



印度的治水大夢

撰文／坦普（James Temple）
翻譯／連育德



在氣候變遷變本加厲之下，
印度未來將面臨供水危機。
但對許多印度民眾而言，
危機已在眼前。

本刊取得美國麻省理工學院Technology Review
期刊圖文授權
Technology Review,
Published by MIT.
TECHNOLOGY REVIEW
internet URL: www.
technologyreview.com

**MIT
Technology
Review**

近年來，印度許多地區陸續傳出嚴重乾旱的災情，河流、水庫、含水層等紛紛枯竭，原本已經漏洞百出、汙染嚴重的供水系統，如今更瀕臨崩壞邊緣。

根據重量級的政府智庫印度國家研究院（NITI Aayog）去年夏季一份報告指出，印度超過6億民眾面臨「嚴重缺水」的問題。印度有7成供水遭到汙染，估計每年造成20萬人死亡。報告指出，約有21個城市的地下水可能最快在明年枯竭，班加羅爾與新德里都在名單之中。有4成人口（逾5億人）在2030年前將「無飲用水可喝」。

印度每年的水量供過於求，但絕大多數雨量來自於夏天雨季，時間通常有4個月；其他主要水源來自於喜馬拉雅高原的降雪與冰河，融化後流進北部河流。印度雨量雖然多，卻只蓄積與使用到極小部分，任由大多數徑流入海，因此要在對的時間把水蓄積並運輸到對的地方，幾千哩的過程又不能造成水大量浪費或汙染，在工程上是莫大的挑戰。

此外，如果灌溉系統沒有效率，農民會使用由政府大量補貼費用的電力，竭盡可能地抽取地下水。農業是印度用水量最多的產業，占總水量逾8成，對印度國內生產毛額（GDP）卻只有15%左右的貢獻。

「這個問題已經衍生成危機，令人憂心，」在德里擔任工程師，亦是維吉尼亞大學教授的蓋普塔（Pankaj Vir Gupta）說。他於2013年協助推動一項研究工作，希望找到方法整治汙染嚴重的雅木納河（Yamuna River），也就是德里最主要的飲用水來源。

雪上加霜

氣候變遷只會讓問題變本加厲。氣候模型主要預估到的現象是，氣溫增加造成印度雨季愈來愈強烈，至於對近年的乾旱會造成什麼影響，仍是未知數。但長期的預估是，極端現象會更為極端，有可能導致水災更頻繁、乾早期拉長。



多數氣候研究預估，印度未來幾10年的平均降雨量將會增加，但各地區和各季會出現極大差異。根據去年發表於《地球物理研究通訊》（Geophysical Research Letters）的一篇論文指出，倘若全球氣溫比工業革命前高出攝氏2度，在89個受測都會區中，會有78區的暴洪現象將大幅增加，進而造成環境浩劫。印度貧窮人口經常定居在主要城市的低窪氾濫平原，屆時將受到巨大衝擊。

印度左臨阿拉伯海，右接孟加拉灣，綿延7,500公里（4,660哩），海平面上升有可能淹沒沿岸的村莊與大城市，汙染地下水。

最後，亞洲幾條大河，如恆河、印度河、長江與黃河等，發源地都是喜馬拉雅山，但隨著氣溫攀升與降雪量降低，冰河融化速度勢必加快。在高碳排放量的情境下，有些地區的冰河在2050年前可能縮小一半，在2100年前減少95%。

地表逕流一旦增加，起初會使得河水量大漲，下游氾濫的風險提高，但能為印度帶來更多水量。問題是，過了2050年之後，這個趨勢預計出現大逆轉，水量減少，影響住在這些河流沿岸的民眾，總計約19億人。光是恆河流域就將影響6

億人，它提供了印度12%的地表水，貢獻33%的國內生產毛額。

「印度已經面臨許多壓力來源，」新德里政策研究中心（Centre for Policy Research）教授杜巴席（Navroz Dubash）說：「但氣候變遷讓這情況更是雪上加霜。」

印度出現水資源逐漸乾涸或汙染的問題，要怪基礎建設老舊也好，怪氣候變遷也罷，到頭來，對受害民眾來說都不是重點，無論肇因為何，印度都必須設法解決當前的災難，加強基礎建設，為未來更嚴峻的考驗做好準備。難就難在，印度的資源比富有國家更少，又不能犧牲經濟成長。

河流女神

雅木納河源自於雅木諾托里冰河（Yamunotri Glacier），這塊懸浮水體拖著自己的重量，蜿蜒流過喜馬拉雅山脈的冰斗與沖蝕溝。涓流形成支流，逐漸匯聚，隨著山脈地勢降低而漸深、漸寬，在丘陵之間曲折前進，流往北印度廣大的肥沃平原。

到了哈里亞納邦（Haryana）的雅木納納佳區（Yamuna Nagar），雅木納河流入一面巨大



的混凝土牆，進到哈斯尼昆攔河壩（Hathnikund Barrage），向右急轉彎，將97%的水流轉向西部運河。蓋普塔與杜蘭大學（Tulane University）的奧戴（Iñaki Alday）在合著的《雅木納河計畫：新德里都會生態學》（Yamuna River Project: New Delhi Urban Ecology）一書中指出，雅木納河接著流經總長1,200公里的水道，灌溉著這個俗稱「穀物碗」邦的沖積土壤。

剩下的水流幾乎都流到位於德里北方、下游約250公里的瓦席拉巴德攔河壩（Wasirabad Barrage），經由水處理系統過濾，再輸水到大都會的住家與店家，供2,500萬名以上的民眾用水。

供水量原本幾乎可以應付整個城市所需，問



題是水到不了民眾那邊，因為輸水管系統老舊，不僅會漏水也有腐蝕現象，常常被人非法盜水，而且沒有連接到近2成住家，約有4成的水量就這麼流失了。

供給與需求出現差距，大多數人只好靠社區自己非法挖鑿的井，市區外圍到處都是這種水井，數量就有好幾10萬個，而且被人稱「供水黑手黨」的組織所操控。眾人對他們的解讀各有不同：有人覺得他們是填補了市場缺口的創業家，開挖井水，把水裝在水箱，送往住家、公寓大樓和公司行號；也有人認為他們是非法集團，故意把價格拉高，偶爾採取強硬手段以確保市場始終有需求。

雅木納河剩下的水量，大部分經過瓦席拉巴德攔河壩的吸收後，蜿蜒流經德里，但這條22公里長的河段反而更像下水道，匯集了幾千個流域盆地的污水，住家、貧民窟、公司與工廠的有毒廢水都流淌其中。

有毒汙泥

2月底某一天，剛過中午，蓋普塔載我到新德里的一處排水溝，附近就是市中心歷史悠久的桑德

坎黛瓦（Saumya Khandelwal）是住在新德里的攝影記者。本篇照片是雅木納河沿岸民眾的生活百態，取自於她的作品集《垂死的生命線》（The Dying Life Line），內容記錄印度各地汙染嚴重的河流湖泊，以及沿岸民眾的生活。



供給與需求出現差距，大多數人只好靠社區自己非法挖鑿的井，市區外圍到處都是這種水井，數量有好幾10萬個，而且被人稱「供水黑手黨」的組織所操控。

苗圃（Sunder Nursery）公園，園區占地廣大，草木修剪得整齊。車子穿梭在混凝土隔欄和突出地形，最後停在一座高架橋旁。

空氣中飄散著刺鼻的硫磺味，蓋普塔下車，朝一處矮牆走去，指向下頭的巴拉普拉（Barapullah）排水溝——一大片黑泥順著高架橋的方向彎曲，高聳累積到堤岸的垃圾堆裡，有一群野豬正在覓食，喝汗水吃垃圾。

「有人會把這些野豬宰來吃，」蓋普塔說。

流域盆地如果運作正常，會承載整個城市的雨水量，補給含水層，挹注河流。但貧民窟沒有輸水管，再加上有些生意沒有良心，汗水、垃圾、化學物全部亂丟，聚集在這些水道。有些地方的汗泥與廢棄物積成厚厚一層，河水無法滲透到地底，就算滲透了，也造成地下水汙染變質。

「德里有幾百公里都是這樣，」蓋普塔說。

雅木納河大致上不受德里的影響，因為它被堤防圍了起來，隱身在高速公路之下。但來到堤防和

防洪牆的另一邊，環境變得險峻許多，現在有很多德里的窮人以此為家，擠在雅木納河面積廣大、卻遭人遺忘的氾濫平原，彷彿住在陰影中。

隔天下午，終於出現藍天，一掃多日來的棕橘色陰霾。黑漆漆的河流東岸，有幾個小男生在一條泥土地打板球。小山丘上有年輕女生也有小女孩，正在一小塊菜圃採蔬菜，旁邊就是一堆雜亂的鐵皮屋和木屋。

這個德里的低窪地帶鄰近尤第斯特塞杜橋（Yudhister Setu），我們沿著河岸走了30分鐘，兩邊不到200碼的地方就看到6座水泵，有一個甚至離岸邊只有10呎左右，有4座是鐵製的手搖泵，只能抽到地下水面最淺的地方。這些水井、聚落和作物不但非法，而且十分危險。水和土壤幾乎可以肯定已經被河流和排水溝給汙染，根據固定從河岸採集的樣本顯示，這裡有高含量的鉛、汞等重金屬。到了夏天雨季期間，劇烈暴洪的次數愈來愈頻繁，定期淹沒平原，沖走簡陋小屋和居民。





大規模整治方案未必適合

目前印度各邦已經擬定因應氣候變遷的策略，呼籲各界大刀闊斧改變用水行為。舉例而言，位於南部的卡納塔克邦（Karnataka）制訂出一套整治計畫，建議民眾多多使用雨水採集裝置、農業廣泛採用滴灌（Drip）與噴灌（Sprinkler）的灌溉法、加強鑽井限制、改善汙水管理等等，避免河流湖泊和含水層遭到汙染。

但專家認為這些計畫的執行難度和成本都高，即使落實了也還不夠。

印度需要大力整頓用水方式，容易乾旱的地區必須創造其他產業的工作機會，不能只仰賴農業，因為目前近半數就業人口都是務農。各大城市必須綜合考量輸水管與汙水管、廢水處理設施與濕地等環節，打造出現代化的網絡，並針對水道沿岸限制人為開發與加強洪水防制。

但「阿育王生態與環境研究信託」（Ashoka Trust for Research in Ecology and the Environment）

高級研究員席尼瓦桑（Veena Srinivasan）說，要解決用水供給不穩定的問題，有個最有效的方法，那就是增加儲水量。實際做法層面很廣，小規模如個人在屋頂採集雨水，大規模如統一興建水壩、運河、水庫等等。

聯邦政府普遍傾向後者。最明顯、也最有企圖心的例子，就是所謂的「印度河互聯網」（Indian River Inter-link），這項土木工程計畫的成本超過5.5兆盧比（800億美元），目標要將國內60幾條河流串連成一個網絡。如此一來，政府可以解決兩地供水不平衡的情況，將印度這一頭氾濫地區的水資源，輸送到幾千哩外另一頭的乾旱地區。

這個構想可以追溯到19世紀，但現在受到總理莫迪（Narendra Modi）的力推，目前已批審通過，準備開始第一階段的建設。批評人士說，這項工程大而無當，只是政治人物以為可以一勞永逸解決問題，卻沒有實質的科學佐證。

席尼瓦桑說，像印度這樣幅員遼闊、人口分布廣泛的國家，想要落實可行的政策，必須從地方層

隨著人口愈來愈多，井水資源面臨龐大壓力，民眾抽水抽得兇，井水來不及恢復水位，而補充井水的湖泊河流也受到汙染。



面做好水管理的工作，包括：以水缸採集與過濾雨水、整治河湖池塘，透過上述兩者補給含水層。「我們必須仰賴地下水，所以要想辦法管理，」她說。

班加羅爾的汗水奇蹟

3月初的一天早上，席坎泰雅（Vishwanath Srikantaiah）帶我遊覽班加羅爾的賈庫爾湖（Jakkur Lake），湖身形狀彷彿保齡球瓶。

55歲的席坎泰雅原本是土木工程師，現在成為水資源社運份子，為這個位於南部卡納塔克邦的大城市請命，被大家稱為「禪雨人」（Zen Rain Man）。他身高6呎4吋（193公分），蓄著落腮鬍，一頭灰白的捲曲長髮，確實帶有一股禪意。

我們走在東北岸，只見席坎泰雅走下湖畔步道，往一條小徑前進，來到一片綠油油的濕地叢林，有香蒲、有布袋蓮、有空心蓮子草。小徑走了

大約100碼，他伸手指著草地邊緣的水道，有一股潺潺水流進湖裡。「你看，流進去的是完全乾淨的水，」他說。

而幾天前，它還是完全未經處理的汗水。

班加羅爾的用水大部分抽自科弗里河（Cauvery River），在市區以南約100公里的地方。但約有4成民眾仰賴地下水，由城市各處共幾10萬個水井供應。隨著城市人口愈來愈多，井水資源面臨龐大壓力，民眾抽水抽得兇，井水來不及恢復水位，而補充井水的湖泊河流也受到汙染。

席坎泰雅在1991年曾經協助創辦班加羅爾的雨水俱樂部（Rainwater Club），輔導民眾安裝屋頂雨水收集系統。它們就只是敞開式的水管，在傾斜屋頂的屋簷收集雨水，流經過濾器後流入水箱，但雨水可以儲存、可以喝，或是流入井裡，補充含水層。

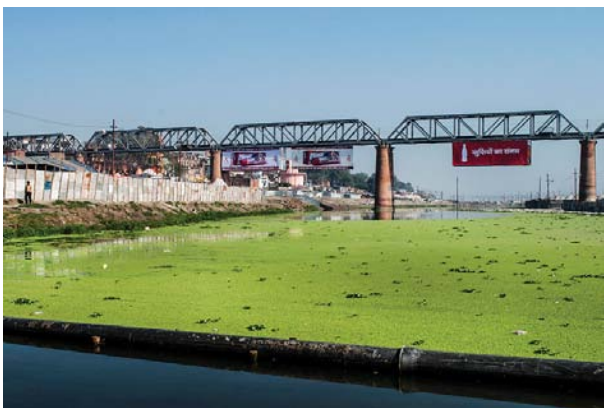
席坎泰雅的太太薇許宛娜（Chitra Vishwanath）是一名專攻生態設計的工程師，兩人成立一家非營利組織，遊說班加羅爾的水利公司在賈庫爾湖旁建立一座汗水處理廠。

附近的人口愈來愈多，已經汙染湖泊多年。

如今，廢水流經處理廠後，流入水道，進入濕地，又進一步過濾。這樣流經密密麻麻的草叢，3天下來，水已經大致乾淨，可以支應商業捕魚、灌溉附近農田、補充地下水位。這一區民眾最後再從水井汲水，用居家的逆滲透機器過濾後，就能用來飲水和煮飯。

這不是十全十美的解決辦法，席坎泰雅邊說邊指著前方一條沒有處理的汗水水道，繞過汗水處理廠，直接流進人工濕地。但跟10年前相比，賈庫爾湖現在的狀況已經好很多，整治計畫也被視為是模範，要用來整治班加羅爾的其他湖泊河流。

席坎泰雅說，這些在地計畫對民眾生活有實質幫助，比一些經過長年研究的大型計畫更快看到效果，成果也更可靠。「選好一座湖泊，從基礎開始做好，實在太重要了，」他說，「要實際去做，做出成效。」





德里怎麼辦？

但蓋普塔說，如果想要解決印度最棘手的供水問題，只有一途，那就是將開發、環境、經濟等考驗畢其功於一役。他的著作詳盡規劃出整治納甲佳爾（Najafgarh）排水溝的願景。這個排水溝總長超過50公里，蜿蜒流經德里西部，最後注入雅木納河，連同其他次要排水溝占了雅木納河污染的6成以上。

根據蓋普塔的計畫，這些流域沿岸將打造綿延不斷的草原，蒨鬱的濕地旁規劃有自行車道、捷運、市場、公共空間、低收入住房等等。長草可以過濾汙水，再加上新的汙水管和汙水處理廠，可以產生乾淨的水，補給含水層，挹注河流。這個計畫眼光高遠，但恐怕流於不切實際。負責供水給市民的德里水委員會（Delhi Jal Board），連最基本的工作都已經做得很吃力。他們不安裝連到偏遠地區的輸水管，反而經常從位於城市北方自家的水井取水，再以水箱送水。委員會3年前曾經推動整治城市裡幾10個排水溝和河流湖泊，許多都在納甲佳爾排水溝旁，至今只完成一項試點計畫。

德里在1990年代啟動一項跨部門、大規模的雅木納河整治活動，儘管砸下幾10億美元重金，最終還是無法顯著降低汙染。規劃中的廢水處理廠，許多不是沒有建，就是建了沒有用，可以歸咎的原因很多，像是協調不良、貪汙，或是無力阻止排水溝旁的開發速度。

展望未來3年，德里必須完成「德里2041年總體計畫」（Master Plan for Delhi 2041），制訂一份具有法律約束力的文件，藉此指導未來幾10年的開發與規劃方向。負責這項工程的政府機關是國家城市事物研究院（National Institute for Urban Affairs），院長傑甘夏（Jagan Shah）指出，這項計畫的一大水資源重點是整治雅木納河。

「但做起來不容易，」他默認之前有太多失敗經驗：「前景不樂觀。」

蓋普塔開車經過尼薩姆丁區（Nizamuddin）的貧民窟，帳棚和木屋聚集在一起，把廢水直接丟進巴拉普拉排水溝。我請他老實說，真的覺得德里有辦法整治雅木納河嗎？

「當工程師的一定要樂觀，」48歲的蓋普塔說：「但不要問我時間表，因為我有時候覺得，在我有生之年完成不了。」■

坦普為《麻省理工科技評論》資深編輯，負責能源產業。

Copyright©2019, Technology Review. All Rights Reserved.