

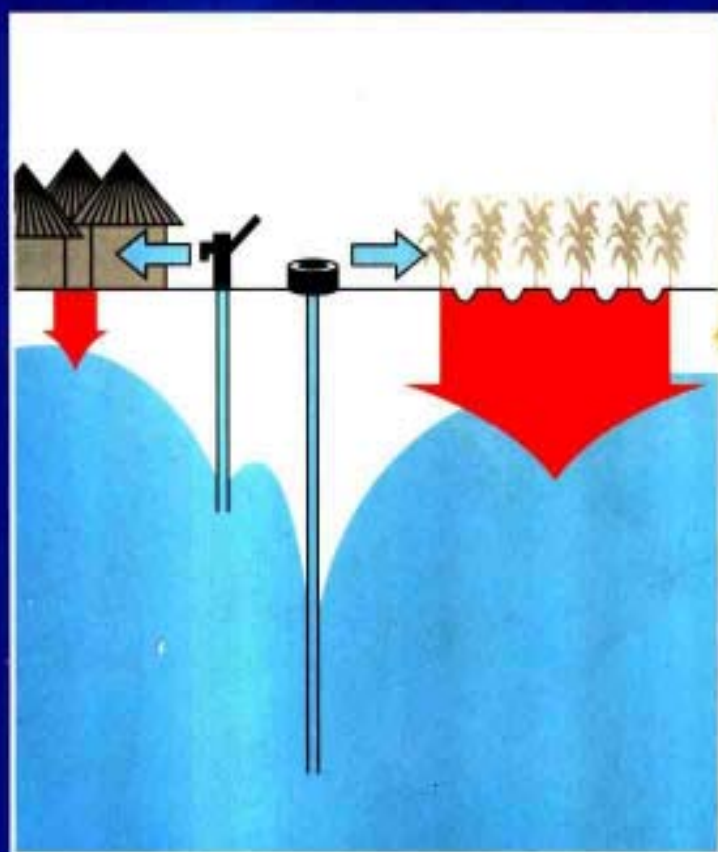


讨论稿

世界银行技术文件第463号

农村发展中的 地下水问题

正视供水和资源可持续性
方面的挑战



Stephen Foster
John Chilton
Marcus Moench
Franklin Cardy
Manuel Schiffler





世界银行

1818 H Street, N.W.
Washington, D.C. 20433 USA
Telephone: 202-477-1234
Facsimile: 202-477-6391
Telex: MCI 64145 WORLDBANK
MCI 248423 WORLDBANK
World Wied Web: <http://www.worldbank.org/>
E-mail: books@worldbank.org



国际发展局

94 Victoria Street
London, SW1E 5JC, United Kingdom
Telephone: 44-171-9177000
Facsimile: 44-171-9170010
World Wied Web: <http://www.oneworld.org/dfid>



英国地质勘查院

Sir Kingsley Dunham Centre
Keyworth
Nottingham NG12-5GG, United Kingdom
Telephone: 44-1159-363100
Facsimile: 44-1159-363200
Telex: 378173 BGSKEY G
World Wied Web: <http://bgs.ac.uk>
E-mail: enquiries@bgs.ac.uk

ISBN 7-5005-5310-2



9 787500 553106 >

ISBN 7-5005-5310-2

X·0003 定价:20元

S273.4
1



世界银行技术文件第 463 号

农村发展中的地下水问题
正视供水和资源可持续性方面的挑战

Stephen Foster John Chilton
(英国地质勘查院)

Marcus Moench
(社会与环境变迁研究所)

Franklin Cardy Manuel Schiffler
(世界银行)

中国财政经济出版社
为世界银行出版

Groundwater in Rural Development: Facing Challenges
of supply and Resource Sustainability
Copyright © 2000 by the International Bank
for Reconstruction and Development/The World Bank
1818 H Street, N. W., Washington, D. C. 20433, U. S. A.

农村发展中的地下水问题：
正视供水和资源可持续性方面的挑战
© 2000 年，版权所有
国际复兴开发银行/世界银行

This Work was originally published by the ~~world bank in English~~ as Groundwater in Rural Development: Facing Challenges of supply and Resource Sustainability. This Chinese translation was ~~prepared and~~ produced by China Financial and Economic Publishing House, and is not an official world Bank translation. The World Bank ~~does not guarantee~~ the accuracy of the translation and accepts no responsibility whatsoever for any consequence of its interpretation or use.

本书原版由世界银行以英文出版，书名为《农村发展中的地下水问题：正视供水和资源可持续性方面的挑战》。中文版由中国财政经济出版社组织翻译并出版，并非世界银行的官方翻译。世界银行不保证翻译的准确性，也不对本书的解释或使用引起的后果承担责任。

本书是世界银行工作人员的成果，其中的看法未必反映执行董事会或他们所代表的国家的观点。世界银行不保证本书数据准确无误，并对任何人引用其中的观点和数据引起的后果不承担任何责任。本书所附地图的疆界、颜色、名称和其他资料，并不表示世界银行的任何部门对任何地区的法律地位的看法，也不意味着对这些疆界的认可或接受。

图书在版编目 (CIP) 数据

农村发展中的地下水问题：正视供水和资源可持续性方面的挑战/世界银行编写；
中国财政经济出版社译。北京：中国财政经济出版社，2001.9
ISBN 7-5005-5310-2

I. 农… II. ①世…②中… III. ①地下水资源-资源开发-作用-农业-研究
②地下水资源-资源保护-研究 IV. S273.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 062838 号

中国财政经济出版社出版

URL: <http://www.cfeph.com>

E-mail: cfeph@drc.gov.cn

(版权所有 翻印必究)

社址：北京海淀区阜成路甲 28 号 邮政编码：100036

发行处电话：88190406 财经书店电话：64033436

北京京丰印刷厂印刷 各地新华书店经销

889×1194 毫米 16 开 6.75 印张 172 000 字

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月北京第 1 次印刷

定价：20.00 元

ISBN 7-5005-5310-2/X·0003

图字：01-2001-3589

(图书出现印装问题，本社负责调换)

前 言

过去 20 多年中，在向发展中国家的农村人口迅速提供更为可靠、质量更高和低成本的水方面，地下水成为最重要的基础资源。伴随而来的情况是，在很多国家，为农业灌溉开发地下水的活动激增。因此，能够利用地下水是使农村人口可以获得粮食安全、提高生产率和除了温饱之外取得进一步发展的主要因素之一。

利用地下水方面的发展大大有利于提高农村生活水平和减少农村贫穷，但其涉及的一些问题也引起了关注，尤其值得注意的是：具体水源在运行上的可持续性；某些地区的地下水天然质量不合格；而且最重要的是，广泛出现基础资源本身退化的迹象。

本文件是由具有广泛经验的地下水专家们编写的，整个编写工作由英国地质勘探局协调，并与世界银行的很多工作人员进行了深入的磋商。这项工作的经费来自世界银行和（英国）国际开发部。本文件系统地深入讨论了在 20 世纪 90 年代出现的各种问题，并提出了更有效率和可持续利用地下水资源来促进农村发展的方式。

本文件所针对的读者包括各国政府内负责农村地区供水和供水卫生、促进农业发展以及土地和水源管理的官员，并包括国际援助机构和非政府组织内负责在这些方面提供财政和技术援助的工作人员。世界银行的很多任务经理报告说，他们越来越频繁地遇到严重的地下水超采和污染问题，并着重指出，他们缺乏明确的资料来确定解决这些问题的有效方式。我们希望，本文件将：

- 使上述人员更加了解在为农村发展可持续利用地下水方面受到的限制和面临的威胁；
- 向他们提供有用的指导，以便对包括利用地下水在内的新项目提案进行审议；
- 使他们意识到，迫切需要为可持续管理地下水资源增加投资和建立更为适当的制度。

Ashok Subramanian

世界银行

用水制度发展问题高级专家

摘 要

地下水对于世界很多国家的农村发展具有重要意义。地下水分布广泛，开发成本低，一般具有很好的水质，因此成为各国在改进农村人口的生活供水方面取得迅速进展的最重要资源，并在很多地区促使高效率的农业灌溉大幅度增加。因此，在满足从公共卫生、减少贫穷直至实现经济发展的很多基本需要方面，地下水资源具有极其重要的意义。

然而，灌溉所需要的取水率很高，导致人们在某些地区对基础资源的可持续性表示了极大关注，其原因是地下水位不断下降，而且盐碱的侵入致使蓄水层出现几乎不可逆转的恶化。过度密集或缺乏适当管理的农业种植导致地下水的污染现象日益增多，也使人们对其可持续性更为关注。

本文件的依据是对很多发展中国家在上世纪 90 年代不断变化的情况所进行的回顾。其目标是使人们更为意识到地下水与农村发展之间的重要联系，并指出应该采取何种适当的技术性和制度性方式，以便提高水井的运行可靠性和整个地下水资源的可持续性。为了达到这一目的，应该认识到，由于水文地质和社会经济情况的多样化，相应的管理措施必须具有灵活性。本文件的统一构想是明确应该如何以适当的技术评估和增加有关各方的参与为基础，在一个分阶段的体制建设过程中采取行动，以便减缓地下水抽取量的增长速度和限制地下污染物含量。

致 谢

对于过去 10—15 年中世界银行所进行的与地下水密切相关的农村供水和农业发展项目，世行进行了一次内部审查，以便总结在这些项目中所取得的经验。在这次审查之后，John Briscoe（世界银行水问题高级顾问）指出了就这一主题编写一份世界银行技术文件的潜在价值。这次审查由 Stephen Foster（英国地质勘探局）和 Franklin Cardy（世界银行非洲技术部）在 1998 年 4 月至 7 月期间进行，并由世界银行的水资源管理专题小组提供协助，该小组当时的组长是 Ashok Subramanian。Subramanian 随后和 Andrew Macoun（世界银行—中东和北非区域）成为这项工作的协调人，我们感谢他们对本文件的编写所表示的个人关心和提供的宝贵帮助。（英国）国际开发部工程司的 John Hodges 和 Ian Curtis 所表示的关心使我们在工作中受到鼓励。我们还感谢专题小组管理委员会（Geoff Spencer、Theodore Herman 和 Ashok Subramanian）所给予的不断关心和支持。

本文作者们感谢世界银行的有关工作人员在查明问题、收集数据、讨论政策和提供编辑意见方面给予的切实协助，他们包括：Keith Pitman、Stephen Mink、John Shepherd、Lee Travers、Douglas Olson、David Grey、Salman Salman、Karin Kemper、Christopher Ward、Adel Bichara 和 Ariel Dinar。作者还感谢英国地质勘探局中的下列同事提供宝贵的与农村供水和农业灌溉发展有关的地下水数据：Adrian Lawrence、David Kinniburgh、Pauline Smedley 和 Jeff Davies。

编写组长还感谢下列人士就本文的整个主题参与讨论和提供的书面意见：Hans Wolter 博士（联合国粮食及农业组织土地和水源开发司长）、Ramon Llamas - Madurga 教授（西班牙的马德里 Complutense 大学）、Ing Ruben Chavez - Guillen（墨西哥全国地下水管理委员会）和印度泰米尔纳都农业大学的 K. Palanisarni 教授。Ing Ignacio Lopez - Cortijo（联合国粮农组织）在从 AQUAS-TAT 系统中摘取数据方面提供了协助。

最后，我们特别感谢 Theresa Blackwell 和 Gill Tyson 在本文件的各个起草阶段为编辑排版所作的努力。

概 论

绝望地看着龟裂的土地，
方能领会水的价值。
干渴地穿越浩瀚的沙漠，
才会发觉井的珍贵。

Elisa Cook
(19世纪时的南非诗人)

一个几乎总是充盈的蓄水层，
如果不加善待，
与几乎总是空的蓄水层
差不多。

David Burdon
(20世纪时的爱尔兰水文地质学家)

对地下水资源的利用促进了以迅速和低成本的方式向亚洲、非洲和拉丁美洲广大地区的农村人口提供更为可靠的优质供水。尽管这个方面的很多关键问题已经得到解决，但仍有一些顽固问题（例如提高地下水源的运行可靠性）和新出现的问题（例如某些地下水源的天然水质具有危害或不合标准）有待以系统的方式着手解决。

在很多国家，农业灌溉对地下水的使用量大大增加。这种情况不仅发生在半干旱地区，而且发生在较为湿润的地区，因为人们希望在现有的耕地上进行更为密集的种植或为作物提供更大的保障，而无须开垦新的耕地。此外，越来越多的迹象显示，利用地下水可以在提高灌溉效率和水生产率方面发挥重要作用。

但是，灌溉井的运行可靠性引起了关注。而由于灌溉所需要的取水率比其他用途高很多，基础资源本身的可持续性在某些地区引起了甚至更大的关注，这方面的问题包括：地下水位不断降低；妨碍下游用户取水；盐碱侵入和土地密实化造成蓄水层发生不可逆转的恶化。另外一个问题是管理不善或过于密集的农业做法造成地下水污染。

因此，本文件的主要目标是：

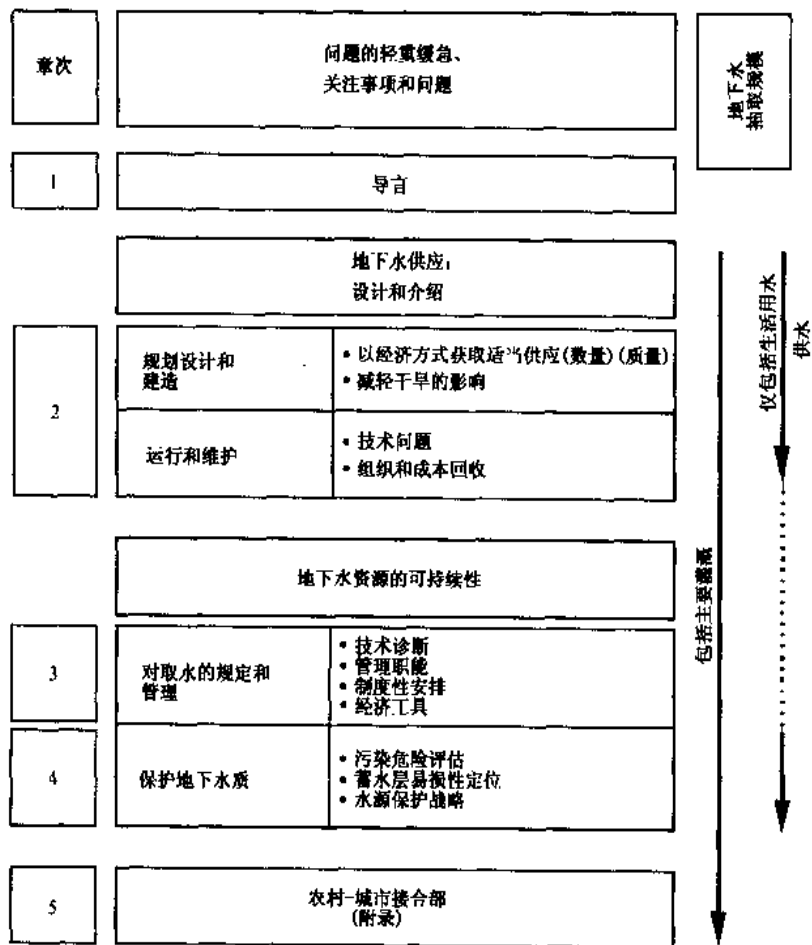
- 着重指出利用地下水在农村生活质量和收入中带来的重大好处，并使人们更加意识到地下水与农村发展之间的各种重要（和复杂）联系；
- 平衡地分析对具体地下水源的可靠性以及整个地下水资源的退化产生影响的各种因素；
- 确定适当的技术性和制度性方式，以便在农村发展方面加强水井的运行可靠性以及蓄水层资源的可持续性。

图1概述了本文件的结构安排，为理解本文件的讨论范围和用途提供了总的指导。应该指出的是，对于只把地下水用作生活供水和牲畜饮水的地区，有关的讨论主要集中于第1章、第2章和第

4 章中的某些部分。

第 1 章（导言）详细论述了地下水对于生活供水和农业供水的重要意义，介绍了农村发展与地下水资源之间的重要联系。该章确定了各种问题和关注事项的轻重缓急，这些问题和事项既包括生活供水和灌溉供水的结构性充足程度和运行可靠性，也包括灌溉密集型农业的发展所引起的资源退化问题。为促进农村发展管理地下水资源的困难程度因环境的不同而有很大差异，因此，这一章介绍了水文地质的多样性，如果要使发展进程符合（而不是违背）自然条件，就必须理解这种多样性。第 1 章还指出了为农村发展利用地下水所涉及的各个利益有关方面，并分析了应该以何种方式使这些利益有关方面参与地下水项目的宣传、建设和运行活动。

图 1：技术文件的总范围、结构和用途



第 2 章（地下水供应：设计和运行）讨论了为促进农村发展提供和使用地下水所涉及的问题。这方面的问题包括：小规模的生活用水和牲畜饮水；在农村地区的城镇和村庄的管道供水提高供水率的必要性；密集灌溉型农业。20 世纪 80 年代以来已经在这方面取得了很大进展，但仍然有待在广大的地区保证做到：

- 更为注意蓄水层水力结构的具体情况，并对长期干旱时的供水保障进行系统的水文地质评估，以便有助于水井的定位和设计程序；
- 通过社区参与提高水源的运行可靠性，在初期阶段使社区参与确定所需要的供水水平，随后使其承担在有形物质方面和财务方面维护水井的责任；
- 认识到影响地下水质量的天然水文地质化学因素，并认识到饮水供应的质量不合标准所带

来的危害；鉴于这些因素已得到普遍承认，并对新水源的定位、设计和成本形成限制，因此本章对其进行了讨论（而不是在关于保护地下水不受污染的随后章节中讨论）。

该章还强调了地方用水协会在改进灌溉用水分配和调拨方面发挥的关键作用，并强调了这些协会在促进以具有成本效益的方式维护水井方面可以发挥的潜力。

地下水的管理是社会所面临的最重要、最受到忽视和高度复杂的自然资源挑战之一。因此，第3章（地下水资源的可持续性）是本文件的核心，其中提出，需要广泛采取一个新的方式，在其中强调地下水资源的价值，并强调在灌溉农业对地下水资源形成巨大需求的地区未雨绸缪地进行参与性的管理。

该章详细分析的关键问题包括：

- 相当一部分地下水资源开发的历史背景，了解这种背景将有助于确定必须克服的主要障碍；
- 需要建立的主要管理职能，包括：对蓄水层的补给、出水以及取水反应情况进行现实的水文地质评估；就地下水的作用、优先事项和地下水的估值进行战略规划；确定和审查用水权的分配；
- 提倡有效和分层次的制度性安排和灵活的管理制度，并提倡在适当规模上由用水户通过蓄水层管理委员会进行参与；
- 经济工具（例如取水收费和水市场）在地下水管理方面的潜在作用和局限性，以及逐步取消某些可能促使人们过度取水的补贴（特别是对水泵用电的补贴）。

在很多蓄水层管理战略的确定过程中，如何使储蓄的地下水最恰当地发挥作用是一个关键的问题。由于很多因素，地下水系统的最宝贵的重要优势是其庞大的天然蓄水能力。一方面，地下水的一些重要的经济和环境价值（例如抽水成本、可供穷人个人使用、保持某些淡水湿地和气候干燥时的水流）依赖于地表至地下水面的深度，而不依赖于蓄水量。另一方面，在很多情况下，储蓄的地下水是长期干旱中唯一的主要淡水来源，因此必须找到办法，以便既利用这项资源，又减轻对与地下水位有关的服务造成的影响，特别需要向那些依赖于浅水井供水的人提供充分补偿。第3章比较详细讨论的另一个问题，是人工补给蓄水层蓄水量的范围和所受限制。

第4章（保护地下水质）概述了地下水水质日益退化的迹象和以下两个因素对地下水的可饮用性造成的威胁：农业土壤中的养分和农药的沥滤；农业做法造成的地下水盐碱化。低效率灌溉农业地区受到的威胁看来更为严重和迫在眉睫，而且无论涉及何种水源，威胁都可能继续增加。农业开发部门并非总能充分意识到这个问题，而第4章则对其进行了比较详细的讨论。所建议的管理对策是，把迫切需要的污染控制措施集中在那些把可以饮用的地下水源用作管道供水、而且易受损害的蓄水层补给地区。

总之，水文地质和社会经济的多样化对地下水资源的管理形成重大挑战。在这种情况下，无法为解决问题开出非常具体的处方。尽管如此，仍可以查明（并已经查明了一些）诊断工具，以使资源管理人员和项目规划人员能够阐明共同面临的情况中的关键要素，并为今后的努力确定一个更持久的方针。虽然地下水的管理和保护看来是一项复杂的任务，但开始进行能力建设的实际过程并不一定复杂。此外，尽管所采取的战略必须最终符合当地条件，但战略的全面制订方式可以利用某些共同的出发点。这些出发点可以酌情包括：以适当的技术评估、提高公众的意识及增加有关各方的参与为基础，在一个分阶段的体制建设过程中立即采取行动，以便减缓地下水抽取量的增长速度和/或限制地下污染物含量。在很多情况下，工作可以从具体的地区性企业或地方利益集团入手。可

以利用这些企业和集团来调动利益有关方面的参与，强调政策性问题，并举办试验性活动。未雨绸缪的参与性管理将使地下水开发的成本大幅度增加，但是，为了在干旱中提供有保障的供水来源，与通过地表水源为灌溉供水相比，这可能是个很小的代价。

我们意识到，农村发展和城市发展之间的区分有武断的成分；但是，考虑到本文件是以项目为重点，这种区分据信是适当的。世界银行第 390 号技术文件（城市发展中的地下水问题）已经系统地论述了城市地下水资源的管理问题。因此，第 5 章论述了农村 - 城市接合部的某些有关地下水资源的特殊关注事项，并特别侧重于以下三个具体方面的问题：

- 农村灌溉用水户和城市自来水公司在利用地下水资源方面的竞争；
- 城市地下水源如果毗邻农村地区，会使人们要求限制当地农业，以便保护水源充足的汇水地区。
- 用城市废水取代本地的地下水作为灌溉供水的来源可以带来的益处及如果不对这种做法进行适当评估和规划而可能对蓄水层的水质产生的影响。

目 录

前 言	(vii)
摘 要	(ix)
致 谢	(xi)
概 论	(xiii)
1. 导言	(1)
1.1 地下水供应在农村发展中的重要性	(1)
生活用水和牲畜饮水供应	(1)
农业灌溉	(1)
地下水使用情况的统计	(2)
地下水资源的特点	(2)
1.2 农业发展对地下水的影响	(3)
地下水补给和排水的变化	(3)
对水质的影响	(4)
1.3 地下水开发和管理的主要问题	(5)
1.4 不同地下水开采规模及其不同的问题	(6)
1.5 不同水文地质状况及其不同的问题	(7)
1.6 从利益相关者的角度分析问题	(10)
2. 地下水供应：设施和运行	(12)
2.1 主要问题的背景	(12)
2.2 获取充分的地下水	(13)
生活用水和牲畜饮水水井的建造	(13)
园田灌溉和村庄供水系统	(17)
大型灌溉水井的设计和建造	(19)
干旱时期供水保障的问题	(20)
2.3 地下水固有的水质问题	(24)
水文地质化学与健康	(24)
对灌溉作物的影响	(27)
井管的结壳和腐蚀	(29)

2.4	农村供水运行的可持续性	(30)
	维护-功能上的可持续性	(30)
	成本回收-财务上的可持续性	(33)
	社区行动-社会方面的可持续性	(34)
2.5	地下水开发问题概述	(36)
3.	地下水资源的可持续性	(37)
3.1	背景和管理部门面对的挑战	(37)
	资源可用度的水文地质局限因素	(37)
	无控制抽水及过量抽水的后果	(37)
	社会经济问题和障碍	(40)
3.2	资源管理的体制框架	(45)
	多层次的体制安排	(45)
	灵活的管理制度	(47)
	利益相关者的参与和管理	(47)
3.3	主要管理职能	(48)
	资源评估	(48)
	资源估值	(53)
	战略规划	(55)
	资源管制	(56)
3.4	地下水管理方面的经济手段	(60)
	抽水收费	(60)
	间接影响	(61)
	水市场的作用	(61)
3.5	实施一项地下水管理行动计划	(62)
	需求方面的措施和供应方面的措施	(62)
	减缓抽水量的上升	(62)
	为管理工作奠定基础	(65)
	开始减少抽水量	(65)
	蓄水层人工补给的范围	(66)
	对储存的地下水进行有计划开采的备选方式	(67)
4.	保护农村地区的地下水水质	(68)
4.1	农业所带来的污染威胁的性质	(68)
4.2	控制硝酸盐沥滤和传导的过程	(69)
4.3	农药污染的风险	(72)
4.4	控制农用化学品的沥滤	(75)
4.5	污染危害的评估和地下水保护的策略	(76)
	一般方式	(76)
	确定蓄水层中易受污染性的地点	(77)

规定地下水源保护区	(79)
进行井源卫生调查	(80)
5. 城乡交界地区：一项补充说明	(82)
5.1 对地下水资源的争夺和转让	(82)
5.2 市政井区保护问题	(83)
5.3 城市废水再利用 - 灌溉	(83)
参考文献	(86)
专栏	
专栏 1：地下水的产生和流动	(7)
专栏 2：撒哈拉以南非洲地区风化结晶岩层地带的村庄供水情况	(14)
专栏 3：博茨瓦纳的卡拉哈里地区为建造牲畜饮水井进行地下水勘探的成本效益	(18)
专栏 4：在津巴布韦使用集水井发展小规模园田灌溉	(21)
专栏 5：关于巴基斯坦印度河冲积盆地水井退化以及所需修复工作的分析	(22)
专栏 6：孟加拉国地下水天然的重金属污染	(26)
专栏 7：地下水在印度农村地区发挥的关键作用以及今后的不确定性	(42)
专栏 8：孟加拉国对地下水抽取实行间接管制的的能力	(57)
专栏 9：墨西哥在稳定地下水资源状况方面的政策选择	(63)
专栏 10：约旦采取了一项重要的管制性举措，以便在极度缺水地区使蓄水层的开采合理 化.....	(64)
专栏 11：热带地区农田对地下水的硝酸盐沥滤.....	(70)
专栏 12：热带地区农田发生农药沥滤的风险.....	(73)
专栏 13：尼加拉瓜马那瓜周围地区的地下水污染风险评估和管理.....	(74)
专栏 14：阿拉伯也门共和国的农村和城市之间在利用稀缺的地下水资源方面的竞争和冲 突.....	(78)
专栏 15：墨西哥中部把废水再用于农业灌溉的情况：好处、问题和解决办法.....	(84)
图	
图 1：技术文件的总范围、结构和用途	(xiv)
图 2：剩余雨水和灌溉水引起的地下水补给率的普遍趋势，按气候类型划分	(4)
图 3：土地利用与地下水硝酸盐含量之间的相关性	(5)
图 4：水井出水量和所需抽水量在不同类型的农村地下水用途之间的变化	(6)
图 5：各种类型的蓄水层所适用的不同地下水供水开发方式和开发成本	(9)
图 6：关于各利益相关者在农村为农业灌溉进行地下水开发中的实际参与和所需参与情况 的分析	(10)
图 7：使农村供水井的设计与风化基岩蓄水层的水文地质条件保持一致	(16)
图 8：生活和牲畜水井的出水量可预见性和干旱供水保障在主要水文地质环境之间的变化 ..	(23)
图 9：地下水中的主要元素和微量元素及其对健康的影响	(25)

图 10: 在一个被大量抽水的冲积蓄水层中的生产水井运行性能的逐渐恶化	(39)
图 11: 塞浦路斯东南部第三纪石灰岩层由于没有控制地为农业灌溉开发地下水所造成的地下水储存的耗竭	(39)
图 12: 印度马哈拉施特拉邦德干暗色岩层地下水系的开发历史	(41)
图 13: 衡量抽取地下水的代价	(43)
图 14: 管理和保护地下水资源的总体概念框架	(45)
图 15: 蓄水层补给和排水过程图解和分类	(49)
图 16: 为了实际的地下水资源评估和开发对较干旱地区蓄水层补给进行的分类	(50)
图 17: 孟加拉国通过有控制地降低地下水位来增加浅冲积 - 三角洲地区蓄水层的地下水补给	(52)
图 18: 通过制作蓄水层数字模型来为地下水管理计划提供资料的安排办法	(52)
图 19: 地下水资源管制规定在不同的水文地质环境和社会 - 经济情况中的变化	(59)
图 20: 尼日利亚中部农村地区风化基岩蓄水层中的地下水硝酸盐含量	(76)

表

表 1: 某些国家的农业灌溉、排水和地下水使用情况的统计	(2)
表 2: 地下水和地表水资源与农村发展有关的特点之间的比较	(3)
表 3: 主要水文地质系统的特点	(8)
表 4: 各种地球物理勘测方式对不同水文地质环境的适合程度	(15)
表 5: 对钻井技术和水井建造所受限制的一般性概括	(16)
表 6: 风化结晶岩层地区农村水井的平均费用	(17)
表 7: 灌溉水质判读准则	(27)
表 8: 在提高效率 and 延长使用寿命以维护地下水源这一挑战中的关键性因素	(29)
表 9: 对降低水井效率和使用寿命因素的分析	(32)
表 10: 社区地下水供水规划的“综合方式”	(36)
表 11: 过度抽取地下水引起的后果	(38)
表 12: 各种水文地质环境在过度抽水期间易受副作用损害的程度	(38)
表 13: 地下水资源管理职能概览	(48)
表 14: 用于直接估计地下水补给的主要方式	(51)
表 15: 适用于地下水估值的经济评估方式概览	(54)
表 16: 与农业种植引起的地下水污染有关的水质标准概览	(68)
表 17: 农业技术因素对地下水质的相对影响总结	(75)
表 18: 主要水文地质环境及其易受污染性	(79)
表 19: 确定蓄水层的易受污染程度	(79)
表 20: 地下水源卫生风险评分和确定粪便污染危害的办法	(81)

1

导 言

1.1 地下水供应在农村发展中的重要性

生活用水和牲畜饮水供应

在使得人们能够经济和迅速地为亚洲、非洲和拉丁美洲广大地区的一大部分农村人口提供更为可靠和质量更好的用水方面，地下水已成为最基本的资源（Clarke 和其他人，1996 年），这项重要和艰巨的工作在联合国的饮水供应和卫生设施十年期间获得推动，而且这一势头一直持续到今天。地下水的成功开发特别使非洲和亚洲无数村庄中的人类健康和生活质量得到大幅度改善。

在很多水文地质条件好的地区，农村人口都已用上了生活水井。在发展方面仍然面临的主要挑战包括：

- 为水文地质条件不那么好的地区解决问题；
- 必须更好地维护已经开发的地下水系统，提高其在运行上的可持续性。

在非洲和拉丁美洲，水井对于在半干旱地区开发大规模牲畜养殖业具有基本意义。然而，这个方面的农业发展并非不存在问题。在某些地区出现了这样的倾向：在雨水比较充沛的年份，牲畜养殖过多，超过了干旱期间的土地能力，从而在牲畜饮水点周围导致过度放牧和严重土壤侵蚀。

农业灌溉

由于地下水分布广泛和开发成本低，过去 10 至 20 年内，在农业灌溉方面对地下水资源的利用激增（Clarke 和其他人，1996 年）。地下水在很多亚洲国家是农业“绿色革命”的核心，并且使得各个干旱地区可以种植高价值作物。

在那些干旱年份时地表水资源不能满足灌溉的地区，地下水还可提供抗旱的保障。此外，地下水的利用可以在提高灌溉水使用效率和农业用水生产率方面发挥重要作用。这是因为：抽水的能源成本经常高于使用地表水的能源成本，因此促使人们节约用水或把水用于灌溉高价值作物；地下水源一般在于旱期间远比地表水源可靠；地下水没有沉积物，因此可以很容易地采用提高用水效率的灌溉技术。

而且，地下水开发的规模促进了个体农民或小型合作组对管井的使用，这提高了灌溉时间安排的灵活性，简化了用水分配制度，从而普遍提高了作物产量和灌溉水使用效率。此外，这还导致了

维护责任的下放。然而，这样的发展也会导致：

- 灌溉井的建造质量差，从而可能在不利的水文地质条件下损害水源的可靠性；
- 到处打井，可能在有限的补给对资源形成很大限制的地区引起对地下水资源的争夺和对地下水储量的超采。

地下水使用情况的统计

现在无法得到关于在农业灌溉中使用地下水的全面统计数字，但表 1 可以使读者对地下水在一些国家中的相对重要性有一定的了解。一个非常重要的例子是印度当前的情况（世界银行，1998 年）。在该国，地下水直接提供了农村地区 80% 的生活用水，并在农业灌溉用水中占 50% 以上。这样，地下水资源在饮水来源和粮食安全方面具有极其重要的意义，并且在满足从公共卫生、减少贫穷乃至经济发展的多种需求方面发挥着必不可少的作用（Kahnert 和 Levin，1993 年）。因此，从这方面来看，地下水基础资源的可持续性是一个关键的问题。

表 1：某些国家的农业灌溉、排水和地下水使用情况的统计

国家	年份	灌溉面积 (千公顷)	灌溉用水 (百万立方米/年)	水源		排水面积 (%)
				地表水 (%)	地下水 (%)	
孟加拉国	1993/95	3,750	12,600	31	69	40
中国	1990/93	48,000	407,800	78	18	42
印度	1990/93	50,100	460,000	41	53	12
印度尼西亚	1990/96	4,430	69,200	99	1	?
马来西亚	1994/95	360	9,700	92	8	?
尼泊尔	1994/95	1,130	28,700	74	12	?
巴基斯坦	1990/91	14,330	150,600	66	34	36
墨西哥	1995/97	5,370	61,200	63	27	?
秘鲁	1992/95	1,200	16,300	89	11	?
阿根廷	1994/95	1,550	18,600	75	25	?
肯尼亚	1990/92	70	1,570	99	1	?
南非	1991/94	1,270	9,580	82	18	?
赞比亚	1992/94	50	5,320	95	5	?
埃及	1992/93	3,250	45,400	96	4	90
突尼斯	1990/91	310	2,730	39	61	52
摩洛哥	1989/91	1,090	10,180	69	31	?
马里	1987/89	80	1,320	97	3	7
约旦	1991/93	60	740	40	55	6
伊朗	1993/93	7,260	64,160	50	50	1
沙特阿拉伯	1992/93	1,610	15,310	3	96	3
叙利亚	1992/93	640	13,600	40	60	43

注：这些数字尽管是可以得到的最好数字，但没有区分补充灌溉和几乎持续的灌溉，也没有区分利用不同水源种植的作物的类型和价值，此外，这些数字没有充分反映地表水和地下水联合灌溉的情况，而众所周知，很多地区都采用这种灌溉办法。

资料来源：联合国粮农组织土地和水源开发司 AquaStat 数据库。

地下水资源的特点

表 2 把利用地下水促进农村发展的特点与常规的地表水利用办法的特点进行了比较。这些特点不仅表明了很多国家为促进农村发展对地下水资源进行的重大开发，而且显示了另外一些国家在开发地下水资源方面所采用的不合理方式。