一种应对天旱缺水情况的应急措施。现在人们已经认识到,水不再是一种取之不尽、用之不竭的免费商品,而是人类社会的一种稀缺资源。要实现人类社会的可持续发展,必须重视水资源的持续利用,坚持开源节流并举,把节水放在突出位置,以提高用水效率为核心,全面推行各种节水技术和措施,发展节水型产业,建立节水型社会。只有当全社会从这一高度来认识节水的内涵,才能真正树立节水意识,珍惜和保护有限的水资源。同时,在节约用水的法律法规建设、节水理论和技术研究、节水设备的研发方面做大量工作,必将取得显著成果。

美国《最后的绿洲》一书的作者桑德拉·波斯泰尔用大量事实证明,在不影响现代经济产量和人民生活质量的前提下,利用现有的技术和方法,农业用水可减少 10%~50%,工业用水可减少 40%~90%,城市用水可减少 1/3。可见,节约用水不仅在经济上合算,可以保护环境,而且是一种保证供水的最佳途径。我国的节水潜力还很大,然而,要实现全社会节水,建立节水型社会,任重而道远。

我国西部地区干旱缺水日趋严重,实现西部大开发,首先要解决好水的问题。节约用水不是权宜之计,而是根本对策。要全面规划节水,建立节水型社会,各部门各行业要充分挖掘其自身的潜力,研究各种先进节水技术和措施。