

国外地下水管理经验及启示

金海, 胡文俊, 夏志然

(水利部国际经济技术合作交流中心, 100038, 北京)

摘要:西方发达国家在地下水管理方面积累了丰富的经验, 具有较高管理水平。分析了全球地下水概况及面临的形势, 聚焦美国、澳大利亚以及欧洲国家在地下水保护与利用方面的发展历程和特色做法, 从地下水管理法规体制、地下水利用管理、地表水与地下水一体化管理以及跨界地下水合作等方面总结提炼经验, 为我国进一步加强地下水管理提供启示借鉴。

关键词: 国外地下水; 地下水管理; 地下水保护; 地下水补给; 跨界含水层合作

Experiences and inspiration of groundwater management in foreign countries//Jin Hai, Hu Wenjun, Xia Zhiran

Abstract: Rich experience and higher level on groundwater management has been accumulated in some western developed countries. Global groundwater situations are analyzed, and development history and special practice of groundwater in the United States, Australia and European countries are focused. The successful experience from the aspects of groundwater regulation system, groundwater utilization management, integrated surface water and groundwater management and transboundary groundwater cooperation was summarized, which may provide inspiration for improving groundwater management in China.

Keywords: groundwater in foreign countries; groundwater management; groundwater protection; groundwater reply; cooperation on transboundary aquifers

中图分类号: P641.8

文献标识码: B

文章编号: 1000-1123(2021)07-0024-05

一、前言

地下水是水资源的重要组成部分, 据 FAO AQUASTAT 数据库资料, 全球可再生地下水占可再生水资源总量的 19.5%。地下水在支撑经济社会发展、应对气候变化、保障水安全等方面具有重要作用。

我国地下水资源量(含地下水与地表水资源重复部分)占水资源总量的 28.2%, 占供水总量的 15.5%。据 2015 年全国取水许可管理的地下水开发利用情况统计, 地下水供水中, 农业用水占 57.6%、工业用水占 17.8%、城镇公共用水占 7.5%、居民生活用水占 13.9%。华北地区地下水长期超采, 形成了世界上最大的地下水降落漏斗。过度开发利用地下水, 会引发地面沉降和塌陷、海水入侵、生

态退化等一系列问题。

西方发达国家在地下水利用与管理中积累了丰富的经验, 具有较高管理水平。本文介绍了全球地下水利用基本情况, 聚焦美国、澳大利亚、丹麦等国在地下水保护与利用方面的发展历程和特色做法, 总结提炼经验与教训, 为我国做好地下水保护与利用提供启示借鉴。

二、全球地下水概况及面临形势

据相关研究估计, 全球地下水资源总量约为 2.3×10^8 亿 m^3 , 主要分布在地下水盆地中(见图 1), 其中包括众多跨界含水层。全球地下水年供水量达 9 000 亿 m^3 , 其中 70% 被用于灌溉; 全球 36% 的饮用水、42% 的灌溉用水和 24% 的工业用水均来自地下水。

目前地下水开发利用程度较高的含水层主要包括美国的高原含水层和加州中央河谷含水层、非洲的北撒哈拉含水层和努比亚含水层、波斯半岛的中东含水层、印度及孟加拉国西北部和东部的含水层, 以及我国华北平原含水层等。

印度、中国、美国、巴基斯坦和伊朗这五个国家的地下水抽取量占全球的 65%, 其中印度的抽取量超过了中国和美国抽取量的总和(见图 2)。

由于人口快速增长、城市化进程加速推进以及社会用水模式演变, 全球主要含水层中地下水储量大幅度下降(见图 3), 引发了地面沉降、海水入侵、生态退化、沙漠化等一系列问题。

地下水水位降低和水质恶化加剧了水资源短缺问题。印度河-恒河-布拉马普特拉河流域有全球最大的

收稿日期: 2021-03-18

作者简介: 金海, 主任, 译审。

地下水系统之一,地下水资源总量达 3 000 亿 m³, 然而其中 60% 由于水质问题等原因无法使用。在北非的利比亚, 95% 的供水来自不可更新的深层地下水(最深抽水深度超过 1 000 m), 这些地下水大部分用于灌溉。地下水超采治理和水质保护越来越紧迫。

三、典型国家地下水管理

部分西方发达国家对地下水的开发利用较早, 经过多年实践, 逐步成功建立了较为完善的地下水管理制度、法律体系和技术标准, 并研发了先进的地下水监测、保护和开发利用技术。

1. 美国

美国地下水资源总量为 13 830 亿 m³, 占其水资源总量的 45%。2017 年地下水使用量达到 1 113 亿 m³, 占总用水量的 25%。地下水抽取量最大的五个州依次是加利福尼亚州(以下简称“加州”)、阿肯色州、得克萨斯州(以下简称“德州”)、内布拉斯加州以及爱达荷州, 其中加州抽取量占全国的 21%。美国高原含水层、加州中央河谷含水层等区域地下水储量在近 100 多年中显著降低(见图 4)。

美国在联邦层面以地质调查局、环境保护署等相关机构为主体, 依据《清洁用水法案》《安全饮用水法》等有关法规, 以水文地质单元为基础统筹地下水监测、评估和管理。1970—1984 年, 美国实施了“国家水资源概况调查”, 将全国分为 21 个水资源区域和 352 个水文地质单元, 根据含水层空间分布和形成条件对地下水资源的开发和管理进行评价。1978—1995 年实施了“区域含水层系统分析计划”, 把全国分为 25 个含水层区域, 以含水层系统为单位, 整编区域水文地质资料, 编制区域水文地质图集。美国地质调查局采集了 8 000 多眼地下水监测井的地下水水位、水质信息, 编制全国地下水数据库, 并通过网络及时向社会发布。

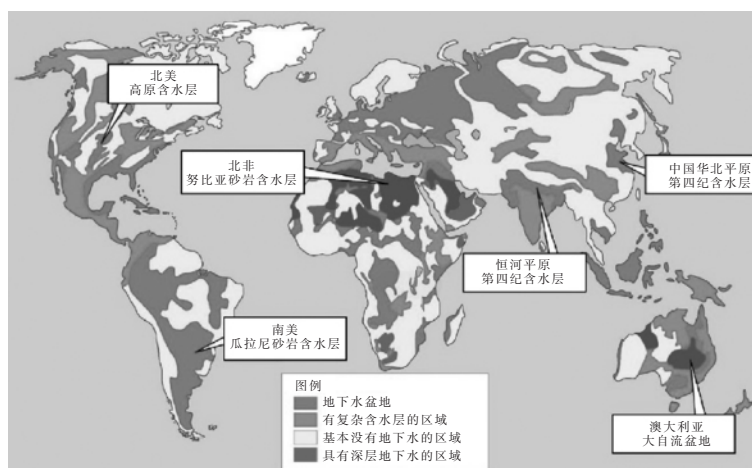


图 1 全球地下水资源分布

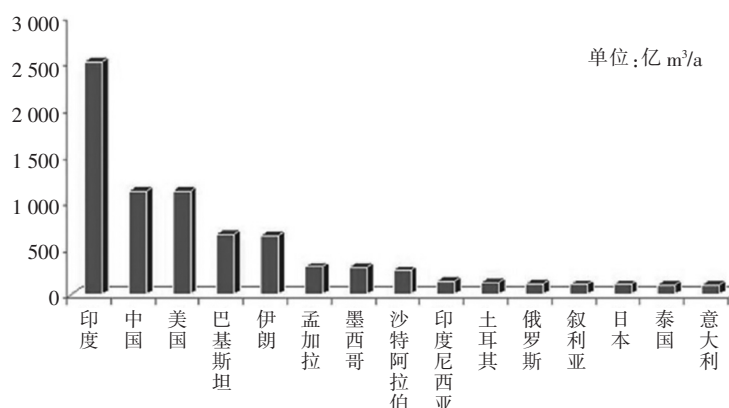


图 2 地下水利用大国年均开采量

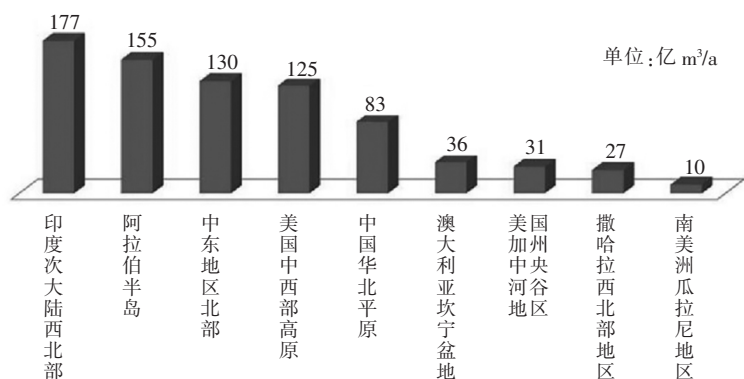


图 3 全球主要含水层地下水储量每年减少情况

(1) 加利福尼亚州地下水管理

地下水是加州重要的供水水源, 南加州超过 40% 的供水来自地下水, 正常年份地下水用量占加州用水量的 1/3 以上, 干旱年份占 1/2 以上。为解决过度开采造成的地下水水位大幅度下降、水井干枯及海水入侵等问题, 加州政府早在 1959 年就成立了

南加州地下水回灌局, 专门负责通过人工回灌来补给过量抽取的地下含水层并保护地下水水质, 用于回灌的水源包括雨水、再生水、流域外引调水等。为进一步明确州级及地方有关部门地下水管理权责, 加强地下水可持续管理, 加州政府于 2014 年颁布了《加州可持续地下水管理法案》, 规

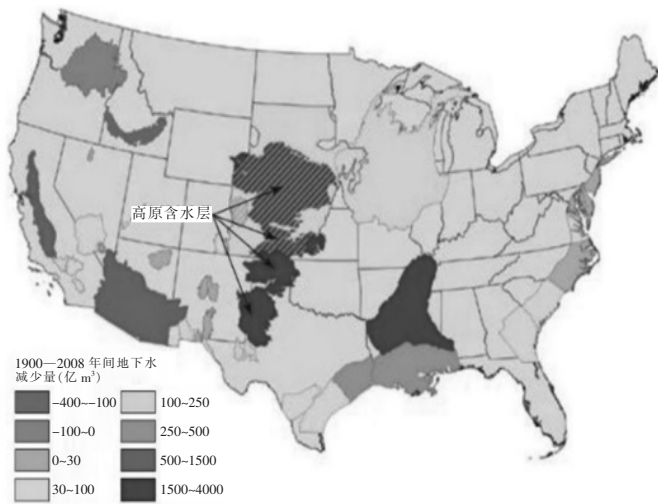


图4 美国地下水储量减少情况(1900—2008年)



图5 澳大利亚各地区对地下水的依赖情况

定了地下水开发、管理相关计划的制定、实施及更新审查安排,地下水监测和开采报告要求,监督检查,地下水水权管理,监管费收取等方面的事项。对于长期处于超采状态或是难以实现可持续管理的地下含水层区,由加州水资源管理局专门制定地下水改善方案及行动时间表,进行严格管理。

(2) 高原地区地下水利用与保护

位于美国中西部的高原含水层(包含内布拉斯加州、科罗拉多州、堪萨斯州、得克萨斯州等州的部分地区)是美国最大的地下含水层,面积约45.4万km²。该区域是美国重要的产粮地,地下水被大量用于灌溉(灌溉面积占全国28%),82%人口的饮用水也来自地下水。20世纪60年代以来,这一区域地下水超采严重,抽水量从1950年的85亿m³增至1980年的260亿m³。1950—2013年,得州地下水水位最大降幅超过80m。

为了加强地下水管理,高原含水层区各州出台了制度。虽然得州地下水水权归属于土地所有者,但得州政府通过立法建立了地下水保护区和优先地下水管理区,在区域内实施严格的地下水管理和保护相关制度。除了立法之外,当地还加强宣传教育,举办科普活动来推进地下水保护。

美国国会于1983年通过《高原各州地下水示范项目法案》,授权内务部垦务局在各州进行地下水回补技术测试和示范。《高原地区南部地下水资源保护法案》(2000年)从地下水监测、未来发展预测等方面加强对地下水的保护,包括通过水文信息系统与数值模拟相结合的技术手段对地下水水质和水位变化实施监测。为解决高原地区缺水问题,美国国会还曾于1976年通过法案,授权陆军工程师兵团开展向高原地区调水的可行性研究。因属跨州调水工程,该计划至今仍在研究论证中。

(3) 美-墨跨界地下水保护

美国与墨西哥之间约有17个跨界含水层。过去两国之间签署的跨界河流条约及协定都未对跨界地下水管理作出专门规定。

墨西哥为减轻科罗拉多河含盐量过高对其农田造成的损失,以及保证生活用水,大量开采边界附近地下水。1973年,双方在“国际边界和水委员会”机制下达成协议,对两国边境地区地下水的开发利用进行了限制,规定任何一方进行地下水开发时都须和另一方商议。2006年,美国通过《美国-墨西哥跨界含水层评价法案》,确定开展两国间跨界含水层评价计划,并明确可将美国资金用于墨西哥境内

的评价工作。跨界含水层调查、评价、研究和管理等方面的合作纳入双方边界水合作议程。

2. 澳大利亚

澳大利亚地下水资源总量为720亿m³,占其水资源总量的14.6%。澳大利亚高度依赖地下水资源,全国超过60%区域的城市、农业、工业以及采矿业的用水主要依赖地下水(见图5)。2017年澳大利亚地下水资源使用量占总用水量的31%。

澳大利亚的地下水资源管理遵循生态可持续发展原则,强调“可持续开采”的理念,在其《国家水倡议》(2006年)中,将地下水使用申请的评估方法从传统的逐案评估改变为考虑区域资源可持续性的评估,并提出通过限制地下水的许可抽取量来防止不利影响。澳大利亚全国设有279个地下水管理区,其中127个设置了地下水的许可抽取量限制,没有设置限制的管理区也须将地下水抽取量保持在可持续水平。

澳大利亚采取地下水回补措施改善地下水资源状况。企业或机构获得许可证后,可实施地下水回补,将水资源储备至地下含水层,在需要时经过批准可再取用。昆士兰、南澳大利亚、西澳大利亚和北部地区均实施了地下补水,从2016年开始每年补

水 4.1 亿 m³, 补水水源包括经过处理的污水、雨洪水等。为保证补水不影响地下水的水质和含水层的渗透性, 澳大利亚政府在《国家水质管理战略》(2006 年) 中针对地下水回补作出了专门规定, 并在 2009 年发布了《地下水回补管理指南》。任何水源经相关机构审核批准后都可用于地下水回补, 但必须避免对环境、用水户以及公共健康产生不利影响; 回补饮用水水源地的地下水, 必须达到饮用水相关质量标准。

3. 欧洲国家

欧洲地下水资源占其水资源总量的 17.4%, 地下水年使用量占总用水量的 19.2%, 大约 75% 的欧洲居民用水依靠地下水, 地下水也是工业和农业灌溉的重要水源。欧洲 318 个含水层中有 92 个为跨界含水层。一些欧洲国家在 20 世纪 70 年代启动了地下水保护行动, 取得很好效果。欧盟 2006 年发布《关于保护地下水免受污染和防止状况恶化的指令》(“地下水指令”) 要求成员国加强地下水保护, 包括加强跨界含水层各有关国家在水位监测、污染物识别等方面的协调行动。

(1) 丹麦地下水利用与保护

丹麦的地下水利用、保护与管理处于世界领先水平。丹麦地下水占水

资源总量的 72%, 地下水使用量占年用水总量的 91%, 居民饮用水水源 100% 来自地下水。

丹麦采取以预防为主地下水管理政策。丹麦严格执行欧盟的“地下水指令”和“饮用水指令”, 并结合国内供水及环境保护等法规, 从源头防止地下水污染。严格管理农药的使用, 通过对使用农药收取额外的税费、农药销售和使用须经政府部门审查批准等规定, 防止地下水受农药污染。

丹麦地调局负责对地下水进行持续监测, 以评估地下水的水量和水质是否满足国家和欧盟相关标准。丹麦地下水资源监测点密集, 全国共有约 1 200 个取样点, 平均 36 km² 有 1 个, 可根据地下水的深度在地下 5~100 m 处取样, 定期检测地下水水位以及地下水中所含化学成分的浓度。

丹麦注重采用高新技术, 通过遥感、航测 (SkyTEM) 等技术动态监测地下水, 及时全面掌握全国地下水水位、水质等变化状况, 绘制地下水风险图, 为地下水保护和风险防控提供可靠的依据; 通过地质勘测、水流模拟评估、水质对比、打井回灌、水量水质再评估等一系列措施, 开展地下水回灌 (见图 6)。

丹麦地下水取水许可的有效期通常不超过 15 年。许可机构定期对

用水户进行检查和评估, 对于违反许可规定的, 可采取相应惩戒和补救措施, 甚至可将其列入黑名单。丹麦的水价非常高, 首都哥本哈根每立方米自来水价格约合人民币 55 元, 其中不仅包含供水成本, 还包含污染防治及水质保护等费用, 从而激励用水户更有效地利用水资源, 减少地下水资源的使用量。

(2) 法国-瑞士跨界地下水管理合作

法国和瑞士在跨界地下水资源的开发、利用与保护方面具有较长的合作历史, 是国家间跨界地下水管理合作的典范。1977 年, 瑞士日内瓦州与法国上萨瓦省就日内瓦含水层 (见图 7) 的管理, 签署了《日内瓦含水层保护、利用和补给的协议》(2007 年更新, 有效期延长 30 年)。根据协议成立了日内瓦含水层管理委员会 (双方各 3 位代表), 专门负责制定年度含水层利用方案, 并对新的取水工程和设备改造提出技术意见。协议规定日内瓦州负责地下含水层人工补水 (法方分担部分费用), 法国境内用户每年从含水层抽取水量不超过 500 万 m³ (其中 200 万 m³ 不用付费)。用水户每年年初需向委员会报告全年预计取水量, 若需要取用更多地下水则必须提供相关技术评价意见, 申请委员会批准。双方共同构建地下水监测网

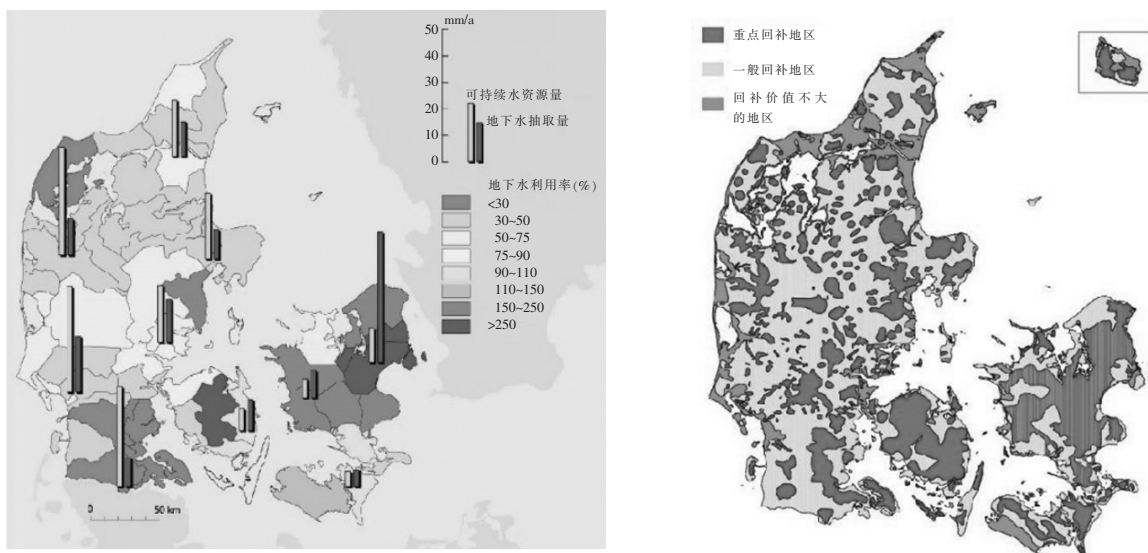


图 6 丹麦各地区地下水利用率及补给区分布

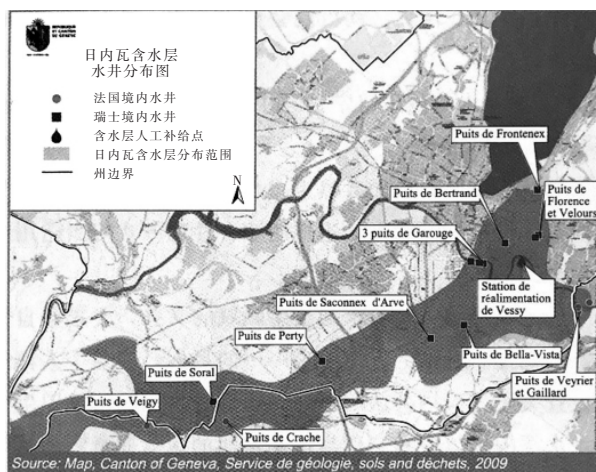


图7 日内瓦含水层

络,当监测到地下水出现污染时,双方可根据实际情况无限制地采取相应的保护措施。

四、经验和启示

1.完善的地下水管理法规制度是合理开发利用和有效保护地下水资源的基础保证

美、欧、澳等国家和地区,在联邦(欧盟)或地方层面建立了地下水管理相关法规制度,强化地下水监测、利用、人工回补、污染防治等多方面的管理。

我国地下水管理法规制度建设相对滞后,国家地下水管理条例至今仍未出台,地方地下水管理制度也有待完善,地下水回补、风险评价等缺乏详细的技术规范。建议广泛借鉴汲取国际上相关管理制度及经验,加快我国地下水制度建设及完善工作。

2.健全的地下水监测体系和管理体制是地下水资源保护的重要保障

丹麦地调局、美国地调局等国家专业机构建立了全国地下水监测网络,及时掌握地下水水位水质变化状况,为各级政府部门加强地下水管理提供信息支持。美国得州等地区建立地下水保护区和优先地下水管理区,加州等地区设立专门的地下水回灌等机构,根据当地实际情况加强针对性管理。联邦及地方相关部门积极开

展地下水信息发布和宣传教育,增强全社会对地下水的保护意识,提高社会参与程度。

我国地下水监测体系尚在建设与完善中,建议基于含水层地理分布加强一体化监测、数据共享与协调管理。加强水利、生态环境、自然资源等部门间和中央—流域—省级层级间的协作,国家层面进行宏观政策指导、总体规划协调和技术指导,流域层面组织开展具体规划协调和技术管理,地方层面负责具体的管理、监督和宣传。

3.实现地下水可持续利用需要理念革新和技术创新

在控制地下水开采量的同时,通过调水工程增加缺水地区供水量是一条重要途径(如美国加州、以色列)。另外,通过中水回用、海水淡化、雨洪资源利用等人工补给地下水,缺水时再将其作为水源来满足应急之需,是各国加强地下水利用管理、应对气候变化和干旱的重要举措之一。

我国在地下水超采治理中,要创新运用多种手段与技术。除了严格控制地下水开采外,需要同时加强水资源优化配置,提倡采取种植耐旱作物、休耕、地下水回补与人工调蓄等综合举措。

4.推进跨界地下水合作

地下含水层跨越地区、省(州)乃至国家边界,一方的开发利用会影响另一方,甚至引发跨界生态环境破坏

等问题。美国高原地区、美墨之间、欧洲许多国家采取的合作措施都取得了很好效果。联合国于2008年通过了关于跨界含水层管理的决议,向各国提供了推进跨界含水层合作的法律框架。在联合国教科文组织等国际组织推动下,许多国家都开展了跨界地下水联合研究、监测及管理合作,加强合作是今后发展趋势。

我国与俄罗斯、哈萨克斯坦、蒙古等国间均有跨界含水层,地下水利用时可能相互产生影响。需要摸清跨界地下水相关信息,提高合理利用与保护能力;同时视情况加强与有关国家在跨界地下水方面的交流合作。■

参考文献:

[1] 流域组织国际网、全球水伙伴等编写,水利部国际经济技术合作交流中心翻译.跨界河流、湖泊与含水层流域水资源综合管理手册[M].北京:中国水利水电出版社,2013.

[2] 水利部国际经济技术合作交流中心.欧洲取水许可管理制度措施分析及对我国取水许可管理的启示[R].2013.

[3] Döll P, et al. Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations[J]. Journal of Geodynamics, 2012.

[4] Foster S, et al. Groundwater——a global focus on the ‘local resource’ [J]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2013,5(6).

[5] Margat J, van der Gun J. Groundwater around the world: a geographical synopsis[M]. London: Taylor and Francis, 2013.

[6] Mukherjee A, et al. Global groundwater: source, scarcity, sustainability, security, and solutions[M]. Amsterdam: Elsevier, 2020.

[7] UNESCO. Transboundary Aquifers of the World[R]. 2015.

[8] UNESCO. Non-renewable Groundwater Resources[R]. 2006.

责任编辑 王 慧