

## 摘要

如何應對碳排放這樣一種罕見的超時空外部性，對於全球而言都是一件難事。對中國而言，這種困難尤為嚴重，主要體現為既有的經濟增長目標與新增的碳中和目標之間的協調難度更大。

改革開放 40 年來，我們早已習慣了經濟增長目標的硬約束。近些年，伴隨著潛在增長率的長週期下降，增長的約束雖然有所弱化，但作為全球最大的發展中國家，經濟增長仍然是我國的第一要務。預計到「十四五」末，我國有望達到現行的高收入國家標準，到 2035 年有望實現經濟總量或人均收入翻一番<sup>1</sup>。

當前，我們正在給未來的 40 年增加一條新約束。作為全球碳排放量第一大國，我國給出的碳中和時間表也非常明確：到 2030 年碳排放強度較 2005 年下降 65% 以上，碳排放力爭於 2030 年前達到峰值，努力爭取 2060 年前實現碳中和。需要說明的是，歐盟、美國均確定了 2050 年實現碳中和的目標，這意味著它們各自有 71 年和 45 年的時間從峰值走向淨零排放。中國設置這樣一個「30 达峰，60 中和」的時間表，就意味着要在未來 40 年實現碳中和，時間緊、任務重，尤其是將面臨比歐盟、美國陡峭得多的中和斜率。

在兩個 40 年的硬約束碰撞之際，如何求得一個交集？我們嘗試從總量和結構兩個方面進行探討。總量方面，一個重要問題是如何設定 2030 年的峰值目標。我們認為，為兼顧經濟增長與減排，將达峰目標設定為一個區間較為適宜，以避免過於剛性的供給約束。結構方面，我們在綠色溫度的框架下，以八大高碳排放行業為重點分析對象，提出了「碳定價+技術進步」的初步思路，並通過 CGE 模型的一般均衡分析，佐證這一思路能夠兼顧經濟增長與碳中和兩個目標的約束。最後，通過探討綠色溫度為負值的含義，對社會治理進行分析，最終提出「碳中和之路=碳定價+技術進步+社會治理」的公式。

1 詳見 2020 年 11 月 3 日黨史學刊《中共中央關於制定國民經濟和社會發展第十四個五年規劃和 2035 年遠景目標的建議》的說明：「在發展歷程中，一些地方和部門建議，明確提出「十四五」經濟增長速度目標，明確提出到 2035 年實現經濟總量或人均收入翻一番目標，文件起草組經過認真研究和論證，認為從經濟發展勢力和條件看，我國經濟有希望、有潛力保持長期平穩發展，到「十四五」末達到現行的低收入國家標準，到 2035 年實現經濟總量或人均收入翻一番，是完全可以做到的。」

## 總量尋峰：淨碳排放峰值 99 億至 108 億噸

看待中國的碳排放問題，有歷史和未來兩個視角。如 1.1 所示，在 2019 年的碳排放量上，中國雖然超過了其他經濟體，但歐盟、美國的工業化起步較早，累計碳排放量<sup>1</sup>也更大。而且從人均碳排放量看，中國是 7.1 噸，仍不足美國 16.1 噸的一半（見 1.2）。這樣一個歷史的視角，對於各國協調應對碳中和目標時區分「共同但有差別」的責任非常重要。然而，從着眼未來的角度看，更重要的是探討如何實現中國自己既定的「30 达峰，60 中和」目標。

尤其是從碳排放強度來看，過去幾十年中國的這一指標雖然在主要經濟體中下降最快，但由於產業結構與歐美存在較大差異，所以我國的碳排放強度目前仍約是歐盟的 5 倍、美國的 3 倍。如果將未來 10 年的碳排放峰之路理解為抓住「緩衝期」以實現累計排放、人均排放向美國對標，那麼後面 30 年我國的碳中和之路將會有巨大的壓力。

1.1 年排放量與累計排放量

年份	指標 (億噸)	歐盟	美國	印度	中國
1990	當年碳排放量	13	25	0.6	0.8
	累計碳排放量	656	920	20	19
2019	當年碳排放量	39	53	36	102
	累計碳排放量	2,870	4,102	519	2,200

資料來源：Our World in Data、世界銀行、中國社會科學院。

1 累計碳排放量根據 1751 年以來的數據計算。

## 1.2 碳排放強度與人均碳排放量

年份	指標	歐盟	美國	印度	中國
1970	碳排放強度 (千克/美元)	0.6	0.9	0.8	4.1
	人均碳排放量 (噸)	8.6	20.6	0.3	0.9
2019	碳排放強度 (千克/美元)	0.2	0.3	0.9	0.9
	人均碳排放量 (噸)	6.6	16.1	1.9	7.1

資料來源：Our World in Data、世界銀行、中金公司研究所。

更重要的是，歐美達到碳排放峰值是一個自然而然的結果，並非事前設定的排放約束，對峰值設定的借鑑意義可能有限。我們認為，一方面，「30 達峰」目標的制定並不意味著未來 10 年可以自由排放，在碳中和已然成為新約束的背景，要實現這一目標就要從現在開始改變思路、立刻行動；另一方面，基於對如下 3 個因素的考慮，峰值目標不宜設定為某一精確數值，更適宜設定為一個區間，以避免供給約束過於剛性。

第一，碳排放數據統計具有內在的不確定性，難以精確量化。限於當前的技術手段，目前各國溫室氣體排放核算都是用各類排放活動水平乘以相應排放因子加總得到的估計值，其測算結果具有內在的不確定性。為統一各國測算口徑，IPCC 制定了《國家溫室氣體清單指南》，為各國編制排放清單提供了基礎技術規範與適用於全球的基礎排放因子數據。

然而，IPCC 也強調並鼓勵各國使用符合本國國情的測算方法和本地化的參數。由於各類排放活動水平和排放因子數據的測算難度大，不同機構對本地化參數的理解也不一致，即便是《自然》等權威科學期刊中的文獻，對同一國家碳排放的測算也存在 10% 至 20% 的差別。鑑於碳排放測算的這種內在的不確定性，追求過於精確的達峰目標可能並不符合科學規律。

第二，我們的估算表明，中國 2030 年淨碳排放峰值水平在 99 億至

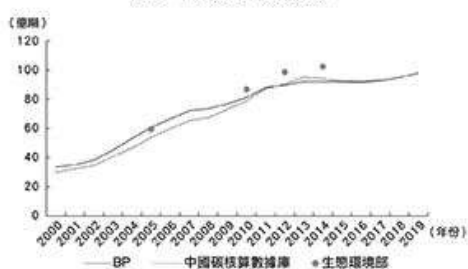
108 億噸。聚焦未來，有兩個因素決定了中國的碳排放峰值。一是現在到 2030 年的 GDP 增長路徑。根據「十四五」規劃綱要，假設 GDP 從 2020 年到 2035 年實現翻一番，並且 GDP 增速由 2019 年<sup>1</sup>的 6% 勻速下降，就可以得出 2020 至 2030 年 GDP 複合增速為 5%。二是 2030 年相比於當下碳排放強度的下降幅度。目前的權威說法是，到 2030 年碳排放強度較 2005 年下降 65% 以上。近些年來，有關部門每年都會公布當年碳排放強度較 2005 年的下降幅度，比如 2019 年碳排放強度較 2005 年下降 48.1%。與此同時，「十三五」規劃和「十四五」規劃明確提出碳排放強度下降 18% 的目標，假設「十五五」規劃亦提出 18% 的下降目標，那麼未來 10 年碳排放強度將會年均下降 3.9%，最終結果是 2030 年碳排放強度可以實現較 2005 年下降 66.5%。

基於上述未來 GDP 增長和碳排放強度下降的路徑，我們可以進一步探討 2030 年的碳排放峰值。首先需要解決基礎的碳排放數據問題。現有的碳排放量數據庫，主要包括中國碳核算數據庫 (CEADs)，以及 BP (英國石油公司) 和生態環境部的數據庫。由於生態環境部的數據不夠連續，所以中國碳核算數據庫和 BP 的時間連續的數據更適合用於研究 (見 1.3)。2005 年，中國碳核算數據庫、BP、生態環境部統計的碳排放量 (未計入碳匯) 分別為 54 億噸、61 億噸、59.8 億噸；2014 年，三個數據庫統計的碳排放量分別為 94.4 億噸、92.4 億噸、102.8 億噸<sup>2</sup>；2017 年，中國碳核算數據庫、BP 統計的碳排放量分別為 93.4 億噸、93.0 億噸。可見，近些年中國碳核算數據庫和 BP 的數據之間的差異顯著縮小，考慮到中國碳核算數據庫包含 29 個行業的碳排放數據，便於進行結構分析和 CGE 模型模擬，因此我們最終使用中國碳核算數據庫的數據進行分析。

1 這裏排除 2020 年新冠肺炎疫情的臨時性衝擊。

2 官方數據對工業生產過程的碳排放統計較為全面，因而其碳排放數據往往較大。

### 1.3 不同數據庫的碳排放量



資料來源：中國碳核算數據庫、BP、生態環境部、中金公司研究部。

為了規避由不同數據庫早期碳排數據之間差異較大帶來的不確定性，我們選取 2017 年中國碳核算數據庫的碳排放量（93.4 億噸）作為測算基準。此外，基於碳排放強度下降的兩種情形分別測算 2030 年的峰值：第一，基於 2017 年和 2030 年碳排放強度較 2005 年分別下降 46%（官方統計）和 65% 以上（官方目標）；第二，基於達峰前碳排放強度年均下降 3.9%，即 2030 年碳排放強度較 2005 年下降 66.5%。在這兩種情形下，2030 年碳排放量將分別達到 117 億噸和 108 億噸。考慮到 2030 年預計有 9.1 億噸農林碳匯<sup>1</sup>，2030 年淨碳排放預計會達到 99 億至 108 億噸。另外，雖然我們用中國碳核算數據庫作為基準數據庫，但為了評估測算不確定性的嚴重程度，我們用 2019 年的 BP 數據和 2014 年的官方數據，採取同樣的邏輯進行了測算，具體測算數值見 1.4。

<sup>1</sup> 清華大學氣候變化與可持續發展研究院測算，詳情請見《中國長期低碳發展戰略與轉型路徑研究》。

### 1.4 2030 年達峰值區間（淨排放）測算

2030 年峰值測算（億噸）		
	2030 年碳排放強度較 2005 年下降 65% 以上	每個五年規劃碳排放強度下降 18%
中國碳核算數據庫（2017 年 93 億噸）	108	99
BP（2019 年 98 億噸）	104	100
生態環境部（2014 年 103 億噸）	119	120

資料來源：中國碳核算數據庫、BP、生態環境部、清華大學氣候變化與可持續發展研究院、中金公司研究部。

關於測算不確定性的討論如下。由於我們是基於碳排放強度對 2030 年的碳排放峰值進行測算的，所以可能在 3 個方面產生不確定性：對於 GDP 未來增速的假設、碳排放歷史數據的質量，以及對碳排放強度下降目標本身的理解。

首先，GDP 增速假設主要依據的是「2035 年實現經濟總量或人均收入翻一番」，其不確定性在於對未來 15 年 GDP 增速由 2019 年勻速下降的假設。

其次，早期碳排放的歷史數據質量不夠高，關於中國 2005 年的碳排放數據存在很多爭議。我們注意到兩個現象：一是如前所述，隨著時間的推移，BP 數據和中國碳核算數據庫數據趨於一致、分歧減少；二是 2017 年官方公布的碳排放強度相比 2005 年實現了 46% 的下降，而且 2017 年關於較新的碳排放數據的爭議較少。因此，我們放棄了分歧較大的 2005 年數據，改用質量更高的 2017 年數據作為測算基準，這在一定程度上規避了早期數據質量不高形成的誤差風險。

最後，學者對峰值的測算通常明確指扣減碳匯後的淨排放。中國碳核算數據庫與 BP 統計的是不扣減碳匯的毛排放。對於如何理解「2030 年碳排放強度較 2005 年下降 65% 以上」中的碳排放強度，似乎並沒有權威說法。我們的測算方法是，從毛排放角度去理解這一目標，以峰值上

限的測算為例，在 117 億噸的毛排放之後，再扣減 2030 年的碳匯，得到了 108 億噸淨排放的峰值，此數值大致位於清華大學氣候變化與可持續發展研究院、世界資源研究所等機構測算的峰值數據之間。如果從淨排放的角度去理解上述目標，需要先根據清華大學氣候變化與可持續發展研究院等機構測算的歷史碳匯數據，將中國碳核算數據庫中的毛排放數據處理成淨排放再去計算，所得結果是 2030 年淨排放的峰值大約是 109 億噸，與基於毛排放的上限測算的數據相差不大。經過與中金公用事業組的討論，我們傾向於從毛排放的角度去理解碳排放強度下降 65% 以上的目標，即 2030 年的淨排放峰值上限約為 108 億噸。

第三，停滯性通貨膨脹風險隱現，峰值目標設定為區間有助於改善供給彈性、兼顧經濟增長與減排。作為全球最大的發展中國家，可持續的經濟增長仍然是我國第一要務。與此同時，「30 達峰，60 中和」時間表的推出，意味著我們正在給未來 40 年增加一條新約束。在碳中和技術沒有完全成熟之前，兩個約束之間的衝突是客觀存在的，過於剛性的排放目標約束固然有助於促進減排，但也容易誘發停滯性通貨膨脹。

事實上，這樣一個風險苗頭可能已經出現。例如，2021 年 3 月、4 月 PPI 快速上行的背後，有一部分疫後需求復甦的原因，但更值得關注的是環境約束強化下的供給彈性下降，這和一些地方、一些領域過於依賴關停限產等剛性較強的行政政策有關。雖然碳中和意味著經濟難免面臨成本上升的壓力，但這並非需要把所有的轉型壓力都集中在短期消化。

在經濟復甦基礎仍不穩固的當下，應該謹慎對待直接限產、關停等供給衝擊較強的措施，更多地考慮社會成本更小、更有效率的方式。例如，以增量改革帶動存量調整，通過加大低碳、零碳產能投資推動高碳產能置換，嚴格控制新增高碳產能投資等。從中長期視角看，統籌兼顧的一個更重要方面是，將碳達峰的峰值目標設定為一個區間，避免過於剛性的供給約束。

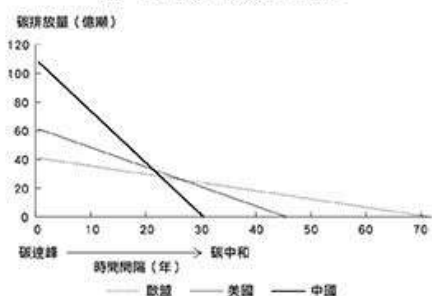
綜上，即便按照 108 億噸的峰值上限，與 2020 年的碳排放量相比<sup>1</sup>，也意味著未來 10 年中國年碳排放量僅有不到 10% 的提升空間，與此同時，GDP 年化實際增速預計將達到 5%，這凸顯了未來 10 年中國碳達峰的難度。從國際比較來看，這樣一個遠高於歐美歷史峰值的排放數據，意味著中國在碳達峰後實現碳中和的難度更大。歐盟早在 1979 年就實現了碳達峰，碳排放峰值約 41 億噸，相應人均碳排放約 9.9 噸。美國在 2005 年實現碳達峰，碳排放峰值約 61 億噸，相應人均碳排放約 19.6 噸。按照前述測算，中國 2030 年碳排放峰值上限為 108 億噸，對應人均碳排放約 7.4 噸。目前，歐盟<sup>2</sup>、美國<sup>3</sup>均將碳中和的目標時間定在了 2050 年，如果將達峰到中和定義為碳中和的下半場，就意味著歐盟碳中和的下半場長達 71 年，美國的下半場有 45 年，中國卻只有 30 年。從總量的角度看，我們將面臨比歐盟、美國陡峭得多的下半場斜率（見 1.5 和 1.6）。如何才能實現這一艱難的目標呢？下文將從結構視角探討行業層面的實現路徑。

1 清華大學氣候變化與可持續發展研究院測算，詳情請見《中國長期低碳發展戰略與轉型路徑研究》。

2 參見 [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en)。

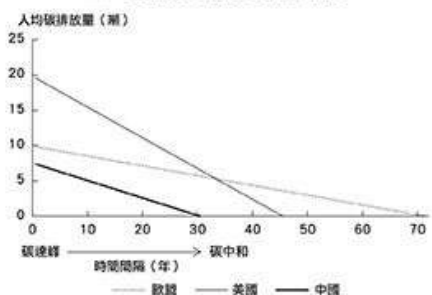
3 參見 <https://joebiden.com/climate-plan/>。

### 1.5 各國碳達峰後的碳中和斜率



資料來源：Our World in Data、世界銀行、中金公司研究部。  
 注：橫軸為 0 代表碳達峰時點，中國採用的是淨值上頂。由於 Our World in Data 數據庫並未明確說明各國的碳排放量是屬於淨排放量還是毛排放，所以此處具有一定的不確定性。

### 1.6 各國碳達峰後的人均碳中和斜率



資料來源：Our World in Data、世界銀行、中金公司研究部。  
 注：中國採用的是淨值上頂。由於 Our World in Data 數據庫並未明確說明各國的碳排放量是屬於淨排放量還是毛排放，所以此處具有一定的不確定性。

### 結構路徑：基於綠色溢價的探討

目標確定後，接下來就是探索如何實現碳中和，解決這一問題不外乎兩種方式，即在需求側節能減排甚至直接遏制需求（比如拉開限電），以及在供給側推廣清潔能源、改進生產工藝、發展碳捕捉等。然而，限制需求不僅與過去 40 年的經濟增長約束相悖，而且拉開限電、推動節能減排等需求側管理也只能實現碳排放量（暫時）下降，難以達到碳中和。要想從根本上解決問題，關鍵在於促使供給側使用零排放能源、採用零排放生產工藝。

因此，實現碳中和，供給側是核心抓手，關鍵是處理好八大重點行業的排放問題。2016 年，國家發改委發布了《關於切實做好全國碳排放權交易市場啟動重點工作的通知》，將石化、化工、建材、鋼鐵、有色、造紙、電力、交通運輸中的航空作為重點排放行業。根據中國碳核算數據庫的數據，2000 至 2017 年，全國碳排放量由 30.03 億噸上升至 93.39 億噸，這八大行業<sup>1</sup>的碳排放佔比由 80% 升至約 88%（見 1.7），比例提升主要由電力、鋼鐵行業貢獻。如 1.8 所示，八大行業中，2017 年碳排放佔比由高到低依次是電力（主要是火電，44%）、鋼鐵（18%）、建材（13%）、交通運輸（含航空，8%）、化工（3%）、石化（2%）、有色（1%）、造紙（0.3%）。

需要說明的是，中國碳核算數據庫對於碳排放行業結構的統計，主要是基於生產環節的排放，並沒有將高耗能行業通過耗電產生的間接排放也算在各行業的碳排放佔比中。因此，電力行業排放量佔比近半，是因為工業、居民等全部用電部門的電力能耗碳排放都被統一計算在電力行業中，鋼鐵、建材、有色、化工等其他高排行業統計的碳排放，則是在生產

1 受中國碳核算數據庫統計口径影響，航空使用交通運輸（含航空）碳排放數據。