

# 跨界含水层 和 小岛屿发展中国家地下水系统

## 现状与趋势

### 决策者摘要



第一卷：地下水

联合国环境规划署（环境署）于2016年1月出版

环境署版权©2016年

ISBN: 978-92-807-3531-4

在注明出处的前提下，可以不经版权所有人特别许可，以任何形式转载本出版物的全部或部分用于教育或非盈利目的。环境署欢迎向其提供使用本出版物作为资料来源的任何出版物的副本。未经联合国环境规划署事先书面许可，不得为转售或任何其他商业目的使用本出版物。申请这种许可应致函环境署传播和新闻司司长，地址：P.O.Box 30552, Nairobi 00100, Kenya。

#### 免责声明

本出版物中提及具体的商业公司或产品，并不意味着这些公司或产品得到联合国环境规划署或作者的认可。禁止将本出版物中的信息用于广告。所使用的商标名称和符号系出于编辑需要，无意侵犯商标权或版权法。本出版物表达的是各位作者的观点，并不一定代表联合国环境规划署的观点。我们为无意出现的错误或疏漏深表歉意。©标明的图片和插图。

#### 行政边界

评估过程中使用的行政边界来源：粮农组织在CountrySTAT和农业市场信息系统项目范围内开发的全球行政单位层级数据集。

#### 引用

本文引用名称：

教科文组织-国际水文方案与环境署（2016年）。《跨界含水层和小岛屿发展中国家地下水系统现状与趋势决策者摘要》。联合国环境规划署（环境署），内罗毕。

环境署在全球推广无害环境的做法并以身作则。该报告的印刷纸张由包括再生纤维在内的可持续森林制成。该纸张不含氯，使用植物油墨。我们的发行政策旨在减少环境署的碳足迹

# 决策者摘要

跨界水域评估方案中的地下水部分探讨了有关 跨界含水层和小岛屿发展中国家的地下水系统。该评估由教科文组织国际水文方案开展，是第一次针对199个跨界含水层和42个小岛屿发展中国家地下水系统现状的系统性基准评估，为定期评估和制定可能的未来开发设想方案奠定了基础。

## 跨界含水层和小岛屿发展中国家地下水：主要挑战

地下水是水循环不可或缺的组成部分，与地表水和生态系统密切相关。地下水无处不在，占地球上所有液态淡水的99%。地下水在世界许多地区广为开采，在有些情况下，是人类可利用的唯一淡水来源。若不系统了解和妥善管理，这一丰富的地下资源会被迅速且不可逆转地消耗掉。含水层污染难以逆转；过度开采可能会对含水层现状与地下水依赖型系统造成永久影响。地下水存在于各种地质地貌环境中，维持生态系统和生物多样性，减缓气候变化造成的影响，为人类健康和社会经济发展做出重要贡献。

与其他所有水体不同，含水层位于地表下，只能通过“科学的眼睛”——水文地质学来发现。因此，含水层边界通常极少为人所知，许多含水层仍然不为人知，或仅有一部分被视为通常不连通的单独水体。跨界含水层尤其如此，通常各国不认为这是共享资源。这种认识缺乏使其更易遭受人为压力。因此，有必要开展系统工作，查明并划定跨界含水层（清单），并根据水文地质、环境作用和影响、社会经济价值以及治理结构（特性鉴定）对其主要特征做出标准化描述。

“含水层”指储有地下水的地质层，其下方为透水性差的地质层；

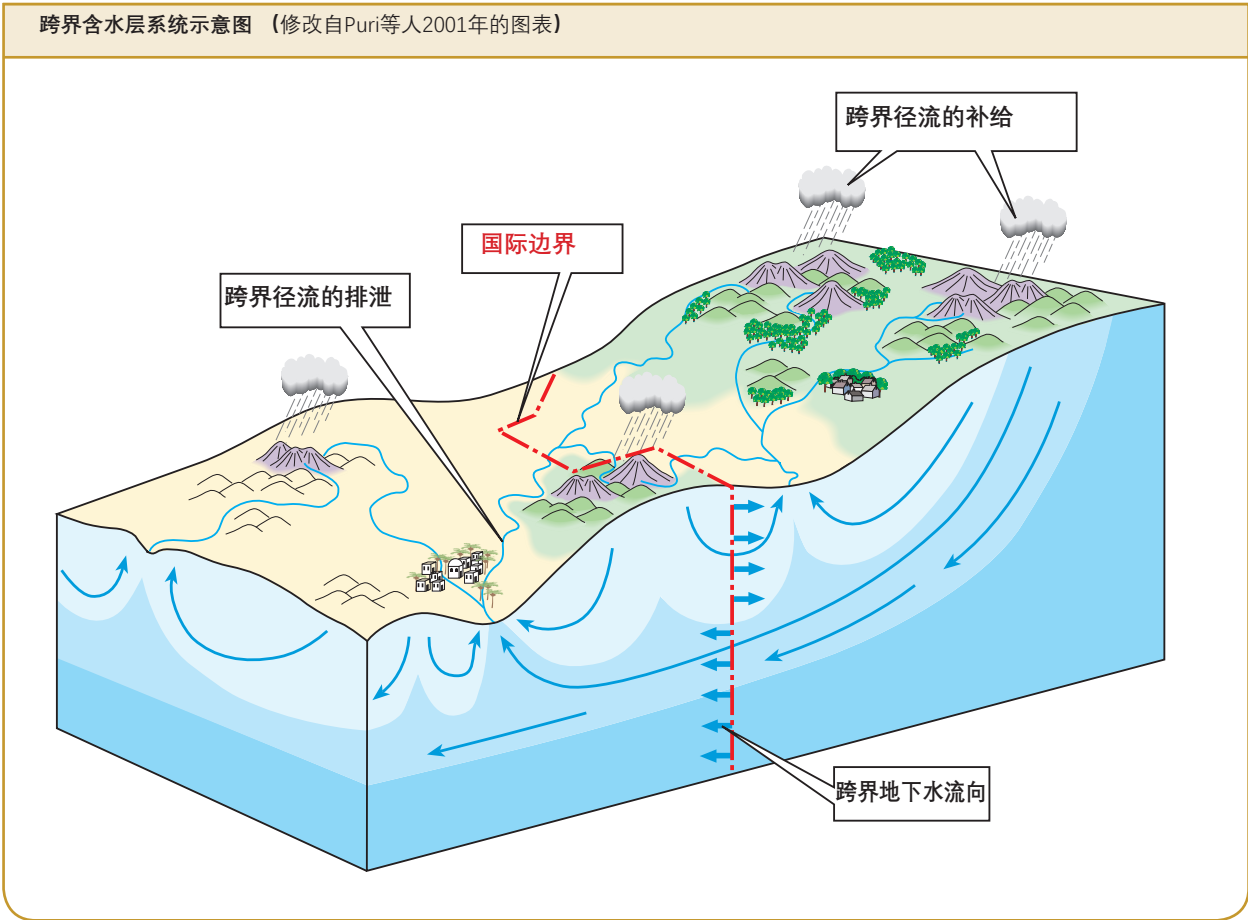
“含水层系统”指水力相连的两个或两个以上含水层；

“跨界含水层”和“跨界含水层系统”分别指其组成部分位于不同国家的含水层或含水层系统；

这些定义出自联合国大会2008年关于“跨界含水层法”的A/RES/63/124号决议及其所载的条款草案。



跨界含水层系统示意图（修改自Puri等人2001年的图表）



# 跨界水域评估方案地下水组成部分的目标

教科文组织-国际方案地下水组成部分的总体目标是：

- (1) 描述主要跨界含水层（区域范围>5 000 km<sup>2</sup>的跨界含水层，以及选定的少数较小跨界含水层）和小岛屿发展中国家含水层的现状，便于确定重点含水层/投资区域；
- (2) 使全球关注与此类跨界含水层系统和小岛屿发展中国家含水层相关的主要问题、关切和热点，促进采取行动。

跨界水域评估方案地下水评估结果提供资料帮助相关方寻找以下问题的答案：

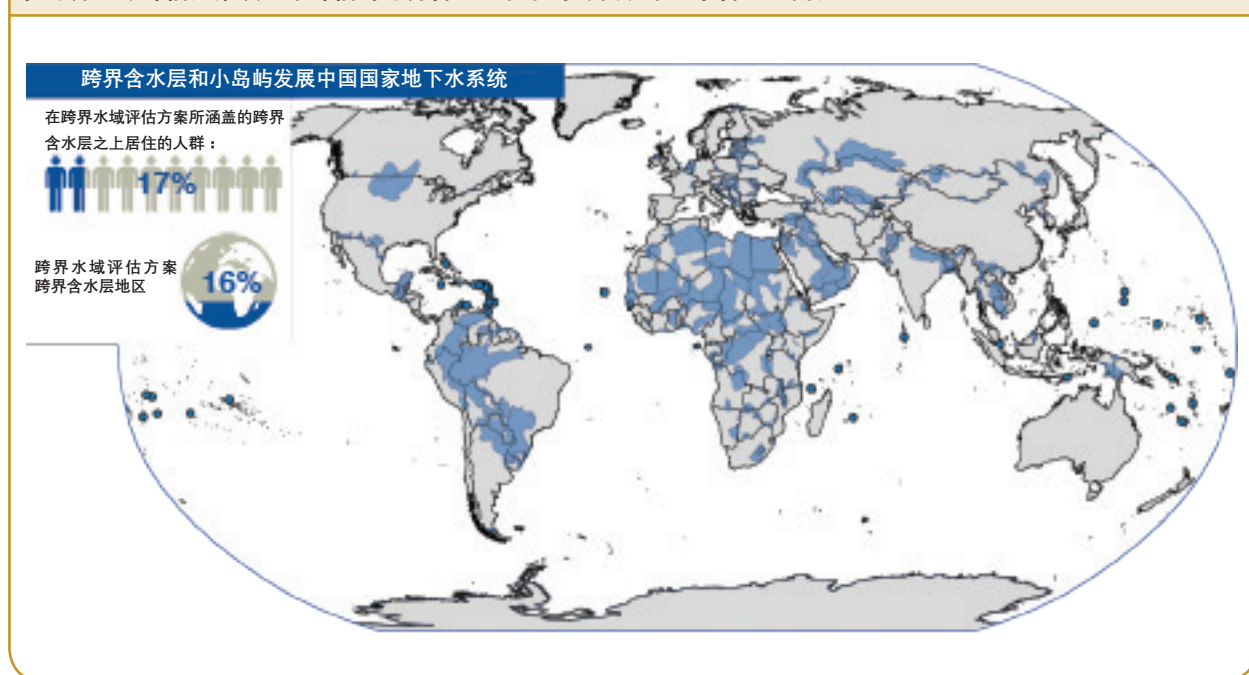
- (一) 目前人类和生态系统对于水资源的使用中有哪些受到影响或削弱（使用冲突、枯竭、退化等）？
- (二) 所有这些问题将会发生在哪里？
- (三) 未来几十年水资源的情形和用途会如何发展？
- (四) 未来几十年全球哪些地下水系统可能防止、缓冲或减轻在日益增长的压力下产生的水资源相关问题？

本文件分别提出跨界含水层和小岛屿发展中国家地下水的主要信息、评估办法和部分结果。

## 跨界水域评估方案的若干数据

199	全球清单中有个含水层
91	个含水层用于WaterGAP建模（> 20 000 km <sup>2</sup> 的跨界含水层
126	个内陆国家
42	个小岛屿发展中国家
502	个跨界含水层国家区段
>200	咨询了来自76个国家的200多位专家

## 在跨界水域评估方案项目中评估的跨界含水层和小岛屿发展中国家含水层概况



## 跨界含水层：主要信息

1. 在跨界水域评估方案之前，教科文组织国际共有含水层资源管理方案确定了166个面积大于5 000 km<sup>2</sup>的跨界含水层，其中一些含水层的位置和/或边界尚不为人知。**跨界水域评估方案项目完善了这一清单，目前包括199个表面积大于 5000 km<sup>2</sup>或颇具区域重要性的跨界含水层，并极大提升了在其位置和划分方面的准确度。**
2. 在全世界范围内，大多数表面积大于5 000 km<sup>2</sup>的跨界含水层位于备受地下水开发压力影响的区域以外。事实上，在大多数区域，跨界含水层的消耗速度较慢（< 2 mm / 年）。在大多数情况下，人类对跨界地下水的依存度也通常处于较低至极低的水平。**跨界含水层含有在很大程度上仍未开发的地下水资源，这在防止、缓冲或减缓气候变化对人类生计和环境产生的影响方面发挥着作用。**
3. **目前具有较大地下水开发压力的地区数量有限，但从目前至2050年期间可能增长一倍以上。**地下水压力表现出高风险的跨界含水层国家区段数量预计从现在的20个增加到2050年的58个。
4. **一些国家的国家区段预计将主要在人口压力的推动下，形成新的热点地区。**这些热点地区主要分布在撒哈拉以南非洲地区、中国和墨西哥。位于中东、北非区域、南亚、或乌兹别克斯坦和博茨瓦纳等国家的国家区段也备受关注。八个新的国家区段被确定为“潜在风险”（人均地下水资源水平较低，对地下水依存度为中等至极高）的潜在热点地区，全部位于西非或东非。
5. 尽管普遍缺乏跨界含水层人为污染方面的信息，但可以说，所有具有地下水质量极低这一特征的跨界含水层都1)备受灌溉回流的影响，2)位于人口稠密地区，3)天然补给量低至中等，如努比亚、印度河和滨里海跨界含水层。
6. **在跨界含水层治理和体制框架方面缺乏国际协定，尽管有些例外情况值得关注，但数量极少。**全球、区域和地方各级缺乏适当的地下水治理，这阻碍实现地下水资源管理目标，这些目标包括资源可持续性、水安全、经济发展以及公平获取水资源和生态系统保护带来的惠益。
7. **该评估还提供证据证明了公开发布的跨界含水层信息与地下水现代数据之间通常存在的重大差距。**通过区域专家网络获得的地方知识极有价值，并且在一些方面至关重要，但远未提供全面的全球概况。尽管在建模方面存在一些局限性，但事实上如果没有建模的帮助，此项评估不可能实现。还显而易见的是，许多区域对深层地下水资源缺乏了解。另外一个问题是，关于地下水依赖型生态系统的信息很少。

## 小岛屿发展中国家地下水系统：主要信息

小岛屿发展中国家面临着共同挑战：规模小（土地和人口）、岛国性质和边缘性、自然资源基础有限等因素以及有关当地环境的问题都是高效实现生计发展、经济生产、环境可持续性和气候变化适应的障碍。

跨界水域评估方案评估涵盖了42个小岛屿发展中国家。这些国家包括在经社部的1名单中，面积小于50 000km<sup>2</sup>，领土全都不位于大陆上，居民不超过500万。

1. 在很多情况下，小岛屿发展中国家的地下水可持续性与人类和生态系统健康密不可分。**人口密度似乎是用水紧张的主要原因，除一个岛屿外，本研究中评估的所有其它岛屿的人口密度为中等到极高不等。**
2. **许多岛屿(71%)正面临缺水风险**（人均可再生地下水数值为中等到极低），地势低洼岛屿面临缺水风险的比率高达91%。人类活动导致的地下水污染风险影响了所有42个岛屿中的73%。
3. **人类高度依赖地下水在10%的加勒比和大西洋/印度洋岛屿以及72%的可获得数据的太平洋岛群是一项风险因素。**区域间的显著区别可能反映了替代性水资源（无论是地表水还是脱盐海水）的可获得性差异和/或社会经济发展的不同阶段。
4. 在许多小岛上，只能从沿着海岸线的小型冲积（或碳酸盐）薄含水层中抽取地下水。**在很多情况下，这些含水层可能是该岛屿的主要地下水来源，因为获取高海拔地区更复杂的断裂火山岩（尽管可能含水量更多）中的地下水面临重大挑战。**
5. 尽管所有岛屿都易受到盐水入侵的影响，**依赖小型沿海含水层的小岛屿发展中国家更容易面临海平面上升、抽水和海浪冲刷导致的盐水污染风险。**
6. 该分析提及的情况需要立即引起注意。**由于缺乏协调、可持续的国家和国际补救行动，太平洋中的地势低洼岛屿高度依赖稀缺、受污染和含盐度日益上升的地下水资源，并受气候多样性和气候变化的影响，正面临着重要选择。**在很多其他岛屿，地下水质量的退化和日益增长的需求对人类健康造成了中短期威胁，并妨碍提供与经济密切相关的生态系统服务。



1 经社部：联合国经济和社会事务部。教科文组织定义的小岛屿发展中国家名单参见<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/priority-areas/sids/about-unesco-and-sids/sids-list/>

# 跨界地下水全球评估：现状与趋势

## 基于指标的做法

指标是跨界水域评估方案的评估基石，反映了全球地下水资源的现状与趋势。它们为回答诸如“何处将发展成水环境热点地区？”等问题提供了依据，也便于比较各跨界含水层的标准参数（数量、质量等），从而设定干预措施的优先事项。在已经制定的20个指标中，10个指标已被选定为核心指标，归入四个专题群组。还针对未来（2030年和2050年）情形计算了四大核心指标。

专题群组	核心指标	现在	未来
数量群组	地下水补给	✓	
	地下水枯竭	✓	
质量群组	地下水天然水质	✓	
	地下水污染	✓	
社会经济群组	人口密度	✓	✓
	人均可再生地下水	✓	✓
	人类对地下水依存度	✓	✓
	地下水开发压力	✓	✓
治理群组	跨界法律框架	✓	
	跨界体制框架	✓	

## 数据资源

根据由教科文组织-国际水文方案编制并发送至200多位国家级专家的调查问卷，制定了一份全球清单。收集的数据包括跨界含水层的边界地图、指示性横截面，以及核心指标和当前其他指标的数值。举行了由国家级专家参加的区域讲习班来讨论这些数据。

大于20 000 km<sup>2</sup>的跨界含水层当前和未来（2030年和2050年）状况建模：教科文组织-国际水文方案与法兰克福大学密切合作应用WaterGAP模型（Döll等人，2014年）。



© J Bodane

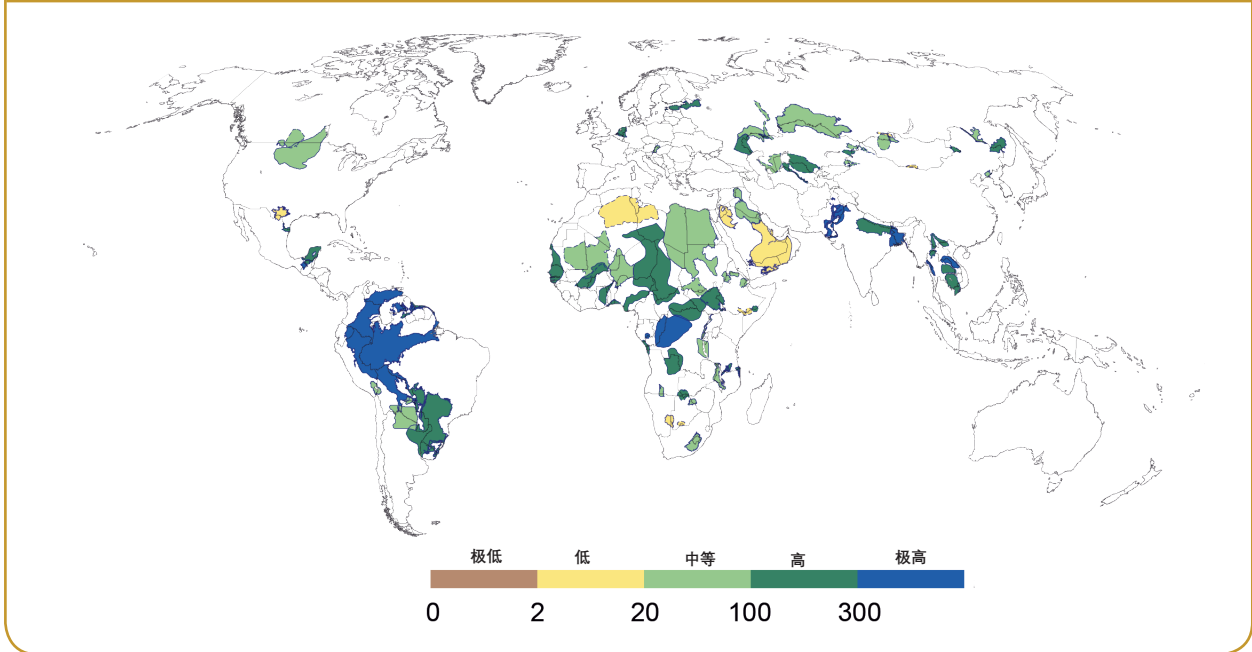


## 专题小组的部分结果

### 数量群组—地下水补给

年均地下水补给包括每个跨界含水层来自灌溉的人工补给率(mm/yr)

研究发现亚马逊含水层、中非盆地省含水层或印度河平原含水层等湿润地区的地下水补给率最高，超过300 mm/yr。补给率较低、位于2至20 mm/yr之间的跨界含水层包括西北撒哈拉含水层系统和位于阿拉伯半岛的两个含水层。未发现地下水补给率极低，即2 mm/yr以下的跨界含水层。

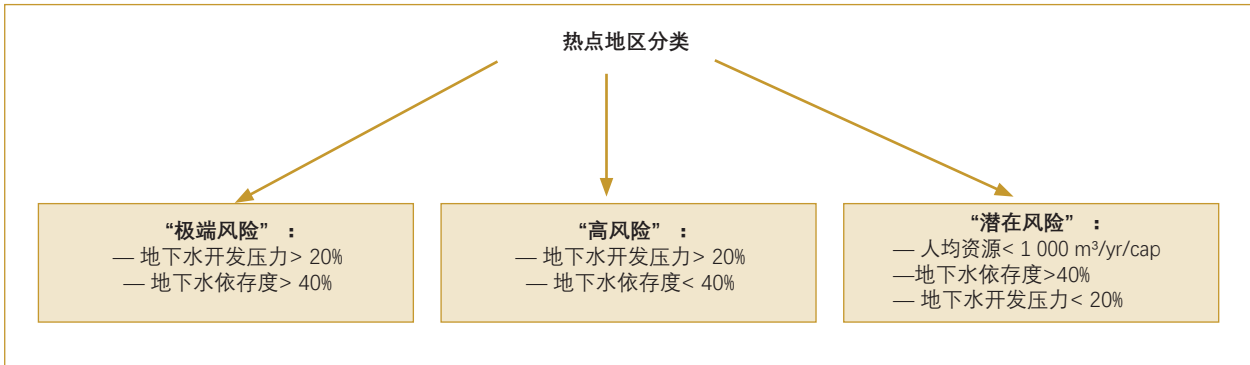


### 质量群组

用于计算质量群组两大指标数值的数据稀缺——只有125个国家区段存在数据，包括5个完整的跨界含水层，因而无法进行任何全球范围的考量。然而，可以指出，质量较低的跨界含水层（含水层面积 < 20%）是深受灌溉回流影响、位于人口稠密地区，且天然补给量低至中等的含水层，例如努比亚、印度河和滨里海跨界含水层等。

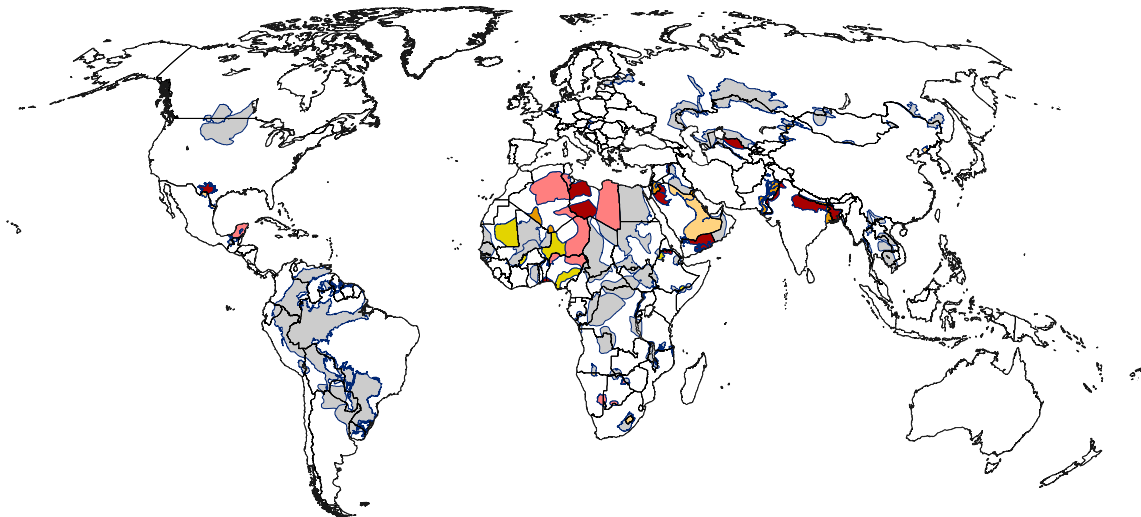


## 社会经济群组：当前和未来情形下的热点地区



### 当前和未来情形下的热点地区

在258个跨界含水层国家区段中，68个横跨36个跨界含水层的国家区段被列为当前或未来的热点地区。确定的热点地区中三分之二位于非洲大陆和阿拉伯半岛。其余跨界含水层国家区段分布在亚洲和美洲。



在当前以及未来情形下的热点地区

- 极高风险 (16个国家)
- 高风险 (11个国家段)

仅为未来情形下的热点地区

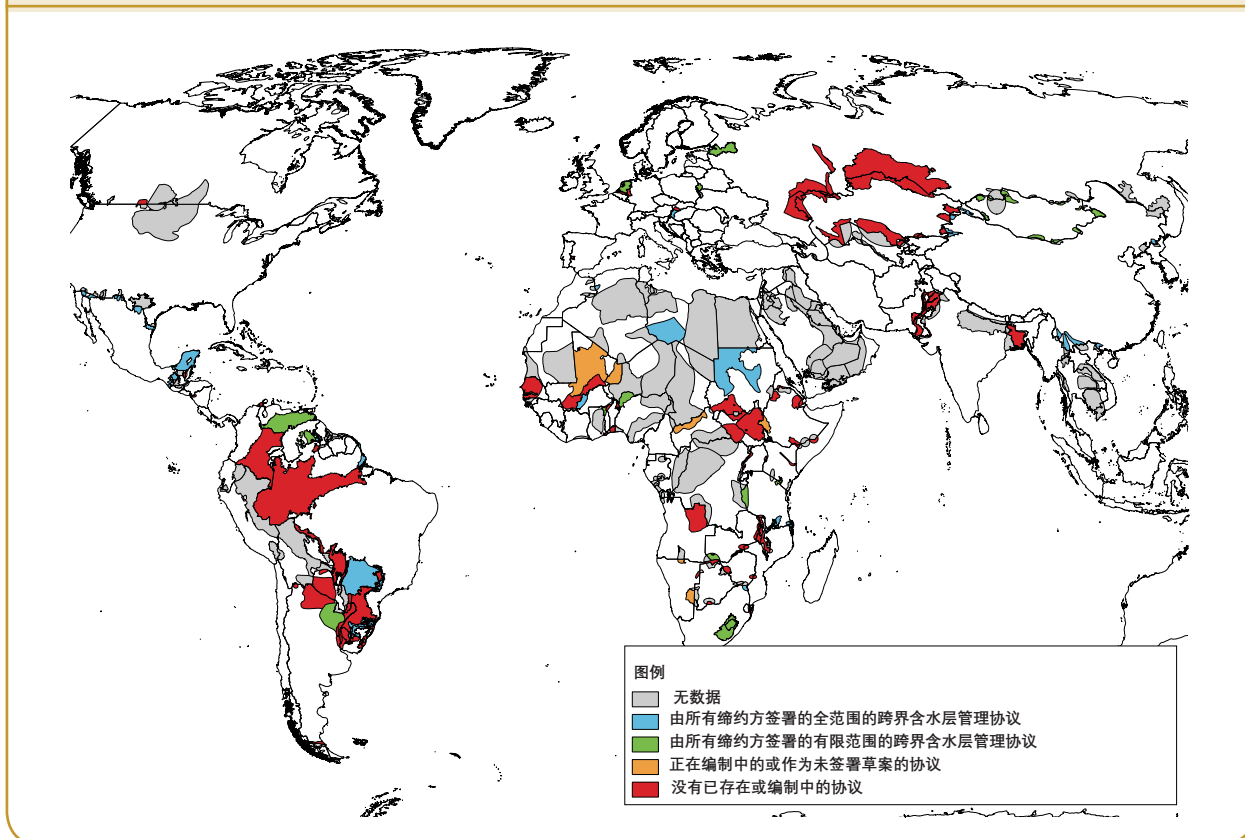
- 极高风险 (15个国家段)
- 高风险 (16个国家段)
- 潜在风险 (8个国家段)

国家区段被确定为热点地区意味着整个相关含水层面临挑战。有八个现阶段存在“潜在风险”的国家将在未来面临大于20%的开发压力，因此将在未来情形下被归类为“极高风险”。

驱使成为未来新热点地区的主要原因是人口压力。这些新热点地区将是撒哈拉以南的非洲、中国和墨西哥。预计未来地下水开发压力值最高的跨界含水层区域将是在博茨瓦纳、中东和北非、南亚、乌兹别克斯坦及墨西哥的尤卡坦州。在这些区域，地下水开发压力增长比例最大将达到40%。在未来，有八个来自西非和东非的国家区段将被确定为存在“潜在风险”（人均地下水资源水平较低，对地下水依存度为中等至极高），它们将被视为可能的热点地区。

## 治理群组：跨界法律框架

每个跨界含水层国家区段的跨界法律框架。在许多情况下，共有含水层的国家间的数据并不一致。这包括已缔结协议的跨界含水层（例如瓜拉尼含水层系统，西北撒哈拉含水层系统、努比亚砂岩含水层系统和Ilumedden含水层系统）。可能的解释在于，事实上，不是所有相关国家都批准了协议，专家对协议有不同的解释，导致共有含水层的不同国家提供的答案存在差异。



仅缔结了少数几个关于跨界含水层的特殊协议。2016年全球共就跨界含水层缔结了6项具体协议和2项非正式协议。虽然如此，相关含水层国家仍受到习惯国际水法中一些原则的约束：(a)公平和合理利用原则；(b)不造成重大损害原则；(c)合作和信息交流原则；(d)提前通知、磋商或协商原则；(e)和平解决争端原则。此外，除上述主要的习惯法原则以外，跨界含水层国家认可/支持（不具约束力的）联合国关于《跨界含水层法》的第63/124(2008)号决议，有助于表明该国或这些国家遵循该决议中详细列出的旨在管理、保护和养护跨境含水层的一系列规则。然而，习惯国际水法原则以及联合国第63/128号决议不能替代有法律约束力的跨界含水层协议和组织，其中规定了相关国家的合作义务及有关合作条款。

《WaterGAP地下水建模报告》可从教科文组织国际共有含水层资源管理方案网站上的跨界水域评估方案数据库获取：[www.twap.isarm.org](http://www.twap.isarm.org)。所有跨界含水层表格可从教科文组织国际地下水资源评估中心数据门户网站获取：<http://twapviewer.un-igrac.org>

## 小岛屿发展中国家地下水系统全球评估

### 选择评估中涵盖的小岛屿发展中国家/岛屿

通过三个标准选择评估中涵盖的42个小岛屿发展中国家。

1. 最大面积为50 000 km<sup>2</sup>。
2. 国家应包括一个或多个岛屿，且不位于大陆上。
3. 人口不超过500万。

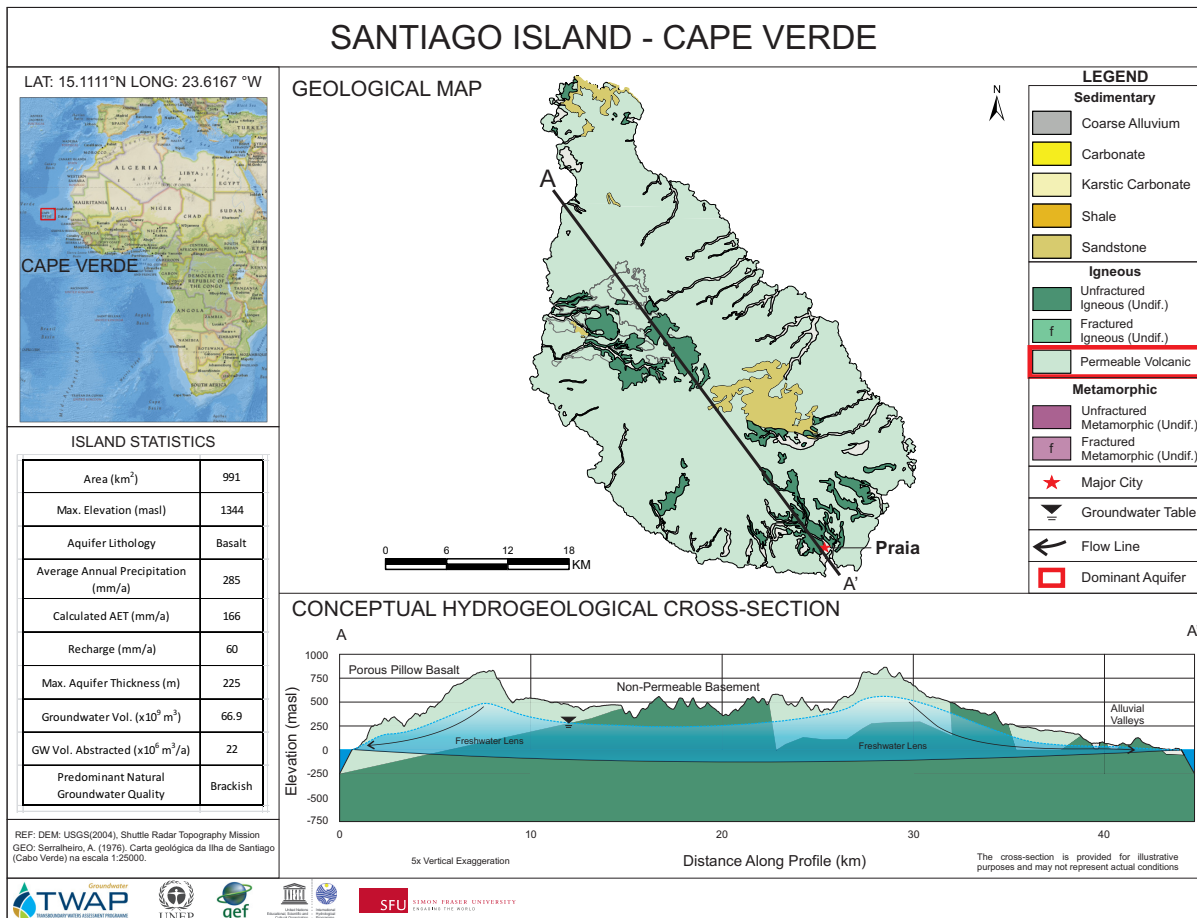
从每个小岛屿发展中国家中挑选一个代表岛屿。一般来说，代表岛屿在该国岛屿中人口最多。

### 地下水系统评估的数据和指标

(一) 从全球和区域出版物以及现有且可访问数据库中收集的初步数据。在可能的情况下，使用同样的全球数据资源以获得人口统计、气候数据及气候预测和包括岛屿边界以及数字高程模型在内的地理参照数据。

(二) 专家通过问卷提供的信息。

小岛屿发展中国家水文地质档案案例所有岛屿档案可从教科文组织中心国际地下水资源评估中心数据库获取<http://twapviewer.un-igrac.org>



收集的水文地质特征、社会经济和环境数据使编制20项跨界水域评估方案指标成为可能，包括10项核心指标（参见第5页）和一项关于盐水入侵的指标。

该分析着重将有关质量、数量和社会经济方面的核心指标转化为风险类别（低到极低、中等、高到极高），使对小岛屿发展中国家地下水可持续性的首次评估得以实现。由于盐水入侵的可能性，就小岛屿发展中国家而言，必须考虑含水层和海洋间的联系。

## 部分结果

### 岛屿水文地质档案（参见第10页的图）

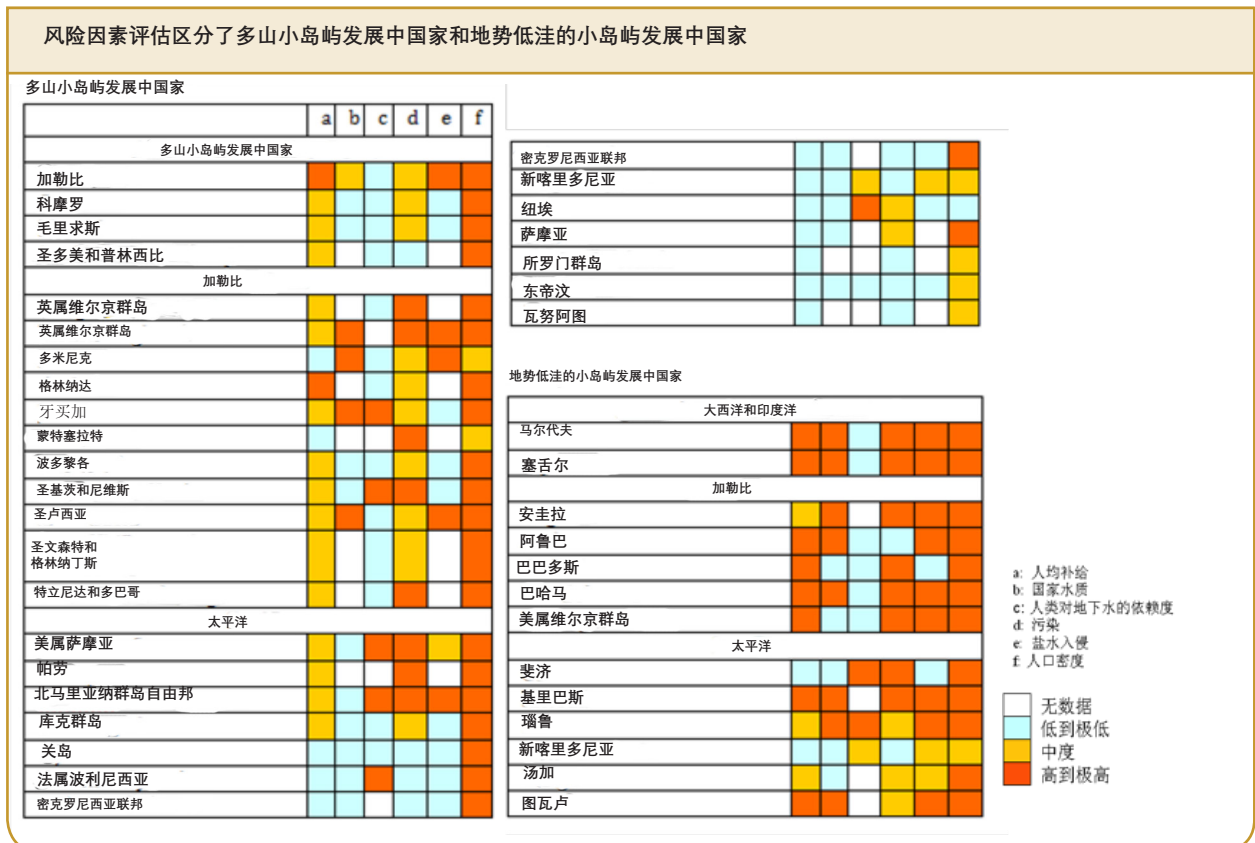
针对每个小岛屿发展中国家生成了一份具有代表性的水文地质档案。该档案包括一份位置图、一份标有淡水透镜体的通用地质图；一个具有代表性的横截面以及其相关统计数据。近海的淡水透镜体的形状根据问卷数据（如有）估计。较厚的透镜体假定在地势高的地区形成。

### 风险因素评估

有关地下水可获得性以及污染的风险应受到所有小岛屿发展中国家的关注；地势低洼的小岛屿发展中国家尤其易受盐水入侵的影响。人类对地下水的高度依赖尤其加剧了这些风险，太平洋中很多地势低洼的小岛屿发展中国家就有这种情况。

所有作为小岛屿发展中国家地下水系统评估的一部分收集的数据（包括含水层特性、随时间变化的变量值以及计算指标）参见跨界水域评估方案数据库中的《小岛屿发展中国家地下水系统评估》报告，可从教科文组织国际共有含水层资源管理方案网站上获取：[www.twap.isarm.org](http://www.twap.isarm.org)。

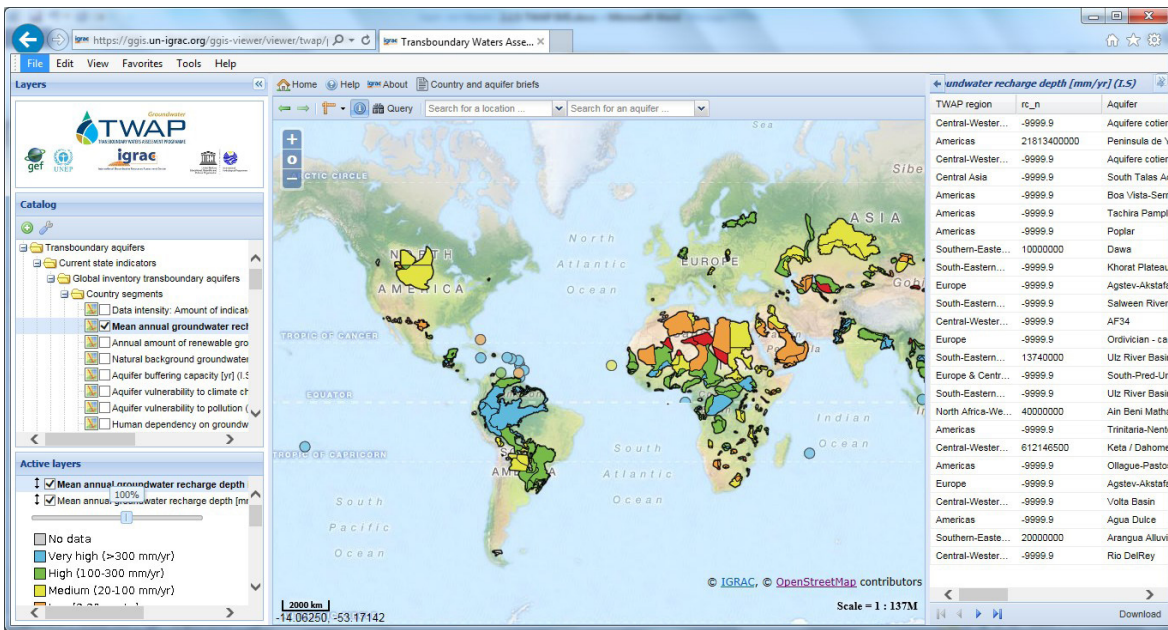
小岛屿发展中国家评估的所有水文地质档案可从教科文组织国际地下水资源评估中心数据门户网站获取：<http://twapviewer.un-igrac.org>。



网上获取结论的途径：跨界水域评估方案地下水信息管理系统

已建立一个专门的网络数据门户，提供教科文组织-国际水文方案开发的跨界水域评估方案地下水数据库中的所有数据。该信息管理系统包括**项目中收集的数据和指标合计值**，涵盖含水层系统的水文地质、环境、社会经济和治理方面内容。**地图查看器**使用户可以比较全球和区域范围内的含水层。可以按照每个国家区段展示数据或展示整个跨界含水层的数据，还可以覆盖不同的地图图层。还可以通过信息管理系统直接获取跨界含水层和小岛屿发展中国家地下水系统**信息表**。

跨界水域评估方案地下水信息管理系统可从教科文组织中心国际地下水资源评估中心数据门户网站获取：<http://twapviewer.un-igrac.org>



跨界水域评估方案地下水信息管理系统的案例  
<http://twapviewer.un-igrac.org>



## 致谢

《跨界含水层和小岛屿发展中国家地下水系统》评估由教科文组织国际水文方案及教科文组织国际地下水资源评估中心与西蒙弗雷泽大学（加拿大）和法兰克福歌德大学（德国）合作开展。本评估离不开全球许多伙伴的贡献，尤其是提供了关于其国家（跨界）含水层系统关键数据的各国专家。

**地下水技术报告的主要作者**：Andrea Merla（教科文组织国际水文方案顾问）

**内容编辑**：Aurélien Dumont（教科文组织国际水文方案顾问）

**文字编辑**：Peter Saunders

**评审员**：Michael Logan（环境署/传播和新闻司）以及跨界水域评估方案秘书处。

**评审员**：陈兆(德国卡尔斯鲁厄理工学院/应用地球科学学院)

**陈兆(德国卡尔斯鲁厄理工学院/应用地球科学学院) 环境署秘书处**：Liana Talaue McManus（项目经理、Joana Akrofi、Kaisa Uusimaa (环境署/预警和评估司), Isabelle Vanderbeck（任务经理）

**设计和排版**：Jennifer Odallo（联合国内罗毕办事处）和Audrey Ringler（环境署）



世界水系统 — 含水层、湖泊、河流、大型海洋生态系统以及开阔洋 — 维系生物圈，保障世界人口健康和社会经济福祉。许多系统为两个或更多国家共有。跨界水域占地表面积的71%，与跨界地下含水层以及完全在一个国家境内的水系统共同构成，人类的水遗产。

意识到跨界水系统的价值，以及很多水系统被过度开发、退化、采用分散方式管理的事，全球环境基金于2012年启动了“跨界水域评估方案大型项目”。该方案致力于为确认和评估由人类活动和自然过程导致的水系统变化以及这些变化对依赖它们生存的人类带来的可能后果提供基准评估。该评估中建立的机构伙伴关系有望促成未来的跨界评估。

全球环境基金跨界水域评估方案的最终结果包含六卷：

第一卷——跨界含水层和小岛屿发展中国家地下水系统：现状与趋势

第二卷——跨界湖泊和水库：现状与趋势

第三卷——跨界江河流域：现状与趋势

第四卷——大型海洋生态系统：现状与趋势

第五卷——开阔洋：现状与趋势

第六卷——跨界水系统：跨领域现状与趋势

每一卷都包含决策者摘要。

本文件（第一卷）的决策者摘要着重介绍对199个跨界含水层和42个小岛屿发展中国家地下水系统进行首次全面的基于指标的全球现状与趋势评估的结论。地下水是生计和经济活动的战略资源，在特殊的跨界或岛屿情况下更是如此。

[www.unep.org](http://www.unep.org)

Programme des Nations Unies pour l'environnement  
P.O. Box 30552 - 00100 Nairobi (Kenya)  
Tél.: +254 20 762 1234  
Fax: +254 20 762 3927  
Mél: [publications@unep.org](mailto:publications@unep.org)  
[www.unep.org](http://www.unep.org)



ISBN: 978-92-807-3531-4