

煤炭产业

如何加剧全球水危机



GREENPEACE

目录

如需更多信息请联系：

harri.lammi@greenpeace.org

作者：

Iris Cheng, Harri Lammi

研究人员：

Nina Schulz, Iris Cheng,
Cornelia Ihl, Xiaozhi Liu

编辑：

Martin Baker, Alexandra Dawe,
Cornelia Ihl, David Santillo, Nina
Schulz

致谢：

Buket Atli, Ashish Fernandesh,
Nitya Kaushik, Xiaozhi Liu, Iwo Los,
Lauri Myllyvirta, Deng Ping,
Meri Pukarinen, Meng Qi,
Jaikrishna Ranganathan,
Melita Steele

设计：

www.arccommunications.com.au

绿色和平国际 出品

1) 引言	p5
2) 煤炭产业为何如此渴水	p9
3) 对煤炭产业用水需求建模	p15
4) 研究发现	p19
5) 国别案例：煤炭产业不断扩张引发的水资源争夺	p35
- 南非：煤炭产业扩张重于空气质量与水安全	p36
- 印度：燃煤电厂与农民之间的水资源争夺战愈演愈烈	p37
- 土耳其：“煤炭热”加剧土耳其水危机	p38
- 中国：中国“母亲河”在能源与工业的扩张下艰难求存	p39
- 波兰：世界上最依赖煤炭的国家急需能源政策重置	p40
6) 避免用水资源危机的办法	p43
7) 结论：远离“煤水”危机	p54
8) 尾注	p56

图表目录

图1: 煤炭生命周期主要阶段用水需求	p10
图2: 主要冷却技术用水示意图	p13
表1: 全球燃煤发电总淡水用量——2013年为基准年	p20
表2: 全球燃煤电厂总用水量——已运行装机量(2013年底)和规划装机量	p20
表3: 已运行和规划燃煤电厂所在地区的基线水压力程度	p21
图3: 面临不同程度基线水压力的已运行燃煤电厂和规划中燃煤电厂装机容量分布	p22
图4: 全球基线水压力分布图(红色代表基线水压力等级高或极高,深棕色代表过度取水)	p24/25
图5: 全球基线水压力与已运行燃煤电厂分布重叠图	p26/27
图6: 全球基线水压力与已运行和规划中燃煤电厂分布重叠图	p28/29
图7: 已运行及规划中燃煤电厂分布地区的水压力高于全球平均水平	p31
图8: 中国和印度基线水压力与已运行和规划中燃煤电厂分布重叠图	p34
图9: 不同发电技术的生命周期耗水量估算(来源: Meldrum等.2013; 以及本研究所引用的不同煤炭耗水率)	p44
表4: 逐步淘汰红名单地区已运行燃煤电厂后节水量最高的前五个国家	p47
表5: 停止在红名单地区建设规划中的燃煤电厂后节水量最多的前五个国家	p47
表6: 淘汰所有服役40年以上燃煤电厂后节水量最多的五个国家	p49
表7: 在水压力程度高(基线水压力>40%)的地区淘汰老燃煤电厂后的节水量最多的五个国家	p50
表8: 总节水潜能	p51



图 2013年12月，南非的沃特堡（Waterberg），
一个男孩从一根靠近马丁巴（Matimba）燃煤电
厂的社区水管中取水。

© Shayne Robinson/Greenpeace

引言

01

水对地球上所有生命而言都是不可或缺的。从卫生到健康、从食物到能源、从工业活动到经济发展，水在人类发展历程中都扮演着重要的角色。然而，人类活动正在以令人震惊的速度消耗着地球的水资源。世界经济论坛《2015年全球风险报告》指出，就潜在影响而言，水危机将是未来10年中全球面临的**最大威胁**。政界、商界和公民社会领袖也纷纷表示，“**水安全问题在当下我们面临的各项社会、政治和经济挑战中最为明显，恶化势头也最快**”¹。

尽管如此，绿色和平国际（Greenpeace International）发现，各国政府长期以来一直允许煤炭产业²在不预先评估后果的情况下取用珍贵的水资源，这种管理方式难以实现水资源的可持续使用。从采矿到洗煤、燃烧、再到粉煤灰等的废料处理，燃煤发电的整个周期的庞大需水量和产生的水污染，都对淡水系统产生了巨大影响。举例来说，**一家装机容量为500兆瓦、采用直流冷却系统的燃煤电厂，每三分钟就能抽干相当于一个奥林匹克竞赛规模泳池的淡水**³。在许多国家，煤炭是淡水资源需求量最大的产业之一。

在全球范围内，大幅提高燃煤电厂装机容量的计划（截至2013年底的规划新增煤电装机容量接近1300吉瓦）会让诸多水资源已经很匮乏的地区进一步陷入水资源危机甚至遭受严重的干旱。

另外，这还可能进一步激化农业用水、工业用水与生活用水领域之间由于水资源短缺的既有矛盾。这些用水领域很重要，对水资源的需求量又极大，因此势必对社会产生严重影响。在一些国家，供水政策很难平衡和兼顾粮食生产、能源供给、大城市用水以及环境保护等问题。

本报告首次评估并揭示了人类长期依赖燃煤发电对全球淡水资源产生的严重影响。

煤炭产业用水需求的开创性模型

绿色和平国际委托荷兰工程咨询公司Witteveen+Bos开发了一款模型，用以计算已运行和规划中的燃煤电厂以及煤炭开采的淡水取水量与消耗量（后文统称为用水需求），并详细分析了燃煤电厂对地表淡水资源的需求及其产生的影响。

该模型统计了主要从普氏全球煤电数据库（Platts World Electric Power Plant Database）中得到的已运行和规划中的燃煤电厂数据（截至2013年底），通过实地调研、学术文献、新闻报道和产业信息填补了信息空白，并结合了从主要用煤国家相关文献中得到的不同煤炭产业周期的耗水率。

本研究中涉及的燃煤电厂包括：截至2013年底的8359台全球已运行的煤电机组（装机容量1811吉瓦）和2668台规划中的煤电机组（装机容量1300吉瓦）。

根据这些数据，本研究对煤炭产业的淡水使用情况进行全面评估，包括现有的煤炭开采和燃煤电厂的用水需求以及2668台规划中的煤电机组全部运行后的用水需求。本研究采用世界资源研究所（World Resources Institute）的“水道”水风险分析工具（2.1版）对不同流域的水资源风险等级的评估，通过对全球燃煤电厂的地理空间分析，评估了燃煤发电取用水对其所在流域的影响。Ecofys作为一家在能源系统、市场及政策领域领先的咨询公司，对本项目在18个月中每一个阶段的模型和研究都进行了评审。

本研究的计算结果表明，仅已运行的燃煤电厂每年就会消耗全球高达190亿立方米的淡水。**换句话说，全球的8359台煤电机组每年所消耗的水超过10亿人的基本用水需求。**如果再加上硬煤和褐煤开采的用水，每年的耗水量会飙升至227亿立方米，足以满足12亿人的基本用水需求⁴。

计算结果还表明，煤炭产业用水大都来自燃煤电厂（占比84%），而硬煤和褐煤的开采用水量占16%。

本研究还发现，水资源过度开采的现象已经极为普遍，情况十分严重。在很多地区，水资源的耗竭速度比淡水水体本身的自然恢复速度要快得多。**每4台煤电机组中（包括已运行和规划的），就有1台位于“过度取水（over-withdrawal）”的地区。**

从全球情况来看，已运行燃煤电厂的44%都集中于水压力程度高（high levels of water stress）的地区，这里的用水规模已经高于通常会对生态系统造成严重影响水平⁵。即便如此，这些地方还在计划进行大规模煤炭产业扩张，规划中的燃煤电厂有45%都计划建在这些地区。水资源危机可能会以前所未有的规模出现。

其中，在燃煤电厂所处的“过度取水”的地区，有近1/4的地区以每年再生淡水量五倍或以上的速度在消耗淡水，情况堪忧。这一速度意味着，只消20年就已经用完一个世纪的水“预算”。这就好比一个人花得比挣得多，却对自己银行账户里还有多少钱全然不知。

在很多这样的地区，人们从地下含水层采水，掩盖了过度使用地表水所造成的影响。但地下含水层恢复起来相当困难，甚至根本无法恢复，因此抽取地下水虽然缓解了眼前的水资源短缺问题，但消耗蓄水的行为会在含水层断水时，即刻给用水大户造成用水危机。同时，这些地区会很难应对干旱等极端情况，尤其是气候变化还会加剧干旱情况。若干全球性研究表明，一些国家的地下含水层水位下降速度十分惊人，而这些地域与本报告重点关注的地区是比较一致的⁶。

通过对用水情况进行地理分析，本研究划分出了水压程度较高的煤炭产业扩张地区。这些地区迫切需要从用水角度重新考虑相关能源政策，才能避免水危机的出现。这些地区被划分为水资源危机最严重地区，即本研究提出的“红名单地区”。其政策制定者应当停止批准在这类地区新建燃煤电厂，逐步淘汰已运行燃煤电厂，将太阳能光伏或风能等低耗水能源作为替代等方式，来实现水资源消耗的大幅度降低。但仅仅解决红名单地区的问题并不足以显著降低全球煤炭产业的用水需求。为了实现显著节约全球的水资源，本研究还评估了淘汰服役超过40年的燃煤电厂所能带来的节水效果。

研究结果显示，如果所有这些政策措施都得以实施，可节约1430亿立方米的取水量（或110亿立方米的耗水量）⁷——**足够满足5亿人的最基本用水需求**。人们其实有很多耗水量不高的能源替代选择，能源与水的冲突是可以避免的。

为了进一步解读这些研究成果，本报告还深入描述了煤炭产业的用水周期，并用来自五个“煤水问题一线”国家的案例对“煤水矛盾”进行了阐释，这些国家分别是中国、印度、南非、土耳其和波兰。这5个案例研究展现了能源、粮食生产、工业活动、生态系统、饮用和卫生各方面用水需求被争夺可用水资源的情况，以及有限的供水如何不得不在这些领域的用水需求中做出权衡和选择。

本报告明确指出需要尽快从用水角度重新考虑资源规划。希望这一开创性的研究可以给负责资源规划的相关人士敲响一记警钟。另外还需要采用技术手段加速能源转型。从高耗水的火电过渡到非火电能源，例如太阳能光伏和风能等都只需要很少的水，节水潜力很大。希望本研究的结果能够激起有关能源选择的政策讨论和有意义的辩论，特别是在能源需求增长迅速而水资源匮乏的地区。

“本报告明确指出需要尽快从用水角度重新考虑资源规划。希望这一开创性的研究可以给负责资源规划的相关人士敲响一记警钟。”



图 2015年5月，德国莱茵河畔的褐煤矿区，风力涡轮机伫立在格雷文布罗伊希(Rhenish)燃煤电厂附近。

© Bernd Lauter/Greenpeace

煤炭产业为何如此渴水

02

从采煤、到洗煤、再到燃煤发电和废料处理，煤炭生命周期的每个阶段都对水有巨大影响。

全球煤炭产业取水量大概占全部取水量的7%左右，未来20年这个数字还会翻倍。煤矿、洗煤厂和燃煤电厂也会排出的大量污染物，进一步加剧了水资源的供给不足。

可再生能源发电几乎不需要水。为节约水资源，保证人们生活、农业和环境的用水供应，从煤炭转向可再生能源是最有效、操作性最强的方法之一。

1) **采矿**活动对水影响很大。为了让煤矿保持干燥，首先要抽干地下水，才能进行采煤作业。这些枯竭的地下水资源要花几十年时间才能恢复，由于雨水和地下水渗透，附近水体也可能遭受严重污染。植被的消失会导致水土流失，地下采矿作业也会导致土地沉降，这都会改变径流及影响区域的保水能力。废矿通过雨水和地下水渗透，可能形成酸性矿井水（Acid Mine Drainage, AMD），导致严重而持续的水污染，且往往会延续几十年，治理的难度和费用都非常高，目前仍然是矿产业的一大问题。

2) **洗选煤**主要指剔除煤炭矿石里的石头、硫磺和煤灰。这一过程通常需要消耗大量用水，有时会加上化学悬浮液从而分离煤炭中的杂质。洗煤后的稀泥浆含有各种有害物质，在将其重新释放到水体之前，必须对这种泥浆进行处理，尽可能将有毒物质与环境隔绝开来。

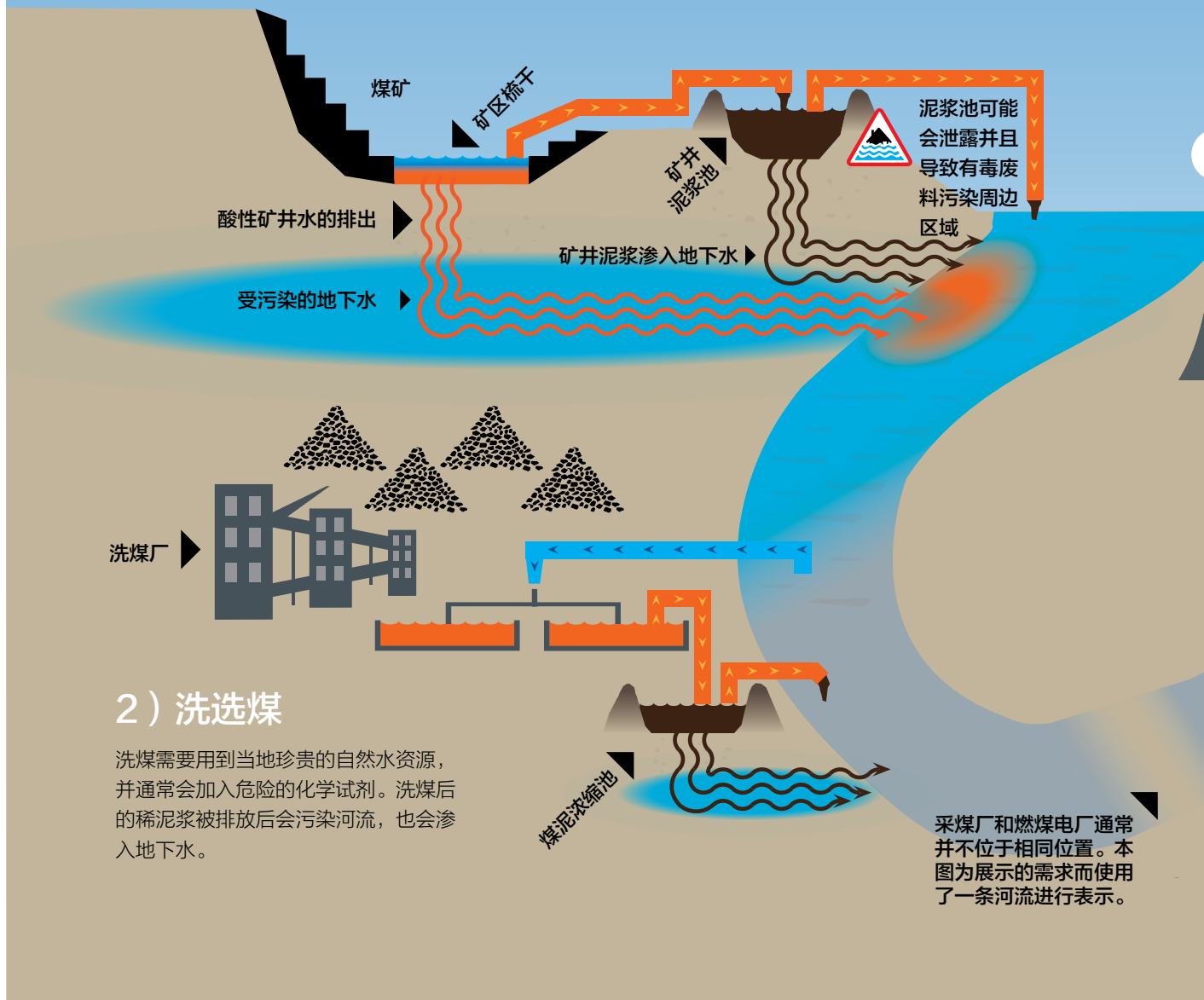
3) **燃煤电厂冷却**对淡水的需求最大。具体的需求量取决于使用哪种冷却技术。如果选用取水量最高的直流冷却系统，一个500兆瓦装机容量的燃煤电厂每三分种的冷却需水量足以填满一个奥林匹克竞赛规模的泳池。再者，燃煤电厂与其他煤炭产业常常集中在同一地区，严重影响当地水资源，在用水短缺时燃煤电厂甚至可能被迫停工。冷却水排放同样也会影响生态系统。采用直流供水冷却（无论使用淡水还是海水）的燃煤电厂向水域生态系统排放热水，造成了热污染，破坏生态系统和渔业。在热水排回原来水体的过程中，还会因蒸发而损失部分水量。

4) **燃煤废料**以煤灰形式存在并流散出去，同样会产生长期水污染风险。燃煤的过程会产生大量粉煤灰，包括除尘器收集到的飞灰和锅炉底的炉渣等，其中含有重金属等累积性有害污染物。煤灰场必须慎重选址，并实行防扬散、防渗漏、防溃堤等措施防止污染物渗入水体，才能有效控制其扩散。但煤灰水坝的破损和泄露事件已经屡见不鲜，对水体、土壤甚至是城区都造成了巨大污染⁸。

图1：煤炭生命周期主要阶段用水需求

1) 采矿活动

首先要抽干大量的地下水，才能进行采煤作业。煤矿泥浆会渗入当地的水源。酸性矿井水的排出则是造成长期且极难治理的地表及地下水污染的罪魁祸首。

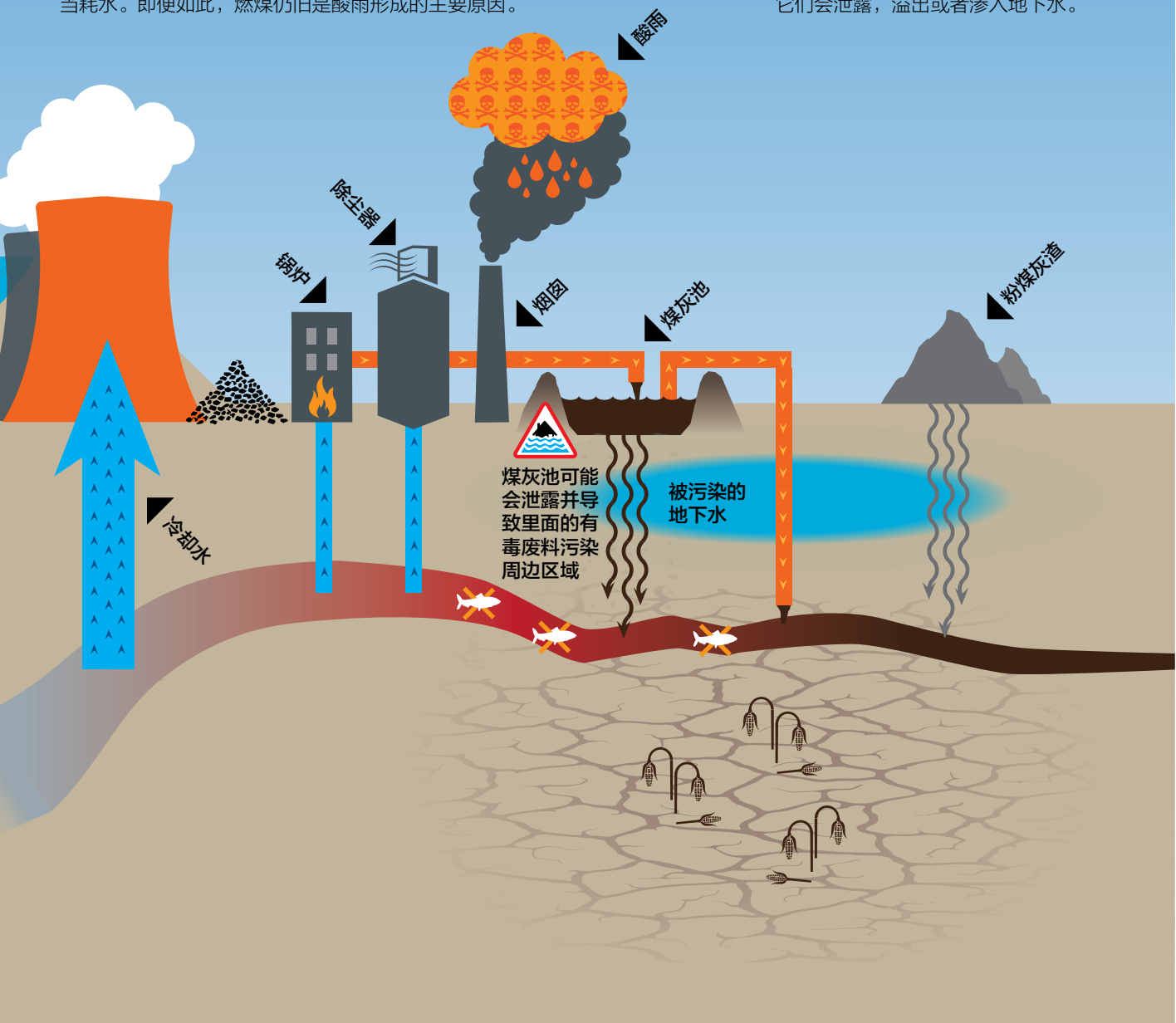


3) 电厂

燃煤电厂需要用水作冷却，运转汽轮机以及冲洗煤灰。一个使用直流供水冷却方式，装机容量为500兆瓦的燃煤电厂每3分钟就会抽干一个奥林匹克规模的泳池蓄水量。脱硫、脱硝、脱汞、除尘等大气污染防治技术也相当耗水。即便如此，燃煤仍旧是酸雨形成的主要原因。

4) 废物

煤炭的燃烧会产生大量的有毒废物，这些废物通常被储藏在煤灰池和粉煤灰渣场。这些燃煤废物的储存对当地社区和水源的危害是持续性的，因为它们会泄露，溢出或者渗入地下水。



来自燃煤电厂的大气污染物对水体有严重影响。硫排放会造成酸雨和湖体酸化，水银等重金属也会积累在鱼体内。即便通过脱硫、脱硝、除尘等大气污染防治技术从煤炭中去除这些污染物，整个过程也会增加淡水的需求量。除尘器是为了减少大气污染，但污染物并不会消失殆尽，这些防治技术会进一步增加煤灰中的有毒元素。水银等污染物及其他重金属积累在煤灰中，会形成有毒废料贮存的长期性问题，而一旦渗漏出去，水体也面临着被污染的风险。

即便取出的水未能在冷却过程中全部用完，最终返回到水系当中，其水质也会降低。在计算水耗时，通常都

没有将水质恶化的问题考虑在内。即使严重污染的疏干水被排入水体，质量已经差到无法再作他用，也都被计为再循环水。同样，污水一旦被返还，会污染其他大水体，加剧用水危机。尽管如此，在对此问题进行前期调研时，本研究团队未能找到能够将煤炭产业造成的污染和用水需求规划结合起来进行评估的量化分析框架。

本研究重点评估了单个流域中已运行和规划中的燃煤电厂的取水量与耗水量（后文统称为用水需求），煤炭开采的用水需求也按国家为单位进行了模型计算。

方框1：本报告中水的相关定义

取水量 (Water Withdrawal) 是指为了满足冷却、除尘或煤炭采选等需求而从水系中提取的水的总量。

耗水量 (Water Consumption) 是指总取水量与最终返回原水系的水量之差，也即在冷却或煤炭开采时，因为蒸发或在其他过程中流失的、不会返回原水系的水量。

用水需求 (Water Demand) 是耗水量与取水量的统称。

可用蓝水 (Available Blue Water) 是指流域水资源被开发前，可供使用的所有地表淡水总量，并不包括地下水。

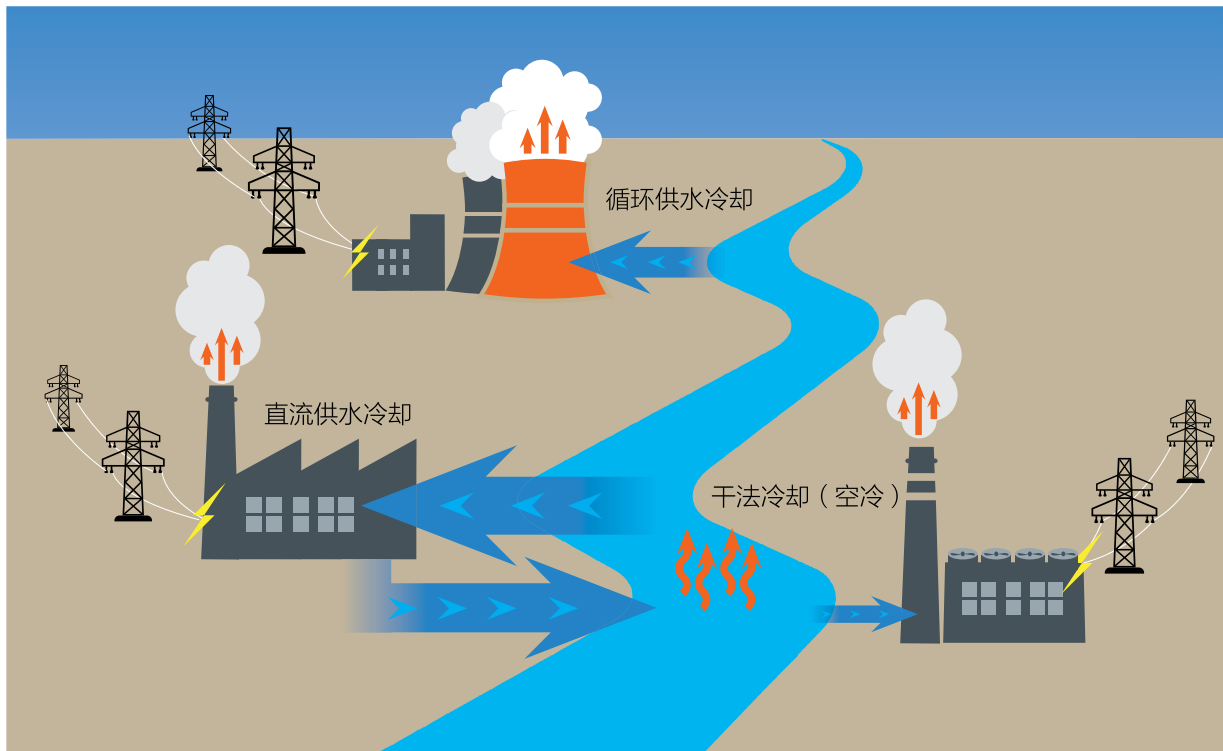
基线水压力 (Baseline Water Stress) 是指为满足人类需求的总取水量 ($m^3/年$) 与可用蓝水量 ($m^3/年$) 之比，世界资源研究所的“水道”水风险分析工具就采用了这一计算方式 (Gassert, 2014年)。水资源压力

的程度分为低 (<10%)、低到中 (10-20%)、中到高 (20%-40%)、高 (40%-80%) 和极高 (80-100%) 五个等级。本项研究的报告还获得世界资源研究所“水道”团队的许可，添列了水资源过度开采 (>100%) 即“过度取水 (over-withdrawal)”这一等级。

流域 (Catchment) 是指雨水积累形成地表水，并最终汇集成同一排水点的集水区域。流域有主流域和子流域之分，子流域会将水排放到主流域——比如主要河体当中。

集水区 (Watershed) 被美国环保局定义为“一片土地之下或从该土地排放出的所有水汇集在相同地方，这片土地被称为集水区。”⁹

图2：主要冷却技术用水示意图



循环冷却系统在再循环过程中对冷却水进行再利用，而不是立即将其排放到原来的水源当中。最常见的情况是，循环冷却供水系统利用冷却塔将水暴露在外界空气当中。一些水分蒸发后，剩余的水被输送回发电厂冷凝器中。此系统的取水仅用来补充在冷却塔中被蒸发的流失水量，尽管其取水量要远小于直流冷却系统，但耗水量明显要高。该系统是全球范围内冷却系统的首选，有近一半的燃煤电厂都采用这种系统。一家装机容量为500MW的次临界燃煤电厂每年的取水量约为1000万立方米，耗水量约为840万立方米¹⁰。

直流冷却系统从附近水源取水（例如河流、湖泊、含水土层或海洋），通过管道对水进行循环，以吸收来自冷凝器系统中水蒸汽的热量，然后再将吸收了热量的水排放到当地水源中，其中部分在蒸发过程中流失。这种冷却系统取水量大，但耗水量相对较少。这种系统常见于沿海发电厂（用海水进行冷却）、年代较远的内陆发电厂或附近有充分淡水供给的发电厂。有近40%的燃煤电厂采用这类冷却方式，其中有一半使用海水，另一半使

用淡水。一家装机容量为500MW的次临界燃煤发电厂每年的取水量约为5亿立方米，耗水量约为290万立方米¹¹。一家装机容量为500MW，用海水进行冷却的发电厂每年也需要140万立方米的淡水，供脱硫脱硝除灰等大气污染防治、弥补循环蒸汽、处理煤灰之用¹²。

干冷或空冷是以空气而不是水为媒介，来吸收气液冷凝过程中的热量。潜在热量通过冷凝器密封墙壁消散到大气中。这是一种相对较新也较为昂贵的冷却系统，专为一些干旱地区的火电厂研发。干式冷却很易受高温影响，温度高时冷却效率会大大降低。采用干式冷却的发电厂仍然需要大量淡水洗涤大气污染物，取水量相当于循环冷却系统的20-25%。一家装机容量为500MW的次临界燃煤电厂每年的取水量约为200万立方米，耗水量约为170万立方米¹³。

这些数字仅能大致说明不同类型冷却技术取水量与耗水量的规模。各个国家间的区别很大。



图 2015年12月，中国陕西省境内的窟野河，近二十年的煤矿开采是造成河水断流的最主要原因。

©念山/绿色和平

对煤炭产业用水需求建模

03

本研究分析主要是基于对全球范围内已运行和规划中的燃煤电厂（截至2013年）及硬煤和褐煤开采的取水量和耗水量（后文统称用水需求）的模拟¹⁴。绿色和平国际委托荷兰工程咨询公司Witteveen+Bos研发了该模型，并以此评估了全球范围内煤炭产业的每个工厂的淡水使用情况。结合模型分析结果，利用世界资源研究所的“水道”水风险分析工具（2015），绿色和平国际和Witteveen+Bos共同利用地理空间分析，对煤炭产业地表淡水资源需求所产生的影响进行了研究¹⁵。

在分析过程中，本研究首先确定了全球已运行和规划中的燃煤电厂的地理位置，再根据各国煤炭水耗研究文献分析估测了这些电厂的用水需求，然后就这些已运行或规划中的燃煤电厂对其所在集水区可用水的影响进行了估算。截至2013年底，全球已运行的燃煤电厂装机容量共1811吉瓦，规划或在建装机容量为1300吉瓦。本研究列出了受影响最严重并亟需干预措施的水域，即红名单地区。最后，本研究评估了不同的政策措施能够节约多少燃煤电厂需水量，以及从多大程度上从广度和深度上减缓水资源危机。

研究方法

本研究涵盖了全球所有涉及煤炭开采和（或）燃煤发电的国家。研究方法以寿命周期分析（Life Cycle Analysis, LCA）为基础，利用区域影响分析的方法评估煤炭采选和燃煤电厂的用水以及对当地水资源的影响。

研究方法包括以下五个步骤：

步骤1 - 资料收集和文献综述：这一步包括选择合适的数据库，收集已运行和规划中的燃煤电厂及其地理位置等数据信息。需要详细查阅重点的煤炭生产和消费国家的法律法规和行业标准等相关文献，从而对冷却技术、取水量和耗水量估值进行差距分析，并基于最佳可用信息得出结论。鉴于中国和印度的已运行及规划中的燃煤电厂占全球总量的比例极大，本研究特别关注了这两个国家的用水需求。

步骤2 - 计算2013基准年中已运行的燃煤发电的用水需求：这一步包括两部分，第一部分是对所有已运行的燃煤电厂的年用水需求进行逐个计算。第二部分根据公开的全国硬煤和褐煤开采量计算煤炭采选的用水需求。将这两个部分加总得出2013基准年全球煤炭产能用水需求。

步骤3 - 计算规划中燃煤电厂的用水需求：为估测未来用水需求，逐个计算规划中的燃煤电厂的用水需求。

步骤4 - 地理空间分析：本研究利用世界资源研究所的“水道”水风险分析工具2.1版¹⁶进行基线水压力评估。该工具提供了详细的全球用水需求和可用水数据；其数据开源、完善且提供了方便的在线制图工具。以“水道”水风险数据地图为基础，本研究汇总了各子流域的煤炭行业用水需求，并重点评估了燃煤电厂所在流域当前的水资源压力等级。研究还分析了已运行和规划中的燃煤电厂用水需求所占的比例，并以地图的方式呈现出来。

步骤5 - 研究发现：通过将模型计算结果与地理空间分析相结合，从而计算出上述重点研究领域的用水量。

本研究中煤炭产业生命周期每个阶段的用水率都有三类估值：中位数、最小值和最大值。值得注意的是，梅尔德伦等（Meldrum，2013）曾指出“考虑到已运行的技术水平和研究条件等因素，文献中的最小和最大值可能并不能反映真实水平。”尽管如此，这些数值仍能为这项全球研究中的用水计算提供有价值的范围。

方框2：数据来源

- **基本数据：**（a）发电厂具体信息：普氏能源公司（PLATTS）是该研究的主要数据来源。该数据库提供了发电厂的具体信息，如冷却技术、锅炉类型（次临界或超临界）、装机容量和位置。实地调研、学术文献、新闻文章、行业导则和其他特定技术也用来弥补缺失的信息。（b）发电厂所在地的可用水：信息来自世界资源研究所的“水道”水风险分析工具数据2.1版。假设未来短期内蓝水的可用性与基准年的数值相同。c) 截止2012年底的煤炭开采数据来源于美国能源情报学会（Energy Information Administration），美国政府以及《中国能源统计年鉴—2013》。
- **发电厂运行数据：**容量系数（每年的设备利用小时数）、耗水率（发电厂每千瓦时的用水量或每开采一吨煤的用水量）的数据来源包括国际能源署《世界能源展望》（IEA World Energy Outlook）报告、各国国家能源统计数据和相关学术文献。

方框3：“过度取水”意味着什么？

基线水压力大于100%时表示，该流域上人类的取水速度超过了水资源恢复速度。这意味着，该流域当前只能依靠跨流域调水或使用地下水，否则便面临着枯竭的危险。世界资源研究所对此这样解释：“这意味着该流域需要依赖地下水、跨流域调水和海水淡化，而且更容易面临干旱威胁。”

水文学家普遍认为，取水率超过40%时，当地就面临着高水平的水压力，可对生态造成严重影响¹⁷。当取水率超过100%，即“过度取水”的状况下，人类的用水需求本身已超过了可再生水资源总量，正在透支地下水等存储。用于供养地表植被、维持水生生态系统、冲刷河流沉积物污染物以及其他维持生命必要需求的生态用水便开始匮乏。“过度取水”也将使子流域处于一种危险情况：

- 人们不得不为获取可用水而竞争，不得不利弊权衡，选择将有限的水源用作粮食生产、工业活动、能源、生态系统维护还是饮用和卫生。

- 缺水地区会依赖地下含水层等储备水源，然而往往没有关于储备水量的可靠数据。地下水含水层恢复率一般比地表水体慢得多。视水源地水文情况而异，恢复到原来的蓄水量可能需要几十乃至上千年的时间。在现实中，这意味着，地下水一旦枯竭即等于长期地丧失了水源¹⁸。
- 过度开采地下水资源可导致地面严重沉降（从而更容易致使洪水泛滥）以及沿海地区地下水的盐碱化。在欧洲，这也是盐水入侵蓄水层的主要原因¹⁹。
- 集水区储备水量减少，该地区的水资源更易遭受季节和年际供水变化的影响，而气候变化对两者的影响都很显著，该流域复原能力也将减弱。
- “过度取水”地区更易受污染危害。干旱（季节性或多年期干旱）将减少河流流量甚至促其断流。水量减少而污染物数量不变，会对水生系统造成严重破坏，或者造成土壤污染。



图 2012年6月，中国内蒙古自治区，
采矿留下的塌陷大坑。

©卢广/绿色和平

研究发现

04

通过上一节所列出的方法，本研究在全球范围内对煤炭产业的淡水用量进行了逐个详细评估。这项研究涵盖了对截至2013年底煤炭产业用水需求的评估，以及2668个规划煤电机组未来运行后可能造成的额外用水需求的评估。

为了评估的准确性，本研究采用了世界资源研究所的全球基线水压力分析。“基线水压力”的定义是“人类活动取水总量和可用蓝水资源可用量之比”。水压力被分为不同等级，从程度较低到极高再到“过度取水”。

接下来，本研究对全球范围内已运行和规划中的燃煤电厂进行定位并绘制了地图，包括截至2013年底，8359个已运行煤电机组（装机容量为1811吉瓦）和2668个规划煤电机组（装机容量为1300吉瓦）。

全球煤炭产业每年使用多少淡水？

本研究计算表明，2013年，全球煤炭产业每年的淡水消耗量（中位数）约为227亿立方米，而取水量（中位数）约为2810亿立方米。开采硬煤和褐煤的耗水量约占煤炭产业总耗水量的16%²⁰。燃煤电厂的用水量占比最大，如下表所示，其耗水量为整个行业耗水量的84%，取水量为90%。

世界卫生组织（WHO）表示，50至100公升水是每人每天的基本所需²¹。若以人类标准来衡量煤炭产业的用水量，以每天50公升为最低限度，则每人每年用水需求为18250升或合18.3立方米。煤电厂每年在全球消耗190亿立方米的水。**这意味着，全球8359个已运行煤电机组每年所消耗的水量竟超过10亿人的基本用水需求。**如果再加上用于开采硬煤和褐煤的用水量，这一数值将飙升至每年227亿立方米，足以满足12亿人一年最基本的用水需求。

表1: 全球燃煤发电总淡水用量——2013年为基准年

	装机容量 (GW) /煤炭产量 (百万吨, Mt)	耗水量(亿 m ³ /年)			取水量(亿 m ³ /年)		
		中位数	最小值	最大值	中位数	最小值	最大值
燃煤电厂	1811.45 GW	190.55	146.22	267.14	2552.02	1602.31	3652.61
硬煤生产	6357.43 Mt	32.38	9.81	132.94	32.38	9.81	132.94
褐煤生产	2037.79 Mt	4.07	1.10	10.74	229.12	171.84	286.40
总用水量(2013)		227.00	157.13	410.81	2813.52	1783.96	4071.95

如果所有的规划燃煤电厂都运行起来，全球用水需求将增加多少？

如前所述，2013年底全球共有8359个在运行的煤电机组（装机容量1811吉瓦）和2668个规划煤电机组（装机容量1300吉瓦）。这就意味着，规划的装机容量与现在运行的装机容量相比将增长约70%。如果这些燃煤电厂全部运转，取水量预计增加320亿立方米/年，耗水量预计增加170亿立方米/年。尽管新建燃煤电厂的取水量将大大低于

目前运行的燃煤电厂，但其耗水量却会增加90%。结果表明，使用冷却塔的循环冷却技术已占据主导地位，这种冷却方式比直流冷却系统的取水率低了不少。然而，使用冷却塔则意味着耗水率提高——因此，燃煤电厂取水率降低，却增加了取水量中的用水比例。**结果就是，如果所有的新建燃煤电厂都按照规划的冷却技术上线运行的话，耗水量将几乎翻一番——从190亿立方米上升到360亿立方米。**

表2: 全球燃煤电厂总用水量——已运行装机量（2013年底）和规划装机量

	装机容量 (GW)	耗水量(亿 m ³ /年)			取水量(亿 m ³ /年)		
		中位数	最小值	最大值	中位数	最小值	最大值
全球总量							
已运行	1811.45	190.55	146.22	267.14	2552.02	1602.31	3652.61
规划中	1294.60	172.00	141.52	216.81	316.95	255.78	377.18
总量		362.56	287.74	483.95	2868.97	1858.08	4029.79

本研究重点评估了处于规划和审批各阶段以及已运行燃煤电厂所造成的影响，而非对未来煤电装机容量的抽象预测。用这种方法评估煤炭产业对水资源的压力更准确，操作性也更强。

然而，目前已有的规划中的燃煤电厂名单并不能完整反映未来需求——新的煤电项目在不断规划中。这些用水需求迫切、高耗水的行业集中在缺水地区，会进一步恶化这些水资源已经很紧张的地方的状况。

全球近一半燃煤电厂已经建于水资源短缺的地区

结果显示，44%的已运行燃煤电厂和45%的规划燃煤电厂已经或将要建在“水压力”程度高乃至极高的地区，其中许多已达到“过度取水”的等级。处于这些水压力等级情况下的地区，其生态系统一般都会受到严重的影响。

由于来自不同用水者的用水需求都很高，已运行和规划中的燃煤电厂所在地区已有四分之一面临着“过度取水”的威胁。下表详述了表现出不同程度基线水压力的地区已运行和规划中的燃煤电厂的百分比：

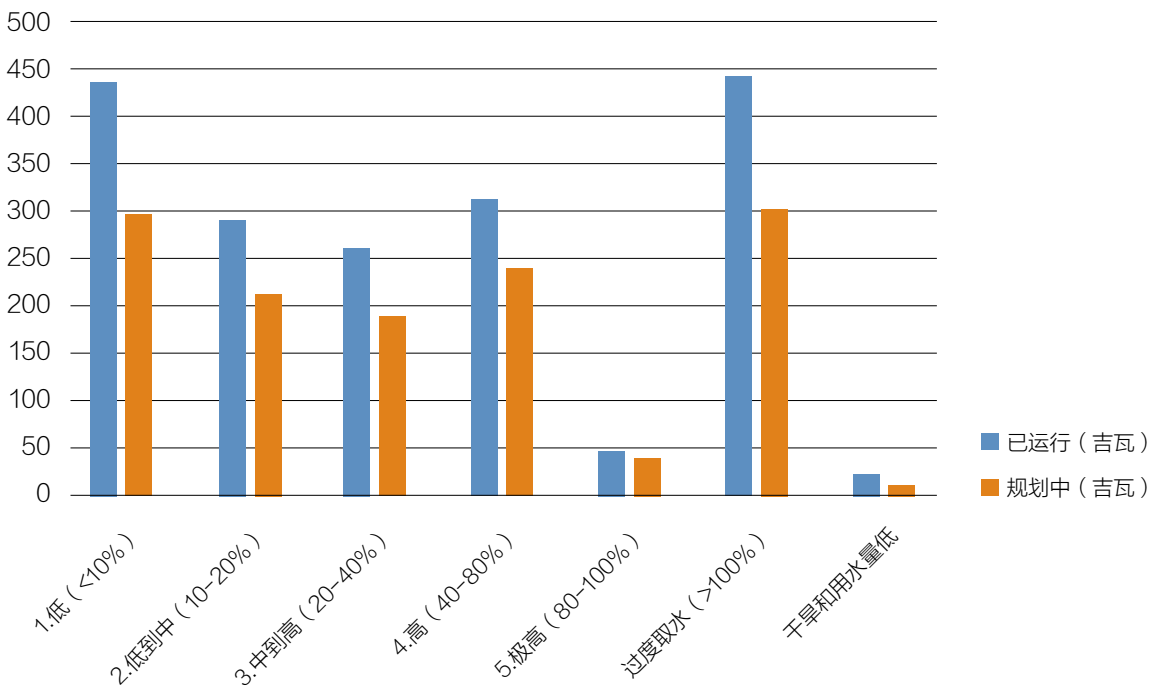
表3：已运行和规划燃煤电厂所在地区的基线水压力程度


基线水压力等级	已运行装机容量(GW)	%	规划装机容量(GW)	%
1. 低(<10%)	436	24%	295	23%
2. 低到中 (10–20%)	287	16%	214	17%
3. 中到高 (20–40%)	261	14%	189	15%
4. 高(40–80%)	312	17%	240	19%
5. 极高 (80–100%)	50	3%	41	3%
过度取水 (>100%)	438	24%	295	23%
干旱 及用水量低	27	2%	22	2%
无数据	0.204	0%	0	0%
总计	1811		1295	

取水率超过40%时，就属于基线水压力“高”，一般这种情况也会对生态系统有严重影响。基线水压力程度“极高”意味着人类活动取用了超过80%的水。“过度取水”也属于基线水压力“极高”的范畴，表明基线水压力程度已经超过了100%，意味着人类用水需求已超过当前可用水总量。

下图根据装机容量详细展示了已运行和规划中的煤电厂在不同基线水压力等级中的分布。其中，800吉瓦已运行的燃煤电厂和576吉瓦规划中的燃煤电厂已经或将要建于基线水压力程度“高”或“极高”乃至“过度取水”地区，当地生态系统受到严重威胁。其中，438吉瓦已运行燃煤电厂和295吉瓦规划中的燃煤电厂已经建于“过度取水”地区，其中有四分之一地区的耗水速度都至少比当地水源再生速度快五倍。

图3：面临不同程度基线水压力的已运行燃煤电厂和规划中的燃煤电厂装机容量分布



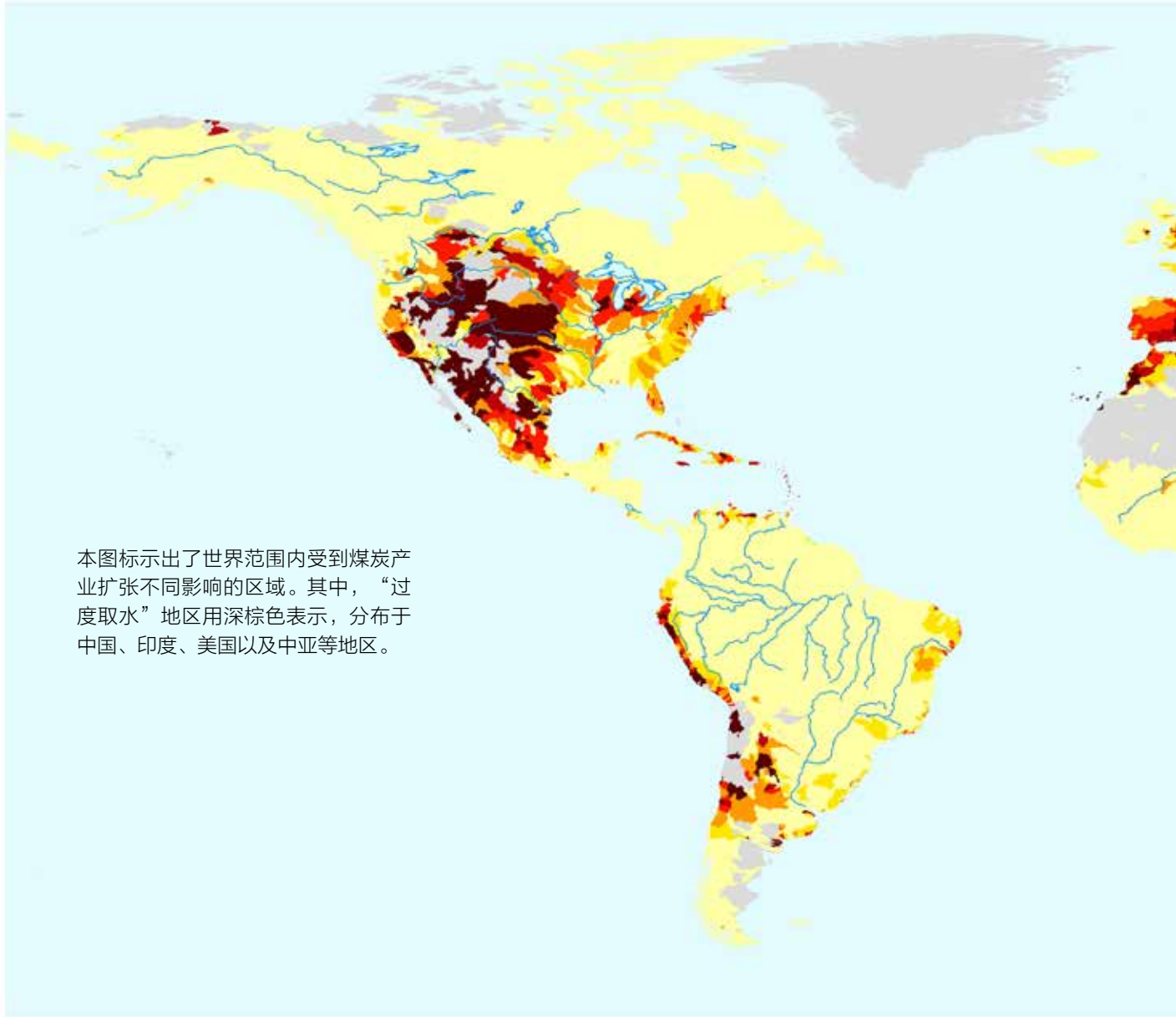


“由于来自不同用水者的用水需求都很高，已运行和规划中的燃煤电厂所在地区已有四分之一面临着‘过度取水’的威胁。”

图 2013年6月，中国内蒙古自治区，干涸的农田。

© 邱波/绿色和平

全球水压力



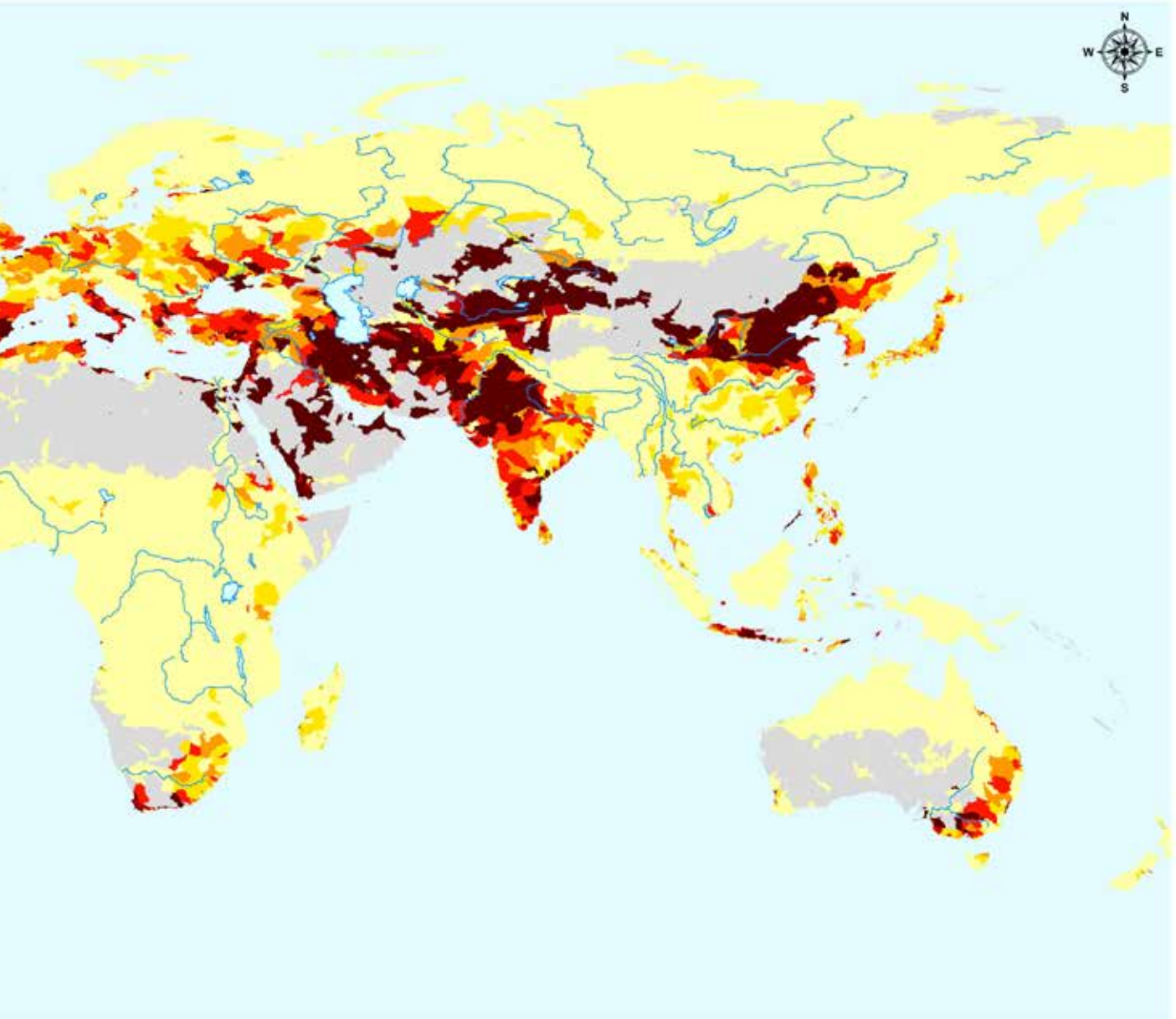
图例

基线水压力等级

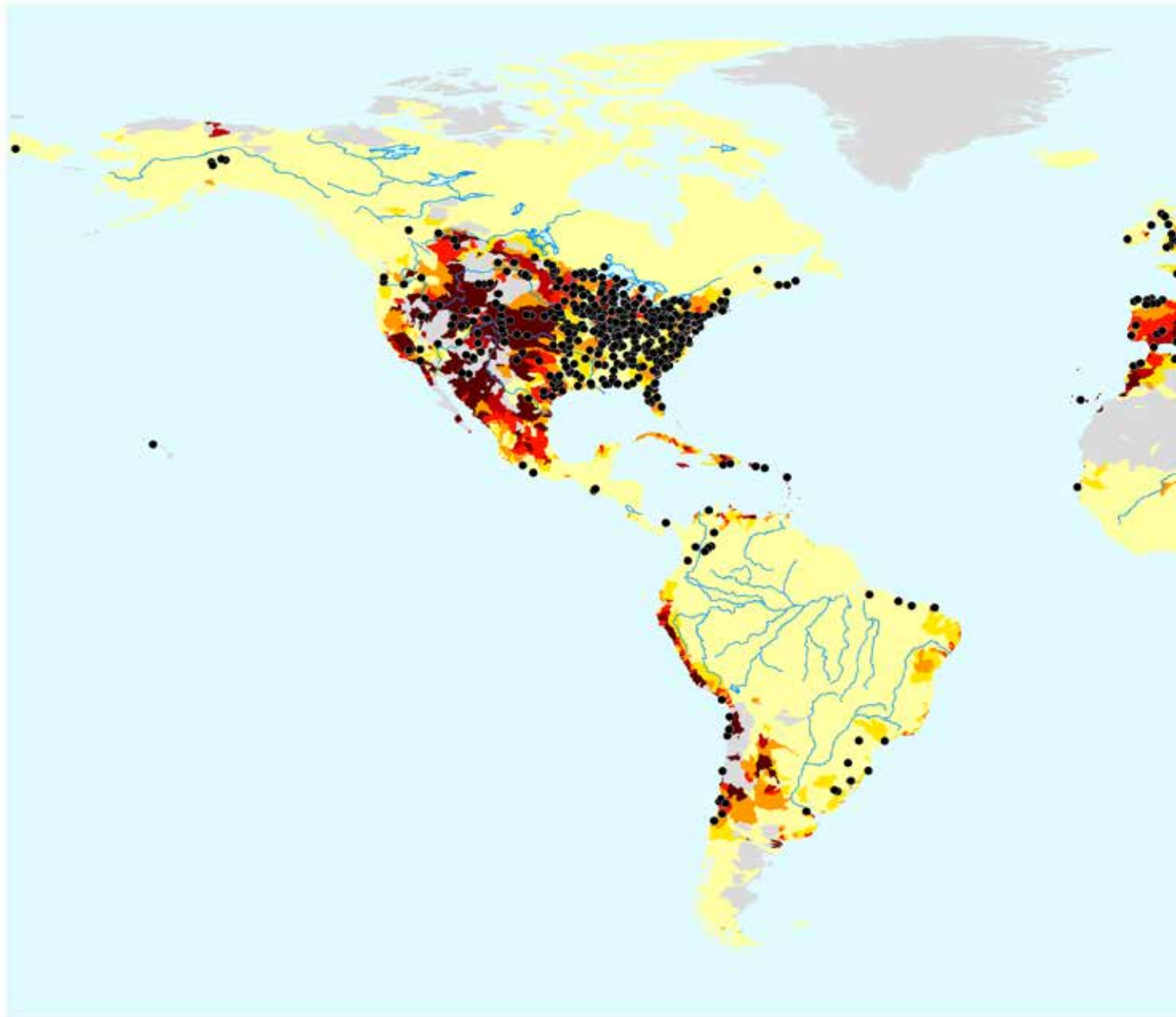
- | | |
|----------------|----------------|
| 1.低 (<10%) | 4.高 (40-80%) |
| 2.低到中 (10-20%) | 5.极高 (80-100%) |
| 3.中到高 (20-40%) | 6.过度取水 (>100%) |
| | 干旱和用水量低 |

- 河流
湖泊

图4：全球基线水压力分布图（红色代表基线水压力等级高或极高，深棕色代表“过度取水”）。



全球水压力



图例

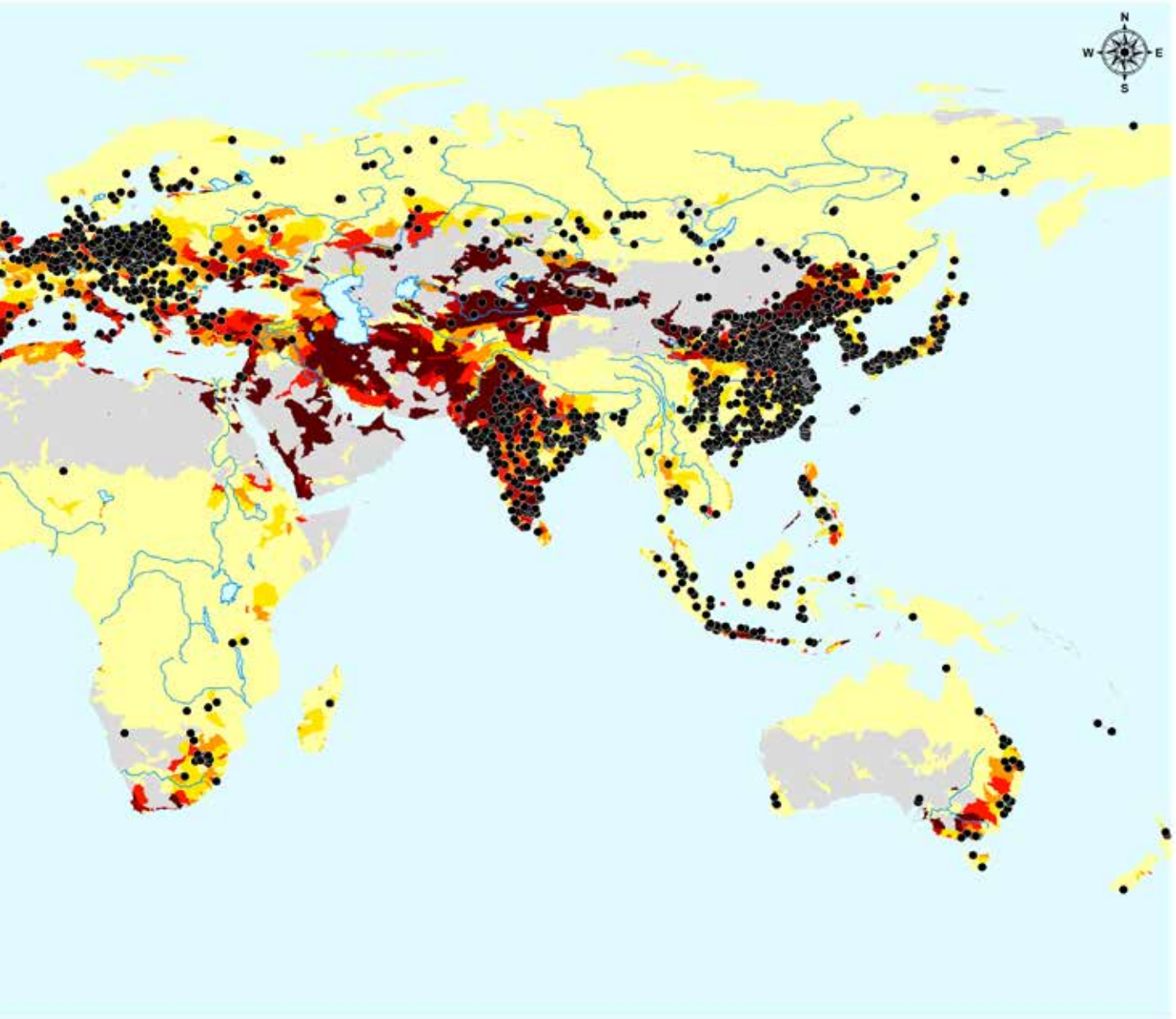
基线水压力等级

- 1. 低 (<10%)
- 2. 低到中 (10-20%)
- 3. 中到高 (20-40%)

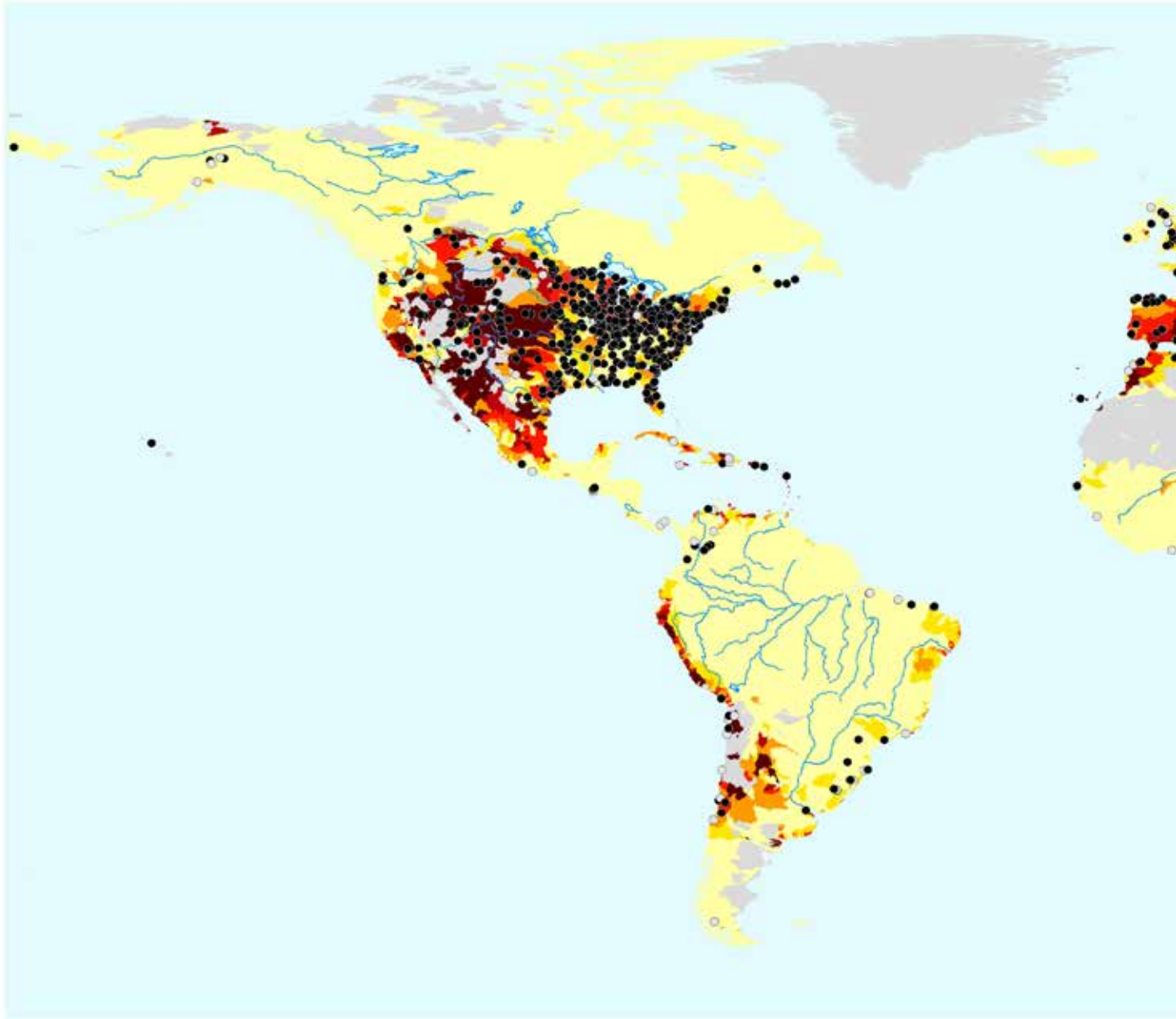
- 4. 高 (40-80%)
- 5. 极高 (80-100%)
- 6. 过度取水 (>100%)
- 干旱和用水量低

- 河流
- 湖泊
- 已运行燃煤电厂

图5：全球基线水压力与燃煤电厂分布重叠图



全球水压力



图例

基线水压力等级

- 1. 低 (<10%)
- 2. 低到中 (10-20%)
- 3. 中到高 (20-40%)

- 4. 高 (40-80%)
- 5. 极高 (80-100%)
- 6. 过度取水 (>100%)
- 干旱和用水量低

- 河流
- 湖泊
- 已运行燃煤电厂
- 规划中燃煤电厂

图6：全球基线水压力与已运行和规划中燃煤电厂分布重叠图

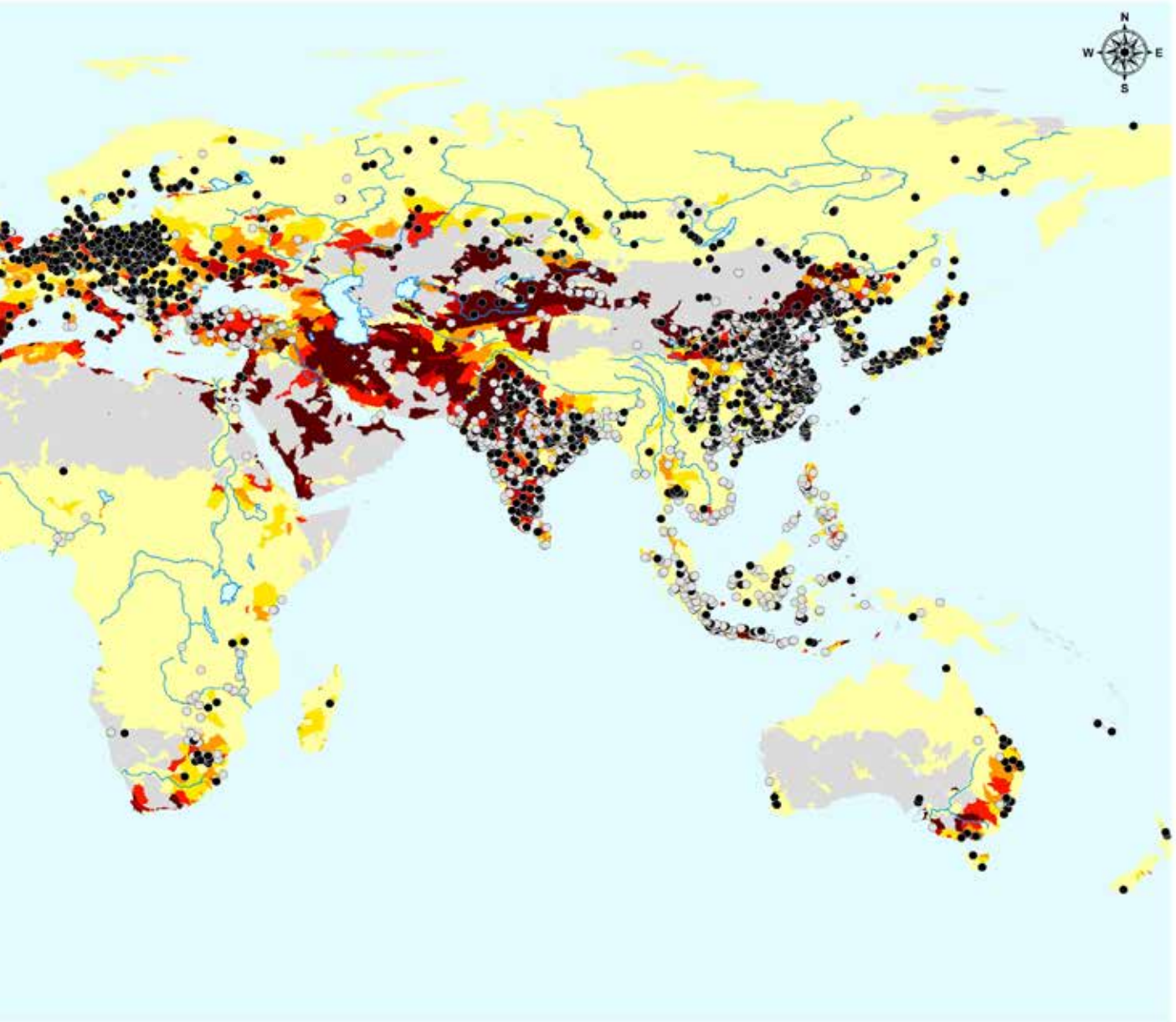




图 2012年3月，印度马哈拉施特拉邦（Maharashtra），
燃煤电厂旁干涸的农田。

© Vivek M./Greenpeace

“过度取水”情况普遍且严重，特别是在煤炭产业分布地区

本研究的最重要的结论之一是，全球燃煤电厂大量集中的地区，透支取用淡水的现象已十分普遍和严重。这意味着，在许多地区，从水域里提取地表水的速度超过了水体的自然恢复速度，每年消耗的水量超过水体补给总量。

研究发现，建有燃煤电厂的“过度取水”地区，取水率远远高于100%。其中四分之一地区的取水率都超过了500%，十分之一地区的取水率甚至超过了1000%。这意味着，用水速度远远超过水体恢复速度，这些地区将很快陷入干旱。1000%的基线水压力意味着，人类在该地区每年取用的水量是十年的补给总量。

“过度取水”对水体产生的影响根据实际情况而有所不同。其中一部分水将被永久消耗，还有一部分会返还到

水体中，但返还地不一定是取水地，也有一部分水遭到污染，无法作其他用途使用。此外，地下水使用和跨流域调水也会掩盖供水和需水之间的不平衡的真实情况，倘若这些存储水源也枯竭，将出现突发的用水危机。

值得注意的是，“水道”模型中许多基线水压力程度为“低”的地区并非水源丰富，未来也不乏有水源枯竭的可能，这些地区只是用水需求低、人口稀少或工业不发达，因而可用水只是处于尚未被利用的状态。“干旱和用水量低”的地区同样如此。这些地区中，如果城市、农业或工业发展加快，用水需求急剧增加，用水紧张程度也将明显升高。

总体而言，本研究发现，截至2013年底煤炭产业取水量约占全球总取水量的6.8%。然而，如果就燃煤电厂所在的流域而言，煤炭产业取水量的比例更高，达到11.2%。若规划的燃煤电厂投入运行，这一比例将达到12.6%。

方框4：对流域概念的解释

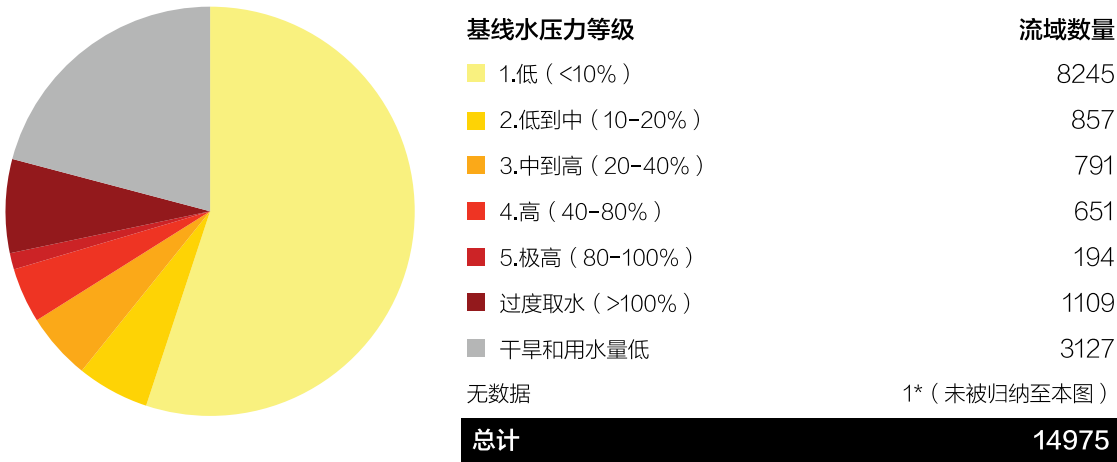
本报告中所提到的流域是指能将所有降雨汇集成地表水，并最终形成同一排水点的水域。流域有层级之分，含有子流域，例如最终汇入主流域（如主要河

体）的河流支流。子流域是本报告用于分析某水域水压力程度和煤炭产业影响的主要地质区域。

图7显示了基线水压力等级的子流域分布：第一张图显示了全球水压力等级分布，第二张图显示了燃煤电厂所在地区的水压力等级分布。与全球所有水域相比，已运行和规划中的燃煤电厂所在水域出现了更多“基线水压力

程度高”和“过度取水”的情况。这一现象可以理解，因为燃煤电厂通常建在人口密集区域，能源密集型工业活动较多，用水需求也往往较高。

全球基线水压力类别分布图



燃煤电厂所在地区的基线水压力类别分布图

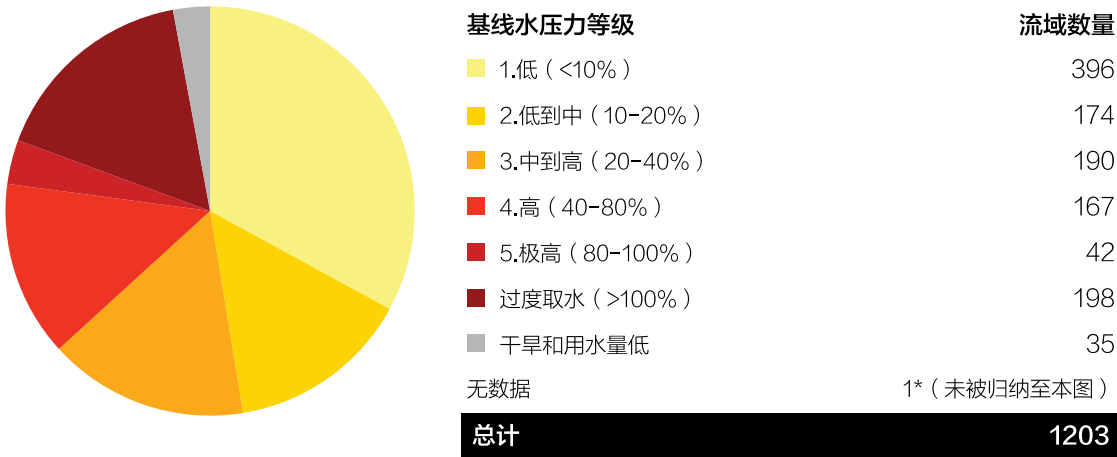


图7：已运行及规划中燃煤电厂分布地区的水压力高于全球平均水平

已运行燃煤电厂位于哪些“过度取水”地区？

当前燃煤电厂的分布状况令人担忧。全球有四分之一的已运行燃煤电厂（690家，装机容量共为453吉瓦）位于“过度取水”地区（当地基线水压力超过100%），分布在21个国家。本报告称之为“红名单”地区。在红名单地区拥有燃煤电厂数量最多的前几个国家分别是中国、印度、美国和哈萨克斯坦，顺序按装机容量排名。通过地理位置分析，发现中国45%的已运行燃煤电厂（358吉瓦）和印度24%的已运行燃煤电厂（36吉瓦）都位于“过度取水”的红名单地区。排名第三的美国有6.8%（22吉瓦）的燃煤电厂位于此类区域²²。

红名单地区内燃煤电厂的相关资料可在绿色和平官网下载：

www.greenpeace.org/thegreatwatergrab

取水过量地区的规划中的燃煤电厂都在哪里？

遍布20个国家的规划燃煤电厂（283家，装机容量共为318吉瓦）有四分之一拟建于“过度取水”的红名单地区，当地基线水压力程度超过了100%。在红名单地区规划建设煤电装机容量最高的前五个国家分别是中国（237吉瓦）、印度（52吉瓦）、土耳其（7吉瓦）、印度尼西亚（5吉瓦）和哈萨克斯坦（3吉瓦）。中国有48%的规划燃煤电厂都在红名单地区，印度和土耳其有13%，印度尼西亚有12%²³。

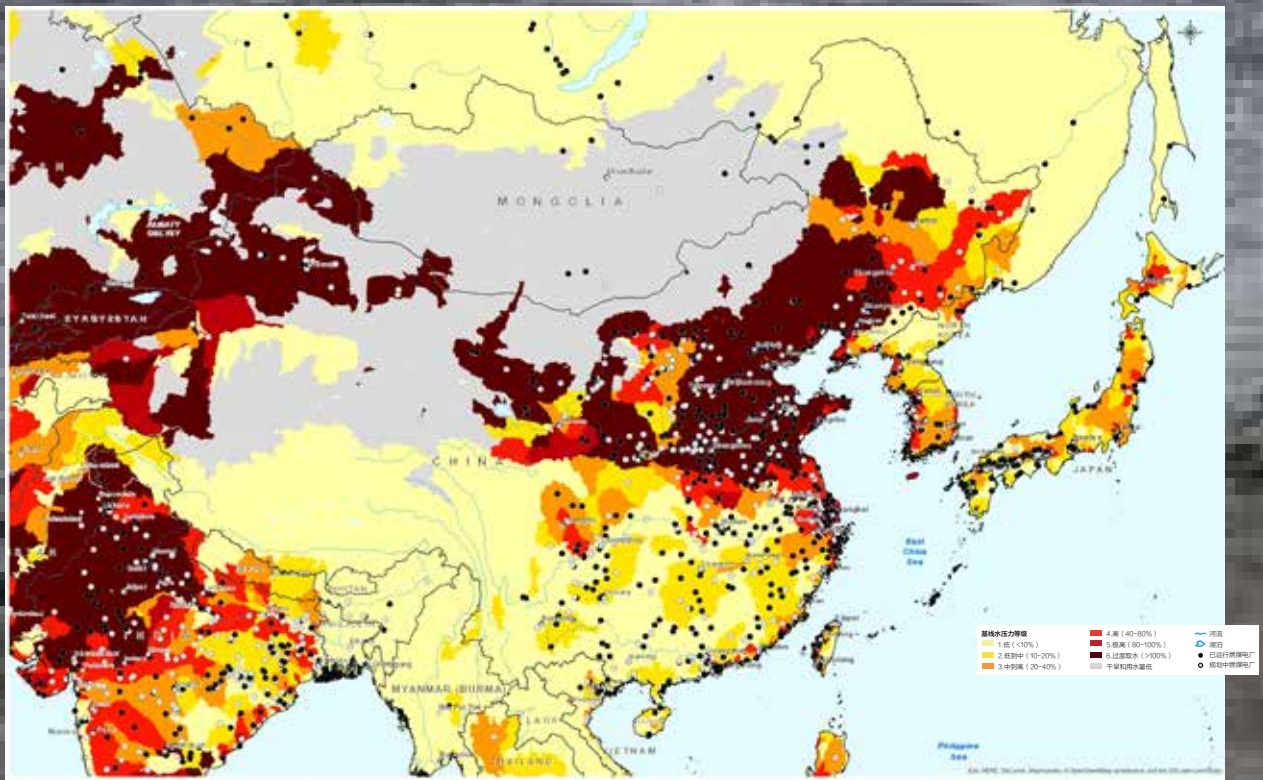
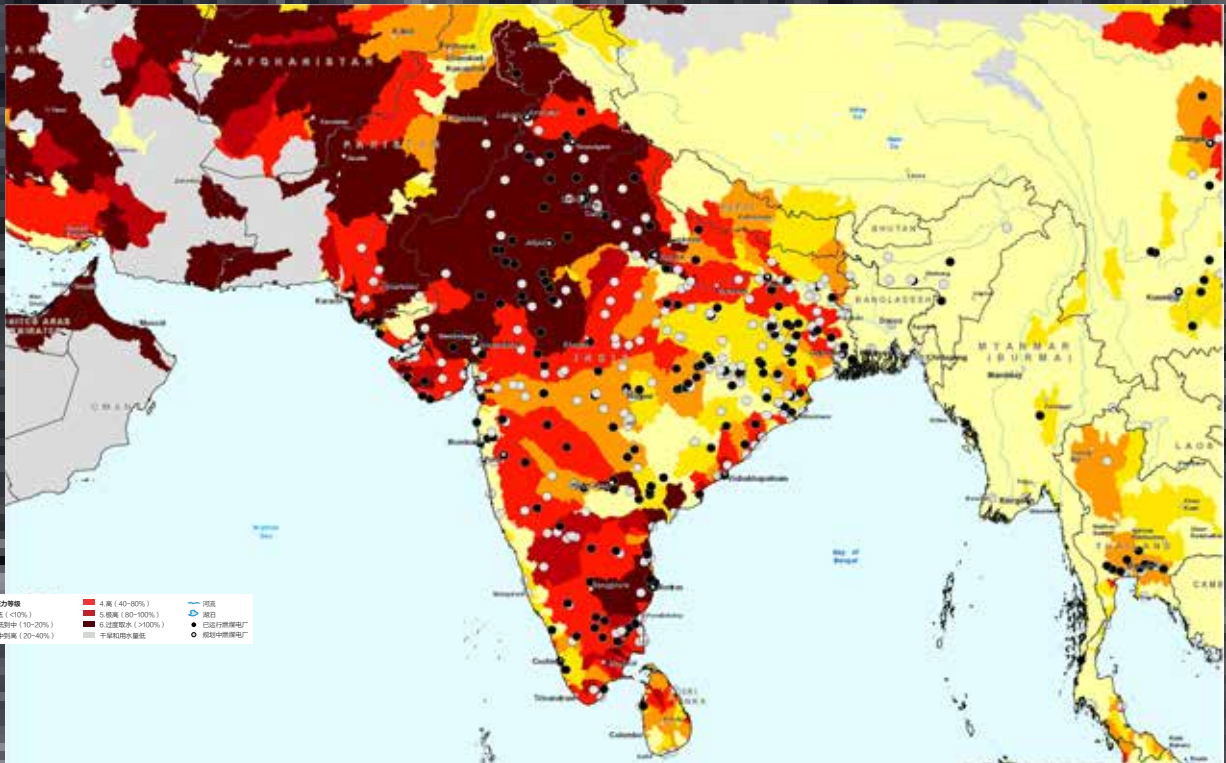
红名单地区内燃煤电厂的相关资料可在绿色和平官网下载：

www.greenpeace.org/thegreatwatergrab

本研究以强有力的证据表明，水资源的未来岌岌可危，且具有极高的不可持续性。全球约一半的燃煤电厂位于水压力程度高的地区，四分之一的燃煤电厂位于水资源供需失衡地区。规划中的燃煤电厂一旦运行，该地区的耗水量还会上升90%，使未来水资源愈发不可持续。在下一部分，报告将讨论目前处在煤炭产业扩张前沿的国家的现状。

“水资源的未来岌岌可危，且具有极高的不可持续性。全球约一半的燃煤电厂位于水压力程度高的地区，四分之一的燃煤电厂位于水资源供需失衡地区。”

图8：中国和印度基线水压力与已运行和规划中燃煤电厂分布重叠图



国别案例： 煤炭产业不断扩张 引发的用水冲突

05

从粮食安全到能源生产，再到生态系统影响，本报告提到的缺水问题已造成了严重的社会和环境的影响。用水冲突正在以前所未有的规模席卷全球。根据我们在不同国家的工作经验，本报告提供了五个国家用水冲突的实

例，在这些案例中，用水冲突已经威胁到了粮食生产，以及农民和牧民的生计。国民健康受到影响，生态系统遭到威胁，河水流域逐渐干涸，越来越多的燃煤发电厂也不得不被关停。



图 2015年12月，中国陕西省榆林市，煤炭开采导致窟野河流域的地下水位下降，当地农民不得不从离住所很远的地方取水。

©念山/绿色和平

国别案例#1: 南非

煤炭产业扩张重于空气质量与水安全



南非从2015年开始面临着一个世纪以来最严重的干旱，世界银行预测已经有50,000人因此挣扎在贫困线以下²⁴。南非是世界上排名第30位的干旱国家²⁵。其官方发布的《国家水资源战略》报告（National Water Resource Strategy）强调说：“我国绝大多数地区已经或即将用尽经济可承受范围内的所有净水。”²⁶

令人担忧的是，目前南非85%的用电都来自于国有公司 Eskom 的燃煤电厂，该公司还准备大范围扩张煤电装机。最新的燃煤电厂投资瞄准的是本来就缺水的地区，包括林波波省（Limpopo Province）北部的沃特贝格（Waterberg）地区——该地区是联合国教科文组织设立的“生物圈保护区”²⁷。

煤炭扩张带来的灾难还包括对伤害人身体健康、破坏水质和降低可用水量。按照每人每天最少使用25升水的标准计算²⁸，Eskom 公司每秒钟消耗的水就足够一个人用一年。煤炭产业如此耗水，而目前非洲仍有将近100万的家庭没有达到每人每天25升水的标准^{29,30}。水资源如此短缺，以致于Eskom公司以缺水为理由逃避安装空气净化设施，并辩称在水资源匮乏地区，公司无法履行南非新空气质量法³¹。2015年，南非环境事务部允许Eskom延迟5年时间履行国家的最低排放标准。

Eskom是否遵循了空气质量法的问题非常关键，因为它涉及到是否采取了必要手段来保护人们的生命安全不受污染的影响：绿色和平2014年发布的研究显示，据估算，如果Eskom不能达到最低排放标准，其燃煤电厂继续运行还可能导致2万多例过早死亡事件³²。

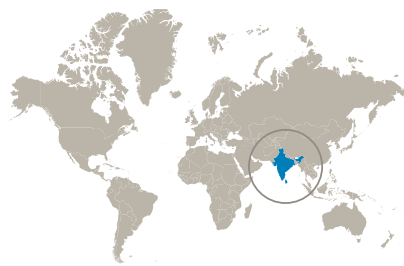
如果Eskom继续像现在这样严重依赖煤炭产能，南非将被迫在空气污染和水资源短缺这两种灾难间做出选择。



图 南非威特班克（Witbank），一位洗煤厂工人。

© Mujaheed Safodien/Greenpeace

国别案例#2：印度

燃煤电厂与农民之间的水资源
争夺战愈演愈烈

印度是个严重缺水的人口大国。据估算，2050年印度的人口总数将达到16亿³³，成为全球人口最多的国家，而该国所拥有的水资源仅占全球的4%³⁴。水压力已经对马哈拉施特拉邦（Maharashtra state）的农民造成了严重影响，当地农业用水和能源用水间存在严重冲突。在连年干旱的情况下，受影响的不仅仅是农民，一些发电厂也因为缺水而关停³⁵。

绿色和平详细分析了马哈拉施特拉邦的维达婆（Vidarbha）地区的水压力情况。绿色和平印度办公室对该地区沃尔塔河和韦恩根格河（Wardha and Wainganga rivers）的可用水量进行研究后发现，政府规划的发电厂未来将分别消耗沃尔塔河40%和韦恩根格河16%的灌溉用水量³⁶。

截至2010年12月，维达婆地区计划新建71家装机容量共达55吉瓦的燃煤电厂³⁷。这意味着，这些燃煤电厂每年将消耗20.49亿立方米的水，足够灌溉约409,800公顷的农田³⁸。当地燃煤电厂占用水资源的问题引发了与农民的冲突，发电厂项目陷入停顿。

多年来，社会、经济和环境等多方面的压力导致马哈拉施特拉邦的农民的生活境况日益窘迫，农民自杀率居高不下（自1995年以来，马哈拉施特拉邦大约有6万农民自杀³⁹）。据位于那格浦尔（Nagpur）的农民权益组织VJAS透露，2013年仅维达婆地区就发生了942起农民自杀事件⁴⁰。同年，官方统计的整个马哈拉施特拉邦的自杀农民人数为3146⁴¹。围绕水的日益激烈的竞争会进一步加剧马哈拉施特拉邦的耕地危机，特别是在干旱年份，对农民和其家庭造成更多压力⁴²。

虽然严重缺水导致了部分发电厂关停、推迟了部分新机组上线，但通过政府公布的“第12个五年计划”可以看出，印度还将继续加深对煤炭的依赖。根据印度中央电力部门的数据，截至2015年12月，有75吉瓦的燃煤发电项目正在建设过程当中。

更重要的是，由于目前还没有针对重要河流流域的现有的水资源可利用量的综合性评估，因此很难对未来水资源情况做出预测。特别就未来水分配问题而言，印度缺乏已运行的燃煤电厂耗水量的最新准确数据，导致无法做出有效决定。



图 2012年5月，印度马哈拉施特拉邦（Maharashtra）的阿姆劳蒂（Amravati），绿色和平和农民在Upper Wardha Dam上抗议。
©Sudhanshu Malhotra/Greenpeace

国别案例#3：土耳其

“煤炭热”加剧土耳其水危机



在土耳其经济高速发展的同时，其能源需求也在不断增长，超过了其他欧洲国家。土耳其的长期能源策略是在2023年前将褐煤使用殆尽⁴⁵，因此国内燃煤电厂处于井喷式发展状态，目前还有超过80座新燃煤电厂正在规划建设当中。单这一政策对本就易遭干旱的区域施加了更大压力。

许多新扩张的发电厂项目都选择建在水资源严重紧张的区域，如马尼萨省（Manisa province）的速马（Soma）和恰纳卡莱（Çanakkale）的坎恩（Can）。煤电项目在这些干旱地区迅猛扩张，燃煤电厂的用水需求不断上升，与其他用水者产生竞争。而且，规划建设在沿海地带的煤电厂若使用海水进行冷却，排放出的冷却废水很可能造成热污染。只有很少一部分发电厂使用了干冷技术。但是，无论是海水冷却还是干法冷却，都需要用到大量淡水，用于洗涤大气污染物。这同样会增加该地区的用水需求。

正在规划的煤电厂中，有一家选址于水压力极高的科尼亚盆地（Konya Closed Basin, KCB）的卡拉皮纳尔镇（Karapınar）。科尼亚盆地被誉为“土耳其的粮仓”，是世界上200个最具生态学意义的区域之一⁴⁶。地下水是该区域唯一的饮用水来源，由于长期干旱和过量农业用水⁴⁷，该地区的地下水位正在以每年一米的速度下降⁴⁸。

而正在规划的煤电项目只会加剧这一问题，在农业用水和居民用水之间造成冲突。更严重是，农业用地的减少（正如科尼亚盆地）将意味着农作物抗旱基因的流失。

缺水的卡拉皮纳尔镇在上世纪六十年代已经发生过一次荒漠化危机，当时当地的全体居民差点要被迫迁徙⁵¹。2011年褐煤矿的发现很可能会让悲剧再次上演。

这片区域如今已没有适合修建大坝的河流或湖泊了。因此，燃煤电厂的唯一可用水源只能是地下水⁵²。而规划中的燃煤电厂所需的冷却水将会进一步耗尽该地区的地下水资源。



图 2014年3月，土耳其东南部的卡赫拉曼马拉什(Kahramanmaraş)，靠近阿夫辛勒比斯坦（Afsin-Elbistan）A、B燃煤电厂的凉水池。
© Umut Vedat/Greenpeace.

国别案例#4：中国

中国“母亲河”在能源与工业的扩张下艰难求存



中国现在面临的资源困境是，有煤的地方一般都缺水。但即便这样，中国也没有停下开发煤炭资源的脚步。中国正在将其煤炭产业集中在14个亿吨级煤炭能源基地，主要进行煤炭开采、燃煤发电和煤化工生产。还有9个煤电基地向东部工业省份供电⁵³。这些煤炭相关产业的耗水量极高，同时也是水污染的主要来源。多数基地都建在相对缺水的地区。中国现在计划在黄河流域的中上游建立三个煤电基地（鄂尔多斯、陕北和宁东）。而这片区域是著名的水资源匮乏地区，煤炭产业的发展导致了该区域内供水无法满足煤炭、农业、城市和自然生态系统的水资源需求。开采地下水在一定程度上掩盖了这些问题，却也导致了这些地区的地下水水位的持续下降。

窟野河是受大规模煤炭产业扩张影响的河流之一。它是黄河的一级支流，其流域内生活着87.8万居民⁵⁴，该流域丰富的煤炭资源带动了煤炭相关产业的迅猛发展。

该地区所处的陕北能源化工基地的燃煤发电被输送至东部省份。能源化工园区在窟野河流域如雨后春笋般拔地而起，延伸至陕西省榆林市神木县。神木是陕北能源化工基地和当地煤炭产业快速发展的中心区域，该县在2011年建成中国西部最大的火电基地，装机容量有6吉瓦⁵⁵。

中国最大的煤田“神府东胜”就位于窟野河上流的陕西省和内蒙古自治区交界处，这块煤田在过去几十年内迅速发展起来。1997-2006年间，窟野河流域的年均煤产量约为5500万吨，2011年已经达到了1.73亿吨⁵⁸。流域缺水的问题在这期间逐渐凸显。自上世纪90年代起，窟野河的径流在急剧减少，枯水期不断延长⁵⁹。从2000年以来，窟野河持续出现严重断流的情况⁶⁰。

《窟野河流域综合规划环境影响报告书》⁶¹指出，在当前工业发展规划下，该流域的需水量和可用水量之间存在着巨大差距，情况堪忧。2010年的用水需求为2.31亿立方米，工业用水占比较大，但实际供水量仅有1.56亿立方米。而且，供需水之间的差距还会持续扩大：到2030年，用水需求将攀升到4.16亿立方米，其中相当一部分用水都和煤炭产业有关，而规划中的供水量只有2.02亿立方米⁶²。

随着窟野河流域的水危机不断恶化，人们不得不重新考虑产业发展规划以避免产生更多环境问题。目前窟野河流域综合规划提出的解决方案是依赖国家大规模、远距离的水资源调动，有可能是从黄河干流调水，也可能是通过南水北调计划。

国务院办公厅2014年印发《能源发展战略行动计划（2014-2020年）》⁶³，提出要在2020年将煤炭消费量控制在42亿吨以内。事实上，中国的煤炭产量和消费量自2014年以来已有所下降，这是一个好兆头。2016年2月，为了削减煤炭行业过剩产能，国务院宣布在2019年底之前原则上不再审批新的煤矿⁶⁴。然而，考虑到中国现有基地的巨大规模，控制煤炭产能并非易事。而且中国政府仍在不断批准新建燃煤电厂，尤其是审批资格下放到省级政府后更是如此。很多规划中的煤电项目都处于中国最干旱的几个地区⁶⁵。目前中国的燃煤电厂每年要消耗74亿立方米的水。另外，耗水量巨大的煤化工产业的规模还在增长中。干旱地区的河流流量已经严重缩减，经常发生季节性干旱，煤炭产业的进一步扩张可能会成为导致生态系统崩溃的最后一根稻草。像农业这样需水量大的产业的未来供水形势可能会变得十分严峻。为了避免处于最干旱地区的煤炭基地的水危机进一步恶化，中国需要制定更严格的煤炭消费上限。



国别案例#5：波兰

世界上最依赖煤炭的国家急需 能源政策重置

波兰有85%的能源产自燃煤发电⁶⁶。波兰已运行的燃煤电厂主要还是前苏联时期留下来的，已经非常老旧，如果未来几年还要继续使用，就必须加以改造，以满足欧盟有关工业污染的规定。此外，旧发电厂的排放也不符合欧盟自己制定的二氧化碳减排目标⁶⁷。波兰的硬煤开采行业已经濒临破产，无论是国有企业还是私人能源开采公司都把褐煤当作波兰能源的未来。波兰每年大约有4.5万人死于空气污染，而燃煤是空气污染的最主要原因，煤炭的确罪恶深重⁶⁸。

相比有限的水资源，波兰的煤炭产业极为庞大。波兰全国70%的取水量都用于煤炭产业，这一比重在全世界范围内是最高的，相比之下，德国的这一比例只有18%，欧盟仅有13%⁶⁹，这主要是因为波兰现有的大量老旧燃煤电厂采用的是直流冷却系统。

根据普氏煤电数据库，波兰国有煤电产能里约有38%都已经服役超过40年了。为了满足欧盟的空气污染标准而对这些旧煤电厂进行改装，会消耗更多的水资源。由于使用湿法洗涤大气污染物，耗水量更大，产生的废水也更多。淘汰这些效率低下的旧燃煤电厂，改用低耗水的可再生能源（比如风能和太阳能光伏），可以节约45%的耗水量，并防止煤炭产业的需水量进一步增加。

全波兰燃煤电厂的用水都来自大型河流或者用小河流建成的人工湖。波兰的燃煤电厂一般都离化石燃料矿区较远，建在波兰两条主要河流的沿岸，如在维斯瓦河（Wisla）沿岸的波瓦涅茨火电厂和科杰尼采火电厂（Polaniec and Kozienice），以及奥得河（Odra）沿岸的奥波莱火电厂和多琳那奥德火电厂（Opole and Dolna）。那些分布在波兰上西里西亚地区主要煤炭产地的燃煤电厂（亚沃日诺火电厂Jaworzno、勒布尼科火电厂Rybnik、瓦吉斯卡火电厂Laziska、瓦吉沙火电厂Lagisza、斯尔扎火电厂Siersza）和所有的褐煤发电（一般靠近露天的褐煤矿，遍布波兰，如贝尔哈图夫火电厂Belchatow、图罗火电厂Turow、帕特诺火电厂Patnow、阿达莫火电厂Adamow）的用水，都来源于附近的小型河流。

总而言之，这些河流和人工湖，成了化学反应和冷却过程的工业用水主要来源和污水排放的主要去向。波兰的大城市大都有不少硬煤热电联产电厂，它们的用水与当地生活用水来自相同的河流。

波兰三分之一的电力产自褐煤发电厂⁷⁰。褐煤都是露天开采，为了保持煤矿干燥，波兰的煤矿每年从地下疏干7.64亿立方米的水（相当于波兰煤矿产业总取水量的10%⁷¹），以降低地下水位。这些地下水被广泛用于农业生产和家庭用水。将地下水从露天煤矿导入河流的过程，特别容易导致污染，尤其是重金属污染。

相比有限的水资源，波兰的煤炭产业极为庞大。波兰全国70%的取水量都用于煤炭产业，这一比重在全世界范围内是最高的。波兰燃煤电厂用水规模和有限水资源的差距，也可以从当地情况窥见一二。部分由于全球气候变化的影响，2015年夏天的波兰极为干燥炽热。由于波兰的河流流量无法满足大量燃煤电厂的冷却需求，而与此同时人们使用空调解暑造成了用电量的大幅攀升。波兰的电网运营商不得不自共产主义时期以来第一次，限制了用电大户的用电量，以防止电网崩溃⁷²。从这一事件可以看出，在面对耗水型能源时，波兰人民和产业是多么脆弱。



图 2008年11月，波兰科宁（Konin），
Patnow燃煤电厂附近的水管。

© Steve Morgan/Greenpeace



图 2008年11月，波兰，科宁（Konin）煤矿区附近的风力涡轮机。

© Nick Cobbing/Greenpeace

避免用水危机的办法

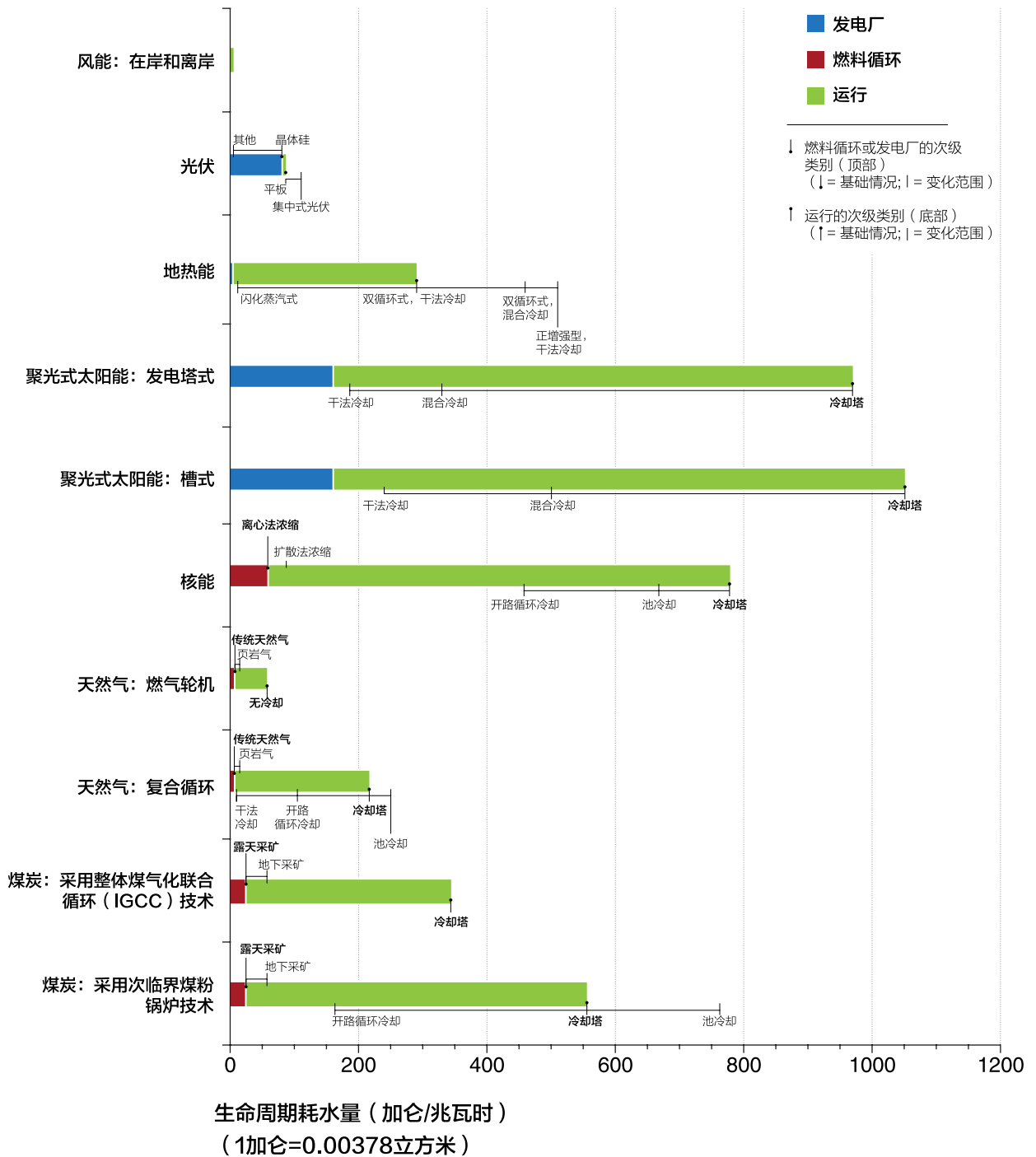
06

虽然上文勾勒了一幅形势严峻的画面，但仍有不少政策和能源选择可以很大程度上解决能源产业造成的水资源短缺问题。然而令人难以置信的是，有关能源和水资源政策的讨论一直以来在很大程度上都忽略了从煤炭转向低耗水的可再生能源这一选择。

大部分有关能源产业用水的研究最终都转向了提高冷却水利用率方面，甚至从未考虑从高耗水的火力发电转型这一选项。因此目前可用的有关从火力发电到非火力发电（如耗水极少的太阳能光伏和风能）转型的巨大节水潜能评估的研究非常之少。

欧洲风能协会（EWEA）的研究估计，2012年风能的使用减少了3.87亿立方米的耗水，这几乎相当于700万欧洲民众的户均年用水量⁷³（EWEA，2014年）⁷⁴。在美国，2013年使用风力发电减少了超过1.32亿立方米的耗水（AWEA，2013年）⁷⁵。美国可再生能源实验室（NREL）发现，如果到2030年风力发电能够占到全部能源发电的20%，电力行业可累计节约将近8%的用水（NREL，2008年）⁷⁶。国际可再生能源署（IRENA）发布的特别报告《水、能源和粮食关系中的可再生能源》（Renewable Energy in the Water, Energy and Food Nexus）首次提供了关键区域的可再生能源全面路线图（“REmap”）。研究发现，可再生能源的利用率越高，能源产业的耗水量和取水量就越少。预计到2030年，英国能源产业的取水量可以减少50%，而美国、德国和澳大利亚能源产业的取水量可以减少25%以上，印度能源产业的取水量也可以减少超过10%⁷⁷。

图9：不同发电技术生命周期耗水量估算（来源：Meldrum等，2013年）



干式冷却：并非万全之策

为了解决水资源短缺的问题，很多国家（例如中国、南非、美国和澳大利亚）都使用了干冷系统⁷⁸。采用该系统的内陆新建燃煤电厂一直被认为具有巨大的节水潜能。然而，在具体使用过程中还是存在诸多困难。例如，使用该系统后，燃煤电厂的输电效率（发电厂耗煤量与输送电量之比）下降了5-7%。同时二氧化碳和其他空气污染物排量则上升了6%⁷⁹。

此外，干冷系统仍需要大量淡水来洗涤烟囱废气中的大气污染物。这一部分的耗水量通常是一个典型循环供水冷却系统耗水量的20%-25%⁸⁰。这说明干冷系统的用水需求仍然很大，特别是在水资源紧张的地区。

干冷系统的运行对环境温度的要求很高，高温中运行效率会很快降低。中国正在探索使用复合冷却系统，在高温时用湿冷系统代替干式冷却系统。但是安装两种冷却系统的方式需要巨大的资金投入。复合冷却系统的耗水量一般是标准湿冷系统的50%-80%，节水潜能不高⁸¹。以上这些都说明，干法冷却系统绝不是解决燃煤发电用水需求的良策。

实际上，我们不应该纠缠这些技术上的速效对策，而应聚焦于更加重要和有效的、可以大幅节约水资源的政策措施。只有解决了问题的根本——即包括用其他能源来代替高水耗的煤炭，才能够避免水资源危机。

红名单地区：水资源紧张 亟需干预措施

简言之，本报告已经表明，很大一部分已运行或新建燃煤电厂都位于基线水压力程度“高”乃至“过度取水”的地区。目前没有任何技术手段可以彻底解决燃煤发电的用水需求，严重水资源危机发生的风险可能不断增加，不同用水主体间有可能产生用水冲突。煤炭产业除了产生空气污染、影响人类健康、加剧气候变化之外，还会加剧用水冲突，因此人们更需要重新考虑煤炭在全球能源行业中的角色。为了避免这种水与能源之间的冲突，政府需要直面这一问题背后的根本原因，停止在基线水压力高的地区批准和建设燃煤电厂。

报告第四章列出了通过地理位置分析得出的红名单地区，研究数据显示，这些地区需要尽快停止批准新建燃煤电厂，从而解决用水资源危机问题。但即便取消一切新建燃煤电厂计划，仍不足以避免水资源危机；还必须逐步淘汰红名单地区和燃煤电厂聚集地区的已运行的燃煤电厂。这些地区的“过度取水”程度已经非常严重，燃煤电厂的存在更是火上浇油，中国、印度、美国、土耳其和哈萨克斯坦就是突出代表。

为了测算红名单地区燃煤电厂的节水潜力，本研究进行了两项分析，一是计算已运行燃煤电厂逐步淘汰后可节约的水量，二是计算停止建设规划中的燃煤电厂可节约的水量。计算结果显示出了惊人的节水成效：

1. 逐步淘汰“过度取水”地区（即红名单地区）的燃煤电厂每年可节约48.8亿立方米的耗水量以及413亿立方米的取水量。
2. 如果停止建设“过度取水”地区规划中的燃煤电厂，每年可减少31.84亿立方米的耗水量以及95.3亿立方米的取水量。

表4：逐步淘汰红名单地区已运行燃煤电厂后节水最高的前五个国家（按节约耗水量排序）

国家	装机容量(GW)	节约耗水量中位数(亿立方米/年)	节约取水量中位数(亿立方米/年)
中国	358.494	34.27	291.24
印度	36.342	10.80	56.38
美国	22.001	2.27	16.48
哈萨克斯坦	6.911	0.36	27.11
加拿大	1.689	0.23	6.35
总计	453.206	48.84	413.43

表5：停止在红名单地区建设规划中的燃煤电厂后节水最多的前五个国家（按节约耗水量排序）

国家	装机容量(GW)	节约耗水量中位数(亿立方米/年)	节约取水量中位数(亿立方米/年)
中国	237.393	18.34	65.43
印度	52.528	11.56	13.07
土耳其	7.870	0.98	1.19
美国	1.851	0.20	0.25
哈萨克斯坦	3.240	0.20	13.63
总计	318.343	31.84	95.33

“为了避免这种水与能源之间的冲突，政府需要直面这一问题背后的根本原因，停止在基线水压力高的地区批准和建设燃煤电厂。”

图 2011年4月，大丰发电站——当时中国最大的太阳能光伏-风力混合发电站。

© 傅志勇/绿色和平

40岁退役 – 老电厂退役的节水效益

如果上述国家能够采取相应行动，则可在水资源压力最高地区实现巨大节水效益，但是这些还不足以扭转当今全球煤炭产业的水资源消耗局势。除了在红名单地区采取措施，本研究还考察了一类“较为容易实现的目标”，即关闭那些已经收回投资成本、可以退役的老燃煤电厂。

因此本研究在评估逐步淘汰已运行燃煤电厂的节水潜能的同时，本研究单独计算了如果淘汰服役40年以上（截至2015年）、用淡水进行冷却的老燃煤电厂，可能的节水数字是多少⁸²。

表6：淘汰所有服役40年以上（截至2015年）燃煤电厂后节水量最多的五个国家（按节约取水量排序）

国家	取水量（40年以上燃煤电厂）百万立方米/年	取水量（全国总量）百万立方米/年	节水比例	装机容量比例（服役40年以上的燃煤电厂占全国燃煤电厂总量）
美国	56805	76262	74%	45%
俄罗斯	10284	18007	57%	53%
乌克兰	6554	6721	98%	92%
波兰	3535	7797	45%	38%
哈萨克斯坦	2156	4613	47%	43%
全球总量	95332	255202	37%	16%

表7：在水压力程度高（基线水压力>40%）的地区淘汰老燃煤电厂后的节水量最多的五个国家（按节约取水量排序）

国家	耗水节水量 百万立方米/年	取水节水量 百万立方米/年	全国总取水量 百万立方米/年	取水节水量（%）	装机容量份额%
美国	252.42	9400.88	76262.38	12%	8.1%
乌克兰	48.92	2620.26	6720.54	39%	37%
中国	21.9	1371.9	78641.1	2%	0.2%
俄罗斯	28.13	1250.16	18006.67	7%	10%
哈萨克斯坦	7.99	758.68	4613.17	16%	13%
全球总量	675.24	19159.62	255202.14	8%	3.5%

本研究计算发现，淘汰用水效率低的老燃煤电厂（占全球总装机容量的16%）可节约全球燃煤电厂37%的取水量以及14%的耗水量。

在40年寿命以上的电厂中，装机容量总量为63吉瓦的燃煤电厂位于“基线水压力高”的地区，这些地方的基线水压力要么在40%以上，要么本身就是干旱地区。通过淘汰老燃煤电厂获得节水效益最大的国家分别是美国、乌克兰、中国和俄罗斯；每个国家每年将节约超过10亿立方米的取水量，特别是美国将节约超过90亿立方米的取水量和2.5亿立方米的耗水量（如表7所示）。

如果把退役标准改为到2020年满40年寿命的电厂，节水效益将更加惊人——全球共可节约51%的燃煤电厂取水量和24%的耗水量，相当于淘汰了全球四分之一的装机容量（433吉瓦）。

总节水潜能

表8：考虑以上三条政策建议情景下的总节水潜能

全球总量	装机容量 (GW)	耗水量中位数 (亿立方米/年)	取水量 中位数 (亿立方米/年)
已运行	1811.46	190.55	2552.02
规划中	1294.60	172.00	316.95
总量 (当前+规划)		362.56	2868.97

总节水量	装机容量 (GW)	份额	耗水量中位数 (亿立方米)	份额	取水量中位数 (亿立方米)	份额
逐步淘汰过度取水地区的燃煤电厂	453.21	占运行中总量的25%	48.84	13%	413.43	14%
停止在过度取水地区新建燃煤电厂	318.34	占规划中总量的25%	31.84	9%	95.33	3%
淘汰服役40年以上的燃煤电厂 (按照2015年为时间节点)	281.29	占运行中总量的16%	27.06	7%	953.32	33%
总节水量	1052.83		106.32	30%	1426.32	53%

在这一部分中，本报告重点标出了需要立即采取措施防止当前全球水危机进一步恶化的地区和燃煤电厂聚集地。如果逐步淘汰上述对水资源影响最大的燃煤电厂，那么每年在水资源竞争最激烈地区可节约1430亿立方米的取水量和110亿立方米的耗水量⁸⁴。仅此节约的110亿立方米的耗水量就可满足5亿人一年的基本用水需求。

为了达到节约110亿立方米节水量的目标，可以用不需水或需水量极小的可再生资源代替已运行的722吉瓦燃煤电厂和规划中的318吉瓦燃煤电厂。**总之，如果让老燃煤电厂退役并逐步淘汰过度取水地区的已运行燃煤电厂，应对水资源危机的成效会十分显著。**

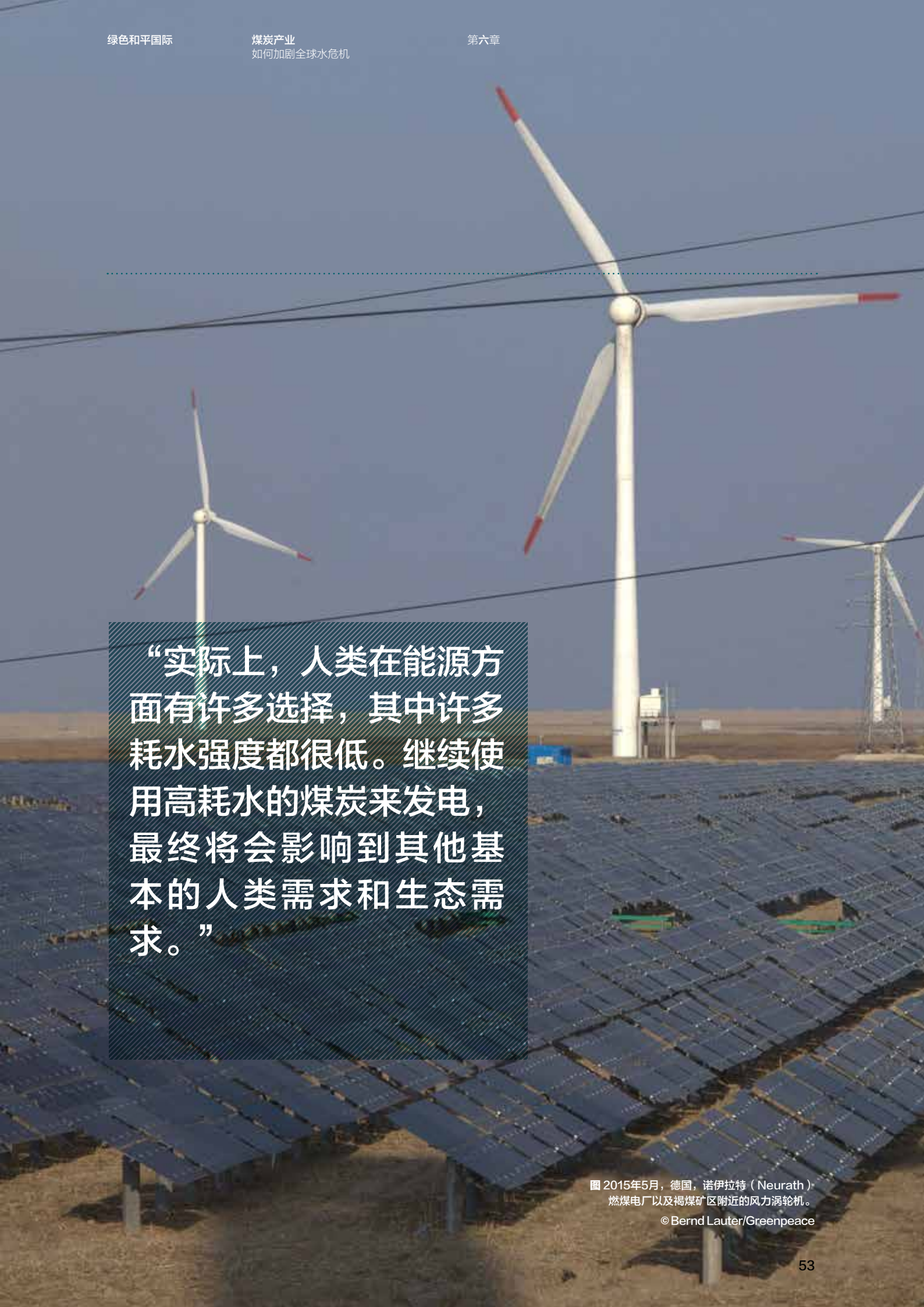
建议利用不需水或需水量小的可再生能源技术和能效措施，系统地替代原先的燃煤发电设备，以实现逐步淘汰计划。尽管任务艰巨，但这种规模的能源转型是有先例的：2007到2009年间，中国关闭并替代了装机容量为54吉瓦的小型低能效燃煤电厂，占全国装机容量的7%⁸⁵。德国在“能源转型（Energiewende）”的政策下，可再生能源发电量占比在短短10年间就从6%增长到将近25%⁸⁶。而且当前全球风能和太阳能光伏的装机容量正在增长⁸⁷。

方框5: 本研究得出的迫切政策需求

1. 立即停止批准在红名单地区新建（包括已经规划及尚未规划的）燃煤电厂。
2. 制定尽快逐步淘汰红名单地区燃煤电厂的计划。
3. 让服役期满40年的燃煤电厂退役。

方框6: 煤炭及用水政策制定的关键点

- 增加水资源管理的透明度；及时公开最新数据是决策者进行合理水资源监管和制定正确节水政策的先决条件。
- 水资源和能源综合规划：综合分析水资源现状和前景、主要用水大户的需求变化及各种能源的用水需求。明确水资源管理和能源规划之间的协同，以水定煤。
- 制定严格的地方用水目标：对取水、耗水及污染排放严格设限。
- 对返还水体的热排放量严格设限：避免使用直流冷却方式，设定严格的季节性限制（例如要根据水的可用性、水温和环境温度设限）。



“实际上，人类在能源方面有许多选择，其中许多耗水强度都很低。继续使用高耗水的煤炭来发电，最终将会影响到其他基本的人类需求和生态需求。”

图 2015年5月，德国，诺伊拉特（Neurath）
燃煤电厂以及褐煤矿区附近的风力涡轮机。

© Bernd Lauter/Greenpeace

结论：远离煤水危机

07

维护并发展严重持久依赖于燃煤发电的能源系统不仅会威胁气候稳定和人类健康，还会给全球用水安全带来更多难以承受的危险。本报告研究结果表明，采煤燃煤会给世界上许多地区造成严重的用水安全威胁。能源与水资源之间的联系已经在人类规划中被忽略太久了。如今，关键要让能源决策者和水资源决策者同心协力，避免更严重的用水危机出现。希望这份报告能够让决策者意识到能源选择对全球用水危机的冲击作用。

全球计划在下个十年新建2668个燃煤机组。这将使许多本就经受严重水危机的地区变成严重干旱地区，还会激发农业、工业和家庭用水主体进一步争夺本已枯竭的水资源。

本报告明确表明，燃煤电厂的用水强度极高。每一个新燃煤电厂都意味着未来几十年的高耗水量，这会给当地水资源带来巨大压力。因为发电等同于工业活动及因此产生的GDP增长，所以燃煤电厂总是享有优先用水权。然而，正如第五章所说，若不充分考虑过度耗水对水域产生的后果，能源用水、其他工业和农业用水间的冲突将在所难免。

为了唤醒取水过量最为严重地区的意识，本研究找到了能从能源转型中获益最多的流域。鉴于已经有不需水或需水量小的发电技术（如太阳能光伏发电和风能发电），有些地区、尤其是水压力程度极高地区仍然使用煤炭发电的现象令人颇感意外。

这些用水强度低的能源长时间被能源和水资源决策者忽视。大部分电力部门进行的用水研究仅停留在对冷却水使用效率的讨论，甚至都没有探讨纳入除耗水高的热电之外的能源生产方式。

希望这份研究能激发有关发展低耗水型发电能源的政策讨论。研究已经列出了需要立即进行干预的地区。扭转过度用水的第一步是提升透明度。本研究观察到，许多国家在水资源的监管和报告方面做得严重不足。在能源选择方面，需要将有意义的讨论拿到桌面上来，尤其是在面临用水危情、能源需求迅猛增长的地区。实际上，人类在能源方面有许多选择，其中许多耗水强度都很低。继续使用高耗水的煤炭来发电，最终将会影响到其他基本的人类需求和生态需求。政府、能源和水资源决策者必须采取果断行动，逐步淘汰燃煤电厂，避免迫在眉睫的能源和用水冲突成为现实。

尾注

- 1 World Economic Forum. 2016. Global Risk Report 2016. http://www3.weforum.org/docs/GRR/WEF_GRR16.pdf; World Economic Forum. 2015. Global Risk Report 2015. <http://www.weforum.org/reports/global-risks-2015>
- 2 本报告涉及到的“煤炭产业”主要指煤炭的采选和燃煤发电。
- 3 取耗水率参考了 Meldrum, J., Nettles-Anderson, S., Heath, G. & Macknick, J. 2013. Life Cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. *Environmental Research Letters* 8 (doi: 10.1088/1748-9326/8/1/015031)。假设直流供水冷却的利用率为85%，次临界电厂的热效率（低热值）为35.4%，超临界电厂的热效率为39.9%。目前估计有20%的电厂使用直流供水冷却系统。不同国家间的实际用水量需求不同。点击链接查看500兆瓦发电厂用水需求的详细分析：www.greenpeace.org/thegreatwatergrab
- 4 世界卫生组织表示每人每天的最低需水量在50升到100升之间。若将最低值设为50升，则每人每年需要18250升（或18.3立方米）的水。将采煤耗水算在内，全球的燃煤电厂每年要消耗227亿立方米的水资源。除以每人每年18.3立方米的用水量，约等于12亿人的年需水量。
- 5 流域内人类年取水量超过可用水量40%的情况一般被定义为水压力高。
- 6 Famiglietti, J.S. 2014. The global groundwater crisis. *Nature Climate Change*, Vol 4, November 2014. <http://www.nature.com/articles/nclimate2425.epdf>
- 7 取水量是指取自水体并用于冷却、洗涤和煤炭生产的水量，其中不会被返还到水体中的那部分被称为耗水量。
- 8 近期发生的类似事件请参阅：
Shoichet, C.E. 2014. Spill spews tons of coal ash into North Carolina River, CNN, 9 February 2014. <http://edition.cnn.com/2014/02/09/us/north-carolina-coal-ash-spill/>;
Bankwatch. 2014. The future is ash-grey for people in Turceni, Romania. 9 September 2014. <http://bankwatch.org/news-media/blog/futureash-grey-people-turceni-romania>
- 9 United States Environmental Protection Agency (EPA). Water: Watersheds, What is a watershed? 6 March 2012. <http://water.epa.gov/type/watersheds/whatis.cfm>
- 10 参考了 Meldrum, J., Nettles-Anderson, S., Heath, G. & Macknick, J. 2013. Life Cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. *Environmental Research Letters* 8 (2013), doi: 10.1088/1748-9326/8/1/500兆瓦燃煤电厂的用水需求详细分析请见 www.greenpeace.org/thegreatwatergrab
- 11 同上。
- 12 参考了 Meldrum et al 2013. op. cit.
- 500兆瓦燃煤电厂的用水需求详细分析请见：www.greenpeace.org/thegreatwatergrab.
- 13 参考了 Meldrum et al 2013. op. cit.
- 500兆瓦燃煤电厂的用水需求详细分析请见：www.greenpeace.org/thegreatwatergrab
- 14 燃煤电厂的具体信息：普氏燃煤电厂数据库是本研究的主要数据来源。该数据库提供了燃煤电厂的具体信息，包括冷却方式、锅炉类型（次临界、超临界）、装机容量以及地理位置。还通过实地调研、学术文献、新闻报道和行业标准以及技术信息等填补信息空白。截至2013年底规划中的煤电厂信息来自普氏数据库。截至2012年的煤炭开采信息来自于美国能源情报署（Energy Information Administration, US Government）。
- 15 有关地理空间分析的具体方法可见 Biesheuvel, A. (Witteveen+Bos) and Cheng, I., Liu, X. (Greenpeace International). 2016. 研究方法论报告（第39页）：www.greenpeace.org/thegreatwatergrab
- 16 世界资源研究所 (WRI). 2015. “水道”水风险地图（2.1版）<http://www.wri.org/our-work/project/aqueduct>
- 17 Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. & Lammers, R.B. 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 14 July 2000, Vol. 289 no. 5477 pp. 284-288. DOI: 10.1126/science.289.5477.284.
- 18 Oki, T., Kanae, S. 2006. Review: Global Hydrological Cycle and World Water Resources, *Science*, 25 August 2006, Vol. 313 no. 5790 pp. 1068-1072 DOI: 10.1126/science.1128845.
- 19 European Environment Agency (EEA). 2008. Impacts due to over-abstraction, 18 February 2008. <http://www.eea.europa.eu/themes/water/water-resources/impacts-due-to-over-abstraction>
- 20 采煤耗水包括提取、加工、除尘、运输和矿山复垦过程中的用水。除此之外，露天采矿因为需要疏干地下水也会消耗大量水资源，这一过程通常会降低当地的地下水位。由于水或被抽到别处，或转为工业或其他行业所用，因此这一部分的水量算作取水量。这些数据不包含挖煤造成的水污染（这些污染可能会让更多的水源对其他用水户不可用）。对挖掘煤矿的耗水和取水量、对用水需求的设想及不稳定性的详细描述见 Biesheuvel, A. (Witteveen+Bos) and Cheng, I., Liu, X. (Greenpeace International). 2016. op. cit. p.10 and pp.38。
- 21 United Nations (UN). 2010. The human right to water and sanitation, UN Water. http://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- 22 这份排名不区分燃煤电厂是取用海水还是淡水，也不区分冷却技术，仅表示燃煤电厂所在地区的耗水情况。请见 Biesheuvel, A. (Witteveen+Bos) and Cheng, I., Liu, X. (Greenpeace International). 2016. op. cit. 在取水过量地区有燃煤电厂的国家的完整名单见研究方法论报告第51页，在红名单地区内已运行

- 燃煤电厂的相关资料可点击此链接获取 www.greenpeace.org/thegreatwatergrab.
- 23 这份排名不分燃煤电厂是取用海水还是淡水，也不区分冷却技术，仅表示燃煤电厂所在地区的耗水情况。在取水过量地区计划新建燃煤电厂的国家的完整名单见研究方法论第53页，在红名单地区规划建设燃煤电厂的相关资料可点击此链接获取：www.greenpeace.org/thegreatwatergrab。
- 24 Reuters. 2016. South Africa drought pushes 50,000 into poverty: World Bank. 17 February 2016. <http://www.reuters.com/article/us-safrica-drought-idUSKCN0VQ12A>
- 25 Department of Water Affairs. 2012. Proposed National Water Resources Strategy 2 [NWRS 2]: Managing Water for an Equitable and Sustainable Future. http://www.gov.za/sites/www.gov.za/files/Final_Water.pdf.
- 26 Department of Water Affairs. 2012. Proposed National Water Resources Strategy 2 [NWRS 2]: Managing Water for an Equitable and Sustainable Future. http://www.gov.za/sites/www.gov.za/files/Final_Water.pdf.
- 27 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO). MAB Biosphere Reserves Directory, Biosphere Reserve Information South Africa, Waterberg <http://www.unesco.org/mabdb/brdir/directory/biores.asp?code=SAF+03&mode=all>
- 28 在2013年和2014年，Eskom电力公司使用了3170亿升淡水（Eskom 2014年综合报告第137页：<http://integratedreport.eskom.co.za/pdf/full-integrated.pdf>），相当于每秒10000升水，对比每人每天最低25升、每年9125升的用水量和每家每月最低6000升、每年72000升的用水量，十分令人震惊。
- 29 Molewa, E. 2012a. Speech by the Honourable Edna Molewa, Minister of Water and Environmental Affairs on the occasion of the Budget Vote for Water Affairs, Parliament: “Water is life - Respect it, Conserve it, Enjoy it”. <http://www.info.gov.za/speech/DynamicAction?pageid=461&sid=27434&tid=68254>.
- 30 Department of Water Affairs and Forestry. 2009. Water for Growth and Development Framework: Version 7. http://www.dwaf.gov.za/WFGD/documents/WFGD_Frameworkv7.pdf.
- 31 Iliso Consulting (Pty) Ltd. 2013. Eskom Summary Document: Applications for postponement from the Minimum Emissions Standards (MES) for Eskom’s coal and liquid fuel-fired power stations. http://www.iliso.com/emes1/Summary%20Reports_PDFs/ESKOM%20Applications%20-%20Summary_Final_2014.02.24.pdf
- 32 Myllyvirta, L. (Greenpeace International). 2014. Health impacts and social costs of Eskom’s proposed non-compliance with South Africa’s air emission standards. http://www.greenpeace.org/africa/Global/africa/publications/Health%20impacts%20of%20Eskom%20applications%202014%20_final.pdf.
- 33 United Nations Department of Economic and Social Affairs/ Population Division. World Population Prospects: The 2012 Revision, Key Findings and Advance Tables http://esa.un.org/wpp/Documentation/pdf/WPP2012_%20KEY%20FINDINGS.pdf – p.20, table S3; The World Bank. Health Nutrition and Population Statistics: Population estimates and projections. India <http://databank.worldbank.org/Data/Views/reports/tableview.aspx>;
- 34 United Nations Children’s Fund (UNICEF), Food and Agricultural Association (FAO) & South Asia Consortium for Interdisciplinary Water Resource Studies (SaciWATERs). 2013. Water in India: Situation and Prospects http://www.unicef.org/india/Final_Report.pdf – p.vii.
- 35 Kushwaha, R.R. 2015. Power generation affected by water-scarcity!, Nagpur Today, 10 July 2015. <http://www.nagpurtoday.in/power-generation-affected-by-water-scarcity/07101501>
- 36 Greenpeace India. 2011. Coal power plants in Vidarbha: A study of their impacts on water resources, p.7. <http://www.greenpeace.org/india/Global/india/report/summary-of-Wardha-and-Wainganga-reports-English-1.pdf>
- 37 Greenpeace India. 2012. Endangered Waters: Impacts of coal-fired power plants on water supply, p.18. <http://www.greenpeace.org/india/Global/india/report/Endangered-waters.pdf>.
- 38 Greenpeace India. 2012. Endangered Waters: Impacts of coal-fired power plants on water supply, p.5. <http://www.greenpeace.org/india/Global/india/report/Endangered-waters.pdf>. Assuming 5,000 m³ of water irrigated 1 ha of single-cropped land.
- 39 Sainath, P. 2014. Have India’s farm suicides really declined?, BBC News India, 14 July 2014. <http://www.bbc.com/news/world-asia-india-28205741>
- 40 Dahat, P. 2014. Maharashtra continues to lead in farmers’ suicide, The Hindu, 8 July 2014. <http://www.thehindu.com/news/national/other-states/maharashtra-continues-to-lead-in-farmers-suicide/article6189959.ece>
- 41 National Crimes Record Bureau, Ministry of Home affairs. 2013. Accidental deaths & suicides in India 2013. <http://ncrb.gov.in/StatPublications/ADSI/ADSI2013/ADSI-2013.pdf>
- 42 Katakey, R., Singh, R.K., Chaudhary, A. 2013. Death in Parched Farm Field Reveals Growing India Water Tragedy, Bloomberg, 22 May 2013, <http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-05-21/death-in-parched-farm-field-reveals-growing-india-water-tragedy>

- 43 Kushwaha, R.R. 2015. Power generation affected by water-scarcity!, Nagpur today, 10 July 2015. <http://www.nagpurtoday.in/power-generation-affected-by-water-scarcity/07101501>
- 44 Central Electricity Authority, Ministry of Power, Government of India. 2016. Review of execution of thermal power projects under execution in the country. 153rd Quarterly Review. January 2016. http://cea.nic.in/reports/quarterly/tpmii_quarterly_review/2016/tpmii_qr-01.pdf
- 45 Turkish State Electric Energy Market and Supply Security Strategy Document. 2009. Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi 21 May 2009. http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Arz_Guvenligi_Strateji_Belgesi.pdf
- 46 Berke M., 2009. Konya Kapalı Havzası EHY Projesi, <http://www.dogader-negi.org/userfiles/pagefiles/h2sos-konferansi/h2sos/Konya-Kapali-Hav-zasi-Entegre-Havza-Yonetimi-Projesi.pdf>.
- 47 TEMA. 2013. Expert Report On Impacts Of Thermal Power Plants: Konya Closed Basin. (Termik Santral Etkileri Uzman Raporu: Konya-Karapınar KapalıHavzası). p.45 <http://www.tema.org.tr/folders/14966/categorial1docs/97/TERMIK%20SANTRAL%20RAPOR%20A5%20BASKI.pdf> (in Turkish).
- 48 Centre for Climate Adaptation. 2013. Vulnerabilities: Turkey. <http://www.climateadaptation.eu/turkey/droughts/>
- 49 TEMA. 2013. Expert Report On Impacts Of Thermal Power Plants: KonyaClosed Basin. (Termik Santral Etkileri Uzman Raporu: Konya-Karapınar KapalıHavzası). p.9. <http://www.tema.org.tr/folders/14966/categorial1docs/97/TERMIK%20SANTRAL%20RAPOR%20A5%20BASKI.pdf> (in Turkish).
- 50 同上, 第56页。
- 51 Yılmaz, M. 2010. Karapınar Çevresinde Yeraltı Suyu Seviye Değişimlerinin Yaratmış Olduğu Çevre Sorunları. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi 2(2), S: 145-163.
- 52 同上。
- 53 国务院办公厅关于印发能源发展战略 行动计划（2014-2020年）的通知 国办发〔2014〕31号 http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm
- 54 黄河水资源保护科学研究院.2014.《窟野河流域综合规划环境影响报告书（简本）》<http://www.ordossl.gov.cn/xxgk/tzgg/201403/P020140328626819245237.pdf>
- 55 神木县发展改革局.2011.《神木县国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》. http://www.yldrc.gov.cn/E_ReadNews.asp?NewsID=1082
- 56 参见蒋晓辉 谷晓伟 何宏谋. 2010. 窟野河流域煤炭开采对水循环的影响研究. 自然资源学报 300 - 307. 吕新, 王双明, 杨泽元, 卞惠瑛, 刘燕. 2014. 神府东胜矿区煤炭开采对水资源的影响机制——以窟野河流域为例. 煤田地质与勘探. 第54 - 57, 61页.
- 57 郭巧玲等. 2014. 窟野河流域径流变化及人类活动对其的影响率. 水土保持通报. 第3 4卷第4期, 第110-117页
- 58 范立民, 2004. 黄河中游一级支流窟野河断流的反思与对策. 地下水 第236 - 237, 241页.
黄河水资源保护科学研究院. 2014. 《窟野河流域综合规划环境影响报告书（简本）》, <http://www.ordossl.gov.cn/xxgk/tzgg/201403/P020140328626819245237.pdf>
- 59 Yellow River Yearbook. 1959-2010. River run-offs recorded for Wen-jia-chuan station and Wang-dao-heng-ta station.
- 60 范立民.2007. 陕北地区采煤造成的地下水渗漏及其防治对策分析. 矿业安全与环保. 2007年10月,第34卷第5期, 第63页。
- 61 黄河水资源保护科学研究院. 2014. 《窟野河流域综合规划环境影响报告书（简本）》, <http://www.ordossl.gov.cn/xxgk/tzgg/201403/P020140328626819245237.pdf>
- 62 同上。
- 63 国务院办公厅关于印发能源发展战略 行动计划（2014-2020年）的通知 国办发〔2014〕31号 http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm
- 64 Xinhua News. 2016. China stops approving new coal mines 5 February 2016. http://news.xinhuanet.com/english/2016-02/05/c_135078938.htm
- 65 Greenpeace East Asia. 2015. Is China doubling down on its coal power bubble? 11 November 2015. <http://www.greenpeace.org/eastasia/publications/reports/climate-energy/climate-energy-2015/doubling-down/>
- 66 Miesięczne raporty z funkcjonowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego i Rynku Bilansującego, Polskie Sieci elektroenergetyczne, http://www.pse.pl/index.php?modul=8&id_rap=213
- 67 Greenpeace Briefing. 2013. Poland at a crossroad: Move into a green energy future now, or stay dependent on dirty fossil fuels for decades? November 2013. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/briefings/climate/COP19/Briefing-Poland-at-a-Crossroad.pdf>
- 68 Ochrona Powietrza przed zanieczyszczeniami, Informacja o wynikach kontroli, LKR-4101-007-00/2014Nr ewid. 177/2014/P/14/086/LKR, Najwyższa Izba Kontroli, <https://www.nik.gov.pl/plik/id,7764,vp,9732.pdf>
- 69 请参阅 Biesheuvel, A. (Witteveen+Bos) and Cheng, I., Liu, X. (Greenpeace International). 2016. op. cit. p.32.
- 70 Miesięczne raporty z funkcjonowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego i Rynku Bilansującego, Polskie

- Sieci elektroenergetyczne, http://www.pse.pl/index.php?modul=8&id_rap=213
- 71 请参阅 Biesheuvel, A. (Wittveen+Bos) and Cheng, I., Liu, X. (Greenpeace International). 2016. op. cit. p.32.
- 72 Piszczatowska, J. 2015. Wracają stopnie zasilania. Blackout coraz bliżej (Cuts of power supply are going back. Blackout is getting closer), WysokieNapiecie.pl, 10 August 2015 <http://wysokienapiecie.pl/rynek/874-wracaja-stopniezasilania-blackout-coraz-blizej>; PolskieRadio. 2015. Czy w Polsce może zabraknąć prądu? (Does Poland run out of electricity?), 26 August 2015, www.polskieradio.pl
- 73 根据欧盟地区居民的平均耗水量55立方米/年（仅包括家庭用水）计算。
- 74 European Wind Energy Association (EWEA). 2014. Saving Water with Wind Energy, June 2014. www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Saving_water_with_wind_energy.pdf
- 75 American Wind Energy Association (AWEA). 2013. Wind Energy Conserving Water, www.awea.org/windandwater.
- 76 U.S. Department of Energy. 2008. 20% Wind Energy by 2030: Increasing Wind Energy's Contribution to U.S. Electricity Supply, July 2008, www.nrel.gov/docs/fy08osti/41869.pdf
- 77 International Renewable Energy Agency (IRENA). 2015. Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus, January 2015. http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_water_energy_food_nexus_2015.pdf
- 78 Smart, A., Aspinall A. 2009. Water and the electricity generation industry, Implications of use. Waterlines Report Series No. 18. Australian Government National Water Commission. August 2009 http://archive.nwc.gov.au/__data/assets/pdf_file/0010/10432/Waterlines_electricity_generation_industry_replace_final_280709.pdf
- 79 同上。
- 80 Meldrum, J., Nettles-Anderson, S., Heath, G. and Macknick, J. 2013. Life Cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. Environmental Research Letters 8 (2013), doi: 10.1088/1748-9326/8/1/015031. 点击链接查看500兆瓦发电厂用水需求的详细分析: www.greenpeace.org/thegreatwatergrab
- 81 Wu, D. F., Wang, N. L., Fu, P. & Huang, S. W. 2014. Exergy Analysis of Coal-Fired Power Plants in Two Cooling Condition, Applied Mechanics and Materials, Vol. 654, pp. 101-104, Oct. 2014, <http://www.scientific.net/AMM.654.101>
- 82 按照燃煤电厂服役到第41年时计算的数字。
- 83 为避免重复计算，位于过度取水区的服役40年以上的燃煤电厂的装机容量（12.93吉瓦）已经从总耗水量中扣除了。
- 84 世界卫生组织表示每人每天的最低需水量在50升到100升之间。若将最低值设为50升，则每人每年需要18250升（18.3立方米）水。在全球范围内淘汰影响最大的燃煤电厂可以立即节约100亿立方米水。除以每人每年18.3立方米的用水量，约等于5亿人的年需水量。
- 85 Oster, S. 2009. China Shuts Small Plants. Wall Street Journal. 31 July 2009 <http://www.wsj.com/articles/SB124896402068093839>
- 86 Heinrich Böll Foundation. Energy Transition, The German Energiewende - Key Findings. released: 28 November, 2012; revised: January 2014. p.1 http://energytransition.de/wp-content/themes/boell/pdf/_old/German-Energy-Transition_en-Key-Findings.pdf
- 87 Clover, I. 2015. China needs 200 GW of solar by 2020, say industry groups. PV Magazine. 12 August 2015, http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/china-needs-200-gw-of-solar-by-2020--say-industry-groups_100020572/#ixzz3sJbL8iAw

GREENPEACE

绿色和平

绿色和平是一个全球性环保组织，
致力于以实际行动积极推动的改变，
保护地球环境与世界和平。

绿色和平国际 出品
2016年3月