



中国基准水压力

BASELINE WATER STRESS: CHINA

王姣 钟丽锦 龙瀛

执行摘要

世界资源研究所开发的“水道”水风险工具 (Aqueduct Water Risk Atlas) 使用包括基准水压力在内的12个指标对全球水风险进行评估、绘制和打分。其中, 基准水压力被用来衡量总取水量和可用地表水量的比值, 是一个可以更综合地反映水风险的指标。在进行全球基准水压力分析时, 该工具采用了来自联合国粮食及农业组织的各国取水量数据, 并按照行业将取水量空间离散到流域单元来计算基准水压力。另一方面, 当可以获得更详细的数据时, 就可以支持一个国家或地区开发更加准确的基准水压力地图工具。以中国为例, 在采用国家层级的取水数据进行分析时, 很多重要的空间分布信息在合并统计过程中被丢失, 而地级行政单位这一层级的取水数据则可以提供更加准确的空间分布信息。为了满足更高精度的基准水压力分析需求, 世界资源研究所使用来自中国的取水和空间数据特别开发了一个面向中国的基准水压力地图工具, 对其水压力进行展示。

该技术论文主要描述了中国基准水压力分析所采用的数据和方方法学, 该方法是在此前“水道”全球水风险分析方法的基础上进行开发的 (Gassert 等, 2013; Gassert 等, 2015)。总体而言, “水道”全球基准水压力 (以下简称“BWS-Global”) 的中国部分和中国基准水压力 (以下简称“BWS-China”) 具有相似的空间特征。然而, 进一步的比较则显示出二者在部分流域存在差异。BWS-China 中采用的更高精度的分行业取水数据揭示了新的空间特征。

BWS-China的开发具有两方面的重要意义:

- 这是首次使用更详细的、国家以下行政单位的取水数据计算基准水压力, 为希望开发更精准的基准水压力地图工

目录

执行摘要	1
研究背景	2
全球基准水压力和中国基准水压力的相似性与差异性	3
中国基准水压力使用的取水数据	5
不同行业取水量的空间离散方法	5
总取水量	6
消耗用水	9
可用水资源量	10
中国基准水压力	11
讨论	12
参考文献	14
致谢	15

“技术论文”阐述出版物、交互式应用程序和工具的研究或分析方法。

引用建议: 王姣、钟丽锦、龙瀛. 中国基准水压力. 2016. 技术论文, 北京: 世界资源研究所. <http://wri.org.cn/baseline-water-stress-china>

具的其他国家和相关部门提供了一个有用的模型。

- 国家内部更加详尽的数据可以更好地揭示水压力的空间特征。

另一方面，对于那些没有或难以获取更高精度数据的国家，BWS-Global仍然可被用于评估水风险的整体空间特征。

BWS-China可以被中国政府部门和在中国开展商业活动的国际和国内公司使用。例如，BWS-China可以支持在中央和地方层面的政策制定者和决策者对某一特定区域的水压力进行评估，比较不同地区的水压力，以及理解由某个特定行业引起的水压力。在公司层面，压力指数主要被用于评估跨越地理边界的水风险和在全球尺度上开发的水战略；而BWS-China可以满足在中国开展商业活动的公司以及对感兴趣的需求，这些公司可以用BWS-China来评估投资机会，深入分析他们的运营和供应链中面临的水风险。

研究背景

“水道”水风险工具采用12个指标以可视化的形式来展示与水资源相关的风险和机会。其中，基准水压力可以帮助了解一个特定地区的不同行业的用水需求和年均可获得的可再生地表水情况。这个指标已经吸引了大量用户的关注，包括公司、投资者、研究人员、非政府组织、咨询行业、国际组织和政府部门。

BWS-Global在分析全球基准水压力时，采用了联合国粮食及农业组织的国家层面取水数据，然后依据流域面积和不同行业（农业、工业和生活）进行空间离散，绘制了一幅世界范围的基准水压力地图。虽然在有些国家可以获得进一步的取水或需水数据（例如更高时间、空间分辨率），但是并不是所有国家都可以获取这样的数据，而且不同国家往往会采用不同的分析尺度和方法学。例如在美国，取水数据可以在3000多个郡县获取；在中国，取水数据则可以在300多个地级行政单位获取。当数据被合并统计到国家尺度时，一些空间信息就可能丢失，特别是当一个国家的不同地区由于经济社会发展差异导致取水特征显著不同的时候。因空间特征信息对于准确估算水风险具有重要性，当可以获取更加详细和更高精度的数据时，我们应当采用这些数据进行分析。

全球基准水压力和中国基准水压力的相似性与差异性比较

为了更好地满足对更高精度基准水压力的需求，世界资源研究所开发了**中国基准水压力 (BWS-China)**。BWS-China采用和BWS-Global同样的方法来计算与供水相关的两个参数，即“总水资源量 (蓝水)”和“可用水资源量 (可用蓝水)”。在进行取水分析时，BWS-Global采用了联合国粮食及农业组织开发的全球水信息系统 (以下简称“AQUASTAT”) 中的国家取水数据，然后通过空间离散到国家以下层级；而BWS-China则采用来自中国的更加详细的空间取水数据。

具体而言，BWS-Global和BWS-China有以下相似之处：

- **分析单元。**BWS-China和BWS-Global都是以Masutomi等人 (2009) 开发的全球汇水流域数据库界定的流域边界为基础进行计算。
- **地表水径流 (也称总水资源量, 蓝水)。**在BWS-Global和BWS-China中，总水资源量是指自然界的地表淡水，并不包括地下水和由于人类活动 (例如流域间的调水) 带来的水资源。BWS-Global和BWS-China均采用来自美国国家航空航天局的1950-2010年总水资源量径流数据 (NASA, 2012)。
- **消耗用水比率。**这个比率是指由于蒸发或者并入到产品中而不再能被下游利用的那部分水和总取水的比值。BWS-Global和BWS-China都采用了Shiklomanov和Rodda (2012) 提出的消耗用水比率。
- **可用水资源量 (也称可用蓝水量)。**BWS-China采用的方法与BWS-Global相似。基准水压力是指每年在流域尺度上的总取水量和可用水资源量的比率。可用水资源量由流域尺度上的累计地表径流减去上游消耗用水得到。如需全面了解总水资源量、消耗用水和可用水资源量的估算方法，请参阅Gassert等人在2013年和2015年发表的文章。

BWS-Global和BWS-China的差异主要表现在以下方面：

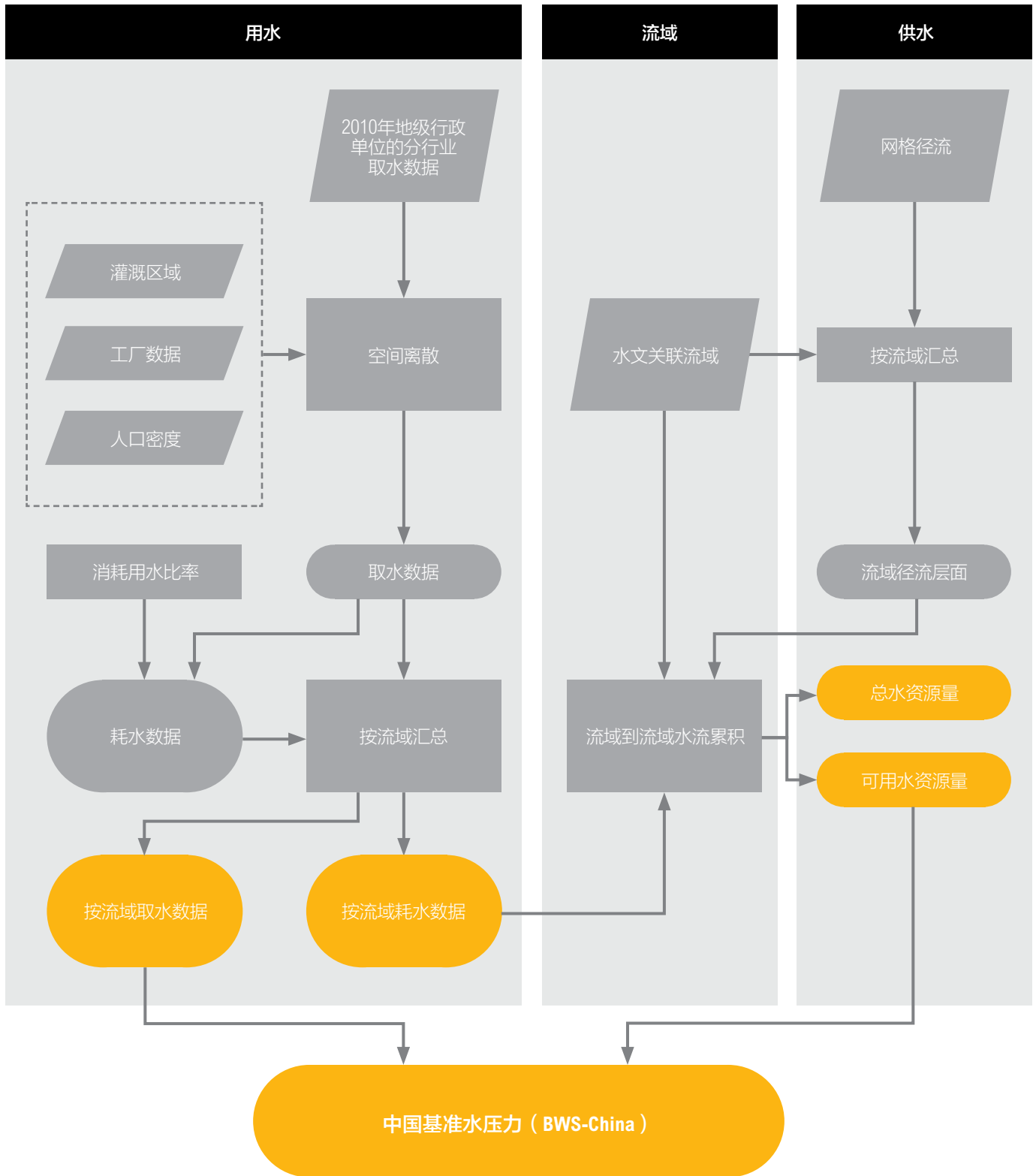
- **取水数据来源。**BWS-Global采用来自联合国粮食及农业组织开发的AQUASTAT的取水数据；BWS-China采用来自中国省级政府发布的数据。
- **取水和消耗用水数据的统计单元。**在BWS-Global中，取水和消耗用水数据的统计单元是国家；而在BWS-China中，取水和消耗用水的统计单元是地级行政单位。
- **农业取水的空间离散。**BWS-Global采用联合国粮食及农业组织的全球灌溉面积地图数据库 (Global Map of

Irrigation Areas) (分辨率5弧分，约等于10千米) 对农业灌溉取水进行离散；BWS-China采用中国国家土地利用/覆盖数据库的数据 (分辨率1千米) 进行离散。

- **工业取水的空间离散。**BWS-Global采用美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 的夜间灯光影像数据库 (DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series) 的夜间灯光影像 (分辨率30弧秒，约等于1千米) 对工业取水进行离散；BWS-China采用中国工业企业数据库的数据进行离散 (分辨率1千米)。
- **生活取水的空间离散。**BWS-Global采用世界网格人口数据库 (Gridded Population of the World) 的人口数预测网格 (分辨率2.5弧分，约等于5千米) 以及夜间灯光影像数据库 (分辨率30弧秒，约等于1千米) 对生活取水进行空间离散；BWS-China采用中国人口普查统计的人口密度网格进行空间离散 (分辨率1千米)。

图1是BWS-China的计算流程，该分析框架在“水道”全球供水用水模型的基础上进行了改进。对于取水分析，首先在地级行政单位层面收集各行业取水数据，然后将这些数据离散到高分辨率网格，再按流域进行汇总。对于供水这一侧，径流数据按照流域汇总。最后，在流域尺度采用供水和用水数据计算基准水压力。

图 1 | BWS-China的计算流程



注记：平行四边形表示数据输入，直角长方形表示数据处理，圆角长方形表示数据输出。最终的流域尺度的用水和供水结果用黄色高亮标记。

中国基准水压力使用的取水数据

我们采用两个参数来构建BWS-China：取水和消耗用水。

取水是从淡水中为人类使用所提取的总水量。我们从中国各省水资源管理部门发布的年度水资源公报中获得不同行业（生活、工业和农业）的取水数据。相比之下，BWS-Global所采用的是国家层面的取水量。

消耗用水是蒸发或者合并到一个产品中不能被下游使用的那部分水。消耗用水的计算方法是采用Shiklomanov和Rodda（2004）提出的消耗用水和取水的比率乘以总取水量。

不同行业取水量的空间离散方法

参照与BWS-Global类似的分析方法，根据不同行业的空间分布数据对2010年的取水数据进行离散（见表1），分析中所采用的数据的空间分辨率均是1千米。

下面将详细介绍各行业用水的空间离散方法。

农业取水的空间离散

农业取水采用灌溉面积进行空间离散。灌溉面积从中国科学院资源与环境科学数据中心的“中国国家土地利用/覆盖数据库”中提取，该数据库共包含五个时期（1980年代、1995年、2000年、2005年和2010年）的中国土地利用/覆盖数据（Zhang等，2014），本文使用了2010年的数据。

表 1 | 不同行业取水空间离散的变量

行业	分析变量	数据库	年份	来源	链接
农业	灌溉面积	国家土地利用 / 覆盖数据库	2010年	中国科学院资源和环境科学数据中心	http://www.resdc.cn
工业	工厂位置和工业总产值	中国工业企业数据库	2008年到2009年	上海财经大学高等研究院数据中心	http://iar.shufe.edu.cn/structure/src/xxs-jfw_95247_1.htm
生活	人口密度	中国第六次人口普查	2010年	中国国家统计局	http://www.stats.gov.cn/english/Statisticaldata/CensusData/rkpc2010/indexch.htm
		城市建成区	2010年	中国科学院资源和环境科学数据中心	http://www.resdc.cn

工业取水的空间离散

BWS-China和BWS-Global的主要区别在于采用不同方法进行工业取水空间离散。

BWS-Global采用夜间灯光来识别工业活动地区对工业取水进行离散，这样做可以保证在某些即使无法得到详细工业活动的空间信息的地区，仍然可以进行离散，而保持数据的连贯性。

在BWS-China分析中，由于可以获得的数据更加详细，包含工厂位置及工业总产值，且具有地理信息，因而决定采用这些数据对工业用水进行空间离散。工业工厂位置的数据时间为2008到2009年，而取水数据的时间为2010年，工厂空间分布数据库与取水数据库之间的1-2年的时间差别被认为在模型输出中没有显著影响。

年利润500万元以上工业企业总共有314539个，其工厂位置和工业总产值数据从中国工业企业数据库中提取得到。该数据库包含工厂名称、行业类别、纳税额和工业总产值。这些企业的总产值占中国总工业产值的90%以上，因而可以代表全国的工业企业分布（聂辉华等，2012）。分析时，首先将工厂数据在地图上定位；然后将工厂定位数据生成千米网格的工业总产值；最后利用工业产值网格数据（单位：千元）来对工业取水进行空间离散。

上述的工业取水空间离散方法没有考虑不同子行业的用水效率，我们将在下一步的工作，开发新版的BWS-China中考虑不同工业子行业用水效率的影响。

生活取水的空间离散

生活取水根据人口密度数据进行空间离散。1千米网格的人口密度是通过两个数据层分析得到的。一个数据层是2010年中国第六次人口普查中所提取的城镇尺度人口密度（Wu等，2015；Mao等，2015），共有39007个乡镇和街道办事处。

另一个数据层是2010年的城市建成区。该数据来自中国科学院资源与环境科学数据中心。建成区的识别采用遥感影像和实地调查相结合，如果一个网格的中心点在城镇多边形内或者与城镇多边形相交，那么这个网格就被认为在城镇。对于每一个城镇，人口被分配到建成区内的1千米网格上，分配的权重是每个网格中建城区的面积。不包含建成区的网格上被分配的人口数为0。最后，根据人口密度网格结果对生活用水进行空间离散。

总取水量

总取水量是指从淡水资源中被人类使用所提取的总水量。如上所述，每个1千米网格内的各行业取水值将被合并到流域层面。总取水量是农业、工业和生活取水量的总和。图2、图3和图4分别展示了流域层面的农业、工业和生活等各个行业的总取水强度。图5展示了流域尺度的所有行业的总取水强度。

图 2 | 农业取水强度 (2010)

单位: 立方米/平方千米

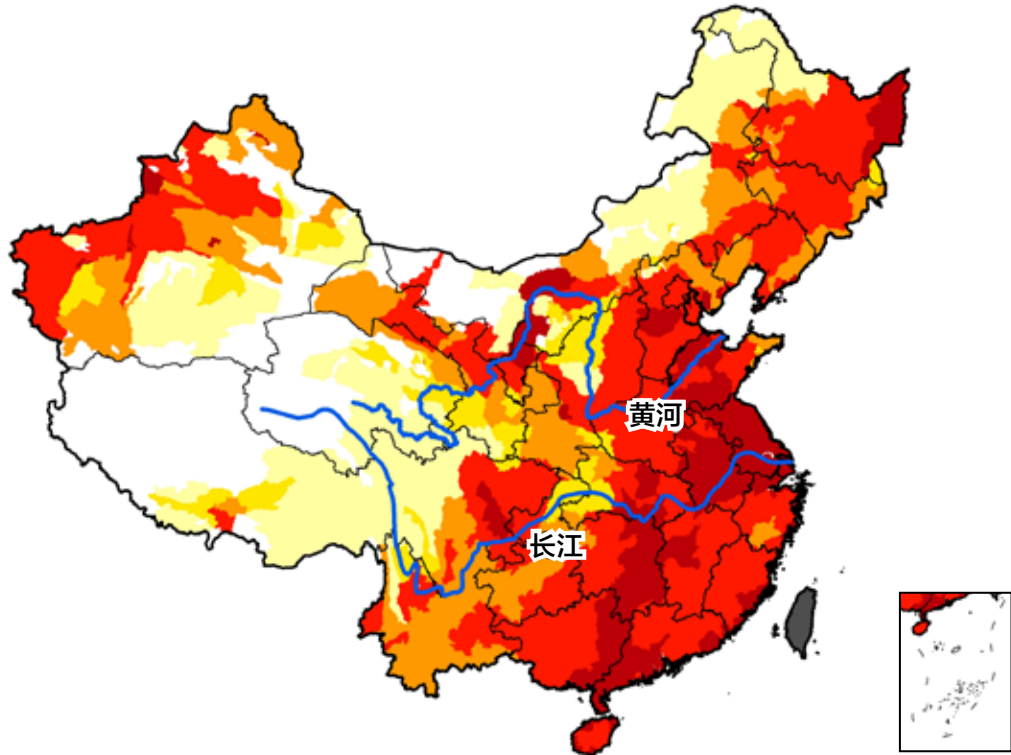
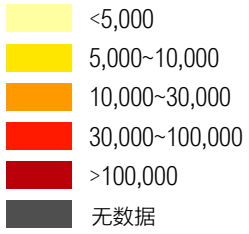


图 3 | 工业取水强度 (2010)

单位: 立方米/平方千米

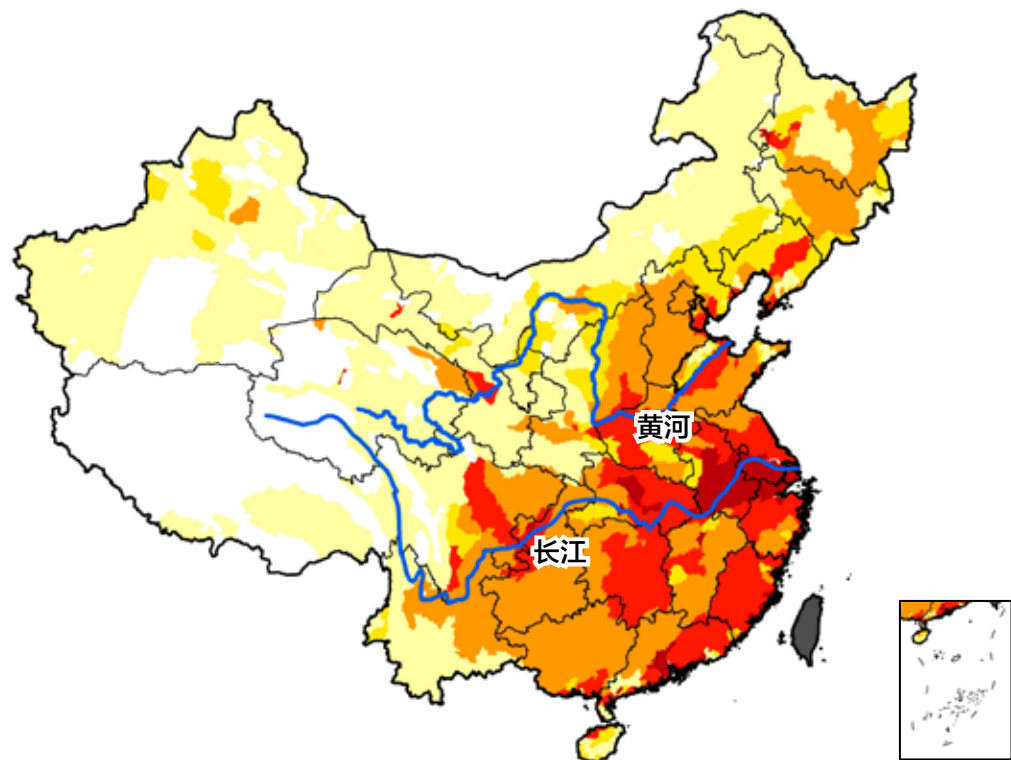
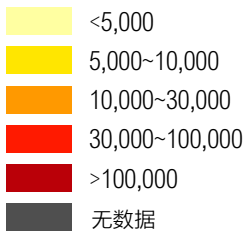


图 4 | 生活取水强度 (2010)

单位: 立方米/平方千米

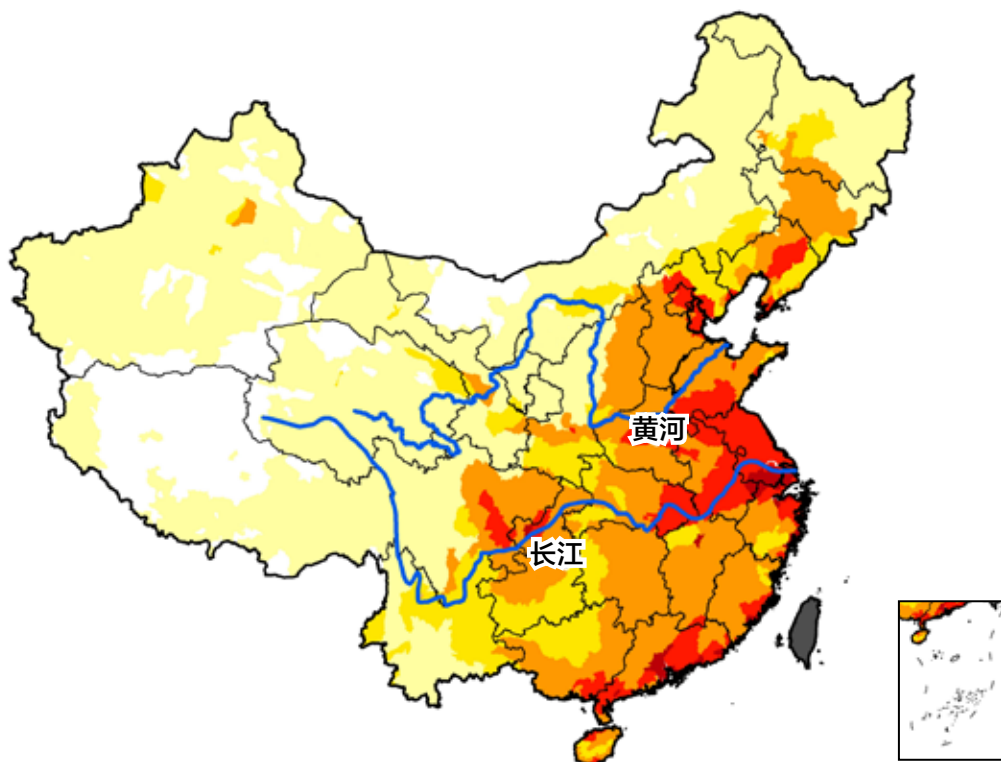
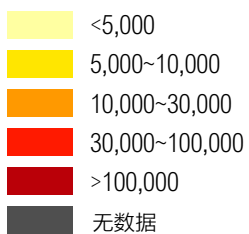
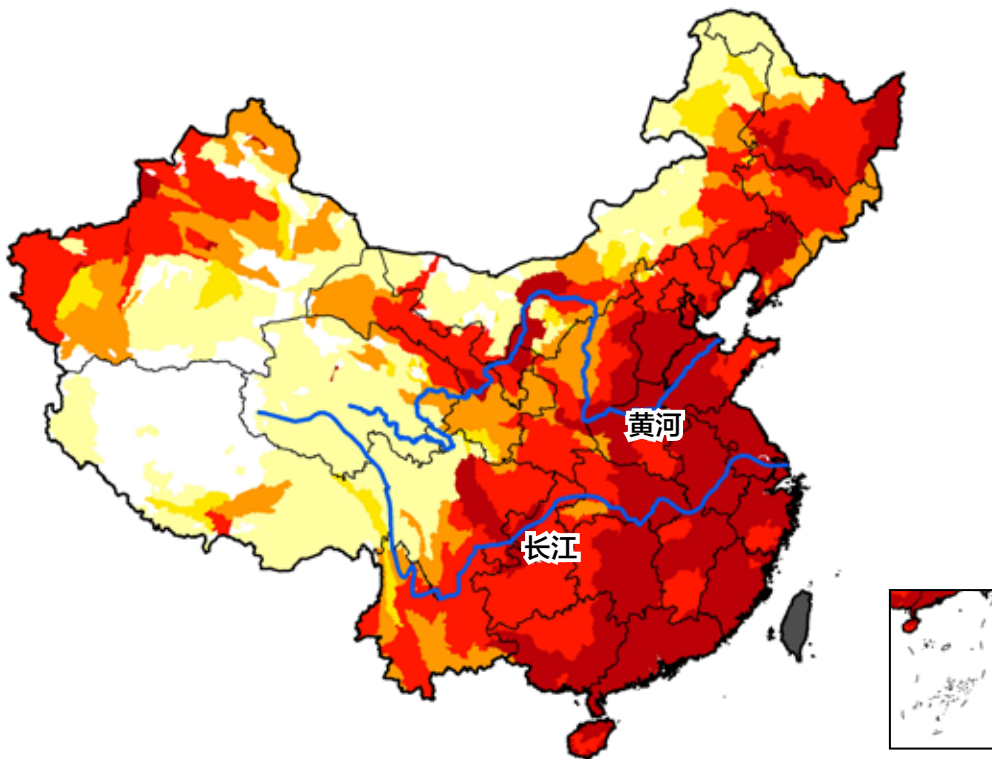
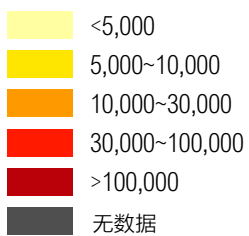


图 5 | 所有行业总取水强度 (2010)

单位: 立方米/平方千米

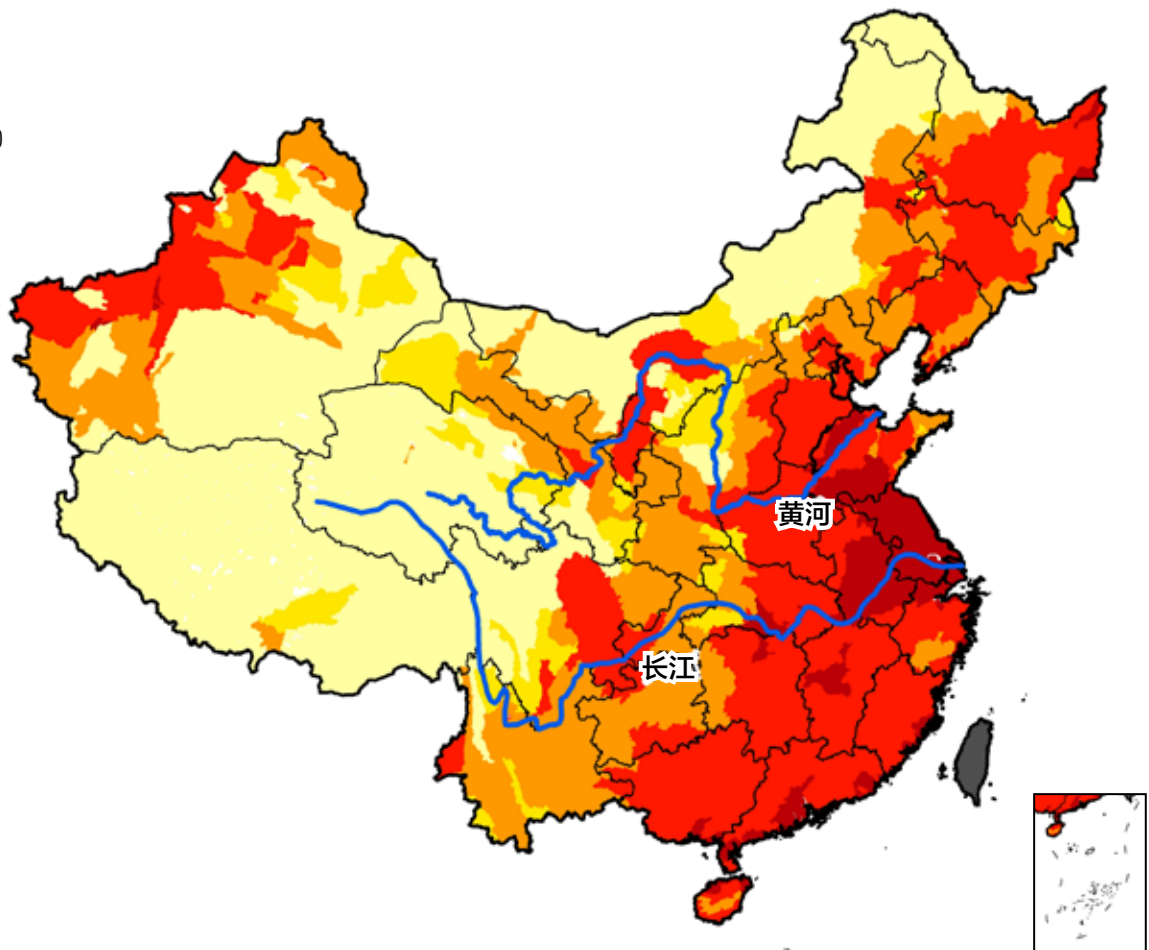
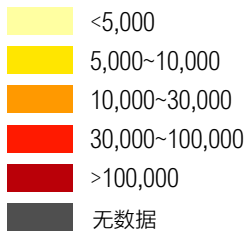


消耗用水

消耗用水是指通过蒸发或者进入产品、或者被污染，不可以被再次利用的那部分取水。各行业消耗用水是根据总取水量和 Shiklomanov和Rodda（2004）提出的消耗用水比率来进行估算。图6展示了流域层面的消耗用水强度。

图 6 | 消耗用水强度（2010）

单位：立方米/平方千米



可用水资源量

可用水资源量 (Ba) 是一个流域在任何水被取用之前的总水量。它的计算方法是所有从上游流域来的径流量减去上游消耗用水再加上此流域内的径流。 Ba 的计算公式是 $Ba(i)=R(i)+\sum Qout(iup)$, 其中 R 是径流, $Qout$ 是从一个流域流出到下游流域的水量: $Qout(i) = \max(0, Ba(i)-Uc(i))$, $Uc(i)$ 是消耗用水。负数的 $Qout$ 被设置为0 (Gassert 等, 2013)。

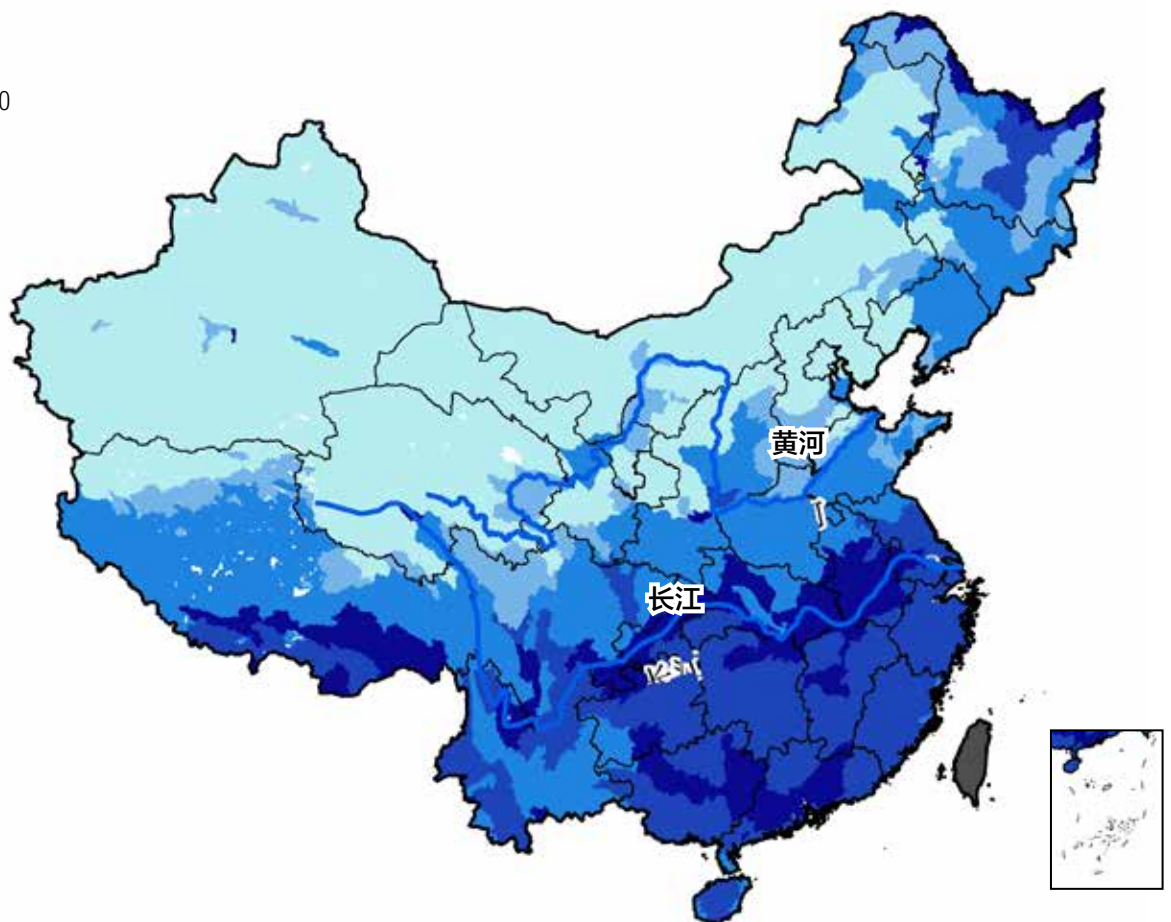
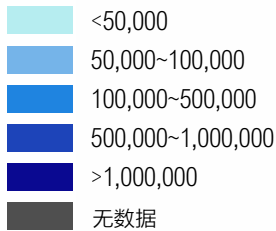
在中国东北部与俄罗斯接壤处有14个流域 (约占中国领土总

面积的1%) 的上游流域在俄罗斯, 其上游取水数据不宜获取, 因此这14个流域的 Ba 取值从BWS-Global获得。

图7展示了流域层面的可用水资源量。

图 7 | 可用水资源量强度 (2010)

累计径流 - 消耗用水
单位: 立方米/平方千米



中国基准水压力

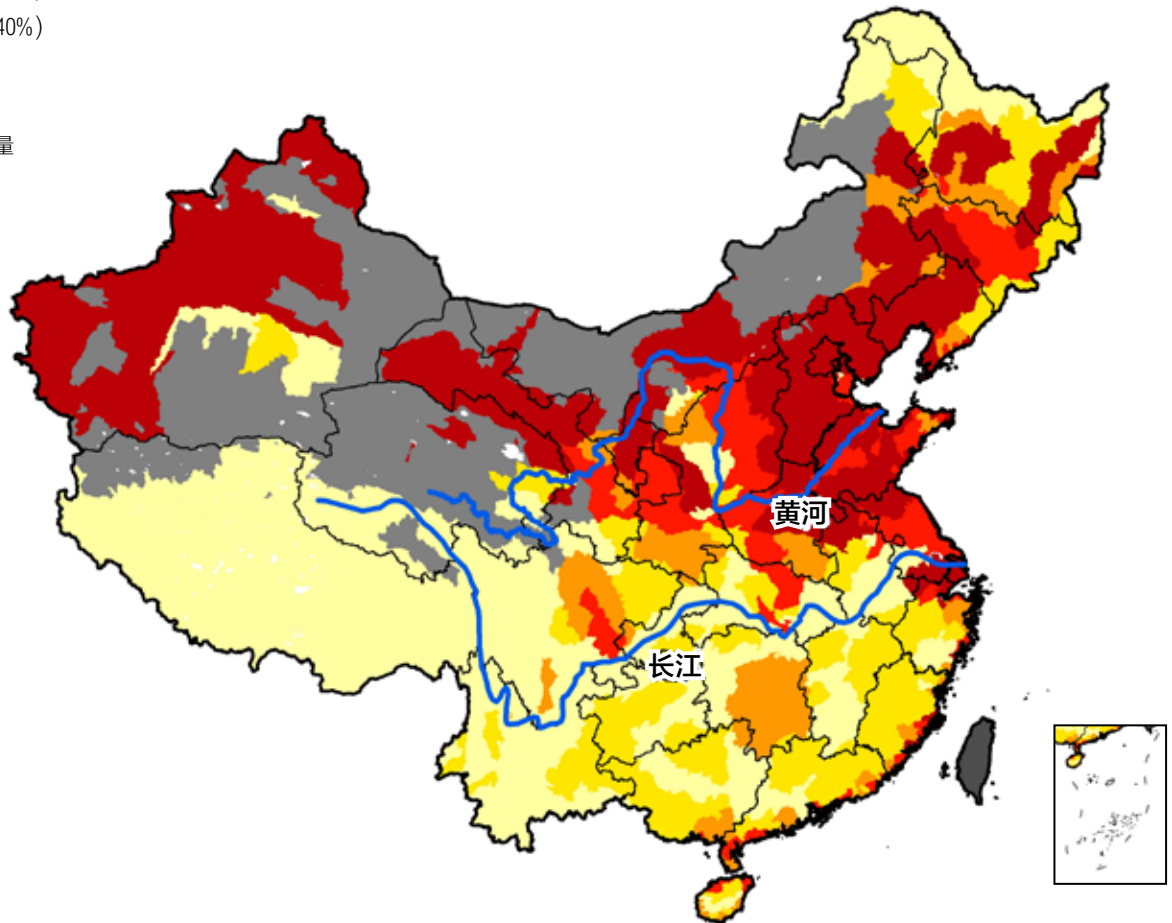
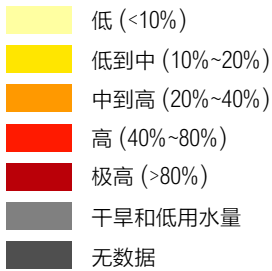
基准水压力的计算方法是年取水量（生活、工业和农业）除以多年平均可用水量（地表水）。基准水压力衡量对可用水资源的长期竞争和消耗，是综合反映水风险的一个指标（CEO Water Mandate, 2014）。较高的基准水压力值意味着用水竞争比较激烈以及对当地水资源更多的消耗。

参照BWS-Global，基准水压力的比值被分成几个等级，包括：低（<10%）、低到高（10-20%）、中到高（20-40%）、高（40-80%）和极高（>80%）。BWS-China中采用的年取水量来自2010年，而多年平均可用水量则基于1950年到2010年间的径流数据计算得出。采用这一长期系列数据可以减少多年气候循环和短期蓄水（例如水库、泛洪）带来的影响（Gassert等，2015）。

和BWS-Global的分类一样，可用水量资源和取水量分别少于0.03和0.012 m³/m²的地区被归为干旱和低用水地区（Gassert等，2013）。图8展示了流域层面的基准水压力。在灰色区域（干旱和低用水）中的白色斑块是全球汇水流域数据库中不属于任何流域的湖泊。

图 8 | 中国基准水压力（2010）

取水量/可用水量



讨论

空间和取水数据的精度

如前所述，BWS-China中用到的许多数据来自调查或普查（例如中国工业企业数据库）和中国政府公开发布的数据信息（例如水资源公报）。据我们所知，这些途径提供了目前可以获得的最好的空间和取水数据。我们无法独立验证和校验每一个数据库，我们认为这些数据是可信和准确的。

对于可用水资源量的补充解释

BWS-China中的供水数据仅仅包含地表淡水，不含由于人类的行为导致的其它流域自然界可用水资源量的增加或减少（例如跨流域调水）。BWS-China不包含地下水，然而在许多地区地下水可能是供水的一个重要来源。因此，BWS-China并不能完全反映一个特定流域的可用供水量，一些流域的实际基准水压力可能比BWS-China所反映的要小。我们将会在下一个版本的BWS-China中考虑主要跨流域调水和可用地下水资源。

BWS-Global和BWS-China的比较结果

图9展示了BWS-Global和BWS-China的比较结果，可以看出二者表现出相似的空间特征，在中国相对干旱的北方地区比相对湿润的南方地区面临更严峻的水压力。

然而，在流域层面的进一步比较则揭示了二者差异。例如，在黄河下游地区，BWS-China显示出比BWS-Global更低的水压力。这个差异和工业取水有关。如前所述，BWS-Global和BWS-China之间一个重要的区别在于工业取水的离散方法学。BWS-Global采用夜间灯光，而BWS-China采用工业工厂位置和工业总产值。和夜间灯光相比，工厂位置对于可能发生工业用水的地点提供了更加细致和准确的信息。例如，虽然夜间灯光被用来计算工业用水，但是夜间灯光也包含了街道上的灯光，而这些地方是没有工业取水行为的。在黄河下游地区，夜间灯光数据中的许多街道都被分配了工业取水。

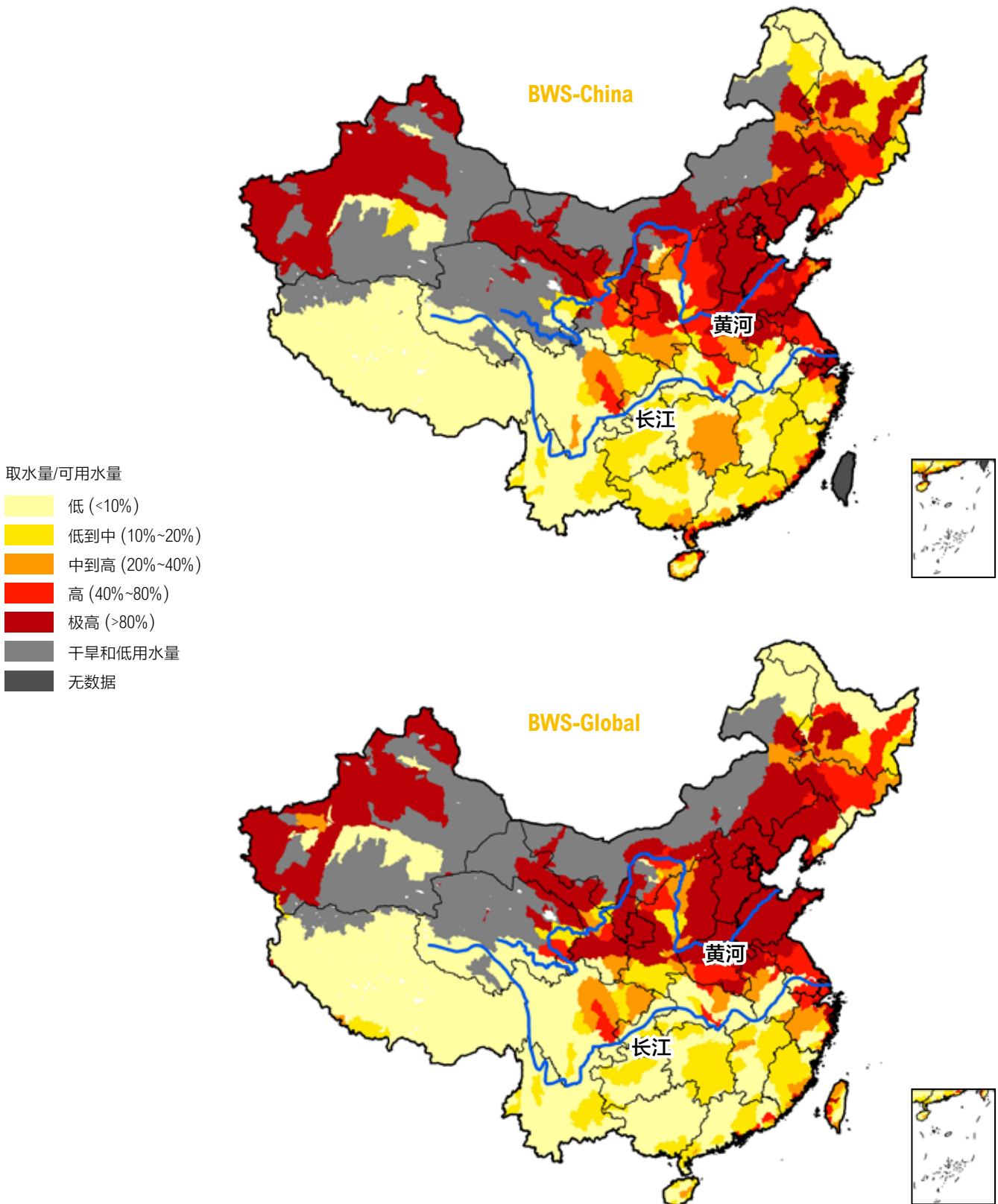
另一方面，在长江入海口处，BWS-China显示出比BWS-Global更高的压力。这些差异与BWS-China计算中采用了更加详细的取水数据和高分辨率人口分布有关。在这些地区，中国人口普查的结果比世界人口网格数据估计的人口要多。因为该技术论文主要侧重描述开发BWS-China的方法学，我们在此不提供对两个人口数据库的详细比较。我们将在未来的出版物中对BWS-Global和BWS-China进行详细对比。

结论

BWS-China可以作为不同相关方（例如政府、企业、投资者和非政府组织）使用本国相关数据开发基准水压力模型的范例。我们鼓励用户使用BWS-Global理解全球水压力和进行国家地区间

的比较，使用BWS-China获取关于中国更详细、更有地理区域针对性的水压力信息。投资者、公司和政府部门，以及其他对中国感兴趣的相关方可以使用BWS-China来评估投资机会，加深他们对潜在水风险的理解，并开始着手应对。

图 9 | BWS-China和BWS-Global的比较 (2010)



参考文献

1. CEO Water Mandate. 2014. "Driving Harmonization of Water Stress, Scarcity, and Risk Terminology." Discussion Paper. Available online at: http://ceowatermandate.org/files/Driving_Harmonization_of_Water_Terminology_draft.pdf
2. Gassert, F., M. Landis, M. Luck, P. Reig, and T. Shiao. 2013. "Aqueduct Global Maps 2.0." Working Paper. Washington, D.C.: World Resources Institute. Available online at: http://www.wri.org/sites/default/files/pdf/aqueduct_metadata_global.pdf
3. Gassert, F., M. Luck, M. Landis, P. Reig, and T. Shiao. 2015. "Aqueduct Global Maps 2.1: Constructing Decision-relevant Global Water Risk Indicators." Working Paper. Washington, D.C.: World Resources Institute. Available online at: http://www.wri.org/sites/default/files/Aqueduct_Global_Maps_2.1-Constructing_Decision-Relevant_Global_Water_Risk_Indicators_final_0.pdf
4. Mao Q., Y. Long, and K. Wu. 2015. "Spatio-Temporal Changes of Population Density and Exploration of Urbanization Pattern in China: 2000–2010." *City Planning Review* 39(2): 38–43.
5. Masutomi, Y., Y. Inui, K. Takahashi, and Y. Matsuoka. 2009. "Development of Highly Accurate Global Polygonal Drainage Basin Data." *Hydrological Processes* 23: 572–84. DOI: 10.1002/hyp.7186.
6. NASA (U.S. National Aeronautics and Space Administration). 2012. Global Land Data Assimilation System Version 2 (GLDAS-2). Goddard Earth Sciences Data Information Services Center.
7. Shiklomanov, I.A., and J.C. Rodda (eds.) 2004. *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. International Hydrology Series. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
8. Wu, K., Y. Long, Q. Mao, and X. Liu. 2015. "Mushrooming Jiedaos, Growing Cities: An Alternative Perspective on Urbanizing China." *Environment and Planning A* 47: 1–2.
9. Zhang, Z., X. Wang, X. Zhao, B. Liu, Y. Lin, L. Zuo, Q. Wen, F. Liu, J. Xu, and S. Hu. 2014. "A 2010 Update of National Land Use/Cover Database of China at 1:100000 Scale using Medium Spatial Resolution Satellite Images" *Remote Sensing of Environment* 149:142–154. DOI:10.1016/j.rse.2014.04.004.
10. 聂辉华, 江艇和杨汝岱. 2012. 中国工业企业数据库的使用现状和潜在问题。 *世界经济* 5: 142-158。

致谢

作者特别感谢以下人士，他们在形成该技术论文的过程中参与讨论，并提供了宝贵的意见和建议。包括世界资源研究所的同事 Manish Bapna、李来来博士、Daryl Ditz、Francis Gassert、Charlie Iceland、Betsy Otto、罗天一、Rachael Peterson、Janet Ranganathan 和薛璐璐。外部专家：贾绍凤教授（中国科学院地理科学与资源研究所）、Tien Shiao（Hennes & Mauritz）、Debra Tan（China Water Risk）、Yoshihide Wada 博士（NASA GISS 和 IIASA）、温庆可博士（中国科学院遥感与数字地球研究所）、翟建青博士（国家气候中心）、赵晓丽（中国科学院遥感与数字地球研究所）、张培群博士（国家气候中心）和张增祥教授（中国科学院遥感与数字地球研究所）。

作者还想感谢叶菲在出版过程中给予的协助，感谢谢亮对本论文的文字编辑、陈俊成对本论文进行校对、以及张烨的设计。

最后，作者感谢爱尔兰援助（Irish Aid）、荷兰外交部（Ministry of Foreign Affairs of The Netherlands）、丹麦外交部（Ministry of Foreign Affairs of Denmark）和瑞典国际发展合作机构（Swedish International Development Cooperation Agency（Sida））对此工作提供的资金支持。

关于作者

王姣 博士是世界资源研究所中国水项目研究员。电子邮件：JWang@wri.org

钟丽锦 博士是世界资源研究所高级研究员，中国水项目主任。电子邮件：LZhong@wri.org

龙瀛 博士是清华大学的副教授。电子邮件：ylong@tsinghua.edu.cn

关于地图的说明

本技术论文所附地图显示的疆界、颜色、名称和其他信息仅依照当事国法律规定标注，世界资源研究所对各国法律及其所规定内容不持立场。

关于世界资源研究所

世界资源研究所中国办公室是一家独立的研究机构，其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今，人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源，对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动，消除贫困并为全人类维护自然环境。

我们的工作方法

量化

我们从数据入手，进行独立研究，并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析，识别风险，发现机遇，促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体，因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试，以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变，减少贫困，加强社会建设，并尽力争取卓越而长久的成果。

推广

我们志向远大。一旦方法经过测试，我们就与合作伙伴共同采纳，并在区域或全球范围进行推广。我们通过与决策者交流，实施想法并提升影响力。我们衡量成功的标准是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。

支持机构：



Copyright 2016 World Resources Institute. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of the license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>